

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche**  
**Scientifique**



**Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued**

**FACULTE DE TECHNOLOGIE**

**DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE**



**Mémoire de fin d'étude**  
Présenté pour l'obtention du diplôme de  
**MASTER ACADEMIQUE**

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Electromécanique

Spécialité : Electromécanique

**Thème**

**Contribution à la vulgarisation des systèmes photovoltaïques utiliser pour l'irrigation par pivots traditionnels dans la région d'EL OUED**

**Devant le jury composé de :**

GUERFI Youcef

Président

GUERRAH Ayoub

Encadreur

REGOUTA M<sup>ed</sup> Esseguir

Examineur

**Présenté par :**

- MADI Said

- HEDOUD Salem

**2017-2018**

## Dédicace

*Au nom de dieu, le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux.*

*Je te dédie cette recherche*

*A qui je porte ton nom avec fierté*

*A ceux qui je manqué depuis mon enfance*

*A ceux qui tremblent mon cœur à sa mémoire*

*Oh qui m'a confié à Dieu; mon père*

*A ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.*

*Mes frères qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.*

*Mes professeurs de Génie Mécanique ,Faculté de science et technologie a L'Université d'El-oued qui doivent voir dans ce travail la fierté d'un savoir bien acquis.*

*À ma chère épouse , à mes chers fils (Badr Eddine, Ibtisam, Mohamed Taïeb, Bassam Nasr Eddine, Zakaria, Esra), Bougies d'espoir et Bougies du Futur,*

*Said*

## Dédicace

*Au nom d'Allah, le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux .*

*Tout d'abord je tiens à remercier le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience pour arriver à ce stade afin de réaliser ce travail*

*que Je dédie :*

*A ma très chère mère, qui n'a jamais cessé de prier pour moi.*

*A mon très cher père, pour ses encouragements.*

*A mes très chères frères. A toute ma grande famille : HEDDOND .*

*A mes meilleurs amis chacun à son nom.*

*A tous mes amis de master promotion D'ELECTROMECANIQUE . A la fin je dédie très chaleureusement ce mémoire .*

*A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.*

*Salem*

## **Remerciements**

Avant tout nous tenons nos remerciements à notre ALLAH de nos avoirs donnés la force et le courage.

En guise de reconnaissance, je tiens à témoigner mes sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin au bon déroulement de notre d'étude et à l'élaboration de ce modeste travail.

Mes sincères gratitudes à notre encadreur Mr. GUERRAH Ayoub pour la qualité de son enseignement, ses conseils et son intérêt incontestable qu'il porte à tous les étudiants.

Nous remercions l'ensemble des professeurs de département du génie mécanique L'université d'Echahid Hamma Lakhdar El-oued ( Mr. GUERFI. Y, ANNAN .A, MANSSOURI.K...etc), pour leur patience, leurs conseils de plein de sens et pour le suivi et l'intérêt qu'ils ont portaient à mes travaux.

Dans l'impossibilité de citer tous les noms, nos sincères remerciements vont à tous ceux et celles.

Nous adressons également nos sincères remerciements aux membres de nos familles qui n'ont jamais hésité à nous offrir le meilleur d'eux-mêmes, et surtout les parents qui ont supporté les frais de nos études.

# Table des matières

Liste des figures .....	i
Liste des tableaux .....	iii
Liste des symboles .....	iv
Introduction Générale.....	1

## Chapitre I : description du système d'irrigation par pivot traditionnel

I .1 Introduction .....	3
I .2 Définition de l'irrigation .....	3
I .3 Méthodes d'irrigation .....	3
I .3. 1 Irrigation de surface.....	3
I .3. 2 Irrigation par aspersion.....	3
I .3. 3 Irrigation au goutte a goutte.....	3
I.4 Irrigation par rampe pivotant.....	4
I .5 Pivot traditionnel dans la région d'EL-OUED .....	4
I .5.1 Définition.....	4
I .5.2 les composants du pivot traditionnel .....	5
I .5.3 système de pompage d'eau.....	9
I .5.4 Principe de fonctionnement du pivot traditionnel .....	11
I .5.5 Les dimensions du pivot traditionnel.....	12
I .6 Conclusion.....	13

## Chapitre II : Etude d'un système photovoltaïque avec accumulateur

II.1 Introduction.....	14
II.2 Rayonnement solaire.....	14
II.2.1 Spectre du rayonnement .....	14
II.2.2 Durée d'insolation.....	15
II.2.3 Optimisation de captation du rayonnement solaire .....	15
II.3 Etude d'un système photovoltaïque.....	16
II.3.1 L'effet photovoltaïque .....	16
II.3.2 La cellule photovoltaïque .....	16
II.3.3 Le module photovoltaïque.....	18
II.3.4 Le panneau solaire.....	19
II.3.4 Assemblage des cellules photovoltaïques .....	20
II.3.5 Modèle électrique d'une cellule photovoltaïque .....	21

II.3.6 Influence de l'irradiation sur les paramètres du module PV .....	23
II.3.7 Influence de Influence de la température sur les paramètres du module PV .....	23
II.3.8 Protections d'un générateur photovoltaïque.....	24
II.4 Stockage d'énergie photovoltaïques.....	25
II.4.1 Le stockage de l'énergie électrique.....	25
II.4. 2 Les batteries dans les systèmes photovoltaïques.....	26
II.4. 3 Modèle électrique de la batterie .....	28
II.5 Conclusion .....	30

### Chapitre III : le pompage photovoltaïque

III.1 Introduction .....	31
III.2 Quelques notions hydrauliques.....	31
III.2.1 Le débit Q .....	31
III.2.2 La hauteur manométrique totale HMT .....	31
III.3 Méthodes de pompages PV .....	32
III.3.1 Pompage « au fil du soleil ».....	32
III.3.2 Pompage avec batteries.....	33
III.4 modélisation des composants d'un système de pompage PV.....	34
III.4.1 Le générateur photovoltaïque .....	34
III.4.2 Le groupe moto-pompe.....	36
III.4.3 L'électronique de commande et de contrôle.....	41
III.4.4 La partie stockage .....	41
III.5 Dimensionnement de l'installation de pompage PV .....	42
III.5.1 Evaluation des besoins en eau.....	42
III.5.2 Energie hydraulique quotidienne requise.....	42
III.5.3 Calcul de l'énergie électrique quotidienne requise.....	42
III.5.4 Détermination de l'énergie solaire disponible .....	43
III.5.5 Choix des composants.....	43
III.5.6 Taille du générateur photovoltaïque .....	44
III.6 Conclusion.....	46

### Chapitre IV : Etude expérimentale

IV.1 Introduction .....	47
IV.2 description climatique de la zone d'El-oued.....	47
IV.3 Descriptions des composantes du système photovoltaïque.....	48

IV.3.1 panneaux photovoltaïques .....	48
IV.3.2 Convertisseurs CC/CC.....	48
IV.3.3 Onduleur .....	48
IV.3.4 Redresseur.....	48
IV.3.5 Système de stockage .....	48
IV.4 L'énergie produite par le système PV pondent quatre mois .....	50
IV.5 puissance moyen du système PV.....	54
IV.6 Consommation du système d'irrigation (Facturation) .....	55
IV.7 Calcul du champ photovoltaïque nécessaire .....	56
IV.7.1 Le nombre de modules photovoltaïques .....	57
IV.7.2 Batteries pour stocker l'énergie.....	57
IV.8 Conclusion.....	58
Conclusion générale .....	60
<b>Bibliographies</b>	
<b>Annexes</b>	

## Liste des figures

<i>Figure I.1 : Schéma du pivot traditionnel</i> .....	5
<i>Figure I.2 : Système d'irrigation par pivot traditionnel</i> .....	5
<i>Figure I.3 : L'unité centrale</i> .....	6
<i>Figure I.4: La travée, Porte-à-faux</i> .....	7
<i>Figure I.5: La tour mobile</i> .....	8
<i>Figure I.6: L'asperseur de l'eau</i> .....	9
<i>Figure I.7: Groupe motopompe</i> .....	10
<i>Figure I.8: Moteur électrique</i> .....	10
<i>Figure I.9: L'arrosage</i> .....	11
<i>Figure II.1 : spectre solaire hors atmosphère</i> .....	15
<i>Figure II.2 : un échantillon schématique de la cellule solaire.</i> .....	17
<i>Figure II.3 : Principe de la conversion photovoltaïque.</i> .....	17
<i>Figure II.4 : Module photovoltaïque.</i> .....	18
<i>Figure II.5: Courbe courant -tension d'une cellule photovoltaïque.</i> .....	19
<i>Figure II.6 : Panneau solaire</i> .....	20
<i>Figure II.7: Caractéristiques de groupement de cellules photovoltaïque</i> .....	20
<i>Figure II.8 : Schéma équivalent d'une cellule idéale.</i> .....	21
<i>Figure II.9 : Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque réelle.</i> .....	22
<i>Figure II.10 : Caractéristique courant –tension et puissance –tension.</i> .....	23
<i>Figure II.11 : Caractéristique puissance –tension et courant –tension</i> .....	23
<i>Figure II.12: Schéma d'un GPV élémentaire avec diodes by-pass et diode anti-retour.</i> .....	24
<i>Figure II.13: Caractéristiques I-V d'une cellule solaire ensoleillée et dans l'obscurité.</i> .....	24
<i>Figure II.14: Caractéristiques I-V des sous-réseaux A et B du module</i> .....	25
<i>Figure II.13: Evolution de la tension et du courant d'un élément plomb acide.</i> .....	27
<i>Figure II.14 : Modèle idéal batterie.</i> .....	28
<i>Figure II.15 : Modèle simplifié de la batterie</i> .....	29
<i>Figure II.16: Modèle RC de la batterie.</i> .....	29
<i>Figure III.1 : Hauteur manométrique total.</i> .....	32
<i>Figure III.2: pompage au fil du soleil</i> .....	33
<i>Figure III.3: Pompage photovoltaïque avec stockage d'énergie.</i> .....	34
<i>Figure III.4: Les composants d'un système de pompage PV.</i> .....	34
<i>Figure III.5: Groupement de <math>N_s</math> module en série et <math>N_p</math> en parallèle</i> .....	35
<i>Figure III.6 : Caractéristiques débit-vitesse d'une pompe centrifuge.</i> .....	36
<i>Figure III.7 : Caractéristiques couple - vitesse d'une pompe centrifuge.</i> .....	37

<i>Figure III.8: Caractéristiques de la pompe HMT(Q) et de la canalisation .....</i>	<i>38</i>
<i>Figure III.9 : Caractéristiques de rendement de la pompe centrifuge .....</i>	<i>39</i>
<i>Figure III.10 : un exemple d'un abaque de dimensionnement de moto-pompes .....</i>	<i>44</i>
<i>Figure IV.1: Synoptique de l'installation expérimentale - Système de production photovoltaïque. .</i>	<i>49</i>
<i>Figure IV.2 : le courant de sortie au cours des 4 mois du système photovoltaïque.....</i>	<i>50</i>
<i>Figure IV.3 Le courant de sortie durant un jour du système photovoltaïque. ....</i>	<i>51</i>
<i>Figure IV.4: Les changements de énergie solaire[W/m2] au cours des 4 mois.....</i>	<i>52</i>
<i>Figure IV.5: Les changements de énergie solaire[W/m2] durant un jour. ....</i>	<i>52</i>
<i>Figure IV.6: Les changements de puissance du système au cours des 4 mois. ....</i>	<i>53</i>
<i>Figure IV.7: Les changements de puissance du système durant un jour. ....</i>	<i>53</i>
<i>Figure IV.8 : Les changements de température pendant un seul jour.....</i>	<i>54</i>

## Liste des tableaux

<i>Tableau I.1: Désignation et caractérisation de pivot traditionnel a étudiée</i> .....	12
<i>Tableau IV.1: Les données caractéristiques du système d'irrigation</i> .....	56

## Liste des symboles

<b>B</b>	<i>Facteur d'idéalité de la jonction</i>
<b>Tn</b>	<i>L'éclairement de référence</i>
<b>Ior</b>	<i>Courant de court- circuit de la cellule à la température de référence</i>
<b>AC=C</b>	<i>Courant alternatif.</i>
<b>DC=</b>	<i>Courant Continu.</i>
<b>E</b>	<i>Eclairement (W/m<sup>2</sup>).</i>
<b>G</b>	<i>L'éclairement de référence (1000 W/m<sup>2</sup>).</i>
<b><math>\lambda</math></b>	<i>Longueur d'onde (m) .</i>
<b>GPV</b>	<i>Générateur photovoltaïque.</i>
<b>H</b>	<i>Constant de Planck (6,62 10<sup>-34</sup> j.s ) .</i>
<b>Icc</b>	<i>Le courant de court-circuit (A).</i>
<b>Ich</b>	<i>Courant de charge (A).</i>
<b>Id</b>	<i>Le courant circulant dans la diode.</i>
<b>Im</b>	<i>Courant qui correspond à la puissance maximale (A).</i>
<b>Iopt</b>	<i>Courant optimum (A).</i>
<b>Ip</b>	<i>Courant de résistance parallèle (A).</i>
<b>Iph</b>	<i>Le photo-courant (A).</i>
<b>Ipv</b>	<i>Courant délivré par une cellule photovoltaïque (A).</i>
<b>Isat</b>	<i>Courant de saturation (A).</i>
<b>K</b>	<i>Coefficient de Boltzman (1.38.10<sup>-23</sup> J / K)</i>
<b>MPPT</b>	<i>Maximum Power Point Tracking.</i>
<b>N</b>	<i>Facteur d'idéalité de la photopile</i>
<b>Np</b>	<i>Nombre de modules dans le panneau en parallèle.</i>
<b>Ns</b>	<i>Nombre de modules dans le panneau en série.</i>
<b>P&amp;O</b>	<i>Méthode de Perturbation et observation .</i>
<b>Pm</b>	<i>La puissance maximale produite PV (W).</i>
<b>PV</b>	<i>Photovoltaïque.</i>
<b>Q</b>	<i>Charge de l'électron (1,6.10<sup>-19</sup> C)</i>
<b>Rp</b>	<i>Résistance parallèle shunt(<math>\Omega</math>).</i>
<b>Rs</b>	<i>Résistance série(<math>\Omega</math>).</i>
<b>T</b>	<i>Température de la jonction des cellules PV (<math>^{\circ}</math>K).</i>
<b>Tc</b>	<i>Température de la cellule (C<math>^{\circ}</math>)</i>
<b>Vco</b>	<i>La tension de circuit ouvert (V).</i>
<b>Vm</b>	<i>Tension qui correspond à la puissance maximale (V).</i>
<b>Vopt</b>	<i>Tension optimale (V).</i>
<b>Vt</b>	<i>Tension thermique</i>
<b>Eo</b>	<i>Tension des batteries en pleine charge.</i>
<b>Roc</b>	<i>Résistance interne de batterie en pleine charge.</i>
<b>C<sub>batt</sub></b>	<i>Capacité (Ah) nominale de la batterie .</i>
<b>Hg</b>	<i>Hauteur géométrique (niveau dynamique)</i>
<b>Eh</b>	<i>Énergie hydraulique (Kwh/j)</i>
<b>Ch</b>	<i>Constante hydraulique(Kg.s.h/m<sup>2</sup>)</i>
<b>Q</b>	<i>Volume d'eau (m<sup>3</sup>/j)</i>
<b>HMT</b>	<i>Hauteur manométrique total (m)</i>
<b>G</b>	<i>La gravité terrestre (9.81 m/s<sup>2</sup>)</i>
<b>P</b>	<i>Densité de l'eau (1000 kg/m<sup>3</sup>)</i>
<b>Ee</b>	<i>Energie électrique exprimé en (Kwh/j)</i>

# **INTRODUCTION GÉNÉRALE**

## Introduction Générale

Actuellement, le monde dépend fortement de la production d'énergie à partir de sources fossiles (pétrole, gaz naturel, charbon, etc.). Cette consommation de sources provoque de nombreux inconvénients tels que la pollution, étant donné l'importance de l'intensité de rayonnement reçue. Notre pays peut satisfaire certains de ses besoins en couverture d'énergie renouvelable, qui peut être rentable dans les régions éloignées, en particulier dans les applications photovoltaïques telles que le pompage solaire. Ceci permet aux agriculteurs de réduire les coûts associés à la consommation de l'électricité tout en étant plus écologique.

De nombreuses méthodes sont utilisées pour l'irrigation dans notre région : de nombreux agriculteurs dépendent de l'irrigation traditionnelle en raison de sa facilité d'utilisation et de son coût adéquat. Surtout dans les zones reculées, mais le problème est le transfert d'électricité et son coût élevé.

Dans ce travail, nous proposons une contribution à la réhabilitation des systèmes photovoltaïques utilisés pour l'irrigation par pivot traditionnel dans les régions d'El- Oued, à leurs performances électriques, ainsi qu'à une analyse économique.

Le présent manuscrit est divisé en quatre chapitres :

Le *premier chapitre* est une description générale du système d'irrigation par pivot traditionnel et des fameux types d'irrigation. Puis l'identification de ses composants de base et de leurs dimensions, le principe du travail de tous les éléments avec la mention de certains obstacles rencontrés dans ce domaine sont présentés.

Dans le *deuxième chapitre*, nous allons en apprendre davantage sur les assemblages photovoltaïques, leurs types et comment ils fonctionnent afin de savoir comment optimiser l'installation et l'utilisation de l'énergie photovoltaïque.

Dans le *troisième chapitre*, nous étudierons le pompage photovoltaïque, qui est l'utilisation de l'énergie solaire pour l'extraction de l'eau, les étapes suivies et le dimensionnement d'une installation de pompage photoélectrique.

Le *quatrième chapitre* est une étude expérimentale où les résultats réels du système photovoltaïque étudié seront examinés pendant la saison agricole, puis nous déterminerons les besoins en énergie électrique du système d'irrigation par pivot traditionnel en effectuant

des calculs et des comparaisons, et en déduire l'importance de l'application d'un système photovoltaïque dans la région d'El-oud.

**CHAPITRE I :**  
**DESCRIPTION DU SYSTÈME D'IRRIGATION**  
**PAR PIVOT TRADITIONNEL**

## I.1 Introduction

Une bonne campagne agricole passe nécessairement par des techniques agricoles plus performantes, ces techniques étant mécanisées elles ont besoin d'une quantité d'énergie pour assurer leurs fonctionnements.

Le système d'irrigation par pivots a nécessairement besoin d'une certaine quantité d'énergie pour son fonctionnement avec un aménagement de telle dimension est ce que le problème d'énergies ne sera pas un handicap pour le fonctionnement de ce système.

Au cours de notre étude la question que nous allons de répondre en optimisant le choix des matériels et surtout à la conception du réseau d'alimentation énergétiques des pivots.

## I.2 Définition de l'irrigation

L'irrigation consiste une fourniture artificielle et répartition systématique d'eau sur des terres agricoles. Elle vise à pallier le manque ou l'insuffisance d'eau de pluie, particulièrement : L'irrigation permet d'améliorer le rendement des terres agricoles, mais implique l'utilisation de grandes quantités d'eau. Il est important de savoir que l'agriculture est de loin le plus grand consommateur d'eau (devant l'industrie et les services), puisque 69 pour cent des prélèvements mondiaux lui sont imputables [1].

## I.3 Méthodes d'irrigation

### I.3.1 Irrigation de surface

L'irrigation de surface consiste à amener l'eau au point le plus haut du terrain et à la laisser s'écouler par gravité. L'eau est ensuite distribuée au champ, soit par submersion (irrigation par bassins), soit dans des sillons en terre (irrigation par sillons) ou bien par ruissellement à la surface d'une planche d'arrosage (irrigation par planches).

### I.3.2 Irrigation par aspersion

La technique d'irrigation par aspersion est conçue sur le modèle de la pluie naturelle. L'eau est refoulée sous pression dans un réseau de conduites, ensuite elle est diffusée par des asperseurs rotatifs sous la forme d'une pluie artificielle.

### I.3.3 Irrigation au goutte à goutte

L'irrigation au goutte à goutte consiste à amener l'eau sous pression dans un système de canalisations, généralement en PVC; cette eau est ensuite distribuée en gouttes au champ par un grand nombre de goutteurs répartis tout le long des rangées des plantations. La zone

humidifiée du sol est celle située au voisinage immédiat des racines des plantes. L'irrigation au goutte à goutte est aussi appelée micro-irrigation.

### **I.4 Irrigation par rampe pivotant**

Les rampes d'arrosage sont des appareils métalliques mobiles de grandes dimensions principalement destinés à l'irrigation automatique des cultures.

Grâce à plusieurs atouts, ces appareils se sont imposés comme une bonne alternative à d'autres techniques d'irrigation telles que les asperseurs. Parmi ces avantages, on peut citer:

- ✓ L'uniformité de l'arrosage assuré, qui permet d'importantes augmentations de la production.
- ✓ La simplicité de mise en œuvre, due à la nature automatique de l'arrosage et du déplacement
- ✓ La durée de vie, qui se situe en moyenne aux alentours de 15 années.
- ✓ Economies de main-d'œuvre et de l'énergies.

Parmi les inconvénients on peut citer :

- ✓ Investissement initial important.
- ✓ Non adapté aux petites exploitations.

Le pivot est un système d'irrigation automatisé, entièrement mécanisé à basse/moyenne pression et assemblé de manière permanente. Il est devenu très populaire ces dernières années pour l'irrigation de la plupart des cultures de plein champ, céréales, légumineuses, fourrages et légumes. Il est également utilisé pour l'irrigation supplémentaire des céréales cultivées en sec. Ce système est mieux adapté aux grandes exploitations irriguées. La superficie irriguée peut varier selon la taille du pivot central, et plus la superficie arrosée est vaste, plus le coût unitaire par hectare est faible [2].

### **I.5 Pivot traditionnel dans la région d'EL-OUED**

#### **I.5.1 Définition**

Le pivot traditionnel est constitué d'une seule conduite d'arrosage de diamètre généralement de 60 mm, composée de tuyaux en acier léger galvanisé, suspendus au-dessus du sol par de longues structures métalliques et des câbles et posés sur de tour mobile sur roues (figure I.1).

Une extrémité de la conduite est raccordée à un mécanisme à pivot implanté au centre de la zone à irriguer ; l'ensemble de la conduite tourne autour du pivot.

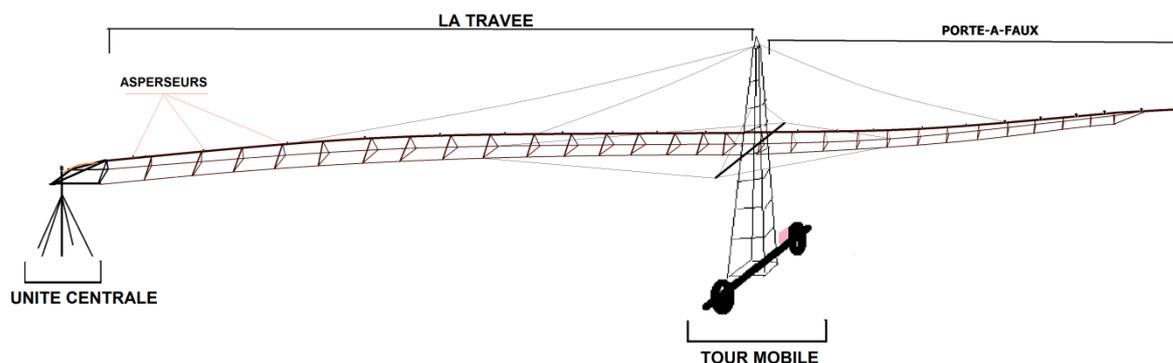


Figure I.1 : Schéma du pivot traditionnel

Le taux d'application des distributeurs d'eau varie entre les plus faibles valeurs près du pivot et les plus élevées vers l'autre extrémité et se fait au moyen de buses de diamètres variables (réglables) le long de la conduite ou par des distances descendant du point de centre à la fin de la conduite.

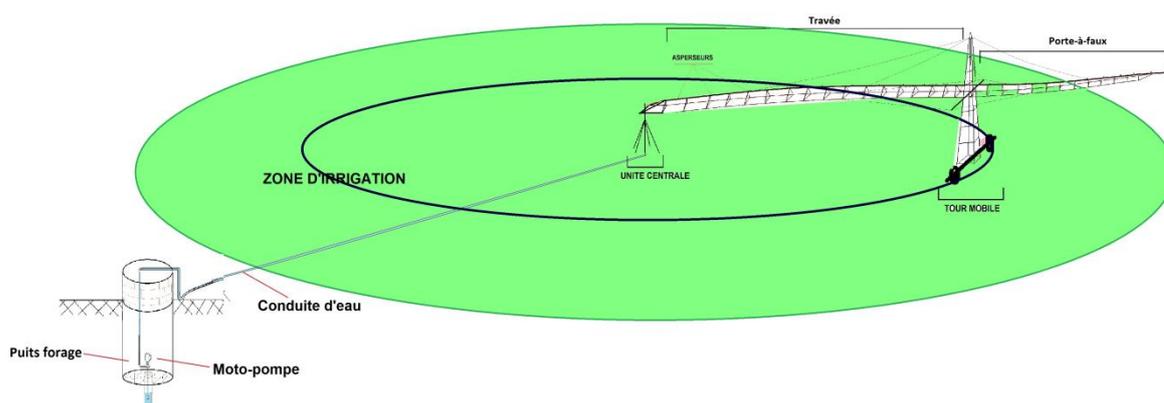


Figure I.2 : Système d'irrigation par pivot traditionnel

## I.5.2 les composants du pivot traditionnel

### I.5.2.1 L'unité centrale

L'unité centrale est à la fois l'élément autour duquel tourne le reste du pivot, et celui par où arrive l'eau destinée à l'irrigation. Elle est constituée d'un assemblage boulonné de cornières, qui forme une pyramide à base carrée d'environ 1.5 mètres de hauteur et 1.5 mètres de coté. L'ensemble est fixé au sol ou par une dalle en béton dont le poids pour s'opposer au couple de renversement créé par la rampe.



Figure I.3 : L'unité centrale

#### *1.5.2.2 La travée*

Le pivot traditionnel contient un seul tour mobile et une seule travée. Cette dernière est composée de plusieurs parties de douze mètres de longueur raccordées entre elles par boulonnage, leur élément principal est la canalisation dans laquelle circule l'eau, qui est constituée de la conduite d'arrosage sur laquelle sont fixés les asperseurs, cette canalisation est sous-tendue par deux ou trois lignes de tirants auxquels elle est reliée par un treillis destiné à rigidifier l'ensemble.

#### *1.5.2.3 Porte-à-faux*

Le porte-à-faux vient pour prolonger la rampe d'irrigation et permet d'augmenter considérablement la surface irriguée, il est situé à l'opposé de l'unité centrale et est habituellement prolongé par une canalisation haubanée, aux pivots traditionnels le porte-à-faux s'agit d'une extension de la travée d'environ vingt mètres de longueur.



Figure I.4: La travée et porte-à-faux

#### *1.5.2.4 La tour mobile*

La tour mobile possède deux fonctions. La première est de supporter la travée à une hauteur au dessus du sol qui corresponde à la taille maximale des cultures (en général 2 mètres). La deuxième fonction consiste à assurer la mobilité de la rampe grâce à deux roues commandées par un moteur électrique, leur structure est constituée de deux montants reliés entre eux par un essieu d'environ de deux a trois mètres où sont fixés le moteur et les deux roues.



Figure I.5: La tour mobile

#### *1.5.2.5 Les asperseurs de l'eau*

Les asperseurs (mono buse) qui ont pour rôle d'éclater un jet d'eau sous pression en fine gouttelettes. Le diamètre des buses détermine pour une pression donnée, le débit de l'asperseur, la portée du jet et la répartition de l'eau le long du jet (ou pluviométrie). Comme la pluviométrie a tendance à diminuer en s'éloignant de l'asperseur, il est recommandé de disposer les asperseurs de manière à obtenir des recouvrements de jets.



Figure I.6: L'asperseur de l'eau

Afin d'augmenter la surface irriguée, la dernière asperseur peut atteindre trois mètres à l'extérieur du cercle à irriguer.

La liaison mécanique entre les différents composants du pivot traditionnel est assurée par boulonnage.

### **I.5.3 système de pompage d'eau**

#### ***I.5.3.1 La pompe centrifuge***

La pompe accélère le fluide qui la traverse en lui communiquant un mouvement de rotation, donc une certaine puissance hydraulique.

Cette énergie hydraulique peut être vue comme la somme d'une énergie cinétique déterminée par le mouvement de liquide dans le tube et d'une énergie potentielle stockée soit sous la forme d'un accroissement de pression soit sous celle d'une augmentation de hauteur.



A : Pompe à surface [3]



B : pompe immergé [4]

Figure I.7: Groupe motopompe

### 1.5.3.2 Le moteur électrique

Un moteur électrique est un dispositif électromécanique permettant la conversion d'énergie électrique en énergie mécanique. La plupart des machines électriques fonctionnent grâce au magnétisme, il existe deux types de moteurs : à courants continu et alternatif [17].



Figure I.8: Moteur électrique [5].

### 1.5.4 Principe de fonctionnement du pivot traditionnel

#### 1.5.4.1 Arrosage

L'eau d'alimentation des pivots peut provenir d'un cours d'eau, d'un forage ou d'un puits. Elle est propulsée dans la canalisation par une station de pompage, avec une pression délivrée (en moyenne 1.5 bars) étant calculée en fonction des dénivellations, des pertes de charge et de la pression de sortie désirée.

L'arrosage se fait alors au moyen d'asperseurs à basses et moyennes pressions (en plastique ou en cuivre) fixés sur des piquages, Le débit de ces différents organes d'arrosage varie avec leur position sur la rampe, eux-mêmes disposés à intervalles calculer (de 1 à 3 mètres) sur la canalisation, en tenir compte des pertes de charge et de l'augmentation de la surface arrosée avec le rayon de giration de l'appareil.

L'installation est souvent complétée par un canon dit "d'extrémité".



Figure I.9: L'arrosage

#### 1.5.4.2 Déplacement

Le tours est équipée de deux roues entraînées par un moteur électrique fixé à l'essieu avec un réducteur de vitesse. La travée est éloignée de l'unité centrale environ de quarante mètres, La vitesse de progression de la rampe peut aller de un à trois mètres par minutes, est en moyenne de 1.5 mètres par minutes.

### 1.5.4.3 Débit d'eau

L'objectif agronomique détermine le débit et la vitesse de rotation du pivot une fois choisis, les organes d'aspersion doivent être adaptés à cet objectif. Cet objectif agronomique est d'apporter aux plantes les quantités d'eau dont elles ont besoin, sans dommages aux cultures et au sol, c'est-à-dire en apportant cette eau à un rythme qui correspond à la possibilité d'infiltration et sans provoquer le compactage du sol ou la détérioration des produits agricoles arrosés. Il faut donc réaliser une intensité d'arrosage appropriée avec une pulvérisation de l'eau satisfaisante en gouttes de taille convenable.

Nous supposons connues les quantités d'eau à apporter sans nuire aux cultures ; il convient d'ajouter la quantité perdue par évaporation, sous l'effet du vent, par suite de l'hétérogénéité de l'arrosage, ce qui détermine l'efficacité de l'irrigation.

## 1.5.5 Les dimensions du pivot traditionnel

Les pivots traditionnelles doivent être dimensionnés selon la surface à irriguée.

**Tableau 1: Désignation et caractérisation de pivot traditionnel a étudiée**

Eléments	Caractéristiques
Tour central	fixe
Longueur de la tour mobile	4 m
Longueur d'essieux	3 m
Diamètre de la conduite	60 mm
Longueur de la travée	60 m
Nombre des buses	21
Nombre des travées	1
Ecartement moyenne entre les asperseurs	2.5 m
Puissance de moteur électrique de la pompe	4 kW
Puissance de moteur électrique d'avancement	1.125 kW
Vitesse d'avancement maximale	90 m/h

## **I.6 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents composants du système d'irrigation par pivot traditionnel ; les composants du pivot traditionnel, les éléments nécessaires pour l'irrigation par pivot traditionnel, les caractéristiques des éléments du système à étudier.

Lors de notre visite à certains des agriculteurs investisseurs dans ce domaine, nous avons trouvé plusieurs complications dans la composition de système et plusieurs problèmes rencontrés par l'agriculteur, notamment en termes d'approvisionnement énergétique et de distribution homogène de l'eau, pour résoudre ces problèmes nécessitent une étude scientifique claire pour une utilisation optimale.

**CHAPITRE II :**  
**ETUDE**  
**D'UN SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE**  
**AVEC ACCUMULATEUR**

## II.1 Introduction

Aujourd'hui et dans le monde entier, l'électricité est un besoin fondamental au développement économique. Son importance relative s'accroît avec les progrès techniques, l'industrialisation et le besoin de confort moderne. L'augmentation de sa production est synonyme d'amélioration de la qualité de vie et de création de richesse. Cependant, les énergies fossiles assurent actuellement la majorité de cette production, mais face à l'épuisement de ces ressources énergétiques, aux problèmes de l'environnement et à l'augmentation considérable des besoins en énergie, la recherche de nouvelles ressources énergétiques est l'une des priorités de la politique énergétique de beaucoup de pays. Les énergies renouvelables représentent une alternative écologique aux combustibles fossiles. Leur exploitation permettrait de fournir de l'électricité partout, et particulièrement aux sites isolés, et d'éviter ainsi la création de nouvelles lignes électriques. Pour une meilleure compréhension de l'importance des énergies renouvelables, et particulièrement, l'énergie solaire.

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la conversion directe de l'énergie provenant de photons, comprise dans le rayonnement solaire, en énergie électrique, par le biais de capteurs fabriqués avec des matériaux sensibles aux longueurs d'ondes du visible (nommés cellules photovoltaïques). Cette énergie a prouvé plusieurs avantages; énergie propre et non-polluante, Entretien minimal, Aucun bruit. Mais la fabrication des panneaux photovoltaïques relève de la haute technologie demandant énormément de recherche et développement et donc des investissements coûteux et le coût d'investissement sur une installation photovoltaïque est cher.

## II.2 Rayonnement solaire

### II.2.1 Spectre du rayonnement

Le rayonnement électromagnétique est composé de «grains» de lumière appelés photons. L'énergie de chaque photon est directement liée à la longueur d'onde  $\lambda$  : Le spectre du rayonnement extraterrestre correspond environ à l'émission d'un corps noir porté à 5800° K. Une courbe standard, compilée selon les données recueillies par les satellites, est désignée sous le nom de AM0. Sa distribution en énergie est répartie en [7]:

- 9% dans la bande des ultraviolets (<0,4  $\mu\text{m}$ ).
- 47% dans la bande visible (0,4 à 0,8  $\mu\text{m}$ ).
- 44% dans la bande des infrarouges (>0,8  $\mu\text{m}$ ).

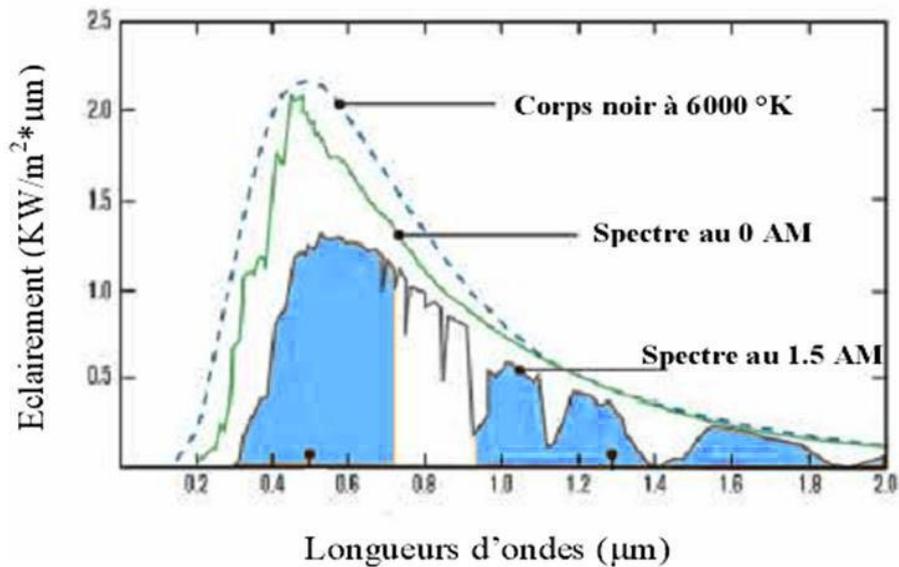


Figure II.1 : spectre solaire hors atmosphère [7].

### II.2.2 Durée d'insolation

La durée d'ensoleillement ou durée de l'insolation effective est un indicateur climatique qui mesure la durée temporelle pendant laquelle un endroit, un lieu est soumis à l'insolation effective, c'est-à-dire soumis à un rayonnement solaire suffisamment intense et puissant pour produire des ombres bien distinctes. Cette indicateur est directement lié à la nébulosité, la part du ciel couvert par les nuages, du lieu ou de l'endroit en question et ne doit pas être confondu avec l'ensoleillement qui exprime la quantité d'énergie reçue par le rayonnement solaire sur une surface donnée et sur une certaine période. La durée d'ensoleillement est généralement exprimée en une moyenne d'heures par an ou alors en une moyenne d'heures par jour.

### II.2.3 Optimisation de captation du rayonnement solaire

Pour augmenter le rendement d'un système photovoltaïque, en augmentant l'énergie solaire reçue, nous devons d'abord améliorer le rendement de captation par le bon choix d'inclinaison de la surface des modules photovoltaïques. Les panneaux solaires doivent être placés perpendiculairement au soleil vers le sud lorsqu'on est dans l'hémisphère nord, et vers le nord lorsqu'on est dans l'hémisphère sud. Les capteurs solaires doivent être installés au sol ou sur la toiture orientés vers le sud, à l'écart des zones ombragées. Ils doivent être inclinés avec un angle ( $\beta$ ) afin d'obtenir un résultat optimal et par conséquent « une énergie maximale ».

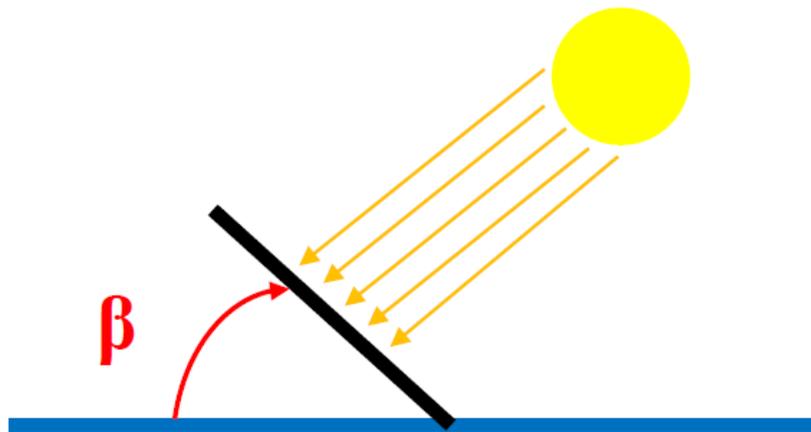


Figure II.2 : Inclinaison du panneau solaire.

## II.3 Etude d'un système photovoltaïque

### II.3.1 L'effet photovoltaïque

L'effet photovoltaïque a été découvert en 1839 par le physicien français Becquerel. Un panneau solaire fonctionne par l'effet photovoltaïque c'est-à-dire par la création d'une force électromotrice liée à l'absorption d'énergie lumineuse dans un solide. L'effet photovoltaïque est la conversion directe de l'énergie solaire en électricité [8].

### II.3.2 La cellule photovoltaïque

Les cellules photovoltaïques sont des composants optoélectroniques qui transforment directement la lumière solaire en électricité par l'effet photovoltaïque. Elles sont réalisées à l'aide des matériaux semi-conducteurs, c'est à dire ayant des propriétés intermédiaires entre les conducteurs et les isolants.

La structure la plus simple d'une cellule photovoltaïque comporte une jonction entre deux zones dopées différemment du même matériau (homo-jonction) ou entre deux matériaux différents (hétérojonction). Le but de la structure photovoltaïque, c'est de créer un champ électrique interne.

Dans la (Figure II.3) un échantillon schématique d'une configuration de la cellule solaire, Elle se compose d'un abri du verre (**g**), un encapsulant (**e**), et un métal en arrière contact (**m**) afin de réduire les pertes par réflexion du rayonnement incident [9].

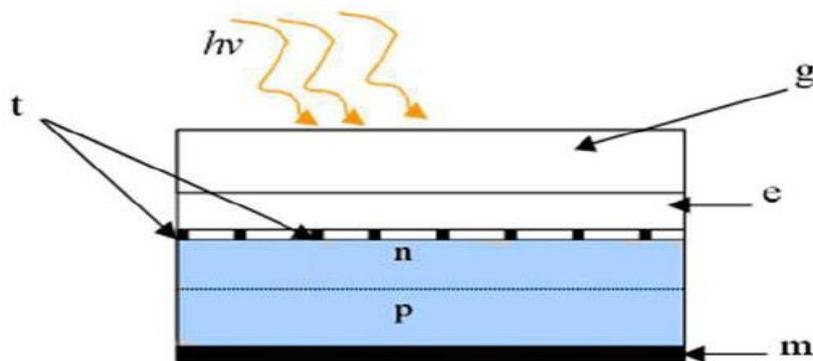


Figure II.3 : un échantillon schématique de la cellule solaire.

### Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Lorsque la cellule est exposée au rayonnement solaire, les photons d'énergie ( $E_{ph} = h\nu$ ) pénétrant dans la cellule solaire transmettent leur énergie aux atomes de la jonction. Si cette énergie est suffisamment élevée, elle peut faire passer les électrons de la bande de valence à la bande de conduction du matériau semi-conducteur et créer ainsi des paires «électron- trou». Les électrons (charges N) et les trous (charges P), sont alors maintenus séparés par un champ électrique qui constitue une barrière de potentiel. Si une charge est placée aux bornes de la cellule, les électrons de la zone N rejoignent les trous de la zone P via la connexion extérieure, donnant naissance à une différence de potentiel et un courant électrique circule (**Figure II.4**) [10].

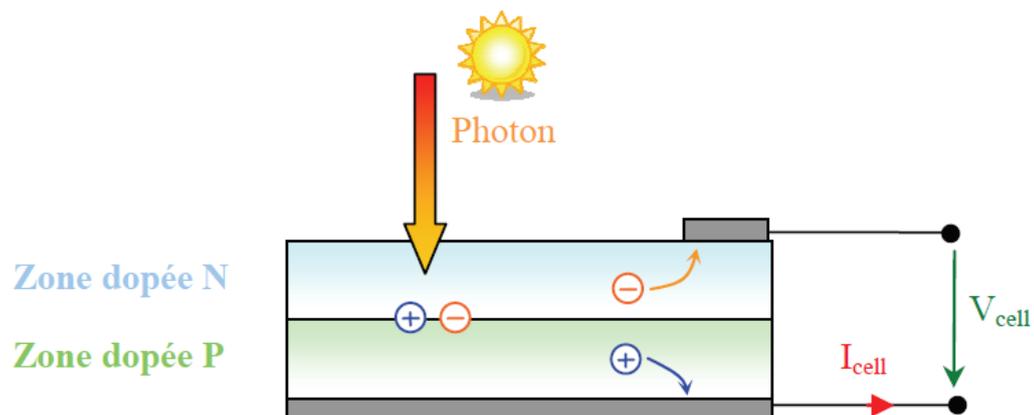


Figure II.4 : Principe de la conversion photovoltaïque.

Il existe différents types de cellules solaires ou cellules photovoltaïques. Chaque type de cellule est caractérisé par un rendement et un coût qui lui sont propres. Cependant, quelque soit le type, le rendement reste assez faible : entre 8 et 23 % de l'énergie que les cellules reçoivent.

Actuellement, il existe trois principaux types de cellules [11].

- a- Les cellules monocristallines
- b- Les cellules poly cristallines
- c- Les cellules amorphes

### II.3.3 Le module photovoltaïque

Pour produire plus de puissance, les cellules solaires sont assemblées pour former un module (**Figure II.5**). Les connections en série de plusieurs cellules augmentent la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle accroît le courant en conservant la tension [12].



Figure II.5 : Module photovoltaïque.

#### Caractéristiques d'un module

Les modules sont généralement des parallélépipèdes rectangles rigides minces (quelques centimètres d'épaisseur), dont les caractéristiques suivantes [13]:

- a- Courant de court-circuit,  $I_{cc}$  : Courant débité par un module en court-circuit pour un éclairage "plein soleil".
- b- Tension à vide,  $V_{co}$  : Tension aux bornes du module en l'absence de tout courant, pour un éclairage " plein soleil ".
- c- Point de fonctionnement optimale,  $P_m$  ( $V_m$ ,  $I_m$ ) : Lorsque la puissance de crête est maximum en plein soleil,  $P_m = V_m \cdot I_m$
- d- La puissance de crête,  $P_c$  : Puissance électrique maximum que peut fournir le module dans les conditions standards ( $25^\circ\text{C}$  et un éclairage de  $1000 \text{ W/m}^2$ ).
- e- Rendement : Rapport de la puissance électrique optimale à la puissance de radiation incidente.
- f- Facteur de forme : Rapport entre la puissance optimale  $P_m$  et la puissance maximale que peut avoir la cellule :  $V_{co} \cdot I_{cc}$ .

g- La caractéristique  $I=f(V)$  : Courbe représentant le courant  $I$  débité par le module en fonction de la tension aux bornes de celui-ci.

Les conditions normalisées de test des panneaux solaires sont caractérisées par un rayonnement instantané de  $1000\text{W/m}^2$  d'une température ambiante de  $25^\circ\text{C}$  et d'un spectre **AM de 1.5**. AM représente l'Air Masse qui est l'épaisseur de l'atmosphère que la lumière doit pénétrer. Ces conditions sont appelées **STC** (Standard Test Conditions) cela correspond à un ensoleillement assez fort.

La (**Figure II.6**) présente la courbe courant-tension d'une cellule photovoltaïque avec les points importants qui la caractérise.

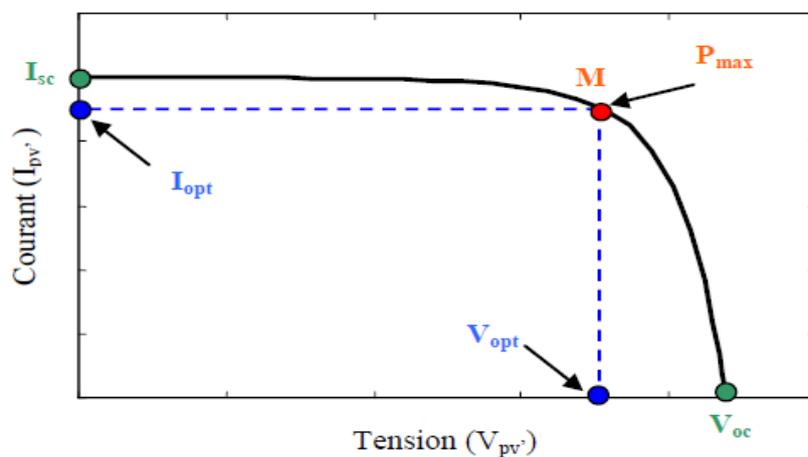


Figure II.6: Courbe courant -tension d'une cellule photovoltaïque [14].

### II.3.4 Le panneau solaire

Le panneau photovoltaïque (**Figure II.7**) se compose de modules photovoltaïques interconnectés en série et/ou en parallèle afin de produire la puissance requise. Ces modules sont montés sur une armature métallique qui permet de supporter le champ solaire avec une orientation et un angle d'inclinaison spécifique.

Le champ photovoltaïque est l'ensemble des panneaux montés en série et en parallèle pour atteindre une tension et un courant plus grands [15].



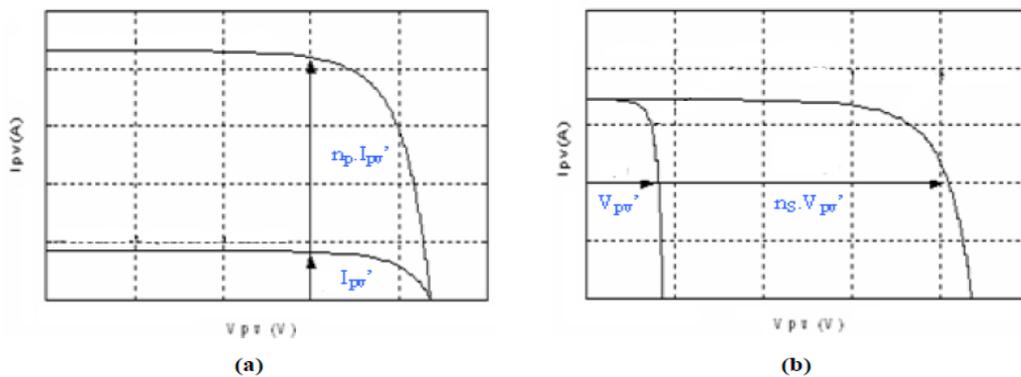
Figure II.7 : Panneau solaire

### II.3.4 Assemblage des cellules photovoltaïques

Pour produire plus de puissance, les cellules solaires sont assemblées pour former un module. Les connections en série de  $N_s$  cellules augmentent la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle de  $N_p$  cellules accroît le courant en conservant la tension (**Figure II.8**). Si toutes les cellules sont identiques et fonctionnent dans les mêmes conditions, nous obtenons le module photovoltaïque qui fournit un courant  $I_{pv}$  sous une tension  $V_{pv}$  [14].

Avec :

$$\begin{cases} I_{pv} = N_p \cdot I'_{pv} \\ V_{pv} = N_s \cdot V'_{pv} \end{cases} \quad (\text{II.1})$$



(a): Groupement parallèle,

(b): Groupement série.

Figure II.8: Caractéristiques de groupement des cellules photovoltaïques [14].

### II.3.5 Modèle électrique d'une cellule photovoltaïque

#### II.3.5.1 Cas d'une cellule idéale

Dans le cas idéal, la cellule d'une jonction PN soumise à l'éclairement photovoltaïque connectée à une charge peut être schématisée par un générateur de courant  $I_{ph}$  en parallèle avec une diode délivrant un courant selon la (**Figure II.9**), qui représente le circuit équivalent d'une cellule solaire e idéale [16].

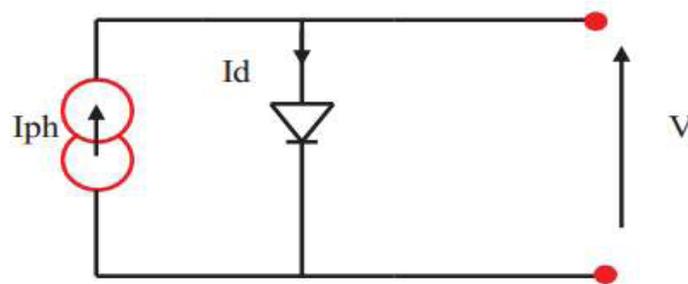


Figure II.9 : Schéma équivalent d'une cellule idéale.

♦ Les équations retenues de ce modèle sont:

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d \quad (II.2)$$

♦ Le courant  $I_{ph}$  est assimilé au courant  $I_{sc}$  avec  $V_{pv} = 0$ , courant de court-circuit obtenu en court ci cuitant la charge.

$$I_{pv} = I_{sc} = \frac{E}{E_{ref}} \quad (II.3)$$

**E**: L'éclairement absorbé par la cellule

**E<sub>ref</sub>**: L'éclairement de référence (1000 w/m<sup>2</sup>)

$$I_d = I_0 \left( e^{\frac{V_d}{V_t}} - 1 \right) \quad (II.4)$$

**I<sub>0</sub>**: Courant de saturation inverse de la diode.

$$I_t = \frac{N.K.T}{q} \quad (II.5)$$

**V<sub>t</sub>**: Tension thermique

**N**: Facteur d'idéalité de la photopile

**K**: Constant de Boltzmann (1,38064852.10<sup>-23</sup>J/K)

**q**: Charge de l'électron (1,6.10<sup>-19</sup>C)

#### II.3.5.2 Cas d'une cellule réelle

Le schéma équivalent de la cellule photovoltaïque réelle tient compte d'effets résistifs parasites dues à la fabrication et représenté sur la (**Figure II.10**).Ce schéma équivalent est constitué d'une diode (d) caractérisant la jonction, une source de courant ( $I_{ph}$ ) caractérisant le photo-courant, une résistance série ( $R_s$ ) représentant les pertes par effet Joule, et une

résistance shunte ( $R_{sh}$ ) caractérisant un courant de fuite entre la grille supérieure et le contact arrière qui est généralement très supérieure à ( $R_s$ ) [17].

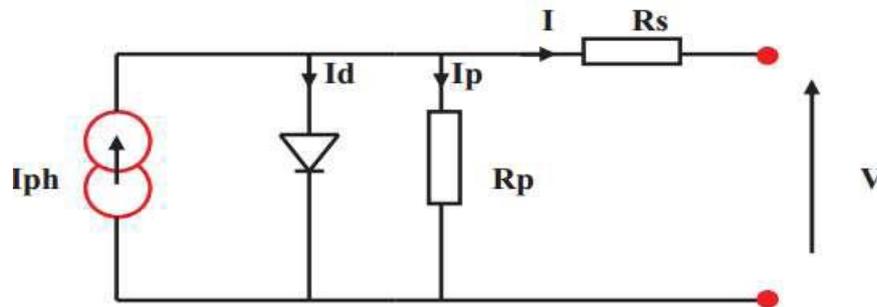


Figure II.10 : Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque réelle.

Dans notre travail, nous avons utilisé le modèle mathématique du module solaire à exponentiel simple.

♦ Le courant de sortie d'une cellule photovoltaïque se met sous la forme mathématique suivante:

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d - I_p \quad (\text{II.6})$$

**$I_{pv}$** : Courant généré par la cellule photovoltaïque

**$I_{ph}$** : Photo courant créé par la cellule (proportionnel au rayonnement incident)

**$I_d$** : Le courant circulant dans la diode.

$$I_d = I_0 (e^{\frac{V_d}{V_t}} - 1) \quad (\text{II.7})$$

$$I_d = I_{0r} \left( \left( \frac{T}{T_n} \right)^3 e^{\left[ \frac{E_g}{B K} \left( \frac{1}{T_n} - \frac{1}{T} \right) \right]} - 1 \right) \quad (\text{II.8})$$

**$I_{0r}$** : est le courant de court-circuit de la cellule à la température de référence

**$T_n$**  et l'éclairement de référence

**$T$** : Température de la jonction des cellules PV [°K]

**$T_n$** : Température de référence des cellules PV [°K]

**$B$** : facteur d'idéalité de la jonction

**$K$** : constante de Boltzmann (  $1.38064852 \cdot 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$  )

**$E_g$** : Énergie de gap (1.1ev)

**$R_s$** : résistance série symbolise la résistance de masse du matériau semi-conducteur, ainsi les résistances ohmiques et de contact au niveau des connexions des cellules

**$V_{pv}$** : La tension de sortie

**$I_p$** : Le courant circulant dans la résistance  $R_p$

**$R_p$** : Résistance shunt représente les fuites autour de la jonction p-n dues aux impuretés et sur les coins de cellule.

$I_{pv}$  devient:

$$I = I_{ph} - I_0 \left[ e^{\frac{V_{pv} + I_{pv} R_s}{V_t}} - 1 \right] - \frac{V_{pv} + I_{pv} R_s}{R_p} \quad (II.9)$$

### II.3.6 Influence de l'irradiation sur les paramètres du module PV

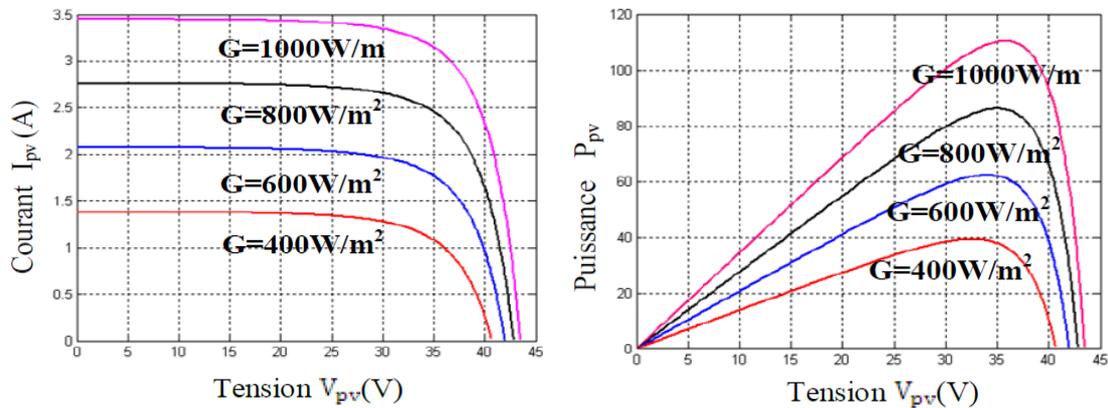


Figure II.11 : Caractéristique courant –tension et puissance –tension d’un module photovoltaïque pour différent niveau d’irradiation ( $G=400, 600, 800, 1000 \text{ W/m}^2$ ) et  $T_c=25^\circ\text{C}$  [18].

Les caractéristiques des (figures II.11) montrent bien la variation du courant du module photovoltaïque ainsi que de la puissance en fonction de la tension pour différents niveaux d’éclairage. On peut voir aussi sur le graphe, l’existence de maximum sur les courbes de puissance. Ces points correspondent aux points de puissances maximales lorsque l’irradiation varie pour une température donnée. On peut voir que le courant de court-circuit  $I_{sc}$  varie proportionnellement à l’irradiation. De même, la tension de circuit ouvert  $V_{oc}$  (à vide) varie très peu.

### II.3.7 Influence de la température sur les paramètres du module PV

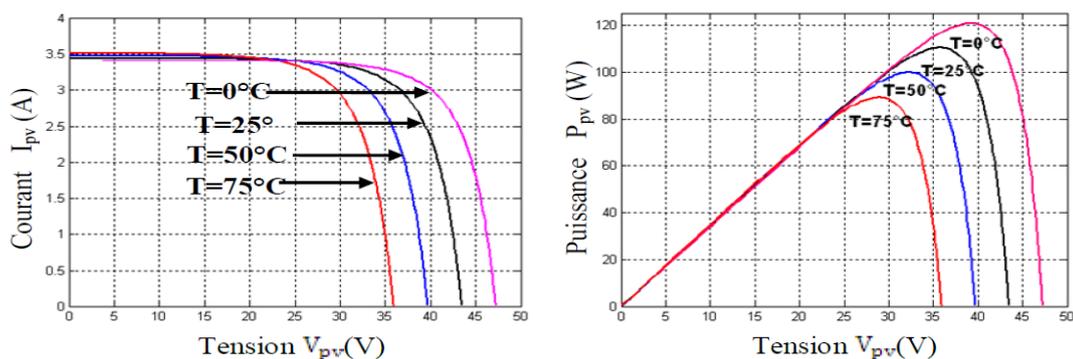


Figure II.12 : Caractéristique puissance –tension et courant –tension d’un module photovoltaïque pour une variation de température ( $T_c=0, 25, 50, 75^\circ\text{C}$ ) et  $G = 1000\text{W/m}^2$  [18].

Suivant les (Figures II.12), on constate que lorsque la température croit à irradiation constante la tension de circuit ouvert  $V_{oc}$  décroît fortement et le courant de court circuit  $I_{sc}$  augmente légèrement.

### II.3.8 Protections d'un générateur photovoltaïque

Lors que nous concevons une installation photovoltaïque, nous devons assurer la protection électrique de cette installation afin d'augmenter sa durée de vie en évitant notamment des pannes destructrices liées à l'association des cellules et de leur fonctionnement en cas d'ombrage.

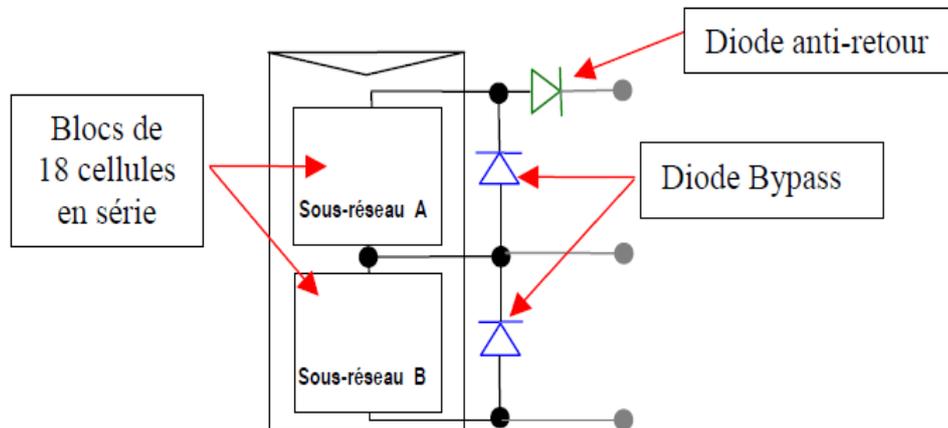


Figure II.13: Schématisation d'un GPV élémentaire avec diodes by-pass et diode anti-retour[19].

#### II.3.8.1 Protection des plusieurs GPV connecté en parallèle

Dans ce cas, le risque est que des chaînes de cellule éclairées débitent dans des chaînes ombrées ou que la charge ne se décharge à travers le générateur. On dispose pour cela de diodes anti-retour mises en série avec le groupe photovoltaïque (de blocage) comme le montre la (Figure II.13). Cette diode est indispensable quand la charge du module est une batterie. Cette diode évite que la batterie ne débite sur le module pendant la nuit.

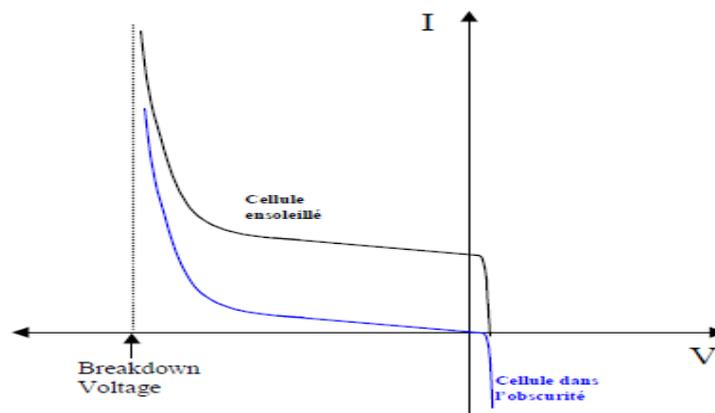


Figure II.14: Caractéristiques I-V d'une cellule solaire ensoleillée et dans l'obscurité[19].

### II.3.8.2 Protection des plusieurs GPV connecté en série

La mise en série de cellules PV implique que le courant traversant chaque cellule soit le même que celui que l'ensemble du GPV associé. Ainsi, quand un GPV ou une partie de ce GPV (par exemple, une cellule) est ombrée, cette partie sous-irradiée du module peut se trouver polarisée en inverse et devenir réceptrice, dissipant alors la puissance ne pouvant pas être extraite. Cette dissipation a comme effet immédiat un échauffement de la zone sous irradiée.

Cet échauffement local peut donner lieu à des « points chauds » qui peuvent endommager la zone affectée et dégrader définitivement les performances du module PV entier.

Pour éviter ces effets indésirables, des diodes by-pass sont associées à un sous-réseau de cellules .

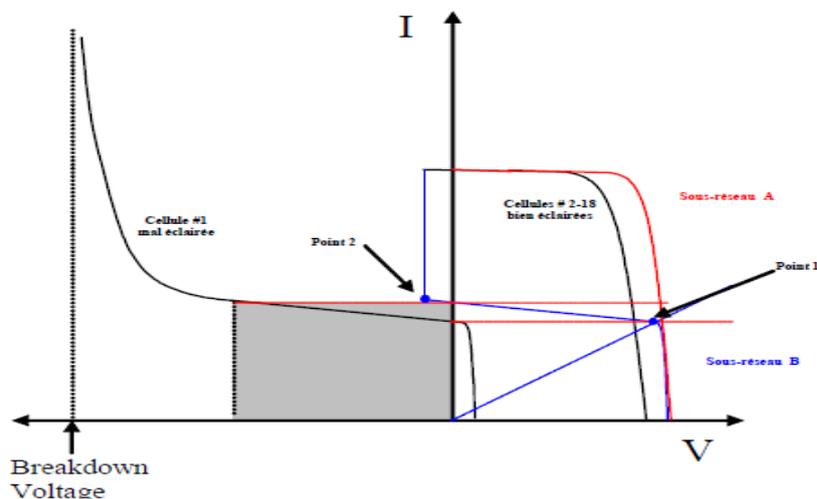


Figure II.15: Caractéristiques I-V des sous-réseaux A et B du module PV dans une situation d'irradiation non homogène[19].

## II.4 Stockage d'énergie photovoltaïques

### II.4.1 Le stockage de l'énergie électrique

Le stockage de l'énergie est l'action qui consiste à placer une quantité d'énergie en un lieu donné pour permettre son utilisation ultérieure. Il y a nécessité de stockage chaque fois que la demande énergétique est décalée dans le temps vis-à-vis de l'apport énergétique solaire.

En effet :

- La demande énergétique est fonction de la charge à alimenter, les appareils utilisés fonctionnent soit en continu, soit à la demande ;

• L'apport énergétique solaire est périodique (alternance jour/nuit, été/hiver) et aléatoire (conditions météorologiques).

Ce décalage entre la demande et l'apport énergétique nécessite un stockage d'énergie. Les différents moyens actuellement utilisables sont : les batteries, les piles à combustibles, les super-condensateurs...

Le système de stockage le plus couramment utilisé dans les systèmes photovoltaïques est la batterie d'accumulateurs électrochimiques.

#### II.4. 2 Les batteries dans les systèmes photovoltaïques

Les systèmes photovoltaïques exigent habituellement des batteries qui peuvent être chargées pendant le jour et déchargées durant la nuit. Ces batteries doivent fonctionner ainsi pendant des années sans marquer plus qu'une détérioration minimale de leurs rendements, tout en satisfaisant la demande, les jours où il n'y a que peu ou pas de soleil. Dans un système photovoltaïque, la batterie remplit trois fonctions importantes [20]:

- **Autonomie** : nombre de jours pendant lesquels la batterie doit fournir la puissance requise sans être recharger ni subir de dommage.

- **Courant de surcharge** : une batterie permet de fournir un courant de surcharge pendant quelque instant, c'est à dire un courant plus élevé que celui que peut fournir le champ PV.

- **Stabilisation de la tension** : une batterie permet de fournir une tension constante, en éliminant les écarts de tension du champ PV et en permettant aux appareils un fonctionnement à une tension optimisée.

Les propriétés électriques suivantes sont généralement employées pour caractériser une batterie:

##### a- Capacité de batterie :

La capacité d'une batterie représente la quantité de courant qui peut être extraite d'une électrode via l'électrolyte et matériaux actifs des électrodes sur une charge. Elle est exprimée en Ampère heure ( $1\text{Ah}=3600\text{ Coulomb}$ ) ou en Wattheure Wh ( $1\text{Wh} = 3600\text{ J}$ ).

##### b- Tension de batterie :

La **figure (II.16)** reprend l'évolution de la tension durant la charge d'une cellule de batterie plomb acide. La charge théorique d'une batterie au plomb s'effectue donc en trois phases.

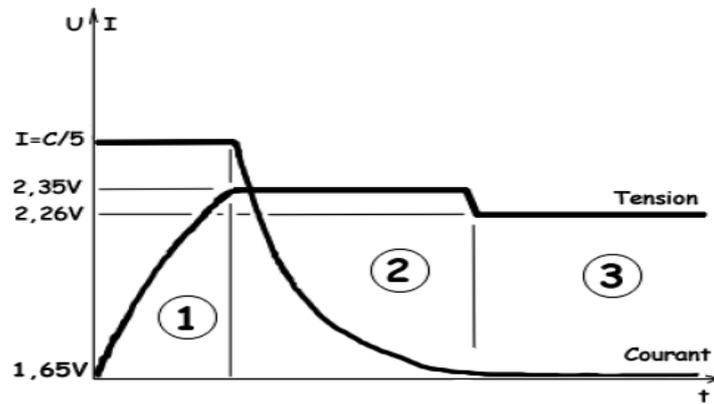


Figure II.16: Evolution de la tension et du courant avec le temps durant la charge d'un élément plomb acide.

- **Phase 1** : Le courant est limité à un taux d'environ  $1/5$  de la capacité nominale. La tension augmente petit à petit jusqu'à atteindre son seuil maximum régulé à  $2,35\text{V}/\text{élément}$ .

- **Phase 2** : La tension de charge est régulée à  $2,35\text{V}/\text{élément}$ , le courant de charge diminue alors jusqu'à devenir inférieur à  $C/100$ . La tension ne doit pas rester au-dessus de  $2,26\text{V}$  plus longtemps. La batterie est chargée à l'issue de cette phase.

- **Phase 3** : Une fois la batterie chargée, on passe en mode charge d'entretien (floating) pour la maintenir à  $100\%$  de charge. La tension alors appliquée à la batterie sera autour de  $2,26\text{V}/\text{élément}$ .

#### c- La recharge de batterie :

La recharge appropriée d'une batterie (dans le cas de batterie plomb acide) devient prépondérante pour obtenir une durée de vie et des performances optimales quelque en soit les conditions d'utilisation de cette batterie. De plus, il existe des exigences techniques telles que la fiabilité et la longévité. Plusieurs méthodes de charge existent, nous pouvons citer : charge à courant constant, charge à tension constante, et charge rapide.

#### d- L'auto décharge :

Même lorsque la batterie ne débite pas, sa capacité a tendance à diminuer lentement. Cet effet est connu sous le nom d'auto décharge. Celle-ci peut résulter de plusieurs causes [21].

En premier lieu, la densité d'acide diminue au cours du temps pour des batteries non hermétiques. Elle est principalement due à la présence de petites impuretés métalliques sur les électrodes, conduisant à la formation de micro piles et la génération d'un faible courant interne.

e- La durée de vie de la batterie :

La durée de vie d'une batterie solaire s'évalue en nombre de cycles de charge/décharge qu'elle est capable de supporter. La durée de vie moyenne des batteries de tous types a considérablement augmentée lors des deux dernières décennies grâce à l'utilisation de nouvelles technologies de fabrication et à l'emploi de nouveaux matériaux.

Parmi les technologies des batteries on trouve les batteries : Plomb-acide, nickel-cadmium (Ni-Cd), Lithium-ion, Nickel-hydrure métallique ou Ni-MH, Nickel-Zinc...

### II.4.3 Modèle électrique de la batterie

#### II.4.3.1 Modèle idéal de la batterie

Dans ce modèle la batterie est représentée par une simple source de tension comme un circuit équivalent et les paramètres internes sont ignorés.



Figure II.17 : Modèle idéal batterie.

#### II.4.3.2 Modèle simplifié de la batterie

Ce modèle peut prévoir et stocker l'énergie, il ne tient pas compte des variations de l'impédance interne de la batterie en fonction de l'état de charge, de la température et de la durée de vie. Ce modèle est applicable quand l'état de charge de batterie a moins d'importance [22].

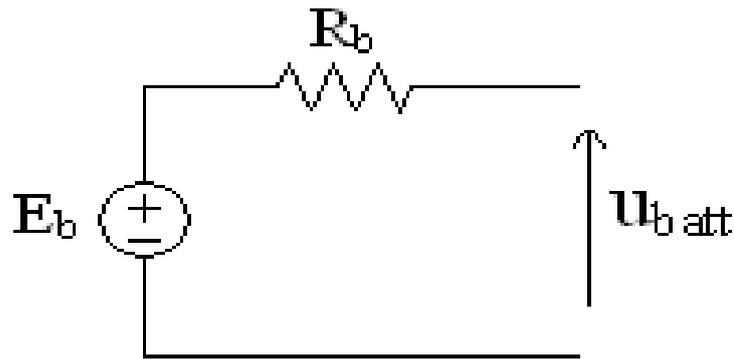


Figure II.18 : Modèle simplifié de la batterie

#### II.4.3.3 Modèle modifié de la batterie

Ce modèle amélioré de la batterie est basé sur la configuration donnée sur la (figure II.18). Dans cette modèle, l'état de charge est pris en considération, la tension  $E_b$  et la résistance interne  $R_b$  sont fonction de l'état de charge.

$$E_b = E_0 - K \cdot EDC \quad (II.10)$$

$$R_b = R_{oc} - KR \cdot EDC \quad (II.11)$$

Tell que:

$E_0$ : tension en pleine charge.

$R_{oc}$  : résistance interne de batterie initiale calculée quand la batterie est complètement chargée.

$EDC$  : Etat de charge,

$K$  et  $KR$  : sont des coefficients qui peuvent être calculés expérimentalement.

#### II.4.3.4 Le modèle RC de la batterie

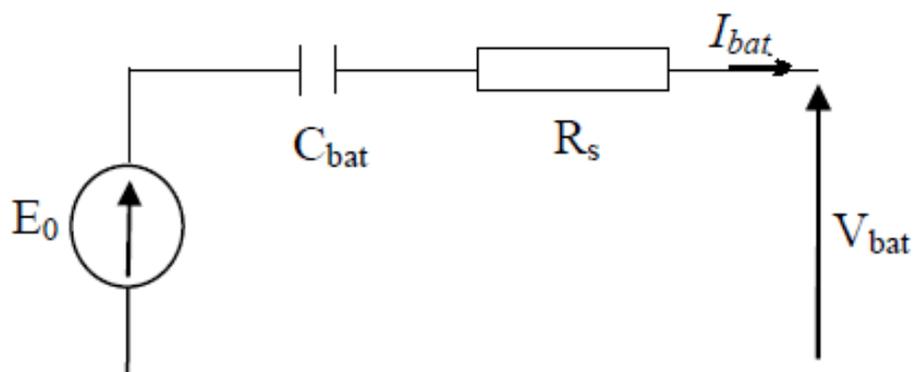


Figure II.19: Modèle RC de la batterie.

La tension de batterie est donnée par :

$$V_{\text{batt}} = E_0 - R_s \cdot I_{\text{batt}} - V_{\text{cbatt}} \quad (\text{II.12})$$

- On définit également l'état de charge (EDC) de la batterie par :

$$\text{EDC}(\%) = 100 \cdot \left(1 - \frac{Q}{C_{\text{batt}}}\right) = 100 \cdot \left(1 - \frac{I_{\text{batt}} \cdot t}{C_{\text{batt}}}\right) \quad (\text{II.13})$$

$C_{\text{batt}}$  : la capacité (Ah) nominale de la batterie .

$Q$  : la quantité de charge manquante par rapport à  $C_{\text{batt}}$  .

## II.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous présentons les différents composants d'un système photovoltaïque, on a étudié le principe de fonctionnement des cellules photovoltaïques, les paramètres, caractéristiques, les différents types des systèmes photovoltaïques, les types de stockage de l'énergie photovoltaïque les différentes batteries et leurs caractéristiques.

**CHAPITRE III :**  
**LE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE**

### III.1 Introduction

Dans les régions éloignées, Le pompage d'eau à l'aide de l'énergie solaire photovoltaïque est une solution bien adaptée pour ces régions. En effet, la majorité de ces régions sont très ensoleillées et cette énergie a l'avantage d'être présente et propre contrairement à l'énergie conventionnelle qui présente les contraintes de l'éloignement du réseau électrique et les contraintes du transport du combustible et les entretiens périodiques pour les moteurs diesels.

Plusieurs recherches ont traitées ce sujet, tels que le pompage d'eau d'irrigation par l'énergie solaire, dimensionnement et optimisation technico-économique d'un système d'énergie solaire photovoltaïque avec système de stockage (batteries), D'autres travaux sur le dimensionnement de systèmes de pompage photovoltaïque(PV) ont été publiés [23].

### III.2 Quelques notions hydrauliques

Les stations de pompage sont constituées d'une ou plusieurs pompes qui aspirent des volumes d'eau et les refoulent sous une certaine pression dans les canalisations du réseau.

Les paramètres nécessaires pour dimensionner la pompe solaire sont le débit d'exploitation et la hauteur à laquelle la pompe devra refouler. Celle-ci est majorée par des pertes de charges et de la pression de refoulement dans la conduite [24].

#### III.2.1 Le débit Q

Le débit fourni par une pompe est la quantité d'eau qu'elle refoule durant un intervalle de temps donné. En pompage solaire, le débit est souvent exprimé en m<sup>3</sup> par jour.

#### III.2.2 La hauteur manométrique totale HMT

C'est la différence de pression en mètres de colonne d'eau entre les orifices d'aspiration et de refoulement. Cette hauteur peut être calculée comme suit :

$$\mathbf{HMT = Hg + Pc} \quad (\text{III.1})$$

Avec :

Hg : Hauteur géométrique entre la nappe d'eau pompée (niveau dynamique) et le plan d'utilisation .

PC= Ja + Jr : Perte moyenne de charges et représentant une perte d'énergie dans les conduites d'eau.

Jr: Perte de charges dans les conduites de refoulement.

Ja: Perte de charges dans les conduites d'aspiration, valant zéro dans le cas de pompes submersibles car il n'y a pas de conduite de refoulement dans ce cas.

Elle est calculée par la formule suivante :

$$H_g = H_a + H_r \quad (\text{III.2})$$

$H_a$ : Hauteur d'aspiration .

$H_r$ : Hauteur de refoulement .

$P_c$  : Pertes de charge produites par le frottement de l'eau sur les parois des conduites. Elles s'expriment en mètres d'eau et elles sont fonction de la distance des conduites ( $D$ ), de leur diamètre et du débit de la pompe.

**Rabatement** : La différence entre le niveau dynamique et le niveau statique.

**Rabatement maximal** : est le rabatement maximal acceptable avant de stopper la pompe

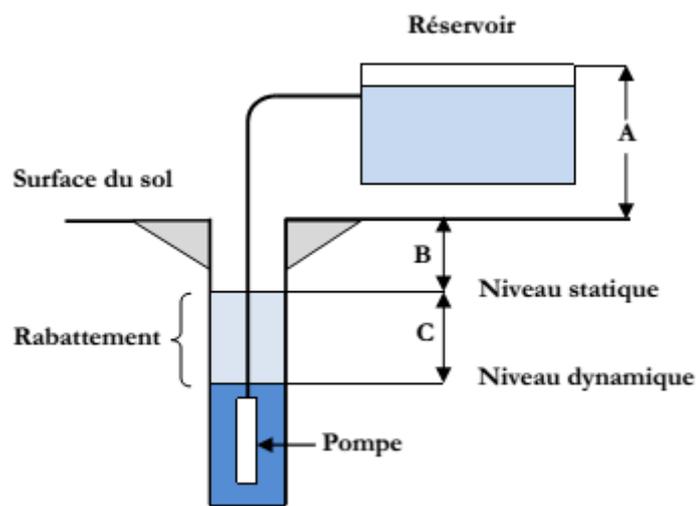


Figure III.1 : Hauteur manométrique total.

### III.3 Méthodes de pompages PV

Pour pomper l'eau avec un système photovoltaïque, deux techniques sont possibles :

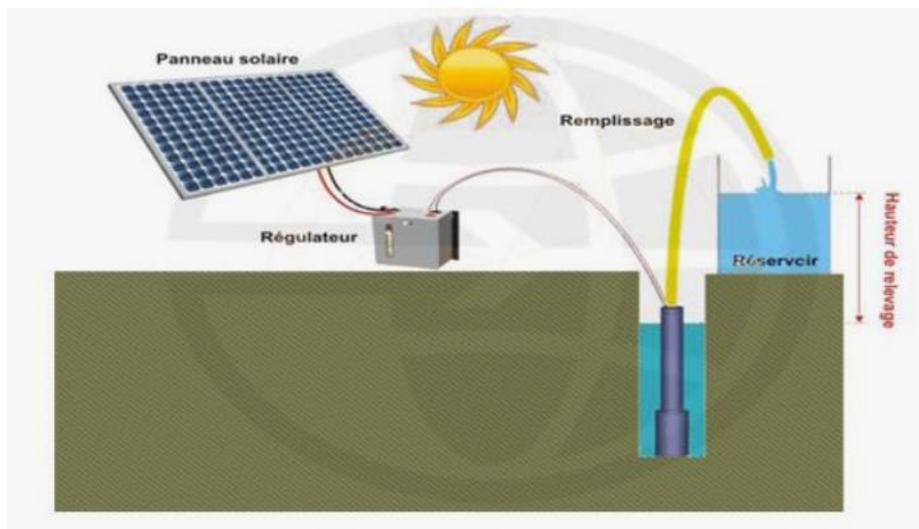
Dans la première technique, l'énergie solaire est consommée en « temps réel » ; On parle alors d'un « pompage au fil du soleil ». Cette solution nécessite un stockage de l'eau dans un réservoir (l'eau pompée pendant la journée est stockée afin d'être utilisée plus tard, le soir par exemple).

La deuxième méthode consiste à utiliser un stockage de l'énergie, cette fois-ci, via des batteries. L'énergie stockée la journée peut être utilisée plus tard pour pomper l'eau [11].

#### III.3.1 Pompage « au fil du soleil »

La méthode de pompage « au fil du soleil » permet d'avoir un système photovoltaïque plus simple, plus fiable et moins coûteux qu'un système utilisant des batteries pour stocker de l'énergie d'abord. En effet, dans cette première technique, c'est l'eau elle-même qui est pompée et stockée lorsqu'il y a suffisamment d'ensoleillement. On parle alors d'un stockage

hydraulique. L'eau est stockée dans un réservoir à une hauteur au-dessus du sol pour qu'elle soit, au besoin ensuite, distribuée par gravité. Il faut bien signaler ici que le réservoir d'eau peut souvent être construit localement. En plus, il ne requiert pas un entretien complexe et peut être réparé localement. La capacité de stockage peut varier d'un à plusieurs jours selon les modèles.



. Figure III.2: pompage au fil du soleil

### III.3.2 Pompage avec batteries

La méthode de pompage d'eau en utilisant l'énergie stockée sur des batteries peut avoir l'avantage de garantir une stabilité d'alimentation des équipements (débit régulier), et la possibilité de pomper lorsque le soleil est absent. L'énergie emmagasinée peut être utilisée aussi pour d'autres besoins ultérieurs. L'inconvénient majeur, voire handicapant, de cette technique est qu'elle comporte plusieurs composants qui influent négativement sur la fiabilité et le coût global du système. En effet, les batteries sont fragiles et sont souvent les premiers éléments qui auront besoin d'être changés. Elles nécessitent, en outre, un entretien constant et un contrôle rigoureux de leur charge et décharge. Les contrôleurs utilisés pour régulariser la charge et la décharge des batteries vieillissent rapidement et peuvent s'avérer non fiables. Les batteries introduisent également un certain degré de perte de rendement d'environ 20% à 30% de la production d'énergie.

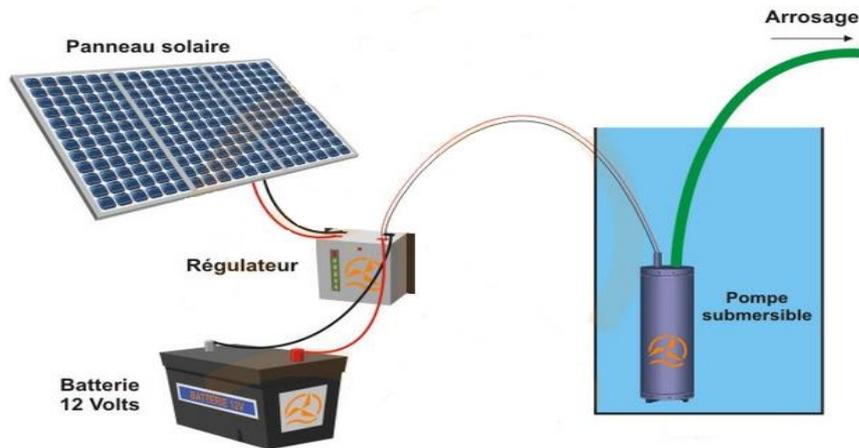


Figure III.3: Pompage photovoltaïque avec stockage d'énergie.

### III.4 modélisation des composants d'un système de pompage PV

Un système de pompage solaire est généralement constitué de [25]:

- le générateur photovoltaïque,
- le groupe moteur-pompe,
- l'électronique de commande et de contrôle,
- la partie stockage,

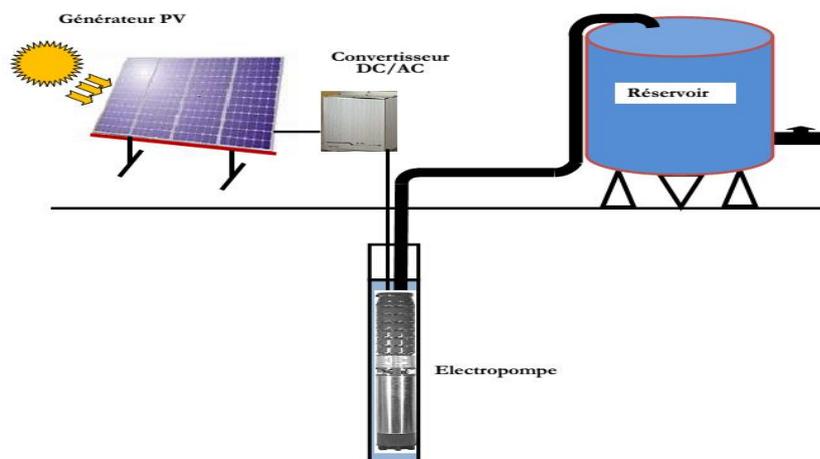


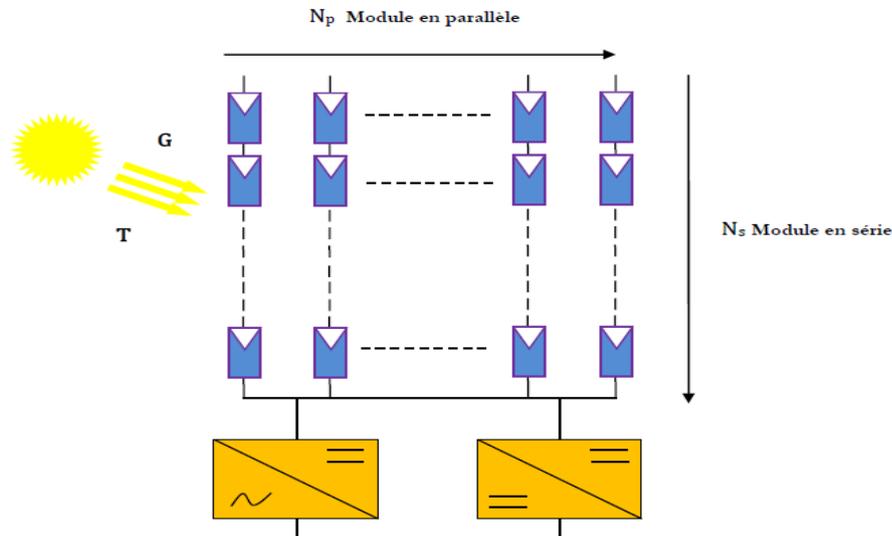
Figure III.4: Les composants d'un système de pompage PV.

#### III.4.1 Le générateur photovoltaïque

Le générateur photovoltaïque est la source d'énergie électrique qui alimente un système de pompage photovoltaïque. Pour obtenir des puissances supérieures, il est nécessaire d'associer en série et en parallèle plusieurs modules. Dans certaines applications, il est possible d'utiliser un ou plusieurs modules de quelques dizaines de cellules. Pour des utilisations plus importantes, les générateurs PV sont groupés dans un champ de plusieurs modules (quelques centaines).

La courbe de fonctionnement I-V d'une association sérié-parallèle de modules solaires aura une évolution de fonctionnement semblable à la courbe de la cellule de base, la modélisation de la cellule photovoltaïque est déjà étudiée dans le **chapitre II**.

Les performances d'un générateur PV sont déterminées à partir de ces courbes.



.Figure III.5: Groupement de  $N_s$  module en série et  $N_p$  en parallèle

#### Association des modules en série :

Les équations pour un groupement en série sont donné par :

$$V_{ms} = \sum_n^1 V_n = V_1 + V_2 + \dots + V_n \quad (\text{III.3})$$

$$I_{ms} = I_1 = I_2 = \dots = I_n \quad (\text{III.4})$$

#### Association des modules en parallèle :

Les équations pour un groupement en parallèle sont donné par :

$$I_{mp} = \sum_n^1 I_n = I_1 + I_2 + \dots + I_n \quad (\text{III.5})$$

$$V_{ms} = V_1 = V_2 = \dots = V_n \quad (\text{III.6})$$

En utilisant les équations ci-dessous, pour un groupement mixte formé à partir d'un nombre  $N_s$   $n$  module en série et  $N_p$   $m$  module en parallèle [26] :

$$V_{out} = \sum_n^1 V_n = V_1 + V_2 + \dots + V_n \quad (\text{III.7})$$

$$I_{out} = \sum_n^1 I_m = I_1 + I_2 + \dots + I_m \quad (\text{III.8})$$

La puissance de La sortie du générateur PV ( $P_{out}$ ) est écrite par l'équation suivante:

$$P_{out} = \sum_n^1 V_n + \sum_n^1 I_m = (V_1 + V_2 + \dots + V_n)(I_1 + I_2 + \dots + I_m) \quad (\text{III.9})$$

### III.4.2 Le groupe moto-pompe

#### III.4.2.1 La pompe

##### III.4.2.1.1 Classifications des pompes

Selon les applications et les différentes sources d'eau (puits, forage, pompage de rivière, etc.) plusieurs types de pompes peuvent être utilisés dans les systèmes de pompage.

Parmi ces pompes on trouve ; les turbos-pompes et les pompes volumétriques :

##### *a- Turbopompe*

Une turbopompe est un appareil dans lequel l'énergie transmise au liquide est une énergie principalement cinétique, qui lui est communiquée par l'intermédiaire d'un rotor, mais n'est pas en relation invariable avec le déplacement du rotor ; d'autre part, elle n'est pas distribuée uniformément dans tout le liquide.

##### ➤ Pompes centrifuges

Le mouvement du liquide est rigoureusement normal à l'axe, car il pénètre au centre de la roue et est projeté vers l'extérieur par l'action combinée de la force centrifuge et des aubes du rotor. La volute du corps transforme la vitesse acquise par le liquide en pression [27].

##### III.4.2.1.2 Caractéristiques de la pompe centrifuge

##### *a- Caractéristiques débit-vitesse:*

Le débit de cette pompe est proportionnel à la vitesse de rotation du moteur. Toutefois il faut une vitesse minimale à une  $H_m$  donnée pour obtenir un débit [28] .

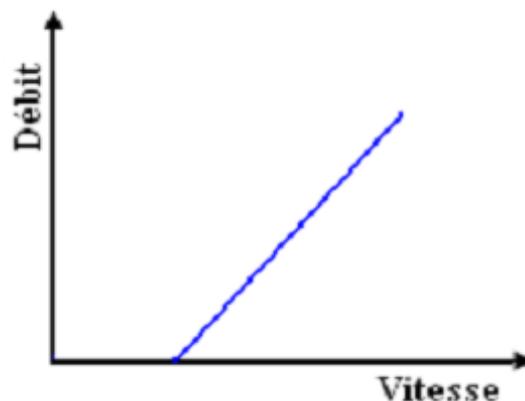


Figure III.6 : Caractéristiques débit-vitesse d'une pompe centrifuge [28] .

##### *b- Caractéristiques couple-vitesse [25, 28] :*

la pompe centrifuge oppose un couple résistant  $C_r$  :

$$C_r = K_r \omega^2 + C_s \quad (\text{III.10})$$

Avec :

$k_r$  : coefficients de proportionnalité  $[(\text{Nm}/\text{rad} \cdot \text{s}^{-1})^2]$

$C_s$  : le couple statique, très petite.

$\omega$  : la vitesse.

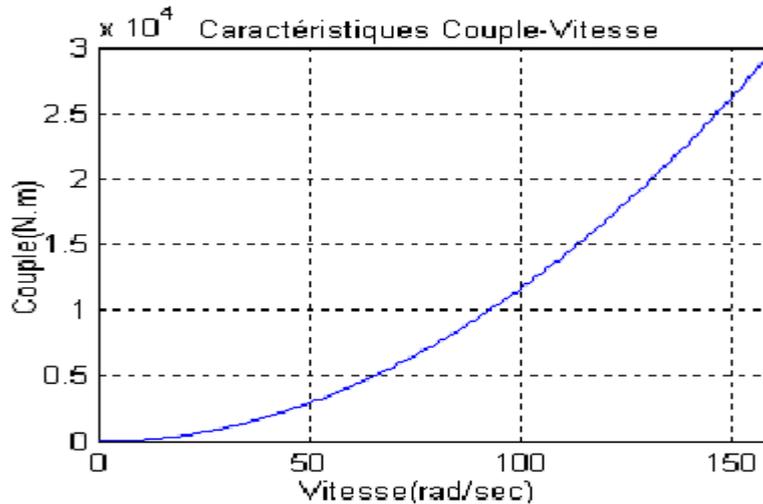


Figure III.7 : Caractéristiques couple - vitesse d'une pompe centrifuge [25,28].

L'équation de puissance mécanique de la pompe est aussi déterminée en fonction de la vitesse est donnée par la relation suivante :

$$P_{mec} = K_r \omega^3 \quad (\text{III.11})$$

c- Caractéristiques débit-hauteur :

La courbe débit-hauteur, exprime les variations des différentes hauteurs de relèvement en fonction de débit.

Les constructeurs sont en mesure de fournir au client les courbes  $Q(\text{HMT})$  maximale et minimale correspondant aux diamètres maximaux et minimaux possibles de la roue [29].

Si la charge de moteur est une pompe émergée monocellulaire à roue radiale. Elle est caractérisée par un modèle qui sert à déterminer la dépendance de la hauteur manométrique totale HMT en fonction du débit  $Q$ .

En prenant comme paramètre la vitesse de rotation du moteur, le modèle utilisé est identifié par l'expression de "PELEIDER-PETERMAN "

$$\text{HMT} = K_0 \omega^2 - K_1 \omega Q - K_2 \omega Q^2 \quad (\text{III.12})$$

Avec :  $k_0, k_1, k_2$  : des constantes propre de la pompe donnée par le constructeur.

$\omega$  : La vitesse (rad/sec)

HMT: la hauteur (mètre)

Q : débit (l/min)

La courbe HMT(Q) comme indiquée sur la (**Figure III.8**), est une parabole. Le point de rencontre de la courbe HMT(Q) avec l'axe des ordonnées est le point à débit nul. C'est le point à vanne fermée ou encore point de barbotage.

Le point de fonctionnement de la pompe est le point d'intersection des deux courbes :

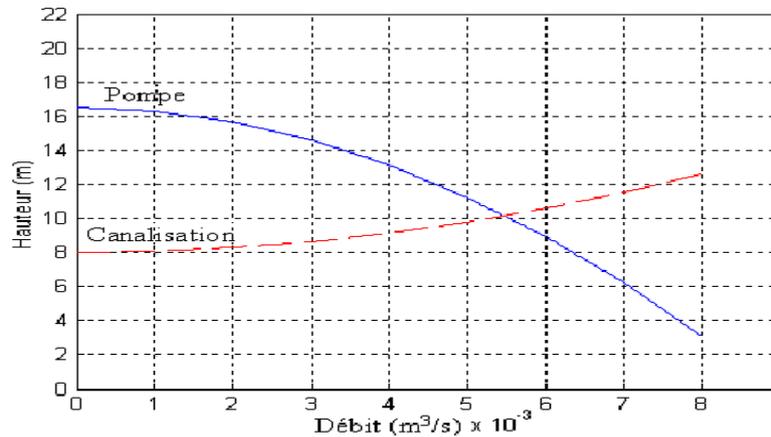


Figure III.8: Caractéristiques de la pompe HMT(Q) et de la canalisation [29].

d- Caractéristique de rendement :

Pour les groupes électropompes (pompe moteur), les fabricants donnent généralement la courbe du rendement, comme on peut tracer la courbe de rendement hydraulique en utilisant la formule [30]:

$$\eta_h = \frac{P_h}{P_{ab}} \quad (\text{III.13})$$

Avec :  $P_h = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_{mt}$

$\rho$  : La masse volumique de l'eau étant de 1000kg/m<sup>3</sup>.

$g$  : Accélération de la pesanteur (9,81m<sup>2</sup>/s).

Q : Débit d'eau.

H<sub>mt</sub> : Hauteur manométrique totale.

P<sub>h</sub>: Puissance fournie par le moteur.

Généralement le rendement maximal du groupe motopompe ne dépasse pas 72%.

Le schéma de (**Figure III.9**) présente les valeurs de rendement d'une pompe :

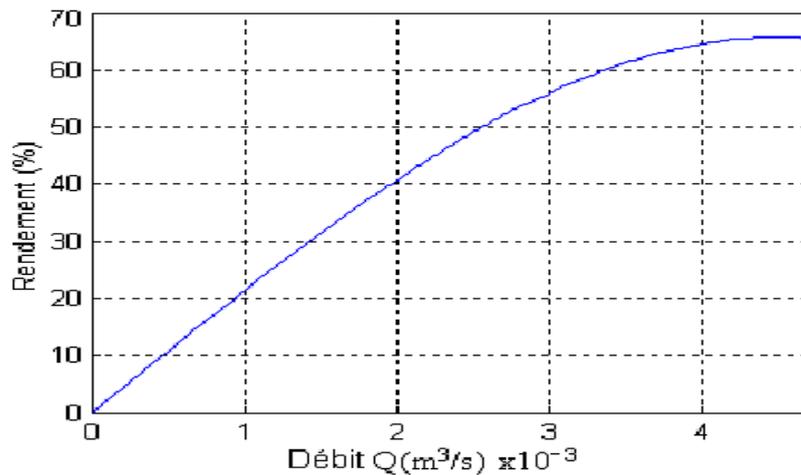


Figure III.9 : Caractéristiques de rendement de la pompe centrifuge [32] .

### III.4.2.2 Le moteur

#### III.4.2.2.1 Moteur à induction

La pompe nécessite une énergie mécanique en entrée pour fonctionner. Cette énergie mécanique est fournie par un moteur.

Généralement, trois types de moteurs sont utilisés dans les systèmes de pompage :

- ✓ Les moteurs à courant continu.
- ✓ Les moteurs à courant alternatif (asynchrones).
- ✓ Les moteurs à courant continu, sans balais, à commutation électronique (Brushless permanent magn et DC motors) [30].

Les critères qui permettent d'établir le choix le plus judicieux du moteur sont les suivants:

- Bon rendement.
- Souplesse de fonctionnement.
- Robustesse du matériel afin de limiter au maximum l'entretien et les risques de pannes.
- Fiabilité et autonomie de l'installation.
- Faible puissance au démarrage.

#### Structure du moteur asynchrone

La classification des pièces dans la machine tournante se fait selon les trois grandes fonctions réalisées : électrique, magnétique et mécanique.

**a- Le stator :** Partie fixe constitué par la carcasse du moteur sur laquelle est montées trois enroulements (bobines) parcourus par des courants triphasés et possède p paires de pôles. Les enroulements sont décalés de  $120^\circ$  entre eux.

Les courants alternatifs dans le stator créent un champ magnétique tournant à la vitesse de synchronisme, qui est la vitesse angulaire du champ magnétique tournant. Elle s'exprime en « rad /s », et reliée à la pulsation du courant triphasé et au nombre de paires de pôles du moteur.

La vitesse angulaire de synchronisme  $n_s$  est:

$$n_s = \frac{f}{p} \quad (\text{III.14})$$

$n_s$  : vitesse synchrone de rotation du champ tournant en (rad /s).

P : nombre de paires de pôles du moteur.

f : fréquence des courants alternatifs en rad/s.

**b- Le rotor:** Partie tournante solidaire de l'axe du moteur, n'est pas relié à aucune alimentation. Il en existe deux types :

❖ **Rotor en cage d'écureuil :** constitué des barres métalliques (alliages aluminium pour l'alléger) parallèles sont reliées par deux couronnes de faible résistance. Ce rotor facile à construire présente un faible coût.

❖ **Rotor bobiné :** les barres métalliques forment un enroulement triphasé. Les extrémités de ces enroulements sont soudées à trois bagues.

Des balais frottant sur ces bagues permettent d'accéder au rotor.

Le rotor tourne à la vitesse de rotation  $n_r < n_s$ .

Ces conducteurs sont parcourus par des courants induits : courants de Foucault.

**c- Entrefer :** l'entrefer est l'espace entre le stator et le rotor.

La relation entre la pulsation et la fréquence du courant:

$$\Omega = 2\pi f \quad (\text{III.15})$$

Rappelons également les relations entre vitesse angulaire et fréquence de rotation  $f_s$

$$\text{Si } f_s \text{ est en tr/min} \quad \omega_s = \frac{2\pi f_s}{60} \quad (\text{III.16})$$

$$\text{Si } f_s \text{ est en tr/s} \quad \omega_s = 2\pi f_s \quad (\text{III.17})$$

**Glissement S :** le rotor du moteur tourne toujours un peu moins vite que le champ tournant (vitesse de synchronisme  $n_s$ ). On dit que le rotor « glisse » par rapport au champ tournant.

Le glissement S c'est l'écart relatif entre la vitesse de synchronisme  $n_s$  et sa vitesse réelle  $n_r$ .

Le glissement est défini par:

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} = \frac{\Omega_s - \Omega_r}{\Omega_s} \quad (\text{III.18})$$

$n_s$  : vitesse de rotation de synchronisme du champ tournant (imposé par le réseau) en (tr/s).

$n_r$  : vitesse de rotation du rotor en (tr/s).

$\Omega_s$  : pulsation des courants inducteurs (rad/s).

$\Omega_r$  : pulsation des courants induits (rad/s).

(S est un nombre positif, sans unité et inférieur à 1. On l'exprime en %).

### III.4.3 L'électronique de commande et de contrôle [11]

#### III.4.3.1 Le convertisseur CC/CC (hacheur)

Afin d'extraire à chaque instant le maximum de puissance disponible aux bornes du générateur PV et de la transférer à la charge, la technique utilisée classiquement est d'utiliser un étage d'adaptation entre le générateur PV et la charge. Cet étage joue le rôle d'interface entre les deux éléments en assurant à travers une action de contrôle commandé par son rapport cyclique, le transfert du maximum de puissance fournie par le générateur pour qu'elle soit la plus proche possible de la puissance maximale disponible.

#### III.4.3.2 Le convertisseur CC/CA (onduleur)

La fonction principale de l'onduleur est de transformer le courant continu, produit par les panneaux solaires en un courant alternatif triphasé pour actionner le groupe moteur pompe. L'onduleur fonctionne évidemment avec un circuit de génération des signaux PWM commandé par un circuit de régulation et de protection. Le convertisseur CC/CA assure le transfert optimal de puissance du générateur solaire vers le groupe moteur pompe.

Le rendement de l'onduleur est généralement élevé pour valoriser au mieux l'énergie produite par le générateur. Il est de l'ordre de 95 % au point de fonctionnement nominal.

### III.4.4 La partie stockage

Le stockage d'énergie peut se faire de deux façons: stockage d'énergie électrique ou stockage d'eau dans des réservoirs. Cette dernière méthode est plus pratique, mais certaines applications nécessitent le stockage de l'énergie électrique dans des accumulateurs comme le système d'irrigation par pivot, la modélisation de cette partie déjà étudiée au chapitre II.

### III.5 Dimensionnement de l'installation de pompage PV

Les différentes étapes pour le dimensionnement d'un système de pompage sont :

- Evaluation des besoins en eau
- Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire
- Calcul de l'énergie électrique quotidienne requise
- Détermination de l'énergie solaire disponible
- Choix des composants

#### III.5.1 Evaluation des besoins en eau

La détermination des besoins en eau pour la consommation d'une population donnée dépend essentiellement de son mode de vie, son environnement et les conditions climatiques de chaque région.

Les besoins d'eau pour l'irrigation dépendent du type de culture, des facteurs météorologiques comme la température, l'humidité, la vitesse du vent, l'évaporation, l'aspiration du sol, la saison de l'année considérée et de la méthode d'irrigation. Cependant, il est important de se baser sur la pratique et l'expérience locale.

#### III.5.2 Energie hydraulique quotidienne requise

Une fois les besoins nécessaires en volume d'eau pour chaque mois de l'année et les caractéristiques du puits sont définis, nous pouvons calculer l'énergie hydraulique moyenne journalière et mensuelle nécessaire à partir de la relation [25] :

$$E_h = C_h + Q \cdot HMT \quad (\text{III.19})$$

Avec :

$E_h$  : Énergie hydraulique (Kwh/j)

$C_h$  : Constante hydraulique (Kg.s.h/m<sup>2</sup>)

$Q$  : Volume d'eau (m<sup>3</sup>/j)

$HMT$  : Hauteur manométrique total (m)

$$C_h = \frac{g \cdot \rho}{3600} \quad (\text{III.20})$$

Où :

$g$  : La gravité terrestre (9.81 m/s<sup>2</sup>)

$\rho$  : Densité de l'eau (1000 kg/m<sup>3</sup>)

#### III.5.3 Calcul de l'énergie électrique quotidienne requise

L'énergie nécessaire pour soulever une certaine quantité d'eau sur une certaine hauteur donnée pendant une journée est calculée à partir de l'équation suivante :

$$E_e = E_h / \eta_{mp} \cdot \eta_{ond} \quad (III.21)$$

Où :

$E_e$  : Energie électrique exprimé en (Kwh/j)

$\eta_{mp}$  : Le rendement du groupe motopompe, en général entre 30% et 60%.

$\eta_{ond}$  : Le rendement d'onduleur.

### III.5.4 Détermination de l'énergie solaire disponible

La méthode de dimensionnement utilisée est basée sur les calculs des valeurs moyennes journalières mensuelles de l'irradiation solaire disponible à l'inclinaison  $\beta$  des modules photovoltaïques (PV) par rapport au plan horizontal. Ce dernier doit se faire de manière à optimiser la conversion de l'énergie solaire en électrique.

### III.5.5 Choix des composants

#### III.5.5.1 Choix de la moto-pompe[25]

Le groupe moteur-pompe peut être disposé de différentes manières selon la profondeur du puits. Dans les puits classiques peu profonds, le groupe peut être de surface ou immergé. Par contre pour les puits profonds et les forages, le moteur et la pompe sont exclusivement de type immergé.

##### III.5.5.1.1 Dimensionnement par la méthode analytique

La demande énergétique hydraulique quotidienne  $E_h$ , en **Wh**, correspond à l'énergie nécessaire pour élever à une hauteur  $h$  (en m), un volume quotidien  $Q$  (en  $m^3/j$ ) en tenant compte des pertes de charge dans les canalisations (relation III.18).

Où la constante hydraulique  $Ch = \rho \cdot g = 1000 \cdot 9,81 / 3600 = 2,725$  L'énergie hydraulique se traduit en une demande d'énergie électrique  $E_{\text{moto-pompe}}$  par :

$$E_{\text{moto-pompe}} = E_{\text{hydr}} / R_p \quad (III.22)$$

Où  $R_p$  est le rendement de la pompe. Si la pompe fonctionne en courant alternatif CA, l'équation (22) doit être modifiée pour tenir compte du rendement de convertisseur  $R_c$  :

$$E_{\text{moto-pompe}} = E_{\text{hydr}} / R_p \cdot R_c \quad (III.23)$$

##### III.5.5.1.2 Dimensionnement par la méthode graphique

Cette méthode graphique a pour but de partir de l'étude d'un cas particulier de dimensionnement afin de dégager une méthode générale. Cette méthode s'appuie sur des abaques qui accompagnent généralement les motopompes. Elle a pour pertinence le fait qu'elle est l'une des méthodes recommandées par les constructeurs. On présente sur la **Figure III.10** un exemple d'un abaque de dimensionnement fourni par le constructeur Grundfos.

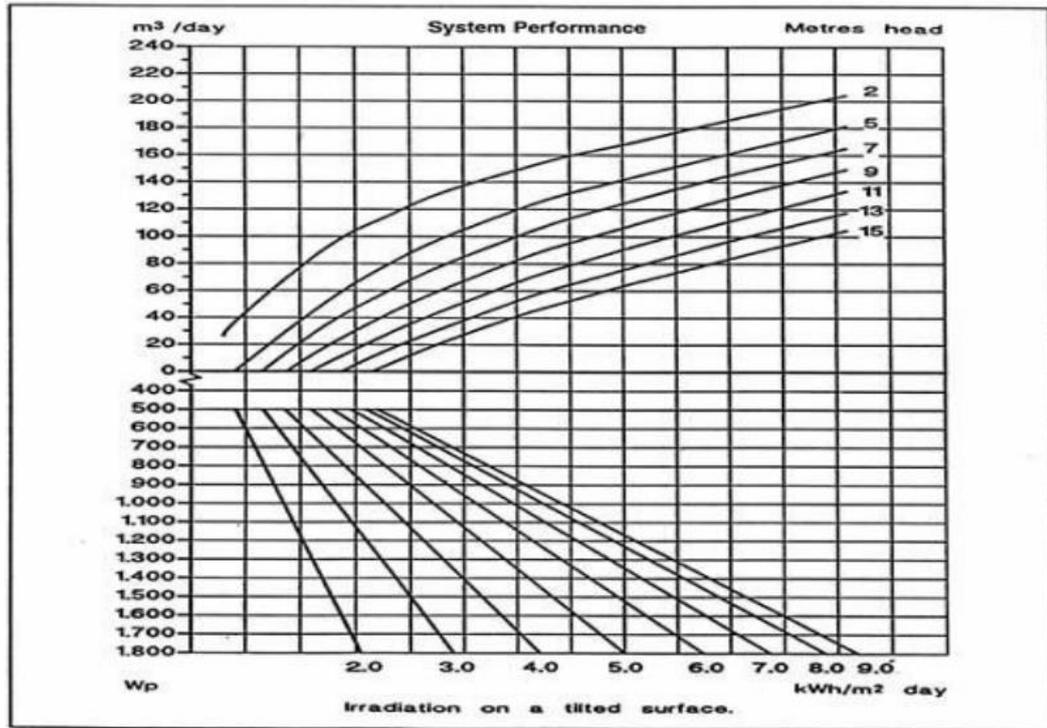


Figure III.10 : un exemple d'un abaque de dimensionnement de moto-pompes [23]

### III.5.6 Taille du générateur photovoltaïque

Une fois connus le volume journalier  $Q$  ( $m^3$ /jour), la hauteur manométrique totale  $H_{\square\square}$  et l'irradiation moyenne journalière incidente sur le plan du générateur, la puissance nominale correspondante du générateur photovoltaïque  $P_c$  est calculée par l'expression suivante [31] :

La puissance fournie par le générateur PV dans les conditions standards de mesure, (éclairage de  $1000w/m^3$ ) et la température  $25^\circ C$ ).

$$P_c = \eta_g \cdot A \cdot G \quad (III.24)$$

Avec :

$P_c$  : La puissance de sortie du générateur (puissance crête).

$\eta_{\square}$  : Le rendement du générateur à la température de référence ( $25^\circ C$ ).

$A$  : La surface active du générateur ( $m^2$ ).

$G$  : L'éclairement dans les conditions CSM.

L'énergie électrique journalière est donnée par l'équation :

$$E_e = \eta_{PV} \cdot A \cdot G_d(\beta) \quad (III.25)$$

Où :

$\eta_{pv}$  : Le rendement moyen journalier du générateur dans les conditions d'exploitation  
 $G_d(\beta)$  : L'irradiation moyenne journalière incidente sur le plan des modules à l'inclinaison  $\beta$  (Kwh/m<sup>2</sup>/jour). Le rendement  $\eta_{pv}$  est calculé par la formule suivante :

$$\eta_{PV} = F_m \cdot [1 - \gamma(T - T_r)] \eta_g \quad (\text{III.26})$$

Où :

$F_m$  : Facteur de couplage, défini comme le rapport entre l'énergie électrique générée sous les conditions d'exploitation et l'énergie électrique qui se générerait si le système travaillait au point de puissance maximale.

$\gamma$  : Coefficient de température des cellules.  $\gamma$  prend des valeurs entre 0,004 et 0,005 /°C pour des modules au silicium mono et poly cristallin, et entre 0,001 et 0,002 pour des modules au silicium amorphe.

$T$  : Température moyenne journalière des cellules durant les heures d'ensoleillement.

### III.5.6.1 Calcul de la puissance en watt crête

En substituant les équations (3.24), (3.25) et (3.26) dans (3.27), nous obtenons la puissance crête du générateur :

$$P_c = \frac{G}{\eta_{MPPT} \cdot [1 - \gamma(T - T_r)] G_d(\beta)} \cdot \frac{E_h}{\eta_{MP}} \quad (\text{III.27})$$

**Remarque :** pour le système PV qui possède un étage d'adaptation et un onduleur, la puissance est calculé par l'équation suivante :

$$P_c = \frac{G}{\eta_{MPPT} \cdot [1 - \gamma(T - T_r)] G_d(\beta)} \cdot \frac{E_h}{\eta_{MP} \cdot \eta_{ond}} \quad (\text{III.28})$$

Avec :  $\eta_{MP}, \eta_{ond}$ , sont respectivement, les rendements du groupe moteur-pompe, de l'onduleur et  $\eta_{MPPT}$  le rendement de la commande MPPT.

Après le calcul de la puissance du générateur PV, on détermine le nombre de modules constituant le générateur suivant la puissance du module PV choisie.

### III.5.6.2 Nombres des modules

Le nombre total de modules ( $N_m$ ) constituant le générateur PV est calculé par la formule suivante :

$$N_m = \frac{P_c}{P_m} \quad (\text{III.29})$$

Avec :

$P_c$  : La puissance crête du générateur.

$P_m$  : La puissance du module PV.

#### III.5.6.2.1 Nombre de modules en série

Pour trouver la tension convenable à l'alimentation d'une charge donnée par la mise en série de plusieurs modules PV, le nombre de ces modules est calculé par l'expression suivante :

$$N_{ms} = \frac{V_{ch}}{V_{mp}} \quad (\text{III.30})$$

Avec :

$V_{Ch}$  : La tension nominale de la charge (l'onduleur).

$V_{mp}$  : La tension à  $P_{max}$ .

#### III.5.6.2.2 Nombre de modules en parallèle

La mise en parallèle de modules donne l'intensité nécessaire à la charge. Le nombre de branches est calculé par l'équation suivante :

$$N_{mp} = \frac{N_m}{N_{ms}} \quad (\text{III.31})$$

### III.6 Conclusion

Dans ce chapitre, deux techniques de pompage PV ont été présentées : pompage au fil de soleil et pompage avec batterie.

Le dimensionnement d'une installation de pompage PV ce fait par :

- Evaluation des besoins en eau
- Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire
- Calcul de l'énergie électrique quotidienne requise
- Détermination de l'énergie solaire disponible
- Choix des composants

Dans notre cas le pompage nécessite le stockage par batteries , est constitués d'une pompe centrifuge menue d'un moteur à induction triphasé, Le moteur est alimenté par un générateur photovoltaïque avec batteries, via un onduleur triphasé à fréquence variable .

**CHAPITRE IV :**  
**ETUDE**  
**EXPÉRIMENTALE**

### IV.1 Introduction

Dans la partie précédente de ce travail, nous avons étudiée et dimensionner le système de pompage photovoltaïque. Il est alors intéressant d'appliquer les techniques étudiées sur un site réel pour valider la méthode choisie et d'en tiré des conclusions, Pour mettre en pratique une partie de nos recherches, nous avons voulu expérimenter nos résultats obtenus et expliqués dans les précédents chapitres dans un projet pratique potentiellement important pour les besoins locaux dans notre région au sud de l'Algérie.

Dans la wilaya d'El-oued, l'irrigation est souvent utilisée par les pivots traditionnels, souvent éloignés et isolés du réseau électrique, c'est pourquoi nous avons choisi un système d'alimentation photovoltaïque, que nous considérons comme un système performant et rentable.

Il est intéressant d'évaluer de tels systèmes, afin de voir leur rentabilité à long terme. Ce qui reflète concrètement leur importance. Pour ce faire, on calcule le cout du KWh et on compare à celui de l'électricité conventionnelle.

On doit d'abord rappeler qu'avec l'irrigation, l'agriculteur dispose d'un puissant levier pour accroître et régulariser la production de ses cultures. Cela est possible à condition de pouvoir maîtriser son irrigation dans le but de satisfaire les objectifs visés, à savoir les objectifs techniques (rendement) et économiques (coût optimal).

Pour cette étude, nous avons choisi d'appliquer nos étude pour irriguer une superficie de 1.13 hectare par un pivot traditionnel de longueur du travée soixante mètre durent trois mois (septembre, octobre, novembre), Par exemple la saison de culture de la pomme de terre dans la région d'El-oued.

### IV.2 description climatique de la zone d'El-oued

La wilaya d'El-oued située au sud-est Algérien. Elle est doté d'un fort potentiel de rayonnement solaire, et la région est caractérisée par une saison d'été très chaude (Juin - Septembre), la température ambiante varie entre 10°C au mois de Janvier (le mois le plus froid) et 34°C au mois de Juillet (le mois le plus chaud), avec une valeur moyenne annuelle de 25.37°C.

Généralement elle est caractérisée par un climat saharien avec une énergie d'ensoleillement de plus de 5.71 kWh/m<sup>2</sup> par jour. La région dispose de ressources importantes d'eau souterraine [32].

### IV.3 Descriptions des composantes du système photovoltaïque

La chaîne de production photovoltaïque se compose de :

#### IV.3.1 panneaux photovoltaïques

Panneaux photovoltaïques de 5.8 m<sup>2</sup> (1 kW crêtes, 4 Modules Poly cristallins 250Wc ) connectés au bus continu à travers un convertisseur à pilotage MPPT 100/30 - 12/24

( Tension PV maximale de circuit et Ouvert 100V ,Courant de batterie maximal 30A)

#### IV.3.2 Convertisseurs CC/CC

Les panneaux solaires sont généralement dimensionnés pour que leurs (PPM) correspondent à la tension nominale de batterie de 12 ou 24 Volts. Grâce à cette configuration, une simple connexion directe via une diode anti-retour suffit pour effectuer le transfert d'énergie du générateur photovoltaïque (GPV) à la charge. Cependant, les caractéristiques non-linéaires du module photovoltaïque et sa sensibilité aux conditions extérieures, comme l'éclairement et la température, induisent des pertes énergétiques. L'utilisation d'un étage d'adaptation afin d'optimiser la production d'énergie à tout moment est ainsi de plus en plus préconisée .

#### IV.3.3 Onduleur

L' onduleur convertit le courant continu sortant de la batterie en courant alternatif nécessaire au fonctionnement de la majorité des appareils électriques domestiques.

#### IV.3.4 Redresseur

Les redresseurs réalisent la conversion CA/CC. ils sont souvent utilisés pour charger des batteries à partir d'une source à CA.

#### IV.3.5 Système de stockage

Le système de stockage contient 4 batteries de 12 V et une puissance de 100W de type plomb reliés en double voie. C'est-à-dire nous avons deux séries chacun composé de deux batteries, ce qui est-ce que la tension augmente la tension à 24 volts. Puis nous avons fait les deux chaînes en parallèle, ce qui augmentait la capacité de 520 AH.



*Figure IV.1: Synoptique de l'installation expérimentale - Système de production photovoltaïque associé à un système stockage d'énergie.*

Pour que le système de production photovoltaïque soit dimensionné, il doit en effet répondre aux critères suivants :

- ✓ puissance crête déterminée .
- ✓ cyclabilité élevée .
- ✓ bon rendement en charge et en décharge dans la gamme de puissance en production et en consommation .
- ✓ pertes d'autodécharges faibles ;
- ✓ coûts réduits.

Le système est largement instrumenté, des capteurs nous permettent d'obtenir les conditions météo :

- ✓ ensoleillement dans le plan horizontal .
- ✓ température ambiante .

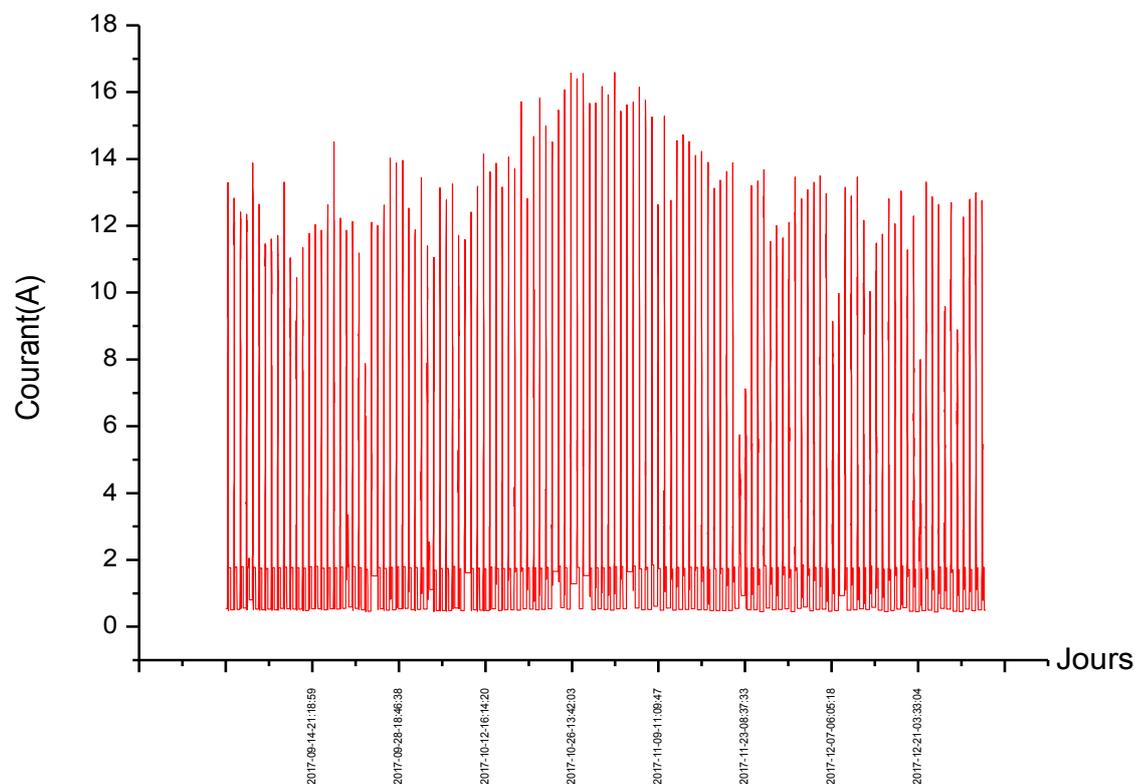
✓ ensoleillement dans le plan des panneaux .

Des capteurs nous permettent de mesurer les courants, tensions et puissances de la chaîne de production photovoltaïque et des batteries.

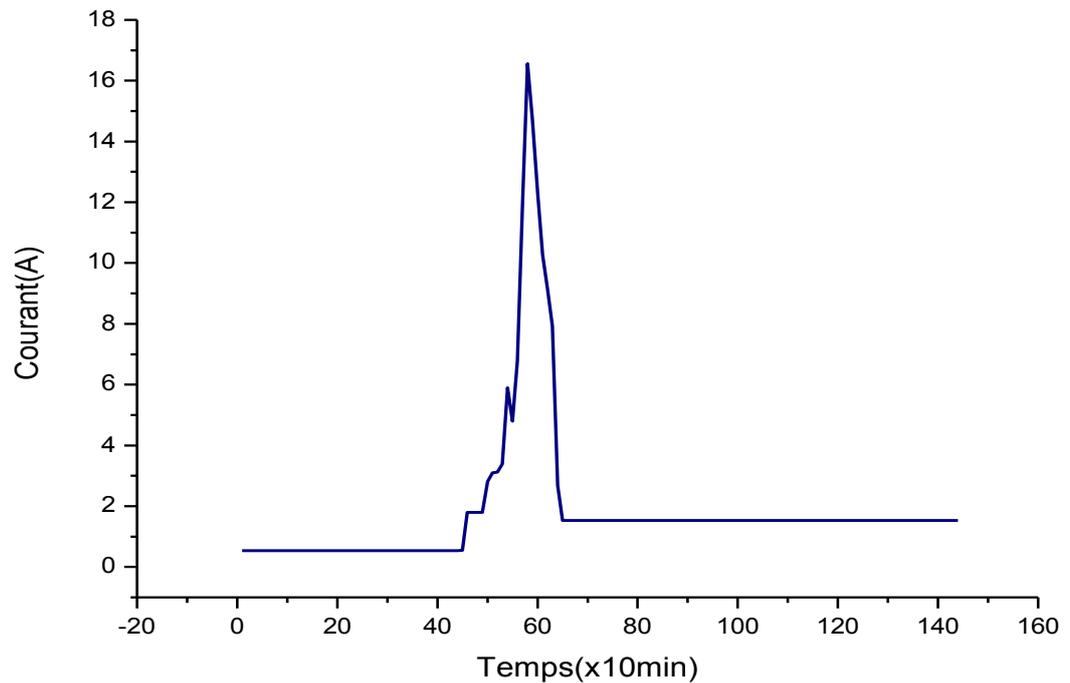
#### IV.4 L'énergie produite par le système PV pondent quatre mois

On obtient les résultats de l'énergie du système durant les trois mois par un logiciel qui combine tous les résultats obtenus et les affiche sur le format de fichier Excel, le logiciel donne les résultats toutes les 10 minutes.

Les résultats ont été trouvés très convaincants dans le système photovoltaïque, la courbe (**Figure IV.2**) montre les résultats obtenus.



*Figure IV.2 : le courant de sortie au cours des 4 mois du système photovoltaïque.*



*Figure IV.3 Le courant de sortie durant un jour du système photovoltaïque.*

La meilleure période pour la production d'électricité à partir de capteur PV est de 7 h à 9 h seulement, la plus grande valeur est de 17 A où il était le jour libre de toute turbulence et la température est appropriée, où tous les jours presque dans la même production sauf il y a quelques jours qui étaient en raison de nuages et de la pluie, qui bloquaient les rayons du soleil aux capteurs photovoltaïques.

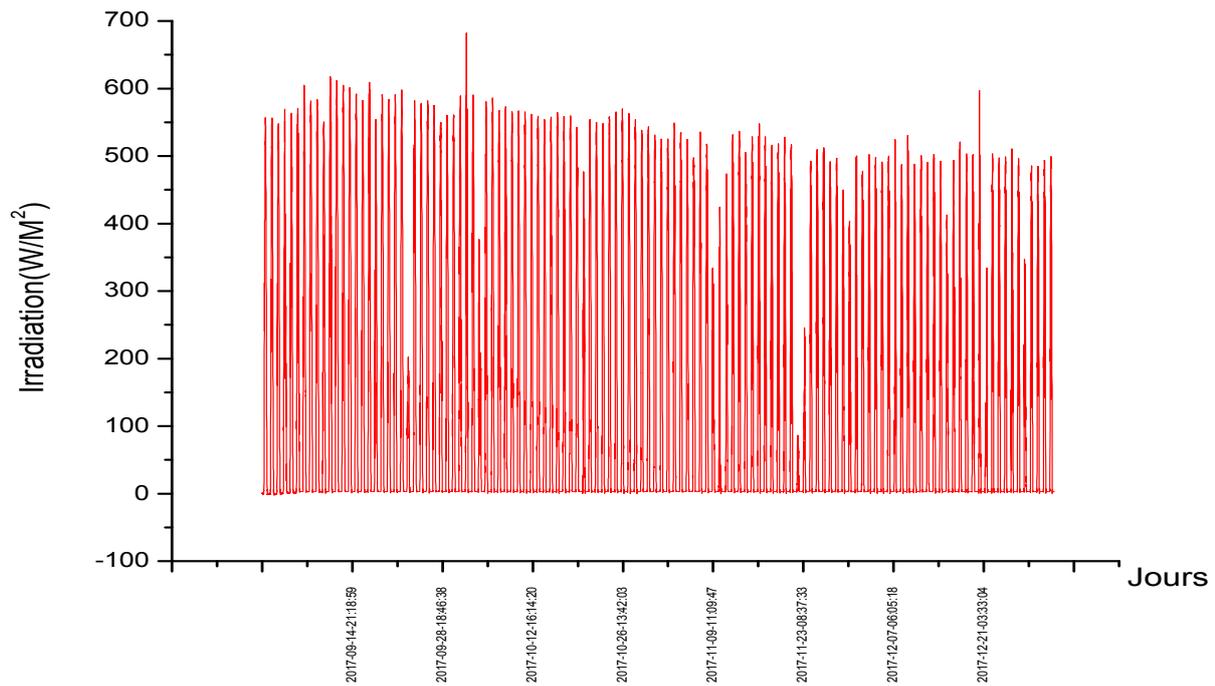


Figure IV.4: Les changements de énergie solaire[W/m2] au cours des 4 mois.

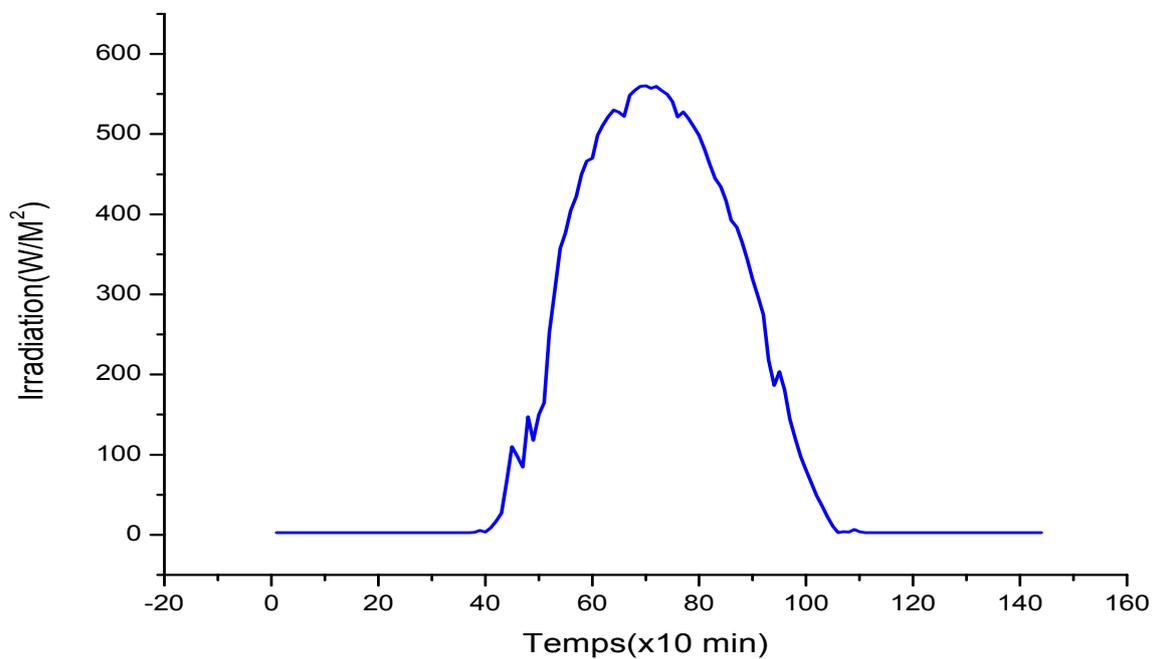


Figure IV.5: Les changements de énergie solaire[W/m2] durant un jour.

On noter la présence de bonne l'énergie solaire pendant toute la durée de l'expérience, ce qui permet d'exploiter cette energie avec bonne rendement.

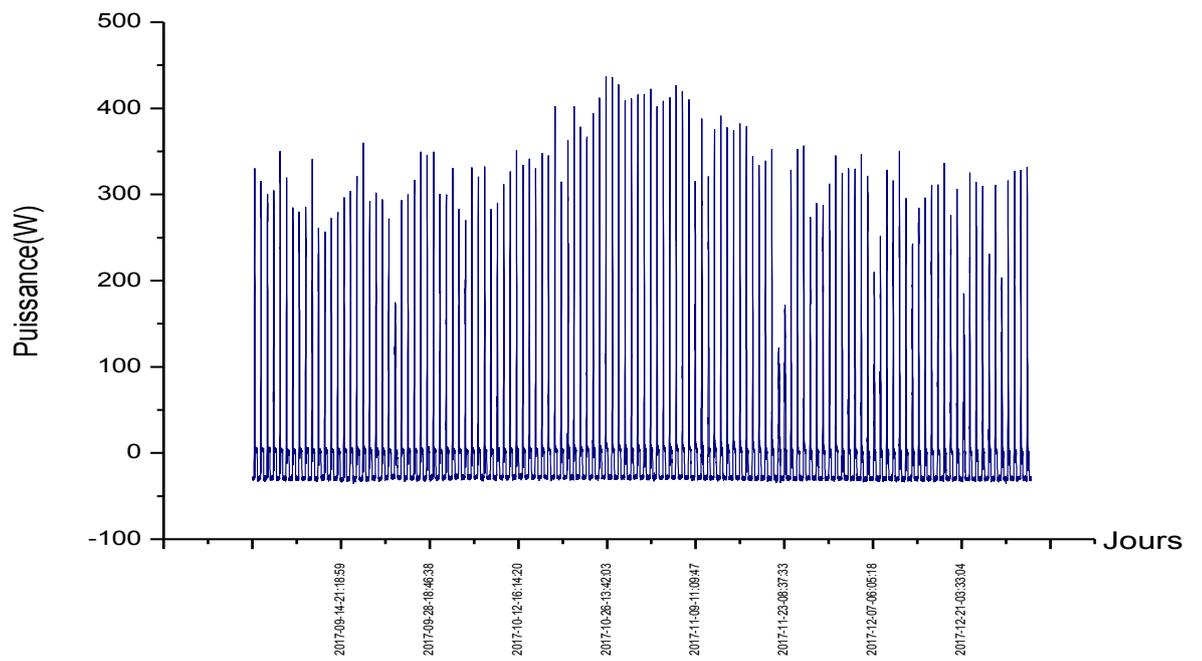


Figure IV.6: Les changements de puissance du système au cours des 4 mois.

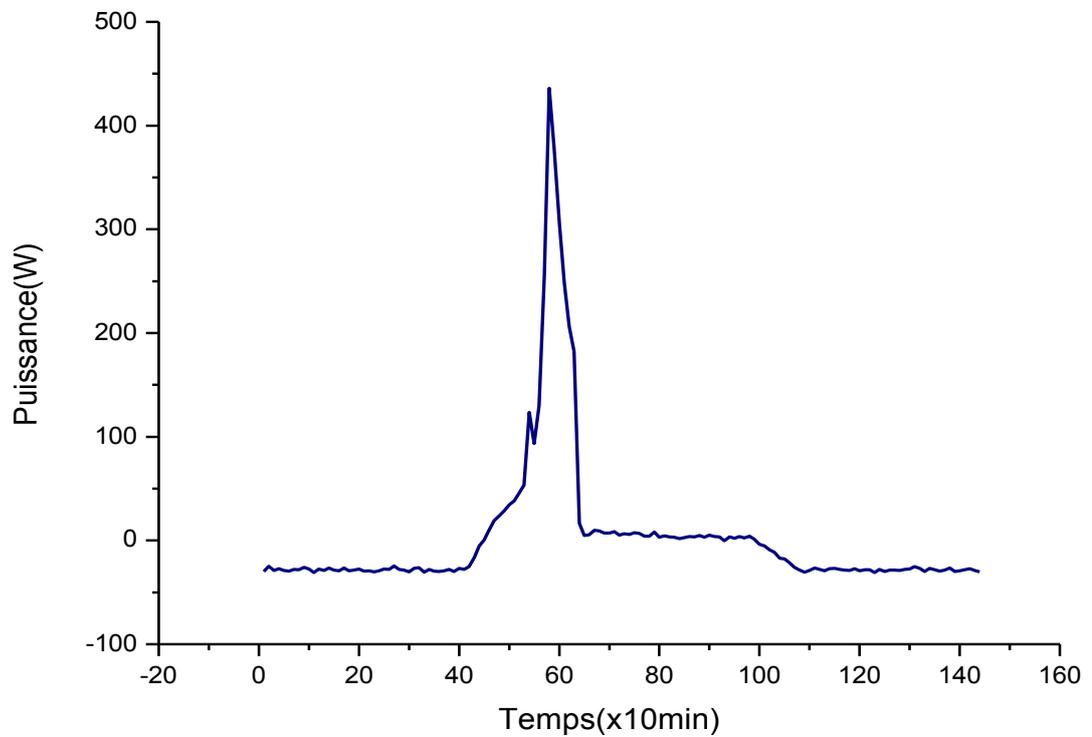


Figure IV.7: Les changements de puissance du système durant un jour.

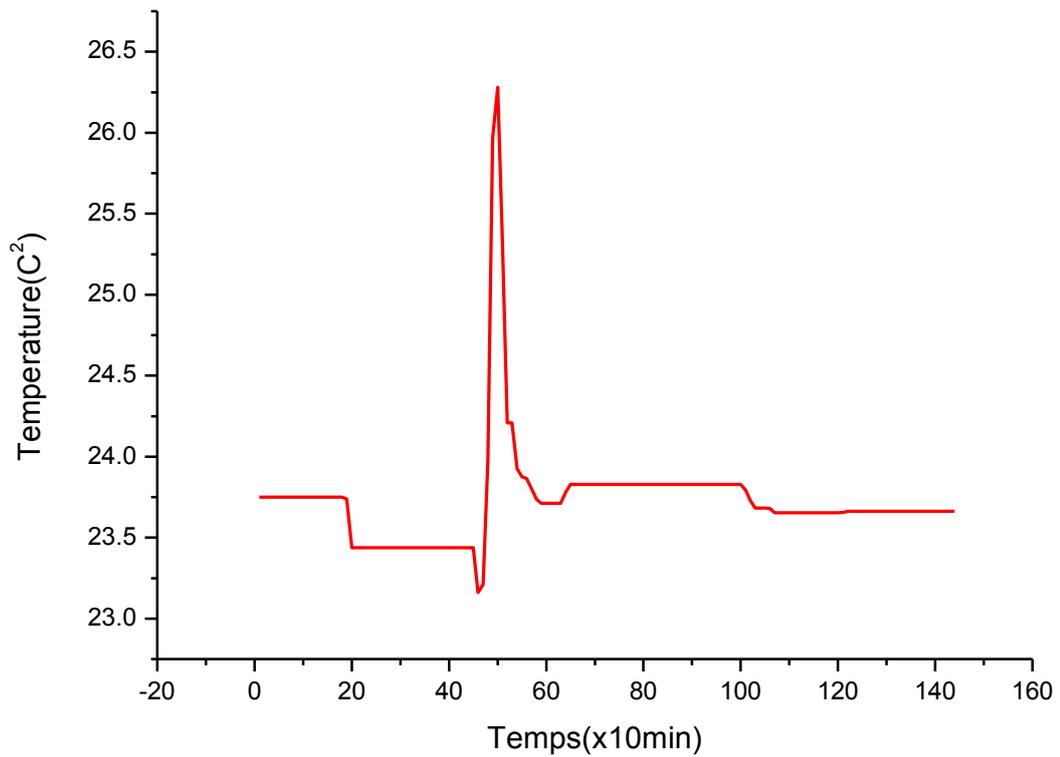


Figure IV.8 : Les changements de température pendant un seul jour.

#### IV.5 puissance moyen du système PV

Nous pouvons déterminer la production moyenne en fonction de la relation:

$$P_m = \frac{p_T}{\text{Nombre des jours}} \quad \text{IV.1}$$

$p_T$  : Puissance totale.

A partir des résultats expérimentaux du système photovoltaïque, la puissance moyenne de septembre est calculée comme suit :

$$P_m = \frac{29940.27}{30} = 998.09 \text{ W/j}$$

$$P_m = 0.998 \text{ kw/j}$$

De la même manière, pour le mois d'Octobre :

$$P_m = \frac{19305.72}{31} = 622.76 \text{ W/j}$$

$$P_m = 0.622 \text{ kw/j}$$

pour le mois de Novembre :

$$P_m = \frac{12540.52}{30} = 418.0175 \text{ W/j}$$

$$P_m = 0.418 \text{ kw/j}$$

pour le mois de décembre :

$$P_m = \frac{11405.60}{31} = 367.92 \text{ W/j}$$

$$P_m = 0.367 \text{ kw/j}$$

La puissance moyenne totale :

$$P_m = \frac{73192.122}{122} = 599.93 \text{ W/j}$$

$$P_m \approx 0.6 \text{ kw/j}$$

Pour connaître la possibilité d'exploiter cette énergie par jour pour l'irrigation d'un pivot traditionnel, nous divisons la puissance moyenne au cours de la journée sur le nombre d'heures de notre consommation d'électricité.

Le plus souvent chez les agriculteurs que le fonctionnement journalier des pivots traditionnels attend les huit à douze heures par jour.

#### **IV.6 Consommation du système d'irrigation (Facturation)**

Afin de faciliter et de contribuer à la vulgarisation des systèmes photovoltaïques pour l'irrigation de pivot traditionnel, nous supposons que ce système de production composé de quatre modules photovoltaïques de 5.8 m<sup>2</sup>, connectées chaque deux en série/parallèle avec système de stockage et quatre batteries de 12 V deux en parallèle chacun composé de deux

batteries en séries, comme une unité photovoltaïque, nous avons extrait les résultats enregistrés pendant les quatre mois concernés, et nous savions la capacité de production de cette unité.

Les données suivantes caractérisent le système :

**Tableau IV.1: Les données caractéristiques du système d'irrigation**

Nomenclature	Caractéristiques
<b>Projet</b>	Irrigation par pivot traditionnel en utilisant l'énergie solaire
<b>Site</b>	Régions d'El-oued
<b>Irradiation quotidienne</b>	5.71 kWh/m <sup>2</sup> /jour
<b>Motopompe</b>	4kw
<b>Moteur de traction</b>	1.125kw
<b>Evaluation des besoins en eau</b>	100 m <sup>3</sup> /j
<b>Module photovoltaïque</b>	Poly-cristallin
<b>Puissance nominale</b>	1000 Watt.
<b>Tension nominale</b>	61.4 Volt.
<b>Partie de stockage d'énergie</b>	Batteries plomb acide
<b>Capacité</b>	250 AH 12 V

Nous basons sur la consommation réel d'énergie pendant la saison agricole, selon la facture d'électricité obtenue auprès de l'agriculteur (Annexe C), nous pouvons simplement calculer la consommation totale dans les quatre mois, soit 5361.66 KWh, c'est-à-dire 43.94 KWh/j.

Selon les résultats obtenus du système de production photovoltaïque, nous connaissons que la production journalière d'énergie au moyen de 600 W par jour ; ce qui implique l'obligation de la multiplication de cette unité 74 fois pour atteindre les besoins énergétiques du système d'irrigation titre d'étude.

#### **IV.7 Calcul du champ photovoltaïque nécessaire**

Afin de connaître la taille du champ photovoltaïque nécessaire pour fournir cette énergie, nous comparons cette facture à la puissance journalière de l'unité ci-dessus (600 w/jour)

Pour connaître le nombre des unités minimum nécessaire pour alimenter le pivot traditionnel, on utilise la formule suivante [33] :

$$E_p = \frac{E_c}{K} \quad \text{IV.2}$$

Où :

$E_C$  : est l'énergie consommée (KWh/jour).

$K$  : un coefficient correcteur dépendant de l'incertitude météorologique, de l'inclinaison des modules solaires et du rendement global du système photovoltaïque. Sa valeur théorique est comprise entre 0.55 et 0.75 mais en pratique la valeur moyenne utilisée est de 0.65.

L'énergie nécessaire produite par le panneau photovoltaïque est égale à :  
 $E_p = 43.94 / 0.65 = 67.91$  KWh/jour.

#### IV.7.1 Le nombre de modules photovoltaïques

Le nombre total de modules photovoltaïques est calculé en rapportant la puissance globale du champ à celle ( $P_m$ ) d'un seul module :

$$N_m = 67910W / 1000W \approx 68$$

❖ Le nombre de modules connectés en série:

$$N_{ms} = 380 / 61.4 = 6.18 \approx 7$$

❖ Le nombre des modules en parallèle :

$$N_{mp} = 68 / 7 = 9.71 \approx 10$$

#### IV.7.2 Batteries pour stocker l'énergie

Les batteries solaires stockent l'énergie produite par les panneaux photovoltaïques afin d'assurer l'alimentation électrique en toutes circonstances (jour ou nuit, ciel dégagé ou couvert).

Une batterie utilisée avec des panneaux solaires est une batterie à décharge lente (appelée aussi batterie solaire).

Ces batteries sont spécifiquement conçues pour les applications solaires. Elles n'ont pas les mêmes caractéristiques qu'une batterie de voiture par exemple, elles se déchargent plus progressivement et supportent mieux les décharges fréquentes peu profondes.

Le niveau de charge des batteries solaires ne doit être ni trop bas (pas en dessous de 40%) ni trop haut (ne pas dépasser 95%).

Des charges trop faibles ou trop importantes non régulées détériorent les batteries et limitent leur durée de vie.

Nous vous recommandons de bien vérifier que le nombre des cycles complets (charge - décharge de la batterie) est clairement indiqué par le fabricant. Le cyclage indique la durée de vie de la batterie solaire. Les batteries solaires de qualité ont une durée de vie de plus de 500 cycles, soit de 7 ans jusqu'à 15 ans.

#### *IV.7.2.1 La capacité du stockage des batteries*

La capacité d'une batterie solaire est exprimée en Ampères Heure (Ah) ce qui désigne le débit totale d'énergie de la batterie dans des conditions données (10 heures, 20 heures, ...)

Avec le régulateur (qui se branche entre les panneaux solaires et la batterie), vous réglez la charge de la batterie, qui ne doit pas dépasser 95%, ni ne doit descendre sous les 40%, car une surcharge comme une décharge trop profonde endommage ces batteries et diminue leur durée de vie.

Donc, si nous reprenons notre étude, une batterie 520 Ah et 12V, pourra se décharger au mieux de 260 Ah (50% x 520Ah).

#### *IV.7.2.2 L'autonomie souhaitée*

Pour déterminer l'autonomie de nos besoin, nous devient fixer le nombre de jour d'autonomie de votre installation photovoltaïque, c'est-à-dire le nombre de jours pendant lesquels vos batteries n'ont pas besoin d'être rechargées tout en conservant une consommation d'énergie normale. En général, cela représente le nombre de jours consécutifs sans soleil auquel vous pouvez faire face.

En Algérie sud, l'autonomie moyenne des installations en site isolé est de 3 jours.

En continuant avec notre étude, si nous avons un besoin d'énergie de 67910 Wh par jour et que nous choisissons une autonomie de 3 jours, notre besoin de stockage sera de  $3 \times 67910 \text{ Wh} = 203730 \text{ Wh}$  (pour simplifier, car il faudrait ajouter à cela une déperdition de charge de 15% à 30% à cause du câblage, de l'onduleur ...). Soit en 12V, une capacité de  $203730 \text{ Wh} / 12\text{V} = 16977.5 \text{ Ah}$ .

Comme indiqué plus haut il est recommandé de ne pas décharger sa batterie au delà de 50%, donc il faut prévoir le double en capacité de batterie, soit 33955 Ah, ce qui implique un besoin de soixante six batteries de 12 volts et 520 Ah.

### **IV.8 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons extrait les résultats de la production de système photovoltaïque, qui peut être appliqué aux systèmes de pompage photovoltaïque pour l'irrigation, ce qui affecte particulièrement la zone d'El-oued, qui a une énorme quantité de rayonnement solaire par an. Une étude pilote est menée pour démontrer l'efficacité

énergétique de l'utilisation de l'énergie photovoltaïque pour répondre aux besoins en électricité.

## Conclusion générale

Dans ce travail, on a étudié le système d'irrigation par pivot traditionnel, et comment l'alimenter par l'énergie solaire. On a traité un exemple réel situé à la région d'El-oued.

On peut rapidement comprendre et justifier l'intérêt de l'énergie solaire pour pomper l'eau.

D'abord, l'énergie solaire photovoltaïque est une énergie propre, silencieuse, disponible et gratuite. C'est d'ailleurs ce qui explique que son utilisation connaît une croissance significative dans le monde.

D'autre part, la demande d'énergie électrique, essentiellement pour les besoins des zones rurales et les sites isolés, ne cesse d'augmenter, en particulier, les systèmes de pompage d'eau. Classiquement sur ce type de site, on utilise l'énergie conventionnelle, mais cette énergie présente plusieurs contraintes, les réseaux électriques très éloignés, le transport du combustible et les entretiens périodiques pour les moteurs diesels.

Et nous avons remarqué que la technique photovoltaïque présente aujourd'hui d'énormes avantages par le fait que l'installation est simple et adaptée à des besoins énergétiques divers et les coûts de fonctionnement sont très faibles vu les entretiens réduits.

L'énergie photovoltaïque est totalement modulable et peut donc répondre à un large éventail de besoins. La taille des installations peut aussi être augmentée par la suite pour suivre les besoins de son propriétaire.

Il faut comprendre que pour produire l'eau, mais avec un coût abordable, trois conditions doivent être étudiées soigneusement :

Premièrement, l'amélioration de la captation d'ensoleillement par les panneaux solaires afin récupérer le maximum d'énergie possible.

Deuxièmement, l'exploitation maximale de l'énergie captée afin de tirer le maximum de puissance électrique disponible au niveau du générateur PV.

Il est intéressant de voir les méthodes qui optimisent la production d'énergie, par exemple introduire un système de poursuite du point de puissance maximal (MPPT), utilisation du système de suivi du soleil.

La troisième et dernière condition concerne le dimensionnement optimal du système de pompage, une bonne installation, une bonne orientation des modules solaires et un bon dimensionnement permet d'exploiter l'énergie de façon optimale.

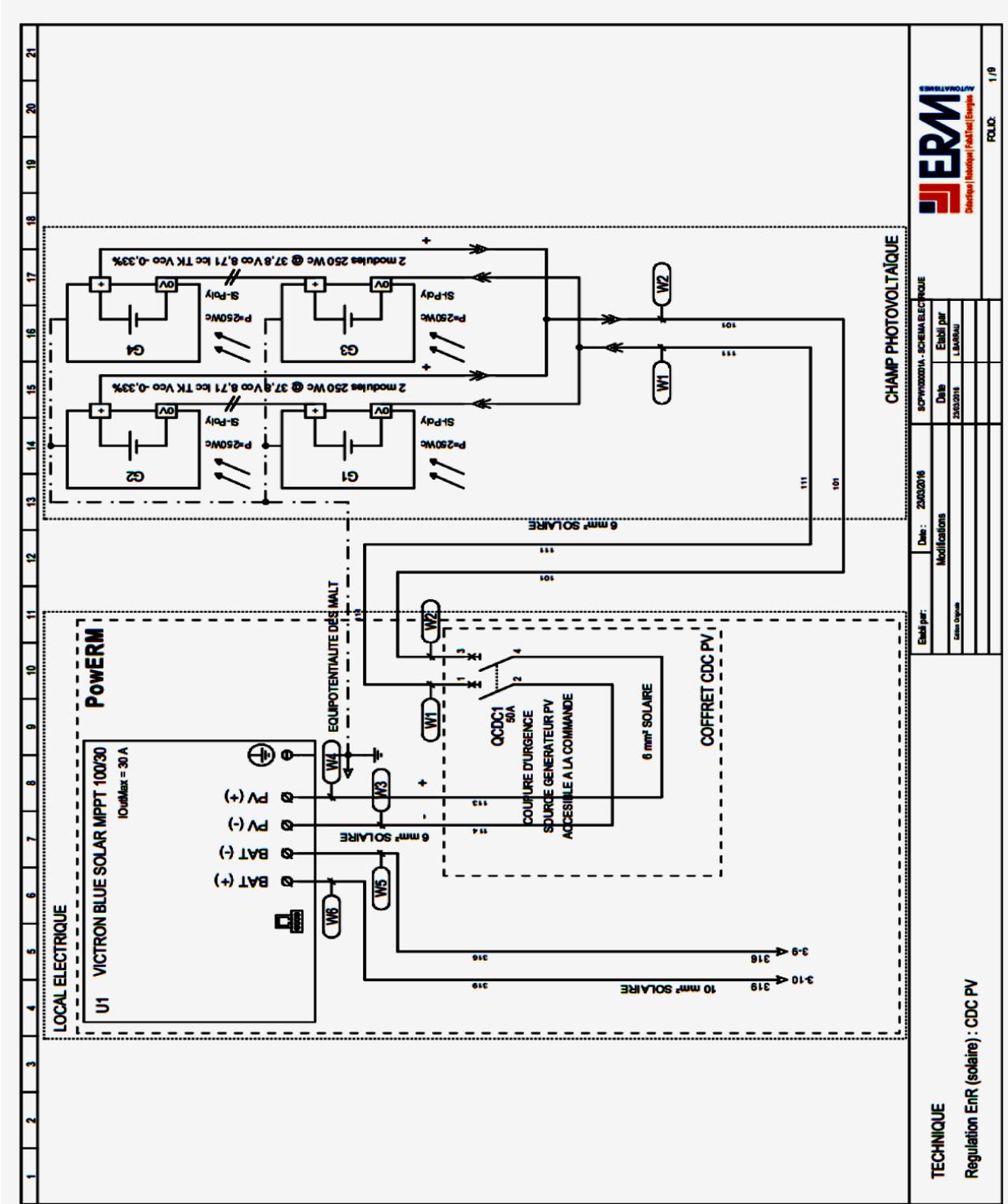
## Bibliographies

- [01] M. KESSIRA, "Conception d'un projet d'irrigation", Direction Du Développement Agricole Dans Les Zones Arides Et Semi-arides, Algérie, ouvrage (2013).
- [02] A. Phocaides Manuel des techniques d'irrigation sous pression Seconde édition ROME, 2008.
- [03] <https://www.verderliquids.com/fr/fr/pompes-par-principe/comment-fonctionnent-pompes-centrifuge>.
- [04] <http://www.leguiteduchauffage.com/pompe-immeree.html>
- [05] <http://www.hellopro.fr/moteur-asynchrone-a-courant-alternatif-2003706-33656-produit.html>
- [06] Angel Cid Pastor. Conception et réalisation de modules photovoltaïques 'électroniques. Micro et nanotechnologies/Micro'électronique. INSA de Toulouse, France 2006.
- [07] M. Dahbi « Etude et optimisation d'une installation Hybride PV-Eolienne», Thèse de Doctorat, Université de Bechar, 2007.
- [08] O, Marc. "Les Piles solaires: Le composant et ses applications". Masson, 1985.
- [09] A. buyers « Les systèmes photovoltaïques » guide, Article, Canada, 2002.
- [10] I. Bendjamaa "Modélisation et commande d'un système de stockage photovoltaïque "Mémoire de Magister Université Abou-Baker Belkaid-Tlemcen 2011/2012.
- [11] M. L. Louazane "Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque sur le site de Ouargla "Mémoire de Magister Université El Hadj Lakhdar-Batna 16/06/2008.
- [12] T. Fogelman, « Système photovoltaïque pour les pays en déventement », manuel d'installation et d'utilisation, Agence Française pour la Maîtrise de l'énergie, (AFME), 1982.
- [13] W. Bensaci" Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT " Mémoire de Master Université Kasdi Merbah-Ouargla 2011/2012.
- [14] Dr. BELAID LALOUNI Sofia «Cours Energie Solaire Photovoltaïque» Département de Génie Electrique Faculté de Technologie Université A.MIRA de BEJAIA Année universitaire 2014/2015
- [15] C. Bernard, J. Chauvin, D. Lebrun, J.F. Muraz, P. Stassi, « Station solaire autonome pour l'alimentation des antennes de l'expérience de radio détection à l'Observatoire Pierre Auger » 2006.
- [16] M. Z. F.Z. Zerhoun, "Optimisation d'un système à énergie verte avec validation pratique," revue des énergies renouvelables, vol. 11, no. N°1, p. 41-49, 2008.
- [17] A. Saadi, "Etude comparative entre les techniques d'optimisation des systèmes de pompage photovoltaïque," Université de Biskra Mémoire de Magister, 2000.
- [18] W. Herrman, W. Wiesner, W. Vaaben, "Hot spot investigations on PV modules – New concepts for a test standard and consequences for module design with respect to bypass diodes", 26th PVSC, Sept. 30 – Oct. 1997, Anaheim, CA.

- [19] M. C. Alonso-Garcia, J. M. Ruiz, F. Chenlo, "Experimental study of mismatch and shading effects in the I-V characteristic of a photovoltaic module", *Solar Energy Materials & Solar Cells* Volume 90, Issue 3, 15 February 2006, Pages 329-340.
- [20] A. Labouret, M. Viloz, *Energie solaire photovoltaïque (Le manuel du professionnel)*, édition DUNOD, août 2003, Paris (France).
- [21] F. Delfosse, *Détermination de l'état de charge des batteries d'un véhicule électrique, mémoire d'ingénieur civil électricien et mécanicien, université de Liège, Belgique 1998.*
- [22] Z.M. Salamah, M.a. Cascacca, W.A. Lynch, *A mathematical model for lead acid batteries, IEEE Transactions On Energy Conversion, vol:7, N°1, pp:23 – 29, 1992.*
- [23] A. Mahjoubi, Ridha Fethi Mechlouch "Dimensionnement d'une installation solaire de pompage d'eau pour l'irrigation goutte à goutte au climat de Médenine", *Jerba (Tunisie) 15-16-17/12/2009 Actes du 3ème Meeting International.*
- [24] B. Molle, "Les stations de pompage individuelles pour l'irrigation", juin 1996.
- [25] J. Royer, T. Djako, « Le pompage photovoltaïque », *Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens, Université d'Ottawa, 2002.*
- [26] Y. Pankow, "Etude de l'intégration de la production décentralisée dans un réseau basse tension. Application au générateur photovoltaïque", *Thèse de Doctorat de L'Ecole Doctorale de L'ENSAM ED432, 2004.*
- [27] *Techniques de l'ingénieur, « Mécanique et chaleur, pompes, vide, air comprimé », NB4, Paris, 1988.*
- [28] N. Nooma, SONG. Taaba « Groupe motopompe » *mémoire d'ingénieur d'état en électrotechnique, 2004.*
- [29] A. Saadi « Etude comparative entre les techniques d'optimisation des systèmes de pompage photovoltaïque », *Mémoire de Magister en électronique, Université Mohammed Khider, Biskra, 2001.*
- [30] M. Rachid, « Application de l'énergie photovoltaïque au pompage hydraulique sur les sites de Tlemcen et Bouzareah », *Mémoire de Magister, Université de Tlemcen, 2005.*
- [31] A. Hadj Arab, M. Benghanem et A. Gharbi, "Dimensionnement de Systèmes de Pompage Photovoltaïque", *Rev. Energ. Ren. Vol. 8 (2005) 19 – 26.*
- [32] Moumi, N. Hamani, N. Moumi et A. Z. Mokhtari, "Estimation du rayonnement solaire par deux approches semi empiriques dans le site de Biskra", *Le 8ème Séminaire International sur la Physique Energétique, Centre Universitaire de Béchar-Algérie, 11 et 12 Novembre 2006.*
- [33] F. Lasnier, T. G. Ang, « *Photovoltaic Engineering Handbook* », IOP Publishing Ltd. 1980. ISBN 0-85274-311-4.

# Annexes A

## Schéma électrique de système Photovoltaïque



SOPW000001A : SCHEMA ELECTRIQUE	
Date :	23/03/2016
Modifications :	
Elab par :	LABAROU
Date :	23/03/2016
Elab par :	LABAROU
Modifications :	
Elab par :	
Date :	
Modifications :	
Elab par :	
Date :	
Modifications :	

TECHNIQUE  
Regulation EnR (solaire) : CDC PV

## Annexes B

### Partie des résultat de production du système Photovoltaïque de 30/12/2017.

Temperat	U:Batt,	I:Batt,	Sond Ens,	System	Solar Pan,	DATE & TIME
16.45305	25.77832	-1.13565	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-00:08:00
16.45305	25.77832	-1.07709	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-00:18:00
16.45305	25.77832	-1.1669	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-00:28:01
16.45305	25.77832	-1.06983	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-00:38:01
16.45305	25.77832	-1.1756	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-00:48:01
16.45305	25.77832	-1.14582	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-00:58:01
16.45305	25.77832	-1.14409	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-01:08:01
16.45305	25.77832	-1.17293	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-01:18:02
16.45305	25.77832	-1.18394	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-01:28:02
16.45305	25.77832	-1.08898	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-01:38:02
16.45305	25.77832	-1.14535	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-01:48:02
16.45305	25.77832	-1.09862	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-01:58:02
16.45305	25.77832	-1.15607	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-02:08:03
16.45305	25.77832	-1.15355	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-02:18:03
16.45305	25.77832	-1.10841	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-02:28:03
16.45305	25.77832	-1.20304	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-02:38:03
16.45305	25.77832	-1.11525	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-02:48:04
16.45305	25.77832	-1.16896	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-02:58:04
16.45305	25.77832	-1.09458	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-03:08:04
16.45305	25.77832	-1.19677	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-03:18:04
16.45305	25.77832	-1.17064	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-03:28:04
16.45305	25.77832	-1.13754	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-03:38:05
16.45305	25.77832	-1.15266	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-03:48:05
16.45305	25.77832	-1.09814	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-03:58:05
16.45305	25.77832	-1.05116	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-04:08:06
16.45305	25.77832	-1.09916	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-04:18:06
16.45305	25.77832	-1.11664	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-04:28:06
16.45305	25.77832	-1.1023	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-04:38:06
16.45305	25.77832	-1.09198	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-04:48:07
16.45305	25.77832	-1.11628	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-04:58:07
16.45305	25.77832	-1.11599	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-05:08:07
16.45305	25.77832	-1.13704	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-05:18:07
16.35133	25.70431	-1.1797	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-05:28:08
16.18059	25.58028	-1.13197	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-05:38:08
16.18059	25.58028	-1.14997	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-05:48:08
16.18059	25.58028	-1.11368	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-05:58:08
16.18059	25.58028	-1.16218	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-06:08:09
16.18059	25.58028	-1.13637	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-06:18:09
16.18059	25.58028	-1.17138	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-06:28:09
16.18059	25.58028	-1.18742	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-06:38:09
16.18059	25.58028	-1.17795	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-06:48:10
16.18059	25.58028	-1.14711	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-06:58:10
16.18059	25.58028	-1.02594	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-07:08:10
16.18059	25.58028	-1.10573	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-07:18:11
16.18059	25.58028	-1.13313	2.813599	-0.16786	0.318955	2017-12-30-07:28:11
16.18059	25.58028	-1.18123	4.871982	-0.16786	0.318955	2017-12-30-07:38:11

16.18059	25.58028	-0.73184	6.898787	-0.16786	0.318955	2017-12-30-07:48:11
16.18059	25.58028	-0.61354	2.392724	-0.16786	0.318955	2017-12-30-07:58:12
16.17916	25.58606	0.057633	18.33969	-0.16366	0.665166	2017-12-30-08:08:12
16.13821	25.82101	0.285274	31.6975	-0.1526	1.577894	2017-12-30-08:18:12
16.20308	26.06984	0.639907	77.0391	-0.1526	1.577894	2017-12-30-08:28:12
16.2677	26.34061	0.724243	181.4916	-0.14185	2.544107	2017-12-30-08:38:13
16.40463	26.64357	1.172748	202.2561	-0.14295	2.937533	2017-12-30-08:48:13
16.4396	26.90214	1.811224	186.2244	-0.15835	2.945897	2017-12-30-08:58:13
16.52616	27.18057	2.984169	284.3675	-0.15021	4.531005	2017-12-30-09:08:13
16.5502	27.58324	5.768277	314.6057	-0.13563	6.920286	2017-12-30-09:18:13
16.5773	28.16478	9.733211	335.0553	-0.14854	10.94633	2017-12-30-09:28:14
16.5866	28.29358	9.143208	354.0318	-0.1467	10.10068	2017-12-30-09:38:14
16.62203	28.93156	11.34571	376.6879	-0.12996	12.54652	2017-12-30-09:48:14
16.64697	29.38362	11.07773	395.9223	-0.1248	12.85915	2017-12-30-09:58:14
16.64749	29.42796	9.296374	406.9114	-0.14929	10.8221	2017-12-30-10:08:14
16.69618	29.50226	7.699682	418.8745	-0.13876	9.664043	2017-12-30-10:18:15
16.71574	29.53126	6.423552	432.9236	-0.12971	8.385342	2017-12-30-10:28:15
16.71574	29.53126	5.509575	447.0338	-0.151	7.306684	2017-12-30-10:38:15
16.71574	29.53126	4.67344	439.0671	-0.16023	6.918933	2017-12-30-10:48:15
16.71574	29.53126	4.128602	465.7184	-0.13513	5.88965	2017-12-30-10:58:15
16.71574	29.53126	3.759727	475.214	-0.13165	5.043835	2017-12-30-11:08:16
16.71574	29.53126	3.462823	480.0769	-0.12208	4.858802	2017-12-30-11:18:16
16.71574	29.53126	3.221421	475.3286	-0.12208	4.858802	2017-12-30-11:28:16
16.71574	29.53126	3.033796	471.27	-0.12208	4.858802	2017-12-30-11:38:16
16.81809	28.96609	1.438173	493.9221	-0.13335	3.182825	2017-12-30-11:48:16
17.02138	27.22002	-0.48183	491.265	-0.16012	0.950259	2017-12-30-11:58:17
17.04651	27.10356	0.157295	491.8526	-0.16786	1.600782	2017-12-30-12:08:17
17.04651	27.10356	0.108545	234.3635	-0.16786	1.600782	2017-12-30-12:18:17
17.04651	27.10356	0.201057	168.8986	-0.16786	1.600782	2017-12-30-12:28:17
17.04651	27.10356	0.141554	141.5801	-0.16786	1.600782	2017-12-30-12:38:17
17.04651	27.10356	0.070368	276.2792	-0.16786	1.600782	2017-12-30-12:48:18
17.04651	27.10356	0.136769	172.8958	-0.16786	1.600782	2017-12-30-12:58:18
17.04651	27.10356	0.034144	337.2246	-0.16786	1.600782	2017-12-30-13:08:18
17.04651	27.10356	0.155502	440.8036	-0.16786	1.600782	2017-12-30-13:18:18
17.04651	27.10356	0.097777	429.351	-0.16786	1.600782	2017-12-30-13:28:18
17.04651	27.10356	1.41E-03	417.8884	-0.16786	1.600782	2017-12-30-13:38:19
17.04651	27.10356	0.030776	401.5162	-0.16786	1.600782	2017-12-30-13:48:19
17.04651	27.10356	6.73E-05	388.196	-0.16786	1.600782	2017-12-30-13:58:19
17.04651	27.10356	0.012068	377.8914	-0.16786	1.600782	2017-12-30-14:08:19
17.04651	27.10356	-2.79E-03	359.9382	-0.16786	1.600782	2017-12-30-14:18:20
17.04651	27.10356	0.109392	343.0843	-0.16786	1.600782	2017-12-30-14:28:20
17.04651	27.10356	0.063482	325.3703	-0.16786	1.600782	2017-12-30-14:38:20
17.04651	27.10356	0.044271	307.8112	-0.16786	1.600782	2017-12-30-14:48:20
17.04651	27.10356	0.079945	288.1471	-0.16786	1.600782	2017-12-30-14:58:21
17.04651	27.10356	0.011633	234.8106	-0.16786	1.600782	2017-12-30-15:08:21
17.04651	27.10356	-0.07049	211.6365	-0.16786	1.600782	2017-12-30-15:18:21
17.04651	27.10356	-0.01525	187.7925	-0.16786	1.600782	2017-12-30-15:28:21
17.04651	27.10356	0.056732	173.4521	-0.16786	1.600782	2017-12-30-15:38:22
17.04651	27.10356	-0.07196	156.3936	-0.16786	1.600782	2017-12-30-15:48:22
17.04651	27.10356	0.041264	151.8783	-0.16786	1.600782	2017-12-30-15:58:22
17.04651	27.10356	0.063508	135.5896	-0.16786	1.600782	2017-12-30-16:08:22

17.04651	27.10356	7.21E-03	87.69873	-0.16786	1.600782	2017-12-30-16:18:23
17.04651	27.10356	-0.09675	28.07461	-0.16786	1.600782	2017-12-30-16:28:23
17.04651	27.10356	-0.05925	16.47562	-0.16786	1.600782	2017-12-30-16:38:23
17.04651	27.00411	-0.21795	8.855825	-0.16786	1.600782	2017-12-30-16:48:23
16.99422	26.75485	-0.52303	4.598839	-0.16786	1.600782	2017-12-30-16:58:24
16.97844	26.50577	-0.62825	2.37416	-0.16786	1.600782	2017-12-30-17:08:24
16.97844	26.31329	-0.80728	0.475206	-0.16786	1.600782	2017-12-30-17:18:24
16.99486	26.14675	-0.82675	7.072479	-0.16786	1.600782	2017-12-30-17:28:25
16.99795	26.11525	-1.08314	5.060527	-0.16786	1.066794	2017-12-30-17:38:25
16.99795	26.11525	-1.15896	2.879054	-0.16786	0.341843	2017-12-30-17:48:25
16.99795	26.11525	-1.08549	2.813599	-0.16786	0.341843	2017-12-30-17:58:25
16.99795	26.11525	-0.99114	2.813599	-0.16786	0.341843	2017-12-30-18:08:26
16.99795	26.11525	-1.22139	2.813599	-0.16786	0.341843	2017-12-30-18:18:26
16.99795	26.11525	-1.24025	2.813599	-0.16786	0.341843	2017-12-30-18:28:26
16.99795	26.11525	-1.07631	2.813599	-0.16786	0.341843	2017-12-30-18:38:26
16.99795	26.11525	-1.20304	2.813599	-0.16786	0.341843	2017-12-30-18:48:27
16.99795	26.11525	-1.17494	2.813599	-0.16786	0.341843	2017-12-30-18:58:27
16.96605	26.05112	-1.13192	2.813599	-0.16786	0.341843	2017-12-30-19:08:27
16.90047	25.91874	-1.14905	2.813599	-0.16786	0.341843	2017-12-30-19:18:27
16.90047	25.91874	-1.2283	2.813599	-0.16786	0.341843	2017-12-30-19:28:28
16.90047	25.91874	-1.21437	2.813599	-0.16786	0.341843	2017-12-30-19:38:28
16.90047	25.91874	-1.14774	2.813599	-0.16786	0.341843	2017-12-30-19:48:28
16.90047	25.91874	-1.11879	2.813599	-0.16786	0.341843	2017-12-30-19:58:28
16.90047	25.91874	-1.13463	2.813599	-0.16786	0.341843	2017-12-30-20:08:29
16.90047	25.91874	-1.09246	2.813599	-0.16786	0.341843	2017-12-30-20:18:29
16.90047	25.91874	-1.13266	2.813599	-0.16786	0.341843	2017-12-30-20:28:29
16.90047	25.91874	-1.12594	2.813599	-0.16786	0.341843	2017-12-30-20:38:29
16.90047	25.91874	-1.0446	2.813599	-0.16786	0.341843	2017-12-30-20:48:29
16.90047	25.91874	-1.11407	2.813599	-0.16786	0.341843	2017-12-30-20:58:30
16.90047	25.91874	-1.04662	2.813599	-0.16786	0.341843	2017-12-30-21:08:30
16.90047	25.91874	-1.19841	2.813599	-0.16786	0.341843	2017-12-30-21:18:30
16.90047	25.91874	-1.14458	2.813599	-0.16786	0.341843	2017-12-30-21:28:30
16.90047	25.91874	-1.16386	2.813599	-0.16786	0.341843	2017-12-30-21:38:30
16.90047	25.91874	-1.15081	2.813599	-0.16786	0.341843	2017-12-30-21:48:31
16.90047	25.91874	-1.16984	2.813599	-0.16786	0.341843	2017-12-30-21:58:31
16.90047	25.91874	-1.10176	2.813599	-0.16786	0.341843	2017-12-30-22:08:31
16.90047	25.91874	-1.14956	2.813599	-0.16786	0.341843	2017-12-30-22:18:31
16.90047	25.91874	-1.06939	2.813599	-0.16786	0.341843	2017-12-30-22:28:31
16.90047	25.91874	-1.16696	2.813599	-0.16786	0.341843	2017-12-30-22:38:32
16.86104	25.88303	-1.07053	2.813599	-0.16786	0.341843	2017-12-30-22:48:32
16.77409	25.80469	-1.1537	2.813599	-0.16786	0.341843	2017-12-30-22:58:32
16.77409	25.80469	-1.16779	2.813599	-0.16786	0.341843	2017-12-30-23:08:32
16.77409	25.80469	-1.17218	2.813599	-0.16786	0.341843	2017-12-30-23:18:32
16.77409	25.80469	-1.13128	2.813599	-0.16786	0.341843	2017-12-30-23:28:33
16.77409	25.80469	-1.0836	2.813599	-0.16786	0.341843	2017-12-30-23:38:33
16.77409	25.80469	-1.13482	2.813599	-0.16786	0.341843	2017-12-30-23:48:33
16.77409	25.80469	-1.12749	2.813599	-0.16786	0.341843	2017-12-30-23:58:33

# Annexes C

## Facture de consommation électrique



الشركة الجزائرية لتوزيع الكهرباء والغاز  
Société Algérienne de Distribution de l'Electricité et du Gaz

Fourniture d'énergie Electricité et Gaz التزويد بطاقة الكهرباء والغاز  
Basse tension / Basse pression الجهد المنخفض / الضغط المنخفض

Capital social : 6400000000 de DA رأس المال :  
Direction Distribution : EL GUED مديرية التوزيع :  
N°RC : 01/0805455806 رقم السجل التجاري :  
N°IS : 096916018012742 رقم التعريف الإحصائي :  
N°RIP : 00799999000038020908 بيان التعريف البريدي :  
N°RIB : 00100710030030001470 بيان التعريف البنكي :  
Fax : 032149515 الفاكس :  
Agence commerciale : DEKILA الوكالة التجارية :  
Adresse : 18 AVE CHAABANI KHELIFA العنوان :  
Tél : 032268308 الهاتف :  
Dépannage Electricité : 032104444 إصلاح الكهرباء :  
Dépannage Gaz : 032104444 إصلاح الغاز :

Facture n° : 853171104892 فاتورة رقم :  
Etablie le : 04.12.17 الإصدار في :

Client الزبون  
Référence : 392113831380174 المرجع :  
Nom et Prénom : HEDDAD LAZHAR الاسم واللقب :  
Adresse : BEN CHAABANE/DRIMINI العنوان :  
N°RC : رقم السجل التجاري :  
N°IS : رقم التعريف الإحصائي :  
Tél : الهاتف : Fax : الفاكس :  
Destinataire de facture المرسل إليه :

Periode: 4eme Trimestre 2017

الإستهلاك  
Consummation

التصنيف	رقم العداد	البيان الجديد	البيان السابق	الفرق	المعامل	الإستهلاك
Tarif	N° Compteur	Index nouveau	Index ancien	Différence	Coef.	Consummation (kWh/m)
54 NM	009092	29801	25158	4643	1.00	4643.00

Clé EBP : 367  
Clé EBB : 859

### Facturation

العناصر	التصنيف	رقم العداد	الإستهلاك / الشطر	سعر الوحدة	المجموع (ب.د.)	ضريبة القيمة المضافة	المجموع كامل الرسوم
Eléments	Tarif	N° Compteur	Consummation / tranche	Prix unitaire	Montant HT	TVA	Montant TTC
ELECTRICITE	54 NM	009092	Tranche 1 250.00	4.1789	1044.73	09%	1138.76
			Tranche 2 750.00	4.8120	23571.18	19%	28049.70
			Tranche 3 3643.00	5.4796			
PRIMES FIXES				262.20	09%	285.60	
TOTAL ELECTRICITE(1)	54 NM		4643.00		24878.11	4596.15	29474.26
TAXE HABITATION					600.00		600.00
Total Droits et taxes(2)					600.00		600.00
SOUTIEN ETAT					3216.73		3216.73
TOTAL CONTRIBUTIONS(3)					3216.73		3216.73

Contribution aux coûts permanents du système 34.82 DA المساهمة الدائمة في تكاليف صيانة نظام الشبكة  
Montant de votre consommation moyenne d'énergie par jour 298.42 DA متوسط ثمن الإستهلاك اليومي من الطاقة  
Montant de la facture en toutes lettres مبلغ الفاتورة بالأحرف  
Total des éléments facturés مجموع العناصر (1+2-3) 22261.38 4596.15  
Montant à payer (CIB, Poste, Chèque, Virement) مبلغ المستحق 26857.53  
Droit de timbre ضريبة الطابع 269.00  
Montant total à payer espèces مبلغ الإجمالي للدفع نقدا 27126.53

VINGT SIX MILLE HUIT CENT CINQUANTE SEPT DINARS ALGERIENS ,53 CTS  
Nous vous prions de régler la facture par l'un des moyens indiqués au verso avant le: 22.12.17  
Au 04.12.17, le montant de vos impayés: 9768.45 DA, au nombre de: 01 FACTURE(S)



الشركة الجزائرية لتوزيع الكهرباء والغاز  
Société Algérienne de Distribution de l'Electricité et du Gaz

التزويد بطاقة الكهرباء والغاز Fourniture d'énergie Electricité et Gaz  
الجهد المنخفض / الضغط المنخفض Basse tension / Basse pression

Capital social : 6400000000 de DA : رأس المال  
Direction Distribution : EL DUEB : مديرية التوزيع  
N°RC : 01/0905455806 : رقم السجل التجاري  
N°IS : 096916010012742 : رقم التعريف الإحصائي  
N°RIP : 00799999000038020908 : بيان التعريف البريدي  
N°RIB : 00100710030030001470 : بيان التعريف البنكي  
Fax : 032149515 : الفاكس  
Agence commerciale : DEBILA : الوكالة التجارية  
Adresse : 18 AVE CHAABANI KHELIFA : العنوان  
Tél : 032268308 : الهاتف  
Dépannage Electricité : 032104444 : إصلاح الكهرباء  
Dépannage Gaz : 032104444 : إصلاح الغاز

Facture n° : 853180204901 : فاتورة رقم  
Etablie le : 06.03.18 : الصادرة في

المرجع : 392113891380174  
الإسم واللقب : HEDOUZ LAZHAR  
العنوان : BEN CHAABANE/DRIMINI  
رقم السجل التجاري :  
رقم التعريف الإحصائي :  
الفاكس :  
المرسل إليه :  
المرجع :  
الإسم واللقب :  
العنوان :  
رقم السجل التجاري :  
رقم التعريف الإحصائي :  
الفاكس :  
المرسل إليه :

Periode: 1er Trimestre 2018

الإستهلاك Consummation	التصيرة Tarif	رقم الحداد N° Compteur	البيان الجديد		البيان المسبق		الفرق Différence	المعامل Coef.	الإستهلاك Consummation (kw/m)
			Index nouveau	R	Index ancien	M			
ELEC. PMD=20 Kw	52 NM	145767	263	R	0	M	263	1.00	263.00
			1893	R	0	M	1893	1.00	1893.00

Cié EBP : 256  
Cié EBB : 478

Facturation

العناصر Eléments	التصيرة Tarif	رقم الحداد N° Compteur	الإستهلاك / الشطر Consummation / tranche	سعر الوحدة Prix unitaire	المجموع (د.ج.) Montant HT	ضريبة القيمة المضافة		المجموع ككل الرسوم Montant TTC
						TVA	Coef.	
ELECTRICITE	52 NM	145767	Tranche 1 263.00 1893.00	8.1147 1.7807	425.56 5079.48	09% 19%	38.30 965.10	463.86 6044.58
PRIMES FIXES					1326.80	09%	119.41	1446.21
TOTAL ELECTRICITE(1)	52 NM		2156.00		6831.84		1122.81	7954.65
TAXE HABITATION					400.00			400.00
Total Droits et taxes(2)					400.00			400.00
E61					726.50	19%	138.04	864.54
Total Frais et Prestations(3)					726.50		138.04	864.54

Contribution aux coûts permanents du système	16.17 DA	المساهمة الدائمة في تكاليف صيانة نظام الشبكة	Total des éléments facturés (1+2+3)	7958.34	1260.85	المبلغ المستحق (CIB, Poste, Chèque, Virement)	9219.19
Montant de votre consommation moyenne d'énergie par jour	102.44 DA	متوسط ثمن الإستهلاك اليومي من الطاقة	مجموع العناصر			ضريبة الطابع	93.00
Montant de la facture en toutes lettres		مبلغ الفاتورة بالأحرف				المبلغ الإجمالي للدفع نقدا	9312.19

NEUF MILLE DEUX CENT DIX NEUF DIMARS ALGERIENS , 19 CTS

Nous vous prions de régler la facture par l'un des moyens indiqués au verso avant le: 24.03.18

Pour mieux vous servir, adresser nous votre numéro de TÉLÉPHONE et votre ADRESSE MAIL sur www.sdr.dz

## ملخص

هذا البحث هو دراسة للمساهمة في تعميم النظم الكهروضوئية للري بواسطة المحاور التقليدية في منطقة الوادي. و لتحقيق أهدافنا ، قمنا بدراسة النتائج الفعلية لوحدة إنتاجية ضوئية لمعرفة إمكانية استغلال هذه الطاقة في مجال الزراعة ، بعد دراسة احتياجات الطاقة اللازمة للسماح لهذا المشروع بالعمل في ظروف جيدة. اخترنا كنموذج ، منطقة الوادي. تقع في جنوب الجزائر وتضم منطقة كبيرة حيث توجد العديد من الأماكن المعزولة غير المتصلة بشبكة الكهرباء (التقليدية) ، وهي مناطق صالحة للزراعة. هذه المنطقة أيضا لديها احتياطي مياه جوفية كبير على بعد أمتار قليلة من سطح الأرض ، الطاقة الشمسية السنوية أيضا حوالي 5.71 كيلو واط / م<sup>2</sup>. تؤكد هذه الدراسة أن الطاقة الشمسية يمكن استخدامها في هذا المجال من أجل الري ، بما في ذلك استخدام المحاور التقليدية التي تسمح بالاستخدام الأمثل وتوفير المياه.

## الكلمات المفتاحية

الطاقة الكهروضوئية، السقي ، المحاور التقليدية ، الضخ الكهروضوئي .

## Résumé

Ce travail de recherche est une étude qui contribue à la vulgarisation des systèmes photovoltaïques pour l'irrigation par pivots traditionnels dans la région d'El-oued.

Pour atteindre nos objectifs, nous avons étudié des résultats réels d'une unité de production photovoltaïque pour connaître la possibilité d'exploiter cette énergie au domaine d'agriculture, après avoir étudié les besoins énergétiques nécessaires pour permettre à ce projet de fonctionner dans de bonnes conditions.

Nous avons choisi comme modèle, la zone d'El-oued, située dans le sud de l'Algérie et s'étend sur une grande superficie où on trouve beaucoup d'endroits isolés non connectés au réseau électrique (classique), qui sont les zones arables. Cette région dispose également d'une grande réserve d'eau souterraine à quelques mètres du sol. Aussi l'énergie solaire annuelle atteint environ de 5.71 kW/m<sup>2</sup>.

Cette étude confirme que l'énergie solaire peut être utilisée dans cette zone pour l'arrosage, notamment en utilisant des pivots traditionnels qui permettent une utilisation optimale et une économie d'eau.

## Les mots clés

Energie photovoltaïque, L'irrigation, Pivots traditionnelles, pompage photovoltaïque.

## Abstract

This research is a study to contribute to the popularization of photovoltaic systems for irrigation by traditional pivots in the El-Oued area.

To achieve our objectives, we have studied the actual results of a photovoltaic production unit to know the possibility of exploiting this energy to the field of agriculture, after having studied the energy needs necessary to allow this project to work in good conditions.

We chose, as model, the area of El-Oued, which is located in the south of Algeria and includes a large area where there are many isolated places not connected to the (conventional) electricity network, that they are arable areas. This region also has a large underground water reserve a few meters above the ground. Also annual solar energy is around 5.71 kW / m<sup>2</sup>.

This study confirms that solar energy can be used in this area for watering, including using traditional pivots that allow optimal use and water saving.

## Keywords

Photovoltaic Energy, Irrigation, Traditional Pivots, Photovoltaic Pumping.