

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES  
DEPARTEMENT DE PHYSIQUE  
N° Ph/ENR/030/2020



DOMAINE : Sciences de la matière  
FILIERE : Physique  
OPTION : Physique Energétique  
et Energies Renouvelables

**Mémoire présenté pour l'obtention  
Du diplôme de Master Académique**

Réalisé par:

**ABBASS Hadda**

**Intitulé**

**Angle d'orientation du panneau PV et  
son influence sur l'énergie solaire captée**

**Soutenu le 28/09/2020 devant le jury composé de:**

Pr. BAAZIZ Hakim	Université Mohamed Boudiaf- M'sila	Président
Dr. SALMI Mohamed	Université Mohamed Boudiaf- M'sila	Rapporteur
Dr. BEN MANSOUR Nadia	Université Mohamed Boudiaf- M'sila	Examinatrice

**Année universitaire : 2019/2020**

# Remerciements

*Avant toute chose, je remercie **ALLAH** le tout-puissant, qui m'a donné la force, le courage et la patience pour terminer ce travail.*

*Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à mon encadreur **Dr. SALMI Mohamed**, pour avoir accepté de diriger ce travail, pour m'avoir dirigé au cours de ce travail et pour m'avoir fait bénéficier de ses compétences scientifiques, ses qualités humaines et de sa permanente disponibilité. Mer pour vos explications, pour vos conseils et pour votre patience.*

*Je remercie vivement : **Pr. BAAZIZ Hakim** et **Dr. BEN MANSOUR Nadia** d'avoir accepté de représenter le jury de cette mémoire et d'évaluer mon travail.*

*Enfin, je remercie ceux qui ont contribues de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

***ABBASS HADDA***

# Dédicace

*Je dédie ce modeste travail :*

*A mon père, qui a été mon ombre durant toutes les  
années des études.*

*A celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse,  
Qui sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à ma  
Mère.*

*Mon frère Mohamed notre rayon de soleil, La lanterne  
qui a été éteinte «Oubaïda », et mon petit*

*Lampe « Yaâkoub »*

*Ames sœurs,*

*A tous mes amis,*

*A tous ceux qui ont sacrifié leur temps pour la science.*

*Et à tous ceux qui ont utilisé la science pour le bien.*

*Et la prospérité de l'humanité.*

## NOMENCLATURES

### Constantes fondamentales

<b>K</b>	Constante de Boltzmann	1.38 $\cdot 10^{-23}$ J/K
$m_e$	masse de l'électron	9.11 $\cdot 10^{-31}$ kg
<b>e</b>	charge de l'électron	1.602 $\cdot 10^{-19}$ C
<b>C</b>	Vitesse de lumière	3 $\cdot 10^8$ m/s

<b>Symbole</b>	<b>Description</b>	<b>Unité</b>
$\theta$	Angle du soleil par rapport au zénith	Degré (°)
<b>Q</b>	Charge élémentaire	C
<b><math>\lambda</math></b>	Longitude d'onde	Nm
<b>I, V</b>	Courant et tension fournis par la cellule	A, V
<b>ID</b>	Courant de diode	A
<b>Icc</b>	Courant de court-circuit	A
<b>Iph</b>	Le photo courant	A
<b>I0</b>	Courant de saturation inverse de la jonction p-n	A
<b>T</b>	Température absolue	K
<b>A</b>	Coefficient d'idéalité de la jonction	
<b>Rs</b>	La résistivité de la grille	$\Omega$
<b>Rsh</b>	Résistance parallèle (shunt)	$\Omega$
<b>Vr</b>	La tension maximale	V
<b>Voc</b>	La tension en circuit ouvert	V
<b>Vm</b>	La tension de puissance maximale	V
<b>Im</b>	Le courant de puissance maximal	A
<b>Ir</b>	Le courant de court-circuit	A
<b>J</b>	Numéro du jour de l'année	jour
<b>z</b>	Azimut	(°)
<b>h</b>	Hauteur	(°)
<b><math>\delta</math></b>	Angle d'inclinaison	(°)
<b>H</b>	Angle horaire	(°)
<b><math>\lambda</math></b>	Longitude du lieu	(°)
<b>TSV</b>	Temps universel	Heure
<b>TL</b>	Temps légal	Heure
<b>AIE</b>	L'agence internationale de l'énergie	
<b>Tep</b>	Tonne équivalent pétrole	
<b>AM</b>	Masse d'aire	
<b>PV<sub>sys</sub></b>	Photovoltaïque système	
<b>GAP</b>	Le groupe de physique Appliquée	

## LISTE DES FIGURES

### Chapitre 1

<b>Figure 1.1.</b> Influence de l'atmosphère sur le rayonnement solaire	4
<b>Figure 1.2.</b> Spectre d'absorption du rayonnement atmosphère	5
<b>Figure 1.3.</b> Distribution de rayonnement solaire par l'atmosphère	6
<b>Figure 1.4.</b> Valeurs de rayonnement solaire dans le monde (KWh/m <sup>2</sup> /an)	7
<b>Figure 1.5.</b> Potentiel solaire en Algérie	8
<b>Figure 1.6.</b> Programme solaire photovoltaïque entrant dans le cadre du programme d'électrification rurale est de l'ordre de 5 MW	9
<b>Figure 1.7.</b> Schéma de principe de la conversion photoélectrique	10
<b>Figure 1.8.</b> Structure d'une cellule photovoltaïque	11
<b>Figure 1.9.</b> Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque	12
<b>Figure 1.10.</b> Caractéristique I=f(V) d'une cellule photovoltaïque	13
<b>Figure 1.11.</b> Différent types des cellules solaires	14
<b>Figure 1.12.</b> Configuration des cellules photovoltaïques	15

### Chapitre 2

<b>Figure 2.1.</b> Schéma descriptif pour les angles Latitude et Longitude de la Terre	18
<b>Figure 2.2.</b> Coordonnées horizontales	19
<b>Figure 2.3.</b> La déclinaison du soleil en fonction des jours	20
<b>Figure 2.4.</b> Coordonnées horaires	21
<b>Figure 2.5.</b> Mouvement de la terre autour du soleil	23
<b>Figure 2.6.</b> Décalage horaire par rapport au méridien de Greenwich	24
<b>Figure 2.7.</b> Equation du temps ET et déclinaison $\delta$ en fonction du jour de l'année	25

### Chapitre 3

<b>Figure 3.1.</b> Interface de logiciel PVsyst	29
<b>Figure 3.2.</b> Localisation de la région de M'sila	31
<b>Figure 3.3.</b> Trajectoire du soleil à M'sil	35
<b>Figure 3.4.</b> Orientation et inclinaison du système PV	36
<b>Figure 3.5.</b> Angle d'inclinaison des modules photovoltaïques	36
<b>Figure 3.6.</b> Rayonnement solaire global des régions d'Algérie	40
<b>Figure 3.7.</b> Facteur de transposition des régions d'Algérie	41
<b>Figure 3.8.</b> Besoins d'utilisateur de maison par le PVsyst	42
<b>Figure 3.9.</b> Profil horaire de maisons	43
<b>Figure 3.10.</b> Dimensionnement du module PV et l'onduleur	43
<b>Figure 3.11.</b> Paramètres de simulation de l'inclinaison 10 °	44
<b>Figure 3.12.</b> Paramètres de simulation de l'inclinaison 30°	45
<b>Figure 3.13.</b> Paramètres de simulation de l'inclinaison 50 °	46
<b>Figure 3.14.</b> Paramètres de simulation de l'inclinaison 70 °	47

## LISTE DES TABLEAUX

### Chapitre 3

<b>Tableau 3.1.</b> Coordonnées géographiques des sites Algériens	34
<b>Tableau 3.2.</b> Données relatives au rayonnement solaire pour des sites Algérien	39
<b>Tableau 3.3.</b> Rendement énergétique PV et besoins des utilisateurs	48
<b>Tableau 3.4.</b> SOC de la batterie et probabilité de perte de charge	48

# SOMMAIRE

<b>Remerciements</b>	<b>I</b>
<b>Dédicace</b>	<b>II</b>
<b>INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre 1 : La Conversion Photovoltaïque</b>	<b>2</b>
<b>1-1-L'origine de l'énergie solaire</b>	3
<b>1-2-Influence de l'atmosphère</b>	3
1-2-1-Composition de l'atmosphère	3
1-2-2- Absorption de la radiation solaire	4
1-2-3- Phénomène de diffusion du rayonnement solaire	5
1-3-5- Distribution du rayonnement solaire par l'atmosphère	6
<b>1-3- L'énergie solaire au monde</b>	7
<b>1-4- Potentiel solaire en Algérie</b>	7
<b>1-5- Principe de la conversion</b>	9
1-5-1- L'effet photovoltaïque	10
1-5-2- Fonctionnement d'une cellule solaire	11
1-5-3- Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque	11
<b>1-6- Différents types des cellules solaire</b>	13
1-6-1- Cellules monocristallin	13
1-6-2- Cellules poly-cristallines	14
1-6-3- Cellules amorphe	14
<b>1-7- Configuration des modules photovoltaïques</b>	14
<b>Bibliographiques</b>	16
<b>Chapitre 2 : Systèmes de cordons et mouvement de la terre</b>	<b>17</b>
<b>2-1- Coordonnées géographiques</b>	18
2-1-1- Longitude	18
2-1-2- Latitude	18
<b>2-2- Coordonnées horizontales</b>	18
2-2-1- L'azimut	18
2-2-2- Hauteur	19
<b>2-3- Coordonnées horaires</b>	20
2-3-1- Déclinaison solaire	20
2-3-2- Angle horaire	21
<b>1-4-Mouvement de la terre</b>	22
<b>1-5- Durée de jour et temps</b>	22
1-5-1- Durée de jour et temps	23
1-5-2- Relation entre temps légal et temps solaire	24
1-5-2- Durée et taux d'ensoleillement	25
<b>Bibliographiques</b>	27

<b>Chapitre 3 : Résultats de simulation</b>	<b>28</b>
<b>3-1- Logiciel PVsyst</b>	<b>29</b>
3-1-1- Présentation de logiciel de simulation PVsyst	29
3-1-2- Désignation du projet dans PVsyst	30
3-1-3- Dimensionnement du système	30
<b>3-2- Application 1 : Coordonnées géographiques</b>	<b>31</b>
<b>3-3- Trajectoire du soleil</b>	<b>34</b>
<b>3-4- Données relatives au rayonnement solaire</b>	<b>35</b>
<b>3-5- Application 2 : Influence de l'angle sur l'énergie solaire captée</b>	<b>36</b>
<b>3-6- Application 3 : Cas de la région de M'sila en Algérie</b>	<b>41</b>
3-6-1-Région de M'sila	41
3-6-2- Présentation de l'habitat a étudié	42
<b>3-7- Résultats de simulation</b>	<b>44</b>
<b>Bibliographiques</b>	<b>49</b>
<b>CONCLUSION</b>	<b>50</b>

## INTRODUCTION

Les besoins énergétiques ne cessent de croître dans le monde. Malgré son énorme potentiel, l'énergie solaire ne correspond qu'à une partie négligeable de la production et de la consommation d'énergie en Algérie. Pourtant, l'exploitation du rayonnement solaire est compétitive à plusieurs niveaux par rapport aux autres sources d'énergies renouvelables.

Il s'agit de la source d'énergie la plus répandue et la plus accessible sur terre. « Chaque jour, le soleil envoie vers la Terre 10 000 fois la quantité totale d'énergie consommée à l'échelle de la planète ». Aussi, la quantité d'énergie libérée par le soleil pendant une heure pourrait suffire à Couvrir les besoins énergétiques mondiaux pendant un an.

Le choix des sources d'énergies renouvelables et non polluantes est donc d'actualité. Parmi les sources d'énergies renouvelables, on compte le vent, les flux marins et océaniques, la géothermie, le solaire (cellules photovoltaïques), etc.... Ce dernier est la source d'énergie le plus puissante. En effet, la puissance du rayonnement solaire au niveau du sol est peut atteindre  $950 \text{ Watt/m}^2$ .

Une connaissance précise de la distribution de l'énergie solaire sur un site géographique particulier est d'une importance vitale pour le développement des systèmes photovoltaïques, ainsi qu'à l'évaluation de leurs performances.

Le travail présenté dans cette mémoire a porté sur l'angle d'orientation du panneau photovoltaïque et son influence sur l'énergie solaire captée, on a utilisé le logiciel PVsyst. Dont on a divisé notre travail en trois chapitres :

Le premier chapitre est consacré à l'énergie solaire et les phénomènes physiques qui y sont liés, et une étude descriptive générale des systèmes photovoltaïques sont présentée, leurs types, leurs compositions et les critères de choix d'un PV.

Le deuxième chapitre, nous aborderons ainsi en premier temps quelques notions indispensables sur le gisement solaire. A savoir les coordonnées équatoriale et terrestre. Nous décrirons ensuite, le mouvement de la terre et la relation entre temps légal et temps solaire.

Dans le troisième chapitre, nous présentons les résultats d'une étude qui a permis de connaître les zones où l'énergie solaire est disponible et ses applications photovoltaïques en utilisant le logiciel de simulation PVsyst dans toutes les régions d'Algérie avec intérêt pour la région de M'sila.

Enfin on termine par une conclusion ou les synthèses des travaux effectués ainsi que les principaux résultats sont mentionnés.

# **CHAPITRE I**

## **La Conversion Photovoltaïque**

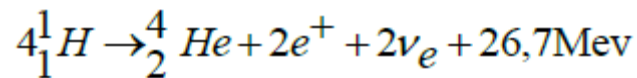
## 1.1. Origine de l'énergie solaire

L'énergie solaire est produite par les réactions de fusion thermonucléaire d'hydrogène en hélium au sein du noyau du soleil, ce processus engendre un défaut de masse ( $\Delta m$ ) qui se transforme en énergie ( $\Delta E$ ) selon la célèbre relation d'Einstein [1] :

$$(\Delta E) = (\Delta m) \times C^2 \quad (1.1)$$

C : Vitesse de la lumière dans le vide ( $C = 2.9979210 \times 10^8$  m / s)

L'équation globale de cette fusion est donnée par :



Quatre protons fusionnent pour donner naissance à un noyau d'hélium avec émission de deux positrons  $e^+$ , de deux neutrons  $\nu_e$  et accompagnés d'une énergie égale à 26,7 MeV [1].

L'énergie solaire est actuellement exploitée selon deux techniques [1]:

- La conversion du rayonnement solaire en chaleur par des capteurs thermiques c'est le solaire thermique, il est utilisé dans les chauffe-eau solaires et les planchers thermiques.
- La conversion directe du rayonnement lumineux en électricité par des capteurs (Cellule photovoltaïque) c'est le solaire photovoltaïque.

## 1.2. Influence de l'atmosphère terrestre sur le rayonnement solaire

### 1.2.1. Composition de l'atmosphère

L'atmosphère est constituée de trois grandes couches de caractéristiques différentes, qui sont [2]:

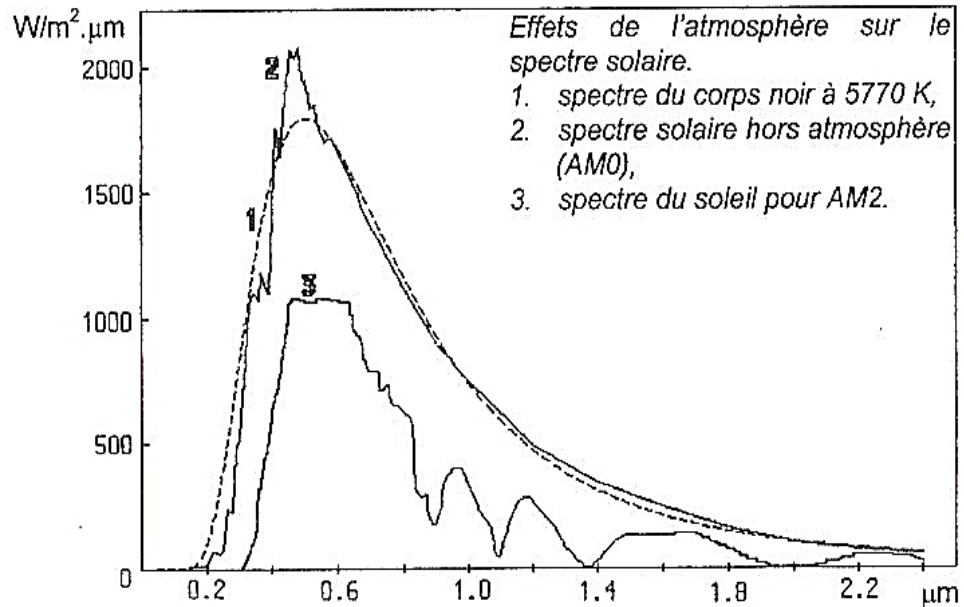
**A- La troposphère** : comprise entre le sol et de 16 km d'altitude ; dans cet intervalle la température et la pression décroît, respectivement, de  $5.6^\circ\text{C Km}^{-1}$  et de 400 à 100 mb jusqu'à la limite supérieure. La masse de la troposphère représente les  $\frac{3}{4}$  de la masse totale de l'atmosphère qui est de 5.1015 Tonne. L'air de la troposphère renferme de la vapeur d'eau, du gaz carbonique, des poussières et des cristaux de sel. C'est le siège des nuages, des pluies et des orages.

**B- La stratosphère** : est la zone entre 16 et 65 km d'altitude. A sa limite supérieure, la stratopause, la pression n'est plus que de 1 mb.

**C- La stratosphère** comprend des couches à différentes températures dont l'une, particulièrement riche en ozone, présente une température voisine de  $0^\circ\text{C}$ . Ce réchauffement est vraisemblablement dû à l'absorption partielle du rayonnement UV émis par le Soleil.

**D- La mésosphère**, comprise entre 55 et 80 km d'altitude. La pression n'est plus que de  $10^{-2}$  mb à sa limite supérieure, appelée mésopause.

La figure (1.1) montre l'influence de l'atmosphère sur le rayonnement solaire reçu au niveau de la mer, par ciel clair et pur, la hauteur du soleil étant  $30^\circ$ [2].



**Figure 1.1.**Influence de l'atmosphère sur le rayonnement solaire

### 1.2.2. Absorption de la radiation solaire

L'absorption du rayonnement solaire est sélective et dépend principalement de quatre éléments qui sont [2] :

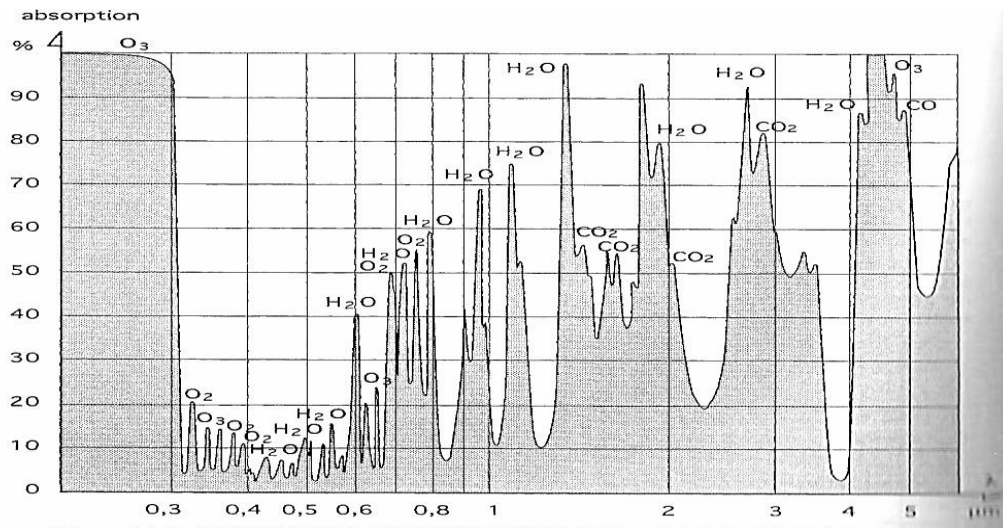
**1 - Ozone (O<sub>3</sub>) :** Il absorbe des bandes fortes entre 0.2 et 0.3  $\mu\text{m}$ , des bandes faibles de 0.45 à 0.7  $\mu\text{m}$  et deux bandes IR à 10 et 14  $\mu\text{m}$ . il forme aussi un écran qui arrête les UV.

**2-Oxygène (O<sub>2</sub>) :** Il absorbe des bandes étroites du spectre visible (vers 0.69 et 0.76 $\mu\text{m}$ ).

**3-Gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) :** Il absorbe des une partie de l'infrarouge lointain ( $\lambda > 2\mu\text{m}$ ).

**4- Vapeur d'eau :** qui entraîne des bandes d'absorption multiples surtout dans l'IR. On ne la rencontre pratiquement qu'au niveau du sol ( $z < 5 \text{ km}$ ) .

La figure (1.2 ) représente le spectre de la principale absorption sélective par les gaz atmosphériques.



**Figure 1.2.** Spectre d'absorption du rayonnement atmosphère

### 1.2.3. Phénomène de diffusion du rayonnement solaire

On distingue dans l'atmosphère deux types de diffusion : la diffusion de Rayleigh par les particules de diamètre inférieur à la longueur d'onde incidente et la diffusion de Mie par les corpuscules de grand diamètre (aérosols). Un rayon diffusé peut lui même subir une diffusion et ainsi de suite selon la densité et le volume de la matière traversée ; c'est la diffusion multiple dont il faut aussi tenir compte. Les directions d'une diffusion moléculaire vers l'avant et vers l'arrière sont privilégiées par rapport à la direction latérale. Par contre, dans le cas d'une diffusion de grosses particules, la plupart des photons seront diffusés vers l'avant dans un angle de 4 degrés autour de la direction incidente [1].

L'absorption de Rayleigh explique pourquoi le ciel est bleu dans la journée et rouge - orange le matin et le soir lorsque le soleil est bas sur l'horizon. En effet, considérons le soleil à midi ; le trajet des rayons lumineux est relativement court. Compte tenu de la loi de Rayleigh, le rayonnement de courte longueur d'onde est plus diffusé par les molécules de l'atmosphère que le rayonnement de grande longueur d'onde ; il s'en suit que la lumière bleue ( $\lambda=0.47 \mu\text{m}$ ) est plus diffusée que la lumière rouge ( $\lambda=0.67 \mu\text{m}$ ) et le ciel nous paraît bleu. A l'aurore ou au crépuscule, la même loi s'applique ; mais comme le trajet de la lumière est beaucoup plus long, les longueurs d'onde bleues sont diffusées mais aussi absorbées et il ne reste, fortement atténuées, que les grandes longueurs d'onde. La rétine de l'observateur qui fixe le soleil enregistre alors un disque rouge.

Enfin, on caractérise l'ensemble des phénomènes d'absorption et de diffusion par un facteur appelé facteur de trouble total.

Le facteur de trouble de Linke  $T_l$  conduit à une évaluation de l'extinction atmosphérique par des molécules gazeuses et les aérosols ; une valeur moyenne est donnée par :

$$T_l = 2.5 + 16\beta_A + 0.5 \ln \omega \quad (1.2)$$

Le coefficient  $\beta_A$  est appelé coefficient de trouble ou coefficient d'Angström. Ce coefficient caractérise la clarté du ciel et on a ainsi :

$\beta_A = 0.02$  pour un ciel bleu foncé.

#### 1.2.4. Distribution du rayonnement solaire par l'atmosphère

Les radiations solaires arrivant au sommet de l'atmosphère sous forme d'ondes électromagnétiques se répartissent premièrement en deux parties : L'une  $(R_a)$  est directement réfléchie vers l'espace avant de s'enfoncer dans l'atmosphère. L'autre partie  $(D)$ , en pénétrant dans l'atmosphère subit des réflexions et des diffractions pour être à son tour, soit renvoyée vers l'espace  $(R_a)$  soit dirigée vers la terre  $(D)$  [2].

Dans l'atmosphère, la vapeur d'eau et de multiples gaz absorbent de façon très irrégulière.

Certaines radiations caractérisées par leurs longueurs d'ondes, les radiations  $(R_A)$  absorbées par les composantes de l'atmosphère sont ensuite émises dans toutes les directions.

Il en résulte que parmi les radiations solaires parvenant finalement au sol. Une fois ces radiations arrivées au sol, une fraction est réfléchie directement vers le ciel  $(A)$ , l'autre est gagnée par la terre, pour être à son tour émise par le sol sous forme de chaleur latente et chaleur sensible [2] :

$$R_n = F_l + R_s \quad (1.3)$$

Où :  $F_l$  est la chaleur latente.  $R_s$  est la chaleur sensible.

La figure I.4. ci-dessous présente la distribution du rayonnement solaire par  $R_f$  est le rayonnement diffusé vers le sol  $R_f$  est le rayonnement diffusé vers le sol.

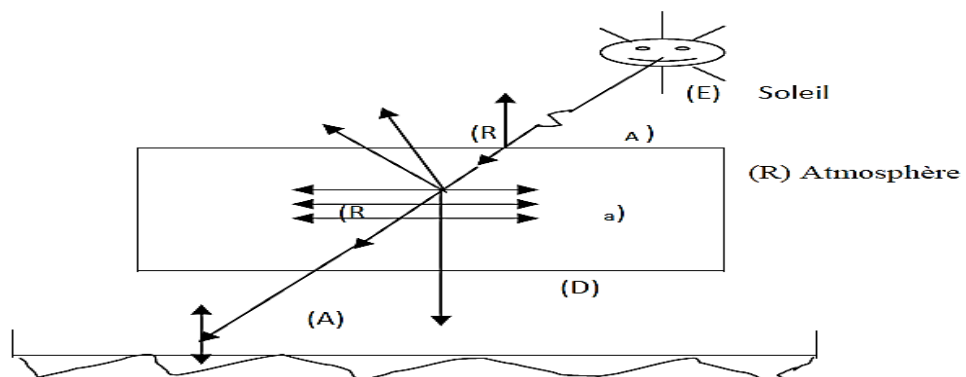
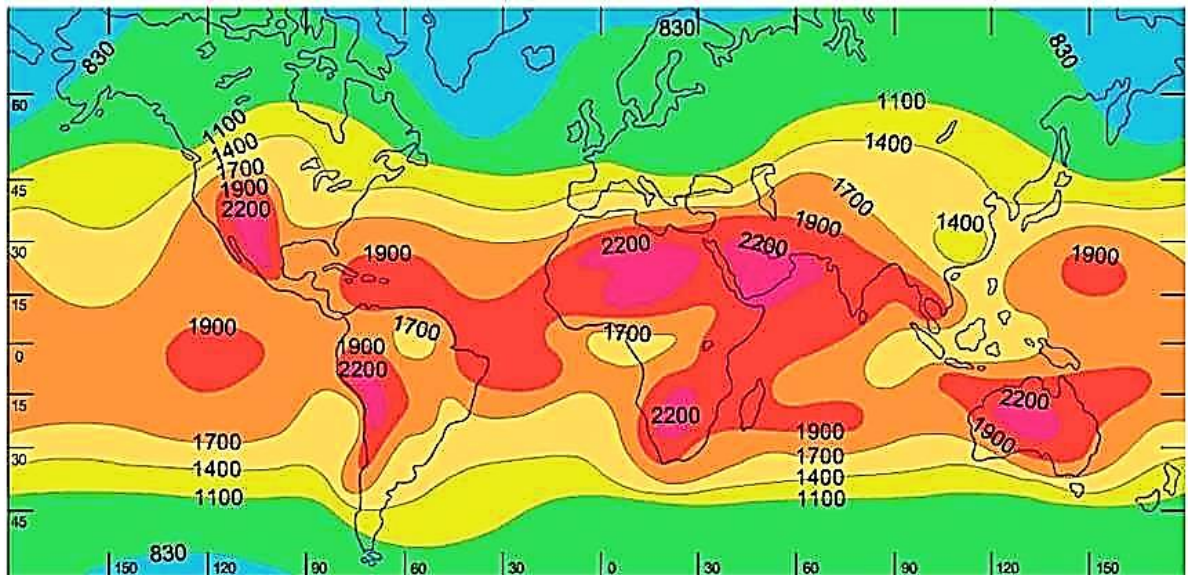


Figure 1.3. Distribution de rayonnement solaire par l'atmosphère

### 1.3. L'énergie solaire au monde

L'énergie solaire reçue par la terre est de  $1,75.10^{17}$  joule par seconde [3]. Elle implique la conversion d'une source d'énergie lumineuse en électricité. C'est avec des cellules solaires ou encore des modules photovoltaïques qu'il est possible de réaliser cette conversion de photons en électricité sous une exposition au soleil [4].

Le soleil constitue la source lumineuse la plus intense sur notre planète, mais il est aussi possible d'exploiter une source de lumière artificielle comme des ampoules ou des tubes fluorescents par exemple. Cette technologie renouvelable constitue un bassin énergétique illimité dont l'exploitation est silencieuse et non polluante. Il est intéressant de souligner que la contribution énergétique solaire globale équivaut à plusieurs milliers de fois notre consommation globale en énergie. En effet même à une distance de 150 millions de kilomètres, le soleil fournit chaque année 10 000 fois la consommation totale en énergie de la planète, qui est équivalente à  $1700 \text{ KWh m}^{-2}/\text{an}$ . De plus, l'agence internationale de l'énergie (AIE) a confirmé que si 4% de la surface des déserts, soit  $145\,000 \text{ Km}^2$ , était recouverte de cellules d'efficacité de 10%, les besoins mondiaux en électricité seraient comblés [4]. La consommation mondiale d'énergie en l'an 2000 est de 10 Gtep (1 Tep =  $11\,620 \text{ KWh}$ ) [8]. La figure (1.4) représente l'énergie incidente à la surface de la terre en  $\text{KWh/m}^2$  par an [5].



**Figure 1.4.** Valeurs de rayonnement solaire dans le monde ( $\text{KWh/m}^2/\text{an}$ )

### 1.4. Potentiel solaire en Algérie

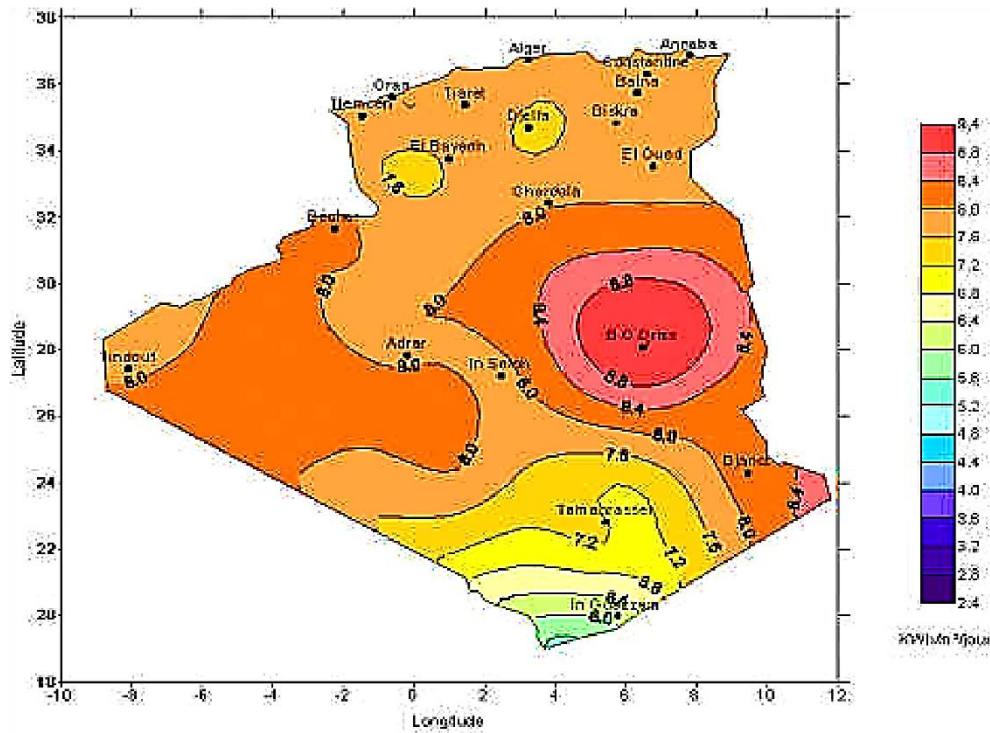
Le potentiel solaire est la quantité totale d'irradiation d'énergie solaire reçue sur une surface de région donnée pendant du temps dans une localisation spécifique.

En Algérie, le potentiel est le plus important de tout le bassin méditerranéen [1]:

- 1169.440 TWh/an,
- 5.000 fois la consommation Algérienne en électricité,
- 60 fois la consommation de l'Europe des 15 (estimée à 3.000 TWh/an).

Energie moyenne reçue en kWh/m<sup>2</sup>/an :

- Régions côtières 1700,
- Hauts plateaux 1900,
- Sahara 2650.



**Figure 1.5.**Potentiel solaire en Algérie

L'Algérie amorce une dynamique d'énergie verte en lançant un programme ambitieux de développement des énergies renouvelables et du rendement énergétique. Cette vision du gouvernement algérien s'appuie sur une stratégie axée sur la mise en valeur des ressources inépuisables comme le solaire et leur utilisation pour diversifier les sources d'énergie et préparer l'Algérie de demain. Grâce à la combinaison des initiatives et des intelligences, l'Algérie s'engage dans une nouvelle énergétique durable.

Pour cela un programme national de développement des énergies renouvelables a été tracé pour la période 2011-2030, ambitionnant, à terme, de produire 40% de la consommation nationale d'électricité à partir des filières solaire. Ainsi, ce programme prévoit l'installation d'une puissance de près 22 000 MW, avec 12000 MW destinés à la demande nationale et 10 000 MW à l'exportation. Il sera mené en trois étapes [6] :

- La réalisation des projets pilote pour tester les technologies disponibles (2011-2013)
- Un début du déploiement du programme (2014-2015)
- Enfin, un déploiement à grande échelle (2016-2030)

Il inclut la réalisation d'une soixantaine de centrales solaires photovoltaïques. Actuellement, en accompagnement de ce programme, Sonelgaz œuvre pour le développement d'une industrie nationale du solaire photovoltaïque avec la construction d'une usine de fabrication de modules photovoltaïques et d'un complexe de fabrication du Silicium [6].

La figure (I.6) représente les programmes énergies renouvelables prévoient aux énergies solaires pour les régions les plus reculées où se justifie la réalisation de réseaux isolés et déconcentrés [7].



**Figure 1.6.** Programme solaire photovoltaïque entrant dans le cadre du programme d'électrification rurale est de l'ordre de 5 MW

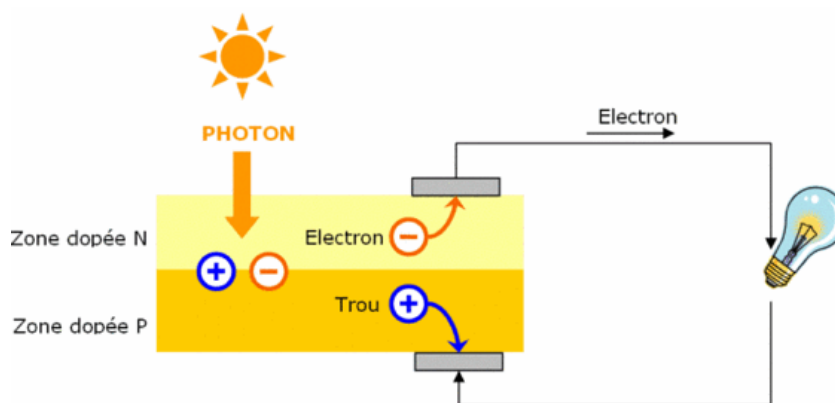
## 1.5. Principe de la conversion

L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité par le biais de la production et du

transport dans un matériau semi-conducteur de charges électriques positives et négatives sous l'effet de la lumière. Ce matériau comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement dopée de type N et dopée de type P. Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau N diffusent dans le matériau P [3.8].

La zone initialement dopée n devient chargée positivement, et la zone initialement dopée p charge négativement. Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone n et les trous vers la zone p. Une jonction (dite p-n) a été formée [3,9].

En ajoutant des contacts métalliques sur les zones n et p, une diode est obtenue. Lorsque la jonction est éclairée, les photons d'énergie égale ou supérieure à la largeur de la bande interdite communiquent leur énergie aux atomes, chacun fait passer un électron de la bande de valence dans la bande de conduction et laisse aussi un trou capable de se mouvoir, engendrant ainsi une paire électron - trou. Si une charge est placée aux bornes de la cellule, les électrons de la zone N rejoignent les trous de la zone P via la connexion extérieure, donnant naissance à une différence de potentiel [10].



**Figure 1.7.** Schéma de principe de la conversion photoélectrique

### 1.5.1. L'effet photovoltaïque

Il s'agit de transformer l'énergie contenue dans la lumière du soleil en énergie électrique à travers d'un capteur constitué de matériaux sensibles à l'énergie contenue dans les photons. Ce capteur présente à l'échelle élémentaire sous forme d'une cellule PV. L'effet photovoltaïque fut observé la première fois en 1839 par le physicien français Edmond Becquerel [2]. Toutefois ce n'est qu'au cours des années 1950 que les chercheurs de la compagnie Bell, aux Etats-Unis parvinrent à fabriquer la première photopile ; l'élément primaire ou de base de la conversion [2].

### 1.5.2. Fonctionnement d'une cellule solaire

La conversion photovoltaïque met simultanément en jeu trois phénomènes physiques:

- l'absorption de la lumière dans le matériau,
- le transfert d'énergie des photons aux charges électriques,
- la collecte des charges.

La cellule solaire est notamment composée d'un semi-conducteur de silicium. Un semi-conducteur est un matériau dont la concentration en charges libres (électrons) est très faible par rapport aux métaux. Pour produire du courant à partir d'un semi-conducteur, il faut arracher un électron à son atome (bande de valence), et pour cela il faut une énergie, ici la lumière, lui permettant d'atteindre les niveaux énergétiques supérieurs (bande de conduction). Cette énergie est appelée énergie de la bande interdite (gap) et est mesurée en électrons-volts (eV). L'énergie nécessaire à la séparation de l'électron à son atome varie en fonction du semi-conducteur : Elle est de 1,1 eV pour le silicium cristallin, et 1,7 eV pour le silicium amorphe.

Cependant, tous les rayons lumineux ne sont pas utilisés par la cellule : certains rayons lumineux sont déviés, soit par la couche antireflet, soit parce que leur énergie n'est pas suffisante pour arracher un électron, et d'autres passeront tout simplement à travers de la cellule [12].

Le fonctionnement des cellules photovoltaïques est illustré sur la figure (1.8).

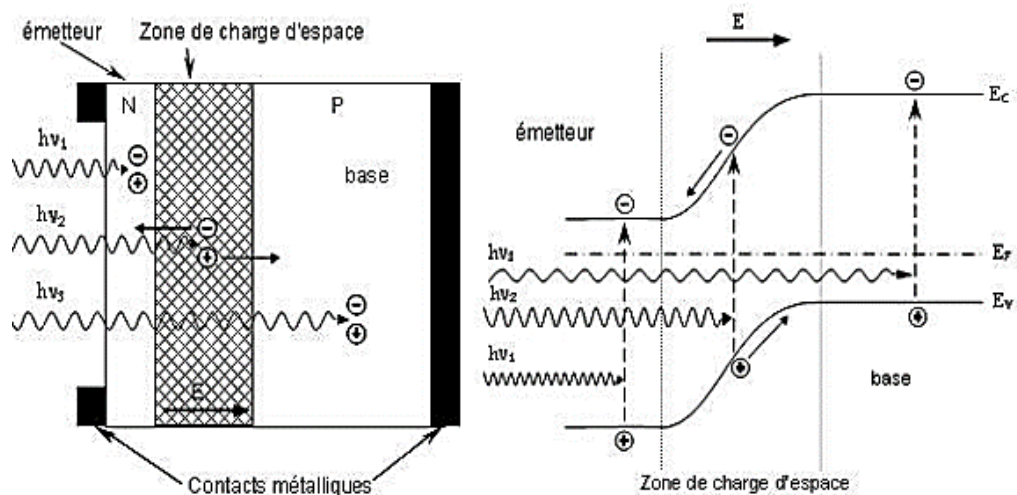


Figure 1.8. Structure d'une cellule photovoltaïque

### 1.5.3. Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque

La représentation la plus commune d'une cellule solaire au silicium, due à Schokley [12], est un circuit électrique (Fig. 1.9), se composant d'un générateur de courant  $I_{ph}$ , d'une diode, d'une résistance en série  $R_s$  et d'une résistance parallèle  $R_{sh}$ . Sa caractéristique  $I(V)$  peut être décrite par une relation mathématique plus ou moins compliquée, cette complexité est en fonction des phénomènes à décrire, ayant lieu dans la cellule.

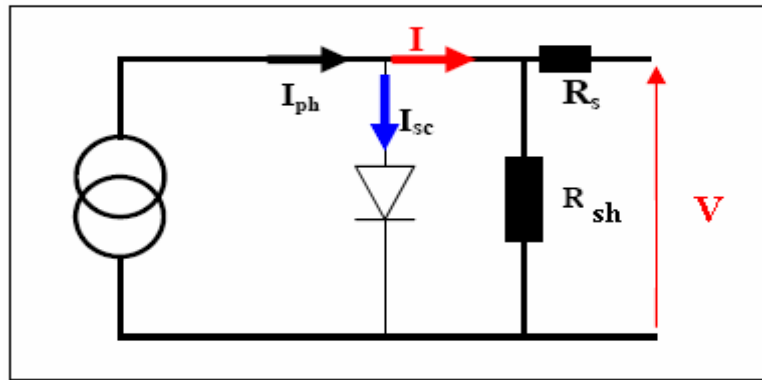


Figure 1.9. Schéma équivalent d' une cellule photovoltaïque

Le courant délivré par une cellule photovoltaïque éclairée s'écrit :

$$I(V) = I_{ph} - I_{obs}(V) \quad (1.4)$$

où

$I_{ph}$  est la densité de courant photo généré et  $I_{obs}$  est la densité de courant d'obscurité.

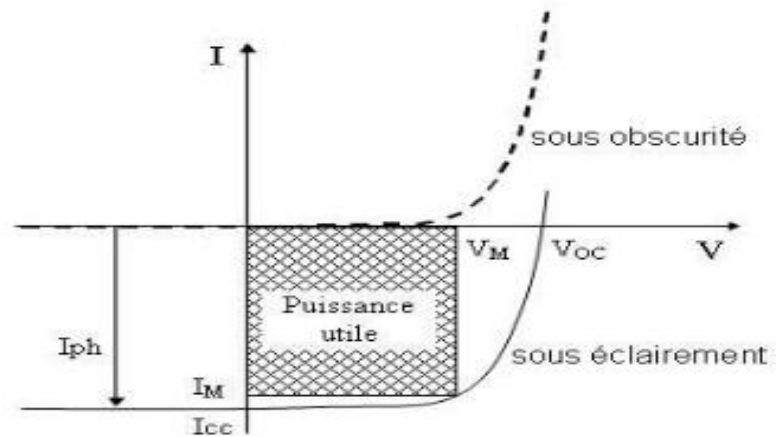
Pour une cellule photovoltaïque idéale, l'équation (1.4) peut être écrite sous la forme suivante:

$$I = I_{ph} - I_s [\exp(qV / KT) - 1] \quad (1.5)$$

avec :

$I_s$  est le courant de saturation de la diode,  $q$  est la charge élémentaire,  $k$  est la constante de Boltzmann et  $T$  est la température.

Ainsi, dans une cellule photovoltaïque, deux courants s'opposent : le courant d'éclairement et un courant de diode appelé courant d'obscurité qui résulte de la polarisation du composant. La caractéristique d'une cellule sous obscurité est identique à celle d'une diode. Sous éclairnement, la caractéristique a l'allure présentée sur la figure (1.10).



**Figure 1.10.** Caractéristique  $I=f(V)$  d'une cellule photovoltaïque

A partir de la caractéristique  $I(V)$  de la cellule photovoltaïque, on déduit les paramètres électriques propres à la cellule et notamment :

$I_{cc}$  : courant de court-circuit (obtenu pour  $V=0$ ),

$V_{co}$  : tension en circuit ouvert (obtenu pour  $I=0$ ),

$I_m$  : courant à la puissance maximale de fonctionnement de la cellule photovoltaïque,

$V_m$  : tension à la puissance maximale de fonctionnement de la cellule photovoltaïque

## 1.6. Différents types des cellules solaires

Lorsque nous avons présenté le fonctionnement des cellules solaires, nous avons évoqué pour quelques-uns les matériaux qui les constituent. On peut distinguer deux grandes familles de matériaux photovoltaïques utilisés dans des installations [8]:

- les matériaux cristallisés, d'épaisseur de 0.15 à 0.4 mm,
- les couches minces, d'épaisseur faible d'ordre du micron.

### 1.6.1. Cellules monocristallin

Les cellules qui en sont composées sont les plus performantes sur le marché :

Elles présentent un bon rendement à fort et moyen éclairage. Toutefois, leur prix reste élevé. Le silicium monocristallin est un matériau pur à 99,999 % et se présente sous la forme d'un cristal unique de grandes dimensions. Il affiche les meilleurs rendements sur le marché des produits actuellement disponibles [8].

- Rendement électrique des panneaux : 15 % STC
- Puissance des panneaux : 5 à 150 Wc
- Gamme d'éclairage : 100 à 1 000 W/m<sup>2</sup>
- Usage: tous usages extérieurs de forte et moyenne puissance (télécommunication, balisage, relais, habitat.)

### 1.6.2. Cellules poly-cristallines

Est devenu aujourd'hui la technologie la plus utilisée. Elle représente près de 50% du marché [1].

Le wafer est scié dans un barreau de silicium dont le refroidissement forcé a créé une structure poly-cristalline, leur épaisseur est comprise entre [200-300  $\mu\text{m}$ ]. Son rendement faible sous un faible éclairement, il est compris entre 11 et 15%) selon les fabricants [1].

### 1.6.3. Cellules amorphe

Le silicium amorphe est non cristallin et est produit par pulvérisation cathodique de silicium ou de décomposition du silane. C'est aujourd'hui une des filières les plus économiques. La filière recherche encore aujourd'hui à réduire ses coûts en inventant des procédés de fabrication moins coûteux et en augmentant le rendement des cellules. Les modules à base de silicium en couches minces présentent également l'avantage de garder un bon niveau de production lorsque la luminosité est faible ou lorsque la température est élevée [2].

- Rendement électrique des panneaux : 5 à 7 % STC (jusqu'à 9 % pour les multifonctions)
- Puissance des panneaux extérieurs : 0.5 à 60 Wc.
- Gamme d'éclairement : de 20 lux à 1 000 W/m<sup>2</sup>.
- Usage : électronique professionnelle et grand public (montres, calculatrices.), électronique de faible consommation en extérieur

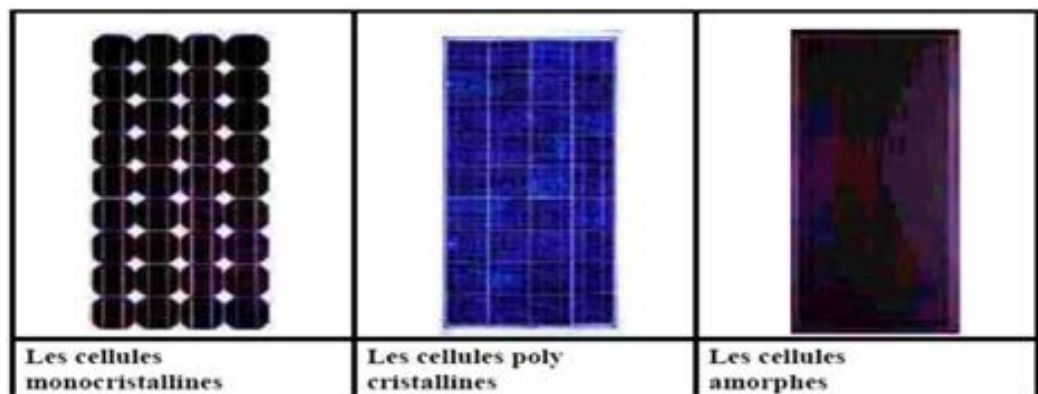
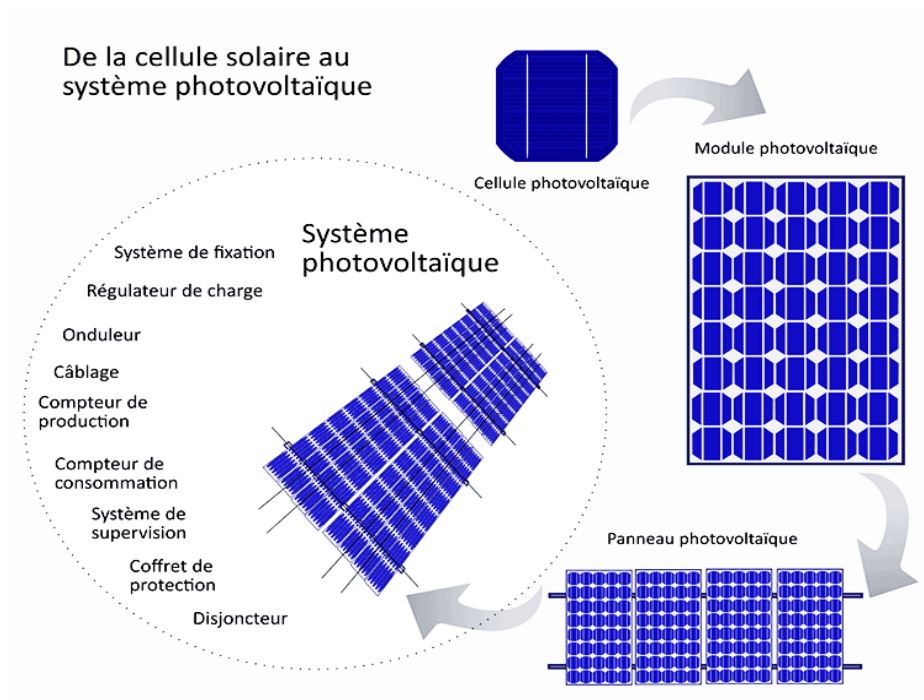


Figure 1.11. Différents types de cellules solaires

## 1.7. Configuration des modules photovoltaïques

Les cellules photovoltaïques sont reliées électriquement en série et/ou en parallèle pour produire des tensions et/ou des courants plus élevés. Les modules photovoltaïques se composent de cellules photovoltaïques liées entre elles, ces modules peuvent former une unité d'un panneau photovoltaïque complet. Les panneaux photovoltaïques incluent plus d'un

module de PV assemblé comme unité pré câblée et peut s'installer sur place, qui est l'unité génératrice de puissance complète [6, 11].



**Figure 1.12.** Configuration des cellules photovoltaïques

## Bibliographiques

- [1] S. Bouras, Z. Djilat, « Méthodes de dimensionnement d'un système photovoltaïque, application à la région de M'sila», Mémoire de fin d'étude, Université Mohamed Boudiaf - M'SILA, Algérie (2019).
- [2] A. Bouziane, « Évaluation du rayonnement solaire en Algérie pour des applications photovoltaïques», Mémoire de fin d'étude, Université Mohamed Boudiaf - M'SILA, Algérie (2015).
- [3] N. Debili «Etude et optimisation en environnement Matlab/ Simulink d'un système de pompage photovoltaïque » Thèse de Magister, Université Constantine I (2015).
- [4] H. Marry, « Synthèse et caractérisation de nanoparticules de  $\text{Cu}_{1.0}(\text{In}_{1.0.5-x}, \text{AL}_x)\text{S}_{2.1}$  pour application dans cellules photovoltaïque», Thèse présenté Comme exigence partielle de la maîtrisé en chimie, Université du Québec à Montréal ( 2016).
- [5] [http://www.sigma-tec.fr/textes/texte\\_parametres\\_installation.html](http://www.sigma-tec.fr/textes/texte_parametres_installation.html).
- [6] I. Tabet, « Etude réalisation et simulation d'un capture solaire », Thèse de doctorat en science en physique, spécialité : physique énergétique, Université des frères Mentouri, Constantine, Algérie (2016).
- [7] <http://r.search.yahoo.com>
- [8] A Borni « modélisation et commande des machines électrique » Thèse de magister université de Constantine (2009).
- [9] B. Chaouki, B.Tarek « Optimisation floue neuronale et génétique d'un système photovoltaïque connecté au réseau», Mémoire de fin d'étude. Biskra ( 2007).
- [10] A. Mahammedi, « Simulation numérique d'une cellule solaire photovoltaïque à base de  $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{Se}_2$  », Mémoire de fin d'étude, Faculté, Université Ammar Telidji, Laghouat, Algérie (2009).
- [11] <http://r.search.yahoo.com>.
- [12] M. SALMI « Contribution à la quantification de l'irradiation solaire globale en Algérie et applications aux générateurs photovoltaïques», Thèse de doctorat, Université Ferhat Abbas de SÉTIF Algérie (2012).

**CHAPITRE II**  
**Systemes de coordonnees**  
**et mouvement de la terre**

## 2.1. Coordonnées géographiques

Pour repérer un site donné à la surface terrestre, on définit les grandeurs suivantes [1]:

### 2.1.1. La longitude

La longitude est une coordonnée géographique représentée par une valeur angulaire, expression du positionnement est-ouest d'un point sur terre (ou sur une autre planète), la longitude de référence sur terre est le méridien de Greenwich. La longitude, généralement notée  $L$  est donc une mesure angulaire sur  $360^\circ$  par rapport à un méridien de référence, avec une étendue de  $-180^\circ$  ( $180^\circ$ ) Ouest à  $+180^\circ$  ( $-180^\circ$ ) Est [2].

### 2.1.2 La latitude

La latitude est une coordonnée géographique représentée par une valeur angulaire, expression de la position d'un point sur la terre (ou sur une autre planète), au nord ou au sud de l'équateur qui est le plan de référence. C'est une mesure angulaire, elle varie entre la valeur  $0^\circ$  à l'équateur et  $+90^\circ$ / $-90^\circ$  aux pôles [2].

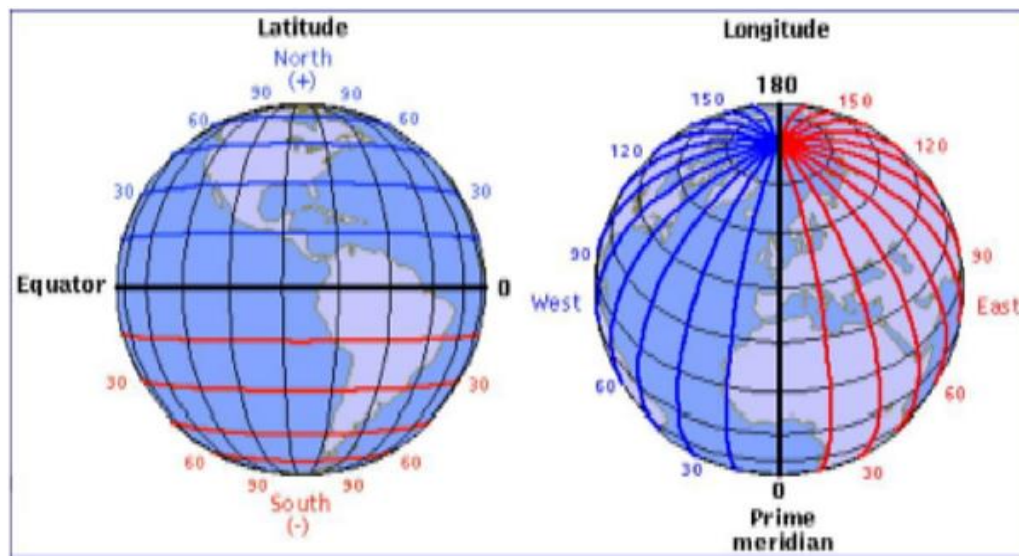


Figure 2.1. Schéma descriptif pour les angles Latitude et Longitude de la Terre

## 2.2. Coordonnées horizontales

Le soleil est repéré par les grandeurs suivantes :

### 2.2.1 L'azimut

C'est l'angle compris entre le méridien du lieu et le plan vertical passant le soleil. La connaissance de l'azimut du soleil est indispensable pour le calcul de l'angle d'incidence des rayons sur une surface non horizontale [3]. Il est comté positif à l'Ouest (le matin) et négatif à l'Est (le soir)[1]. L'azimut du soleil varie entre  $-180^\circ$  et  $180^\circ$ . On prend [4]:

- $z > 0$  : vers l'ouest.
- $z < 0$  : vers l'est.
- $z = 0$  : direction du sud.

Note :

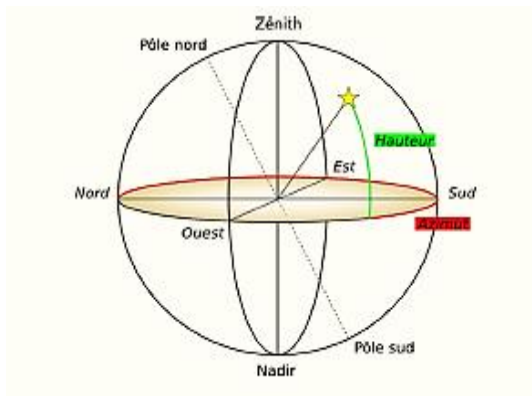
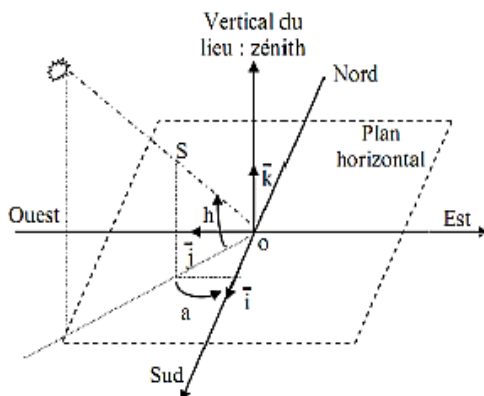
Il diffère de l'**azimut géographique**, lequel est toujours mesuré dans le sens des aiguilles d'une montre à partir du Nord, indépendamment de l'hémisphère du point d'observation [5].

### 2.2.2. Hauteur

C'est l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection. Il est compté de  $0^\circ$  à  $90^\circ$  vers le **Zénith** et de  $0^\circ$  à  $-90^\circ$  vers le **nadir**, on appelle quelquefois **distance zénithale** le Complément de l'angle  $h$  :  $z + h = 90^\circ$  [5].

La hauteur du soleil varie entre  $-90^\circ$  et  $+90^\circ$  [3,4].

- $h = 0$  aux lever et coucher,
- $h > 0$  le jour ;
- $h < 0$  la nuit.



**Figure 2.2.**Coordonnées horizontales

### 2.3. Coordonnées horaires

Les coordonnées équatoriales sont indépendantes de la position de l'observateur sur la terre, mais elles sont liées à l'heure de l'observation. La position du soleil est exprimée par deux angles qui sont [1] :

### 2.3.1. Déclinaison solaire

C'est l'angle entre la direction du soleil et le plan équatorial. Elle traduit l'inclinaison du plan équatorial par rapport au plan écliptique. Sa valeur varie entre  $(-23^{\circ},27')$  (Au solstice d'hiver) et  $(+23^{\circ},27')$ , (au solstice d'été) et s'annule aux équinoxes de printemps et d'automne. Cet angle varie très peu pendant une journée, ce qui permet d'approcher le mouvement quotidien du soleil par une rotation sur cône d'axe l'équateur, de demi angle au sommet  $= 90^{\circ} - \delta$ .

L'angle sera donc fonction du jour de l'année [1].

$$\delta = 23,45 \sin[0,980(N + 284)] \quad (2.1)$$

Où N est le nombre de jours de l'année compté à partir du 1er janvier, il varie de 1 à 365 ou 366 selon l'année :

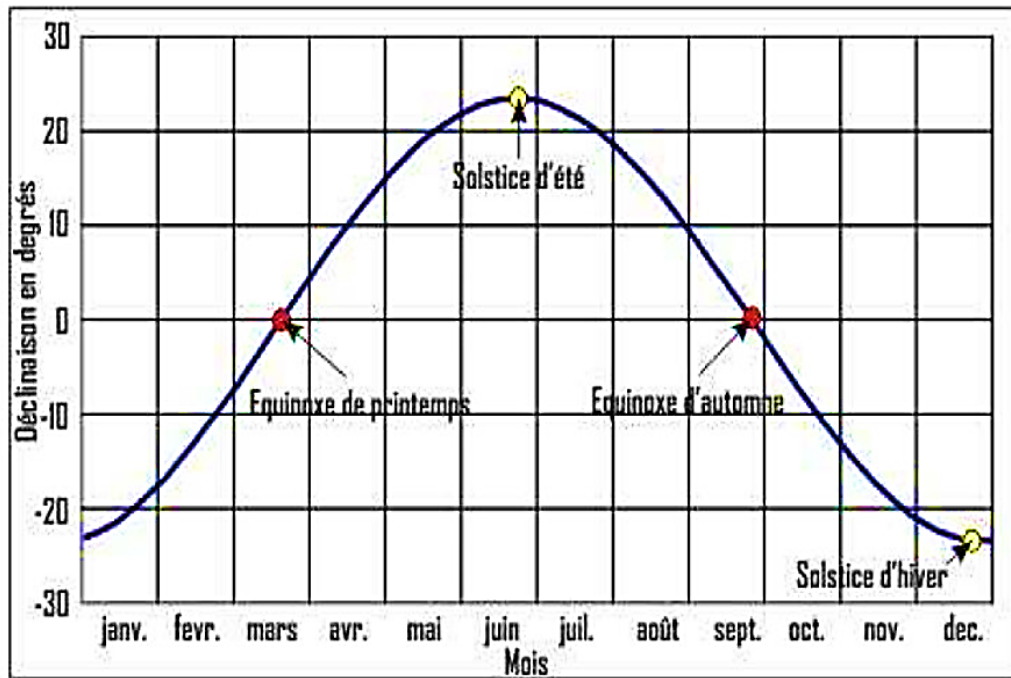
Année civile : 365 jours

Année bissextile : 366 jours.

La variation de la déclinaison du soleil au cours de l'année est représentée par la figure 2.3

Not :

$$\delta = 23.45 \sin \left[ \frac{360}{365} \cdot N - 80 \right] \quad (2.2)$$



**Figure 2.3.** La déclinaison du soleil en fonction des jours

$\delta$ : varie entre deux valeurs extrêmes :  $-\delta_0 < \delta < +\delta_0$  avec  $\delta_0 = 23.45^\circ$ .

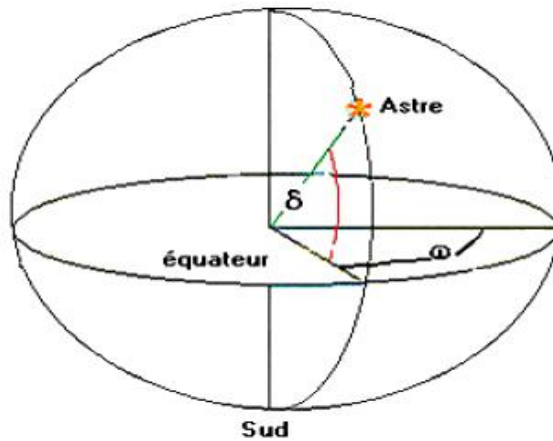
$\delta=0$  aux équinoxes (E.P, E.A)/Les équinoxes représentent les deux dates de l'année où le soleil traverse le plan équatorial, l'équinoxe automnal, le 23 septembre, marquant le début de la chute de la durée de la journée, et l'équinoxe printanier le 21 mars, marquant le début de l'accroissement de la durée du jour.

$\delta=23.45^\circ$  : au Solstice d'été (S.E) (au 21 juin), nous observons que le soleil est à son point le plus élevé dans le ciel. Elle marque le début de l'été dans l'hémisphère nordique [4].

- $\delta=-23.45^\circ$  : au Solstice d'hiver (S.H) (au 21 décembre).
- $\delta > 0$  : aux E.P - S.E- E.A
- $\delta < 0$  : aux E.A -S.H- E.P

### 2.3.2. Angle horaire

L'angle horaire du soleil est l'angle formé par le plan méridien du lieu et celui qui passe par la direction du soleil si l'on prend comme origine le méridien de Greenwich, l'angle horaire est compris entre  $0^\circ$  et  $360^\circ$ . La valeur de l'angle horaire est nulle à midi solaire, négative le matin, positive dans l'après-midi et augmente de  $15^\circ$  par heure [3].

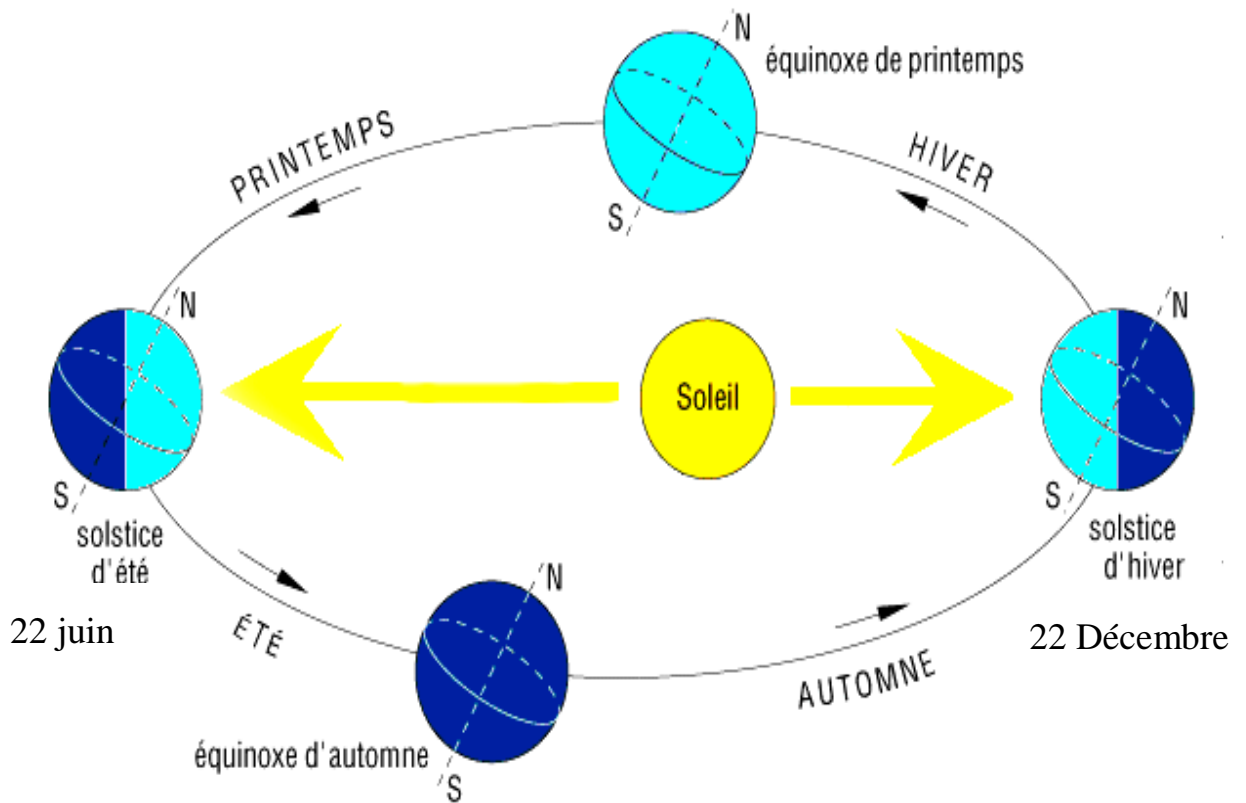


**Figure 2.4.**Coordonnées horaires

## 2.4. Mouvement de la terre

Le mouvement de la terre autour du soleil s'effectue dans un plan nommé le plan de l'écliptique. L'axe des pôles, autour duquel s'effectue le mouvement de rotation de la Terre, n'est pas perpendiculaire au plan de l'écliptique. Le centre de gravité de la terre décrit une ellipse dont le soleil occupe l'un des foyers Figure 2.5. La terre tourne sur elle-même autour de l'axe des pôles et le plan équatorial, perpendiculaire à cet axe. Ainsi, la rotation et l'inclinaison de la Terre font également que l'énergie disponible en un point donné varie selon la latitude, l'heure et la saison. Elle tourne autour du soleil en 365 jours 5h 48 mn 40s  $\approx$ 365,25 jours. La terre tourne avec une vitesse moyenne 29,77 Km/s (vitesse maximale en hiver 30,27 Km/s et minimale en été 29,77 Km/s). Ce mouvement s'effectue dans le sens trigonométrique et provoque le cycle des saisons [4]. C'est au solsticed'hiver (21décembre) que la terre est la plus proche du soleil, et au solstice d'été (22juin) qu'elle en est la plus éloignée [6].

La terre tourne sur elle-même avec une période de 24h. Son axe de rotation (l'axe des pôles) a une orientation fixe dans l'espace. Il fait un angle  $23,27^\circ$  avec la normale au plan de l'écliptique.



**Figure 2.5.**Mouvement de la terre autour du soleil

## 2.5. Durée de jour et temps

### 2.5.1 Durée du jour

Le module  $\omega$  de l'angle horaire au lever du soleil s'obtient en écrivant  $\sin(h) = 0$  dans la formule [7]. Ce qui conduit à :

$$\cos(\omega_1) = -\tan(L) \tan(\delta) \quad (2.3)$$

L'heure solaire au lever du soleil a donc pour valeur :

$$(TS)_1 = 12 - \frac{\omega_1}{15} \quad (2.4)$$

L'angle horaire  $\omega_c$  au coucher du soleil est l'opposé de l'angle horaire à son lever, nous avons donc  $\omega_c = -\omega_1$  et la durée du jour est [7] :

$$d = 2 \times \frac{\omega_1}{15} \quad (2.5)$$

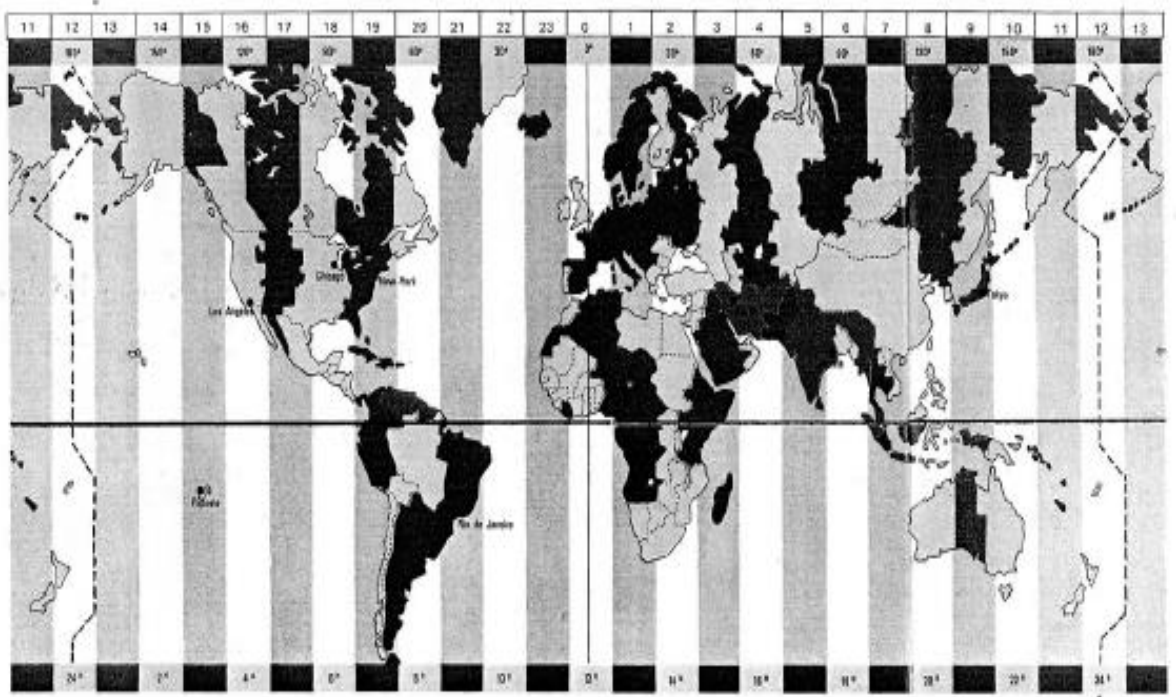
### 2.5.2. Relation entre temps légal et temps solaire

Les relations se rapportant au mouvement du soleil utilisent le temps solaire TS qui diffère généralement du temps légal TL (heure des montres) du lieu considéré [5]. Cette différence est liée à :

- La différence (fixée par chaque pays) entre l'heure légale TL et l'heure civile TCF du faisceau horaire dans lequel il se trouve :

$$C = TL - TCF \quad (2.6)$$

- L'heure civile TCF du faisceau horaire est égal au temps universel TU (temps solaire du méridien de Greenwich) augmenté de la valeur du décalage horaire que l'on trouvera sur la figure 2.6



**Figure 2.6.** Décalage horaire par rapport au méridien de Greenwich

- La différence de longitude ( $l - l_{ref}$ ) entre le lieu considéré et le lieu servant de référence au temps légal (en général le centre du faisceau).

Le temps solaire TS se calcule finalement par la formule [7]:

$$TS = TL - C + ET + \frac{l_{ref}}{15} \quad (2.7)$$

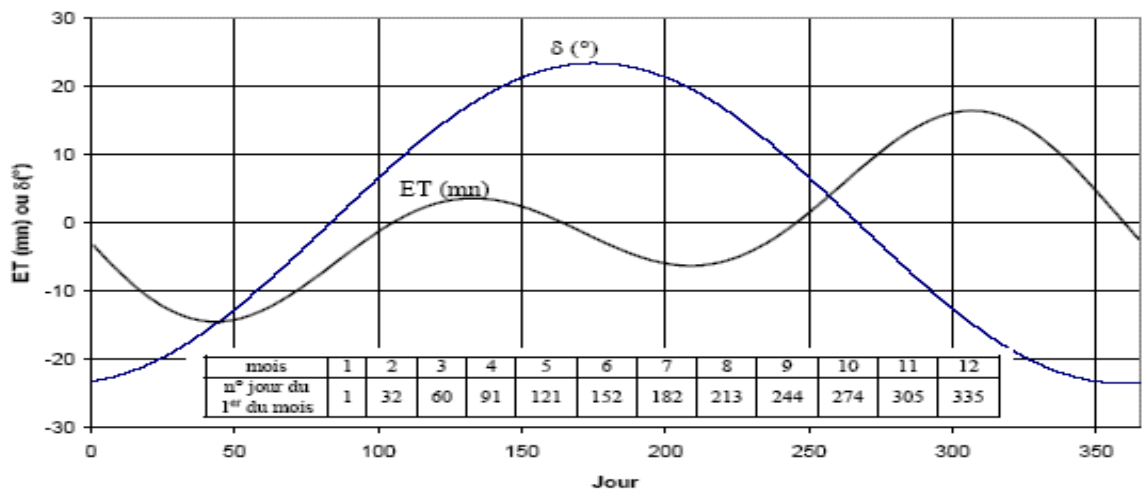
La correction maximale due à l'équation du temps est de l'ordre de 16 mn, on peut ne pas tenir en compte en première approximation. On trouvera les variations annuelles de la déclinaison et de l'équation du temps sur la figure 2.7.

Le problème est souvent de déterminer la différence  $C$  entre  $TL$  et  $TCF$  en un lieu donné, on peut procéder de la manière suivante :

Il est possible de connaître  $TL$  et  $TU$ .

D'où  $(TL - TU)$ .

- La différence  $(TL - TU)$  peut être lue sur la figure 2.7
- On en déduit  $C = (TL - TU) - (TCF - TU)$ .



**Figure 2.7.** Equation du temps  $ET$  et déclinaison  $\delta$  en fonction du jour de l'année

## 2.5.3 Durée et taux d'ensoleillement

### 2.5.3.1. Durée d'ensoleillement

Selon les conditions atmosphériques, le ciel peut être plus ou moins couvert de nuages au cours d'une journée. Ceux-ci occultent le soleil, totalement ou partiellement, empêchant ainsi le rayonnement d'atteindre directement le sol. On dit que la nébulosité est plus ou moins importante selon qu'il y a beaucoup ou peu de nuages.

On appelle durée effective d'ensoleillement ou insolation  $S$ , le temps pendant lequel, au cours d'une journée, le rayonnement solaire direct a atteint le sol du lieu considéré. On appelle rayonnement direct le rayonnement qui atteint la surface terrestre sans avoir subi de déviation depuis son émission par le soleil.

### 2.5.3.2. Taux d'ensoleillement

Par ciel clair sans nuages, le sol reçoit le rayonnement solaire direct pendant toute la durée du jour, ou plus précisément pendant la durée maximale d'ensoleillement  $S_0$ . On appelle taux d'ensoleillement ou taux d'insolation le rapport entre la durée effective et la durée maximale d'ensoleillement  $S_0$  [7] :

$$\sigma = \frac{S}{S_0} \quad (2. 8)$$

## Bibliographiques

- [1] T. ABDELKADER «Étude du rayonnement solaire en vue de l'optimisation des systèmes photovoltaïques» Mémoire de master en physique énergétique, Université d'ADRAR.
- [2] Z .DJAMAI «Caractérisation Thermo-Optique d'un Distillateur Thermo solaire à Effet-Serre à simple effet sur site d'Adrar» Mémoire de Master en physique énergétique, Université d'ADRAR (2013).
- [3] M. CHÉDALA. R. MERIKHI «Conception et réalisation d'un concentrateur cylindro- parabolique pour production d'énergie thermique» de Master. Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued (2016).
- [4] M. MISSOUM, « Contribution de l'énergie photovoltaïque dans la performance énergétique de l'habitat à haute qualité énergétique en Algérie», Thèse de Magistère en génie mécanique, Université Hassiba Benbouali de CHLEF (2011).
- [5] KH. NAJMI, « Une approche hybride d'optimisation pour l'estimation de l'énergie solaire», Mémoire de Master en Informatique, Université d'ADRAR, Algérie (2019).
- [6] IFFOUZAR ; Koussaila. HANIFI ; Idir,« Etude et réalisation d'un mécanisme de poursuiveur solaire pour un concentrateur cylindro-parabolique avec carte de commande», Mémoire de master II en électromécanique, Université Abderrahmane Mira-BEJAIA ( 2013).
- [7] M. SALMI « Contribution à la quantification de l'irradiation solaire globale en Algérie et applications aux générateurs photovoltaïques», Thèse de doctorat, Université Ferhat Abbas de SÉTIF Algérie (2012).

# **CHAPITRE III**

## **Résultats de simulation**

### 3.1. Logiciel PVsyst

#### 3.1.1. Présentation de logiciel de simulation PVsyst

Le programme PVsyst est un logiciel de simulation de systèmes photovoltaïques, développé initialement par le Groupe de Physique Appliquée (GAP) de l'Université de Genève [1]. Ce logiciel est conçu pour être utilisé par les architectes, les ingénieurs et les chercheurs, mais aussi un outil pédagogique très utile. Il inclut une aide contextuelle approfondie, qui explique en détail la procédure et les modèles utilisés et offre une approche économique avec guide dans le développement d'un projet [1].

PVsyst permet d'importer des données météo d'une dizaine de sources différentes ainsi que des données personnelles.

On lance le logiciel PVsyst, l'interface suivante s'affiche :



**Figure 3.1.**Interface de logiciel PVsyst

Le PVsyst peut être utilisé pour évaluer facilement la production énergétique, le coût du projet d'installation photovoltaïque pour trois applications de base [2] :

- a- En réseau électrique,
- b- Hors réseau,

c- Le pompage de l'eau.

Pour les applications en réseau, le modèle peut être utilisé pour évaluer les projets raccordés à un réseau isolé ou à un réseau central d'électricité. Et pour les applications hors réseau, le modèle peut être utilisé pour évaluer les systèmes autonomes (PV-batteries) et hybrides (PV-batteries-groupe électrogène). Pour les applications de pompage de l'eau, le modèle peut être utilisé pour évaluer des projets PV-système de pompage.

### **3.1.2. Désignation du projet dans PVsyst**

Pour un projet donné, on peut construire plusieurs variations de notre système [3]:

- Orientation
- Système
- Pertes
- Simulation
- Résultats
- Analyse des coûts.

### **3.1.3. Dimensionnement du système**

La conception de système est basée sur une procédure rapide et simple [4] :

- Spécifier la puissance désirée ou la surface disponible.
- Choisir les modules PV dans la base de données interne.
- Choisir l'onduleur dans la base de données interne.

Le PVSYST à quatre sections de dimensionnement :

- ✓ Le redimensionnement.
- ✓ Conception du projet.
- ✓ Base de données.
- ✓ Outils.

Chaque section à deux types de dimensionnement :

- ✓ Type isolé avec des batteries.
- ✓ Type couplé au réseau.

Notre choix est 2<sup>ème</sup> type « couplé au réseau », à cause des raisons économiques et les limitations de notre infrastructure aéroportuaire (les batteries ont une courte durée de vie plus leurs prix qui est trop élevé et aussi elles prennent une surface immense).

### 3.1.4. Principaux Résultats

1. La production d'énergie totale est essentielle pour évaluer la rentabilité du système PV.
2. L'indice de performance décrit la qualité du système lui-même.
3. L'énergie spécifique est un indicateur de la productivité du système, selon l'irradiation disponible (localisation et orientation).
4. Le diagramme des pertes montre les énergies à différents niveaux du système, avec une évaluation des pertes à chaque stade [3].

## 3.2. Détermination des coordonnées géographiques

### 3.2.1. Application 1 : Coordonnées géographiques

On utilise spécifiquement la fenêtre de sites géographiques dans le PVsyst, et à l'aide des coordonnées géographiques, nous choisissons des sites dans diverses régions algériens.

#### Exemple : Zone de M'sila

On peut déterminer les coordonnées géographiques de la région de M'sila grâce au carte suivante :



**Figure 3.2.** Localisation de la région de M'sila

Et les coordonnées géographiques sont : 35.7058 degrés de latitude Nord, longitude 4.5419° Est, altitude 494 m.

Le tableau (3.1) indique les valeurs des coordonnées géographiques dans diverses régions algériennes.

Station	Latitude (deg)(N)	Longitude (deg)	Altitude (m)
Oran	35.38	0.37W	99
Djelfa	34.68	3.25 <sup>E</sup>	1126
Ain Bessem	36.31	3.67 <sup>E</sup>	629
Tamanrasset	22.47	5.31 <sup>E</sup>	1378
Alger	36,43	2.83 <sup>E</sup>	450
Constantine	36.17	6.37 <sup>E</sup>	687
Mascara	35,26	0.06 <sup>E</sup>	518
Adrar	27,53	0,16W	275
Chlef	36,09	1, 20 <sup>E</sup>	133
Laghouat	33,47	2,52 <sup>E</sup>	750
Oum Bouaghi	35,52	7,06 <sup>E</sup>	902
Batna	35,33	6,10 <sup>E</sup>	1048
Bejaia	36,45	5,04 <sup>E</sup>	0
Biskra	34,51	5,43 <sup>E</sup>	213
Bechar	31,37	2,13W	747
Blida	36,28	2,49 <sup>E</sup>	274
Bouira	36,22	3,54 <sup>E</sup>	557
Tebessa	35,24	8,07	851
Tlemcen	34,52	1,18W	1032

Tiaret	35,22	1,18 <sup>E</sup>	994
TiziOuzou	36,43	4,02 <sup>E</sup>	182
Jijel	36,47	5,46 <sup>E</sup>	47
Setif	36,11	5,24 <sup>E</sup>	1080
Saida	34,49	0,09 <sup>E</sup>	868
Skikda	36,51	6,56 <sup>E</sup>	25
Sidi Belabbes	35,11	0,38 <sup>W</sup>	483
Annaba	36,53	7,46 <sup>E</sup>	0
Guelma	36,27	7,26 <sup>E</sup>	256
Médéa	36,16	2,45 <sup>E</sup>	880
Mostaganem	35,55	0,05 <sup>E</sup>	97
M'sila	35,43	4,31 <sup>E</sup>	475
Ouargla	31,56	5,19 <sup>E</sup>	150
El Bayadh	33,41	1,00 <sup>E</sup>	1304
Illizi	26,28	8,28 <sup>E</sup>	597
Bordj B Arreridj	36,04	4,46 <sup>E</sup>	900
Boumerdes	36,46	3,28 <sup>E</sup>	41
Taref	36,46	8,19 <sup>E</sup>	14
Tindouf	27,40	8,08 <sup>W</sup>	386
Tissemsilt	35,36	1,48 <sup>E</sup>	849
El Oued	33,19	6,52 <sup>E</sup>	67

Khenchela	35,26	7,08 <sup>E</sup>	1152
Souk Ahras	36,16	7,56 <sup>E</sup>	686
Tipaza	36,34	2,27 <sup>E</sup>	69
Mila	36,27	6,15 <sup>E</sup>	486
Ain Defla	36,04	4,32 <sup>E</sup>	1164
Naama	33,16	0,19 <sup>W</sup>	1176
Ain Temouchent	35,18	1,08 <sup>W</sup>	248
Ghardaia	32,28	3,40 <sup>E</sup>	572
Relizane	35,44	0,33 <sup>E</sup>	98

**Tableau 3.1.**Coordonnées géographiques des sites Algériens

### 3.3. Trajectoire du soleil

La connaissance du mouvement apparent du soleil pour un point donné de la surface terrestre est nécessaire pour toute application solaire. La position du soleil est définie par deux angles : sa hauteur HS (angle entre le soleil et le plan horizontal du lieu) et son Azimut AZ (angle avec la direction du Sud, compté négativement vers l'Est) [2].

#### Exemple

Trajectoire du soleil à M'sila sont présentés dans la figure ci-dessous, Avec :

Lat 35.7058 ° N , Long 4.5419 ° E , Alt 494 m

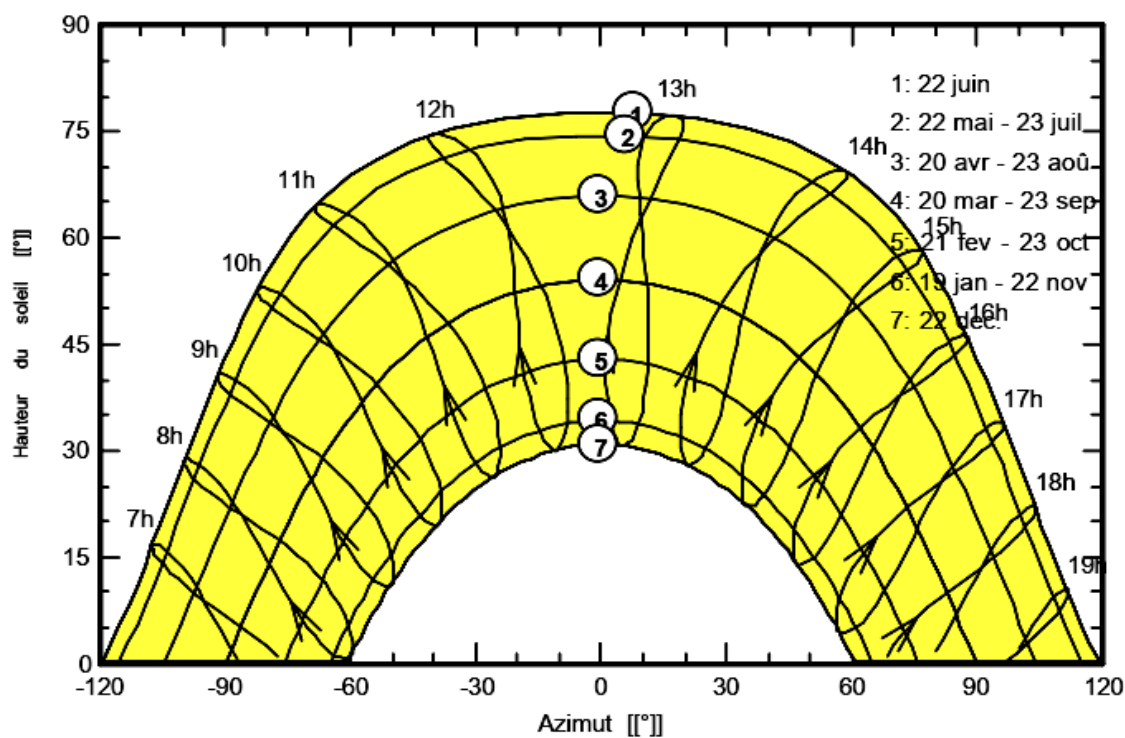


Figure 3.3. Trajectoire du soleil à M'sila

### 3.4. Données relatives au rayonnement solaire

Ces sont le rayonnement solaire global et l'inclinaison de plan et le facteur de transposition et le perte par rapport à l'optimum annuelle, Ete « Avr-Sept » et Hiver « Oct –Mar », comme représenté sur la figure 3.4.

Le facteur de transposition : traduit la variation d'énergie incidente dans un plan incliné par rapport à l'énergie incidente dans un plan horizontal.

Les pertes par rapport à l'optimum : représente les pertes de l'énergie capturé par rapport au position de panneau solaire.

Type de champ Plan incliné fixe

**Paramètres du champ**

Inclinaison plan  [°]

Azimut  [°]

**Inclin. 30°**

**Azimut 0°**

**Meteo incidente hiver**

Facteur de Transposition **1.48**

Perte par rapport à l'optimum **-8.3%**

Global sur plan capteurs **1013 kWh/m<sup>2</sup>**

[Voir optimisation](#)

Optimisation par rapport à

Irradiation annuelle

Eté (Avr-Sept)

Hiver (Oct-Mars)

**X Annuler**

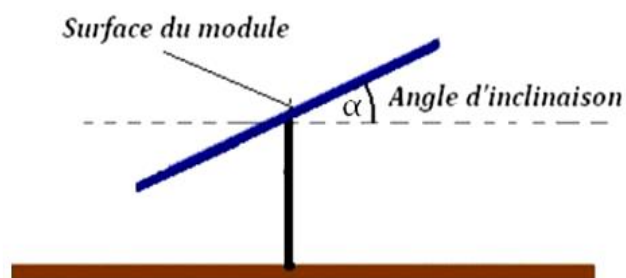
**OK**

**Figure 3.4.**Orientation et inclinaison du système PV

### 3.5. Application 2 : Influence de l'angle sur l'énergie solaire captée

#### 3.5.1. Angle d'inclinaison

L'angle d'inclinaison correspond à l'angle formé par le plan du module solaire par rapport à l'horizontale. Comme illustré dans la figure 3.5.



**Figure 3.5.** Angle d'inclinaison des modules photovoltaïques

En Algérie, et plus généralement dans tout l'hémisphère nord, on privilège toujours une orientation du champ PV vers le sud 0 (plein sud).

Nous présentons les pertes de l'énergie capturé par rapport à la position de panneau solaire, donc pour capturé l'énergie optimale nous utilisons logiciel PVsyst pour optimiser l'angle de l'inclinaison de panneaux solaires pour produire le maximum de l'énergie électrique avec les pertes par rapport à l'optimum sont : 0.00 %.

On résumer les différentes données relatives (Inclinaison sur plan «**In** », Facteur de transposition «**Ft** », L'énergie globale capturé sur plan «**Glo**») au rayonnement solaire en été et en hiver et l'irradiation annuelle dans tous les régions de L'Algérie comme c'est indiqué sur le tableau suivant :

Régions	Irradiation annuelle			Eté			Hiver		
	In (°)	F <sub>t</sub>	Glo (kwh/m <sup>2</sup> )	In (°)	F <sub>t</sub>	Glo (kwh/m <sup>2</sup> )	In (°)	F <sub>t</sub>	Glo (kwh/m <sup>2</sup> )
01	29	1.11	2509	5	1.01	1350	46	1.41	1300
02	34	1.17	2192	17	1.03	1284	56	1.59	1015
03	33	1.17	2457	15	1.03	1367	56	1.59	1224
04	33	1.17	2229	19	1.03	1306	55	1.61	1035
05	35	1.17	2290	14	1.03	1328	55	1.61	1081
06	35	1.15	1977	15	1.03	1194	54	1.55	874
07	35	1.17	2349	15	1.06	1318	53	1.59	1151
08	30	1.14	2622	10	1.01	1421	51	1.5	1352
09	33	1.15	1975	17	1.03	1190	55	1.55	877
10	34	1.16	2148	18	1.03	1273	56	1.59	979
11	25	1.09	2426	5	1	1271	44	1.36	1291
12	34	1.16	2208	17	1.03	1301	54	1.58	1017

13	34	1.16	2260	16	1.03	1312	56	1.59	1066
14	33	1.15	2212	16	1.03	1311	55	1.54	1005
15	33	1.15	2030	16	1.03	1227	54	1.55	895
16	33	1.16	2101	19	1.03	1240	54	1.58	959
17	34	1.16	2335	17	1.03	1337	54	1.58	1118
18	33	1.15	1985	16	1.04	1220	55	1.54	854
19	35	1.17	2236	15	1.03	1314	57	1.62	1036
20	33	1.16	2267	15	1.03	1315	53	1.57	1067
21	32	1.14	1984	16	1.04	1233	55	1.52	835
22	35	1.17	2293	16	1.03	1320	55	1.59	1091
23	33	1.14	1972	17	1.03	1228	55	1.54	832
24	32	1.15	2043	17	1.03	1250	56	1.55	887
25	35	1.15	2095	17	1.04	1275	52	1.56	919
26	34	1.15	2130	16	1.03	1292	56	1.56	938
27	34	1.17	2216	16	1.03	1289	53	1.59	1036
28	35	1.18	2306	16	1.03	1318	55	1.61	1106
29	33	1.17	2283	13	1.03	1324	56	1.6	1077
30	34	1.16	2500	13	1.02	1366	53	1.55	1274
31	35	1.16	2207	14	1.03	1288	53	1.59	1027
32	34	1.15	2579	13	1.02	1424	53	1.56	1304
33	29	1.11	2557	8	1.01	1379	50	1.42	1325

34	35	1.17	2259	18	1.03	1316	55	1.62	1057
35	33	1.16	2046	18	1.03	1220	54	1.57	926
36	32	1.14	1970	17	1.03	1224	54	1.53	833
37	31	1.12	2578	11	1.01	1391	50	1.44	1333
38	36	1.17	2272	15	1.03	1322	55	1.6	1067
39	35	1.17	2441	14	1.03	1348	52	1.58	1225
40	36	1.17	2215	16	1.03	1289	55	1.6	1039
41	35	1.16	2120	15	1.03	1285	55	1.59	941
42	34	1.16	2070	16	1.03	1224	53	1.56	943
43	33	1.15	2099	16	1.04	1283	54	1.65	914
44	34	1.16	2129	15	1.03	1275	55	1.57	955
45	32	1.16	2516	13	1.02	1401	52	1.57	1252
46	33	1.16	2252	15	1.03	1305	55	1.58	1059
47	32	1.16	2553	13	1.02	1401	54	1.56	1294
48	33	1.17	2210	17	1.03	1279	55	1.59	1042

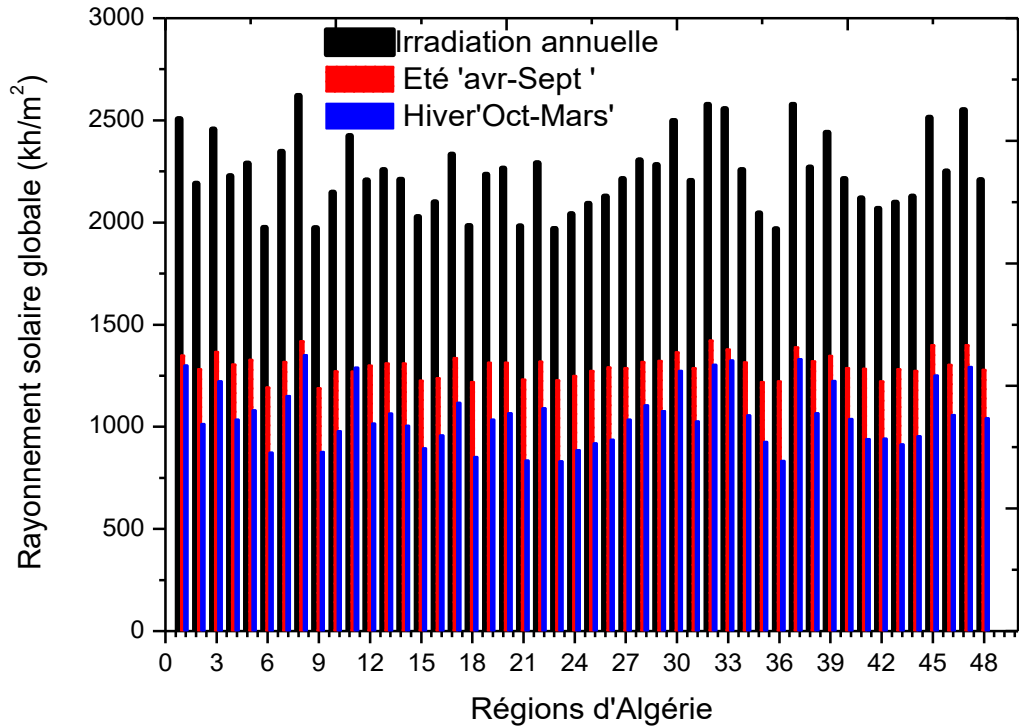
**Tableau 3.2.** Données relatives au rayonnement solaire pour des sites Algérien

### 3.5.3. Analyse des résultats

Dans cette partie, nous présentons les résultats de calcul qui simplifié dans les figures suivante pour toutes les régions de L'Algérie ( 01 : Adrar, 02 : Chlef ....., 48 : Relizane )

### 3.5.2.1. Rayonnement solaire globale

L'énergie globale capturée sur un plan horizontal au rayonnement solaire en été et en hiver et l'irradiation annuelle dans tous les régions de L'Algérie qui sont donnés dans la figure (3.6) suivante :

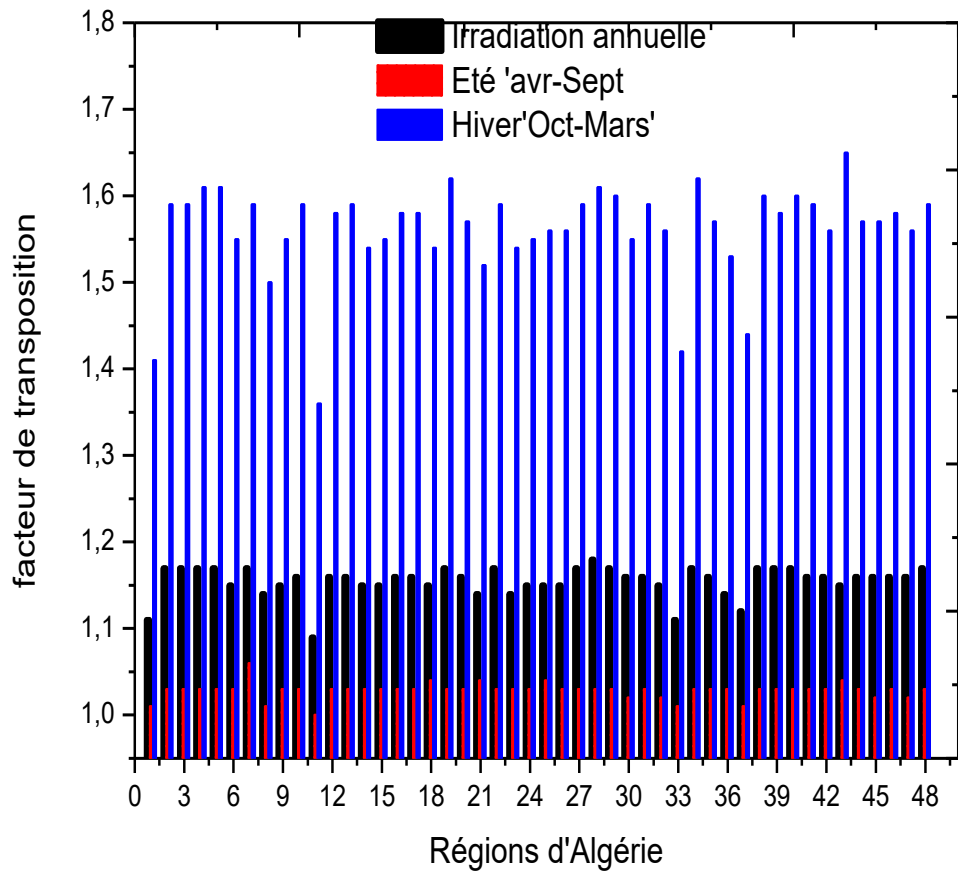


**Figure 3.6.** Rayonnement solaire global des régions d'Algérie

Ont trouve que la région qui capture le plus d'énergie solaire en Algérie est : Bachar (en été et en hiver pendant l'irradiation annuelle) par rapport à toutes les régions, suivie par : El Bayadh, Tindouf, Illizi, puis Ghardai. Cette disposition successive des cinq premières régions en termes d'énergie captée, mais les régions avec le moins de rayonnement solaire globale capturée sont : Annaba et Al-Taraf. D'autre part d'un point de vue énergétique ont trouve que Al-Taraf a moins d'énergie par rapport à Annaba.

### 3.5.2.2. Facteur de transposition

Les valeurs du facteur de transposition du tableau au-dessous ont été calculées par le logiciel PVSYS est transformé dans la figure (3.7) suivante.



**Figure 3.7.** Facteur de transposition des régions d'Algérie

D'après la figure (3.7), on peut le dire que le facteur de transposition tient de compte de l'orientation et de l'inclinaison dans la cours du soleil (sur la journée, sur l'année) et aussi dépend du toit et de la puissance que l'on veut installer.

### 3.6. Application 3 : Cas de la région de M'sila en Algérie

#### 3.6.1. Région de M'sila

La wilaya de M'sila est une wilaya d'Algérie en Afrique du Nord. Elle compte 990 592 habitants sur une superficie de 2 300km<sup>2</sup>. La densité de population de la wilaya de M'sila est donc de 430,8 habitants par km<sup>2</sup>. Le climat semi-aride sec et froide est le climat principal de la wilaya de M'sila.

Les coordonnées géographiques de la région de M'sila se présentent comme suit : 35.7058 degrés de latitude Nord, longitude 4.5419° Est, altitude 494 m et un temps légal horaire TU+1Fus.

### 3.6.2. Présentation de l'habitat a étudié

Après avoir localisé le site, on clique sur le bouton « importer » pour importer les données météorologiques du site dans PVsyst , Vu le prix élevé des modules PV, il est nécessaire de choisir des orientations et inclinaisons favorables à la production d'énergie. Nous avons choisi un plan Incliné fixe par rapport à l'horizontale (10 °, 30 °, 50 °, 70° - échantillons d'étude- ), c'est l'inclinaison optimale donnée par le logiciel PVsyst. Pour faire cette étude, nous présentons sur la figure (3.8) l'estimation moyenne des besoins énergétiques journaliers en Wh/j pour une maison type de notre région.

**Definition of Daily Household consumptions, year**

Consumptions | Hourly distribution |

**Daily consumptions**

Number	Appliance	Power	Daily use	Hourly distrib	Daily energy
10	Lamps (LED or fluo)	18 W/lamp	5.0 h/day	OK	900 Wh
2	TV / PC / Mobile	100 W/app.	5.0 h/day	OK	1000 Wh
1	Appareils domestiques	500 W/app.	4.0 h/day	OK	2000 Wh
2	Frigo / Congélateur	1.20 kWh/day	24.0 h/day	OK	2400 Wh
1	Dish- & Cloth-washers	2.2 W aver.	2.0 h/day	OK	4 Wh
2	VENTILATEUR	1200 W/app.	3.0 h/day	OK	7200 Wh
0		0 W/app.	11.0 h/day		0 Wh
Stand-by consumers		0 W tot	24 h/day		0 Wh
<b>Total daily energy</b>					<b>13504 Wh/day</b>
<b>Total monthly energy</b>					<b>405.1 kWh/month</b>

? Appliances info

**Consumption definition by**

Year ?

Seasons

Months

**Week-end or Weekly use**

Use only during

days in a week

**Figure 3.8.**Besoins d'utilisateur de maison par le PVsyst

En conséquence pour besoins d'utilisateur de maison, nous avons besoin de disponibilité énergétique pendant un jour : 13504 wh , et 405.1 kwh pour le mois.

La figure (3.9), montre définition de la consommation quotidienne du ménage.

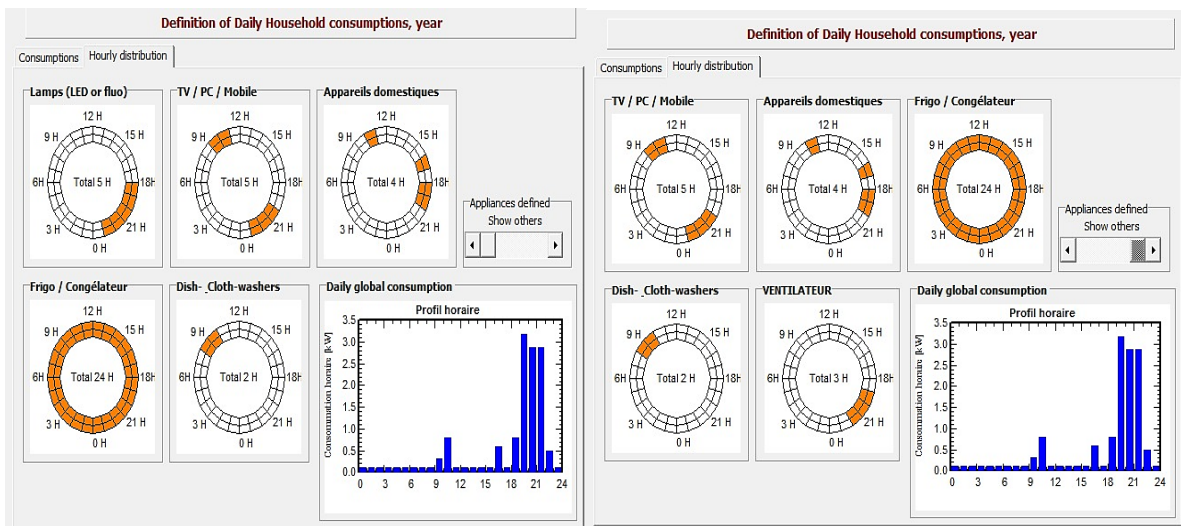


Figure 3.9. Profil horaire de maisons

On a choisi :

- une batterie de 48v et 1350 Ah
- un onduleur ABB.
- le champ PV : 2 ligne parallèle constituant de 6 modules en série pour chaque lignée 400 W / 34 V (technologie Si - mono cristallin) répartis sur une surface de 25m<sup>2</sup>. Comme illustré sur la figure (3.10)

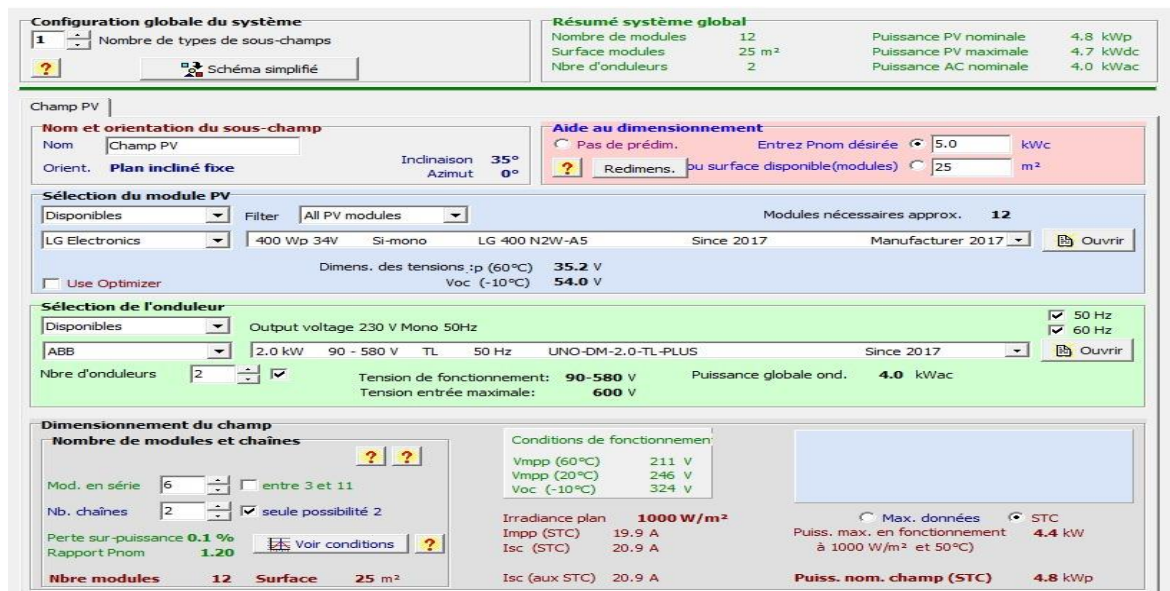
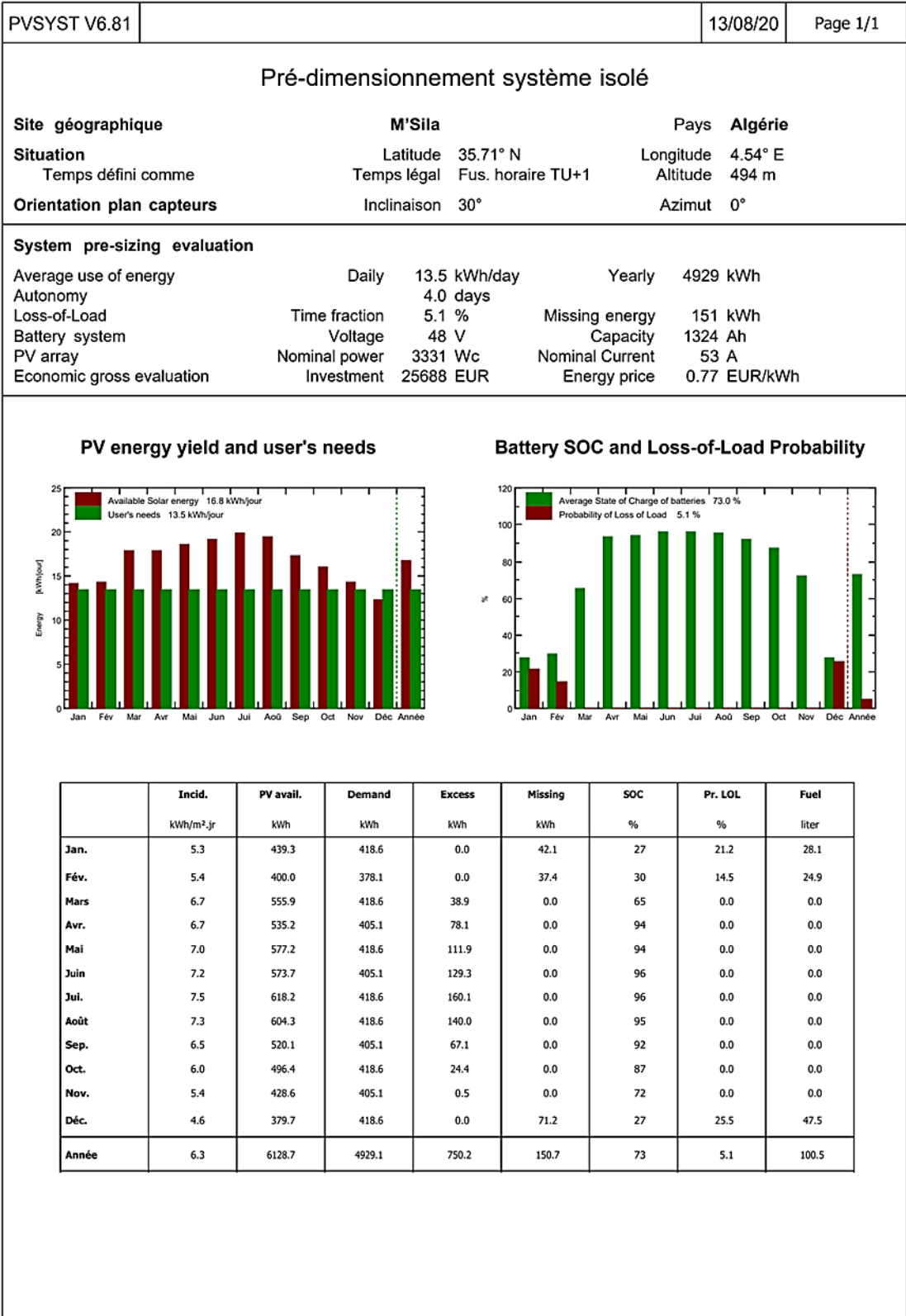


Figure 3.10. Dimensionnement du module PV et l'onduleur

### 3.7. Résultats de simulation





**Figure 3.12.** Paramètres de simulation de l'inclinaison 30°

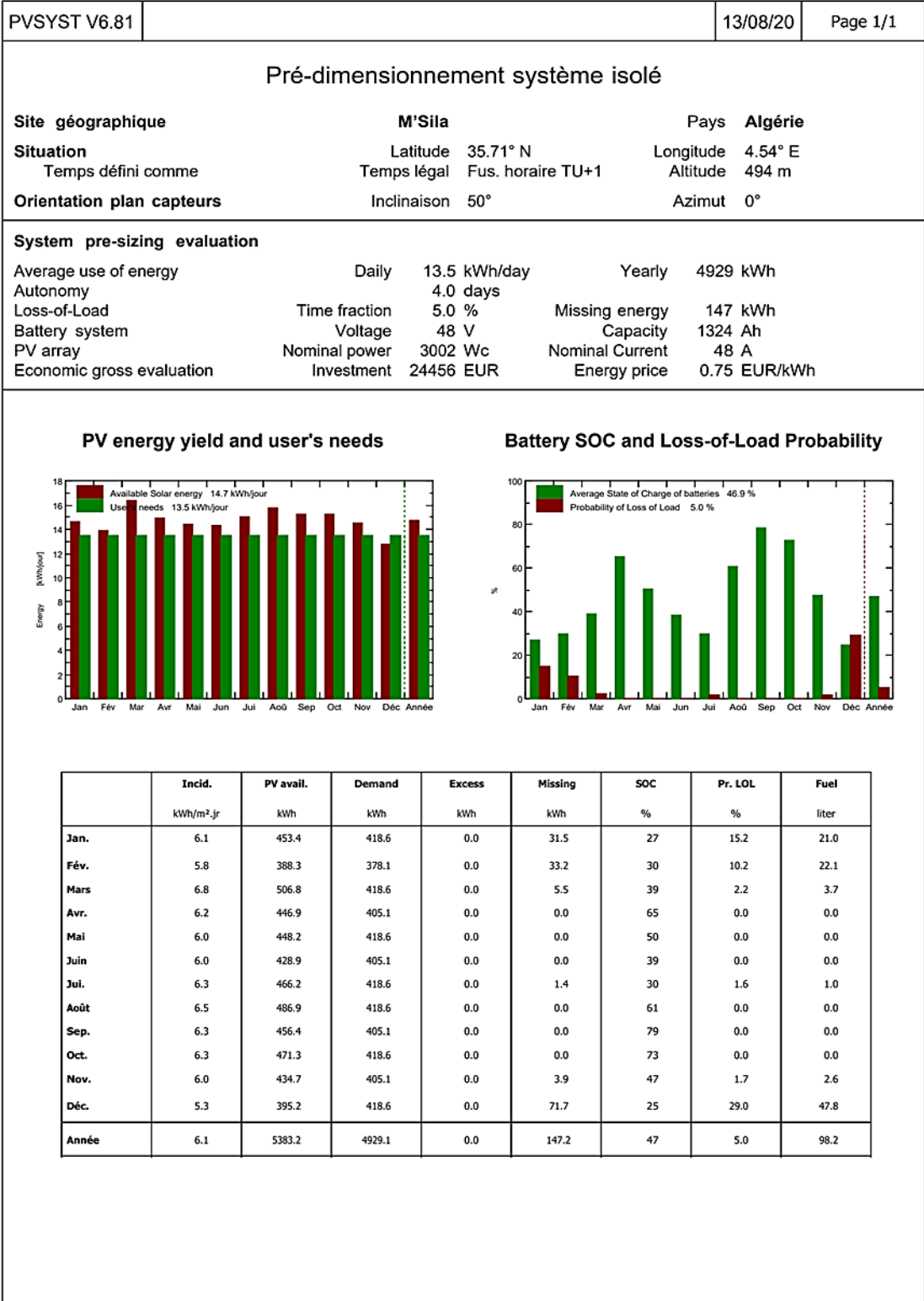


Figure 3.13. Paramètres de simulation de l'inclinaison 50 °

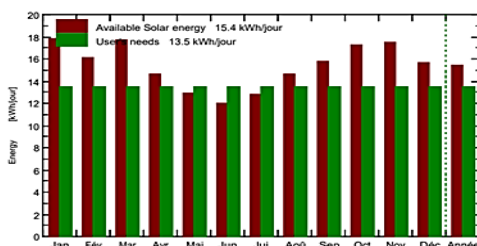
## Pré-dimensionnement système isolé

<b>Site géographique</b>	<b>M'Sila</b>	<b>Pays</b>	<b>Algérie</b>
<b>Situation</b>	Latitude 35.71° N	Longitude	4.54° E
Temps défini comme	Temps légal Fus. horaire TU+1	Altitude	494 m
<b>Orientation plan capteurs</b>	Inclinaison 70°	Azimut	0°

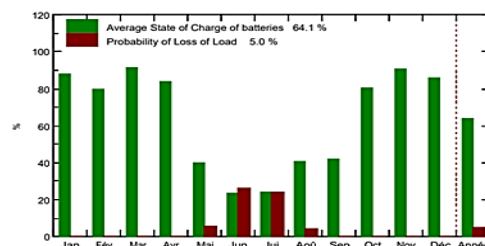
## System pre-sizing evaluation

Average use of energy	Daily	13.5 kWh/day	Yearly	4929 kWh
Autonomy		4.0 days		
Loss-of-Load	Time fraction	5.0 %	Missing energy	147 kWh
Battery system	Voltage	48 V	Capacity	1324 Ah
PV array	Nominal power	3612 Wc	Nominal Current	58 A
Economic gross evaluation	Investment	26715 EUR	Energy price	0.78 EUR/kWh

## PV energy yield and user's needs



## Battery SOC and Loss-of-Load Probability



	Incid.	PV avail.	Demand	Excess	Missing	SOC	Pr. LOL	Fuel
	kWh/m <sup>2</sup> -jr	kWh	kWh	kWh	kWh	%	%	liter
Jan.	6.2	554.4	418.6	64.2	0.0	88	0.0	0.0
Fév.	5.6	450.3	378.1	18.4	0.0	79	0.0	0.0
Mars	6.1	549.9	418.6	73.8	0.0	91	0.0	0.0
Avr.	5.1	439.4	405.1	0.0	0.0	83	0.0	0.0
Mai	4.5	400.1	418.6	0.0	14.6	40	5.8	9.7
Juin	4.2	361.8	405.1	0.0	69.2	24	26.0	46.1
Jui.	4.4	396.4	418.6	0.0	52.5	24	24.3	35.0
Août	5.1	454.6	418.6	0.0	10.8	41	3.9	7.2
Sep.	5.5	475.1	405.1	0.0	0.0	42	0.0	0.0
Oct.	6.0	534.2	418.6	12.3	0.0	80	0.0	0.0
Nov.	6.0	523.7	405.1	57.2	0.0	91	0.0	0.0
Déc.	5.4	487.4	418.6	18.5	0.0	86	0.0	0.0
Année	5.3	5627.2	4929.1	244.6	147.1	64	5.0	98.1

Figure 3.14. Paramètres de simulation de l'inclinaison 70 °

Chaque rapport se compose de trois parties :

- **La première partie** : définit le site géographique (région appliquée M silla) et leur situation et l'orientation plan capteur ( 10°, 30°, 50°, 70° )
- **La deuxième partie** : prend soin système de pré-évaluation :

L'utilisation moyenne d'énergie ( un jour et annuelle ) , l'autonomie , perte de charge ( fraction de temps, énergie manquante) , système de batterie ( Tension , Capacité) , puissance nominale et courant nominale , évaluation économique ( investissement , prix de l'énergie)

- **La troisième partie** : contient un tableau ci-dessous (3.3 et 3.4) qui sont présentés en deux graphes importants :

- Rendement énergétique PV et besoins des utilisateurs - Besoins de l'utilisateur est affiché en vert et il est fixe tout au long de la journée, du mois et pendant toute l'année et l'énergie solaire disponible indiquée en rouge ; varie chaque mois.

**SOC de la batterie** et probabilité de perte de charge L'Etat de charge moyen de batteries en vert, Probabilité de perte de charge en rouge.

**On conclue :**

<b>l'orientation</b>	<b>10 °</b>	<b>30 °</b>	<b>50 °</b>	<b>70 °</b>
l'énergie solaire disponible ( Kwh/ jour)	<b>20.8</b>	<b>16.7</b>	<b>14.8</b>	<b>15.4</b>
Besoins de l'utilisateur ( Kwh/ jour)	<b>13.5</b>	<b>13.5</b>	<b>13.5</b>	<b>13.5</b>

**Tableau 3.3.** Rendement énergétique PV et besoins des utilisateurs

<b>l'orientation</b>	<b>10 °</b>	<b>30 °</b>	<b>50 °</b>	<b>70 °</b>
L'Etat de charge moyen de batteries ( % )	<b>76.2</b>	<b>71.5</b>	<b>47.0</b>	<b>63.5</b>
Probabilité de perte de charge ( % )	<b>5</b>	<b>5.1</b>	<b>4.9</b>	<b>5.00</b>

**Tableau 3.4.** SOC de la batterie et probabilité de perte de charge

On conclue que :

- ✓ L'énergie solaire disponible répond aux besoins de l'utilisateur pour les quatre inclinaisons favorables (10 °, 30 °, 50 °, 70° - échantillons d'étude-), en plus permet également d'économiser la charge de batterie à plus de la moitié au cours de l'année
- ✓ La perte de batterie est estimée à 5 %.

Alors que :

Vous devriez choisir le meilleur l'orientation pour énergie optimale annuelle.

## **Bibliographiques**

- [1] S. MOSTAHSINE, «Etude comparatif de panneaux solaires photovoltaïques à Ifrane», Rapport de licence, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah ( 2015).
- [2] S. BOURAS, Z. DJILAT, « Méthodes de dimensionnement d'un système photovoltaïque, application à la région de M'sila», Mémoire de fin d'étude, Université Mohamed Boudiaf - M'SILA (2019).
- [3] A. BOUZIANE, « Évaluation du rayonnement solaire en Algérie pour des applications photovoltaïques», Mémoire de fin d'étude, Faculté des sciences, Université Mohamed Boudiaf - M'SILA (2015).
- [4] Z. MORDI, I. CHAALAL, «L'importation des panneaux solaires au niveau de la aérodrome de Alger ».Mémoire de Fin d'étude, Université Saad Dahleb, BLIDA1 (2019).

## CONCLUSION

L'utilisation de l'énergie solaire dans des sites isolés ou reliés au réseau pour la production d'énergie présente un intérêt très important, et le système PV est un système générateur d'électricité pour répondre à des besoins énergétiques.

Ce système se compose de plusieurs éléments principalement les modules PV qui représentent le champ de captage des rayons solaires, les batteries qui constituent le champ de stockage de l'énergie produite par les modules, le régulateur qui protège la batterie contre la surcharge ou la décharge profonde, l'onduleur qui assure la conversion du courant continu en courant alternatif et les fils électriques qui assurent la connexion entre différents composants du système.

Le travail présenté dans cette mémoire a porté sur l'angle d'orientation du panneau photovoltaïque et son influence sur l'énergie solaire globale captée en toutes les régions de l'Algérie, on a utilisé le logiciel PVsyst.

Nous avons présenté des notions fondamentales concernant le principe de l'effet photovoltaïque, le potentiel solaire et les différentes technologies des cellules solaires.

Nous présentons quelques notions indispensables sur le gisement solaire. A savoir les coordonnées géographiques et horizontales et horaires. Nous décrivons ensuite, le mouvement de la terre. Puis, la durée de jour et temps.

Nous avons utilisé le logiciel de simulation « PVsyst » pour l'évaluation de rayonnement solaire global en tous les régions de Algérie et les meilleurs résultats pour les différentes régions sont obtenus pour le site de Bachar (en été et on hiver en plus pendant l'irradiation annuelle) par rapport à toutes les régions avec les pertes par rapport à l'optimum sont : 0 %, et le facteur de transposition tient de compte de l'orientation et de l'inclinaison dans la cours du soleil (sur la journée, sur l'année) et aussi dépend du toit et de la puissance que l'on veut installer.

Nous avons fait une étude par la méthode de simulation via logiciel PVsyst en choisissant une maison située dans la ville de M'sila. Avec nous avons besoin de disponibilité énergétique pendant un jour : 13504 wh , et 405.1 kwh pour le mois.

Finalement, on peut dire que les systèmes PV autonomes peuvent jouer un rôle très important en apportant une solution réellement économique pour couvrir les besoins énergétiques.

## المُلخَص

الطاقة الشمسية هي أهم مصدر للطاقة المتجددة، ان استغلال الطاقة الشمسية في الجزائر هو محور رئيسي للبحوث الذي يعرف تطورا كبيرا خلال العقد الماضي.

العمل المقدم في هذه الأطروحة يتعلق بدراسة تأثير زاوية توجيه اللوحة الكهروضوئية على الطاقة الشمسية المجمعة بواسطة برنامج PVsyst.

الدراسة تمت على كل مناطق الجزائر و خصصنا الدراسة على منطقة المسيلة بعينات من الزوايا لمسكن نموذجي، و الطاقة المجمعة بواسطة خلايا سيلينيوم احادي البلورة ( Si-mono ) خلال هذه الزوايا توفر الطاقة اللازمة لهذا المنزل مع انعدام في الضياعات.

وعليه برنامج PVsyst يمكننا من معرفة اختيار توجيه اللوحة الكهروضوئية الأفضل لالتقاط أعظم طاقة سنويا.

## ABSTRACT

Solar energy is the most important source of renewable energy, hover the exploitation of solar energy in Algeria is a major focus of research who knows a great development over the past decade.

The work presented in this thesis is the studying effect of a photovoltaic panel orientation angle on the collected solar energy by PVsyst software, the study was carried out on all regions of Algeria, we devoted the study to the region of M'sila with samples from the corners of a typical dwelling , and the captured energy was produced by the Si-mono module during these corners for this dwelling with no energy waste.

The software PVsyst enable us to know the choice of the best photovoltaic panel orientation for the annual ideal energy.

## RÉSUMÉ

L'énergie solaire est la source la plus importante d'énergie renouvelable, pour cela l'exploitation de l'énergie solaire en Algérie est un grand axe de recherche qui connait de considérable développement cette dernière décennie.

Le travail présent dans cette mémoire est relatif à l'étude de l'effet de l'angle d'orientation du panneau photovoltaïque sur l'énergie solaire captée par le logiciel de PVsyst.

L'étude a été réalisée sur toutes les régions d'Algérie, nous avons consacré l'étude à la région de M'sila avec des échantillons d'angles pour un logement type. Et l'énergie captée était produite par le module Si-mono, à travers ces angles étudiés fournit l'énergie nécessaire à cette logement sans perte.

Le logiciel PVsyst, nous permet de connaitre le choix de meilleure orientation des panneaux photovoltaïque pour captée d'énergie maximale annuelle.