

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie Electrique



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et technologies

Filière : Génie électrique

Spécialité : Electrotechnique Industrielle

Présenté par :

NOUADJA Mohammed Islam

AMIRA Ahmed Chaouki

Thème :

***Dimensionnement d'un générateur photovoltaïque  
pour un système de pompage dans la région de  
Ouargla***

Le : 20/09/2020.

Soumise au jury :

M<sup>r</sup>BOUHAFS Ali

MAA

Président

UKM Ouargla

M<sup>r</sup>LOUAZENEMohamed lakhdar

MCA

Encadreur/rapporteur

UKM Ouargla

M<sup>r</sup> BENMIR Abdelkader

MCB

Examineur

UKM Ouargla

Année universitaire 2019/2020

## REMERCIEMENTS

Nos premiers mots de remerciement s'adressent au bon Dieu tout puissant qui nous a inspiré de santé, volonté et patience pour achever ce travail.

Nous tenons à exprimer notre profond remerciement au professeur Mr **L. MOHAMED LAKHDAR**, notre encadreur de mémoire à l'université Kasdi Merbah Ouargla pour nous avoir proposé ce mémoire de master, l'avoir dirigé, ses conseils avisés tout au long de la réalisation de ce travail.

Mes remerciements les plus respectueux aux membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail **BOUHAFS ALI** et **BENMIR ABDELKADER**.

Et Aux deux plus chères personnes, qui m'ont donné l'amour, l'affection, qui a fait tous leur possible pour me voir réussir, toutes les gestes et expressions ne permettent pas d'exprimer mon amour et ma gratitude : **MON PERE ET MA MERE**.

A tous les membres de ma famille, en particulier mes frères et mes sœurs pour leur amour et encouragement incessant, Ainsi que mes petites nièces **MIRAL** et **ASIL** et **AISSA**.



# DEDICACE

*Je dédie Ce modeste travail à:*

*Mes chers parents **MON PERE** et **MA**  
**MERE**, pour tous leurs sacrifices,*

*Amis, frères ET sœurs,*

*Tous mes Amis et ma famille.*



*Liste des symboles*

## Liste des symboles

---

$I_b$  Le rayonnement direct

$I_d$  Le rayonnement diffus

$I_r$  Le rayonnement réfléchi

$I_G$  Rayonnement global sur une surface horizontale

$I_G(\beta)$  Le rayonnement global sur une surface inclinée

$C$  est un coefficient de diffusion du ciel

$\lambda$  Longitude

$\varphi$  Latitude

$I_{sc}$  Le courant de court-circuit

$V_{co}$  La tension en circuit ouvert

FF Le facteur de forme

$\eta$  Le rendement de conversion d'énergie

$I_{mpp}$  Courant optimum (au point de puissance maximale) (A)

$V_{mpp}$  Tension optimale (au point de puissance maximale) (V)

$E_s$  Ensoleillement en  $W/m^2$

$S$  Surface génératrice en  $m^2$

CS convertisseur statique

GPV générateur photovoltaïque

## Liste des symboles

---

MPPT Maximum Power Point Tracking

$V_{mpp}$  Tension au point de Puissance maximale (V)

$I_{mpp}$  Courant au point de Puissance maximale (A)

$P_{PV}$  Puissance photovoltaïque (W)

$P_{MAX}$  Puissance maximale aux conditions de test standard (STC)

PV Photovoltaïque

$H_{MT}$  Hauteur manométrique totale atteinte par la pompe (m)

$H_g$  Hauteur géométrique entre la nappe d'eau pompée et le plan d'utilisation (m)

$P_c$  Pertes de charge produites par le frottement d'eau sur les parois des conduites(m).

$N_s$  Niveau statique

$N_d$  Niveau dynamique

$R_m$  Le rabattement maximal

$Q$  Volume d'eau ( $m^3$ /jour)

$E_e$  Energie électrique exprimé en (KWh / j)

$\eta_{Mp}$  Le rendement du groupe motopompe

$\eta_{Ond}$  Le rendement d'onduleur.

$C_H$  Constante hydraulique ( $K_g \cdot s \cdot h/m^2$ )

$E_h$  Énergie hydraulique (Wh/jour)

$g$  Accélération de la pesanteur ( $9,81 \text{ m /S}^2$ )

## Liste des symboles

---

$\rho_a$  Densité de l'eau ( $1000 \text{ Kg} / \text{m}^3$ )

$P_c$  Puissance crête (W)

$G$  L'éclairement dans les CSM  $1000 \text{ W}/\text{m}^2$

$E_e$  L'énergie électrique journalière

$\eta_{PV}$  Rendement moyen journalier du générateur PV

$G_d(\beta)$  L'irradiation moyenne journalière incidente sur le plan des modules à l'inclinaison

$\beta$  [  $\text{kwh} / \text{m}^2 / \text{j}$  ].

$F_m$  Facteur de couplage

$\gamma$  Coefficient de température des cellules photovoltaïques

$Q_h$  Le débit horaire

$N$  Nombres de modules

$N_p$  Le nombre de modules connectés en série

$N_{Ms}$  Le nombre de modules en parallèle



*Liste des figures*



## Liste des figures

<b>CHAPITRE I</b>		
<b>Figure I-1</b>	<b>Spectre solaire</b>	<b>4</b>
<b>Figure I-2</b>	<b>Types de rayonnement solaire</b>	<b>5</b>
<b>Figure I-3</b>	<b>Coordonnées terrestres</b>	<b>6</b>
<b>Figure I-4</b>	<b>Coupe transversale d'une cellule PV</b>	<b>8</b>
<b>Figure I-5</b>	<b>Cellules monocristallines</b>	<b>8</b>
<b>Figure I-6</b>	<b>Cellules poly cristallines</b>	<b>9</b>
<b>Figure I-7</b>	<b>Cellules amorphes</b>	<b>9</b>
<b>Figure I-8</b>	<b>Caractéristiques I(V) et P(V) d'une cellule solaire</b>	<b>10</b>
<b>Figure I-9</b>	<b>Caractéristique courant tension de Ns cellule en série</b>	<b>11</b>
<b>Figure I-10</b>	<b>Caractéristique courant tension de N<sub>p</sub> cellule en parallèle</b>	<b>11</b>
<b>Figure I-11</b>	<b>Influence de l'éclairement sur I-V</b>	<b>12</b>
<b>Figure I-12</b>	<b>Influence de l'éclairement sur P-V</b>	<b>12</b>
<b>Figure I-13</b>	<b>Influence de la température sur I-V</b>	<b>13</b>
<b>Figure I-14</b>	<b>Influence de la température sur P-V</b>	<b>13</b>
<b>Figure I-15</b>	<b>Module photovoltaïque</b>	<b>14</b>
<b>Figure I-16</b>	<b>Etage d'adaptation d'un générateur PV – charge</b>	<b>16</b>
<b>Figure I-17</b>	<b>Schéma de principe de la commande MPPT</b>	<b>17</b>
<b>Chapitre II</b>		
<b>Figure II-1</b>	<b>Principe de fonctionnement du pompage avec stockage électrochimique</b>	<b>20</b>
<b>Figure II-2</b>	<b>Principe de fonctionnement du pompage au fil de soleil</b>	<b>21</b>
<b>Figure II-3</b>	<b>Système de pompage solaire photovoltaïque</b>	<b>22</b>
<b>Figure II-4</b>	<b>Pompe volumétrique</b>	<b>24</b>
<b>Figure II-5</b>	<b>Pompe Centrifuge</b>	<b>24</b>
<b>Figure II-6</b>	<b>Constitution Pompe Centrifuge</b>	<b>25</b>
<b>Figure II-7</b>	<b>Moteur a courant continu</b>	<b>27</b>
<b>Figure II-8</b>	<b>Moteur synchrone</b>	<b>28</b>
<b>Figure II-9</b>	<b>Données de base d'une pompe</b>	<b>31</b>
<b>Chapitre III</b>		
<b>Figure III-1</b>	<b>Découpage administratif de la wilaya d'Ouargla</b>	<b>37</b>
<b>Figure III-2</b>	<b>Paramètres de site géographique</b>	<b>46</b>
<b>Figure III-3</b>	<b>Choisira de l'orientation</b>	<b>46</b>
<b>Figure III- 4</b>	<b>Besoins en eau et hydraulique</b>	<b>47</b>
<b>Figure III-5</b>	<b>L'eau a besoin quotidiennement et annuellement</b>	<b>47</b>
<b>Figure III-6</b>	<b>Choisir un modèle de pompe</b>	<b>48</b>
<b>Figure III-7</b>	<b>Choisissez un module PV</b>	<b>49</b>



*Liste des tableaux*

## Liste des tableaux

---

<b>Tableau</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
Tableau II.1	Les avantages et inconvénients des deux techniques de pompage photovoltaïque	21
Tableau II.2	Les avantages et les inconvénients des pompes centrifuges	26
Tableau III.1	Température moyenne mensuelle à Ouargla	37
Tableau III.2	Les valeurs globales de l'irradiation journalière mensuelle pour une inclinaison optimale	38
Tableau III.3	Les besoins journaliers moyens mensuels en eau des palmiers / hectare	39
Tableau III.4	Caractéristiques électriques d'une gamme de pompes PANELLI	40
Tableau III.5	Caractéristiques électriques de l'onduleur	41
Tableau III.6	Caractéristiques électriques du module photovoltaïque CEM250M-72	42



***Sommaire***

## Sommaire

<b>Introduction générale</b>	<b>01</b>
<b><u>Chapitre I : Généralités sur les systèmes photovoltaïque</u></b>	
<b>I.1 Introduction .....</b>	<b>03</b>
<b>I.2 Le rayonnement solaire .....</b>	<b>03</b>
<b>I.2.1 Types de rayonnement solaire .....</b>	<b>04</b>
<b>I.2.1.1 Le rayonnement direct <math>I_b</math> .....</b>	<b>04</b>
<b>I.2.1.2 Le rayonnement diffus <math>I_d</math> .....</b>	<b>04</b>
<b>I.2.1.3 Le rayonnement réfléchi <math>I_r</math> .....</b>	<b>04</b>
<b>I.2.1.4 Le rayonnement global <math>I_G</math> .....</b>	<b>05</b>
<b>I.3 Les coordonnées terrestres .....</b>	<b>06</b>
<b>I.4 Orientation et inclinaison d'une surface .....</b>	<b>07</b>
<b>a. Azimute <math>\alpha</math> .....</b>	<b>07</b>
<b>b. L'inclinaison (<math>\beta</math>) .....</b>	<b>07</b>
<b>I.5 La cellule solaire .....</b>	<b>07</b>
<b>I.5.1 Principe de fonctionnement .....</b>	<b>07</b>
<b>I.5.2 Les différents types de cellules solaires .....</b>	<b>08</b>
<b>I.5.3 Caractéristiques principales des cellules solaires .....</b>	<b>10</b>
<b>I.5.4 Association des cellules photovoltaïque .....</b>	<b>11</b>
<b>I.6 Effet de l'éclairement et de la température .....</b>	<b>12</b>
<b>I.6.1 Effet de l'éclairement .....</b>	<b>12</b>
<b>I.6.2 Effet de la Température .....</b>	<b>13</b>

## Sommaire

---

<b>I.7 Constitution d'un système photovoltaïque .....</b>	<b>14</b>
<b>I.7.1 La cellule photovoltaïque .....</b>	<b>14</b>
<b>I.7.2 Module photovoltaïque .....</b>	<b>14</b>
<b>I.7.3 Générateur photovoltaïque .....</b>	<b>15</b>
<b>I.8 Les différents types des systèmes photovoltaïques .....</b>	<b>15</b>
<b>I.8.1 Système photovoltaïque autonome .....</b>	<b>15</b>
<b>I.8.2 Systèmes raccordés au réseau .....</b>	<b>15</b>
<b>I.9 Utilisation des systèmes solaire .....</b>	<b>15</b>
<b>I.10 Définition de l'étage d'adaptation entre une source et une charge .....</b>	<b>16</b>
<b>I.12 Principe de la commande MPPT .....</b>	<b>16</b>
<b>I.13 Avantages et inconvénients de l'énergie solaire .....</b>	<b>17</b>
<b>I.13.1 Avantage .....</b>	<b>17</b>
<b>I.13.2 Inconvénients .....</b>	<b>18</b>
<b>I.14 Conclusion .....</b>	<b>18</b>
<b><u>Chapitre II : Dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque</u></b>	
<b>II.1 Introduction .....</b>	<b>19</b>
<b>II.2 Définition général du système de pompage .....</b>	<b>19</b>
<b>II.3 Méthodes du pompage .....</b>	<b>19</b>
<b>II.3.1 Système de pompage avec batterie .....</b>	<b>19</b>
<b>II.3.2 Système de pompage au fil du soleil .....</b>	<b>20</b>
<b>II.3.3 Les avantages et inconvénients des pompes au fil du soleil et avec batterie .....</b>	<b>21</b>

## Sommaire

---

<b>II.4 Etude des différents composants du système de pompage photovoltaïque.</b>	<b>22</b>
<b>II.4 .1 Générateur photovoltaïque GPV .....</b>	<b>22</b>
<b>II.4.2 groupe moteur– pompe .....</b>	<b>22</b>
<b>II.4.2.1 Les type de pompes .....</b>	<b>22</b>
<b>II.4.2.1 .1 Selon leur principe de fonctionnement .....</b>	<b>23</b>
<b>A. 1 La pompe volumétrique .....</b>	<b>23</b>
<b>A.2 Caractéristiques de la pompe volumétrique .....</b>	<b>23</b>
<b>B. 1 Pompe centrifuge .....</b>	<b>24</b>
<b>B.2 Caractéristiques de la pompe centrifuge .....</b>	<b>24</b>
<b>B.3 Constitution d'une Pompe Centrifuge .....</b>	<b>25</b>
<b>B.4 Les avantages et les inconvénients des pompes centrifuges .....</b>	<b>26</b>
<b>II.4.3 Moteur électrique .....</b>	<b>26</b>
<b>II.4.3 .1 Moteur a courant continu .....</b>	<b>26</b>
<b>II.4.3.2 Moteur à courant alternatif .....</b>	<b>27</b>
<b>II.4.3 .2.1 Moteur synchrone .....</b>	<b>27</b>
<b>II.4.3 .2.2 Moteur Asynchrones .....</b>	<b>28</b>
<b>II.4.4 Convertisseurs statiques .....</b>	<b>29</b>
<b>II.4.4.1 Le convertisseur DC/ DC hacheur .....</b>	<b>29</b>
<b>II.4.4.2 Le convertisseur DC/AC onduleur .....</b>	<b>29</b>
<b>II.4.5 La partie de stockage .....</b>	<b>29</b>
<b>II.4.5 .1 Stockage de l'eau .....</b>	<b>29</b>

## Sommaire

II.4.5 .2 Stockage électrochimique .....	30
II.6 Données de base .....	30
II.7 Etapes de dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque .....	31
II.7.1 Evaluation des besoins en eau .....	32
II.7.2 Calcul de l'énergie électrique quotidienne requise .....	32
II.7.3 Détermination de l'énergie solaire disponible .....	33
II.7.4 Inclinaison du générateur photovoltaïque .....	33
II.7.5 Mois de dimensionnement .....	33
II.7.6 Dimensionnement du générateur photovoltaïque .....	33
II.7.7 Dimensionnement de la pompe .....	34
II.8 Conclusion .....	35
<b><u>Chapitre III : Application d'un système de pompage PV sur la région de Ouargla</u></b>	
III.1 Introduction .....	36
III.2 Situation géographique .....	36
III. 2.1 La Wilaya d'Ouargla .....	36
III .2.2 Les différents espaces de la cuvette d'Ouargla .....	37
III .3 Les conditions climatiques .....	37
III.3.1 La Température .....	37
III.3.2 Rayonnement solaire .....	38
III .4 Le Système de pompage PV .....	38



## Sommaire

III.4.1 Estimation des besoins en eau .....	38
III.4.2 Hauteur manométrique total .....	39
III .5 Dimensionnement de la station de pompage .....	39
III .5 .1 Choix de la pompe .....	39
III .6 Calcul de l'énergie hydraulique et l'énergie électrique .....	41
III.6.1 L'énergie hydraulique .....	41
II.6.2 L'énergie électrique .....	41
III .7 La capacité du réservoir .....	41
III .8 Le convertisseur DC/AC (onduleur) .....	41
III .9 Taille du générateur PV .....	42
III.10 Nombre de modules .....	43
III.10.1 Nombre de modules en série .....	44
III.10.2 Nombre de module en parallèle .....	44
III.10.3 Correction de la puissance crête .....	45
III.11 Logiciel Simulation d'un système de pompage solaire .....	45
III.11.1 Logiciel de dimensionnement PV .....	45
III.11.2 Etape de la simulation d'un système de pompage solaire par PV SYS 6.7	45
III.12 Conclusion .....	54
Conclusion générale .....	55
Références bibliographiques .....	57
Annexe .....	61
Résumé .....	63



***Introduction  
Générale***

---

## Introduction générale

---

### Introduction générale

Dans nos jours, l'eau et l'énergie sont parmi les plus importants éléments essentiels et indispensables à la vie. La demande croissante de l'énergie et l'épuisement futur inévitable des sources classiques exigent des recherches sur des sources alternatives, comme les énergies renouvelables surtout dans les sites isolés, ces derniers ayant des conditions climatiques favorables pour le pompage d'eau, on peut l'exploiter pour l'irrigation dans l'agriculture.

Cette nouvelle technique est plus pratique et économique et saine, mais la plus grande partie de l'énergie consommée aujourd'hui provient de l'utilisation de combustibles fossiles tels que le pétrole, le charbon, le gaz naturel ou l'énergie nucléaire et cette consommation de l'énergie causée une diminution de ces sources énergétiques pour être plus économique et saine, les chercheurs ont substitué les énergies fossiles par d'autres sources d'énergies renouvelables, pour trouver une solution à ce problème énergétique tels que : hydroélectrique, l'énergie géothermique, l'énergie de la biomasse, l'énergie éolienne et l'énergie photovoltaïque.

Ces énergies sont non polluantes et elles ne produisent pas de gaz à effet de serre comme le dioxyde de carbone et les oxydes d'azote qui sont responsables du réchauffement de la terre.

Dans ce travail de recherche ; nous prêtons notre attention à l'énergie solaire photovoltaïque exactement dans la région de Ouargla. Ce genre de solution est plus adéquat dans les régions arides et semi-arides où la demande de l'eau est élevée à cause de temps sec et chaud.

## Introduction générale

---

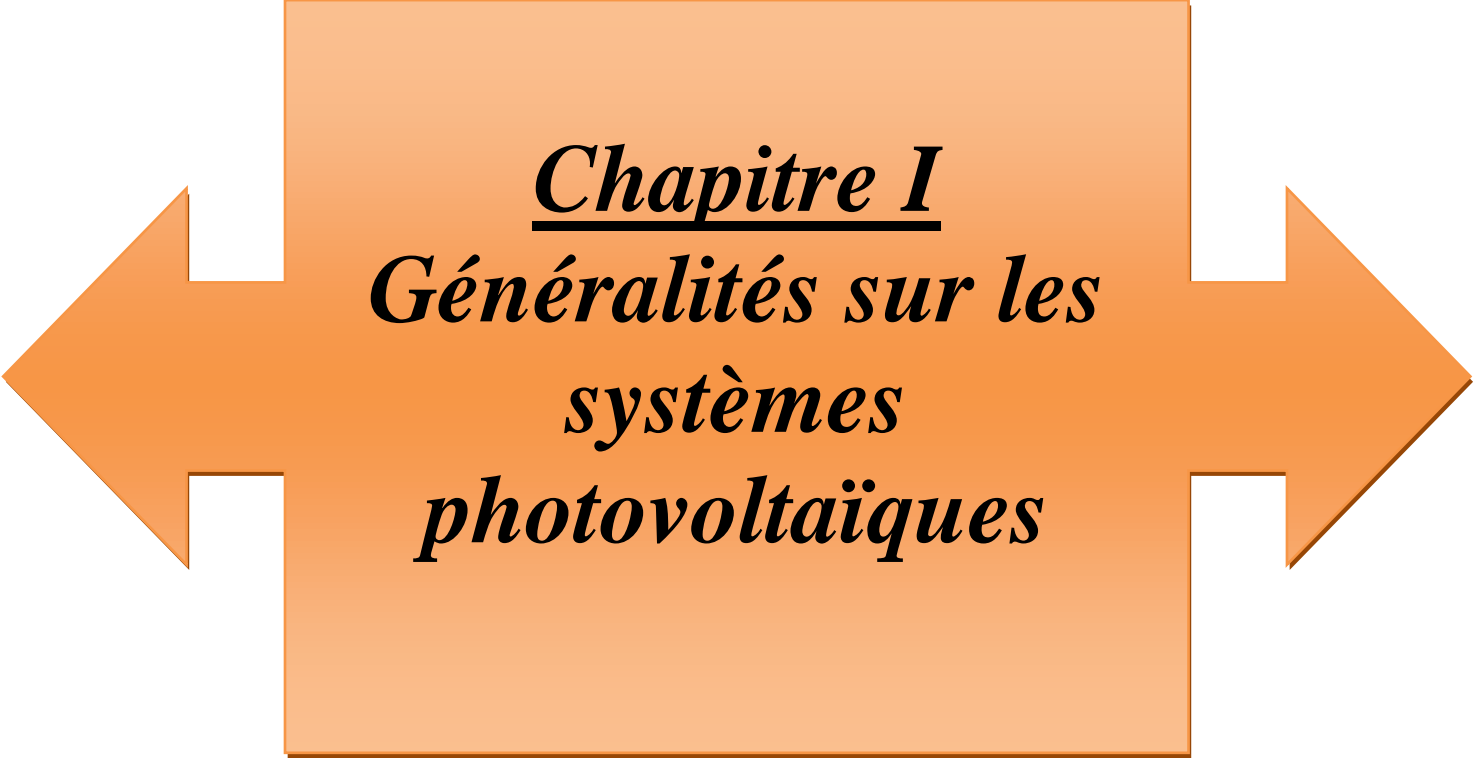
Ce travail est subdivisé en trois chapitres :

**Dans le premier chapitre**, nous donnons des explications générales sur l'énergie solaire et le système photovoltaïque et nous rappelons l'existence deux systèmes photovoltaïques existant, ainsi l'explication technique de la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique, autrement dit « l'effet photovoltaïque », et des détails concernant les caractéristiques électriques des cellules solaires avec les différent types des cellules photovoltaïque , enfin on va présenter les avantages et les inconvénients de l'énergie photovoltaïque.

**Le deuxième chapitre**, est consacré principalement sur le système de pompage photovoltaïque d'eau, on va poser les types de ce système de pompage, et les principales composants avec les types des pompes photovoltaïque, et le dimensionnement d'un chacun composant de système de pompage photovoltaïque.

**Le troisième chapitre**, a été entièrement consacré à une étude détaillée de ce type de pompage d'eau dans la région de Ouargla avec les conditions climatiques du site. Nous dimensionnons un système de pompage photovoltaïque fonctionnant par la méthode dite « au fil de soleil » afin d'irriguer une surface d'un hectare de palmiers.

**Enfin**, nous terminons cette étude par une conclusion générale qui résume les travaux réalisés.



**Chapitre I**  
***Généralités sur les  
systèmes  
photovoltaïques***

## I.1 Introduction :

Devant la demande croissante de l'énergie électrique, essentiellement pour les sites isolés (régions sahariennes, régions montagneuses), où le raccordement au réseau électrique public est très coûteux, l'énergie solaire photovoltaïque constitue la solution la plus avantageuse.

Car elle est inépuisable, propre et offre une grande sécurité d'utilisation ainsi, les systèmes photovoltaïques ne nécessitent aucun apport extérieur de combustible.

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique. Cette conversion d'énergie s'effectue par le biais d'une cellule dite photovoltaïque (PV) basée sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque.

Nous commençons ce chapitre par la définition systèmes photovoltaïques en montrant le principe de la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique en suite nous présentons La cellule photovoltaïque en décrivant les différents modes de regroupement et les types des cellules ensuite les différents types systèmes photovoltaïques avec l'utilisation et principe de La commande MPPT. Enfin, avantages et inconvénients de l'énergie solaire.

## I.2 Le rayonnement solaire :

Le soleil est l'origine de toute forme d'énergie sur terre. La production d'électricité Photovoltaïque dépend de l'ensoleillement du lieu et de la température, autrement dit de sa Localisation géographique, de la saison et de l'heure de la journée. Le spectre solaire est similaire à un corps noir à une température de 5800 K qui est compris dans une bande de longueur d'onde variant de 0,22 à 10 $\mu$ m. Il se décompose en trois Bandes distinctes comme suit [1] :

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

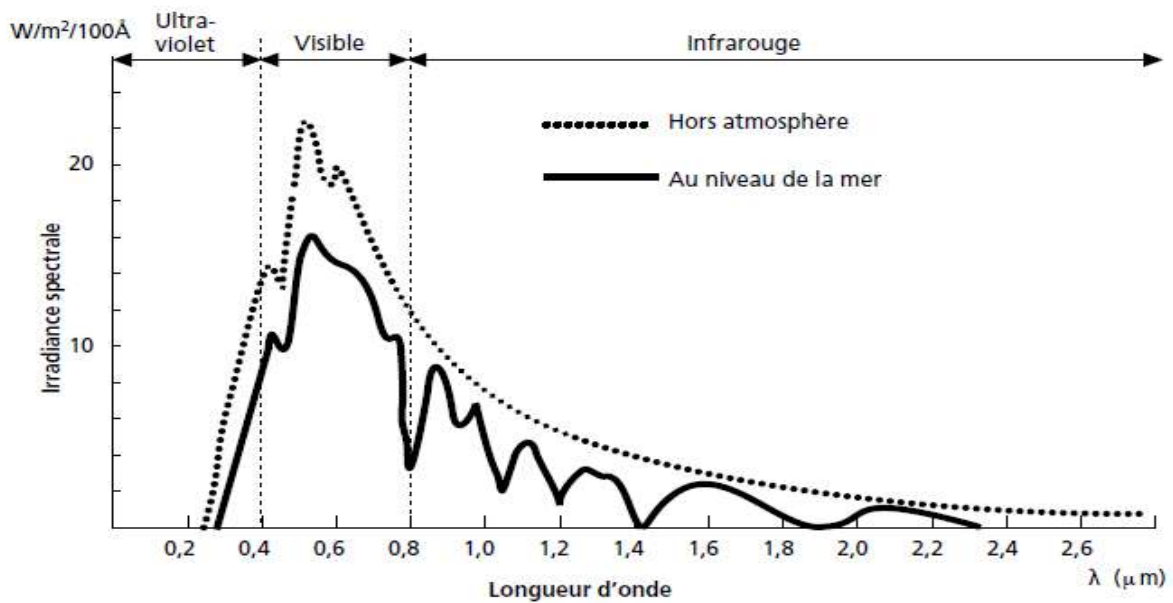


Figure I-1 Spectre solaire

## I.2.1 Types de rayonnement solaire :

### I.2.1.1 Le rayonnement direct ( $I_b$ ):

C'est la fraction du rayonnement solaire qui arrive directement au sol, dont le trajet est «linéaire» (il y a, en fait, de légères déviations) et unique à un instant donné [2].

### I.2.1.2 Le rayonnement diffus( $I_d$ ):

Le rayonnement diffus C'est la diffusion d'une partie du rayonnement solaire global par l'atmosphère et à sa réflexion par les nuages et les aérosols [3].

### I.2.1.3 Le rayonnement réfléchi( $I_r$ ):

C'est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface. Cet albédo peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige, etc....) [3].

### I.2.1.4 Le rayonnement global ( $I_G$ ) [4] :

#### ➤ Rayonnement global sur une surface horizontale :

Le rayonnement global  $I_G$  est la somme du rayonnement direct  $I_b$  et du rayonnement diffus  $I_d$ . Le rayonnement global s'écrit :

$$I_G = I_b \sin h + I_d \quad (I.1)$$

Le rayonnement diffus peut être estimé par la relation :

$$I_d = C \times I_b \quad (I.2)$$

Où  $C$  est un coefficient de diffusion du ciel.

Les valeurs de  $C$  sont tabulées et sont fonction de paramètres climatiques.

#### ➤ Le rayonnement global sur une surface inclinée :

Le rayonnement solaire global  $I_G(\beta)$  sur une surface arbitraire ayant une inclinaison  $\beta$  par rapport à l'horizontale et un angle azimutal  $\gamma$  est la somme des composantes directe  $I_G(\beta)$ , Diffuse  $I_d(\beta)$  et réfléchi par le sol  $I_r(\beta)$  du rayonnement solaire.

$$I_G(\beta) = I_G(\beta) + I_d(\beta) + I_r(\beta) \quad (I.3)$$



Figure I.2 Types de rayonnement solaire



### I.3 Coordonnées terrestres [2]:

#### ❖ Longitude :

La longitude ( $\lambda$ ) d'un lieu correspond à l'angle formé par deux plans méridiens (passant par l'axe des pôles), l'un étant pris comme origine (méridien de Greenwich  $0^\circ$ ) et l'autre déterminé par le lieu envisagé.

La longitude d'un lieu peut être comprise entre  $-180$  et  $180^\circ$ . A tout écart de  $1^\circ$  de longitude correspond à un écart de 4 minutes de temps.

On affecte du signe (+) les méridiens situés à l'Est de ce méridien, et du signe (-) les méridiens situés à l'Ouest.

#### ❖ Altitude :

L'altitude d'un point correspond à la distance verticale en mètre entre ce point et une surface de référence théorique (niveau moyen de la mer).

#### ❖ Latitude :

L'angle ( $\varphi$ ) de latitude est l'angle entre une ligne tracée d'un point sur la surface de la terre avec le centre de cette dernière, et le cercle équatorial de la terre. L'intersection du cercle équatorial avec la surface de la terre forme l'équateur et est indiquée en tant que latitude de  $0^\circ$ , le pôle nord par la latitude  $+90^\circ$  et le pôle sud par la latitude  $-90^\circ$ .

Par convention, le signe (-) est affecté à tous les lieux de l'hémisphère nord et le signe (+) à tous les lieux de l'hémisphère sud. La latitude d'un lieu peut être comprise entre  $-90^\circ$  et  $+90^\circ$ .

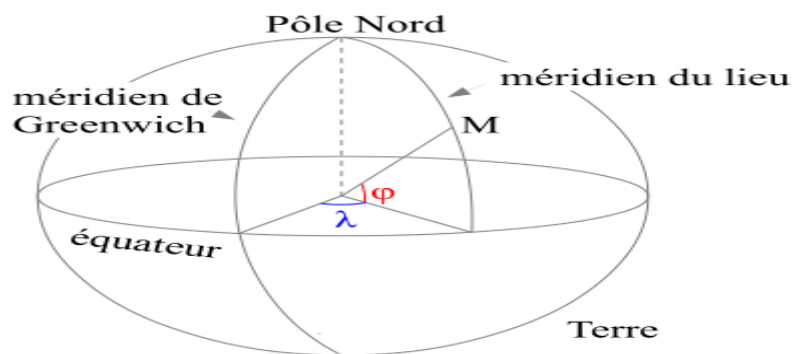


Figure I-3 Coordonnées terrestres

**I.4 Orientation et inclinaison d'une surface :****a. Azimute  $\alpha$  [5] :**

C'est l'angle que fait la projection du soleil sur le plan horizontal avec la direction du Sud.

$\alpha = -90^\circ$  plan Est orienté vers le Est.

$\alpha = 0$  plan Sud.

$\alpha = 90^\circ$  plan Ouest orienté vers l'ouest.

$\alpha = 180^\circ$  plan Nord orienté vers le nord.

**b. L'inclinaison ( $\beta$ ):**

Du capteur par rapport au sol ( $0^\circ < \beta < 90^\circ$ ) Elle est nulle pour ce qui est du plan horizontal dans le calcul du premier angle d'incidence puis de  $45^\circ$  pour le second [6].

**I.5 La cellule solaire :****I.5.1 Principe de fonctionnement :**

Une cellule photovoltaïque est basée sur le phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier entre 0.3 et 0.7 V en fonction du matériau utilisé et de sa disposition ainsi que de la température de la cellule [7].

Une cellule PV est réalisée à partir de deux couches de silicium, une dopée P (dopée au Bore) et l'autre dopée N (dopée au phosphore), créant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel.

Lorsque les photons sont absorbés par les semi-conducteurs, ils transmettent leurs énergies aux atomes de la jonction PN de telle sorte que les électrons (charges N) et des trous (charges P) créent alors une différence de potentiel entre les deux couches. Cette différence de potentiel est mesurable entre les connections des bornes positive et négative de la cellule.

La tension maximale de la cellule est d'environ 0.6 V pour un courant nul, cette tension est nommée tension de circuit ouvert *VOC*. Le courant maximal se produit lorsque les bornes de la cellule sont court-circuitées ; il est appelé courant de court-circuit *ISC* et dépend fortement du niveau d'éclairement.

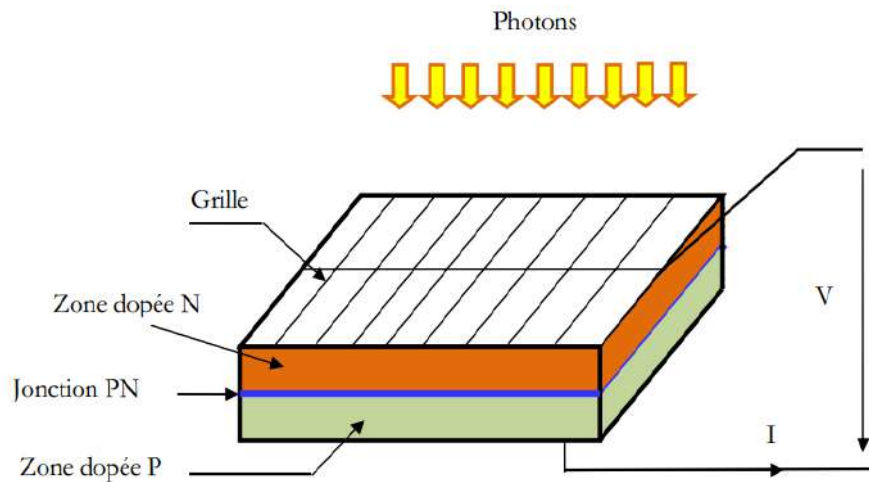


Figure I-4 Coupe transversale d'une cellule PV.

### I.5.2 Les différents types de cellules solaires :

#### ➤ Cellules monocristallines :

C'est la première génération des photopiles, elle s'approche le plus du modèle théorique. Ces cellules sont effectivement composées de nombreux cristaux purs de silicium spécialement produits à cet effet d'une taille d'environ de 10cm, ces cristaux sont ensuite scies en plaques ultrafines, dopées et connectées [8].

Ces cellules permettent d'obtenir des rendements élevés, de l'ordre de 12 à 18% et jusqu'à 24.7 % en laboratoire. Mais souffrent néanmoins des inconvénients :

- Méthode de production laborieuse difficile et donc très chère (fabrication compliquée).
- Il faut une grande quantité d'énergie pour obtenir un cristal pur.



Figure I-5 Cellules monocristallines

➤ **Les cellules poly cristallines :**

Les cellules poly-cristallines sont composées d'un agglomérat de cristaux. Elles sont caractérisées par [8] :

- Cout de production moins élevé.
- Nécessitent 2 à 3 fois moins d'énergie pour leur fabrication.
- Rendement de 13 % et jusqu'à 20 % en labo.



**Figure I-6 Cellules poly cristallines**

➤ **Les cellules amorphes :**

Le silicium amorphe, apparu en 1976. Sa structure atomique est désordonnée et non cristallisée, le cout de production de ces cellules est bien plus bas car le processus de fabrication est simple. Cependant, le rendement est de plus de 2 fois inférieur à celui du silicium cristallin (Rendement de seulement 6 % par module et de 14 % au laboratoire) et nécessite donc plus de surface pour la même puissance [8].

Elles sont utilisées couramment dans de petits produits de consommation telle que des calculatrices solaires ou encore des montres. L'avantage de ce dernier type est le fonctionnement avec un éclairage faible (même par temps couvert ou à l'intérieur d'un bâtiment).



**Figure I-7 Cellules amorphes**

### I.5.3 Caractéristiques principales des cellules solaires sont :

La cellule photovoltaïque est caractérisée par les paramètres suivants [9] :

- ✓ **Le courant de court-circuit  $I_{sc}$**  : Courant débité par un module en court-circuit pour un éclairement " plein soleil ".
- ✓ **La tension en circuit ouvert  $V_{co}$**  : Tension aux bornes du module en l'absence de tout courant, pour un éclairement " plein soleil ".
- ✓ **Le facteur de forme FF** : Rapport entre la puissance optimale  $P_m$  et la puissance maximale que peut avoir la cellule.

$$FF = \frac{V_m \cdot I_m}{V_{co} \cdot I_{cc}} \quad (I.4)$$

- ✓ **Le rendement de conversion d'énergie**: Rapport de la puissance électrique optimale à la puissance de radiation incidente.

$$\eta = \frac{V_{mpp} \cdot I_{mpp}}{E_s \cdot S} \quad (I.5)$$

$I_{mpp}$  Courant optimum (au point de puissance maximale) (A)

$V_{mpp}$  Tension optimale (au point de puissance maximale) (V)

$E_s$  Ensoleillement en  $W/m^2$

$S$  Surface génératrice en  $m^2$

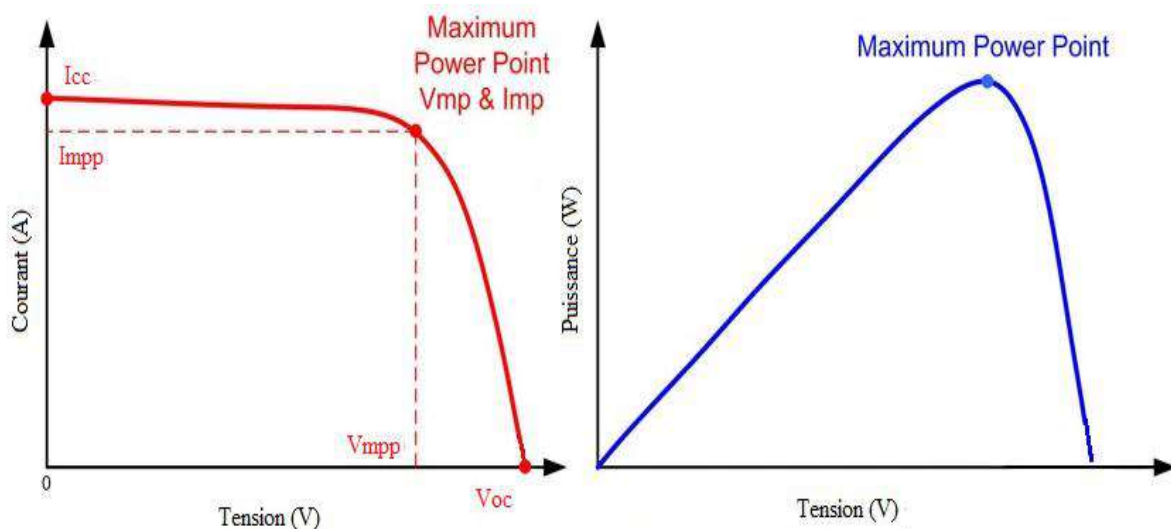


Figure I-8 Caractéristiques I(V) et P(V) d'une cellule solaire

**I.5.4 Association des cellules photovoltaïques :**

➤ **Association en série :**

L'association en série des photopiles délivre une tension égale à la somme des tensions individuelles et un courant égal à celui d'une seule cellule [10].

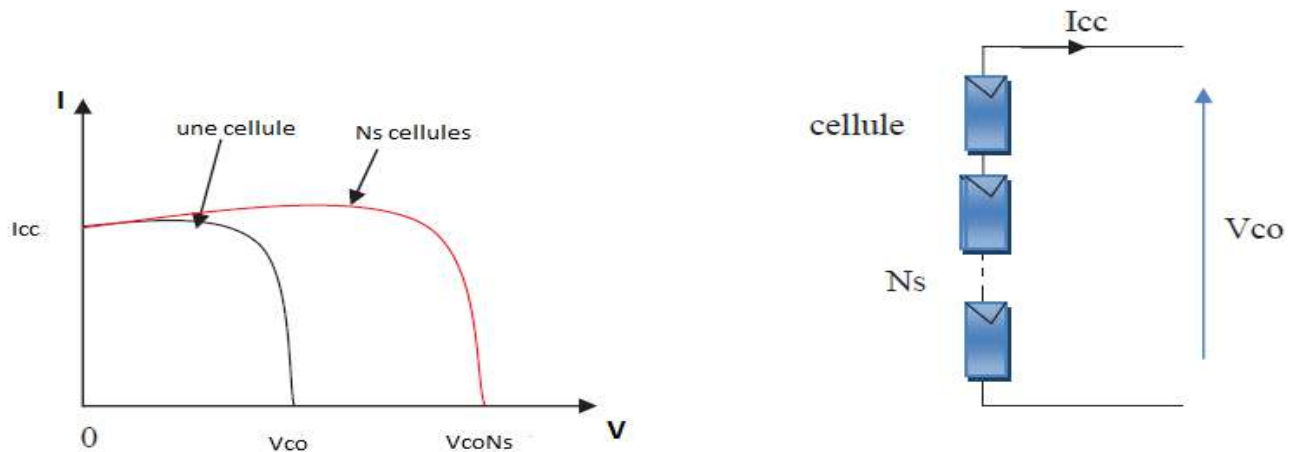


Figure I-9 Caractéristique courant tension de  $N_s$  cellule en série

➤ **Association en parallèle :**

L'association en parallèle des photopiles délivre un courant égal à la somme des courants individuels et une tension égale à celui d'une seule cellule [10].

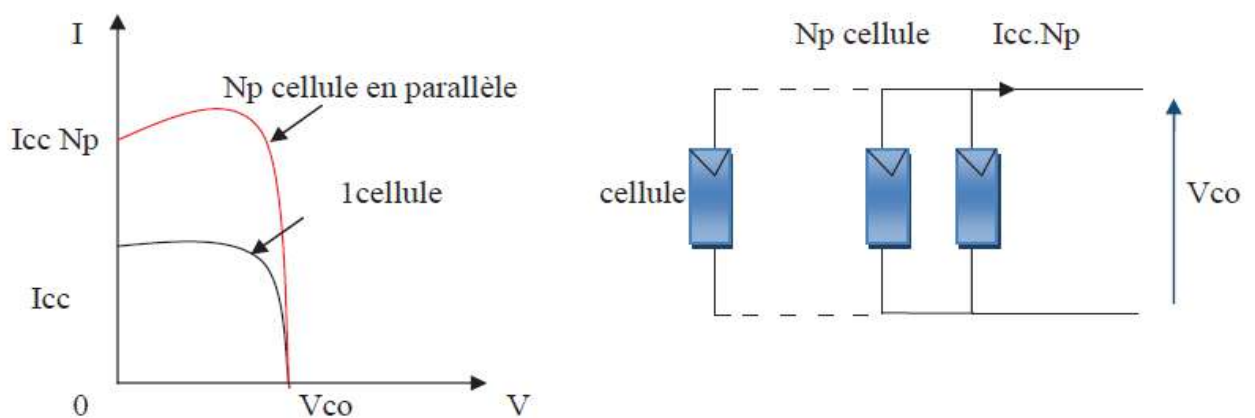


Figure I-10 Caractéristique courant tension de  $N_p$  cellule en parallèle

➤ **Association mixte (Série + Parallèle) :**

Pour avoir une satisfaction en courant et en tension, on est obligé d'utiliser un groupement mixte, c'est à dire Série-Parallèle [10].

## I.6 Effet de l'éclairement et de la température :

### I.6.1 Effet de l'éclairement:

Les figures (I.11, I.12) montres l'influence de l'éclairement sur la caractéristique  $I=f(v)$  et  $P=f(v)$  à une température constante. Nous avons maintenu une température constante ( $25^{\circ}\text{C}$ ) à différents éclairements ( $1000\text{W}/\text{m}^2, 800\text{W}/\text{m}^2, 600\text{W}/\text{m}^2, 500\text{W}/\text{m}^2$ ).

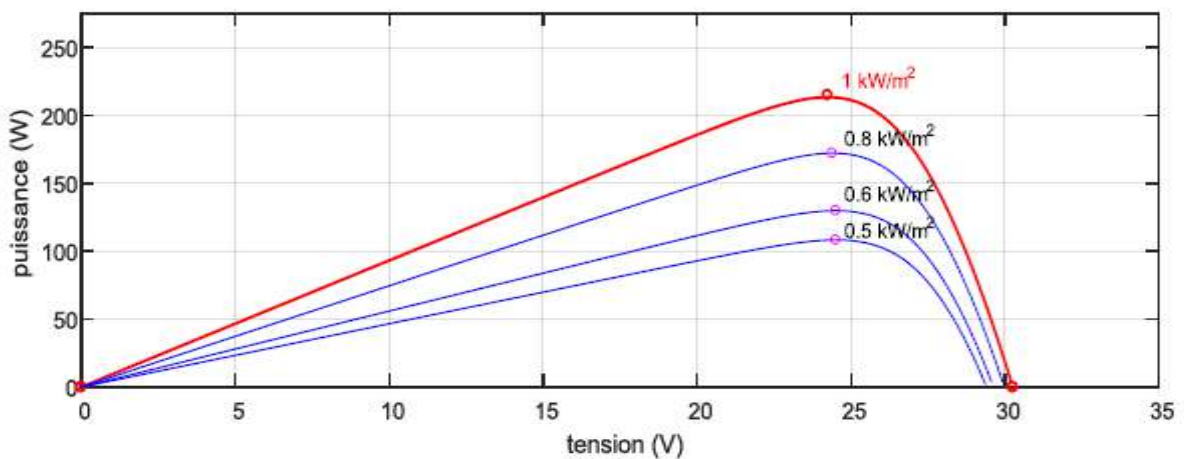


Figure I-11 L'influence de l'éclairement sur la caractéristique  $I=f(V)$  [11]

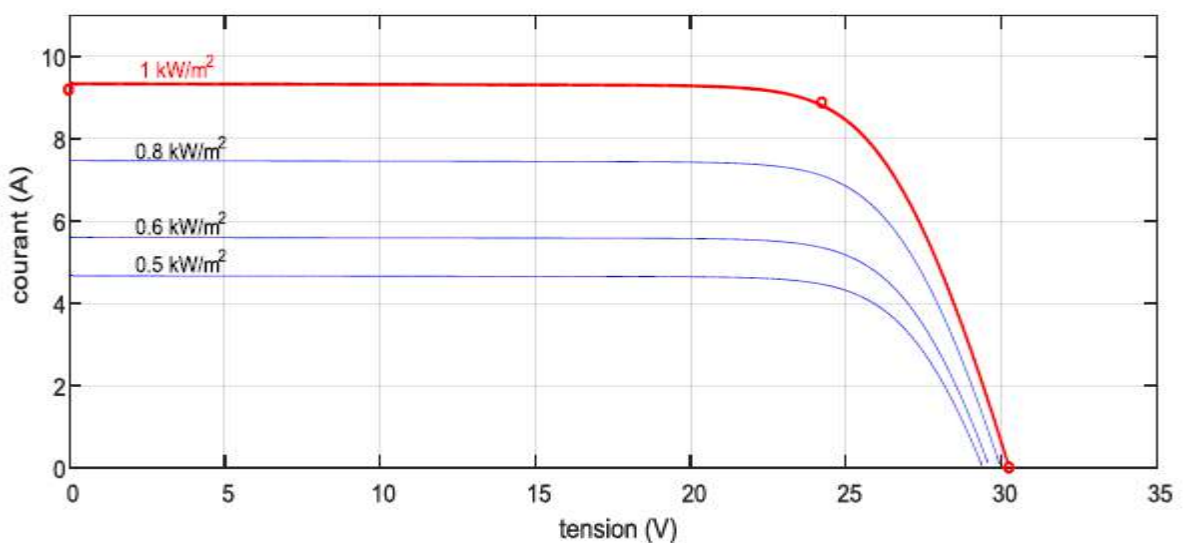
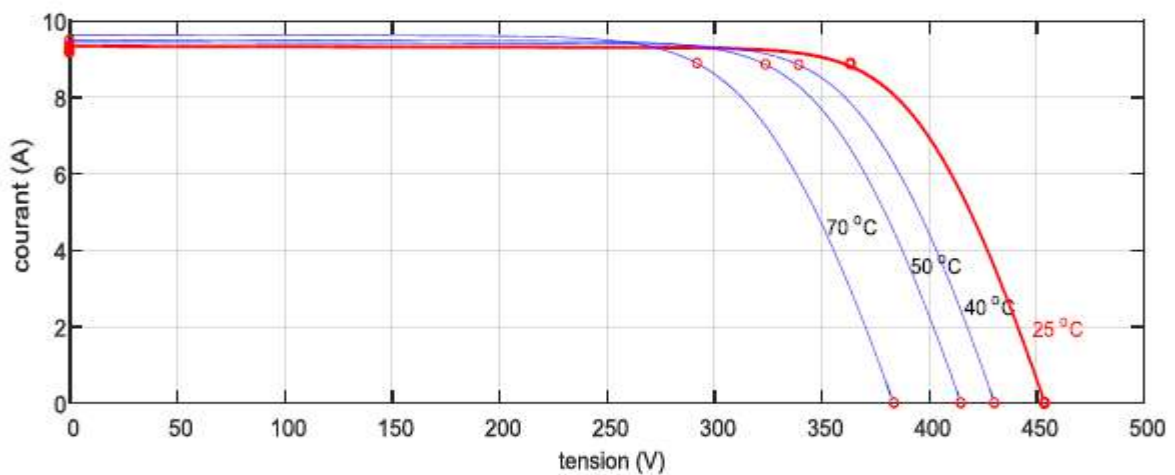


Figure I-12 L'influence de l'éclairement sur la caractéristique  $I=f(V)$  [11]

On remarque que la valeur du courant de court-circuit est directement proportionnelle à l'intensité du rayonnement. Par contre, la tension en circuit ouvert varie légèrement. Ce qui se traduit par une augmentation de la puissance, lorsque l'éclairement est augmenté, figure (I-12).

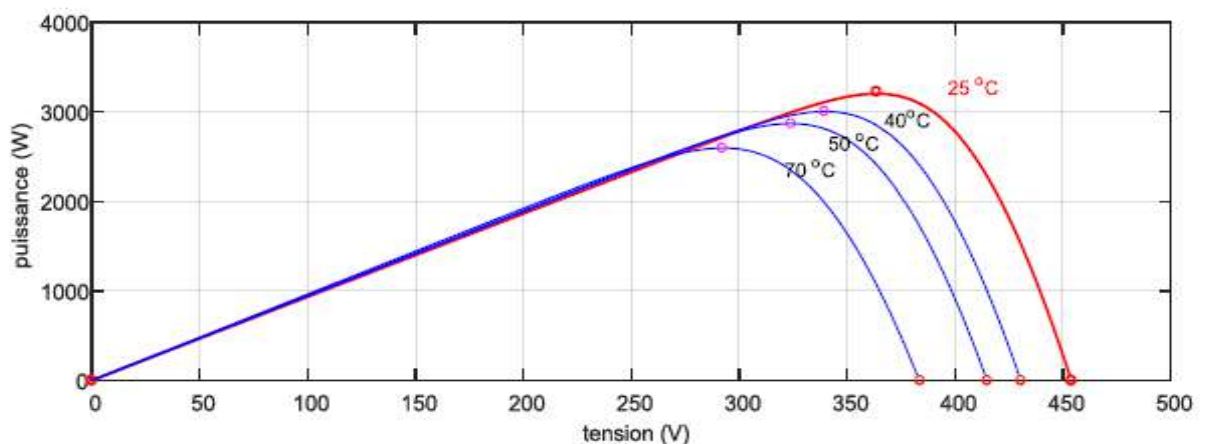
### I.6.2 Effet de la Température :

Les figures (I.13, I.14) montrent l'influence de la température sur la caractéristique  $I=f(v)$  et  $P=f(v)$  à un éclairement constant ( $100\text{W}/\text{m}^2$ ) pour différentes températures ( $25^\circ\text{C}$ ,  $40^\circ\text{C}$ ,  $50^\circ\text{C}$ ,  $70^\circ\text{C}$ ).



### I.13 L'influence de la température sur la caractéristique $I=f(V)$ [11]

On remarque que la température a une influence négligeable sur la valeur du courant de court-circuit. Par contre, la tension en circuit ouvert baisse assez fortement lorsque la température augmente.



### I.14 L'influence de la température sur la caractéristique $I=f(V)$ [11]



D'après la figure (I.14) l'effet de l'augmentation de la température sur la caractéristique  $P = f(V)$  fait diminuer légèrement la puissance et la tension du circuit ouvert du générateur photovoltaïque.

### **I.7 Constitution d'un système photovoltaïque :**

Le système photovoltaïque est composé particulièrement par :

#### **I.7.1 La cellule photovoltaïque :**

Une cellule photovoltaïque est un dispositif qui permet de transformer l'énergie solaire en énergie électrique. Cette transformation est basée sur les trois mécanismes suivants [12] :

- Absorption des photons (dont l'énergie est supérieure au gap) par le matériau constituant le dispositif
- Conversion de l'énergie du photon en énergie électrique, ce qui correspond à la création de paires électron/trous dans le matériau semi-conducteur.
- Collecte des particules générées dans le dispositif.

#### **I.7.2 Module photovoltaïque :**

C'est un groupement de cellules photovoltaïques qui sont associées en série (pour augmenter la tension) et en parallèle (pour augmenter le courant) pour obtenir une puissance élevée suffisante lorsqu'il est exposé à la lumière [13].

Un module photovoltaïque se compose généralement d'un circuit de 36 cellules en série, protégées de l'humidité par un capsulage de verre et de plastique. L'ensemble est ensuite muni d'un cadre et d'une boîte de jonction électrique [14].



**Figure I- 15 Module photovoltaïque**

**I.7.3 Générateur photovoltaïque :**

Les cellules solaires sont généralement associées en série et en parallèle, puis encapsulées sous verre pour obtenir un module photovoltaïque. Un générateur PV est constitué de modules interconnectés pour former une unité produisant une puissance continue élevée compatible avec le matériel électrique usuel. Les modules PV sont habituellement branchés en série-parallèle pour augmenter la tension et l'intensité à la sortie du générateur. Les modules interconnectés sont montés sur des supports métalliques et inclinés suivant l'angle désiré en fonction du lieu, cet ensemble est souvent désigné par champ de modules [15].

**I.8 Les différents types des systèmes photovoltaïques :****I.8.1 Système photovoltaïque autonome :**

Les systèmes autonomes dépendent uniquement de l'énergie solaire pour répondre à la demande d'électricité. Ils peuvent comporter des accumulateurs qui emmagasinent l'énergie produite par les modules au cours de la journée servant la nuit ou lors des périodes où le rayonnement solaire est insuffisant. Ces systèmes peuvent également répondre aux besoins d'une application (par exemple, le pompage de l'eau) sans recours aux accumulateurs [16].

**I.8.2 Systèmes photovoltaïque raccordés au réseau :**

On parle de système photovoltaïque raccordé au réseau quand toute ou une partie de la production électrique est injectée sur le réseau national. C'est le type d'installation le plus répandu chez les particuliers ayant des panneaux solaires car il permet de revendre l'électricité produite. Un certain nombre de pays comme les USA, l'Allemagne, le Japon favorisent l'émergence d'un nouveau marché promoteur de couplage des générateurs solaires au réseau d'électricité [16].

**I.9 Utilisation des systèmes solaire :**

- L'éclairage (autoroutes, arrêts d'autobus,...), la climatisation solaire, le pompage photovoltaïque.
- Les communications (Stations de relais de téléphone, bornes d'appel d'urgences sur autoroutes, téléphones mobiles.)
- La fourniture d'électricité pour des sites éloignés du réseau normal (Forêts, montagnes)

- Pour de petites stations de pompage ou d'irrigation Chargement des batteries de voitures (les batteries normales, ou de voitures électriques).

### I.10 Définition de l'étage d'adaptation entre une source et une charge :

Un générateur PV présente des caractéristiques  $I(V)$  non linéaires avec des points de puissance maximale (PPM). La production de puissance varie fortement en fonction de l'éclairement, de la température, mais aussi du vieillissement global du système. De plus, selon les caractéristiques de la charge sur laquelle le générateur PV débite, nous pouvons trouver un très fort écart entre la puissance du générateur et celle réellement transférée à la charge en mode connexion directe. Afin d'extraire à chaque instant le maximum de puissance disponible aux bornes du générateur PV et de le transférer à la charge, la technique adoptée classiquement consiste à utiliser un étage d'adaptation entre le générateur PV et la charge [17].

Cet étage joue le rôle d'interface entre les deux éléments en assurant, à travers une action de contrôle, le transfert du maximum de puissance fournie par le générateur pour qu'elle soit la plus proche possible de la puissance maximale disponible.

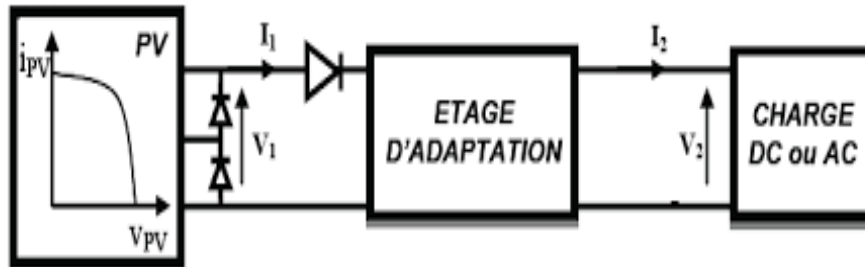


Figure I-16 Etage d'adaptation d'un générateur PV – charge

### I.11 Principe de la commande MPPT :

Par définition, une commande MPPT, associée à un étage intermédiaire d'adaptation, permet de faire fonctionner un GPV de façon à produire en permanence. Le maximum de sa puissance. Ainsi, quel que soit les conditions météorologiques (température et irradiation), la commande du convertisseur place le système au point de fonctionnement maximum ( $V_{mpp}$  et  $I_{mpp}$ ) [3].

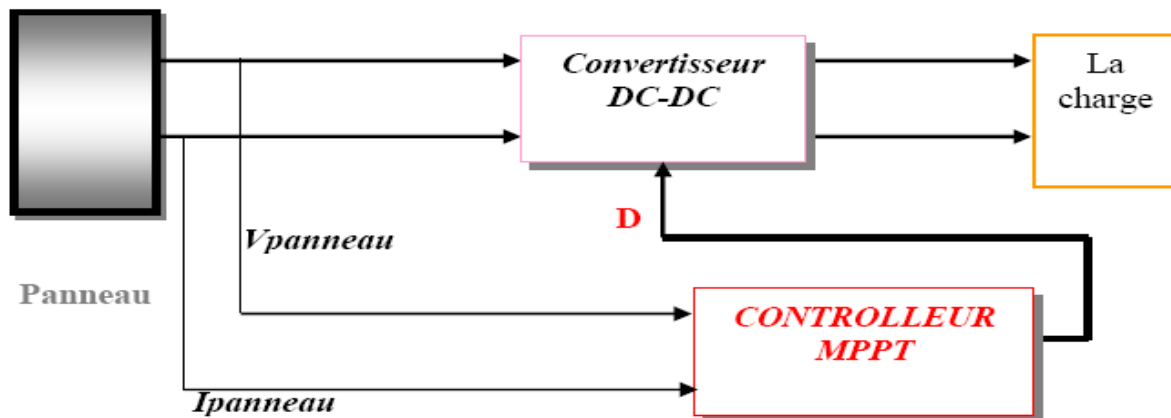


Figure I-17 Schéma de principe de la commande MPPT

La commande MPPT fait varier le rapport cyclique du convertisseur statique (CS), à l'aide d'un signal électrique approprié, pour tirer le maximum de puissance que le GPV peut fournir. L'algorithme MPPT peut être plus ou moins compliqué pour rechercher le MPP.

En général, il est basé sur la variation du rapport cyclique du CS en fonction de l'évolution des paramètres d'entrée de ce dernier (I et V et par conséquent de la puissance du GPV) jusqu'à se placer sur le MPP.

Les techniques MPPT les plus populaires sont revues et étudiées, telles que [18]:

- Algorithme Perturber et observer, 'P&O'.
- Algorithme Incrément de la conductance, 'INC'.
- Algorithme à base de la mesure d'une fraction de la tension,  $V_{CO}$ .
- Algorithme à base de la mesure d'une fraction du courant  $I_{CC}$ .
- Algorithme à base de la logique floue.

## I.12 Avantages et inconvénients de l'énergie solaire :

### I.13.1 Avantage : [19]

- D'abord une haute fiabilité. L'installation ne comporte pas de pièces mobiles qui la rendent particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.

- Le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliwatt au Mégawatt.
- Le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits et il ne nécessite ni combustible, ni son transport, ni personnel hautement spécialisé.
- La technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions.

### **I.13.2 Inconvénients : [19]**

- La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible, de l'ordre de 10-15 % avec une limite théorique pour une cellule de 28%.
- Les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport aux générateurs diesel que pour des faibles demandes d'énergie en régions isolées.
- Lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur est accru.
- Le stockage de l'énergie électrique pose encore de nombreux problèmes.

### **I.14 Conclusion :**

Nous avons présenté dans ce chapitre des généralités sur l'énergie solaire photovoltaïque (ensoleillement, effet photovoltaïque, ...etc.), principe de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique par cellule photovoltaïque ainsi que les différentes technologies d'une cellule PV, et à travers une étude sur les types de regroupement des cellules nous avons montré l'influence de la température et de l'éclairement sur Caractéristique (I-V) et (P-V) et les différents types des systèmes photovoltaïque ensuite on a terminé par les avantages et les inconvénients de l'énergie solaire.



**Chapitre II**

***Dimensionnement d'un  
système de pompage  
photovoltaïque***

### II.1 Introduction :

Beaucoup de populations dans les zones rurales des pays en voie de développement affrontent de grands problèmes dus au déficit en eau. C'est pourquoi ils proposeront le pompage photovoltaïque pour assurer une vie plus développée au niveau économique propre pour les régions désertiques ou montagneuses qui possèdent une quantité importante des rayons solaires. Si bien qu'il constitue une solution parfaite pour avoir de l'irrigation agricole et de l'eau potable.

Ce chapitre traite plus particulièrement les éléments théoriques permettant de dimensionner les stations de pompage courantes.

### II.2 Définition général du système de pompage d'eau :

La différence entre un système de pompage solaire et un système de pompage classique est l'utilisation de panneaux photovoltaïques, d'un convertisseur et d'une pompe adéquate. Les pompes utilisées peuvent être de surfaces ou immergées, centrifuges ou volumétriques selon la condition d'utilisation : Le pompage photovoltaïque se présente fondamentalement de deux façons selon qu'elle fonctionne, avec ou sans batterie. Alors que cette première utilise une batterie pour stocker l'électricité produite par les modules, le pompage sans batterie, plus communément appelée « pompage au fil du soleil », utilise un réservoir pour stocker l'eau jusqu'au moment de son utilisation.

### II.3 Méthodes du pompage :

#### II.3.1 Système de pompage avec batterie: [20]

Ce système utilise des batteries qui stockent l'énergie produite par les cellules. Très souvent, le pompage photovoltaïque ne correspond pas aux heures d'ensoleillement ou nécessite une intensité régulière, pour remédier à ces limitations, une batterie est ajoutée au système.

- Le champ de modules PV charge la batterie en période d'ensoleillement.
- La batterie alimente la charge et assure un stockage de l'énergie électrique.

- Le stockage d'énergie électrique rend les systèmes de pompage photovoltaïque fiables, la journée et la nuit, en beau et mauvais temps.



Figure II.1 Principe de fonctionnement du pompage avec stockage électrochimique

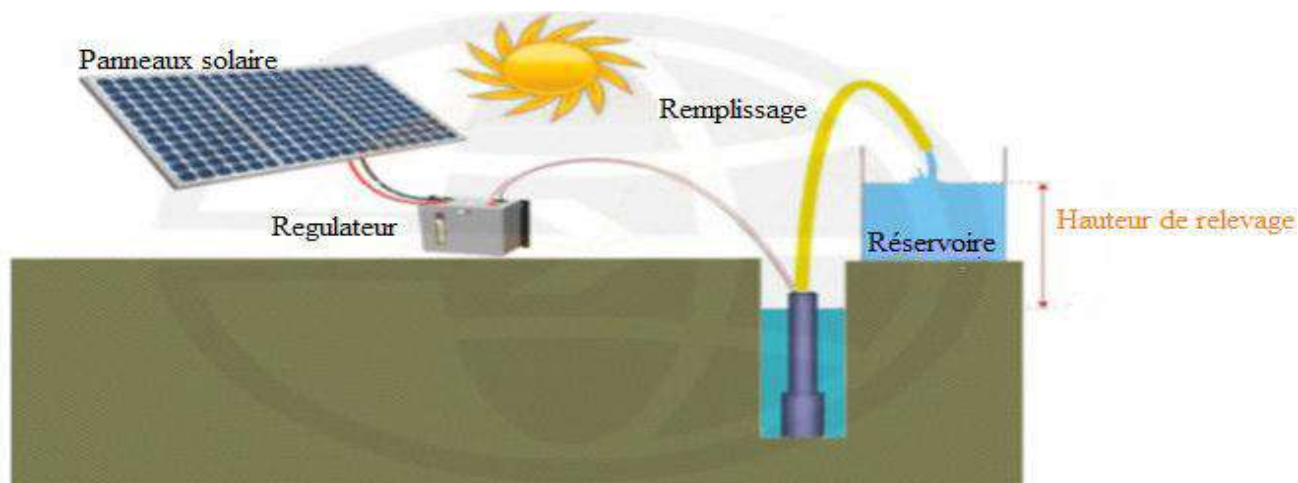
### II.3.2 Système de pompage au fil du soleil:[20]

Le pompage au fil du soleil utilise un réservoir pour stocker de l'eau jusqu'au moment de son utilisation, Constituer d'un générateur photovoltaïque alimentant une pompe assistée par un régulateur contrôleur. Pour éviter un coût supplémentaire de l'installation, la plus part des systèmes de pompage photovoltaïque fonctionnent au 'fil du soleil' où le moteur d'entraînement est directement couplé au générateur sans stockage d'énergie (la puissance électrique fournie au récepteur est fonction de la puissance d'éclairement).

Cet arrangement est bien adapté aux charges non critiques telles que les pompes, qui ne nécessitent pas une opération continue durant toute la journée, aussi, les horaires de cette production ne sont pas compatibles avec les horaires de la majorité des activités agricoles. (Elles commencent généralement à débiter vers 8h et fonctionnent à leur maximum de 11h à 13h et s'arrêtent vers 17h, soit environ 8 heures de fonctionnement par jour).

- Le pompage au fil du soleil est suffisant, la pompe est mise en route.
- La nuit ou quand le rayonnement devient trop faible, la pompe s'arrête.





**Figure II.2 Principe de fonctionnement du pompage au fil de soleil**

**II.3.3 Les avantages et inconvénients des pompages au fil du soleil et avec batteries :**

Les avantages et inconvénients des deux techniques de pompage photovoltaïque sont résumés dans le tableau ci-après [21] :

Méthodes de pompage	Avantages	Inconvénients
<b>Pompage au fil du soleil</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Economie du coût des batteries et par conséquent leur maintenance.</li> <li>2. Système photovoltaïque plus simple, plus fiable et moins coûteux.</li> <li>3. Meilleur rendement énergétique.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Perte d'énergie au début et à la fin de la journée.</li> <li>2. Le débit de la pompe n'est pas constant et le rabattement du forage peut-être trop élevé durant certaines périodes de la journée.</li> </ol>
<b>Pompage avec batterie</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Débit de la pompe régulier et à pression fixe.</li> <li>2. Possibilité de pomper l'eau lorsque le soleil est absent.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Coût élevé d'entretien et maintenance des batteries.</li> <li>2. Changement des batteries tous 5 à 7 ans.</li> <li>3. Les batteries introduisent un certain degré de perte de rendement d'environ 20% à 30% de la production d'énergie.</li> <li>4. Coût élevé du système photovoltaïque.</li> </ol>

**Tableau II.1 Les avantages et inconvénients des deux techniques de pompage photovoltaïque**

### II.4 Etude des différents composants du système de pompage photovoltaïque :

Le système de pompage solaire est constitué généralement par [22] :

- ❖ le générateur photovoltaïque.
- ❖ le groupe électropompe.
- ❖ l'électronique de commande et de contrôle.
- ❖ la partie stockage.

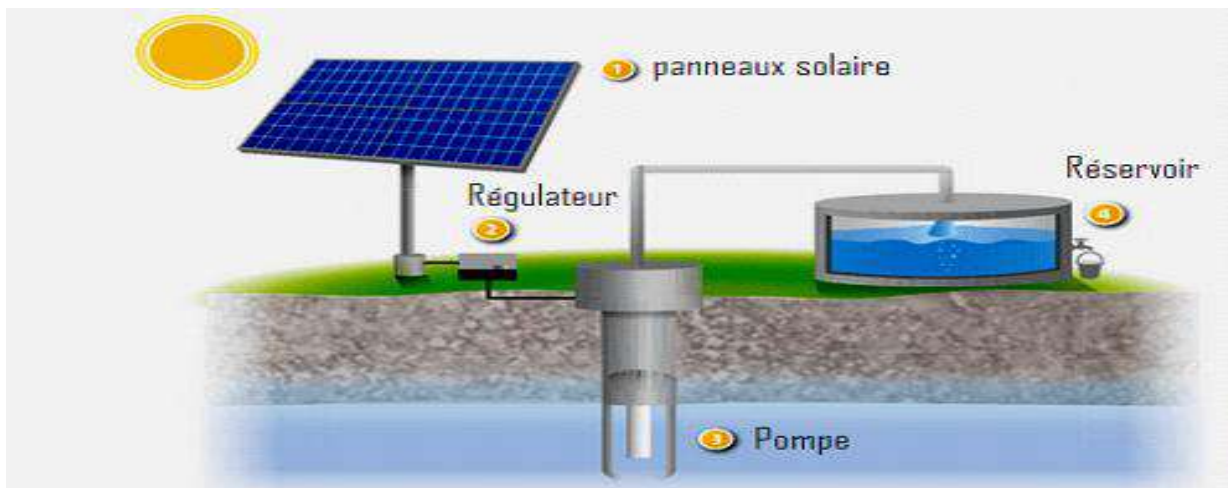


Figure II.3 Système de pompage solaire photovoltaïque

#### II.4.1 Générateur photovoltaïque GPV :

Le GPV représente la source de l'énergie électrique actionnant le moteur pompe. Il se compose d'un certain nombre de modules qui sont constitués par l'association de cellules en série. La mise en série et en parallèle des panneaux permet d'obtenir la tension et le courant exigés [23].

#### II.4.2 groupe moteur - pompe :

Le groupe électropompe est constitué d'un moteur électrique et d'une pompe.

##### II.4.2.1 Les type de pompes :

Une pompe est un appareil transformant une énergie mécanique (couple et vitesse de rotation de l'arbre), en énergie hydraulique (débit et pression). Elle est utilisée dans des forages et choisie selon la hauteur manométrique que devra fournir la pompe pour garantir le fonctionnement [24].

Les critères qui guident le choix d'une pompe sont les suivants [25]:

- ✓ La nature du liquide pompé, viscosité, température, présence de corps solides.
- ✓ Le débit et la pression souhaitée.
- ✓ L'énergie consommée

### **II.4.2.1 .1 Selon leur principe de fonctionnement :**

#### **A.1 La pompe volumétrique : [26]**

Les pompes volumétriques encore appelées pompes à cavité progressive utilisent les variations de volume du fluide pompé pour obtenir un accroissement de pression.

Le fluide est d'abord aspiré par l'accroissement d'un volume puis refoulé par diminution de ce même volume. Elles transmettent l'énergie cinétique du moteur en mouvement de va-et-vient permettant au fluide de vaincre la gravité par variations successives d'un volume raccordé alternativement à l'orifice d'aspiration et à l'orifice de refoulement. Les pompes volumétriques incluent les pompes à vis, les pompes à palettes, les pompes à piston et les pompes à diaphragme. Les deux derniers types sont utilisés dans les puits ou les forages profonds (plus de 100 mètres). L'entraînement est habituellement assuré par un arbre de transmission très long, à partir d'un moteur électrique monté en surface.

#### **A.2 Caractéristiques de la pompe volumétrique : [26,27]**

- Le débit d'eau d'une pompe volumétrique est proportionnel à la vitesse du moteur.
- couple varie essentiellement en fonction de la hauteur manométrique totale (HMT) et est pratiquement constant en fonction de la vitesse de rotation du moteur.
- La puissance consommée sera proportionnelle à la vitesse.
- Le couple de démarrage d'une pompe volumétrique (de 3 à 5 fois le couple nominal) et la caractéristique  $I = f(V)$  de ce type de pompe font que son fonctionnement en direct sur un panneau photovoltaïque n'est pas économiquement viable.
- Elles sont destinées aux faibles débits (inférieur à  $5m^3/h$ ) et aux grandes hauteurs.



**Figure II.4 Pompe volumétrique**

### **B.1 Pompe centrifuge :**

Les pompes centrifuges utilisent les variations de vitesse du fluide pompé pour obtenir un accroissement de pression. L'énergie mécanique du moteur est transmise au fluide. La vitesse donnée au fluide va fournir une énergie cinétique à celui-ci. L'énergie cinétique est ensuite transformée en énergie de pression.



**Figure II.5 Pompe Centrifuge Avec Vannes Isolement**

### **B.2 Caractéristiques de la pompe centrifuge : [26,27]**

- Le couple d'entraînement de la pompe est pratiquement nul au démarrage. Particulièrement intéressant dans le cadre de l'utilisation des modules photovoltaïques car la pompe tourne même par très faible ensoleillement.
- Le débit de cette pompe varie en proportionnelle de la vitesse de rotation du moteur.

- La puissance consommée, proportionnelle à  $Q \times HMT$ , variera donc dans le rapport du cube de la vitesse.

- Couple augmente très rapidement en fonction de cette vitesse et la hauteur de refoulement est fonction du carré de la vitesse du moteur.

- Il n'y a pas ou presque pas d'aspiration. Elles doivent être amorcées pour fonctionner de manière à éviter tout risque de destruction si fonctionnement à sec. Certaines sont auto –

### B.3 Constitution d'une Pompe Centrifuge : [28]

Une pompe centrifuge est constituée par :

- Une roue à aubes tournant autour de son axe.
- Un distributeur dans l'axe de la roue.
- Un collecteur de section croissante, en forme de spirale.

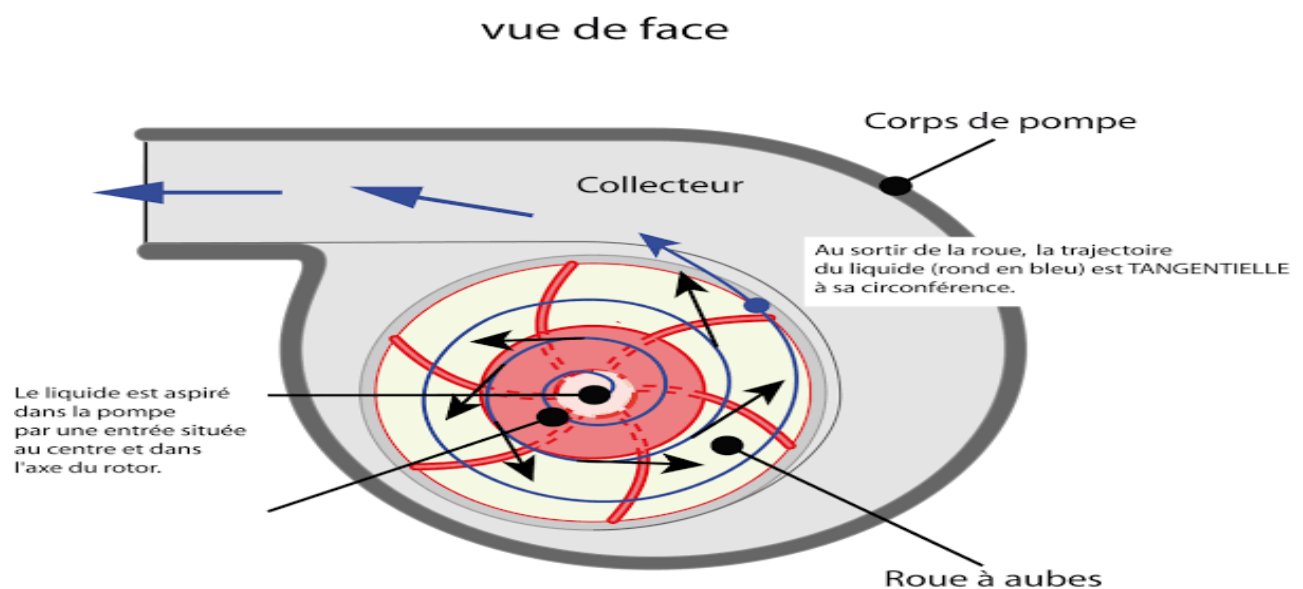


Figure II.6 Constitution Pompe Centrifuge

### B.4 Les avantages et les inconvénients des pompes centrifuges :

Les avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Construction simple en général, une seule pièce en mouvement « le rotor».</li><li>➤ Encombrement réduit, Prix peu élevé.</li><li>➤ Grande flexibilité d'utilisation.</li><li>➤ Ajustement automatique du débit à la pression.</li><li>➤ Puissance absorbée limitée, donc sans danger.</li><li>➤ Entretien en général peu coûteux.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Limitation de la viscosité.</li><li>➤ En fait, la pompe centrifuge est limitée pratiquement à des viscosités de l'ordre de 100cSt (centistokes)</li><li>➤ son rendement chute rapidement au-delà de cette valeur.</li><li>➤ Débit légèrement instable, dans les basses valeurs : difficulté de contrôler le débit.</li></ul>

Tableau II.2 Les avantages et les inconvénients des pompes centrifuges [29]

### II.4.3 Moteur électrique:

Le moteur d'un groupe motopompe convertit l'énergie électrique en énergie mécanique. Il peut être à courant continu ou alternatif. Dans ce dernier cas, un convertisseur électronique ou un onduleur est nécessaire pour convertir le courant continu provenant d'un générateur photovoltaïque en courant alternatif. Pour cette raison, le choix d'un moteur à courant continu peut sembler, de prime abord, plus intéressant, mais nous allons voir que l'évolution des convertisseurs électroniques efficaces permet également de choisir des moteurs alternatifs efficaces et surtout, moins cher.

#### II.4.3 .1 Moteur a courant continu :

L'énergie électrique appliquée à un moteur est transformée en énergie mécanique en variant le sens du courant circulant dans un induit (habituellement le rotor) soumis à un champ magnétique produit par un inducteur (habituellement le stator).

La commutation du courant dans le rotor d'un moteur à courant continu est effectuée à l'aide de balais. L'avantage principal des machines à courant continu réside dans leur adaptation simple aux moyens permettant de régler ou de faire varier leur vitesse, leur couple et leur sens de rotation. Son principal défaut réside dans l'ensemble balais / collecteur rotatif qui s'use, est complexe à réaliser et consomme de l'énergie [30].

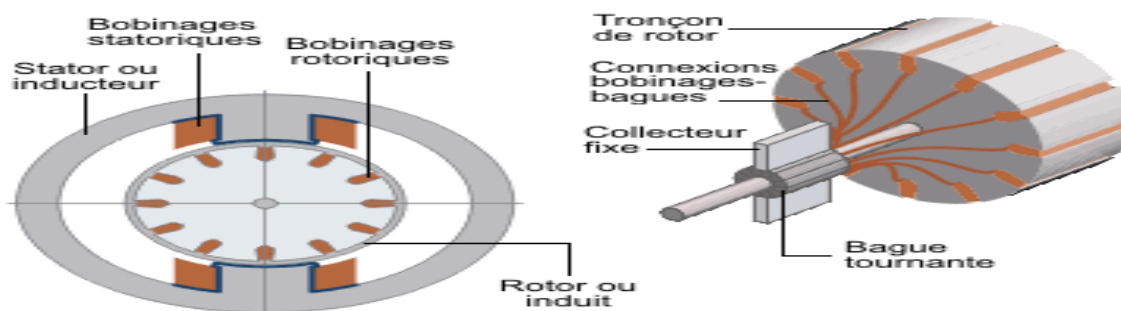


Figure II.7 Moteur à courant continu

### II.4.3.2 Moteur à courant alternatif :

Pour les applications de faible et moyenne puissance (jusqu'à quelques kilowatts), le réseau monophasé standard suffit. Pour des applications de forte puissance, les moteurs à courant alternatif sont généralement alimentés par une source de courants polyphasés. Le système le plus fréquemment utilisé est alors le triphasé (phases décalées de  $120^\circ$ ) utilisé par les distributeurs d'électricité [31].

Il existe deux types de moteurs alternatifs :

- Moteur synchrone.
- Moteur asynchrone.

#### II.4.3.2.1 Moteur synchrone :

La machine synchrone est souvent utilisée comme génératrice. On l'appelle alors alternateur, mis à part pour la réalisation de groupe électrogène de faible puissance, cette machine est généralement triphasée. Pour la production d'électricité, les centrales électriques utilisent des alternateurs dont les puissances peuvent avoisiner les 1500 MW.



Comme le nom l'indique, la vitesse de rotation de ces machines est toujours proportionnelle à la fréquence des courants qui les traversent. Ce type de machine peut être utilisé pour relever le facteur de puissance d'une installation.



**Figure II.8 Moteur synchrone**

### II.4.3 .2.2 Moteur Asynchrones :

Toutefois les machines asynchrone sont les plus utilisée devant les machines synchrones pour une application pompage, grâce aux avantages suivants [32] :

- Sa disponibilité dans le marché avec un coût bas.
- Son entretien qui est nul de fait de l'absence complète de pièces en frottement.
- Disponible pour une large plage de charge.
- Le rapport puissance / poids est élevé.

L'utilisation d'un moteur asynchrone (à courant alternatif triphasé), plus robuste moins cher et sans entretien, devient une solution plus économique et plus pratique même au prix d'un circuit électronique de commande plus complexe pour les systèmes de pompage photovoltaïques [22].

L'utilisation d'un moteur asynchrone augmente ainsi l'autonomie et la fiabilité de l'installation. Le moteur est alimenté par un onduleur (convertisseur DC/AC) qui assure l'optimisation du générateur. Ces moteurs sont conçus pour être immergés et utilisés dans une eau d'une température maximale d'environ 35 °C [22].



### **II.4.4 Convertisseurs statiques :**

Le conditionneur d'énergie a un rôle d'optimiser le transfert de l'énergie entre le générateur photovoltaïque et le groupe moteur-pompe. Il peut être un convertisseur DC/AC pour un moteur à courant alternatif ou un convertisseur DC/DC pour un moteur à courant continu [33].

#### **II.4.4.1 Le convertisseur DC/ DC hacheur :**

L'impédance d'entrée d'un convertisseur statique du type cc/cc doit être adaptée afin de forcer le générateur photovoltaïque à travailler au point de puissance maximale. Ce convertisseur peut fournir une tension continue variable à partir d'une tension continue fixe.

En fonction des caractéristiques de la charge, la tension de sortie (VS) peut être supérieure ou inférieure à la tension d'alimentation (VO). Les convertisseurs statiques du type cc/cc se divisent généralement en trois catégories : abaisseur de tension (hacheur dévolteur), élévateur de tension (hacheur survolteur) et abaisseur-élévateur de tension (hacheur dévolteur survolteur) [34].

#### **II.4.4.2 Le convertisseur DC/AC Onduleur : [35]**

C'est un dispositif destiné à convertir le courant continu en courant alternatif. Il peut être conçu à base de transistors de puissance ou à thyristors utilisés comme commutateurs de puissance. Dans le système de pompage photovoltaïque, la connexion entre le générateur photovoltaïque et la pompe entraînée par un moteur à courant alternatif est faite par un onduleur. Ce dernier permet de réaliser un transfert optimal de puissance entre le générateur et le groupe moto- pompe sous les conditions variables de la puissance produite et de la demande en puissance. Ce transfert est contrôlé par variation de fréquence. Ces onduleurs relativement peu coûteux sont très efficaces, fonctionnant à près de 90%-95% de rendement.

### **II.4.5 La partie de stockage:**

#### **II.4.5 .1 Stockage de l'eau :**

La tendance actuelle dans le monde est de stocker de l'eau dans des réservoirs. Cette Méthode est pratique et peu coûteuse par rapport au stockage électrochimique dans les batteries. En effet, les batteries ont une durée de vie limitée et elles nécessitent des entretiens périodiques et ainsi, le réservoir d'eau peut être dimensionné en fonction de la durée d'autonomie souhaitée [36].

### II.4.5 .2 Stockage électrochimique :

Dans certains systèmes de pompage photovoltaïque, l'utilisation des batteries de stockage électrochimique est indispensable pour leurs fonctionnements. Généralement, ces systèmes de pompage nécessitent des tensions de fonctionnement faibles (12 VDC, 24 VDC, etc.).Egalement, le stockage électrochimique est utilisé pour permettre au système de pompage de fournir de l'eau avec une certaine pression constante impossible de l'assurer avec la méthode gravitationnelle du réservoir [36].

### II.6 Données de base :

Le débit d'eau de la pompe et la hauteur manométrique de pompage sont des données nécessaires pour le dimensionnement de la pompe et de ses composants.

#### ✓ Le débit $Q$ :

Le débit ( $Q$ ) est la quantité d'eau fourni par une pompe durant un intervalle de temps donné. En pompage solaire, le débit (ou le besoin en eau) est souvent exprimé en  $m^3$  par jour.

#### ✓ La hauteur manométrique totale $H_{MT}$ :

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 [27]:

$$H_{MT} = H_g + P_c \text{ (II. 1)}$$

$H_g$ : Hauteur géométrique entre la nappe d'eau pompée (niveau dynamique) et le plan d'utilisation .Elle est calculée par la formule suivante [27]:

$$H_g = H_r + N_d \text{ (II. 2)}$$

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

#### ✓ Niveau statique :

Le niveau statique  $N_s$  d'un puits ou d'un forage est la distance du sol à la surface de l'eau avant pompage.

### ✓ Niveau dynamique :

Le niveau dynamique  $N_d$  d'un puits ou d'un forage est la distance du sol à la surface de l'eau pour un pompage à un débit donné.

Pour le calcul de la  $H_{MT}$ , le niveau dynamique est calculé pour un débit moyen.

La différence entre le niveau dynamique et le niveau statique est appelée rabattement.  $R_m$  Est le rabattement maximal acceptable avant de stopper la pompe.

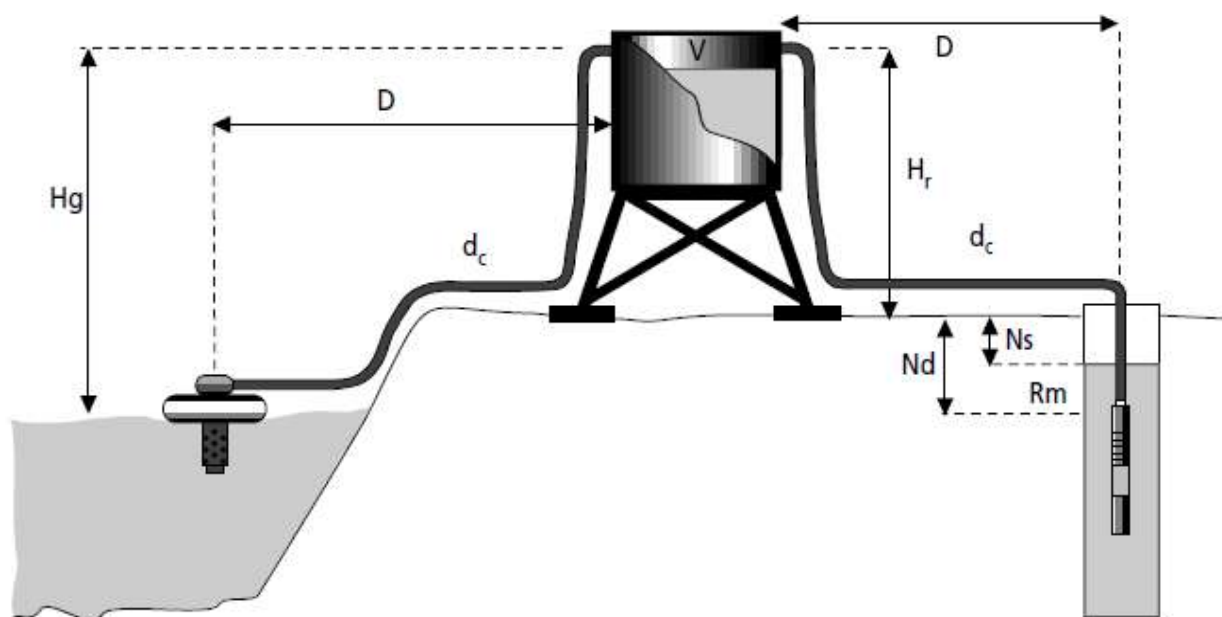


Figure II.9 Données de base d'une pompe

### II.7 Etapes de dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque :

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

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

### II.7.1 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.

Les besoins en eau estimés pour les zones rurales des pays pauvres sont de l'ordre de 20 litres par personne et 30 litres par tête de bétail [37].

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'évapotranspiration 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. La capacité du réservoir sera déterminée selon les besoins en eau journaliers et l'autonomie requise du système.

### II.7.2 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 [38]:

$$E_e = \frac{E_h}{\eta_{Mp} \eta_{Ond}} \quad (\text{II. 3})$$

$E_e$  : 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.

Nous pouvons calculer l'énergie hydraulique moyenne journalière et mensuelle nécessaire à partir de la relation :

$$E_h = C_H \cdot Q \cdot H_{MT} \quad (\text{II. 4})$$

$H_{MT}$  : Hauteur manométrique total(m)

$Q$  : Volume d'eau ( $m^3$ /jour)

$E_h$  : Énergie hydraulique (Wh/jour)

$C_H$  : Constante hydraulique ( $K_g \cdot s \cdot h/m^2$ )

$C_H = g \cdot \rho / 3600$

$\rho$  : Densité de l'eau ( $1000 \text{ Kg}/\text{m}^3$ )

$g$  : Densité de l'eau [ $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$ ]

### II.7.3 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 et de l'énergie hydraulique nécessaire.

### II.7.4 Inclinaison du générateur photovoltaïque :

L'inclinaison  $\beta$  des modules photovoltaïques (PV) par rapport au plan horizontal doit se faire de manière à optimiser le rapport entre l'irradiation solaire et l'énergie hydraulique nécessaire.

### II.7.5 Mois de dimensionnement :

Le mois de dimensionnement sera le mois le plus défavorable, c'est-à-dire celui dont le rapport entre l'irradiation solaire et l'énergie hydraulique nécessaire soit minimum.

### II.7.6 Dimensionnement du générateur photovoltaïque :

La puissance de sortie d'un générateur photovoltaïque sous les conditions standards de mesure, CSM (éclairage  $G = 1000 \text{ W}/\text{m}^2$  et température de cellule  $T_r = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ) est [39]:

$$P_c = \eta_g \cdot A \cdot G \quad (\text{II. 5})$$

Où :

$P_c$  : La puissance de sortie sous CSM ( $W$ )

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

$A$ : surface active du générateur $\text{m}^2$ .

$G$ : L'éclairage dans les CSM  $1000 \text{ W}/\text{m}^2$

L'énergie électrique journalière,  $E_e$  est donnée par :

$$E_e = \eta_{PV} \cdot A \cdot G_d \beta \quad (\text{II. 6})$$

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 l'inclinaison  $\beta$  [KWh/m<sup>2</sup>/j]

Le rendement  $\eta_{PV}$  est calculé par la formule suivante :

$$\eta_{PV} = F_m [ 1 - \gamma (T_c - T_r) ] \eta_g \quad (II. 7)$$

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 maximum.

$\gamma$  : 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.

### Calcul de la puissance, en watts crêtes, que doit avoir le champ.

En substituant les équations (II. 3)(II. 6)(II. 7) dans (II. 5) nous obtenons la puissance crête du générateur :

$$P_c = \frac{G}{F_m [ 1 - \gamma (T - T_r) ] G_d(\beta)} \cdot \frac{E_h}{\eta_{Mp} \cdot \eta_{Ond}} \quad (II. 8)$$

### II.7.7 Dimensionnement de la pompe :

Nous choisissons la pompe en fonction du débit et de la hauteur manométrique totale [40].

- Le débit horaire  $Q_h$

Il est calculé par la formule suivante :

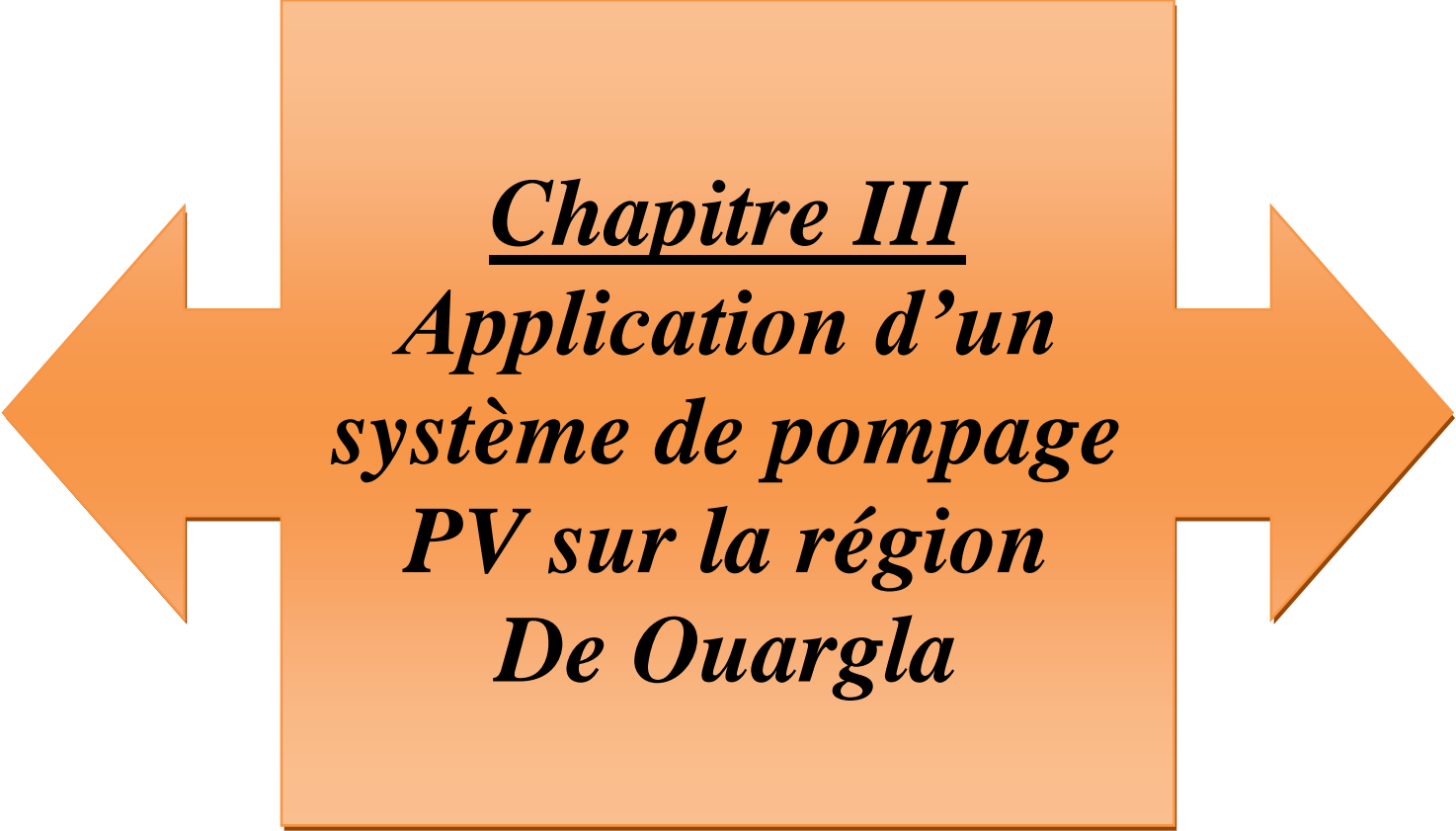
$$Q_h = \frac{Q [m^3/jour]}{N_h} \quad (II. 9)$$

**Avec :**

$N_h$  : Le nombre d'heures d'ensoleillement maximal.

### **II.8 Conclusion:**

Dans ce chapitre nous avons présente les deux méthodes de pompage photovoltaïque, ont été présentées : pompage au fil de soleil et pompage avec batterie, On présent également les principaux constitutions d'un système de pompage photovoltaïque, qui nous a permis de dimensionner une installation de pompage photovoltaïque, pour satisfaire les besoins en eau d'une consommation bien déterminée, Elle est basée essentiellement sur l'évaluation des besoins d'eau, le calcul de l'énergie hydraulique nécessaire, la détermination de l'énergie solaire disponible et le choix des composants.



**Chapitre III**  
***Application d'un  
système de pompage  
PV sur la région  
De Ouargla***



### III.1 Introduction :

À l'étude précédente, nous avons présenté l'étude et le dimensionnement du système de pompage photovoltaïque. Donc c'est très important d'appliquer les techniques étudiées au réel et à une culture caractérisée. Pour cette étude pratique, nous avons choisi la région de Ouargla et le palmier dattier comme culture. Ouargla est une ville située au sud-est Algérien se trouve en plein sud avec une valeur d'ensoleillement assez élevée.

Dans ce chapitre, nous allons étudier le dimensionnement d'un système de pompage solaire photovoltaïque fonctionnant par la méthode dite « au fil de soleil ». Le stockage de l'eau est réalisé par le biais d'un réservoir afin d'irriguer une surface d'un hectare de palmier dattier.

### III.2 Situation géographique :

#### III.2.1 La Wilaya d'Ouargla :

Ouargla est une ville d'Algérie. Elle est située dans le sud-est de l'Algérie et de l'État n° 30 dans la division administrative de l'Algérie, et est l'un des plus vieux États. La vallée d'Ouargla comprend plusieurs municipalités. Les communes de la wilaya sont : Ouargla, Rouissat, Aïn Beïda, Sidi Khouiled et N'Goussa.

La wilaya de Ouargla, large territoire de  $162\,628\text{Km}^2$ , se positionne idéalement au centre de la région programme Sud-est du Sahara dont elle constitue l'un des plus importants maillons). Ouargla est limitée :

Au Nord, par la wilaya de Djelfa, Biskra et El Oued.

Au sud, par Illizi et Tamanrasset.

A l'Est, par la Tunisie.

A l'Ouest, par Ghardaïa.

### III .2.2 Les différents espaces de la cuvette d'Ouargla :

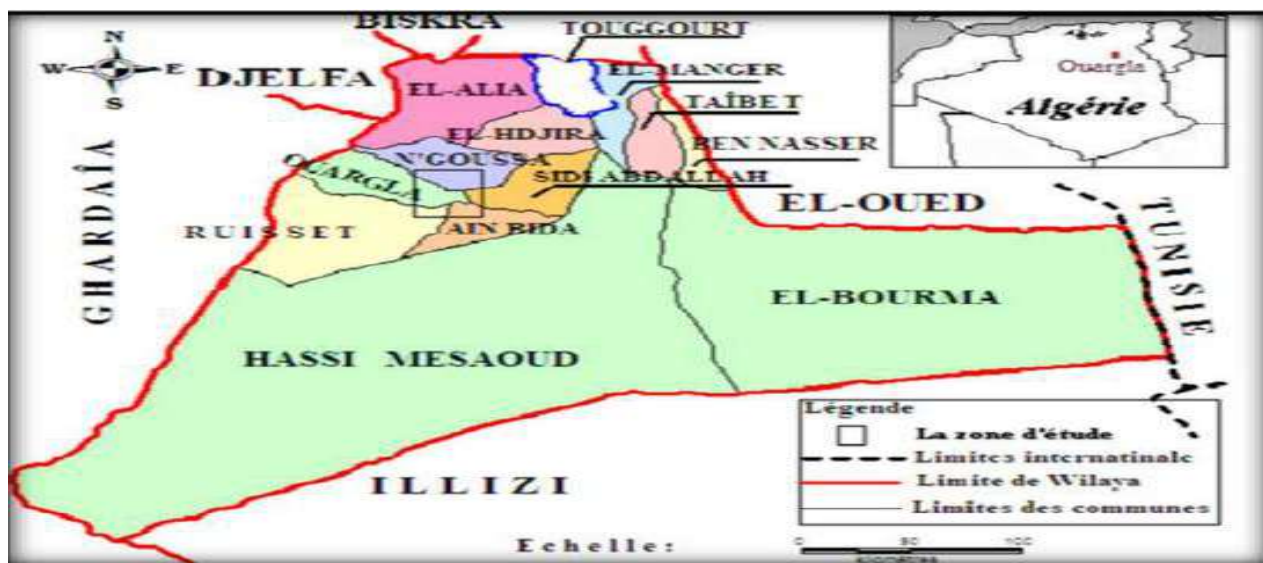


Figure III .1 Découpage administratif de la wilaya d'Ouargla

### III.3 Les conditions climatiques :

#### III.3.1 La Température :

Ouargla est une ville du Sud du territoire national dont le climat est saharien, désertique et sec. Ainsi, la température est l'un des facteurs les plus importants à étudier. Les températures moyennes à travers la wilaya sont de  $40.7^{\circ}$  (max) en été et de  $5.3^{\circ}$  (min) en hiver Tableau III.1.

SAISONS	AUTOMNE			HIVER			PRINTEMPS			ETE		
MOIS	Sep	Oct.	Nov	Déc	Jan	Fév.	Mar	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août
MAX C°	35.7	31.5	22.1	17.1	17. 5	17.9	22	29.1	34.2	38.6	43.5	40.7
MIN C°	22.3	13.7	10.2	5.3	6.6	5.8	9.4	15.3	19.4	24	27.7	25.9

Tableau III .1 Température moyenne mensuelle à Ouargla [41]

### III.3.2 Rayonnement solaire :

Le tableau ci-après donne les valeurs de rayonnement global journalier calculées sur la moyenne mensuelle pour des rayons incidents sur un plan incliné d'un angle optimal sur le site d'Ouargla :

Période	L'hiver			Le printemps			L'été			Automne		
Mois	Déc.	Jan	Févr	Mar	Avril	Mai	Jun	Juil.	Aout	Sep	Oct.	Nov.
	61	60	.51	35	17	-1	-8	-.5	10	28	46	.58
<i>HTo</i> [wh/m <sup>2</sup> .j]	5167	6252	6459	6056	6531	6576	7073	7176	6717	6032	5970	6049

**Tableau III.2 Les valeurs globales de l'irradiation journalière mensuelle pour une inclinaison optimale [42]**

### III .4 Le Système de pompage PV :

Le système est caractérisé par les trois valeurs suivantes : [43]

- Le volume journalier d'eau à pomper.
- Le rayonnement solaire journalier reçu par le générateur ;
- La hauteur manométrique totale de pompage.

#### III.4.1 Estimation des besoins en eau :

Les besoins d'eau pour l'irrigation dépendent du type de culture, de la méthode d'irrigation et des facteurs météorologiques (la température, l'humidité, la vitesse du vent, l'évapotranspiration du sol, et la saison de l'année considérée et de la méthode d'irrigation. Pour notre étude les besoins journaliers moyens mensuels en eau d'été des palmiers pour la région de Ouargla est de 67m<sup>3</sup>/jour.

Les besoins d'eau des palmiers pour la région d'Ouargla sont donnés dans le tableau suivant :

Période	L'Evert			Le printemps			L'été			L'automne		
Mois	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avril	Mai	Jun	Juil.	Aout	Sep	Oct.	Nov.
Volume d'eau m <sup>3</sup> /j	13	10	22	36	49	62	67	66	64	50	35	18

**Tableau III. 3 : Les besoins journaliers moyens mensuels en eau des palmiers / Hectare [44]**

### III.4.2 Hauteur manométrique total :

Pour notre station de pompage, nous avons choisi une hauteur manométrique totale de 60m.

### III .5 Dimensionnement de la station de pompage :

Le dimensionnement du système de pompage PV concerne : le choix de la pompe et le choix De l'onduleur répondants au service requis dans les conditions de référence. Le calcul de la puissance crête du générateur photovoltaïque. Ce dimensionnement prend en considération les deux conditions suivantes [45] :

- Choisir les besoins journaliers en eau durant la période de besoin maximal.
- Choisir le mois où l'ensoleillement maximal est le plus faible.

Pour notre exemple, le débit journalier maximal requis est de 67m<sup>3</sup>/jour et l'énergie d'ensoleillement la plus faible pour la saison d'été est égale à 6717[Wh/m<sup>2</sup>/j] pendant le mois d'août.

#### III .5 .1 Choix de la pompe :

La pompe choisie est en fonction du débit et de la hauteur manométrique totale  
Débit horaire :

Il est calculé comme suite :

$$Q_h = \frac{Q \text{ (m}^3\text{/jour)}}{N_h} \quad (\text{III. 1})$$

Dans notre cas, nous prenons :

$$N_h = \frac{6717}{1000}$$

$$N_h = 6.7 \text{ heures /jour}$$

$$Q = 67\text{m}^3/\text{jour.}$$

Donc concluiez le débit horaire :

$$Q_h = 10\text{m}^3/\text{h}$$

Pour notre recherche, le choix de la motopompe utilisée est porté sur une gamme de pompes immergées proposées par le constructeur PANELLI.

Les caractéristiques de la pompe **95 PR8/N17** de PANELLI :

Type de pompe	P	$\eta_{Mp}$	Q	0.0	4.8	6.0	7.2	8.4	9.6	10.8	12
95 PR8 N/04	0.75	60	<i>H(m)</i>	27	25	23	22	20	17	14	10
95 PR8 N/07	1.10	60		47	44	40	39	35	30	25	18
95 PR8 N/09	1.50	60		61	56	52	50	45	38	32	23
95 PR8 N/13	2.20	60		88	81	75	72	65	55	46	33
95 PR8 N/17	3.0	60		115	106	98	94	85	72	60	43
95 PR8 N/23	4.0	60		155	144	132	127	115	98	81	58
95 PR8 N/31	5.0	60		209	194	178	171	155	132	109	78
95 PR8 N/42	7.50	60		284	263	242	231	210	179	147	105

Tableau III.4 Caractéristiques électriques d'une gamme de pompes PANELLI [46]

- Q : m<sup>3</sup>/h
- P : (KW)

Donc :

Selon nos besoins, d'une part, un débit horaire de 10 m<sup>3</sup>/jouret une hauteur manométrique totale de 60 m, par ailleurs, la motopompe convenable sera donc la pompe immergée 95PR8/N17proposées par le constructeur PANELLI.

### III .6 Calcul de l'énergie hydraulique et l'énergie électrique :

#### III.6.1 L'énergie hydraulique :

$$E_h = C_H \cdot Q \cdot H_{MT} \quad (\text{III. 2})$$

$$E_h = 2.725 * 67 * 60$$

$$E_h = 10954.5 \text{ (wh/j)}$$

#### II.6.2 L'énergie électrique :

$$E_e = \frac{E_h}{\eta_{Mp} \eta_{Ond}} \quad (\text{III. 3})$$

$$E_e = \frac{10954.5}{0.6 * 0.96}$$

$$E_e = 19018.22 \text{ (wh/j)}$$

### III .7 La capacité du réservoir :

Sachant que de pompage choisi pour notre cas est le pompage dit « au fil de soleil ».Le stockage de l'eau sera fait dans un réservoir. La capacité de cette opération est tenue en compte pour avoir de l'eau de deux jours. Celle –la se diffère pour le reste des jours.

### III .8 Le convertisseur DC/AC (onduleur) :

Le choix de l'onduleur dépend des caractéristiques électriques de la pompe alimentée (puissance, tension). Pour le besoins de notre étude, le convertisseur choisit dans le tableau suivant [47]:

Type d'onduleur	Puissance (W)	Tension d'entrée (V)	Tension de sortie (V)	Fréquence (Hertz)
Solar drive	4000	240	3 * 220	0 :65

Tableau III.5 Caractéristiques électriques de l'onduleur

### III.9 Taille du générateur PV :

Pour cela nous avons choisi le modèle photovoltaïque CEM250M-60 de chez Condor Electronique. Le module est composé de 72 cellules solaires Monocristallin connectées en série pour produire une puissance maximale de 200 W.

Les caractéristiques électriques de ce module photovoltaïque sont données dans le tableau suivant :

<b>Puissance maximale (<math>P_{max}</math>)</b>	200 W
<b>Tension à <math>P_{max}</math> (<math>V_{mp}</math>)</b>	36.5 V
<b>Courant à <math>P_{max}</math> (<math>I_{mp}</math>)</b>	5.84 A
<b>Courant de court-circuit <math>I_{sc}</math></b>	5.92 A
<b>Tension à circuit ouvert <math>V_{oc}</math></b>	44.5 V
<b>Coefficient de température de <math>I_{sc}</math></b>	0.033 %°C
<b>Coefficient de température de <math>V_{oc}</math></b>	-0.241 %°C
<b>Coefficient de température de puissance</b>	-0.37 %°C
<b>NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)</b>	45±2 °C

**Tableau III.6 Caractéristiques électriques du module photovoltaïque CEM250M-72[48]**

**Selon** la puissance demandée par le groupe moteur-pompe et l'irradiation journalière incidente sur le plan du générateur, la puissance nominale que doit fournir le générateur PV est calculé par l'expression suivante :

$$P_c = \frac{G_{ce}}{F_m [1 - \gamma(T - T_{c,ref})]} G_d(\beta) \cdot \frac{E_h}{\eta_{Mp} \cdot \eta_{Ond}} \quad (III. 4)$$

**G** : L'éclairement dans les conditions CSM

**F<sub>m</sub>** : 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 maximum.

$$F_m = \frac{P_{max}}{V_{oc} * I_{cc}} \quad [49].$$

$\gamma$  : 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. 40.7 °c.

$T_{ref}$  : La température de référence 25 °c.

Ou,  $\eta_{Ond}$   $\eta_{Mp}$  sont respectivement, les rendements du groupe motopompe, de l'onduleur.

$$\eta_{Ond} = 0.96 ; \eta_{Mp} = 0.6$$

$G_d(\beta)$  : L'irradiation moyenne journalière incidente sur le plan des modules à l'inclinaison

$\beta$  [ kwh /m<sup>2</sup> / j] Pour notre cas :  $G_d(\beta) = 6717 Wh/m^2 / j$ .

$$F_m = \frac{P_{max}}{V_{oc} * I_{cc}} \quad (III. 5)$$

$$F_m = \frac{200}{44.5 * 5.92}$$

$$F_m = 0.759$$

$$P_c = \frac{1000}{0.759 * [1 - 3.7 * 10^{-3} (40.7 - 25)] * 6717} * \frac{10954.5}{0.6 * 0.96}$$

$$P_c = 3960.439 \text{ W}$$

### III.10 Nombre de modules :

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

$$N_M = \frac{P_c}{P_M} \quad (III. 6)$$

$P_c$  : La puissance crête du générateur

$P_M$  : La puissance du module PV



$$N_M = \frac{3960.439}{200}$$

$$N_M = 19.802 \text{ modules}$$

Donc :

$$N_M \cong 20 \text{ modules}$$

### III.10.1 Nombre de modules en série :

Le nombre de modules connectés en série sera :

$$N_{M_s} = \frac{V_{CH}}{V_M} \quad (\text{III. 7})$$

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

$V_M$  : La tension nominale du module.

$$N_{M_s} = \frac{240}{36.5}$$

$$N_{M_s} = 6.575 \text{ modules}$$

$$N_{M_s} \cong 7 \text{ modules}$$

### III.10.2 Nombre de module en parallèle :

Le nombre de branches est calculé par l'équation suivante :

$$N_{M_p} = \frac{N_M}{N_{M_s}} \quad (\text{III. 8})$$

$$N_{M_p} = \frac{20}{7}$$

$$N_{M_p} = 2.857 \text{ modules.}$$

$$N_{M_p} \cong 3 \text{ modules}$$

### III.10.3 Correction de la puissance crête :

Dans la plus part des cas, les nombres de modules (en séries et/ou en parallèles) calculés ne sont pas des entiers ; il faut donc les arrondir pour trouver la nouvelle puissance corrigée.

Nouvelle nombres de modules  $N_M$  :

$$N_M = 7 \times 3 = \mathbf{21 \text{ modules.}}$$

Nouvelle puissance corrigée.  $P_c$  :

$$P_c = 21 \times 200 = \mathbf{4200W.}$$

### III.11 Logiciel Simulation d'un système de pompage solaire :

#### III.11.1 Logiciel de dimensionnement PV :

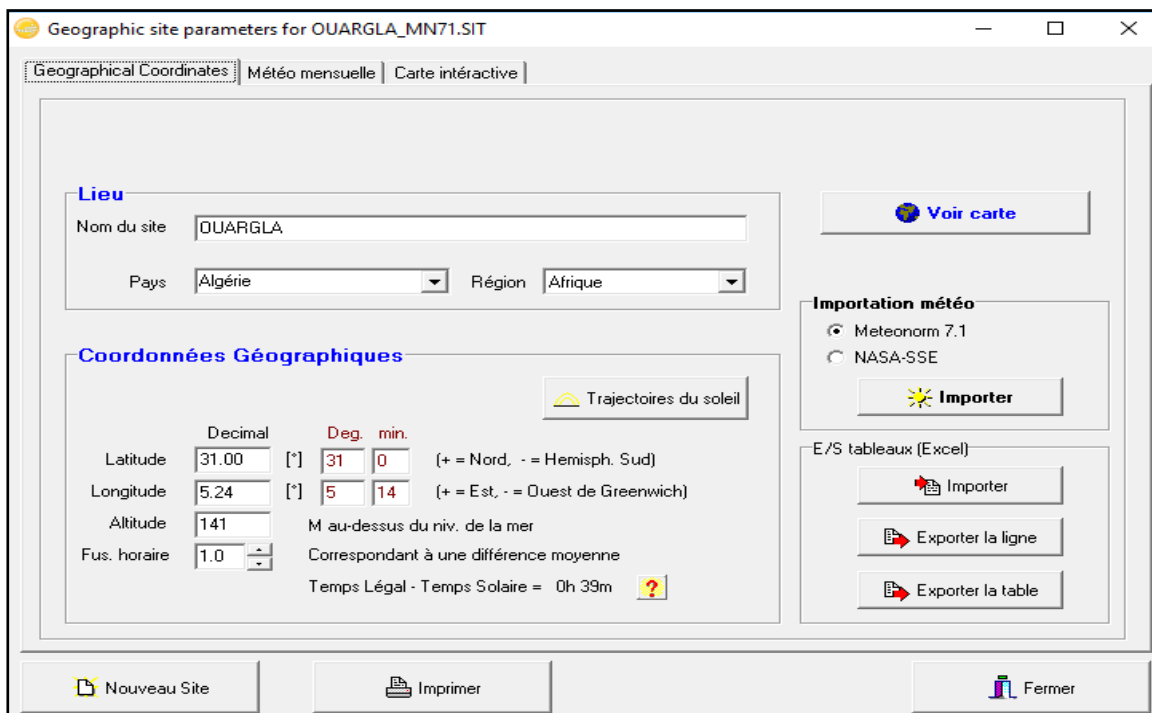
PV SYST est un logiciel de dimensionnement de panneaux solaires permettant d'obtenir diverse informations telles que la production d'énergie, l'irradiation et le coût de l'installation, la surface nécessaire, ou la production annuelle d'énergie. Un mode avancé permet d'obtenir beaucoup plus d'informations pour une étude très complète.

Ce logiciel dispose des bases de données très riches des panneaux, régulateurs, batteries, onduleurs, pompe solaire...etc., et une base de données météorologique très puissante qui couvre plus de 95 pays.

C'est pour cela qu'on a choisi ce logiciel pour comparer nos résultats de dimensionnement et voir s'ils sont proches de la réalité ou non.

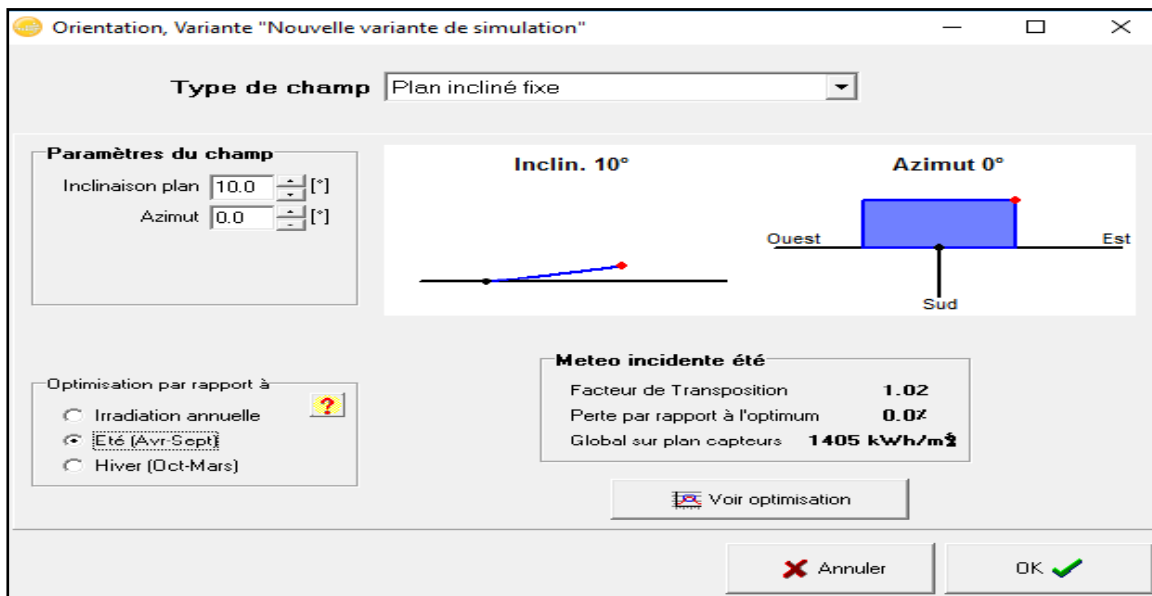
#### III.11.2 Etape de la simulation d'un système de pompage solaire par PV SYS 6.7 :

**Etape N01 :**



**Figure III .2 Paramètres de site géographique**

**Etape N02 :**



**Figure III .3 Choisira de l'orientation**

Etape N03 :

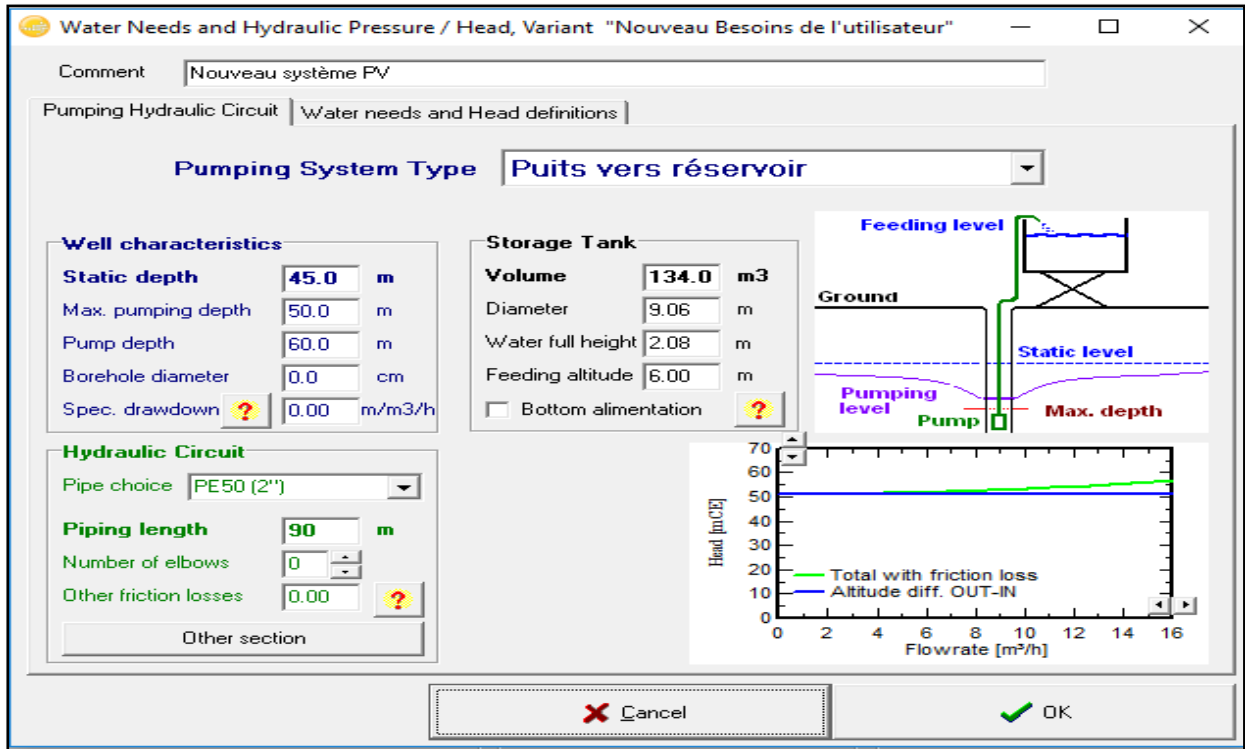


Figure III .4 Besoins en eau et hydraulique

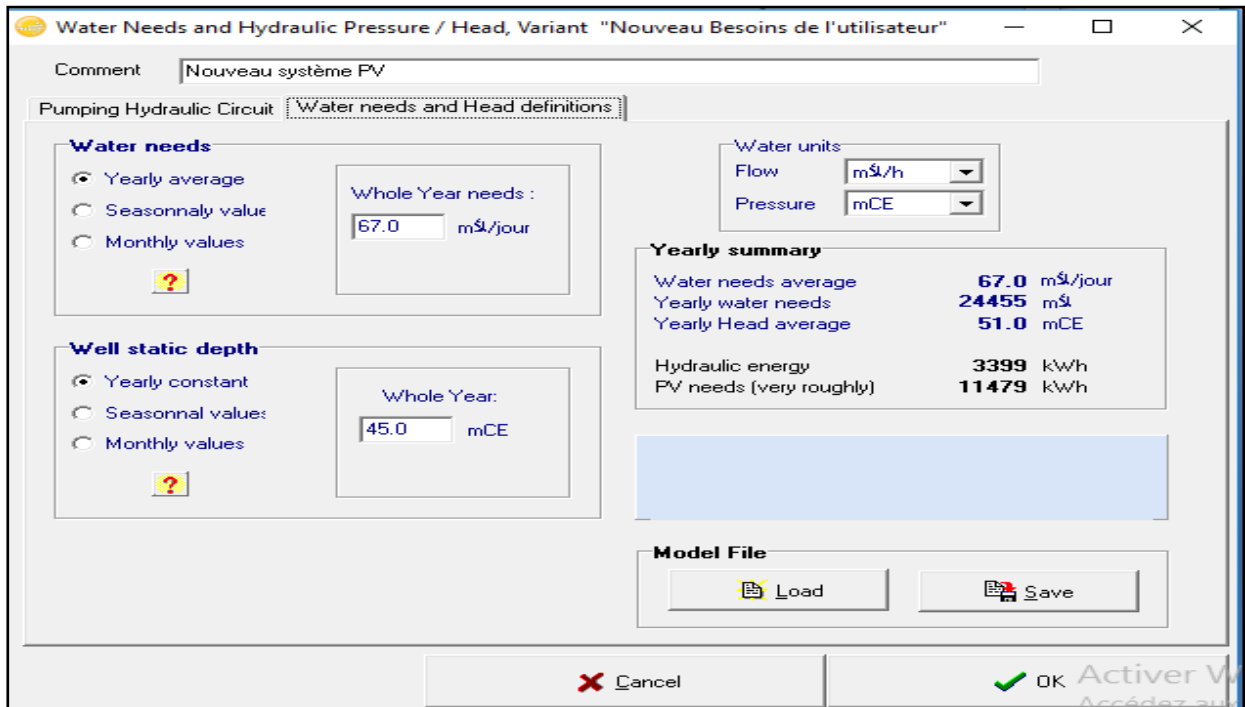


Figure III .5 L'eau a besoin quotidiennement et annuellement

Etape N04 :

Pumping system definition, Variante "Nouvelle variante de simulation"

Pre-sizing suggestions

Average daily needs :	Requested autonomy	4.0 day(s)	Suggested tank volume	268 m <sup>3</sup>
Head min. 51.0 mCE	Accepted missing	5.0 %	Suggested Pump power	3.5 kW
Head max 52.8 mCE			Suggested PV power	4.4 kWp (nom.)
Volume 67.0 m <sup>3</sup> /jour				
Hydraulic power 1895 W (very approximative)				

Pump definition | SubArray Design

**Pump(s) model and layout**

Lowara

4.0 kW 28-75 m Well, AC, Centrifuge multi-étages 16GS40 Open

1  Pumps in serie ?

1  Pumps in parallel

**Pump characteristics**

Pump technology	<b>Centrifuge multi-étages</b>		
Motor	<b>Moteur AC asynchrone, mono</b>		
Maximal power	4000 W	Voltage	250 V
		Max. Current	15.6 A
Head Min / Nom / Max	28	50	75 mCE
Corresp FlowRate	22.2	16.2	7.8 m <sup>3</sup> /h
Corresp Power	3529	3900	3707 W
Efficiency	48.0	56.6	43.0 %

**Units for this project**

Flow rate	m <sup>3</sup> /h
Head	mCE
Power	kW
Energy	kWh

**Hydro Energy calculation tool**

You can type here any values, not necessarily related to your project

Flow rate	13.8 m <sup>3</sup> /h
Head	55.2 mCE
Power	2.077 kW

The Pump flowrate is slightly oversized with respect to the water needs.

System overview Cancel OK

Figure III .6 Choisir un modèle de pompe

Etape N05 :

The screenshot shows the 'Pumping system definition' window with the following sections:

- Pre-sizing suggestions:**
  - Average daily needs: Head min. 51.0 mCE, Head max 52.8 mCE, Volume 67.0 m<sup>3</sup>/jour, Hydraulic power 1895 W (very approximative).
  - Requested autonomy: 4.0 day(s)
  - Accepted missing: 5.0 %
  - Suggested tank volume: 268 m<sup>3</sup>
  - Suggested Pump power: 3.5 kW
  - Suggested PV power: 4.4 kWp (nom.)
- Pump definition / SubArray Design:**
  - System information: Chosen pump 16GS40, Technology Centrifuge multi-étage, Max. power 4000 W.
  - Presizing help: No Sizing selected, Enter planned power 4.0 kWp, or available area 23 m<sup>2</sup>.
- Select the PV module:**
  - Manufacturer: Canadian Solar Inc.
  - Module: 255 Wp 41V Si-mono CS5P - 255M
  - Approx. needed modules: 16
  - Sizing voltages: Vmpp (60°C) 41.2 V, Voc (-10°C) 67.6 V
- Select the control mode and the controller:**
  - Control mode: Onduleur MPPT - AC
  - Manufacturer: All Manufacturers
  - Controller: Onduleur MPPT - AC
  - Note: The operating parameters of the generic default controller will automatically be adjusted according to the properties of the system.
- PV Array design:**
  - Number of modules and strings: Mod. in serie 7, 3 strings.
  - Operating conditions: Vmpp (60°C) 288 V, Vmpp (20°C) 353 V, Voc (-10°C) 473 V, Plane irradiance 1000 W/m<sup>2</sup>.
  - Array's nom. power (STC): 5.4 kWp
  - Max. operating power: 4.8 kW à 1000 W/m<sup>2</sup> et 50°C
  - Note: The Pump flowrate is slightly oversized with respect to the water needs.

Figure III .7 Choisissez un module PV

## Rapport de Simulation :

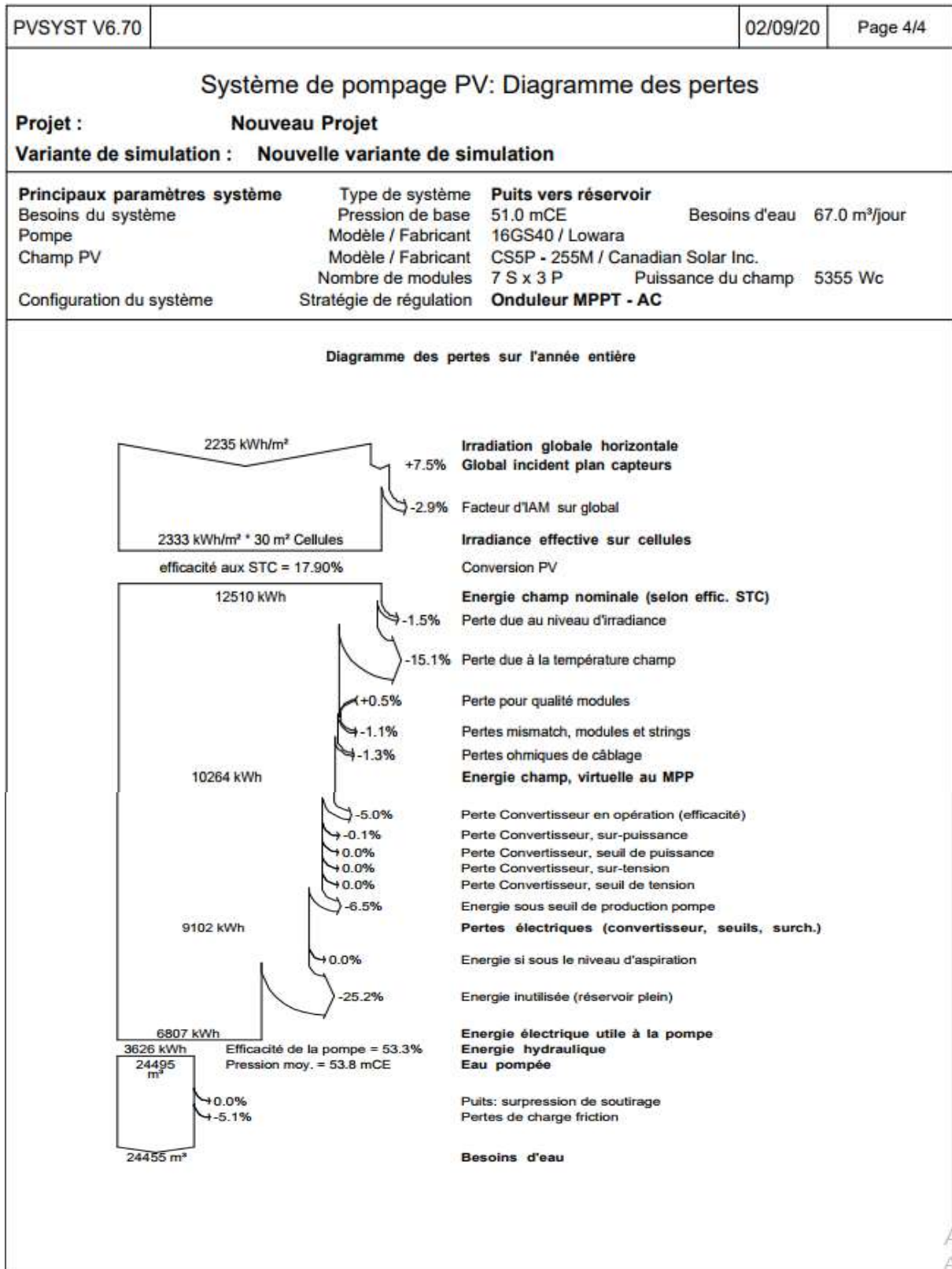
PVSYST V6.70		02/09/20	Page 1/4
<b>Système de pompage PV: Paramètres de simulation de base</b>			
<b>Projet : Nouveau Projet</b>			
<b>Site géographique</b>	<b>OUARGLA</b>	<b>Pays Algérie</b>	
<b>Situation</b>	Latitude 31.00° N	Longitude 5.24° E	
Temps défini comme	Temps légal Fus. horaire TU+1	Altitude 141 m	
	Albédo 0.20		
<b>Données météo:</b>	<b>OUARGLA</b>	Meteonorm 7.1 (1986-2005), Sat=100% - Synthétique	
<b>Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation</b>			
	Date de la simulation	02/09/20 à 20h21	
<b>Paramètres de simulation</b>			
<b>Paramètres système de pompage</b>			
Caractér. du puits (Diamètre 0 cm)	Type de système Prof. du niveau statique Prof. de la pompe	<b>Puits vers réservoir</b> 45 m 60 m	Baisse de niveau spéc. 0.00 m / m <sup>3</sup> /h Prof. maxi de pompage 50 m
Réservoir Alimentation par le haut	Volume Altitude d'injection	134.0 m <sup>3</sup> 6.0 m	Diamètre 9.1 m Hauteur (niveau plein) 2.1 m
Circuit hydraulique	Longueur de tuyaux	90 m	Tuyaux PE50 Dint = 54 mm
<b>Besoins d'eau</b>	Constant sur l'année:	67.00 m <sup>3</sup> /jour	
<b>Pompe</b>			
Technologie de la pompe	Modèle	<b>16GS40</b>	
Convertisseur associé ou intégré	Fabricant	Lowara	
Conditions de fonctionnement	Type	Centrifuge multi-étages	Moteur Moteur AC asynchrone
		MPPT	Plage de tension 100 - 600 V
		<b>Pression min.</b>	<b>Pression nom.</b>
		28.0	50.0
		75.0	mWater
Débit maximum correspondant		22.20	16.20
Puissance requise		3529	3900
			7.80 m <sup>3</sup> /h
			3707 W
<b>Orientation plan capteurs</b>	Inclinaison	10°	Azimut 0°
<b>Caractéristiques du champ de capteurs</b>			
<b>Module PV</b>	Si-mono	Modèle	<b>CS5P - 255M</b>
Original PVsyst database		Fabricant	Canadian Solar Inc.
Nombre de modules PV		En série	7 modules
Nombre total de modules PV		Nbre modules	21
Puissance globale du champ		Nominale (STC)	<b>5.36 kWc</b>
Caractéristiques de fonct. du champ (50°C)		U mpp	305 V
Surface totale		Surface modules	<b>35.7 m<sup>2</sup></b>
			En parallèle 3 chaînes
			Puissance unitaire 255 Wc
			Aux cond. de fonct. 4757 Wc (50°C)
			l mpp 16 A
			Surface cellule 30.0 m <sup>2</sup>
<b>Appareil de contrôle</b>			
		Modèle	Appareil générique (optimisé selon ce système)
		Configuration du système	<b>Onduleur MPPT - AC</b>



PVSYST V6.70		02/09/20	Page 2/4
<b>Système de pompage PV: Paramètres de simulation détaillés</b>			
<b>Projet :</b>		<b>Nouveau Projet</b>	
<b>Variante de simulation :</b>		<b>Nouvelle variante de simulation</b>	
<b>Principaux paramètres système</b>	Type de système	<b>Puits vers réservoir</b>	
Besoins du système	Pression de base	51.0 mCE	Besoins d'eau 67.0 m <sup>3</sup> /jour
Pompe	Modèle / Fabricant	16GS40 / Lowara	
Champ PV	Modèle / Fabricant	CS5P - 255M / Canadian Solar Inc.	
	Nombre de modules	7 S x 3 P	Puissance du champ 5355 Wc
Configuration du système	Stratégie de régulation	<b>Onduleur MPPT - AC</b>	
<b>Contrôle de fonctionnement du système</b>		(Appareil générique, param. ajustés selon le système)	
<b>Convertisseur de puissance</b>	Onduleur MPPT - AC		
Conditions de fonctionnement	Tension MPP minimale	100 V	puissance nominale 4000 W
	Tension MPP maximale	600 V	Puissance seuil 40 W
	Tension champ max.	600 V	Efficacité maxi 96.0 %
	Courant d'entrée maxi	20.0 A	Efficacité EURO 94.0 %
<b>Remarques et Caractéristiques techniques</b>			
Generic regulator for pumping systems. For pumping systems with MPPT inverter. The parameters are pre-setted according to the system (pumps and Array), at the beginning of the simulation. Unlike exceptions, they are not modifiable by the user.			
<b>Facteurs de perte du champ PV</b>			
Fact. de pertes thermiques	Uc (const)	20.0 W/m <sup>2</sup> K	Uv (vent) 0.0 W/m <sup>2</sup> K / m/s
Perte ohmique de câblage	Rés. globale champ	333 mOhm	Frac. pertes 1.5 % aux STC
Perte de qualité module			Frac. pertes -0.5 %
Perte de "mismatch" modules			Frac. pertes 1.0 % au MPP
Perte de "mismatch" strings			Frac. pertes 0.10 %
Effet d'incidence, paramétrisation ASHRAE	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	Param. bo 0.05



PVSYST V6.70		02/09/20	Page 3/4					
<b>Système de pompage PV: Résultats principaux</b>								
<b>Projet : Nouveau Projet</b>								
<b>Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation</b>								
<b>Principaux paramètres système</b>	Type de système Pression de base Modèle / Fabricant Modèle / Fabricant Nombre de modules Stratégie de régulation	<b>Puits vers réservoir</b> 51.0 mCE 16GS40 / Lowara CS5P - 255M / Canadian Solar Inc. 7 S x 3 P <b>Onduleur MPPT - AC</b>	Besoins d'eau 67.0 m <sup>3</sup> /jour Puissance du champ 5355 Wc					
<b>Principaux résultats de la simulation</b>								
Production du système	<b>Eau pompée</b> 24495 m <sup>3</sup> Besoins d'eau 24455 m <sup>3</sup> Energie à la pompe 6807 kWh Energie PV inutilisée (réservoir plein) 2295 kWh Efficacité système 66.3 %	Spécifique 867 m <sup>3</sup> /kWp/bar Eau manquante -0.2% Spécifique 0.28 kWh/m <sup>3</sup> Fraction inutilisée 22.4 % Efficacité de la pompe 53.3 %						
<b>Productions normalisées (par kWp installé): Puissance nominale 5.36 kWc</b>								
<b>Nouvelle variante de simulation</b>								
<b>Bilans et résultats principaux</b>								
	<b>GlobEff</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>EArrMPP</b> kWh	<b>E PmpOp</b> kWh	<b>ETkFull</b> kWh	<b>H Pump</b> mCE	<b>WPumped</b> m <sup>3</sup>	<b>W Used</b> m <sup>3</sup>	<b>W Miss</b> m <sup>3</sup>
Janvier	151.0	732	591.3	60.8	53.63	2124	2077	0.000
Février	155.6	738	511.3	145.3	53.98	1876	1876	0.000
Mars	193.2	879	575.9	206.7	53.96	2077	2077	0.000
Avril	223.6	986	541.4	324.2	54.34	2010	2010	0.000
Mai	239.2	1021	574.4	324.4	54.01	2077	2077	0.000
Juin	235.7	981	567.3	304.7	53.73	2010	2010	0.000
Juillet	244.8	991	592.5	298.1	53.61	2077	2077	0.000
Août	229.9	941	576.8	255.6	53.76	2077	2077	0.000
Septembre	195.0	836	563.8	183.1	53.60	2010	2010	0.000
Octobre	175.7	783	594.4	109.1	53.44	2074	2077	0.000
Novembre	150.2	705	547.5	67.8	53.78	2010	2010	0.000
Décembre	138.7	671	570.2	15.2	53.47	2072	2077	0.000
Année	2332.5	10264	6806.7	2295.1	53.76	24495	24455	0.000
<b>Légendes:</b> GlobEff: Global "effectif", corr. pour IAM et ombrages EArrMPP: Energie champ, virtuelle au MPP E PmpOp: Energie de fonctionnement pompe ETkFull: Energie inutilisée (réservoir plein) H Pump: Pression totale moyenne à la pompe WPumped: Eau pompée W Used: Eau consommée W Miss: Eau manquante								



**III.12 Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons présenté les résultats d'une étude qui a conduit au dimensionnement d'une installation de pompage photovoltaïque pour irriguer un hectare de palmiers située la vallée de Ouargla. Nous avons présenté les différents éléments de ce système photovoltaïque qui sont : un générateur photovoltaïque, une électropompe et un onduleur.

Selon l'étude, le générateur photovoltaïque adéquat est constitué de 21 modules photovoltaïques en monocristallin d'une puissance crête de 200 WC chacun. Ainsi, la puissance crête du générateur PV est de 4200W.



***Conclusion générale***

---

## Conclusion générale

---

### Conclusion générale

Cette recherche a été consacrée pour une étude de dimensionnement d'une installation de pompage photovoltaïque pour irriguer un hectare de palmiers situé sur la vallée d'Ouargla afin de montrer l'importance de l'utilisation de l'énergie photovoltaïque pour le pompage de l'eau d'irrigation dans les zones rurales et isolées.

D'une part, l'énergie solaire est une énergie propre abondante et gratuite, économique. Elle a connu une large utilisation dans le monde.

D'autre part, la croissante demande de l'énergie électrique pour les besoins des zones isolées augmente en grande quantité. Plus particulièrement, les systèmes de pompage d'eau.

A l'époque, sur ce type de site on utilise l'énergie conventionnelle comme le groupe électrogène. Mais cette énergie a rencontré plusieurs difficultés comme le transport du combustible et les entretiens périodiques pour les moteurs diésels, et cela coûte cher aux citoyens.

Le choix des panneaux solaires et de la motopompe dépend de plusieurs paramètres importants : tension, puissance, le débit nécessaire pour le pompage, la hauteur manométrique totale, etc.

Notre système est constitué de 21 modules en Monocristallin d'une puissance crête de 200Wc. Il est cependant important de signaler que, souvent, le calcul de la taille du générateur comporte un certain degré d'incertitude due : au caractère aléatoire du rayonnement solaire et l'estimation difficile des besoins d'eau demandés. Il est ainsi conseillé de prendre des précautions quant au choix du type de pompe et de la taille du générateur.

## **Conclusion générale**

---

Nous avons cité qu'il faut simplifier et minimiser les couts. Le système d'énergie solaire est conçu d'approvisionner l'eau « au fil du soleil ». C'est-à-dire la pompe fonctionnera seulement la journée. L'installation d'un réservoir de stockage d'eau est indispensable pour la continuité d'irrigation dans la nuit. Parce qu'il est plus économique de stocker l'eau dans des réservoirs hydrauliques au lieu de stocker l'énergie électrique dans des batteries.

Enfin, suite à l'augmentation des prix des carburants, l'Algérie doit se pencher vers les énergies renouvelables précisément le solaire.

Par conséquent, le développement de ce type d'énergie, en particulier dans le sud de notre pays, est très recommandé, car il permet l'accès à l'eau et à l'électricité avec moins d'effort, dans n'importe quel endroit, d'une façon moins couteuse et non polluante. Aussi que, il permet le développement de l'agriculture dans les zones rurales et isolés.



***Bibliographies***

### Références bibliographiques :

- [1] **S. MOHAMMED, BELHADJ** « Étude et réalisation d'un système de pompage photovoltaïque » Mémoire de fin d'étude pour l'obtention diplôme d'ingénieur, École supérieure en sciences appliquées - Tlemcen-, 2019.
- [2] **M. MISSOUM** « Contribution de l'énergie photovoltaïque dans la performance énergétique de l'habitat à haute qualité énergétique en Algérie » Mémoire de Magistère, Université de Hassiba Ben Bouali – Chlef, 2011.
- [3] **F.SLAMA** « Modélisation d'un système multi générateurs photovoltaïques interconnectés au réseau électrique » Mémoire de Magister, Université de Ferhat Abbas-Sétif, 2011.
- [4] **S. MOUHOUS, CHAOUCHI** « Etude statistique du rayonnement solaire sur un plan incliné » Mémoire de Magister, Université de Abou Beker Belkaid, 2012.
- [5] **Z. NAKOUL** « Optimisation d'une centrale solaire à base d'un générateur PV [Application Aux Sites Tlemcen Et Bouzaréah] » Mémoire de Magister, Université Abou Beker Belkaid -Tlemcen, 2010.
- [6] **M. BELHADJ** « Modélisation D'un Système De Captage Photovoltaïque Autonome » Mémoire de Magister, Centre Universitaire De Bechar, 2008.
- [7] **D. BOUKHERS** « Optimisation d'un système d'énergie photovoltaïque application au pompage » Mémoire de Magister, Université de Constantine, 2007.
- [8] **R. AYAT** « Utilisation des techniques intelligentes (PSO/GA) en vue de la supervision d'une installation de production d'énergie renouvelable » Mémoire de Magistère, Université de Ferhat Abbas- Sétif, 2012.
- [9] **W.C. BENMOUSSA, S. AMARA et A. ZERGA** « Etude comparative des modèles de la caractéristique courant-tension d'une cellule solaire au silicium monocristallin »; Revue des Energies Renouvelables ICRES-07 Tlemcen pp 301 –306, 2007.
- [10] **A. BOUDEN** « Analyse optimisée de système de pompage photovoltaïque » Mémoire de Magister, Université de Constantine, 2008.
- [11] **Mansouri yousef, Ben dadi alli** « Optimisation d'un système de pompage photovoltaïque a' base d'un moteur synchrone a' aimants permanents eu utilisant la logique floue » Mémoire de Master, université de kasdi merbah Ouargla, 2019.



## Références bibliographiques

---

- [12] **Z. Bilal** « Modélisation d'un système de production électrique par la cellule photovoltaïque » Mémoire de Magister, Université de Badji Mokhtar annaba, 2010.
- [13] **M. BELARBI** « Contribution à l'étude d'un générateur solaire pour site autonome ».Thèse de Doctorat, Université Mohamed Boudiaf-Oran, 2015.
- [14] **F. Benyarou** « conversion des énergies » document de cours (EN01), Université de Tlemcen 2001, vol. 2002.
- [15] **YAHYA, A. Ould Mohamed, MAHMOUD, A. Ould, et YOUM, I.** « Etude et modélisation d'un générateur photovoltaïque » Revue des énergies renouvelables, 2008, vol. 11, no 3, p. 473-483.
- [16] **A. KIAL, L. Omar Farouk** « Techniques de détection des défauts dans un panneau photovoltaïques » Mémoire de Master, Université de Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, 2019.
- [17] **M. HADJAB** « Développement des performances d'un système photovoltaïque.» Mémoire de Magister, Université de El Djilali Labiés de Sidi Bel Abbés, 2011.
- [18] **Abbes, H., Abid, H., Loukil, K., Toumi, A., & Abid, M** «Etude comparative de cinq algorithmes de commande MPPT pour un système photovoltaïque » ; Revue des Energies Renouvelables, 2014, vol. 17, n 03, p. 435 – 445.
- [19] **A. BENAYAD** « Modélisation des panneaux photovoltaïque par les méthodes de soft computing » Mémoire de Magister, Université de Bejaïa, 2011.
- [20] **K. RAHRAH**« Dimensionnement et Optimisation des systèmes de pompage photovoltaïque destinés pour l'alimentation en eau potable» Thèse doctorat en électrotechnique, Université de Abderrahmane Mira-Bejaia, 2016.
- [21] **LAFIA SEIDOU IMOROU** « Etude et dimensionnement des systèmes de pompage photovoltaïque dans les localités rurales du bénin : cas de adjakpata », Mémoire de master, 2017.
- [22] **A. HAMMIDAT, A. HADJ ARAB et M.T. BOUKADOUM** «Performances et coûts des systèmes de pompage PV en Algérie », Revue des Energies Renouvelables. Vol. 8 pp (157 - 166), 2005.
- [23] **A. BOUCHAKOUR** « Modélisation et simulation d'un système de pompage Photovoltaïque », Thèse de doctorat, université de Djillali labiés de sidi-bel- Abbes, 2018.

## Références bibliographiques

---

- [24] **ALIMARINA, B. et AOUA, Z** « Etude et conception d'une armoire de commande à démarreur électronique progressif –application à un groupe électropompe d'une station de pompage d'eau potable », Mémoire DEUA en Electrotechnique, UMMTO 2006.
- [25] **A.SAADI** «Etude comparative entre les techniques d'optimisation des systèmes de pompage photovoltaïque» Mémoire de Magister, Université de Biskra, 2000.
- [26] **J. ROYER, T. DJIAKO, E. SCHILLER et B. SADASY** « Le pompage photovoltaïque» manuel de cours à l' intention des ingénieurs et des techniciens, IEPF, université d'Ottawa, EIER, CREPA.ISBN 2-89481-006- 7, 1998.
- [27] **THIERRY, K. Y. et MAURICE, S.** Système Photovoltaïque: Dimensionnement pour pompage d'eau, pour une irrigation goutte-à-goutte Mémoire de DEA en Physique ; université de OUAGADOUGOU, 2007.
- [28] **DJAMILA, KEFSI et FETTA, OUIKENE** « Commande d'un système de pompage photovoltaïque » Mémoire de d'Ingénieur d'Etat En Electrotechnique, Université Mouloud Mammeri, de Tizi-Ouzou.
- [29] **Techniques de l'ingénieur**« Mécanique et chaleur, pompes, vide, air comprimé », NB4, Paris, 1988.
- [30] **S. Emmanuel** « Diagnostic des machines asynchrones modèles et outils paramétriques dédiés à la simulation et à la détection de défauts », Thèse de doctorat, à l'université de Nantes école doctorale sciences pour l'ingénieur de Nantes année 1999.
- [31] **[Http://fr.wikipedia.org/wiki/Machine\\_électrique](http://fr.wikipedia.org/wiki/Machine_électrique), 14 avril 2018.**
- [32] **R.MAOUEDJ** «Application de l'énergie photovoltaïque au pompage hydraulique sur les sites de Tlemcen et de Bouzareah », Mémoire de Magister en Physique, Université de Tlemcen ,2005.
- [33] **C. SERIR** «Optimisation des Systèmes de Pompage Photovoltaïque », Mémoire de Magister en Electrotechnique, Université de Abderrahmane Mira-Bejaia, 2012.
- [34] **A. DAOUD** «Contrôle de la puissance d'un générateur photovoltaïque pour le pompage solaire », Thèse de doctorat, Université des sciences et de la technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, 2013
- [35] **A. MEFLAH** « Modélisation et commande d'une chaine de pompage photovoltaïque » Mémoire de Magister, Université de Abou Bekr Belkaid – Tlemcen, 2011.

## Références bibliographiques

---

- [36] **A.SOUALMIA** « Intégration de la production décentralisée dans un système de pompage photovoltaïque », Mémoire de Magister, Université de Constantine1, 2014.
- [37] **M.G.Thomas**: « Water Pumping- The Solar Alternative, Photovoltaic Design Assistance ».Center, Sandia National Laboratories, NM 8718 5, Albuquerque, 58p, 1987.
- [38] **B.Equer** « Le Pompage Photovoltaïque Manuel de cours », énergie solaire photovoltaïque ellipses ,1993.
- [39] **A. HADJ ARAB, M. BENGHANEM et A. GHARBI**« Dimensionnement de Systèmes de Pompage Photovoltaïque» Revue des Energies Renouvelables. Vol.8, pp (19 – 26), 2005.
- [40] **B. Flèche, D. Delagnes**, « Energie solaire photovoltaïque », juin 07, STI ELT Approche générale.
- [41] **BEN KHELIFA Zahia, DEROUCHE Wafa** « Etude de l'irrigation d'un champ agricole par le pompage photovoltaïque dans la région de Hassi Ben Abdallah Ouargla », Mémoire de Master, université de kasdi merbah Ouargla, 2017.
- [42] **BEN KHELIFA Zahia, DEROUCHE Wafa** « Etude de l'irrigation d'un champ agricole par le pompage photovoltaïque dans la région de Hassi Ben Abdallah Ouargla », Mémoire de Master, université de kasdi merbah Ouargla, 2017.
- [43] **ABBASSI Wahiba, BOULAL Samiha** « Etude techno-économique d'un système de pompage photovoltaïque sur le site d'Adrar », Mémoire de Master, université de Adrar, 2017.
- [44] **A.DJAFOUR**, « Etude d'une station de pompage photovoltaïque dans une région saharienne», Thèse de magistère, université de Ouargla, 2000.
- [45] **B. Azoui et M. Djarallah**, « Dimensionnement et expérimentation d'un système photovoltaïque de pompage d'eau utilisant un moteur à aimants permanents sans balais collecteur », Journée d'Etude sur l'Energie Solaire, Mardi 01 mars 2005, Bejaia.
- [46] [www.panellipumps.it](http://www.panellipumps.it)
- [47] **Mohamed Lakhdar LOUAZENE**, «Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque sur le cite de Ouargla», Mémoire de magistère, Université el hadj Lakhdar – BATNA, 2007.
- [48] [www.condor.dz](http://www.condor.dz) SPA Condor Electronics Division Énergies Renouvelables
- [49] **T.Ben aoun, S.Mouissi**, « Etude d'un système couplant un générateur photovoltaïque et une charge électrolytique » Mémoire Master, Université Ouargla, 2015.

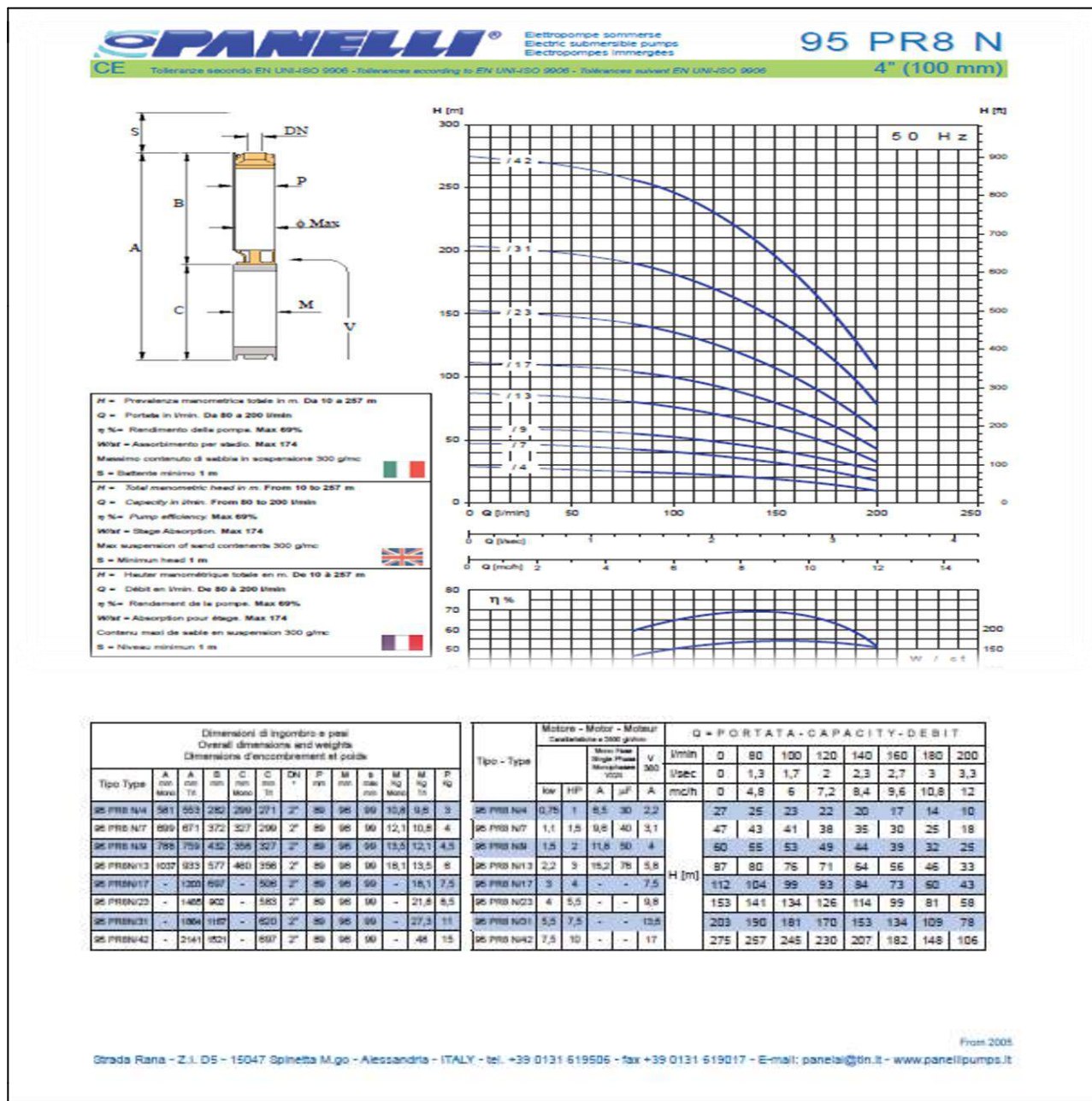
A large, light orange arrow pointing both left and right, with a darker orange outline. The word "Annexes" is written in a bold, italicized black font in the center of the arrow.

***Annexes***

# Annexes

## Annexe- A

Les courbes de performances de la pompe PANELLI 95 PR8/N17



## Annexes

### Annexe –B

Caractéristiques des panneaux solaires photovoltaïques Condor 190/195/200 :

### Module Photovoltaïque Monocristallin

## 72 Cellules



**Caractéristiques physiques (mm) :**



**Caractéristiques électriques :**

	Unité	Module		
Puissance nominale	W	190	195	200
Voltage Circuit ouvert (V <sub>co</sub> )	V	44.5	44.5	44.5
Courant de court Circuit I <sub>sc</sub>	A	5.52	5.77	5.92
Tension mpp V <sub>mpp</sub>	V	36.5	36.5	36.5
Courant mpp I <sub>mpp</sub>	I	5.21	5.34	5.48
Système voltage max VDC	V	1000		
Charge maximale De fusibles (A)	A	10		
Facteur de température (cellule):				
Température nominale de fonctionnement	NOCT	45±2°C		
Coefficient de température de puissance	%/°C	-0.37		
Coefficient de température de courant	%/°C	+0.033		
Coefficient de température de voltage	%/°C	-0.241		

**Caractéristiques mécaniques :**

Type de cellule	Cellule monocristalline avec anti-reflection
Nombre de cellules par module	72 cellules (6x12)
Dimensions de la cellule	125x125 mm
Dimensions du module	1580x808x45 mm
Poids du module	14.5 kg
Cadre	Alliage en aluminium anodisé
Type de verre	Verre trempé, 3.2 mm d'épaisseur
Boite de jonction et connecteur	IP65, 3 Diodes By-passe et câbles compatibles avec un connecteur MC4
Température d'utilisation	- 40°C à 85°C

STC: 1000 w/m<sup>2</sup>, AM1.5 et 25°C température de la cellule; NOCT: nominal operating cell temperature

08



*Résumé*



### Résumé

L'eau et l'énergie sont parmi les plus importants éléments essentiels et indispensables à la vie. La demande croissante de l'énergie et l'épuisement futur inévitable des sources classiques exigent des recherches sur des sources alternatives, comme les énergies renouvelables.

L'énergie solaire est abondante en Algérie et en particulier au sud. Ces régions peuplées de façon éparsée, ayant un climat chaud et sec en été et froid en hiver sont caractérisées par de longues périodes de sécheresses et des besoins accrus en eau pour l'alimentation en eau potable, l'agriculture et le cheptel.

Le travail que nous avons présenté dans ce mémoire fait l'objet d'une étude technique d'une station de pompage d'eau, fonctionnant à l'énergie solaire photovoltaïque pour irriguer un hectare de palmier dans la wilaya de Ouargla.

**Mots clés :** Energie solaire photovoltaïque, Ensoleillement, Pompaged'eau, Irrigation.

### ملخص

إن المياه والطاقة تمثل أهم العناصر الضرورية في الحياة. ونظرا لطلب المتزايد على الطاقة مع حتمية نضوب مصادر الطاقة التقليدية، يجعل من الضروري البحث عن مصادر بديلة مثل الطاقات المتجددة.

إن الطاقة الشمسية متوفرة في الجزائر وخاصة في الجنوب ويميز هذه المناطق الكثافة السكانية المنخفضة، مع مناخ بارد في الشتاء وحرار في الصيف لفترات طويلة، مما يسبب زيادة الاحتياجات المائية لاستعمالها للشرب والزراعة والثروة الحيوانية.

إن الهدف من العمل المقدم في هذه المذكرة هو دراسة تقنية لمحطة ضخ المياه تعمل بواسطة الطاقة الشمسية الكهروضوئية لسقي مساحة هكتار من النخيل في ولاية ورقلة.

كلمات البحث: الطاقة الشمسية الكهروضوئية، أشعة الشمس، ضخ الماء، السقي.



### Summary

Water and energy are among the most important essentials and essentials for life. Growing demand for energy and the inevitable future depletion of conventional sources call for research into alternative sources, such as renewables.

Solar energy is abundant in Algeria and particularly in the south. These sparsely populated regions with hot and dry climates in summer and cold in winter are characterized by long periods of drought and increased water requirements for drinking water supply, agriculture and livestock.

The work that we have presented in this brief is the subject of a technical study of a water pumping station, running on photovoltaic solar energy to irrigate one hectare of palm trees in the wilaya of Ouargla.

**Keywords:** Photovoltaic solar energy, Sunshine, Water pumping, Irrigation.