

# UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des hydrocarbure et énergies renouvelables et des

sciences de la terre et de l'univers

Département des énergies renouvelables



**Mémoire**

**MASTER ACADIMIQUE**

Domaine : Sciences et technique

Filière : Génie mécanique

Spécialité : Energies renouvelables

Présenté par : NAAMI Tidjani et HANNOUNA Mohammed Fatah

**Thème**

**Etude comparative entre un système PV et un système éolien pour le pompage de l'eau dans la ville de Ouargla**

Soutenu publiquement

Le : 10/06/2018

Devant le jury :

|                     |       |           |             |
|---------------------|-------|-----------|-------------|
| Mr. DOUAK Mohamed   | M.A.A | Président | UKM Ouargla |
| Mr. MAAMMEUR Hocine | M.A.A | Encadreur | UKM Ouargla |
| Mr. ROUAG Omar      | M.A.B | Examineur | UKM Ouargla |

**Année Universitaire : 2017/2018**

# *Dédicace*

*Je dédie ce travail :*

*A mes chers parents*

*A mes frères et mes sœurs*

*A tous mes amis*

*A tous mes enseignants depuis  
le primaire jusqu'à  
maintenant*

*NAAMI Tidjani*

# *Dédicace*

*Je dédie ce travail :*

*A mes chers parents*

*A mes frères et mes sœurs*

*A tous mes amis*

*A tous mes enseignants depuis  
le primaire jusqu'à  
maintenant*

*HANOUNNA Mohammed Fatah*

# *Remerciement*

*Nous remercions premièrement Allah, qui nous a donné la capacité et la patience pour terminer ce travail.*

*Je remercie vivement et chaleureusement mon encadreur Monsieur **MAAMMEUR Hocine** Professeur à l'université Kasdi Merbah - Ouargla. Je le remercie pour son aide et ses conseils qui ont contribué à la réalisation de ce travail.*

*Mes remerciements vont aussi à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à l'achèvement de ce travail, En particulier:*

*M. Abed El Karim, propriétaire de la palmeraie*

## Nomenclature

|                     |  |                       |
|---------------------|--|-----------------------|
| $\Phi$              | La latitude  | [°]                   |
| L                   | La longitude   | [°]                   |
| $\beta$             | Inclinaison  | [°]                   |
| $\delta$            | Déclinaison solaire  | [°]                   |
| N                   | le numéro du jour de l'année   | -                     |
| P                   | la puissance moyenne   | (w)                   |
| P                   | désigne la masse volumique en  | (kg/m <sup>3</sup> )  |
| S                   | la surface balayée par les pale de l'éolienne en   | (m <sup>2</sup> )     |
| V                   | la vitesse moyenne de vent   | ( m/s)                |
| FF                  | Facteur de forme.  | (V)                   |
| V <sub>m</sub>      | La tension maximale du module sous conditions standards  | (V)                   |
| V <sub>CO</sub>     | la tension à circuit ouvert de référence   | (V)                   |
| I <sub>m</sub>      | Le courant maximal sous conditions standards   | (A)                   |
| $\eta$              | le rendement énergétique   | -                     |
| P <sub>m</sub>      | La puissance maximale produite PV  | (W)                   |
| E                   | l'éclairement  | W/m <sup>2</sup>      |
| DC                  | courant continu  | (A)                   |
| AC                  | courant alternatif   | (A)                   |
| ET                  | Energie totale consommée   | [kWh]                 |
| EAC                 | Energie journalière consommée en courant alternatif  | [kWh]                 |
| $\eta_{\text{ond}}$ | Rendement de l'onduleur.   | -                     |
| P <sub>c</sub>      | Puissance crête du générateur PV   | [kWc]                 |
| G                   | Irradiation globale sur un plan incliné  | [kWh/m <sup>2</sup> ] |
| F                   | Facteur de correction globale (variant entre 0.65 et 0.9).   | -                     |
| V <sub>D</sub>      | La vitesse du vent correspondant au démarrage de la turbine.   | m/s                   |
| V <sub>n</sub>      | La vitesse du vent pour laquelle la puissance extraite correspond  | m/s                   |
| V <sub>m</sub>      | vitesse du vent au-delà de laquelle il convient de déconnecter l'éolienne pour des raisons de tenue mécanique en bout de pales | m/s                   |
| C <sub>p</sub>      | Facteur de puissance   | -                     |
| P <sub>moy</sub>    | la puissance annuelle d'une éolienne   | (W)                   |
| P <sub>max</sub>    | la puissance maximale récupérable par l'éolienne   | (W)                   |

|            |  |                       |
|------------|--|-----------------------|
| $\Delta E$ | la variation d'énergie cinétique de l'air                    | (KWh)                 |
| M          | la masse d'air qui traverse l'éolienne                       | (kg)                  |
| F          | la force de l'air sur l'éolienne                             | (N)                   |
| V'         | vitesse au travers de la surface balayée                     | (m/s)                 |
| HMT        | est la hauteur manométrique totale.                          | M                     |
| Q          | débit volumique de la pompe                                  | m <sup>3</sup> /h     |
| T          | Le temps de fonctionnement quotidien de la pompe (5 heures). | H                     |
| Q          | La quantité d'eau nécessaire à 700 palmiers par jour         | m <sup>3</sup>        |
| Ec         | énergie électrique   | KWh                   |
| Pp         | puissance de la pompe  | KW                    |
| Pa         | Constant   | KWh/m <sup>2</sup> /J |
| Ir         | irradiation moyenne par an                                   | KWh/m <sup>2</sup> /J |
| Nm         | nombre de module Pv  | –                     |
| Cb         | capacité de batterie   | Ah                    |
| N          | nombre de jour de autonomie                                  | –                     |
| D          | décharge maximale (0,8 pour le batterie plomb 80%)           | –                     |
| U          | la tension de batterie                                       | V                     |
| Nb         | nombre de batterie   | –                     |

## Liste figures

### Chapitre 01

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure I - 1</b> : masse d'air  | 4  |
| <b>Figure I - 2</b> : Composition du rayonnement solaire                   | 5  |
| <b>Figure I - 3</b> : Paramètre de position de la terre                    | 6  |
| <b>Figure I - 4</b> : Mouvement de la terre autour du soleil               | 7  |
| <b>Figure I - 5</b> :Trajectoires du soleil                                | 8  |
| <b>Figure I - 6</b> : Irradiation global reçue sur surface horizontal      | 9  |
| <b>Figure I - 7</b> : Situation de la Wilaya d' Ouargla                    | 10 |
| <b>Figure I - 8</b> : irradiation moyenne chaque mois                      | 11 |
| <b>Figure I - 9</b> : la température moyenne chaque mois                   | 12 |
| <b>Figure II - 1</b> : Vue schématique de la couche atmosphérique standard | 14 |
| <b>Figure II - 2</b> : Vue schématique de la couche limite atmosphérique   | 15 |
| <b>Figure II - 3</b> : Gisement de vent en Algérie                         | 18 |
| <b>Figure II - 4</b> : vitesse du vent en wilaya de Ouargla                | 19 |

### Chapitre 02

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure I - 1</b> : principe d'une cellule photovoltaïque                                  | 21 |
| <b>Figure I - 2</b> :Puissance maximale sur une caractéristique courant-tension              | 22 |
| <b>Figure I - 3</b> : Caractéristique résultantes d'un groupement de ns cellules en série    | 23 |
| <b>Figure I - 4</b> : Caractéristique résultante d'un groupement de np cellules en parallèle | 23 |
| <b>Figure I - 5</b> : Influence de l'ensoleillement sur les cellules photovoltaïques         | 24 |
| <b>Figure I - 6</b> : Influence de la température sur les cellules photovoltaïque            | 25 |
| <b>Figure I - 7</b> :Les différents modules photovoltaïques                                  | 26 |
| <b>Figure I - 8</b> : Module photovoltaïque  | 26 |
| <b>Figure I - 9</b> : Schéma synoptique d'un système photovoltaïque autonome                 | 27 |
| <b>Figure I - 10</b> schéma principe système Pv sans stockage (pompage au fil du soleil)     | 29 |
| <b>Figure I - 11</b> : Pompage photovoltaïque avec stockage d'énergie                        | 30 |
| <b>Figure II - 1</b> : Conversion de l'énergie cinétique du vent                             | 30 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure II - 2 :</b> Schéma d'un aérogénérateur                                       | 31 |
| <b>Figure II - 3:</b> Courbe de la puissance éolienne en fonction de la vitesse du vent | 32 |
| <b>Figure II - 4 :</b> éolienne à axe verticale   | 33 |
| <b>Figure II - 5 :</b> éolienne a axe horizontale                                       | 34 |
| <b>Figure II - 6 :</b> schématique des systèmes éolien électrique                       | 35 |

### **Chapitre 03**

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure III-1 :</b> la région de Khashm el-Rih               | 37 |
| <b>Figure III-2</b> Limites de l'agriculture pour les palmiers | 38 |
| <b>Figure III-3:</b> pompe immergée                            | 39 |
| <b>Figure III-4:</b> Caractéristiques du pompe                 | 39 |

### **Chapitre 04**

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure IV-1 :</b> schéma système PV                                      | 45 |
| <b>Figure IV-2 :</b> Énergie produite chaque mois par PV                    | 46 |
| <b>Figure IV-3:</b> schème du système éolienne                              | 47 |
| <b>Figure IV-4:</b> Énergie produite chaque mois par éolienne               | 48 |
| <b>Figure IV-5 :</b> Comparaison économique entre le coût des deux systèmes | 50 |

## Liste des tableaux

### Chapitre 01

|  |    |
|--|----|
| <b>Tableau I -1:</b> Inclinaison optimale en fonction de la latitude                     | 6  |
| <b>Tableau I -2 :</b> Les coordonnées géographiques de la wilaya d'Ouargla               | 10 |
| <b>Tableau I -3:</b> le rayonnement solaire la wilaya de Ouargla                         | 10 |
| <b>Tableau I -4:</b> la température moyenne la wilaya de Ouargla                         | 11 |
| <b>Tableau II -5 :</b> Les valeurs mensuelles moyennes des vitesses du vent pour Ouargla | 18 |

### Chapitre 02

|   |    |
|---|----|
| <b>Tableau II -1 :</b> classification des éoliennes | 31 |
|---|----|

### Chapitre 03

|  |    |
|--|----|
| <b>Tableau III-1 :</b> montre les spécifications météorologiques dans la région de Khashm al-Rih | 37 |
| <b>Tableau III-2:</b> montre l'étude économique dans le système photovoltaïque                   | 41 |
| <b>Tableau III-3 :</b> montre l'étude économique du système éolien                               | 42 |

### Chapitre 04

|  |    |
|--|----|
| <b>Tableau IV-1:</b> l'énergie produite par les PV par an  | 45 |
| <b>Tableau IV-2 :</b> montre la quantité produite et consommée pour le système PV de 9 kWc                                     | 46 |
| <b>Tableau IV-3 :</b> montre le coût du système et le coût de chaque composant de la première année à 20 ans                   | 47 |
| <b>Tableau IV-4:</b> montre la quantité d'énergie production et consommation chaque année par les éoliennes                    | 48 |
| <b>Tableau IV-5:</b> montre le coût de l'installation éolienne et le coût de chaque composante de la première année à 20 ans . | 49 |
| <b>Tableau IV-6 :</b> montre le coût des deux systèmes la première année et après 20 ans                                       | 49 |

## Sommaire

|  |      |
|--|------|
| Dédicace   | I    |
| Remerciement   | III  |
| Nomenclature   | IV   |
| Liste figure   | VI   |
| Liste les tableaux   | VIII |
| Introduction générale  | 1    |
| <b>Chapitre 01 : Gisement solaire et gisement éolien</b>     |      |
| I Gisement solaire   |      |
| I -1 Introduction  | 3    |
| I -2 Caractéristique de rayonnement solaire                  | 3    |
| I -3 Paramètre de variation du rayonnement global journalier | 5    |
| I -4 Paramètre de position sur la terre                      | 6    |
| I -5 Mouvement de la terre autour du soleil                  | 7    |
| I -6 Trajectoire apparente du soleil                         | 8    |
| I -7 Rayonnement solaire en Algérie                          | 8    |
| I -8 Spécification de la région de Ouargla                   | 9    |
| II -gisement éolien  |      |
| II -1 Forces agissant sur le vent                            | 12   |
| II -2 Présentation générale de l'atmosphère                  | 13   |
| II -3 Caractérisation de la vitesse du vent                  | 16   |
| II -4 Gisement de vent en Algérie                            | 17   |
| II -5 Gisement de vent de la région de Ouargla               | 18   |
| Conclusion   | 19   |
| <b>Chapitre 02 : générateurs photovoltaïque et éolien</b>    |      |
| I - Systèmes photovoltaïques                                 |      |
| I -1-Définition  | 21   |
| I -2 Cellule photovoltaïque                                  | 21   |
| I -3 . Modules photovoltaïques                               | 26   |
| I -4. Description des systèmes photovoltaïques               | 27   |

|  |    |
|--|----|
| I -5 Pompage solaire   | 29 |
| II -Générateur éolien  | 30 |
| II -1 Principe de fonctionnement de l'aérogénérateur                 | 30 |
| II -2 Classifications des éoliennes selon la puissance               | 31 |
| II -3 Zones de fonctionnement de l'éolienne                          | 31 |
| II -4 Les différents types de l'éolienne                             | 33 |
| II -5 Eolienne de pompage  | 34 |
| <b>CHAPITRE 03 :Etude énergétique et économique</b>                  |    |
| I - Introduction   | 37 |
| II - Zone d'étude  | 37 |
| II - 1 Hypothèses  | 38 |
| III - Etude d'un système PV  | 38 |
| III -1 Etude énergétique   | 38 |
| III -2 Étude économique  | 41 |
| IV- Étude d'un système d'éolienne                                    | 41 |
| IV -1 Etude énergétique  | 41 |
| IV -2 Étude économique   | 42 |
| <b>Chapitre 04 : Impacts énergétique et économique</b>               |    |
| I - Introduction Logiciel Homer                                      | 44 |
| II -Système PV   | 44 |
| II -1 Résultats énergétiques   | 45 |
| II- 1-2 Résultats Economiques  | 46 |
| III- système d'éolienne  | 47 |
| III -1 Résultats énergétiques  | 48 |
| III -2 Résultat économique s   | 49 |
| IV- Comparaison des deux systèmes (système PV et système d'éolienne) | 49 |
| Conclusion   | 50 |
| Conclusion générale  | 52 |
| Bibliographie  | 53 |

# **Introduction générale**

# Introduction général

---

## Introduction générale

Parmi les problèmes majeurs des temps modernes, l'approvisionnement en eau, soit pour la consommation domestique (personnes) ou pour les agriculteurs (bétail et irrigation) . Ce problème est directement lié à un autre sujet, qui est de fournir l'énergie nécessaire. En Algérie, malgré les efforts considérables de SONELGAZ, de nombreuses zones ne sont toujours pas connectées au réseau public d'électricité. Par exemple, les zones désertiques sont loin des villes. C'est un gros problème pour les agriculteurs parce que l'eau ne leur suffit pas. Mais l'énergie nécessaire est absente ou trop chère à obtenir. La solution pratique est l'utilisation de l'énergie solaire. Parce qu'ils sont nombreux dans notre grand désert ou l'utilisation des éoliennes.

Dans ce travail, nous traitons spécifiquement le problème de l'approvisionnement en eau, de l'irrigation par pompage de l'énergie solaire. Pour cela, on effectue une étude de comparaison entre un système PV et un système éolien pour l'irrigation d'un champ de palmiers. Pour ce faire, notre travail est divisé en 04 chapitres :

Le chapitre I fournit une explication simple du gisement solaire et le gisement éolien. Dans le deuxième chapitre, nous discuterons des concepts de base de l'énergie solaire (PV) et de ses principes, nous parlerons des éoliennes, et nous fournirons dans le troisième chapitre une étude économique et énergétique sur les panneaux PV et le système éolien. Dans la partie 4, on utilise le logiciel Homer, nous mettons en évidence et comparons les résultats énergétiques et économiques des deux systèmes.

# **Chapitre 01**

## **Gisement solaire et gisement éolien**

## **I -Gisement solaire**

### **I -1 Introduction**

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible dans un site donné et au cours d'une période donnée. Son évaluation peut se faire à partir des données de l'irradiation solaire globale. Pour effectuer le dimensionnement le plus exact possible, compte tenu des demandes en énergie à satisfaire, l'étude du gisement est le point de départ de toute investigation. Cette étude est très indispensable dans le domaine de l'énergie solaire afin de simuler le fonctionnement probable du système énergétique et d'assurer son intérêt et sa faisabilité.

### **I -2 Caractéristique du rayonnement solaire**

Le rayonnement solaire se compose de radiations électromagnétiques émises par le soleil, dont le spectre s'étend des plus petites longueurs d'ondes (rayons gamma) vers des grandes ondes radioélectriques [1] .

Le rayonnement solaire reçu au sommet de l'atmosphère dans un plan perpendiculaire aux rayons solaires et pour une distance terre-soleil égale à sa valeur moyenne, est appelé la constante solaire et vaut  $1367 \text{ w/m}^2$  [1] .

Lorsque ce rayonnement traverse l'atmosphère pour atteindre la surface terrestre, il est fortement atténué en raison des phénomènes d'absorption et de diffusion par les différents constituants de celle-ci [1] .

#### **I - 2-1 Masse d'air**

En traversant l'atmosphère, le rayonnement solaire direct (provenant du disque solaire) est affaibli par l'absorption et la dispersion des particules gazeuses et des particules atmosphériques. Cette vulnérabilité aux rayonnements est fonction du nombre de ces molécules et molécules ainsi que de la longueur du trajet parcouru par les photons avant d'atteindre la cellule photovoltaïque

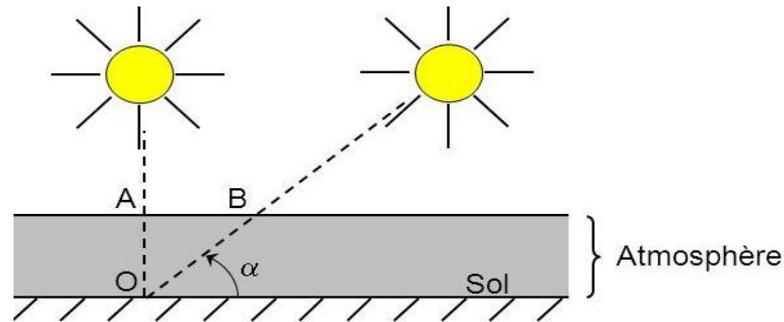


Figure I -1 :Masse d'air

$$\frac{OA}{OB} = \sin \alpha \quad OB = \frac{OA}{\sin \alpha} \quad , \quad MA = \frac{OB}{OA} = \frac{1}{\sin \alpha}$$

Dans l'expression masse d'air , désigne ce rapport  $MA = \frac{OB}{OA} = \frac{1}{\sin \alpha}$

Exemple :-soleil au zénith (au niveau de la mer)  $MA=1$  .

- Soleil à  $30^\circ$  :  $MA=2$
- Soleil à  $45^\circ$  :  $MA=1.5$

Et par convection,  $MA_0$  désigne le rayonnement solaire hors atmosphère .

### I -2-2 Composition du rayonnement solaire au sol

En traversant l'atmosphère, le rayonnement solaire est absorbé et diffusé. Au sol on distingue plusieurs composantes [2]:

-**Le rayonnement direct** est reçu directement du soleil, sans diffusion dans l'atmosphère, ses rayons sont parallèles entre eux.

-**Le rayonnement diffus** est constitué par la lumière diffusée par l'atmosphère. La diffusion est le phénomène qui répartit un faisceau parallèle en une multitude de faisceaux partant dans toutes les directions. Dans le ciel ce sont à la fois les molécules d'air, les gouttelettes d'eau (nuage) et les poussières qui produisent cet éclatement des rayons du soleil.

-L'albédo est la partie **réfléchi**e par le sol, il dépend de l'environnement du site. La neige par exemple renvoi énormément de rayons lumineux.

Le rayonnement global est tout simplement la somme de ces diverses contributions.

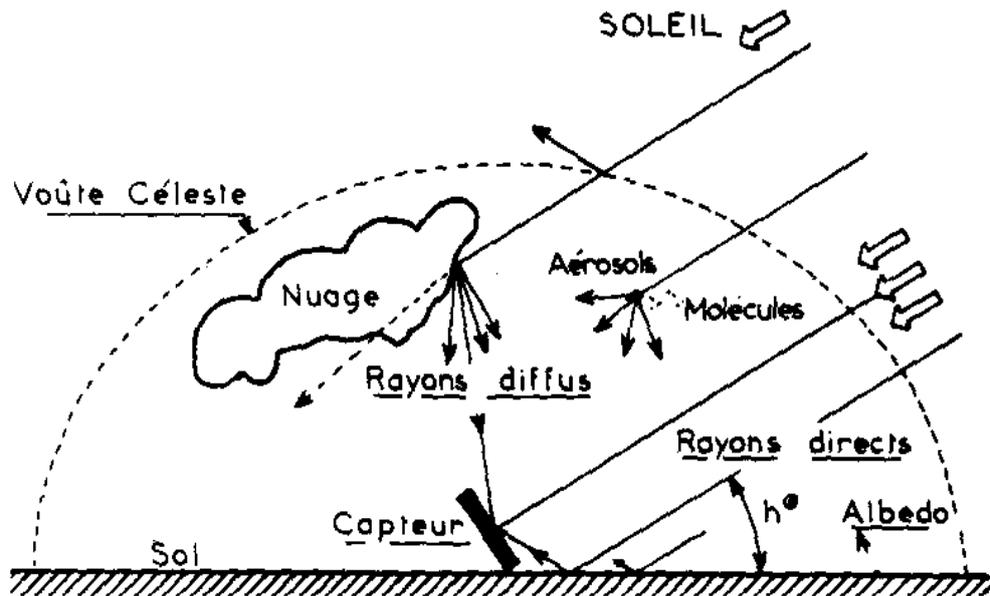


Figure I -2 : Composition du rayonnement solaire

### I -3 Paramètre de variation du rayonnement global journalier

La modification du rayonnement solaire par l'atmosphère obéit à des phénomènes assez complexes et surtout en grande partie, aléatoires, le flux lumineux reçu au niveau du sol à un instant donné dépend d'un grand nombre de paramètres tels que les gaz présents dans l'atmosphère, les nuages, l'albédo, la température ambiante, le vent, l'humidité relative,... Or ces paramètres dépendent du lieu géographique, de la saison, de l'heure de la journée et des conditions météo du moment [3].

#### I -3-1 Facteurs d'influence à l'exposition au rayonnement solaire

##### □ Orientation des modules

Sur terre, le soleil se lève à l'est et sa course passe par le sud pour finir à l'ouest, que vous habitiez dans l'hémisphère nord ou dans l'hémisphère sud.

C'est dû à la rotation de notre astre et à la façon dont il tourne par rapport au soleil.

En conséquence, l'orientation optimale d'un panneau solaire est bien le sud, là où le soleil sera à son zénith (la position la plus haute dans le ciel) au milieu de la journée.

##### □ Inclinaison des modules

La valeur de l'inclinaison correspond à l'angle que font les modules avec l'horizontale. L'énergie solaire reçue par une surface de modules photovoltaïques sera plus importante si cette surface est perpendiculaire aux rayons directs du soleil.

L'inclinaison optimale peut se résumer dans le tableau suivant :

**Tableau I -1:** Inclinaison optimale en fonction de la latitude

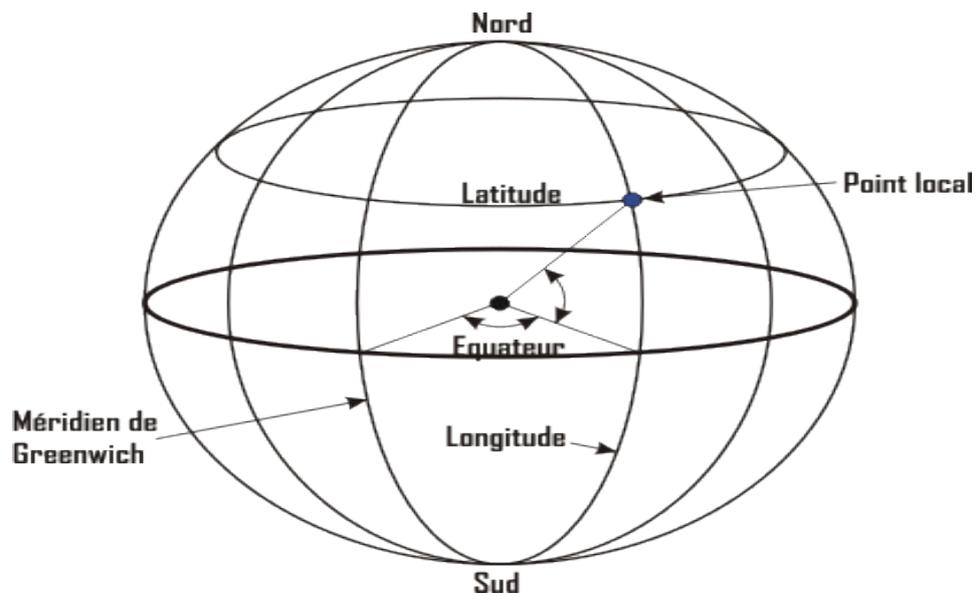
| Utilisation annuelle |                     |
|----------------------|---------------------|
| latitude $\phi$ [°]  | Inclinaison [°]     |
| $\phi < 10$          | $\beta = 10$        |
| $10 < \phi < 30$     | $\beta = \phi$      |
| $30 < \phi < 40$     | $\beta = 10 + \phi$ |
| $\phi > 40$          | $\beta = 15 + \phi$ |

Une représentation graphique telle illustrée sur la figure donne le positionnement adéquat

#### I -4 Paramètre de position sur la terre

A) **La longitude (L)** : est comptée positivement de 0 à 180° vers l'est et négativement 0 à -180° vers l'ouest, à partir du méridien Greenwich.

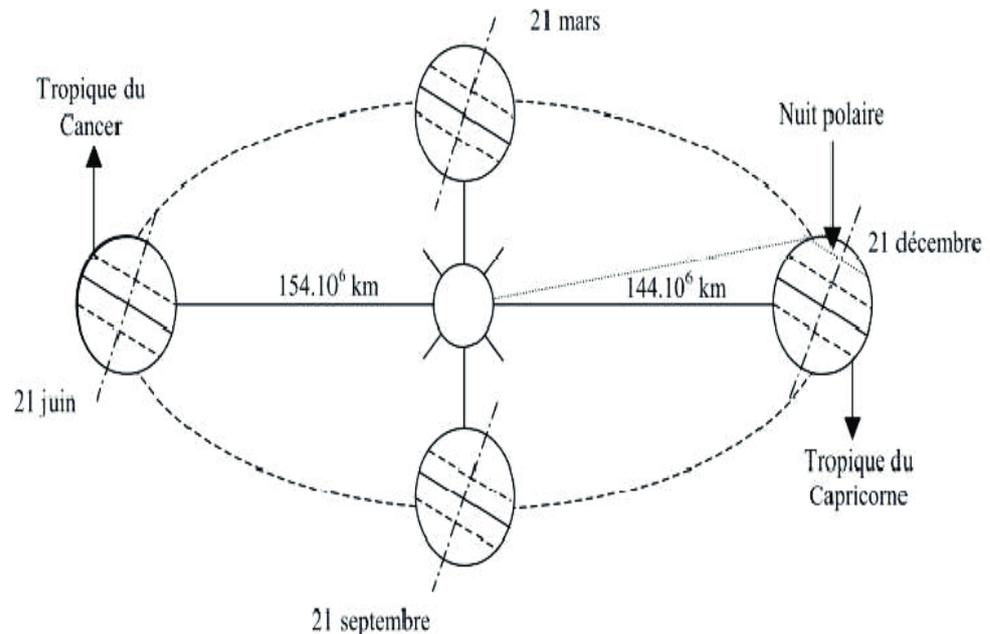
B) **La latitude ( $\phi$ )** : permet de repérer la distance angulaire d'un point quelconque à l'équateur. Elle est comptée positivement de 0 à 90° vers le nord et négativement de 0 à -90° vers le sud. [4] .



**Figure I -3:** Paramètre de position de la terre.

### I -5 Mouvement de la terre autour du soleil

La terre décrit autour du soleil une trajectoire légèrement elliptique dont le soleil occupe un foyer (figure I -4 ). En fait la distance qui les sépare varie de  $\pm 1,69\%$  au cours de l'année du fait de la légère excentricité de l'orbite terrestre ( $e=0,017$ ) [5].



**Figure I - 4 :** Mouvement de la terre autour du soleil

L'axe de rotation de la terre sur elle-même est incliné de  $23^{\circ}27'$  par rapport au plan de l'écliptique (plan de l'orbite terrestre). On appelle déclinaison  $\delta$  l'angle formé par l'axe Terre/Soleil avec le plan de l'équateur à un moment donné de l'année. La déclinaison vaut donc  $+23^{\circ}27'$  au solstice d'été,  $-23^{\circ}27'$  au solstice d'hiver, et est nulle aux équinoxes.

**Déclinaison solaire ( $\delta$ ) :** c'est l'angle que fait l'axe solaire terre avec le plan équatorial terrestre. Elle varie à la cour de l'année de  $23^{\circ}27'$  à  $(-23^{\circ}27')$  en passant par  $0^{\circ}$  aux équinoxes.

$$\delta = 23.45 \sin 360 \left[ \frac{(284 + N)}{365} \right]$$

**N :** le numéro du jour de l'année

Cette déclinaison est responsable des saisons, car dans l'hémisphère Nord, les rayons nous parviennent avec un angle plus élevé en été, et plus bas sur l'horizon en hiver (c'est le contraire dans l'hémisphère sud). Elle explique aussi que les différences saisonnières soient plus marquées vers les hautes latitudes.

### I -6 Trajectoire apparente du soleil

Pour un observateur situé sur la surface de la terre, le soleil décrit une trajectoire apparente qui dépend de la latitude et la longitude du lieu où il se trouve. Rappelons que la latitude est la distance angulaire d'un point quelconque du globe par rapport à l'équateur (de  $0^\circ$  à  $90^\circ$  dans l'hémisphère nord). Quant à la longitude, c'est également un angle, donné par rapport au méridien de Greenwich (arc de cercle passant par les deux pôles et la ville de Greenwich en Angleterre) en se déplaçant vers l'Est.

La figure ( I -5) retrace les trajectoires décrites par le soleil pour un lieu donné. On peut y lire la hauteur et l'azimute du soleil pour un instant quelconque de l'année [5].

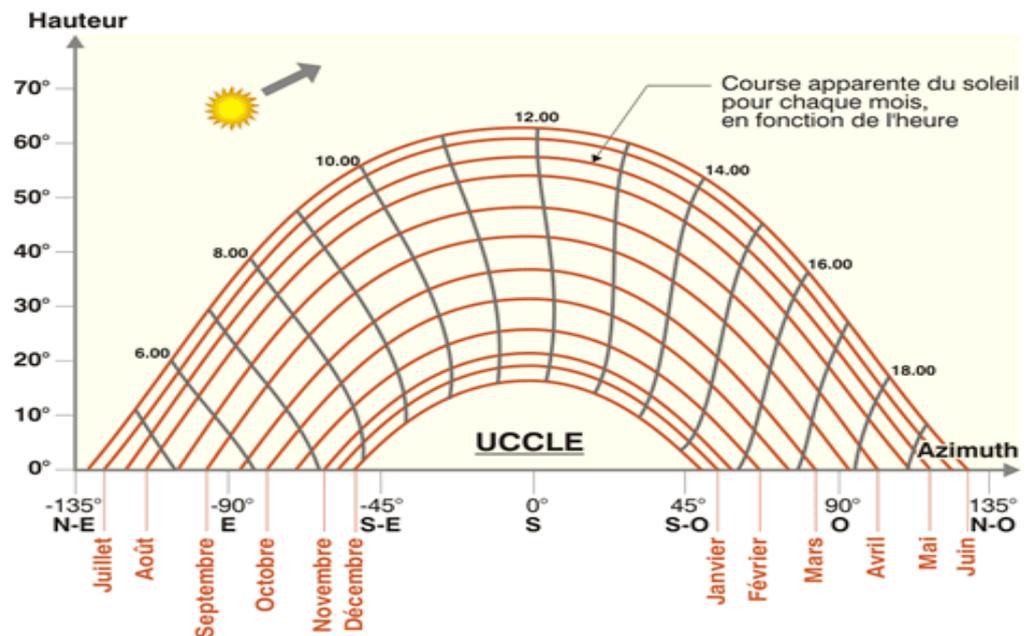


Figure I - 5 :Trajectoires du soleil

### I -7 Rayonnement solaire en Algérie

On peut avancer qu'il y a peu de pays qui reçoivent autant de flux d'énergie solaire que l'Algérie car elle est située entre les latitudes 20 et 37 degré.

La figure ( I -6) au-dessous représente Irradiation global reçue sur surface horizontale dans la période 1992-2002.

Moyenne annuelle de l'irradiation Globale reçue sur une surface horizontale, Période 1992-2002

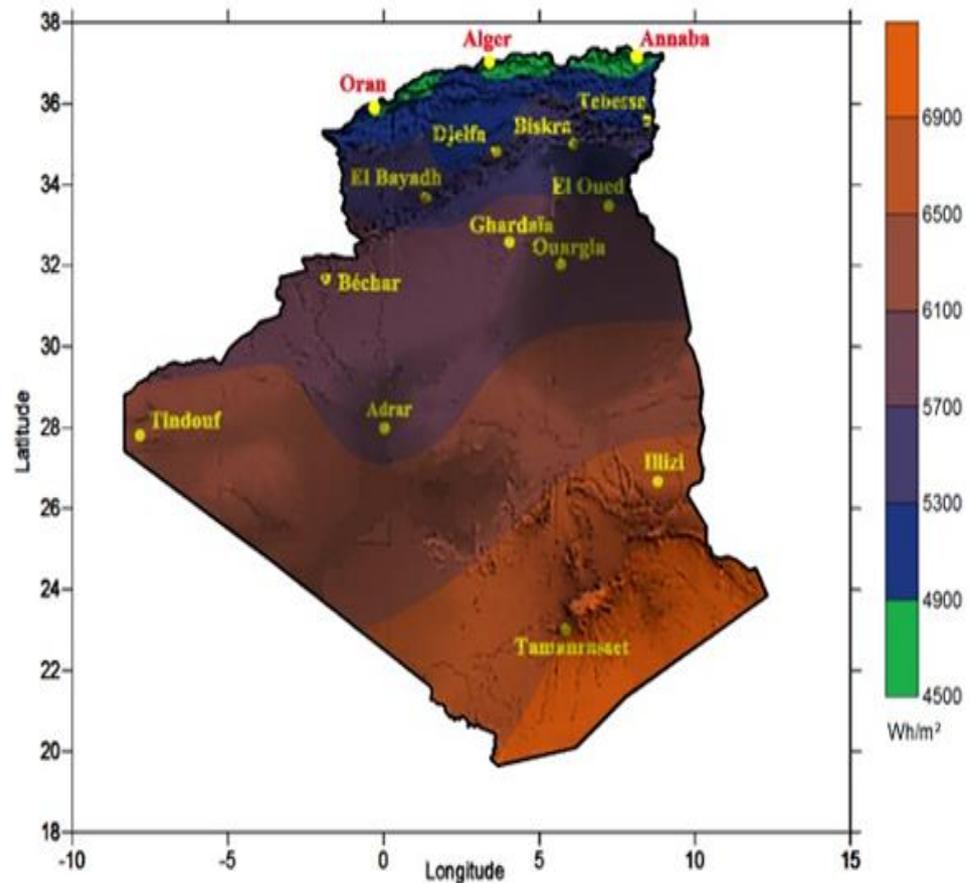


Figure I -6: Irradiation globale reçue sur surface horizontale.

## I -8 Spécification de la région de Ouargla

### I -8-1 Présentation du site

La région de Ouargla est située au Nord-est du Grand Sahara algérien; elle est distante de 850 Km de la capitale Alger.

La région de Ouargla fait partie du grand bassin versant Sahara septentrional elle est limitée au Nord d'El Oued et Biskra, au Sud Tamanrasset et Illizi à l'est la Tunisie et à l'ouest par Ghardaïa Elle s'étend sur une superficie de 163 230 km<sup>2</sup> et sa population est estimée à 653358 habitants en 2015.[7]

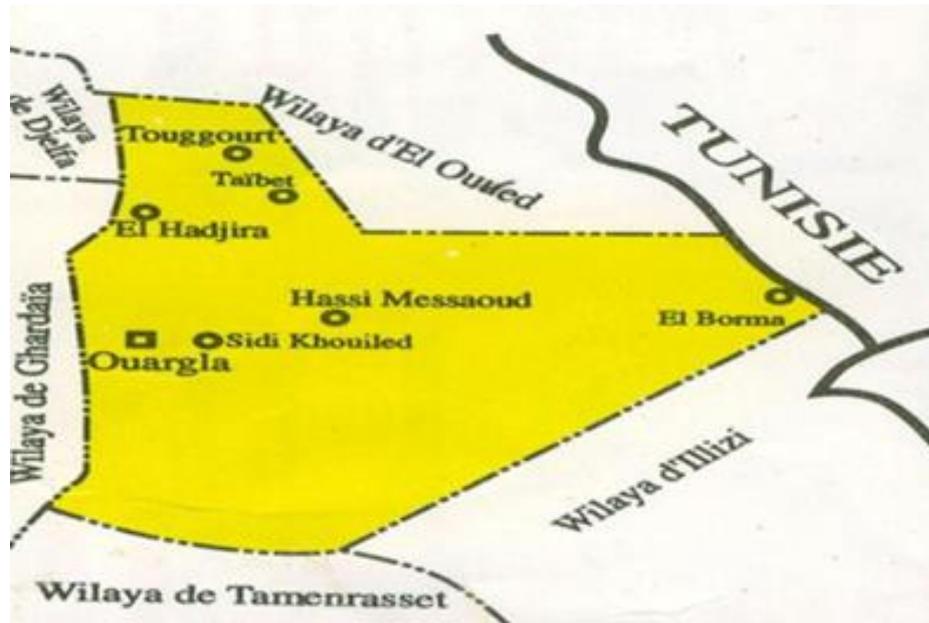


Figure I -7 : Situation de la Wilaya d' Ouargla

### I -8-2 Les données géographiques

Les coordonnées géographiques d'Ouargla sont données par le tableau suivant :

Tableau I -2 : Les coordonnées géographiques de la wilaya d'Ouargla

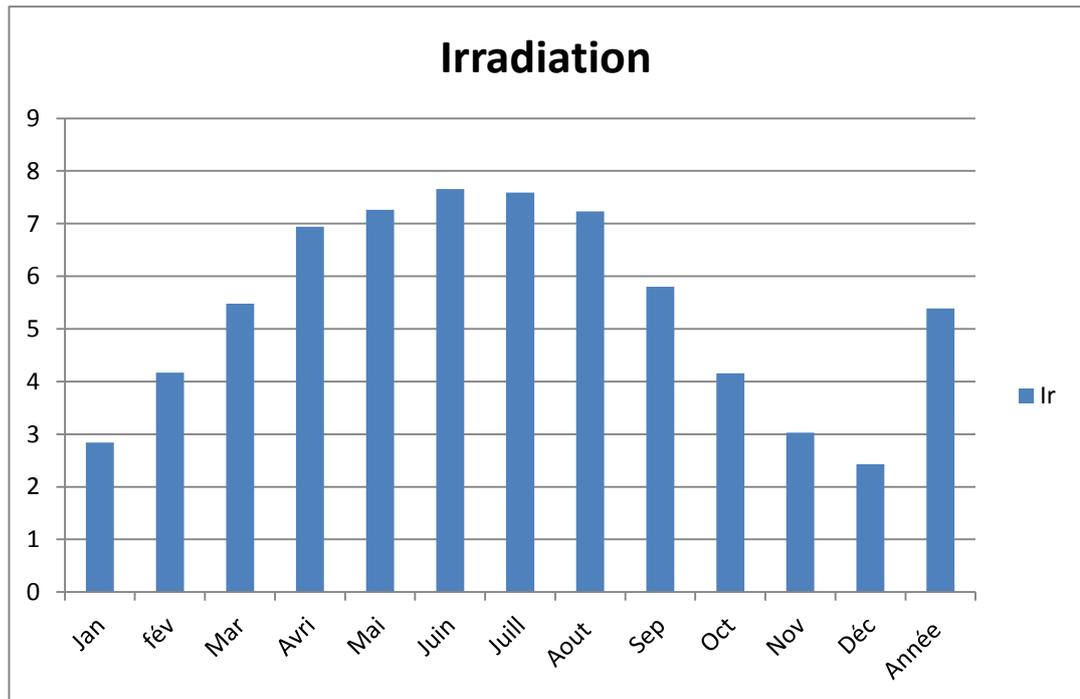
|                          |                                     |
|--------------------------|-------------------------------------|
| Altitude (z): 141m       | Latitude ( $\varphi$ ): 31° 57 Nord |
| Albédo ( $\rho$ ) : 0.35 | Longitude( $\lambda$ ) : 5°24'Est   |

### I -8 –3 Rayonnement solaire de Ouargla

Tableau I -3 : le rayonnement solaire de la wilaya de Ouargla [8]

| Mois | Jan  | fév  | Mar  | Avri | Mai  | Juin | Juill | Aout | Sep  | Oct  | Nov  | Déc  | Année       |
|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------------|
| Ir   | 2.84 | 4.17 | 5.48 | 6.94 | 7.26 | 7.66 | 7.59  | 7.23 | 5.80 | 4.16 | 3.03 | 2.43 | <b>5.39</b> |

Ir: Irradiation sur plan horizontal (kWh / m<sup>2</sup> / jour)



**Figure I -8:** Irradiation mensuelle moyenne

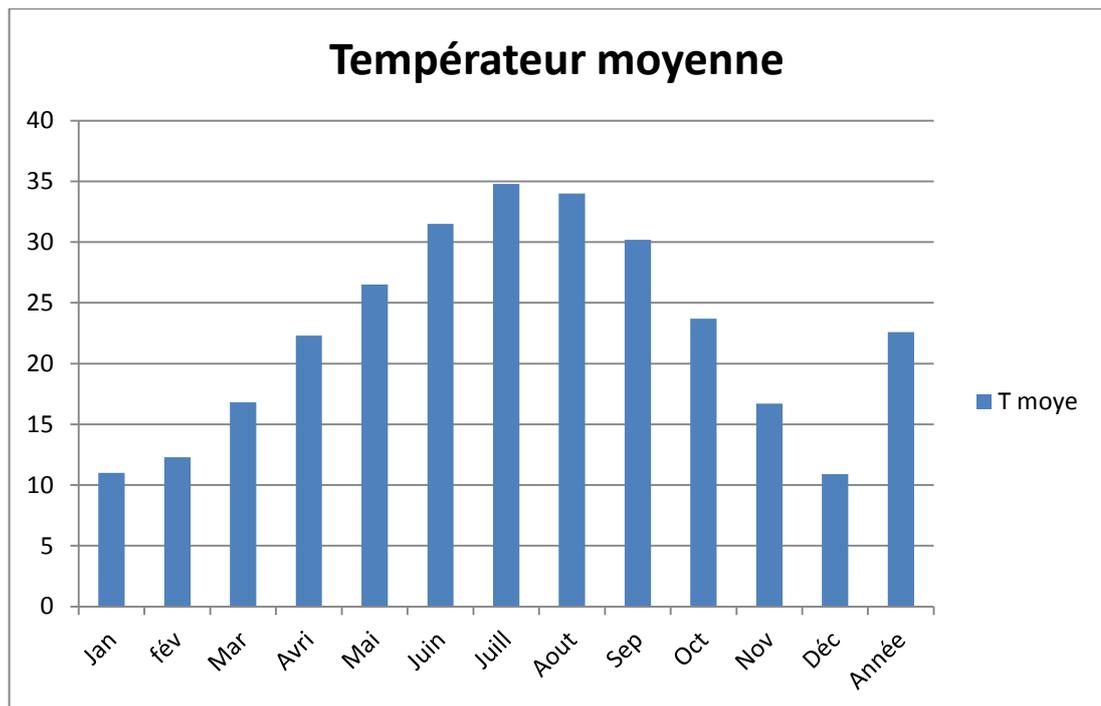
#### I -8-4 Température mensuelle moyenne

Le tableau ci-dessous illustre les températures dans un ans d'observation, les valeurs mensuelles de mai à octobre dépassent la moyenne annuelle ( $23.79^{\circ}\text{C}$ ), par contre avec les autres mois qui sont sous moyenne annuelle. Au mois du janvier, la moyenne minimale mensuelle est de ( $11^{\circ}\text{C}$ ), au mois du juillet, la moyenne maximale mensuelle est de ( $34.8^{\circ}\text{C}$ ).

**Tableau I -4 :** la température moyenne la wilaya de Ouargla [8]

| Mois      | Jan  | fév  | Mar  | Avri | Mai  | Juin | Juill | Aout | Sep  | Oct  | Nov  | Déc  | Année |
|-----------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|
| T<br>moye | 11.0 | 12.3 | 16.8 | 22.3 | 26.5 | 31.5 | 34.8  | 34.0 | 30.2 | 23.7 | 16.7 | 10.9 | 22.6  |

**T moye :** Moyenne des températures sur 24 heures ( $^{\circ}\text{C}$ )



**Figure I -9:** température moyenne chaque mois

## II - Gisement éolien

L'air qui constitue l'atmosphère est un mélange de gaz et de particules de forme solides ou liquides. Sa composition est relativement constante jusqu'à une altitude inférieure à 100km et est majoritairement composée d'azote et d'oxygène. La quasi-totalité de sa masse est située à une altitude de moins de 16 km, dans les basses couches atmosphériques. Au sein de ces couches, le déplacement des masses d'air, appelé vent n'est autre que le résultat de la mise à l'équilibre d'un ensemble de forces.

### **II - 1 Forces agissant sur le vent**

Pour un observateur à l'arrêt par rapport au sol, il existe quatre forces majeures qui agissent sur une partie élémentaire d'air :

#### **II - 1-1 Force gravitationnelle**

Conséquence de l'attraction mutuelle des corps, cette force intervient à cause de la grande masse de la terre. Elle est dirigée vers le centre de la terre [10].

## **II - 1-2 Force de pression**

Ces forces, résultant d'une forte pression vers la basse pression, sont dues au gradient de pression résultant de l'échauffement inégal de l'air suivant les latitudes, la nature des sols et la répartition des océans et des continents. Les forces de pressions sont à l'origine du déplacement des masses d'air [10].

## **II - 1-3 Force de Coriolis**

Cette force est le résultat de la rotation de la terre autour de son axe qui est perpendiculaire à la vitesse du vent.

## **II - 1-4 Forces de frottement**

Ces forces traduisent la friction turbulente de l'air avec le sol. Elles interviennent dans la couche limite atmosphérique. La force gravitationnelle et la force du gradient de pression sont les deux forces qui peuvent initier un mouvement de l'air. Leurs actions se font ressentir près du sol dans une zone appelée couche limite atmosphérique [10].

## **II - 2 Présentation générale de l'atmosphère**

L'atmosphère est une enveloppe gazeuse formant une couche d'air qui entoure la Terre. L'atmosphère terrestre est composée de plusieurs couches de gaz et de particules en suspension, d'environ 500km d'épaisseur que la Terre retient à sa surface. Sa densité et sa température diminuent avec l'altitude où seule la couche la plus basse de l'atmosphère, renferme des êtres vivants et se trouve brassée par les courants atmosphériques à l'origine des phénomènes climatiques. [9]

### **II - 2-1 Structure de l'atmosphère :**

Bien que l'atmosphère se subdivise en plusieurs grandes parties en fonction du gradient vertical de température, l'atmosphère standard se compose essentiellement de deux grandes parties (Figure II -1) :

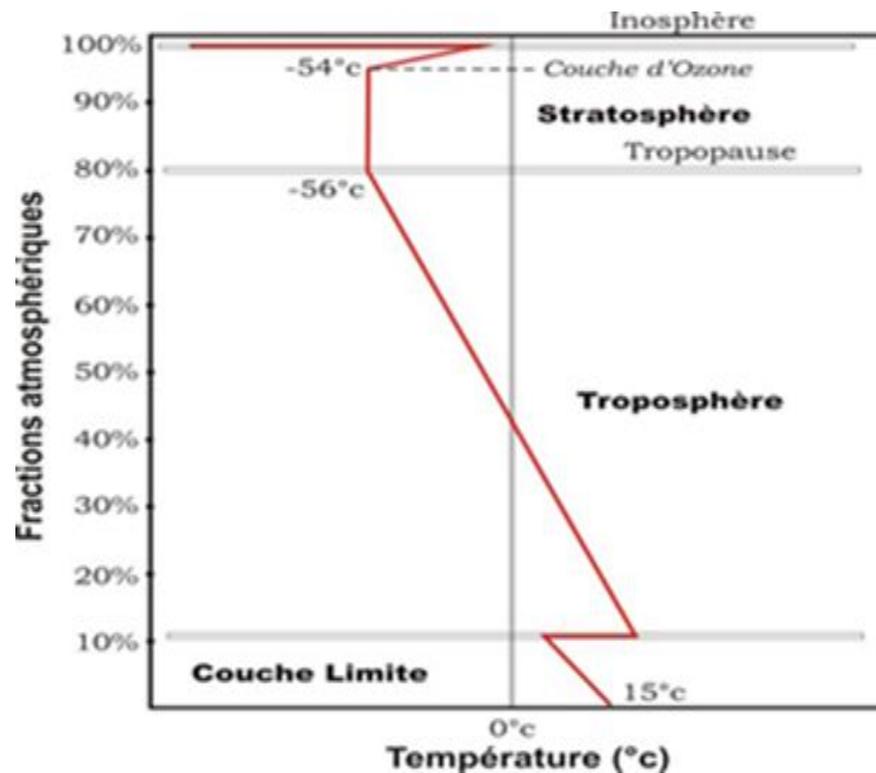


Figure II -1: Vue schématique de la couche atmosphérique standard

## II - 2-2 Couche limite atmosphérique CLA

### II - 2-2-1-Définition

Initiée par Ludwig Prand en 1904 [9], la théorie de la couche limite fut utilisée pour caractériser l'écoulement d'un fluide aux abords d'une paroi. Ainsi, l'idée de couche limite répond bien à la couche limite terrestre qui correspond à la couche dans laquelle les frottements ont un effet très significatif. C'est là où les températures subissent le plus, l'influence de l'ensoleillement durant la journée et du refroidissement radiatif durant la nuit, avec les vents sous l'influence du frottement sur la surface.

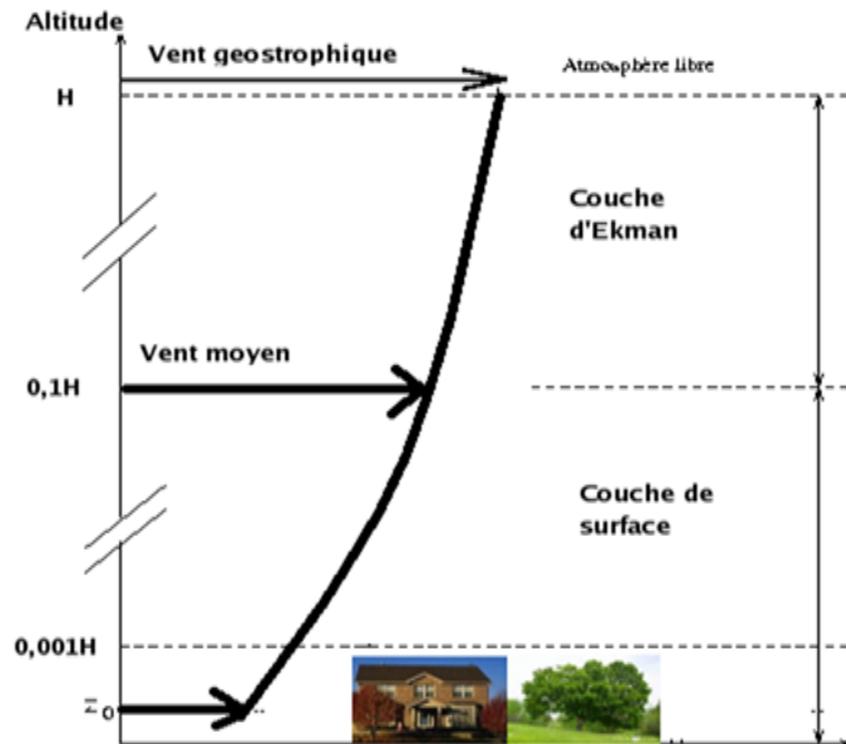
La couche limite atmosphérique CLA est la couche de la troposphère qui est directement influencée par la surface terrestre. En moyenne, la couche limite atmosphérique est comprise entre la surface terrestre et une hauteur généralement de quelques centaines de mètres à 1500m, parfois jusqu'à 2000m. Au-dessus de la CLA, l'influence de la surface est négligeable et l'écoulement de l'air qui n'est autre que le vent est laminaire dans l'atmosphère libre.

C'est un lieu d'échanges d'énergie entre la surface et l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau et de quantité de mouvement. Son épaisseur varie de quelques mètres à plusieurs

kilomètres. Elle est en fonction de la vitesse du vent, de la rugosité de surface et de l'ensoleillement local.

### II -2-2-2 Structure verticale de la CLA

La couche limite atmosphérique se divise en trois parties distinctes (Figure II -2 ), à savoir la couche d'Ekman, la couche limite de surface et la sous-couche rugueuse.



**Figure II -2 :** Vue schématique de la couche limite atmosphérique

La couche d'Ekman est la partie supérieure de la CLA. Dans cette zone, la structure du champ de vent est influencée par les frottements sur la surface, la stratification thermique et la force de Coriolis. Avec l'altitude, les forces de frottements sont négligeables devant la force de Coriolis. La direction du vent subit donc une rotation et s'aligne à son sommet avec le vent géostrophique.

- La couche de surface est directement en contact avec la surface terrestre. Dans cette couche, la force de Coriolis est négligeable devant les forces de frottements et les effets thermiques. La structure du champ de vent est donc complexe et variable avec la nature du terrain et sa rugosité.

- La sous-couche rugueuse est la partie inférieure de la couche de surface, juste au-dessus de la surface du sol. Son épaisseur varie de quelques dizaines de millimètres sur une surface de mer plane à quelques dizaines de mètres en ville.

L'écoulement de l'air est alors fortement turbulent non homogène et instationnaire. Ceci est caractérisé par le paramètre de longueur de rugosité aérodynamique globale  $Z_0$ . Généralement, cette longueur de rugosité caractérise l'influence de la sous-couche rugueuse sur le vent.

## II - 2-3- Stabilité atmosphérique

Au sein de la CLA, les forces de frottement issues de l'écoulement de l'air sur une surface rugueuse impliquent une forte activité turbulente du fluide atmosphérique [9]. Ainsi :

- On peut faire abstraction de la force de Coriolis, car elle est faible devant les autres forces en présence, notamment les forces de frottement.

- La proximité du sol modifie le profil de vitesses de vent et induit un fort cisaillement.

- La direction sera modifiée par la présence d'obstacles.

- La distribution verticale de la température (stratification thermique de l'air) induit des mouvements verticaux de masses d'air chauffées et refroidies à proximité du sol.

Par ailleurs, l'air est régi par des turbulences d'origine [9]:

- **Mécanique** : les turbulences sont générées par la proximité du sol qui modifie le profil de la vitesse du vent par la présence d'obstacles ou de discontinuités au sol.

- **Thermique** : les turbulences sont générées par la distribution de la température, due essentiellement aux différences de température qui résultent du réchauffement, le refroidissement, l'échange radiatif quotidien de la terre ainsi que de l'écoulement de l'air entre les régions chaudes et froides.

## II - 3 Caractérisation de la vitesse du vent

La puissance énergétique éolienne moyenne disponible, associée à une circulation d'une masse d'air à une vitesse  $V$  et agissant sur une surface  $A$ , de la roue d'une éolienne s'écrit, [10]:

$$P = \frac{1}{2} \rho S V^3$$

- P : la puissance moyenne (w)
- $\rho$ : désigne la masse volumique en (kg/m<sup>3</sup>), paramètre variant avec la latitude et la température.( d'environ 1.25 kg/m<sup>3</sup>).
- S : la surface balayée par les pale de l'éolienne en (m<sup>2</sup>).
- V : la vitesse moyenne de vent ( m/s).

## II - 4 Gisement de vent en Algérie

La carte des vents de l'Algérie, estimée à 10 m du sol est présentée en( Figure II -3) Les vitesses moyennes annuelles obtenues varient de 2 à 6.5 m/s. On remarque qu'à l'exception de la région côtière (moins Bejaia et Oran), du Tassili et de Beni Abbés, la vitesse de vent moyenne est supérieure à 3 m/s.

En fait, la région centrale de l'Algérie est caractérisée par des vitesses de vent variant de 3 à 4 m/s, et augmente au fur et a mesure que l'on descend vers le sud-ouest. Le maximum est obtenu pour la région d'Adrar avec une valeur moyenne de 6.5 m/s. Cependant, nous pouvons observer l'existence de plusieurs microclimats où la vitesse excède les 5 m/s comme dans les régions de Tiaret, Tindouf et Oran.[10].

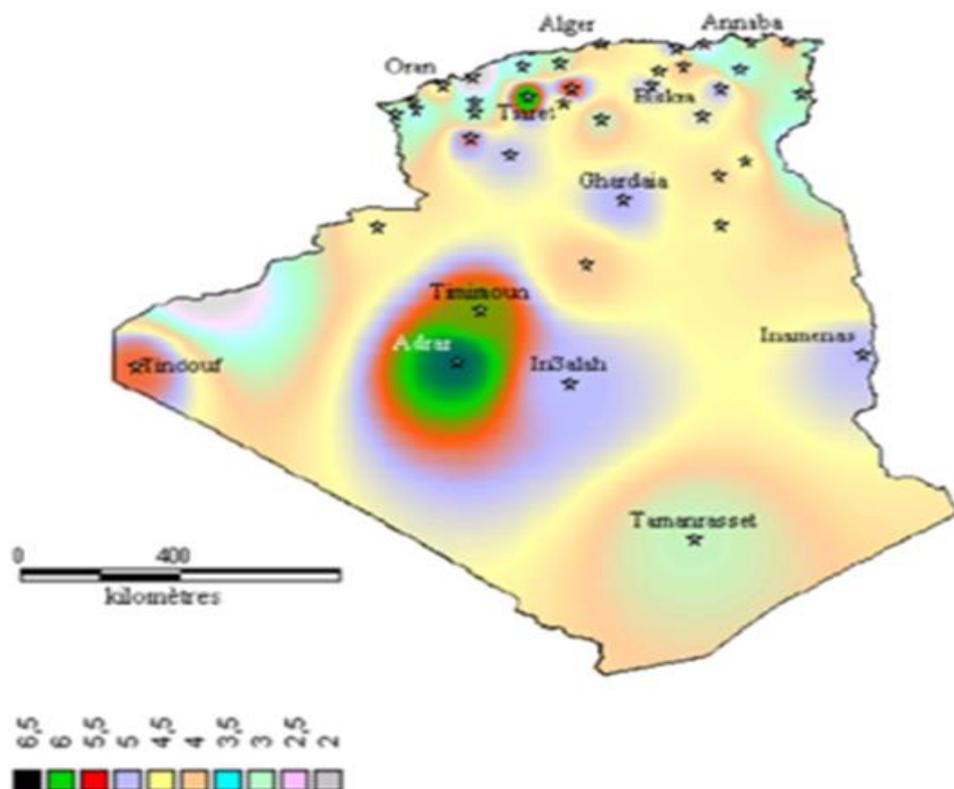


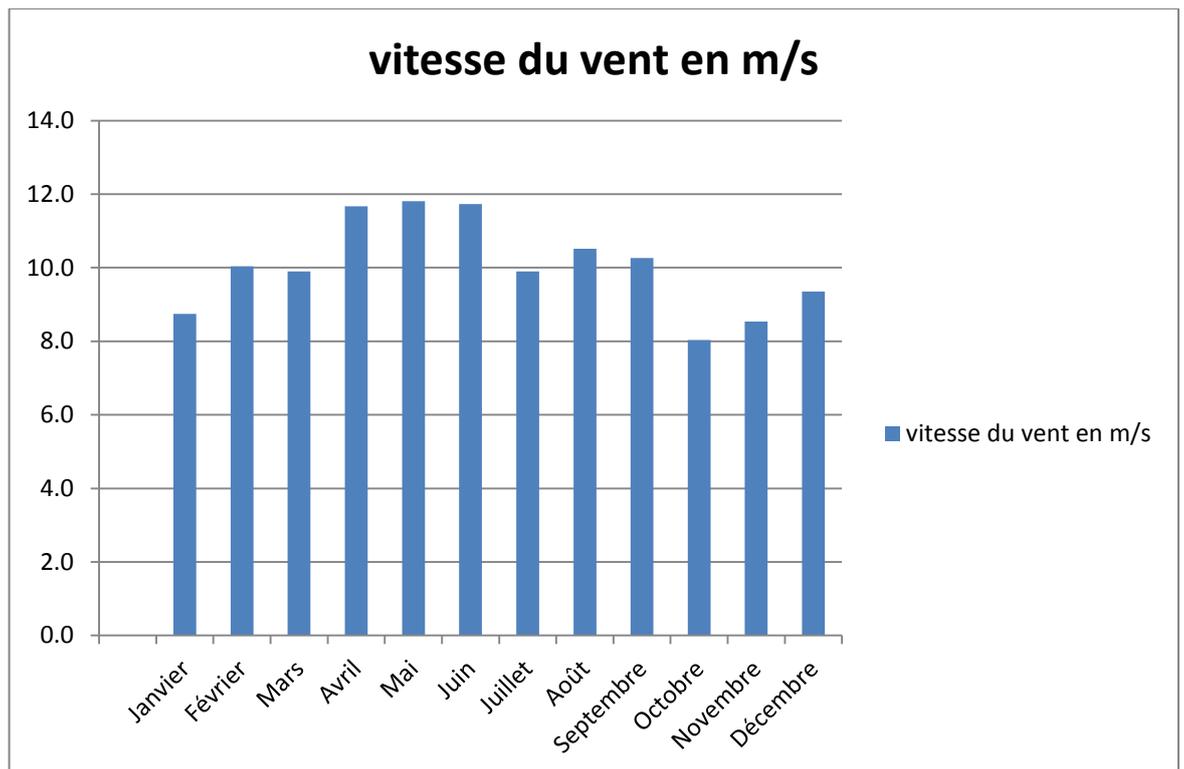
Figure II - 3: Gisement de vent en Algérie

## II -5 Gisement de vent de la région de Ouargla

Le tableau suivant montre la vitesse du vent pour l'année (2017), et on note que cette vitesse d'octobre à janvier est inférieure à 10 m / s, et les mois de résidus supérieurs à la moyenne annuelle.

**Tableau II -5 :** Les valeurs mensuelles moyennes des vitesses du vent pour Ouargla [11]

| Mois                   | Jan | Fév | Mar | Avril | Mai  | Juin | Juil | Août | Sept | Oct | Nov | Déc |
|------------------------|-----|-----|-----|-------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|
| vitesse du vent en m/s | 8.7 | 10  | 9.9 | 11.7  | 11.8 | 11.7 | 9.9  | 10.5 | 10.3 | 8.0 | 8.5 | 9.4 |



**Figure II -4:** vitesse du vent en wilaya de Ouargla

### **Conclusion**

Dans cette section, des explications générales ont été faites sur le champ solaire ainsi que sur les différentes composantes du rayonnement solaire en fonction des données de localisation.

Nous avons également fourni des définitions clés du vent et de l'atmosphère et de sa structure, Ce chapitre nous permettra d'avoir d'abord une bonne connaissance des phénomènes qui régissent le vent .

## **Chapitre 02**

# **Générateurs photovoltaïque et éolien**

## I - Systèmes photovoltaïques

### I - 1 Définition

La conversion photovoltaïque est la transformation directe d'une énergie électromagnétique (rayonnement) en énergie électrique de type continu directement utilisable .

### I -2 Cellule photovoltaïque

#### I -2 -1 Principe d'une cellule photovoltaïque

La cellule photovoltaïque est composée d'un composant à semi-conducteur qui absorbe l'énergie lumineuse et la transforme directement en courant électrique (Figure I -1); donc le principe de fonctionnement fait appel aux propriétés du rayonnement et celles des semi-conducteurs [6].

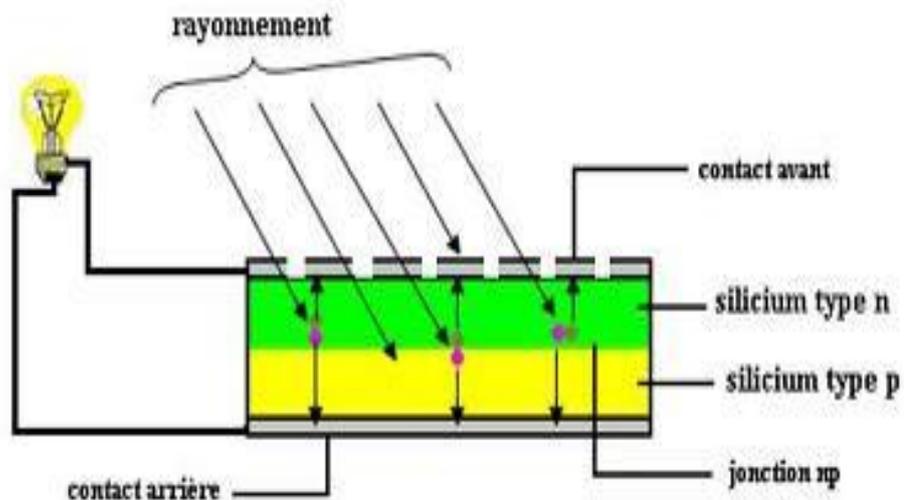


Figure I -1 : Principe d'une cellule photovoltaïque.

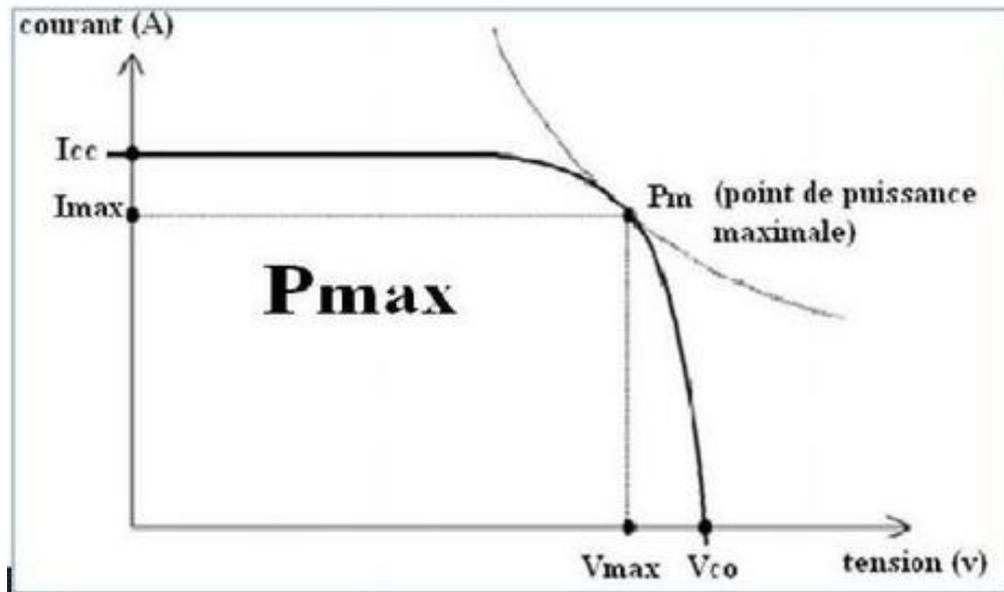
#### I -2-2 Caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque

On appelle caractéristique courant tension  $I(V)$ , la courbe représentant la variation du courant  $I$  en fonction de la tension  $V$  aux bornes de la cellule.

Les grandeurs caractéristiques suivantes peuvent être extraites de ce graphe :

- Le courant de court-circuit  $I_{cc}$ . Et  $I_{max}$
- La tension de circuit ouvert  $V_{co}$ . Et  $V_{max}$

- Le courant  $I_m$  et la tension  $V_m$  tels que le produit des deux soit maximal comme représenté sur la (Figure I -2)



**Figure I -2 :** Puissance maximale sur une caractéristique courant-tension.

Nous constatons que plus la courbe est carrée, plus la puissance maximale est élevée. On mesure cette propriété par le facteur de forme (fill factor) définie comme suit :

$$FF = \frac{V_m * I_m}{V_{co} * I_{cc}}$$

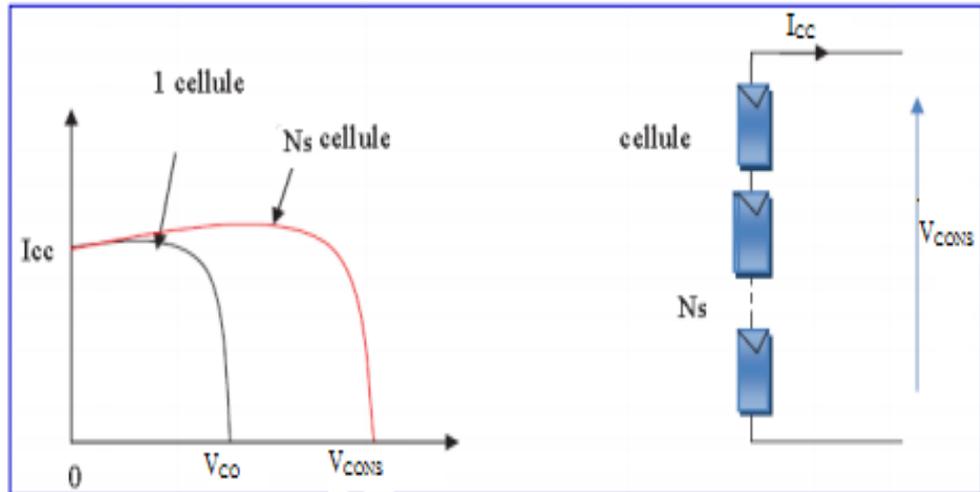
Le rendement énergétique est défini quant à lui comme le rapport entre cette puissance maximale produite et la puissance du rayonnement solaire qui arrive sur le module photovoltaïque.

Si  $S$  est la surface de ce module,  $E$  l'éclairement en  $W/m^2$ , le rendement énergétique s'écrit :

$$\eta = \frac{P_m}{P_i} = V_{co} * I_{cc} * \frac{FF}{E * S}$$

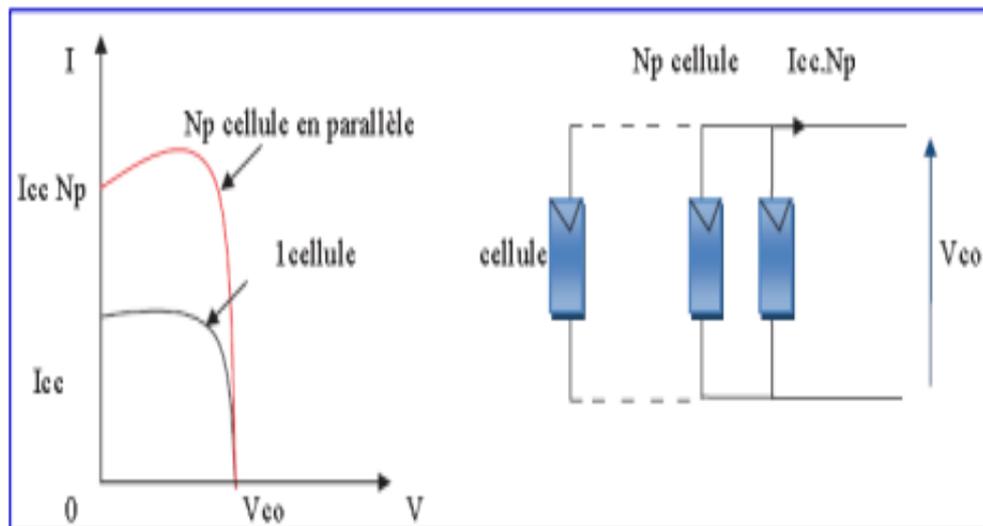
Ce rendement est souvent mesuré dans les conditions de référence, c'est-à-dire sous l'ensoleillement  $1000 W/m^2$ , à la température de  $25^\circ C$  et sous un spectre AM1.5. Ces conditions normalisées sont dites STC pour Stand Test Conditions [6].

$$V_{co}(ns) = ns * V_{co} \quad \text{avec} \quad I_{cc} = I_{cc}(ns)$$



**Figure I -3 :** Caractéristique résultantes d’un groupement de ns cellules en série .

D’autre part une association parallèle de np cellules est possible et permet d’accroître le courant de sortie du générateur. Dans le groupement parallèle les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants.



**Figure I -4 :** Caractéristique résultante d’un groupement de np cellules en parallèle .

**I -2-3 Facteurs influents sur le fonctionnement d’une cellule photovoltaïque**

**I -2-3-1 Influence de l’ensoleillement**

L’apport d’énergie permettant la séparation électron-trous étant assuré par l’énergie lumineuse, il est donc normal que l’augmentation de l’ensoleillement E entraîne

automatiquement l'augmentation des paires électrons-trous. Le courant débité est proportionnelle à l'ensoleillement  $E$  (Figure I -5) [6].

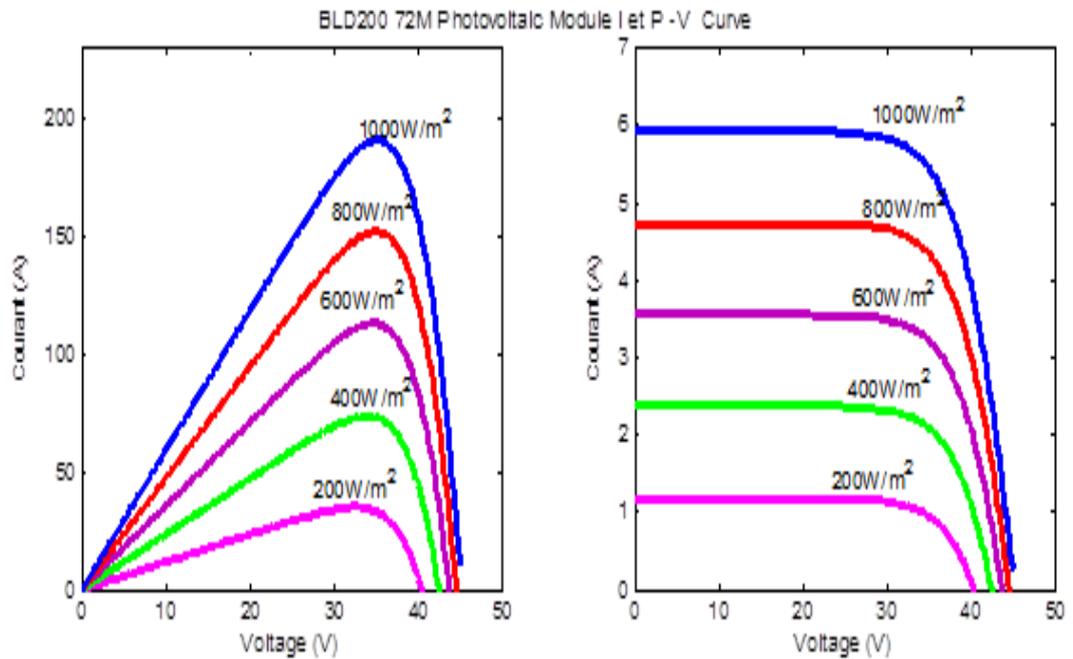
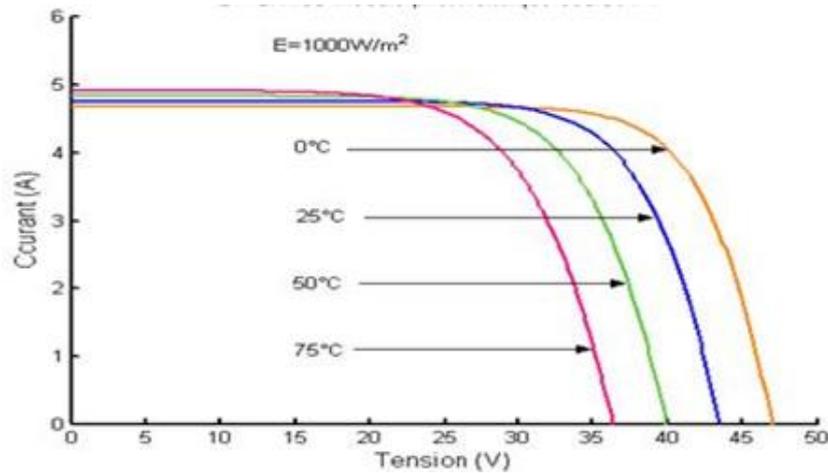


Figure I -5 : Influence de l'ensoleillement sur les cellules photovoltaïques.

### I -2-3-2 Influence de la température

La température a une influence notable sur le rendement d'une cellule photovoltaïque, nous remarquons que le courant de court-circuit varie peu avec la température tandis que la tension à vide est beaucoup plus influencée. La température a donc une influence non négligeable sur le rendement d'une cellule photovoltaïque (perte de puissance de l'ordre de 9-15% pour une augmentation de 30°C [6].

Pour le même éclaircissement les courbes  $I(V)$  changent avec la température des cellules (Figure I -6).



**Figure I -6 :** Influence de la température sur les cellules photovoltaïque.

#### I -2-4 Les différents types de cellules solaires (cellules photovoltaïque)

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

Actuellement, il existe trois principaux types de cellules [13]:

- **I -2-4-1 Les cellules monocristallines:** Elles ont le meilleur rendement (de 12 à 18% voir jusqu'à 24.7 % en laboratoire). Cependant, elles coûtent trop chers due à leur fabrication complexe.
- **I -2-4-2 Les cellules poly cristallines:** Leur conception est plus facile et leur coût de fabrication est moins important. Cependant leur rendement est plus faible : de 11% à 15% jusqu'à 19.8% en laboratoire).
- **I -2-4-3 Les cellules amorphes:** Elles ont un faible rendement (5% à 8%, 13% en laboratoire), mais ne nécessitent que de très faibles épaisseurs de silicium et ont un coût peu élevé. 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 éclairement faible .



Les modules  
monocristallins



Les modules  
polycristallins



Les modules à  
couches minces au  
silicium amorphe

Figure I -7 : Les différents modules photovoltaïques :

### I -3 Modules photovoltaïques

Pour produire plus de puissance, les cellules solaires sont assemblées pour former un module. Les connexions en série de plusieurs cellules augmentent la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle accroît le courant en conservant la tension. Ces cellules sont protégées de l'humidité par encapsulation dans un polymère EVA (éthylènevinyl- acétate) figure ( I -8) et protégé sur la surface avant d'un verre, trempé à haute transmission et de bonne résistance mécanique, et sur la surface arrière d'une ou de polyéthylène [14].

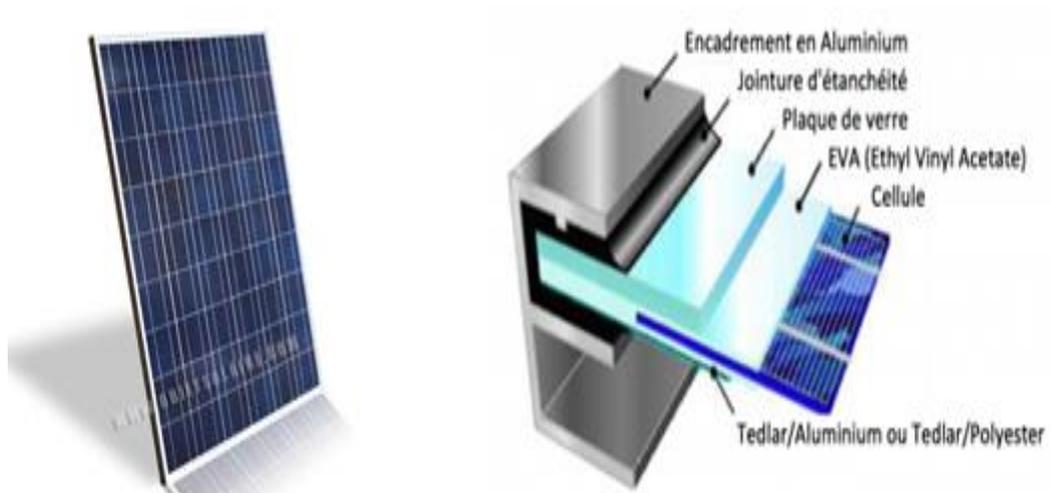
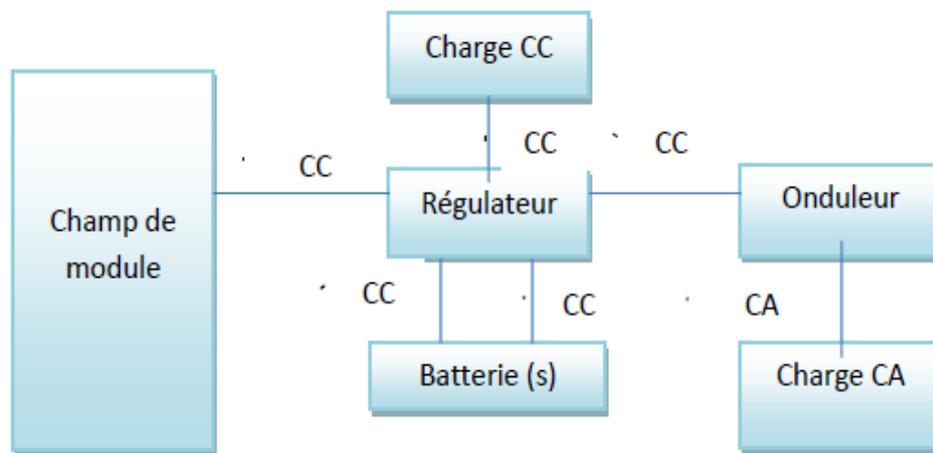


Figure I -8 : Module photovoltaïque

### I - 4 Description des systèmes photovoltaïques

Le système photovoltaïque se compose d'un champ de modules et d'un ensemble de composants qui adaptent l'électricité produite par les modules aux spécifications des récepteurs.

La figure suivante représente le schéma synoptique d'un système photovoltaïque autonome [15].



**Figure I -9:** Schéma synoptique d'un système photovoltaïque autonome

#### I -4-1 Le module photovoltaïque

est une mince couche d'un métal semi-conducteur, traitée pour pouvoir convertir la lumière en courant continu.

Elle est constituée de l'empilement de deux couches de silicium que l'on a exposées au préalable à des faisceaux d'ions, l'une à des ions de phosphore(-), l'autre à des ions de bore(+). La première couche présente un excédent d'électron et l'autre un déficit, elles sont dites respectivement dopée N et dopée P. Ce procédé est appelé le « dopage » et sert à créer un champ électrique entre les deux zones où se crée une jonction dite PN, et dirigé de la zone (P) vers la zone (N).

La zone (N) est couverte par une grille métallique qui sert de cathode K tandis qu'une plaque métallique A recouvre l'autre face du cristal et joue le rôle d'anode. Un rayon lumineux qui frappe le dispositif peut pénétrer dans le cristal au travers de la grille et provoquer l'apparition d'une tension entre la cathode et l'anode

### **I -4-2 Batteries d'accumulateurs**

Le fait que l'énergie solaire ne soit pas disponible sur l'ensemble d'une période de fonctionnement du système alimenté impose l'utilisation de batteries dans les installations autonomes pour stocker l'énergie.

Dans les systèmes solaires autonomes on utilise principalement:

- Les batteries au plomb: Elles constituent l'écrasante majorité du marché des accumulateurs. Sa bonne maîtrise technologique, son bas coût de revient, son bon rendement énergétique de charge/décharge. Ses conditions d'utilisation non difficiles à satisfaire militent en faveur de sa large utilisation.
- Les batteries au Nickel Cadmium: Elles sont les plus chers, mais aussi très résistant aux surcharges et aux décharges, et résistent bien aux basses températures.

### **I -4-3 Régulateurs**

Dans tout système photovoltaïque autonome, on intercale un système dit de régulation, qui sert à contrôler l'intensité de courant qui passe par les accumulateurs, les protégeant ainsi contre les surcharges et les décharges profondes, afin de maximiser sa durée de vie.

Le régulateur permet aussi d'effectuer un transfert optimal d'énergie du champ photovoltaïque à l'utilisation.

### **I -4-4 Onduleurs**

Pour alimenter des équipements fonctionnant en courant alternatif, un dispositif électronique statique de conversion ou convertisseur DC/AC est utilisé pour la transformation du courant continu en courant alternatif.

### **I -4-5 Charge (utilisateurs)**

Il existe deux types d'appareils alimentés par le système, celles qui fonctionnent en courant continu comme des équipements de télécommunications, le pompage d'eau, et celles en courant alternatif dans les cas d'usage domestique, ce cas nécessite un onduleur.

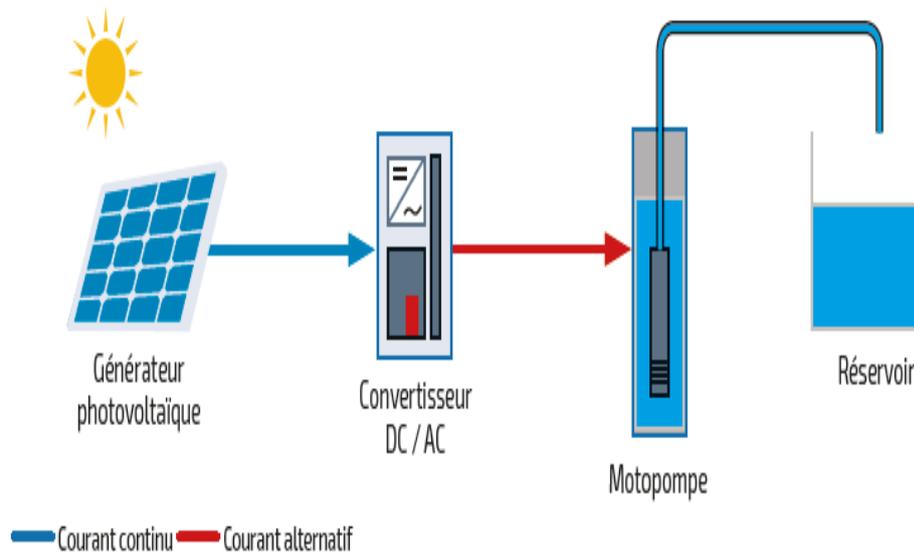
L'utilisation de l'énergie photovoltaïque doit être pensée en termes d'économie de l'énergie. Il est donc plus avantageux de chercher des consommateurs fonctionnant en courant continu plutôt que d'ajouter un onduleur et un consommateur en 220 Vac [15].

### I -5 pompage solaire

Pour pomper l'eau avec un système photovoltaïque, deux méthodes sont possibles.

#### I -5-1 Pompage « au fil du soleil »

Le pompage « au fil du soleil » permet d'avoir un système photovoltaïque simple, fiable et moins coûteux. Ici l'eau est pompée et stockée dans un réservoir, au fil de la journée. On parle alors d'un stockage hydraulique. L'eau stockée sera distribuée au besoin.[16].



**Figure I -10:** schéma principe système PV sans stockage (pompage au fil du soleil)

#### I -5-2 Pompage avec stockage d'énergie :

Ici c'est l'énergie électrique qui sera stockée dans des batteries. Le pompage sera possible même en absence du soleil. Un tel système est plus coûteux que le précédent, vu la nécessité de changer les batteries, car elles ont une courte durée de vie.[17].

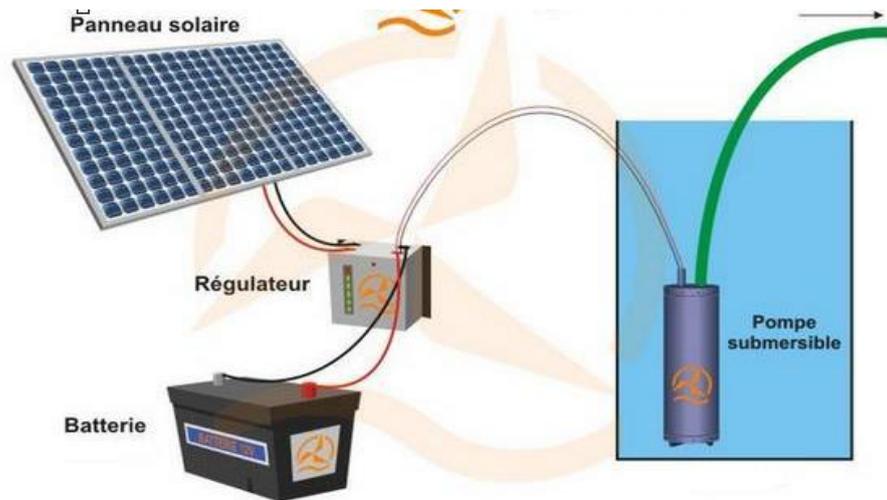


Figure I -11: Pompage photovoltaïque avec stockage d'énergie.

## II - Générateur éolien

On appelle énergie éolienne, la conversion de la force des vents en énergie mécanique, énergie électrique ou énergie cinétique. (Figure II -1) [18].

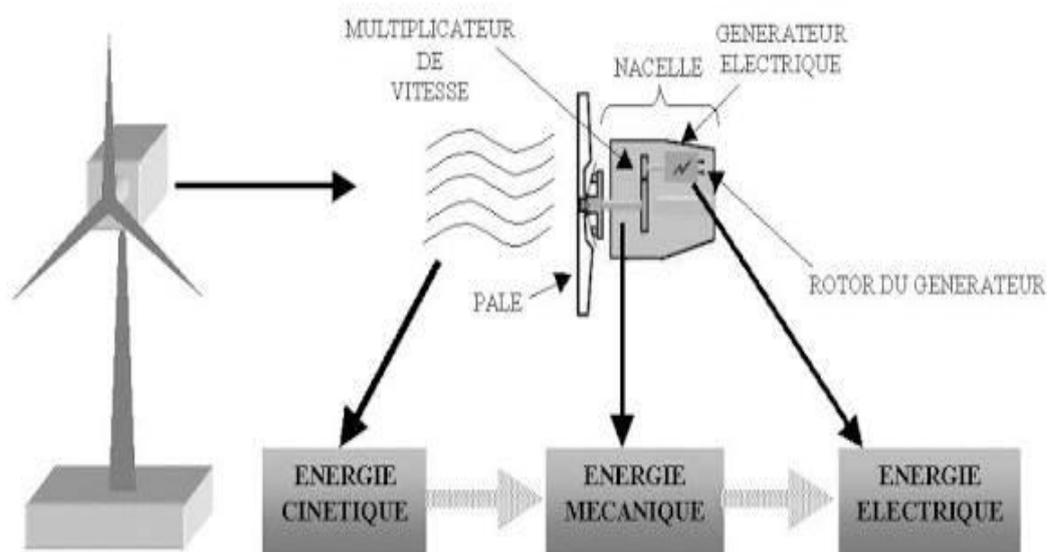


Figure II -1 : Conversion de l'énergie cinétique du vent

### II -1 Principe de fonctionnement de l'aérogénérateur

Un aérogénérateur permet de transformer l'énergie cinétique du vent en énergie électrique. Pour convertir l'énergie cinétique en énergie électrique le générateur va utiliser le phénomène d'induction. En effet ce dernier est composé de deux parties, une partie mobile le

rotor et une partie fixe, le stator, permettant de créer un champ magnétique et de générer un courant électrique. L'éolienne est également équipée d'une girouette permettant l'orientation des pales en fonction de la direction du vent. Elle doit être également fixée solidement au sol [19].

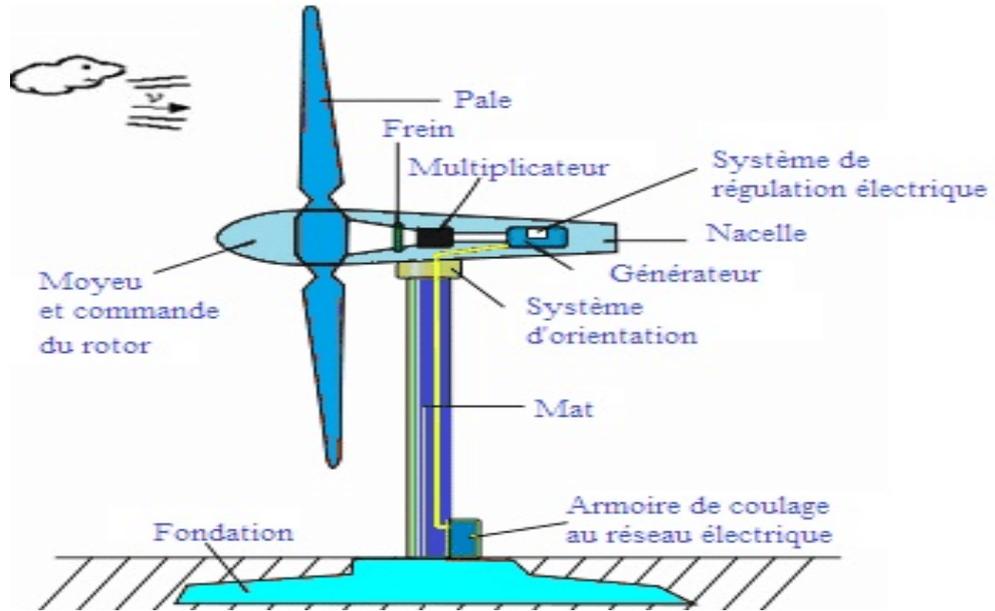


Figure II - 2 : Schéma d'un aérogénérateur

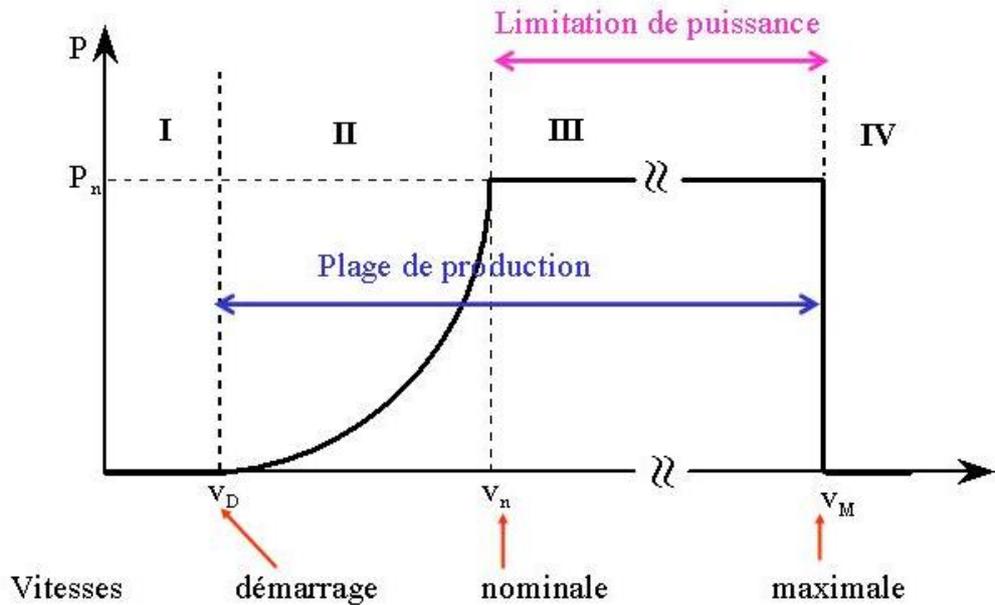
## II -2 Classifications des éoliennes selon la puissance

Tableau II - 1 : classification des éoliennes[21]

| Classification des éoliennes | Diamètre (m)        | Puissance (w)      |
|------------------------------|---------------------|--------------------|
| <b>petite éolienne</b>       | entre 0,5 m et 20 m | Inférieur à 100 KW |
| <b>moyenne éolienne</b>      | 20m et 50m          | 100 KW a 1 MW      |
| <b>grande éolienne</b>       | 50 m à 100 m        | plus de 1 MW       |

## II -3 Zones de fonctionnement de l'éolienne

Compte tenu des informations précédentes, la courbe de puissance convertie d'une turbine, généralement fournie par les constructeurs, qui permet de définir quatre zones de fonctionnement pour l'éolienne suivant la vitesse du vent [20] :



**Figure II -3:** Courbe de la puissance éolienne en fonction de la vitesse du vent.

- **$V_D$ :** La vitesse du vent correspondant au démarrage de la turbine. Suivant les constructeurs,  $V_D$  varie entre 2.5m/s et 4m/s pour les éoliennes de forte puissance.
- **$V_n$ :** La vitesse du vent pour laquelle la puissance extraite correspond à la puissance nominale de la génératrice. Suivant les constructeurs.
- **$V_M$ :** vitesse du vent au-delà de laquelle il convient de déconnecter l'éolienne pour des raisons de tenue mécanique en bout de pales. Pour la grande majorité des éoliennes,  $V_M$  vaut 25m/s[3].
- **Zone I :**  $V < V_D$  : la vitesse du vent est très faible et nous ne pouvons pas produire d'énergie
  - **Zone II :**  $V_D < V < V_n$ : Le maximum de puissance est capté dans cette zone pour chaque vitesse de vent. Différentes méthodes existent pour optimiser l'énergie extraite. Cette zone correspond au fonctionnement à charge partielle.
  - **Zone III :**  $V_n < V < V_M$ : La puissance disponible devient trop importante. La puissance extraite est donc limitée, tout en restant le plus proche possible de la puissance nominale de la turbine ( $P_n$ ). Cette zone correspond au fonctionnement à pleine charge .

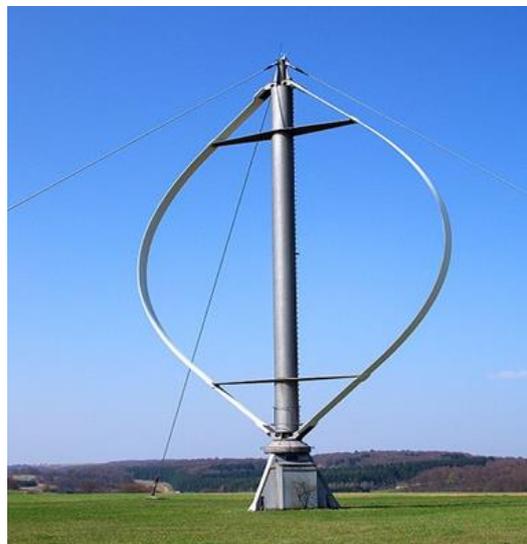
## II -4 Les différents types de l'éolienne

Les éoliennes se divisent en deux grandes familles : celles à axe vertical et celles à axe horizontal:

### II -4-1 éolienne à axe verticale

éolienne a un axe de rotation verticale par rapport au sol.

Ils ont été les premières structures développées pour produire de l'électricité. De nombreuses variantes technologiques ont été testées dont seulement deux structures sont parvenues au stade de l'industrialisation, le rotor de Savonius et le rotor de Darrieux [19].



**Figure II -4:** Eolienne à axe verticale..

**Les avantages** d'une machine à axe vertical sont les suivantes :

- Elle vous permet de placer la génératrice, le multiplicateur, etc. à terre, et vous .
- Un mécanisme d'orientation n'est pas nécessaire pour orienter le rotor dans la direction du vent

**Les inconvénients** principaux sont les suivants :

- L'efficacité globale des éoliennes à axe vertical n'est pas impressionnante.
- L'éolienne ne démarre pas automatiquement. Cependant, ceci ne constitue qu'un inconvénient mineur dans le cas d'une éolienne raccordée au réseau, étant donné qu'il est alors possible d'utiliser la génératrice comme un moteur absorbant du courant du réseau pour démarrer l'éolienne)

## II -4-2 Les éoliennes à axe horizontal

Le principe de l'éolienne à axe horizontal ou « éolienne à hélices » est simple et rappelle celui du moulin à vent. Les pales sont fixées au sommet d'un pylône et sont orientées face ou dos au vent, ce qui permet des rendements élevés. Il existe un grand nombre de modèles à axe horizontal qui sont les éoliennes adaptées à l'implantation sur terrain. Le nombre de pales utilisé pour la production d'électricité varie classiquement entre 1 et 3. Elles sont en effet à proscrire pour une pose sur bâtiment. n'avez pas besoin de munir la machine d'une tour.



**Figure II -5 :** éolienne a axe horizontale

**Avantages :** grand choix des modèles, technologie éprouvée, prix.

**Inconvénients :** Installation seulement sur la parcelle, bruit, mauvaise performance dans le vent troublé

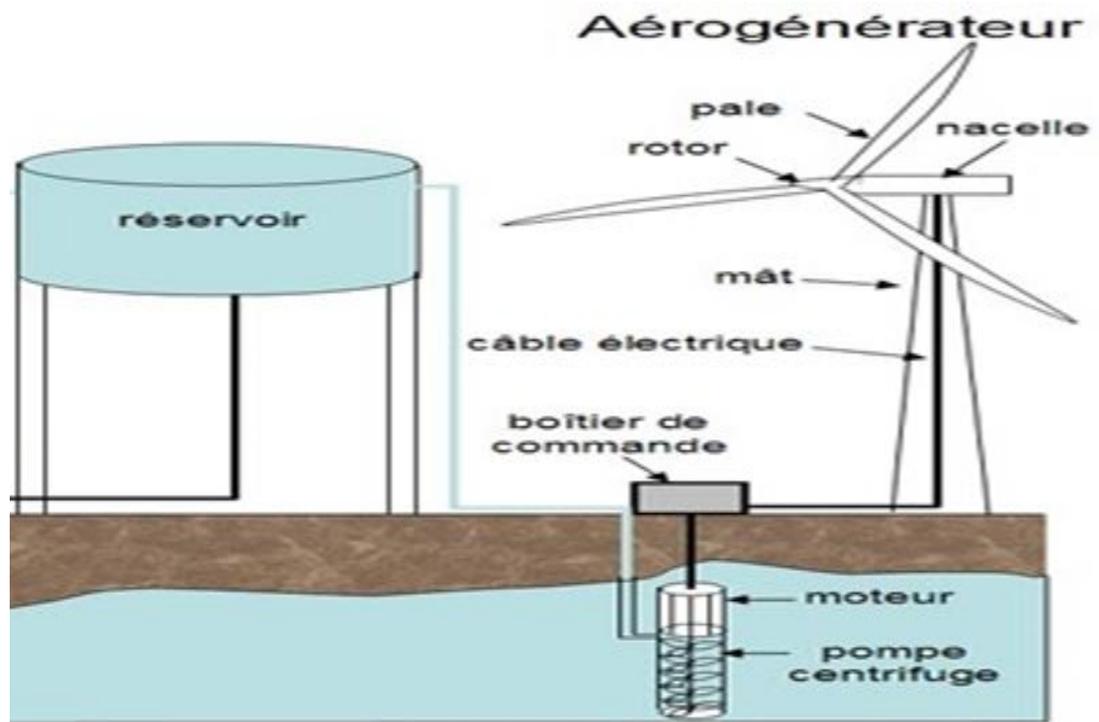
## II -5 Eolienne de pompage

### II -5-1 Eoliennes de pompage électriques

le système éolien électrique n'est pas obligé de se trouver près de la source d'approvisionnement en eau [10]. Le système éolien électrique commande une pompe électrique, (après conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique) qui aspire l'eau de la source (un puits ou un étang) et la refoule à l'endroit de son utilisation (un abreuvoir à bétail, un étang ou un système d'irrigation).

La quantité d'énergie consommée par la pompe électrique peut être adaptée à la puissance de sortie de l'éolienne, de manière à ce que l'énergie éolienne soit utilisée efficacement.

Les éoliennes de pompage électrique ne comprennent pas de batteries. L'eau est stockée dans un réservoir qui sert de réserve d'énergie.



**Figure II - 6** : schématique des systèmes éolien électrique

# **CHAPITRE 3**

## **Etude énergétique et économique**

## I - Introduction

De nos jours, la demande en eau devient plus importante. Le problème est particulièrement aigu dans les zones rurales et les sites isolés où l'accès à l'énergie traditionnelle est difficile. Ce phénomène a conduit à un intérêt accru pour l'utilisation des générateurs photovoltaïques ou de l'énergie éolienne comme nouvelle source d'énergie. Dans cette partie nous allons étudier l'énergie et l'économie sur une ferme de palmiers .

## II - Zone d'étude

L'étude a été basée sur l'irrigation d'un champ de palmiers situé dans la région de Khashm al-Rih sur la route entre la ville de Ouargla et la région de Touggourt.

Le tableau III-1 montre les spécifications géographiques de la région de Khashm al-Rih.

| Latitude :  | Longitude  | Elévation |
|-------------|------------|-----------|
| 32,26°North | 5,66° East | 124 m     |



Figure III-1 : Région de Khashm el-Rih



**Figure III-2** : Limites du Champ de palmiers

## II - 1 Hypothèses

Nous dimensionnons un système de pompage photovoltaïque, d’approvisionnement en eau pour l’irrigation d’un oasis de 700 palmiers.

- Consommation moyenne annuelle par palmier entre 67 et 73 m<sup>3</sup>/palmier/an. [20]
- Forage : HMT = 50 m.

## III – Etude d’ un système PV

### III -1 Etude énergétique

- Consommation moyenne journalier par palmier 0.2 m<sup>3</sup>/j
- Consommation de 700 palmier par jour 140 m<sup>3</sup>/j

#### III-1-2 Choix de la pompe

On choisit la pompe en fonction du débit et de la hauteur manométrique totale , on calcule le débit horaire par la formule suivante : [7]

$$q = \frac{Q}{t} = \frac{140}{5} = 28(m^3/h/j)$$

Avec :

**q** : débit volumique de la pompe

**t** : Le temps de fonctionnement quotidien de la pompe (5 heures).

**Q** : La quantité d'eau nécessaire pour 700 palmiers par jour



**Figure III-3:** Pompe immergée 7.5 KW

Ceci donne un débit horaire d'environ  $28 \text{ m}^3/\text{h}$ . Sachant que la hauteur manométrique totale est de 50 m, alors on choisit la pompe immergée R150-ES-06 (figure 1-2 ) . Qui a les caractéristiques suivantes :

- **Type :** Pompe immergée
- **Débit nominal :**  $32 \text{ m}^3/\text{h}$ .
- **Tension d'entrée :** 380 v.
- **immersion :** Jusqu'à 50 m



**Figure III-4 :** Caractéristiques du pompe

**III-1-3 Energie électrique**

$$Ec = Pp * t$$

$$Ec = 7.5 * 5 = 37,5 Kwh$$

- $E_c$  : énergie électrique
- $P_p$  : puissance de pompe
- $t$  : nombre d'heures d'ensoleillement maximal (Environ 5 heures).

**Remarque :**

La durée de fonctionnement de la pompe a été choisie en fonction de l'hiver car le rayonnement solaire moyen est d'environ 5 heures dans notre région .

**III-1-4 Puissance crête**

$$Pc = \frac{Ec * Pa}{Ir * \eta}$$

$$Pc = \frac{37,5 * 1}{5,39 * 0,85} = 8,185 Kw = 8185 W$$

- $P_c$  : Puissance crête
- $P_a$  : cte = 1Kwh/m<sup>2</sup>/jour
- $I_r$  : est l'irradiation moyenne journalière, estimée dans notre région à 5.39 kWh/m<sup>2</sup>/jour
- $\eta$  : rendement la conversion 0.85

**III -1-4-1 Choix les module PV**

Caractéristiques de module PV

- Poly-cristallin IF-P305-72
- Puissance nominale : 305 Watt.
- Tension nominale : 38 ,08 Volt
- Courant nominal 08.10

**III -1-4-2 Nombre de module**

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

$$Nm = \frac{Pc}{Pm}$$

$$Nm = \frac{8185}{305} = 26 \text{ modules}$$

- $N_m$  : nombre de modules
- $P_m$  :puissance de module PV

Puissance crête  $26 * 305 = 7.93 \text{ Kw} \approx 8 \text{ Kw}$

- Le nombre de modules en série :  $N_s = 13$
- Le nombre de modules en parallèle :  $N_p = 2$

### III -1-5 Choix de l'onduleur

Le choix de l'onduleur dépend des caractéristiques électriques de la pompe alimentée (puissance, tension). Pour notre étude, l'onduleur choisi est:

Type Onduleur (puissance) = 1,3 Pc  $1,3 * 8 = 10,4 \text{ Kw} \approx 11 \text{ Kw}$

- Type : INP 11 KW

#### Entrée :

- Tension 460 à 850 V
- Ampérage 24,4 A

#### Sortie :

- Tension 380 à 460 V
- Ampérage 21 A

### III -2 Étude économique

Le tableau suivant ( tableau **III-2** ) montre l'étude économique dans le système photovoltaïque

|           | Prix unité (DA) | Nombre | Prix total (DA) |
|-----------|-----------------|--------|-----------------|
| Module PV | 32000           | 26     | 832000          |
| Onduleur  | 260000          | 1      | 260000          |
| Câblage   | 70 par 1m       | 11 m   | 770             |
|           |                 |        | 1092770         |

## IV- Étude d' un système éolien

### IV -1 Etude énergétique

#### IV -1-1 Choix de type de l'éolienne

- Puissance 3 KW
- Hauteur 10 m

- Démarrage en 4 m/ s
- Courant continue (DC)

#### IV -1-2 Choix de batteries

- Capacité 200 Ah
- Voltage 12 V

Capacité de la batterie

$$Cb = \frac{E * N}{D * U} = \frac{(7.5 * 5)10^3 * 3}{0.8 * 24} = 5859.37 Ah$$

Nombre de batterie

$$Nb = \frac{5859.73}{200} = 29.29 \approx 30 Batterie$$

- Le nombre de batterie en série : **Ns=15**
- Le nombre de batterie en parallèle : **Np=2**

#### Remarque

Nous avons utilisé des batteries pour éviter les perturbations de la vitesse du vent, les jours sans vent ou la turbulence dans la puissance des éoliennes.

#### IV -2 Étude économique

Le tableau suivant (tableau **III-3**) montre l'étude économique du système éolien

|          | Prix unité (DA) | Nombre | Prix total (DA) |
|----------|-----------------|--------|-----------------|
| Eolien   | 399869.144      | 2      | 799629.44       |
| Batterie | 34656           | 30     | 1039680         |
| Onduleur | 260000          | 1      | 260000          |
| Câblage  | 70 par 1 m      | 11     | 770             |
|          |                 |        | 2100079.44      |

**Chapitre 04 :**  
**Impacts énergétique et économique**

## I - Introduction Logiciel Homer

HOMER (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources) est un logiciel de simulation et d'optimisation destiné à l'étude d'installations de production d'énergie multi-sources (PV, éolien, réseau, stockage, diesel...). Il est principalement destiné à la simulation de mini-réseaux connectés ou non-connectés (« off-grid »). Il a été développé en premier lieu par le National Renewable Energy Lab dépendant lui-même du ministère américain de l'énergie.

Les fonctionnalités principales de cet outil sont les suivantes :

- Prise en compte de profil de charge horaire ainsi que de charges pilotables (ballon d'eau chaude...).
- Simulation horaire d'un système de production multi-sources. Homer est capable de simuler le comportement de nombreux équipements de production (PV, éolien, hydroélectrique, générateur biomasse, diesel, huile végétale) ou de stockage (électrochimique, volant d'inertie, pile à combustible).
- Optimisation économique du système de production par comparaison de plusieurs configurations et architectures.
- Analyse de sensibilité par rapport à certains paramètres d'entrée (prix des hydrocarbures, durée de vie des modules, gisement solaire, charge).

L'utilisateur obtient l'architecture et la configuration la plus économique selon la modélisation d'Homer. C'est donc un outil d'aide à la décision pour le dimensionnement d'un mini-réseau.

## II- Système PV

Le schéma de la figure illustre le système photovoltaïque et ses composants ( modules PV , onduleur ) pour le pompage de l'eau

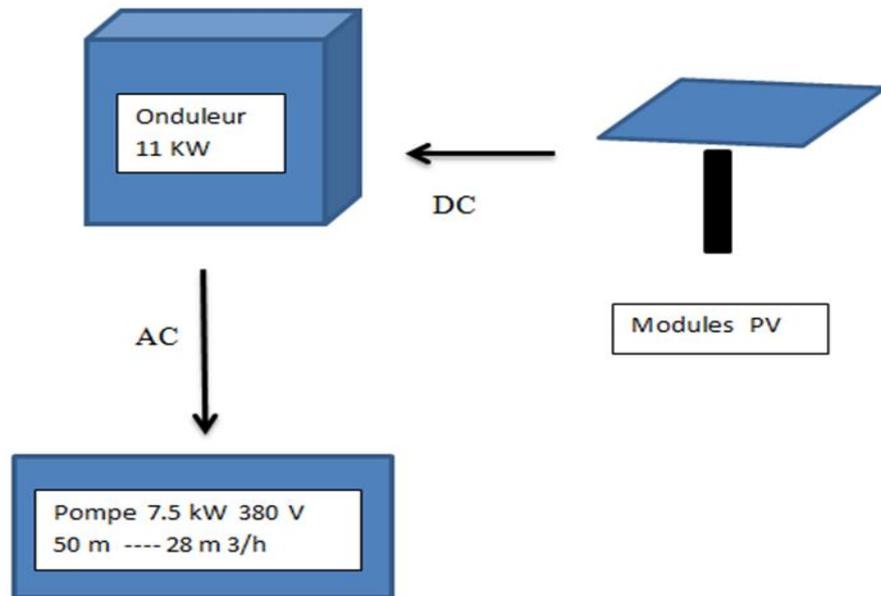


Figure IV-1: schéma système PV

## II -1 Résultats énergétiques

### II-1 -1 Production et consommation

Le tableau suivant( tableau IV-1) montre l'énergie produite par les panneaux photovoltaïques et consommée par an

|                          | KWh/an  |
|--------------------------|---------|
| Production PV            | 12638   |
| Consommation de la pompe | 13687.5 |

### Remarque

D'après le tableau ( IV-1 ) la simulation du système PV de 8KWc durant tout l'année par le logiciel Homer a montré que la production PV est un peu inférieure à la consommation annuelle de la pompe

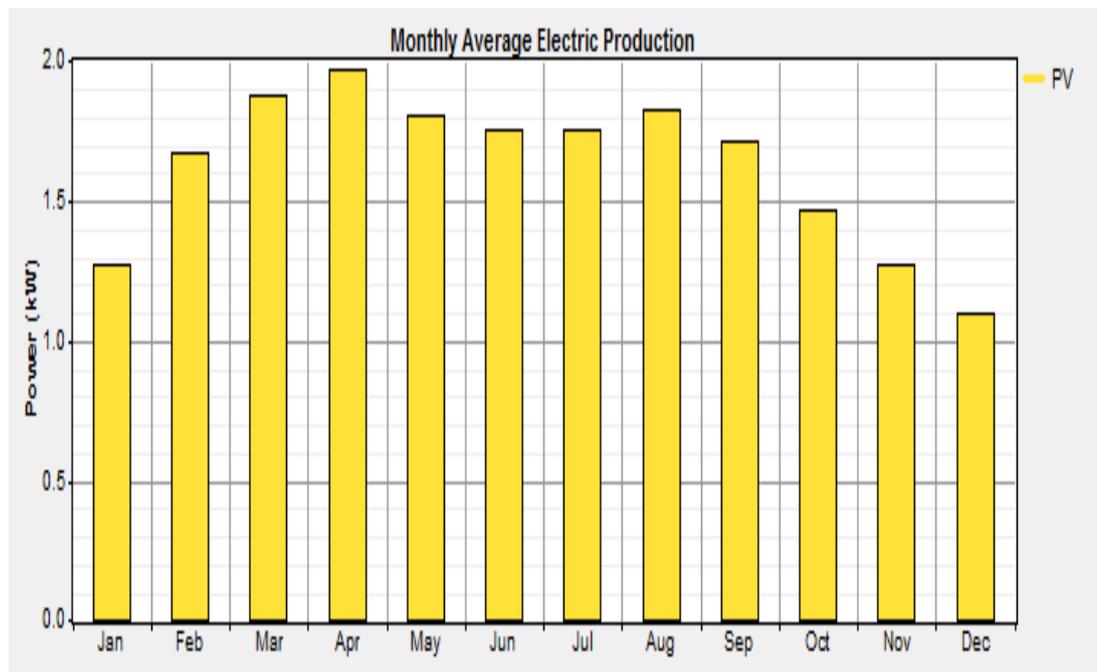
On a été obligé d'augmenter la puissance crête du système PV à 9 KWc

Le tableau(IV-2) montre la quantité produite et consommée pour le système photovoltaïque de 9 kWc

|                          |         |
|--------------------------|---------|
|                          | KWh/an  |
| Production PV            | 14218   |
| Consommation de la pompe | 13687.5 |

### Remarque

Ainsi, la quantité produite est légèrement supérieure à la consommation



**Figure IV-2:** Énergie produite chaque mois par PV

### Remarque

La courbe représente la quantité d'énergie produite par les panneaux photovoltaïques chaque mois, où nous notons que la plus grande valeur produite de février à septembre et le reste des mois sont moins .

## II- 2 Résultats Economiques

Le tableau (IV-3) montre le coût du système et le coût de chaque composant de la première année à 20 ans .

| Composant | Capitale (DA) | Remplacement ( DA ) | Maintenance (DA) | Total (DA) |
|-----------|---------------|---------------------|------------------|------------|
| PV        | 935943.04     | 0                   | 14555.52         | 950498.56  |
| Onduleur  | 259920        | 96459 .2            | 13284.8          | 369664     |
| Système   | 1195863.04    | 96459 .2            | 27840.32         | 1320162.56 |

### Remarque

Le tableau montre que le coût des panneaux photovoltaïques n'a pas augmenté significativement sur 20 ans par rapport à la première année car la durée de vie des panneaux est plus importante. Cependant, nous notons que le coût du transformateur a légèrement augmenté et cela est dû à l'entretien plutôt que de le remplacer après 15 ans .

En ce qui concerne le système en général, nous notons qu'il y a une légère augmentation des coûts et cela est dû aux travaux de maintenance.

### III - système d'éolienne

La figure ci-dessous illustre le système éolien (éolienne, onduleur, les batterie stockage) dimensionné pour le pompage de l'eau

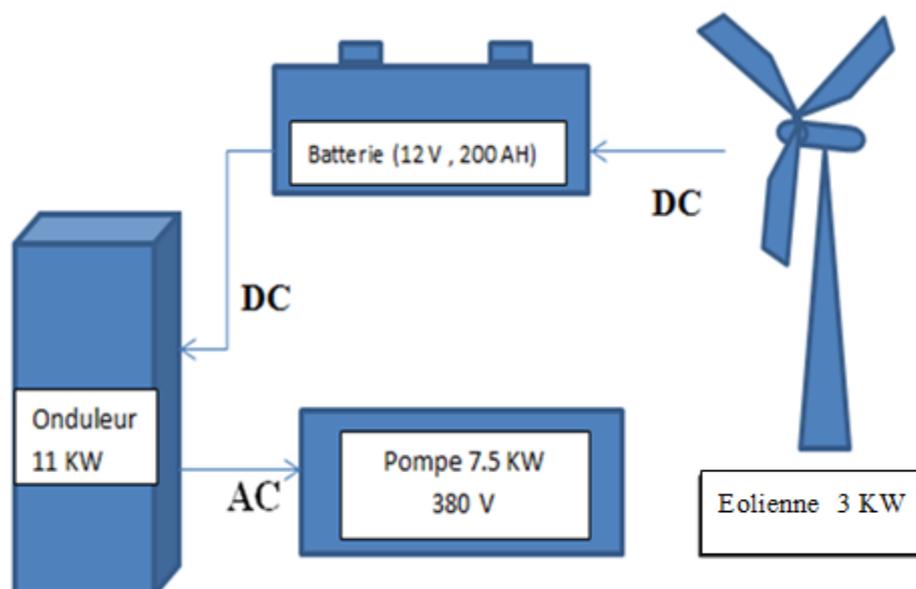


Figure IV-3 : Schème du système éolien

### III -1 Résultats énergétiques

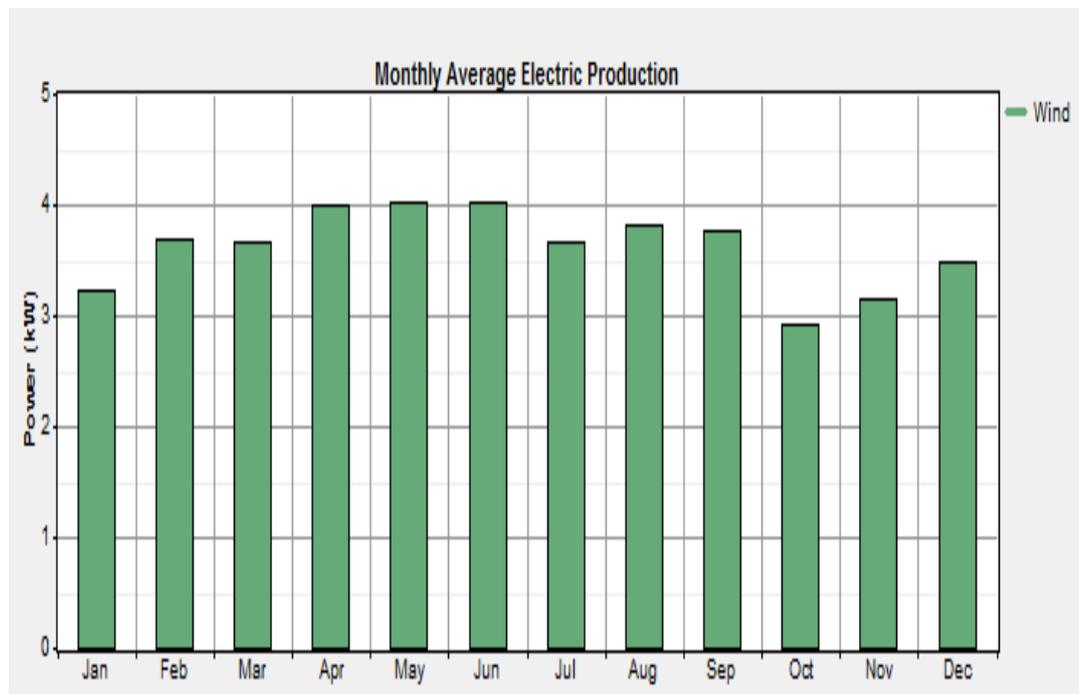
#### III -1 -1 Production et consommation

Le tableau (IV- 4 ) montre la quantité d'énergie production et consommation chaque année par les éoliennes .

|              |         |
|--------------|---------|
|              | KWh/an  |
| Production   | 31681   |
| Consommation | 13687.5 |

#### Remarque

À partir des tableaux(IV-3 ), nous notons que la quantité d'énergie produite est beaucoup plus grande que la quantité d'énergie consommée .



**Figure IV-4:**Énergie produite chaque mois par éolienne

**Remarque**

À partir de la courbe, nous notons que la plus grande valeur de l'énergie produite est d'avril à juin alors que la plus faible valeur enregistrée en octobre .

**III -2 Résultats économiques**

Le tableau (IV- 5) montre le coût de l'installation éolienne et le coût de chaque composante de la première année à 20 ans .

| Composant          | Capitale (DA) | Remplacement<br>( DA ) | Maintenance<br>(DA) | Total (DA) |
|--------------------|---------------|------------------------|---------------------|------------|
| Deux Eolienne 3 KW | 799629.44     | 289262.08              | 265002.88           | 1353894.4  |
| Batterie 200 Ah    | 1039680       | 2279325.12             | 397504.32           | 3716509.44 |
| Onduleur           | 260000        | 96459 .2               | 13284.8             | 369744     |
| Système            | 2099229.44    | 26650464.4             | 675792              | 5440147.84 |

**Remarque**

Nous pouvons voir dans le tableau que le coût du système est beaucoup plus élevé après 20 ans comparé à la première année, où le coût des batteries est deux fois plus élevé que le premier, alors que le coût des éoliennes et des transformateurs augmente d'environ un tiers .

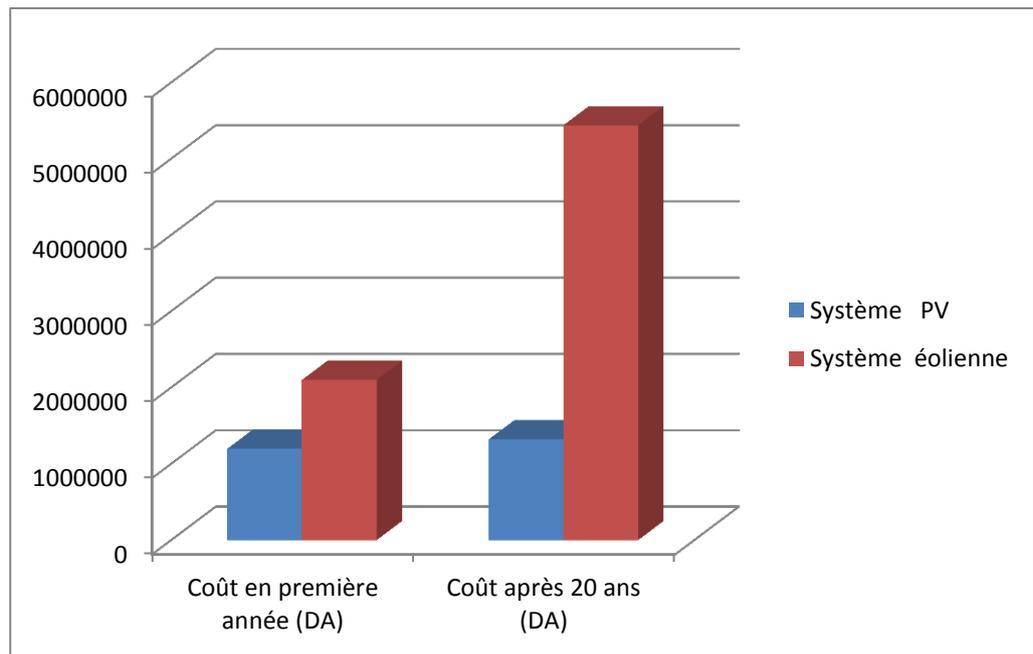
**IV-Comparaison entre les deux systèmes (système PV et système d'éolienne)****IV-1 Comparaison énergétique**

Les résultats obtenus avec le logiciel Homer montrent que les deux systèmes produisent l'énergie nécessaire pour pomper l'eau pour l'irrigation des palmiers.

**IV- 2 Comparaison économique**

Le tableau (IV- 6) montre le coût des deux systèmes la première année et après 20 ans

|                  | Coût en première année (DA) | Coût après 20 ans (DA) |
|------------------|-----------------------------|------------------------|
| Système PV       | 1195863.04                  | 1320162.56             |
| Système éolienne | 2099229.44                  | 5440147.84             |



**FigureIV-5** : Comparaison économique entre le coût des deux systèmes

D'après les graphiques, nous notons que les résultats de simulation de chaque système dimensionné pour le pompage de l'eau pour l'irrigation des palmiers après 20 ans indiquent que le coût des éoliennes est beaucoup plus élevé que le coût du système PV.

## Conclusion

Grâce à la comparaison et aux résultats obtenus avec les deux systèmes, le système PV est bien le meilleur que le système éolien pour pomper l'eau pour l'irrigation des palmiers, notamment en termes de coûts économiques.

# **Conclusion générale**

### Conclusion générale

Depuis des générations, l'homme recourt aux ressources fossiles pour produire de l'énergie. Toutefois, charbon, pétrole et gaz existent en quantités limitées et leur combustion accroît les émissions de gaz à effet de serre (GES) à l'origine du réchauffement climatique. De là l'idée d'exploiter des sources d'énergies dites « renouvelables » car inépuisables (ou presque) comme la force de l'eau et du vent, ou encore la chaleur de la Terre et du soleil. Bien qu'intermittentes, ces énergies sont plus propres, plus économiques et autorisent une indépendance énergétique des populations. L'énergie éolienne et l'énergie solaire sont deux énergies renouvelables utilisant les ressources naturelles (vent et soleil). La première emploie des éoliennes et la seconde des panneaux solaires ou panneaux photovoltaïques afin de produire de l'électricité, notamment dans des sites isolés.

Dans ce travail, nous avons étudié la possibilité d'irriguer un champ de palmier avec un système PV et un système éolien dans la région de Khashm al-Rih qui possède un gisement solaire et un gisement éolien. Bien que les deux systèmes aient un avenir, le coût du système solaire est beaucoup plus bas que celui des systèmes éoliens dans la région étudiée. Le coût élevé du système éolien est dû aux coûts d'achat et d'entretien élevés, et en plus au grand nombre de batteries nécessaires dans ce système et raccourcir la durée de vie.

Il est également intéressant à l'avenir de trouver des moyens d'améliorer la production d'énergie PV, par exemple en introduisant un système de suivi de la trajectoire du soleil. Et pour le système éolien, il est intéressant d'utiliser de grands réservoirs de stockage pour l'eau.

### Bibliographie

- [1]: MEZAINI Fariza ; Détermination du gisement solaire par traitement d'images MGS ; Mémoire de magister ; Université Mouloud Mammeri de TIZI OUZOU ; 2010 ; Page 9-10
- [2] : ZOUAK Belkacem ; étude de l'évolution des caractéristiques des matériaux thermoélectriques des anciennes et nouvelles générations et applications photovoltaïque-thermoélectricité ; mémoire de magister en Electronique ; Université mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou ; 2012 ; Page 46-47/50-55
- [3] : BRAHIMAT Fouzia ; l'étude conceptuelle d'un système de conditionnement de puissance pour une central hybride PV/éolienne ; mémoire de magister ; 2012 ; page 86-87/94.
- [4] : AHMED Djafor ; "étude d'un système de production d'hydrogène solaire " Thèse doctorat en science physique ; 2013 ; page (10-12).
- [5] : Livre « D'ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE » Anne Labouret et Michel Viloz, Dunod, Paris, 2009 .pages 32-33
- [6] : BACHIR Salah ; estimation du rayonnement solaire nécessaire pour la conception du système solaire photovoltaïque ; Mémoire d'ingénieur ; 2003 ; page 18-19.
- [ 7 ] BEN TRIA Mohamed Rafik; Etude d'un système de pompage photovoltaïque pour des puits de parcours (cas de la région de Taïbet - Ouargla) ; MEMOIRE DE MASTER ACADEMIQUE université kadi Merbah – Ouargla 2017
- [8] : PV potentiel estimation utility.htm (Consulté en avril 2018)
- [9] : M.BOUDIA Sdi Mohammed Pour l'obtention du diplôme de Doctorat «Optimisation de l'Évaluation Temporelle du Gisement Énergétique Éolien par Simulation Numérique et Contribution à la Réactualisation de l'Atlas des Vents en Algérie» Université de Tlemcen
- [10] NachidaKasbadjiMerzouk « Evaluation du gisement énergétique éolien contribution à la détermination du profil vertical de la vitesse du vent en Algérie » thèse de Doctorat, - l'université AboubekerBelkaid de Telemcen, 2006.

## Bibliographie

---

- [11] : Office national de la météorologie <http://www.meteo.dz> (Consulté en avril 2018)
- [12] : Y. Pankow, « Etude de l'intégration de la production décentralisée dans un réseau basse tension. Application au générateur photovoltaïque », Thèse de Doctorat de l'Ecole Doctorale de L'ENSAM ED432, 2004
- [13] : LOUAZENE Mohamed Lakhdar ; étude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque sur le site d'Ouargla ; Mémoire de magister université el hadj Lakhdar – Batna 2008 ; page 17.20
- [14] : BELHADJ Mohammed ; Modélisation D'un Système De Captage Photovoltaïque Autonome Mémoire de Magister ; Centre Universitaire De Bechar ; 2008 ; page 7.
- [15] : TRAHY Fatiha ; Prédiction de l'irradiation solaire globale pour la région de Tizi-Ouzou par les réseaux de neurones artificiels. Application pour le dimensionnement d'une installation photovoltaïque pour l'alimentation du laboratoire de recherche lampa ; Mémoire de magister en électronique ; 2011 ; page (11-12)/ (17-18)
- [16]:A. Oi. « Design and simulation of photovoltaic water pumping system », These de Doctorate, California Polytechnic State University San Luis Obispo, 2005
- [17] : J. Royer, T. Djako, « Le pompage photovoltaïque », Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens, Université d'Ottawa, 2002.
- [18] LATRECHE Mohammed «Tahar Commande Floue de la Machine Synchrone à Aimant Permanent (MSAP) utilisée dans un système éolien» Mémoire de Magister Université Ferhat Abbas de Sétif, 2012.
- [19] REDJEM Radia « Étude d'une chaîne de conversion d'énergie éolienne » Mémoire de magistère en Electrotechnique, université de Mentouri de Constantine, 2009.
- [20] : A. DJAFOUR, « Etude d'une station de pompage photovoltaïque dans une région saharienne », Thèse de magistère, université de Ouargla, 2000.

**Résumé:** L'eau est une partie essentielle de la vie et nécessite une énergie électrique pour la pomper, un problème majeur dans les zones isolées du réseau électrique, entraînant l'utilisation de l'énergie solaire ou l'énergie éolienne. Ce travail est une étude comparative entre des panneaux photovoltaïques et des éoliennes pour pomper de l'eau pour l'irrigation des palmiers dans la zone du khashm al-rih. Les résultats ont montré que le coût de l'énergie éolienne est beaucoup plus élevé que celui du système solaire dans cette région en raison des coûts d'achat, d'entretien élevés et des batteries dans le système éolien.

**Mots clés :** Energie électrique, Energie solaire, Energie éolienne, Panneau photovoltaïque, Pompage de l'eau, Palmiers

#### دراسة مقارنة بين نظام الكهروضوئية ونظام طاقة الرياح لضخ المياه في مدينة ورقلة

**ملخص -** المياه جزء أساسي من الحياة وتتطلب طاقة كهربائية لضخها ، وهي مشكلة رئيسية في المناطق المعزولة عن الشبكة الكهربائية ، مما يؤدي إلى استخدام الطاقة الشمسية أو طاقة الرياح. هذا العمل هو دراسة مقارنة بين الألواح الكهروضوئية و توربينات الرياح لضخ المياه لسقي أشجار النخيل في منطقة خشم الرياح. أظهرت النتائج أن تكلفة طاقة الرياح أعلى بكثير من تكلفة النظام الشمسي في المنطقة بسبب ارتفاع تكاليف الشراء، الصيانة والبطاريات في نظام الرياح.

**الكلمات المفتاحية :** طاقة كهربائية ، الطاقة الشمسية ، طاقة الرياح ، الألواح الكهروضوئية ، ضخ المياه ، النخيل

#### **Comparative study between a PV system and a wind energy system for pumping water in the city of Ouargla**

**Summary:** Water is an essential part of life and requires electrical power to pump it, a major problem in isolated areas of the power grid, resulting in the use of solar energy or wind energy. This work is a comparative study between photovoltaic panels and wind turbines to pump water for irrigation of palm trees in the area khashm al-rih. The results showed that the cost of wind energy is much higher than that of the solar system in this region because of the high purchase, maintenance and battery costs in the Wind system.

**key words :** Electric power, Solar energy, Wind energy, Photovoltaic panel, Pump water, Palm