

N° d'ordre :



جامعة محمد بوضياف - المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'sila
كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie
قسم الإلكترونيك
Département d'Electronique



MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : **BENHAMED Adel**

DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIES

FILIERE : ELECTRONIQUE

**OPTION : Technologie des systèmes électro-énergétiques
de sources d'énergies renouvelables**

Thème

**Contribution à l'établissement de l'Atlas d'Algérie pour
l'estimation des angles optima (inclinaison et azimuth)
pour capteurs solaires photovoltaïques**

Soutenue le : 9 Juin 2015 devant le jury composé de :

| | | |
|---------------------------|---|------------------|
| DRIF Mahmoud | M.A.A - Université Mohamed Boudiaf - M'sila | Président |
| SAIGAA Djamel | Professeur - Université Mohamed Boudiaf - M'sila | Encadreur |
| BOUCHELAGHEM Ahmed | M.A.A - Université Mohamed Boudiaf - M'sila | Examineur |
| DJAZIA Kamel | M.A.A - Université Mohamed Boudiaf - M'sila | Examineur |

Promotion : Juin 2015

Remerciements

Avant tout, nous remercions " **Allah** "le tout puissant de nous avoir donne la force et le courage pour accomplir ce travail. Nos sincères remerciements vont à notre encadreur monsieur **SAIGAA DJAMEL**.

Nous remercions aussi tous nos enseignants de département de ST université de Msila le responsable des électronique et également les techniciennes d'électronique.

Je tiens à remercier également le président de jury ainsi les membres de jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce modeste travail.

Nous remercions aussi .nos familles et nos amis et collègues, à tous ceux qui de près ou de loin qui ont contribué à la réalisation de se travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

- Mes parents.
- Ma petite famille.
- Tous mes amis et proches.
- Toute personne ayant contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail.
- Tous mes très chers amis : Fathi, Mohamed, Abdallah.

Sommaire

| | |
|--|----|
| Introduction générale | 01 |
| CHAPITRE 1 : RAYONNEMENT SOLAIRE ET CAPTEUR SOLAIRE | |
| Introduction..... | 03 |
| 1.1. L'énergie solaire | 03 |
| 1.1.1. Le Soleil..... | 03 |
| 1.1.2. Structure du Soleil..... | 03 |
| Le cœur ou noyau..... | 04 |
| La zone de radiation..... | 04 |
| La zone de convection..... | 04 |
| La photosphère..... | 04 |
| 1.1.3. L'énergie solaire..... | 05 |
| 1.1.4. Distance Terre-Soleil | 05 |
| 1.1.5. Gisement solaire | 05 |
| 1.2. Notion de base sur l'énergie solaire..... | 06 |
| 1.2.1. Paramètres géographiques | 06 |
| A. Longitude | 07 |
| B. Latitude | 07 |
| 1.2.2. Paramètres Astronomiques..... | 07 |
| 1.2.2.1. Coordonnées horaires..... | 07 |
| A. Déclinaison | 07 |
| B. Angle horaire..... | 08 |
| C. L'angle horaire du coucher du soleil | 08 |
| 1.2.2.2. Coordonnées horizontales | 09 |
| A. La hauteur | 09 |
| B. L'azimut | 09 |
| 1.3. Paramètre du temps solaire | 10 |
| 1.3.1. Détermination du temps solaire..... | 10 |

| | |
|---|----|
| 1.3.2. Temps civil..... | 10 |
| 1.3.3. Temps universel | 10 |
| 1.3.4. Temps légal | 10 |
| 1.3.5. Le temps solaire moyen (TSM) | 11 |
| 1.4. Rayonnement solaire | 11 |
| 1.4.1. Constante solaire | 11 |
| 1.4.2. Rayonnement au voisinage du sol | 11 |
| 1.4.3. Rayonnement extraterrestre | 11 |
| 1.4.4. L'indice de clarté | 12 |
| 1.4.5. Répartition du rayonnement solaire..... | 12 |
| 1.4.5.1. Rayonnement direct..... | 12 |
| 1.4.5.2. Rayonnement diffus..... | 12 |
| 1.4.5.3. Rayonnement réfléchi (Albédo)..... | 13 |
| 1.5. CAPTEURS SOLAIRES..... | 13 |
| 1.5.1. Définition : | 14 |
| 1.5.2. Types de capteurs solaires..... | 14 |
| 1.5.3. La cellule solaire..... | 14 |
| 1.5.3.1. Définition..... | 14 |
| 1.5.3.2 .Principe de fonctionnement..... | 14 |
| 1.5.3.3 Constitution dune cellule photovoltaïque..... | 15 |
| 1.5.4. La cellule photovoltaïque : | 16 |
| 1.5.4.1. Présentation..... | 17 |
| 1.5.5. Panneau solaire (Générateur Photovoltaïque)..... | 17 |
| 1.5.5.1. Caractéristiques d'un module | 18 |
| 1.6. Conclusion..... | 18 |

CHAPITRE 2 : METHODES D'ESTIMATION DU RAYONNEMENT

| | |
|---|----|
| Introduction..... | 21 |
| 2.1 Atmosphère..... | 21 |
| 2.2 Masse atmosphérique | 22 |
| 2.3 L'extinction atmosphérique du rayonnement solaire | 23 |
| 2.4 Rayonnement solaire au sol | 24 |

| | |
|--|----|
| 2.4.1 Le rayonnement direct | 24 |
| 2.4.2 Le rayonnement diffus | 24 |
| 2.4.3 Le rayonnement réfléchi | 24 |
| 2.4.4 Le rayonnement Global | 25 |
| 2.4.4.1 Rayonnement Global sur une surface horizontale..... | 25 |
| 2.4.4.2 Le rayonnement Global sur une surface inclinée | 26 |
| 2.5 Etude des modèles statistiques du rayonnement global..... | 26 |
| 2.5 Estimation du Rayonnement solaire sur une surface | 26 |
| 2.5.1 Estimations du rayonnement direct..... | 27 |
| 2.5.2. Modèles pour l'estimation du rayonnement diffus du ciel | 27 |
| 2.5.2.1 Modèles de Première génération | 27 |
| a. Modèle isotrope..... | 28 |
| b. Modèle circumsolaire | 28 |
| 2.5.2.2 Modèles de la seconde génération..... | 28 |
| a. Modèle Temps-Coulson | 28 |
| b. Modèle de Klucher..... | 29 |
| c. Modèle de Hay..... | 29 |
| d. Modèle de Reindl | 29 |
| 2.5.2.3 Modèles de troisième génération | 30 |
| a. Modèle de Gueymard..... | 30 |
| b. Modèle de Perez | 31 |
| 2.5.3 Rayonnement Réfléchi | 33 |
| 2.5.4 Rayonnement Global | 33 |
| 2.6 Conclusion | 33 |

CHAPITRE 3 : RESULTATS EXPERIMENTAUX D'ESTIMATION DU RAYONNEMENT SOLAIRE AU SOL

| | |
|--|----|
| Introduction..... | 34 |
| 3.1. Schémas bloc de l'organigramme d'estimation du rayonnement solaire..... | 34 |
| 3.1.1 Estimation des irradiances directe et diffuse horizontales journalières moyennes mensuelles à partir de la valeur mensuelle de l'irradiation globale journalière horizontale... | 36 |
| 3.1.2 Estimation des valeurs des irradiances directe et diffuse en intervalle de ΔT (en minutes) du jour type (représentatif) à partir des valeurs de l'irradiation direct et diffuse horizontales du jour type..... | 37 |

| | |
|---|----|
| 3.1.3 Estimations des valeurs de l'éclairement a partir des irradiances en intervalles de ΔT (en minute)..... | 38 |
| 3.1.4 Estimations de l'évolution temporelle de l'éclairement globale sur une surface arbitrairement orientée et inclinée..... | 39 |
| 3.4.1 Eclairement direct | 39 |
| 3.4.2. Eclairement diffuse..... | 39 |
| 3.4.3. Eclairement réfléchi..... | 40 |
| 3.4.4. Eclairement globale | 40 |
| 3.2. Résultats de simulation | 40 |
| 3.2.1. Etude détaille pour le site de M'Sila..... | 41 |
| 3.2.2 Etude détaille pour le site d'Alger | 46 |
| 3. 2.3 Etude détaillé pour le site d'Adrar | 50 |
| 3. 2.4 irradiation pour le site d'Oran | 54 |
| 3.2.5 irradiation pour le site d'Annaba..... | 55 |
| 3. 2.6 irradiation pour le site de Bordj Bou Arreridj | 55 |
| 3. 2.7 irradiation pour le site de Sétif | 56 |
| 3. 2.8 irradiation pour le site d'Illizi..... | 56 |
| 3. 2.9 irradiation pour le site de Tamanrasset..... | 57 |
| 3. 2.10 irradiation pour le site de Tindouf..... | 57 |
| 3.3. Conclusion.....; | 58 |
| Conclusion général..... | 59 |
| Bibliographie | |
| Annexe | |

LISTE DES FIGURES

| | |
|---|----|
| Figure 1.1 : Structure du soleil en coupe..... | 04 |
| Figure 1.2 : Moyenne annuelle de l'énergie reçue en Algérie..... | 06 |
| Figure 1.3 : Coordonnées terrestre d'un lieu..... | 07 |
| Figure 1.4 : Coordonnées horaires..... | 09 |
| Figure 1.5 : Cordonnés horizontales..... | 10 |
| Figure 1.6. Rayonnement global sur une surface inclinée composé du rayonnement direct (facteur Rb), du rayonnement diffusé (facteur Rd) et du réfléchi (facteur R)..... | 13 |
| Figure 1.7 : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque..... | 14 |
| Figure 1.8 : Caractéristique courant-tension d'une cellule PV..... | 15 |
| Figure 1.9. Module photovoltaïque..... | 17 |
| Figure 2.1. Couches de l'atmosphère..... | 22 |
| Figure 2.2 .Trajet du Rayonnement solaire..... | 23 |
| Figure 2.3. Eclairement spectral du rayonnement solaire..... | 23 |
| Figure 2.4. Rayonnement Diffus | 24 |
| Figure 2.5. Rayonnement Global | 26 |
| Figure 2.6. Le rayonnement direct sur une surface inclinée..... | 27 |
| Figure3.1. Organigramme d'estimation du rayonnement solaire au sol sur un capteur plan..... | 35 |

LISTE DES TABLEAUX :

| | |
|--|----|
| Tableau 2.1 : Valeurs typiques de L'albédo du sol..... | 25 |
| Tableau 2.2. Coefficients Fij de Perez..... | 33 |
| Tableau 3.1 coordonnées des sites algériens utilisés..... | 41 |
| Tableau 3.2 l'irradiation global mensuelle horizontal pour quelques sites algériens en (wh/m ²)..... | 41 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|---|----|
| Figure 1.1 : Structure du soleil en coupe..... | 04 |
| Figure 1.2 : Moyenne annuelle de l'énergie reçue en Algérie..... | 06 |
| Figure 1.3 : Coordonnées terrestre d'un lieu..... | 07 |
| Figure 1.4 : Coordonnées horaires..... | 09 |
| Figure 1.5 : Cordonnés horizontales..... | 10 |
| Figure 1.6. Rayonnement global sur une surface inclinée composé du rayonnement direct (facteur Rb), du rayonnement diffusé (facteur Rd) et du réfléchi (facteur R)..... | 13 |
| Figure 1.7 : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque..... | 14 |
| Figure 1.8 : Caractéristique courant-tension d'une cellule PV..... | 15 |
| Figure 1.9. Module photovoltaïque..... | 17 |
| Figure 2.1. Couches de l'atmosphère..... | 22 |
| Figure 2.2 .Trajet du Rayonnement solaire..... | 23 |
| Figure 2.3. Eclairement spectral du rayonnement solaire..... | 23 |
| Figure 2.4. Rayonnement Diffus | 24 |
| Figure 2.5. Rayonnement Global | 26 |
| Figure 2.6. Le rayonnement direct sur une surface inclinée..... | 27 |
| Figure3.1. Organigramme d'estimation du rayonnement solaire au sol sur un capteur plan..... | 35 |

LISTE DES TABLEAUX :

| | |
|--|----|
| Tableau 2.1 : Valeurs typiques de L'albédo du sol..... | 25 |
| Tableau 2.2. Coefficients Fij de Perez..... | 33 |
| Tableau 3.1 coordonnées des sites algériens utilisés..... | 41 |
| Tableau 3.2 l'irradiation global mensuelle horizontal pour quelques sites algériens en (wh/m ²)..... | 41 |

Liste d'abréviation

N_j : est le numéro du jour à partir du 1^{er} janvier

ϕ : la latitude du lieu

$C_s = 1367 \text{ W/m}^2$ est la constante solaire

ε_0 : Le facteur de correction de l'excentricité de l'ordre terrestre

$H_G^m(0)$: l'irradiation globale mensuelle sur un plan horizontal au sol

W_{sr} : l'angle horaire du lever du soleil

H_0^j : L'irradiation extraterrestre le long d'une journée

H_0^m : L'irradiation extraterrestre moyennant mensuelle

K_t : l'indice de claret

K_d : fraction diffuse

r_d : diffus horaire/ diffuse journalière

r_g : globale horaire/ globale journalière

$H_D^{\Delta t}(0)$: l'irradiation diffuse horizontale en intervalle de Δt

$H_B^{\Delta t}(0)$: l'irradiation direct horizontale en intervalle de Δt

$H_G^{\Delta t}(0)$: l'irradiation globale horizontale en intervalle de Δt

$H_D^m(0)$: l'irradiation moyenne mensuelle diffuse horizontale

$H_B^m(0)$: l'irradiation moyenne mensuelle directe horizontale

$G_B(\alpha, \beta)$: L'éclairement direct

$G_D(\alpha, \beta)$: L'éclairement diffus

$G_R(\alpha, \beta)$: L'éclairement réfléchi

$G(\alpha, \beta)$: L'éclairement global

α : Azimut

β : inclinaison

δ : déclinaison solaire

wsr : angle horaire du lever du soleil

LISTE D'ABREVIATION

T.S.V : Temps solaire vrai.

C.S : Constant solaire.

Chapitre 1

Rayonnement solaire et capteur solaire

Introduction

Le soleil est la source essentielle de tout rayonnement reçu par la terre, ce dernier lui procure l'énergie, la chaleur et la lumière qui sont nécessaires à toute forme de vie. La connaissance de la trajectoire du soleil et sa position en chaque point du ciel et la distance terre-soleil sont nécessaires quand à la détermination de la quantité du rayonnement extraterrestre et la durée du jour.

1.1. L'ENERGIE SOLAIRE

1.1.1. Le Soleil

Le soleil reste jusqu'à présent la plus importante source d'énergie malgré la distance considérable qui le sépare de la terre ($150 * 10^6$ km). La puissance émise par le soleil sous forme de rayonnement est estimée à $90 * 10^{15}$ GW, alors que la couche terrestre n'arrive à recevoir que $180 * 10^6$ GW. Avant d'arriver à la terre, le rayonnement solaire subit de considérables modifications, dues principalement aux phénomènes d'absorption et de diffusion. Aussi, on introduit la notion de l'éclairement qui est la densité de puissance reçue par une surface soumise à un flux lumineux, dans les conditions atmosphériques optimales. Cette densité de puissance atteint 1 kW/m^2 pour un site situé au niveau de la mer [3]

Cette énergie est disponible en abondance sur toute la surface terrestre, et ce, malgré une atténuation importante à la traversée de l'atmosphère ; la quantité qui reste est encore assez importante, quand elle arrive au sol. On peut ainsi compter sur 1000 W/m^2 crête dans les zones tempérées et jusqu' à 1200 W/m^2 lorsque l'atmosphère est faiblement polluée [4]

1.1.2. Structure du Soleil

Le soleil n'est pas une sphère homogène il est composé de plusieurs zones selon la figure (1.1). Ces zones sont :

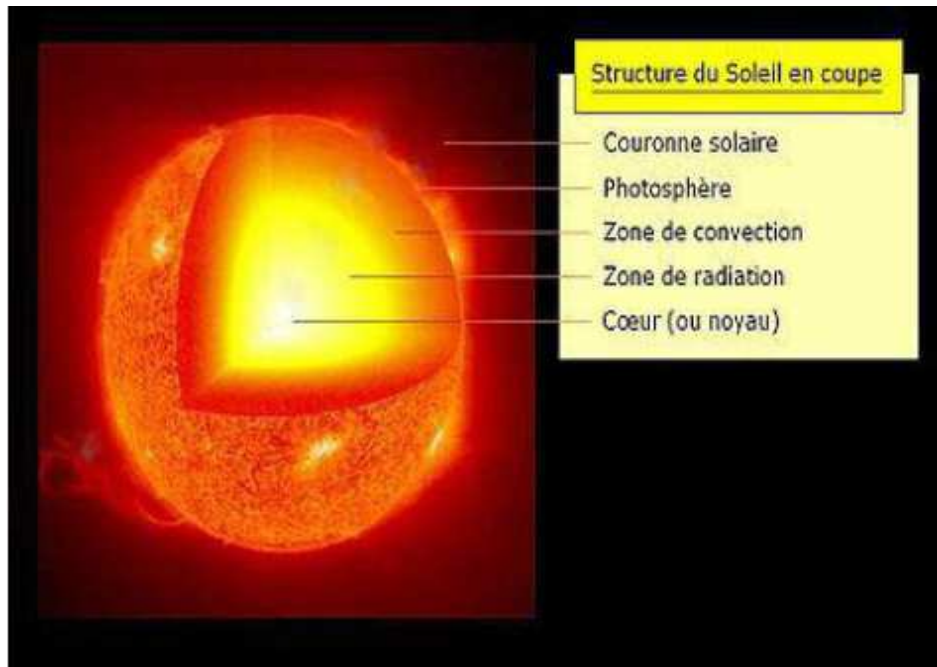


Figure 1.1. Structure du soleil en coupe[5]

✓ **Le cœur ou noyau**

Le cœur est la seule partie du soleil qui produise une quantité notable de chaleur par fusion, le reste de l'étoile tire sa chaleur uniquement de l'énergie provenant du cœur. La totalité de l'énergie produite dans le cœur doit traverser de nombreuses couches successives jusqu'à la photosphère, avant de s'échapper dans l'espace sous forme de rayonnement solaire ou de flux de particules.

✓ **La zone de radiation**

La zone de radiation ou zone radiative. La matière solaire y est si chaude et si dense que le transfert de la chaleur du cœur vers les couches les plus extérieures se fait par la seule radiation thermique.

✓ **La zone de convection**

Dans la zone de convection la matière n'est plus ni assez dense ni assez chaude pour évacuer la chaleur par radiation : c'est donc par convection, selon un mouvement vertical, que la chaleur est conduite vers la photosphère. La température y passe de 2 millions à 6000 kelvins

✓ **La photosphère**

La photosphère est la partie visible de la surface du Soleil. En dessous d'elle, le Soleil devient opaque à la lumière visible. Au-delà de la photosphère, la lumière visible est libre de se propager dans l'espace, et son énergie de s'échapper entièrement du soleil.

La lumière solaire y a approximativement le spectre électromagnétique d'un corps noir (ce qui permet d'estimer sa température à 6000 kelvins, soit 5727 degrés Celsius).

1.1.3 Energie solaire

L'énergie solaire est l'énergie que dispense le soleil dans son rayonnement, direct ou diffus. Sur terre grâce à divers procédés elle peut être transformée en une autre forme d'énergie utile pour l'activité humaine, notamment en chaleur, en électricité ou en biomasse. Par extension, l'expression « énergie solaire » est souvent employée pour désigner l'électricité ou l'énergie thermique obtenue à partir de cette dernière.

1.1.4 Distance Terre-Soleil

Le soleil est situé à une distance moyenne de 149 598 000 km de la terre .Cette distance varie peu au cours de l'année (+/- 1.65 %) car l'excentricité de l'orbite terrestre est peu accentuée ($e = 0.017$), d'où la terre suit une révolution elliptique autour du soleil (en réalité elle est légèrement circulaire) .La période de révolution est définie a une année .L'angle entre l'axe de rotation de la terre et le plan écliptique est de 66.55° , ce qui donne un angle de 23.45° entre L'équateur et le plan de l'écliptique

1.1.5 Gisement solaire

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée.

Il est utilisé pour déterminer l'énergie reçue par un système énergétique solaire et aide au dimensionnement le plus exact possible compte tenu des demandes à satisfaire.

La connaissance du gisement solaire d'une région est plus ou moins précise :

- ❖ Selon la densité des stations pour lesquelles on a des données.
- ❖ Selon le nombre d'années de mesures disponibles.
- ❖ Selon le pas de temps des données (mois, jour, heure).
- ❖ Selon la nature des données : durée d'ensoleillement, composante directe, diffuse et globale du rayonnement solaire, albédo du sol ...etc.

A cet effet, concernant la mesure du rayonnement solaire en Algérie, le réseau de mesures est peu dense relativement à la superficie du territoire. En effet, seules sept stations météorologiques sur la soixantaine que compte le réseau de l'office national de la météorologie assurent la mesure des composantes diffuse et globale du rayonnement solaire reçu sur le plan horizontal.

Pour pallier aux insuffisances des réseaux de mesures, des modèles sont proposés, ils sont basés essentiellement sur l'utilisation des données météorologiques en particulier la durée d'insolation. Les différentes irradiances solaires utilisées par les concepteurs de systèmes solaires sont :

- ❖ L'irradiation directe à incidence normale.
- ❖ Les irradiances de base, la composante diffuse et la composante globale mesurées sur plan horizontal.
- ❖ L'irradiation solaire globale reçue sur des plans verticaux orientés Est, Ouest et Sud.
- ❖ L'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné à la latitude du lieu et orienté Sud.

La distribution de l'énergie reçue en Algérie, en moyenne annuelle, est donnée par la figure (figure 1.2). Elle présente les différents niveaux énergétiques qui donnent ainsi un découpage du pays en régions iso énergétiques.

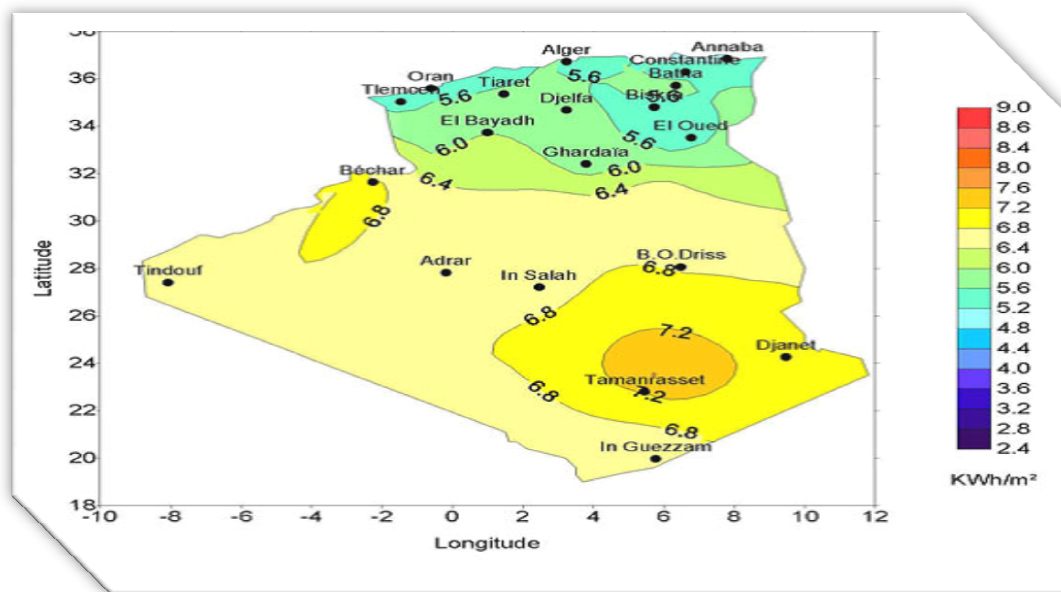


Figure 1.2. Moyenne annuelle de l'énergie reçue en Algérie. [6]

1.2. Notions de base sur l'énergie solaire

Certains principes fondamentaux de génie énergétique solaire doivent être définis et notamment les détails de calcul de certaines variables utilisées ultérieurement.

1.2.1. Paramètres géographiques

Un point sur la surface de la terre est repéré par deux coordonnées angulaires : la latitude et la longitude.

A. Longitude

L'origine des longitudes (L) est Greenwich en Angleterre : 0° . Les lieux situés à l'Est sont comptés positivement avec le signe plus (+) et ceux situés à l'Ouest sont comptés négativement avec le signe moins (-). L'arc de cercle qui joint le pôle Nord, Greenwich et le pôle sud est la méridienne origine. Il existe 24 méridiens séparés chacun de 15° ($24 \times 15 = 360^\circ$).

B. Latitude

La latitude (φ) permet de repérer la distance angulaire d'un point quelconque à l'équateur. Elle varie de 0° (équateur) à $+90^\circ$ pour l'hémisphère Nord et de 0° (équateur) à -90° pour l'hémisphère Sud.

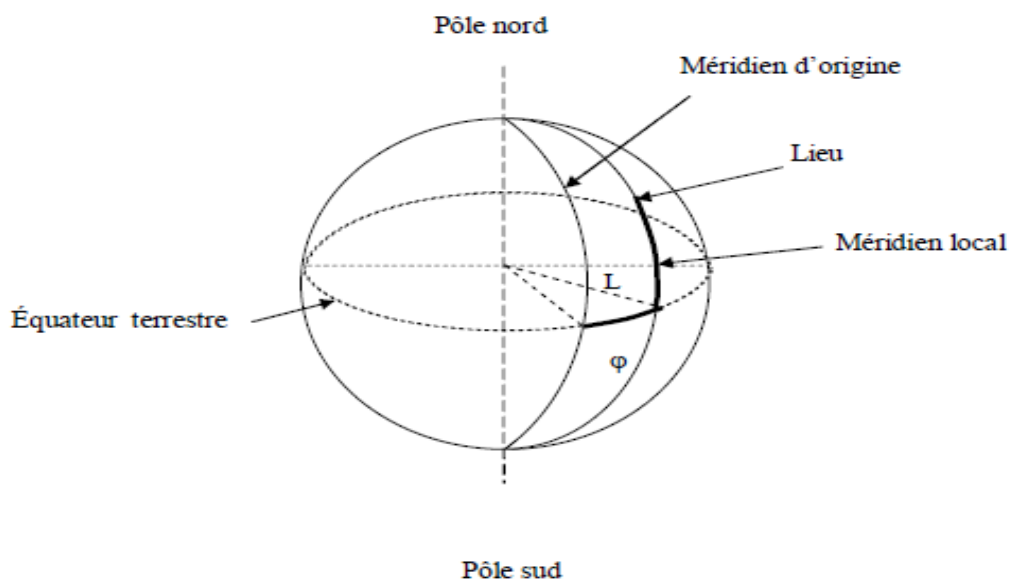


Figure 1.3. Coordonnées terrestre d'un lieu

1.2.2. Paramètres Astronomiques

1.2.2.1. Coordonnées horaires

A. Déclinaison

La déclinaison du soleil δ est l'angle que fait, la direction du soleil avec le plan équatorial de la terre. La déclinaison varie de $-23^\circ,45$ au solstice d'hiver à $+23^\circ,45$

au solstice d'été et elle est nulle aux équinoxes. La déclinaison solaire est bien représentée par la formule suivante:

$$\delta(^{\circ})=23.45*\sin((360/365)(N_j + 284)) \quad (1.1)$$

N_j : est le numéro de jour à partir du 1^{er} janvier

La déclinaison varie entre -23.45° le 21 Décembre et 23.45° le 21 juin.

B. Angle horaire

L'angle horaire (ω) étant l'angle formé par le plan méridien passant par le centre du soleil et le plan vertical du lieu (méridien). Il définit le vrai temps solaire (figure 1.4). Cet angle est donné par :

$$\omega = 15(TSV - 12) \quad (1.2)$$

Il est midi TSV si $\omega = 0$ (lorsque le soleil passe au plan méridien du lieu).

$$\omega = 90^{\circ} \text{ à } 18 \text{ h (TSV)}$$

$$\omega = -90^{\circ} \text{ à } 06 \text{ h (TSV)}$$

La valeur de l'angle horaire est nulle à midi solaire, négative le matin, positive en après-midi et augmente de 15° par heure (un tour de 360° en 24 heures). Une heure de temps est égale à 15° en angle horaire.

C. Angle horaire du coucher du soleil

L'angle horaire du coucher du soleil (ω_{ss}) est l'angle horaire solaire correspondant à l'heure où le soleil se couche ; il est donné par l'équation suivante [7] :

$$\cos(\omega_{ss}) = \tan(\varphi) \tan(\delta) \quad (1.3)$$

Où

δ : est la déclinaison.

φ : est la latitude du lieu.

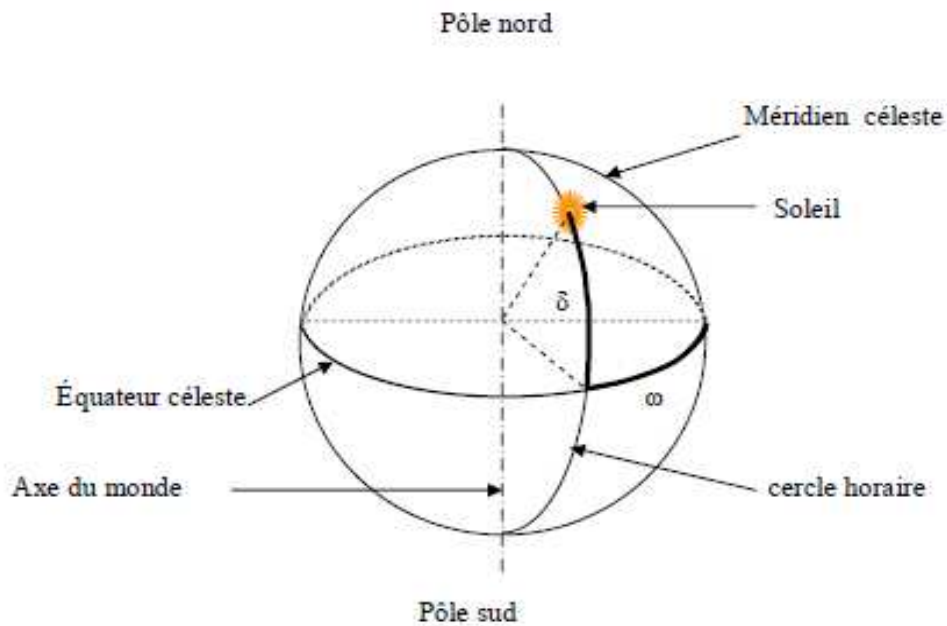


Figure 1.4. Coordonnées horaires

1.2.2.2. Coordonnées horizontales

A. La hauteur

La hauteur (h) du soleil est l'angle entre la direction du soleil et sa projection sur le plan équatorial. Il est compté positivement de 0 à $+90^\circ$ vers le zénith et négativement de 0 à -90° vers le nadir.

B. L'azimut

L'azimut (a) est l'angle formé sur l'horizon du lieu entre la direction du soleil et la direction du sud. On peut le compter positivement de 0 à $+180^\circ$ vers l'ouest et négativement de 0 à -180° vers l'est (figure (1.5)).

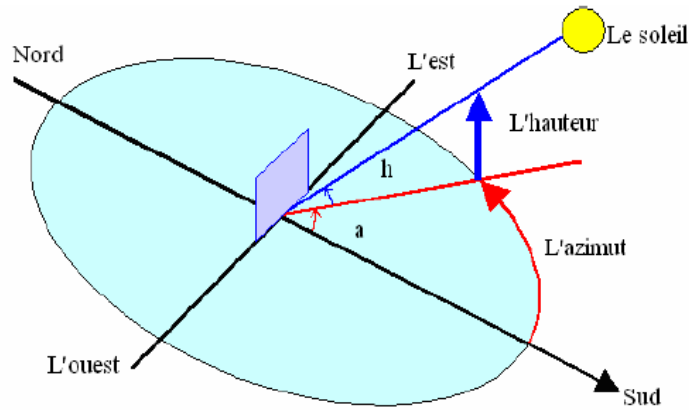


Figure 1.5. Cordonnés horizontales

1.3. Paramètre du temps solaire

1.3.1. Détermination du temps solaire

L'heure solaire est l'heure basée sur le mouvement du soleil dans le ciel. Le midi solaire correspond au moment où le soleil est le plus haut dans le ciel, ce moment est généralement décalé par rapport au midi de l'heure légale [8].

1.3.2. Temps civil

C'est le temps moyen avec comme origine minuit.

1.3.3. Temps universel (T_U)

C'est le temps civil moyen du méridien de Greenwich (méridien origine) appelé encore GMT (Greenwich Mean Time) pour un lieu situé à la longitude « L » ce temps est donné par la relation suivante :

$$T_U = T_{SM} - \left(\frac{L}{15} \right) \quad (1.4)$$

Où T_{SM} est le Temps Solaire Moyen.

1.3.4. Temps légal

C'est l'heure liée au « T_U » par une différence fixe exprimée en un nombre entier d'heure qui dépend de la longitude et des coutumes de chaque pays.

1.3.5. Le temps solaire moyen (TSM)

Ce temps appelé par fois temps local il est donné par la relation suivante [8] :

$$T_{SM} = T_{SV} - E \quad (1.5)$$

Où E est l'équation du temps (min). Elle est donnée par la relation suivante :

$$Et = 9,87 \sin(2n) - 7,53 \cos(n) - 1,5 \sin(n) \quad (1.6)$$

Avec,

$$n = \frac{360}{365} (N_j - 81) \quad (1.7)$$

Et N_j : numéro du jour dans l'année.

1.4. Rayonnement solaire

1.4.1. Constante solaire

L'énergie totale que le soleil envoie à la limite de l'atmosphère terrestre sur une surface de 1m^2 placée perpendiculairement au rayonnement est appelée « constante solaire ». Elle est indépendante des conditions météorologiques, mais dépend de la distance Terre-Soleil. Cette distance variant quelque peu au cours de l'année, compte tenu de la légère excentricité de l'orbite terrestre. La valeur moyenne de la constante solaire est : $C_s = 1367 \text{ W/m}^2$ [10].

1.4.2. Rayonnement au voisinage du sol

On est intéressé du point de vue utilisation de l'énergie solaire par celle reçue au voisinage du sol qu'à la limite de l'atmosphère terrestre. Le rayonnement solaire arrivant au sol se compose du rayonnement direct et du rayonnement diffus et dont l'ensemble donne le rayonnement global.

1.4.3. Rayonnement extraterrestre :

Le rayonnement extraterrestre est le rayonnement solaire avant qu'il n'atteigne la couche atmosphérique terrestre. Le rayonnement extraterrestre sur une surface horizontale peut être calculé pour un jour précis n de l'année par l'équation suivante [7] :

$$H_0 = \frac{24}{\pi} 3600 C_s \left(1 + 0,033 \cos \left(\frac{360 N_j}{365} \right) \right) \left(\cos \varphi \cos \delta \sin \omega_{SS} + \left(\omega_{SS} \frac{\pi}{180} \right) \sin \varphi \sin \delta \right) \text{ J/m}^2 \quad (1.8)$$

Où :

C_s : est la constante solaire égale 1367 W/m^2 .

φ : la Latitude.

δ : la déclinaison.

ω_{SS} : l'angle horaire du coucher du soleil.

Avant d'atteindre le sol, le rayonnement solaire est atténué par l'atmosphère terrestre et les nuages. Le rapport entre le rayonnement au sol et le rayonnement extraterrestre est appelé indice de clarté

1.4.4. L'indice de clarté

La moyenne mensuelle de l'indice de clarté \bar{K}_T est définie par : [7]

$$\bar{K}_T = \frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} \quad (1.9)$$

\bar{H} : est la moyenne mensuelle du rayonnement quotidien sur une surface horizontale au niveau du sol.

\bar{H}_0 : est la moyenne mensuelle du rayonnement extraterrestre sur une surface horizontale au-dessus de l'atmosphère.

Les valeurs de \bar{K}_T varient selon les endroits et les saisons et se situent généralement entre 0.3 pour les endroits nuageux et 0.8 pour les endroits très ensoleillés.

1.4.5. Répartition du rayonnement solaire

Au niveau du sol le rayonnement global reçu par une surface plane d'inclinaison quelconque est constitué de trois composantes principales (figure 1.6).

1.4.5.1. Rayonnement direct

Flux solaire sous forme de rayons parallèles provenant du disque soleil sans avoir été dispersé par l'atmosphère [9].

1.4.5.2. Rayonnement diffus

C'est la partie du rayonnement provenant du soleil, ayant subi multiples réflexions (dispersions), dans l'atmosphère [9].

1.4.5.3. Rayonnement réfléchi (Albédo) :

C'est la partie de l'éclairement solaire réfléchi par le sol, ce rayonnement dépend directement de la nature du sol (neige, sable...). Il se caractérise par un coefficient propre de la nature de la surface appelé Albédo (ε) $0 \leq \varepsilon \leq 1$ [11].

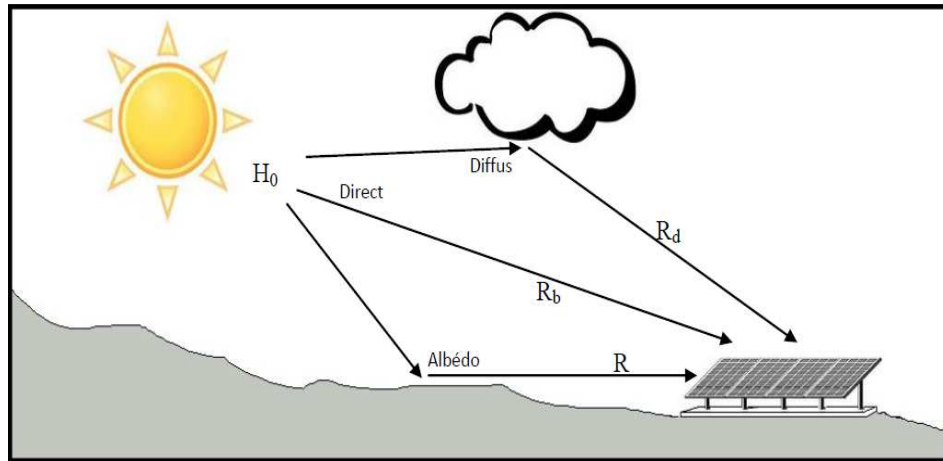


Figure 1.6. Rayonnement global sur une surface inclinée composé du rayonnement direct (facteur R_b), du rayonnement diffus (facteur R_d) et du réfléchi (facteur R).

1.5. CAPTEURS SOLAIRES

1.5.1. Définition :

Un capteur solaire est défini comme tout système recevant l'énergie solaire est la transformant en une énergie utile.

1.5.2. Types de capteurs solaires

Il existe non seulement plusieurs manières différentes de fournir de l'énergie solaire, mais également différentes méthodes pour capter l'énergie solaire provenant d'un rayonnement incident. Principalement il y a 2 types de capteurs solaires [12].

- ✓ Les capteurs solaires photovoltaïques qui transforment l'énergie lumineuse en énergie électrique. L'effet photovoltaïque constitue la conversion directe de l'énergie du rayonnement solaire en énergie électrique.
- ✓ Les capteurs solaires thermiques qui transforment l'énergie lumineuse en énergie thermique, un capteur solaire thermique est un dispositif destiné à absorber le rayonnement solaire et à Transmettre la chaleur ainsi produite à un fluide caloporteur.

Dans notre travail on s'intéresse beaucoup plus aux capteurs solaires photovoltaïques constitués à base de la cellule solaire.

1.5.3. La cellule solaire

1.5.3.1. Définition

La cellule solaire ou photovoltaïque est composée d'un matériau semi-conducteur qui absorbe l'énergie lumineuse et la transforme directement en courant électrique.

Le principe de fonctionnement de cette cellule fait appel aux propriétés du rayonnement et celles des semi-conducteurs

1.5.3.2 .Principe de fonctionnement

L'absorption d'un photon par un semi-conducteur donne naissance à une paire d'électron trou lorsque son énergie est supérieure à celle de la largeur de la bande interdite du matériau. Le champ électrique interne à la jonction, entraîne alors le trou vers la région P et l'électron vers la région N.

Par dopage du semi conducteur de région de type P et de type N ; la cellule Solaire est donc une jonction P-N avec des diverses parties représentées sur le Schéma de la figure(1.7) :

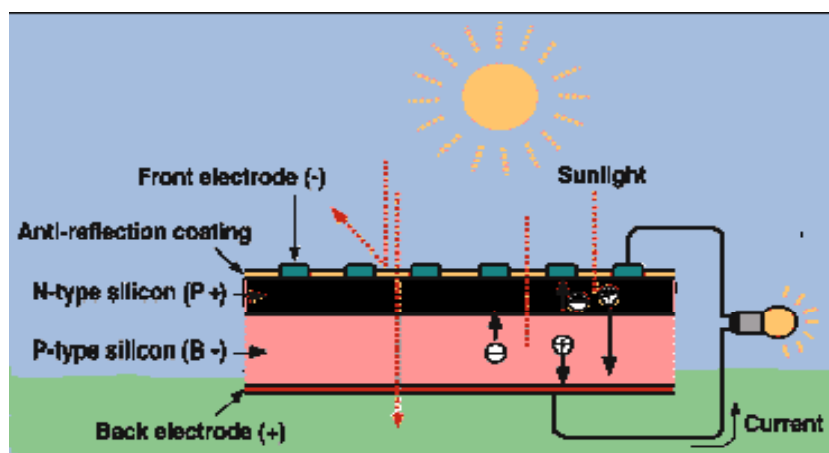


Figure 1.7 : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Lorsqu'un photon vient frapper la zone de transition, il arrache un électron à l'atome de silicium qui va se déplacer du côté N. tandis que le « trou » ainsi créé par cet arrachement va se déplacer du côté P. Il apparaît ainsi aux bornes du dispositif, une différence de potentiel. Si on ferme la cellule sur un circuit extérieur, un courant circule. La cellule qui se comporte comme un générateur de courant sensible aux photons (c.à.d. à la lumière), Le défaut principal des cellules solaires reste la limitation de leur rendement. Il est de l'ordre de 16% pour une cellule de silicium monocristallin.

Plusieurs phénomènes entrent en ligne de compte dans cette limitation du rendement, mais les deux principaux sont les suivant :

- Non absorption des photons peu énergétiques (infrarouge),
- Utilisation partielle de l'énergie de photons très énergétiques (proche ultraviolet).

La partie de cette énergie qui n'est pas employée est dissipée dans le matériau sous forme de chaleur.

La caractéristique courant-tension ($I=f(V)$) d'une cellule photovoltaïque peut être représentée par le schéma de la figure (1.8)

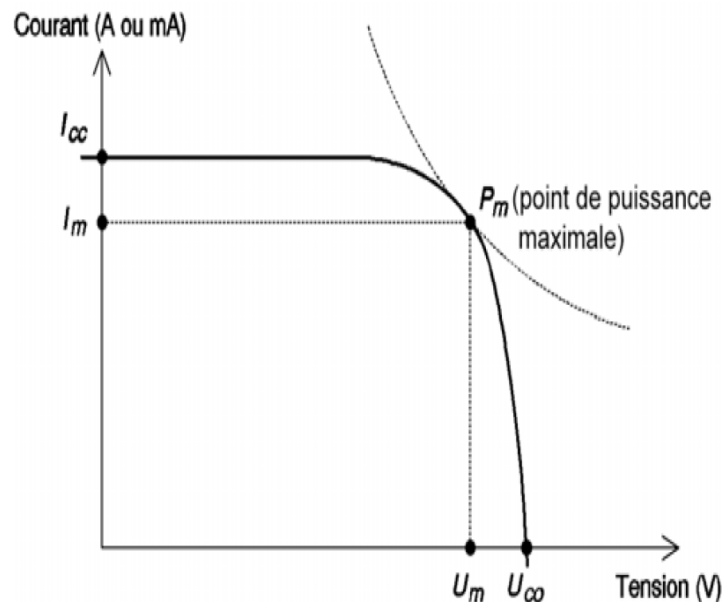


Figure 1.8 : Caractéristique courant-tension d'une cellule PV

1.5.3.3 Constitution d'une cellule photovoltaïque :

Les cellules photovoltaïques sont des composants optoélectroniques qui transforment Directement la lumière solaire en électricité par un processus appelé « effet photovoltaïque », a été découverte par E. Becquerel en 1839 [13].

Elles sont réalisées à l'aide de matériaux semi-conducteurs, c'est à dire ayant des propriétés intermédiaires entre les conducteurs et les isolants. La structure la plus simple d'une cellule photovoltaïque comporte une jonction entre deux zones dopées différemment

du même matériau (homojonction) ou entre deux matériaux différents (hétérojonction). Le but de la structure photovoltaïque, c'est de créer un champ électrique interne.

La configuration de la cellule solaire, Elle se compose d'un abri du verre (g), un encapsulant (e), et un métal en arrière contact (m) afin de réduire les pertes par réflexion du rayonnement incident [14].

La jonction p-n de ces deux matériaux fonctionne comme une diode. Lorsque cette diode est exposée à des photons dont l'énergie ($h\nu$) est supérieure à celle de l'énergie du matériau, appelée l'énergie de bande gap (E_g), le nombre d'électrons libres du semi-conducteur de type-p et celui de trous du semi-conducteur de type-n augmente considérablement. Si les photons incidents ont une énergie inférieure à E_g , ils ne seront pas absorbés c'est-à-dire leurs énergies ne contribuent pas à la conversion photovoltaïque.

1.5.4. Module photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque est une forme d'énergie renouvelable. Elle permet de Produire de l'électricité par transformation d'une partie du rayonnement solaire grâce à une cellule photovoltaïque. Dans une cellule PV, une large fraction de ces électrons et trous atteignent la jonction pn, et un champ électrique est créé. En conséquence, un courant électrique peut être établi en connectant les matériaux de type-n et type-p à un circuit extérieur. La direction de ce courant est l'opposé de celle de la cellule lorsqu'elle fonctionne en tant que diode, autrement dit, quand la diode est illuminée, un courant positif I traverse de n vers p.

La puissance électrique produit par une cellule industrialisée est très faible typiquement de 1 à 3W avec une tension de moins d'un volt [15].Le rendement de conversion des cellules commercialisées atteint actuellement 15 à 19% pour le silicium monocristallin, 12 à 16 % pour le silicium poly cristallin, 7 à 9% pour le Silicium amorphe.

Pour élever la tension, les cellules sont commercialisées sous forme des modules photovoltaïques. Pour produire plus de puissance, les cellules solaires sont assemblées pour former un module figure (I-9-a). Les connections en série de plusieurs cellules augmentent la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle accroît le courant en conservant la tension.

Ces cellules sont protégées de l'humidité par encapsulation dans un polymère EVA (éthyle – vinyle - acétate) figure (I-9-b) 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 [16].

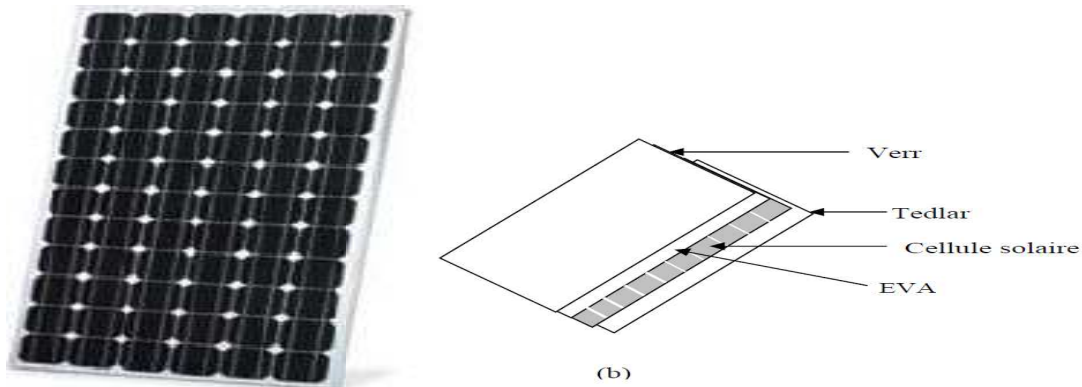


Figure 1.9. Module photovoltaïque

Les modules sont généralement entourés d'un cadre rigide en aluminium anodisé comprenant des trous de fixation.

A l'arrière de chaque module se trouve une boîte de jonction contenant 2 diodes Antiparallèles figure (I-5). Ces diodes antiparallèles permettent d'éviter qu'un module au soleil ne se décharge dans un module à l'ombre [12].

Les modules photovoltaïques assurent les fonctions suivantes :

- Protection des cellules contre les agents atmosphériques
- Protection mécanique et support.
- Connexion électrique entre cellules et avec l'extérieur.

Les modules en silicium mono cristallin (c-Si, 64% de marché), poly cristallin ou multi Cristallin (xc-Si, 28% du marché) ou silicium amorphe (a-Si, 13% du marché), délivrent

Des tensions normalisées (12, 24,48) et des puissances entre 10 et 100 Wc (watt-crête : puissance obtenue pour (l'ensoleillement maximal) [17].

La plupart des modules commercialisés sont composés de 36 cellules en silicium cristallin, le courant de sortie, et la puissance seront proportionnels à la surface du module. Ils ont une efficacité de conversion (énergie électrique produite/énergie solaire incidente) de l'ordre de 10 à 20% .

1.5.4. 1. Caractéristiques d'un module

Les principales caractéristiques d'un module photovoltaïque sont :

- La puissance de crête, P_c : Puissance électrique maximum que peut fournir le module dans les conditions standards (25°C et un éclairement de 1000 W/m^2).
- La caractéristique I/V : Courbe représentant le courant I débité par le module en fonction de la tension aux bornes de celui-ci.
- Tension à vide, V_{c0} : Tension aux bornes du module en l'absence de tout courant, pour Un éclairement " plein soleil ".
- Courant de court-circuit, I_{cc} : Courant débité par un module en court-circuit pour un Éclairement " plein soleil ".
- Point de fonctionnement optimum, (U_m, I_m) : Lorsque la puissance de crête est maximum en plein soleil, $P_m = U_m * I_m$
- Rendement : Rapport de la puissance électrique optimale à la puissance de radiation incidente.
- Facteur de forme : Rapport entre la puissance optimale P_m et la puissance maximale que peut avoir la cellule : $V_{co} * I_{cc}$.

1.5.5. Panneau solaire (Générateur Photovoltaïque)

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

Pour chaque panneau on peut avoir autant de sorties que de modules, ce que fait qu'on aura besoin de boîte de dérivation qui regroupe le tous, Alors cette boîte de dérivation fixée sur une structure du montage a comme rôle d'effectuer les connections entre les modules pour obtenir une puissance optimale en sortie.

1.6. Conclusion

L'exploitation de l'énergie solaire et l'optimisation de sa collecte par les systèmes photovoltaïques nécessite une connaissance exacte de la distribution de l'irradiation solaire, qui est fonction de plusieurs paramètres géographique et astronomiques sur le lieu d'implantation de ce système.

Nous avons présenté dans ce chapitre les différentes notions qui rentrent dans l'énergie solaire ainsi qu'un rappel sur les capteurs solaires photovoltaïques. Le chapitre prochain on présente les méthodes d'estimation du rayonnement solaire au sol sur un capteur arbitrairement orienté.

Chapitre 2

Méthodes d'estimation du rayonnement

Introduction

Les modèles statistiques utilisés dans la littérature la plus part sont pour estimer le Rayonnement global quotidien a partir de la durée d'ensoleillement [15]. Ces modèles sont une modification de l'équation type d'Angstrom (1924) par l'ajout de termes supplémentaires [18].

L'estimation des paramètres des modèles est réalisée le plus souvent par la méthode des moindres carrés et la technique de la régression. [19]

Les premières études reliant le rayonnement global au diffus sont celles de Liu et Jordan (1960) en utilisant des valeurs quotidiennes.

Plusieurs régressions ont été proposées entre la fraction diffuse du rayonnement global et l'indice de clarté (rapport du rayonnement Global au rayonnement extra-terrestre) sur la base horaire, quotidienne et les données mensuelles en moyenne. L'ajout d'éléments météorologiques a considérablement amélioré l'estimation des mesures. [20]

2.1 Atmosphère

L'atmosphère terrestre est l'enveloppe gazeuse entourant la Terre solide. L'air sec se compose de 78,08 % d'azote, 20,95 % d'oxygène, 0,93 % d'argon, 0,039 % de dioxyde de carbone et des traces d'autres gaz. Les différentes couches atmosphériques (figure 2.1), chacune avec ses propriétés physiques forment un véritable filtre naturel pour le rayonnement électromagnétique.

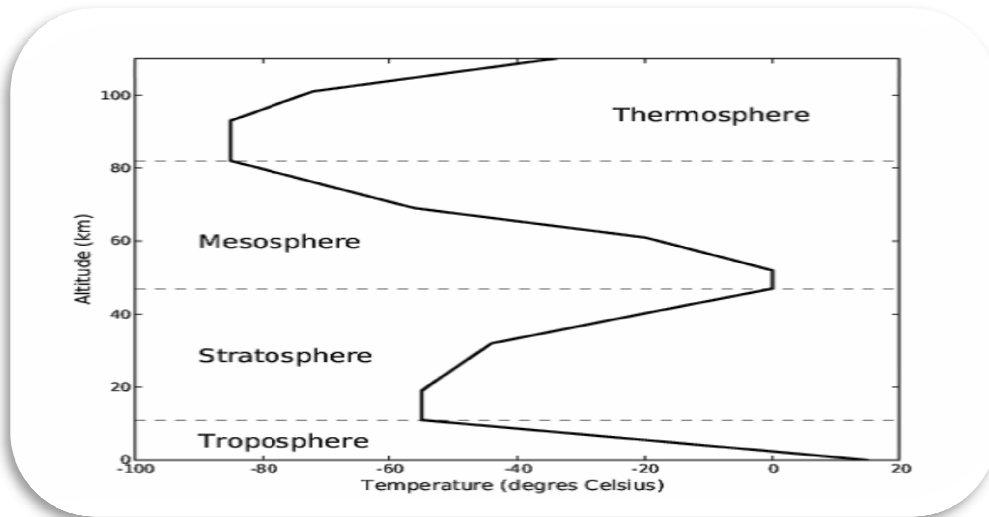


Figure 2.1. Couches de l'atmosphère [21]

2.2. Masse atmosphérique

Le rayonnement solaire est un rayonnement électromagnétique. Il est partiellement épuisé et atténué quand il traverse les couches atmosphériques. Hors atmosphère, le rayonnement reçu par la terre varie selon la période de l'année entre 1350 et 1450 W/m². Il est ensuite partiellement réfléchi, absorbé et diffusé par les atomes, les molécules, les gaz et tous les aérosols qui constituent l'atmosphère de telle sorte que le rayonnement reçu au sol comporte une part directe B et une part diffuse D .

La diffusion et l'absorption du rayonnement solaire dépendent non seulement des constituants de l'atmosphère mais aussi de la longueur parcourue par les rayons lumineux à travers l'atmosphère.

Cette distance est caractérisée par la masse atmosphérique qui est le rapport entre la longueur (L) de cette trajectoire et l'épaisseur verticale moyenne de l'atmosphère. L'angle zénithal θ_z est le complémentaire de la hauteur solaire h .

Pour les angles zénithaux inférieurs à 70°, l'effet de la courbure terrestre est négligeable et on peut donc écrire : [1] [2]

$$m = \frac{1}{\cos(\theta_z)} = \frac{1}{\sin(h)} \quad (2.1)$$

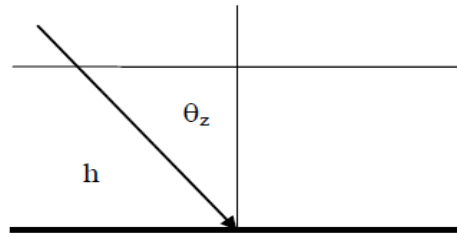


Figure 2.2 .Trajet du Rayonnement solaire

2.3 L'extinction atmosphérique du rayonnement solaire

L'extinction (ou atténuation) atmosphérique résulte de la superposition de deux processus physiques distincts qui sont l'absorption et la diffusion. Ces processus s'appliquent aussi bien aux molécules qu'aux aérosols, brumes, brouillards et pluie.

Le type de diffusion est lié au diamètre des particules qui constituent la couche atmosphérique par rapport aux longueurs d'ondes du rayonnement incident. L'absorption du rayonnement par les molécules atmosphériques est intimement liée à leurs caractéristiques énergétiques. Un photon peut être absorbé lorsque son énergie correspond à une transition entre le niveau fondamental et un des états excités des atomes des composants de l'atmosphère, essentiellement les composants gazeux telles que la vapeur d'eau H_2O , le gaz carbonique CO_2 et l'oxygène O_2 . Une courbe spectrale du rayonnement solaire est représentée par la figure (2.3).

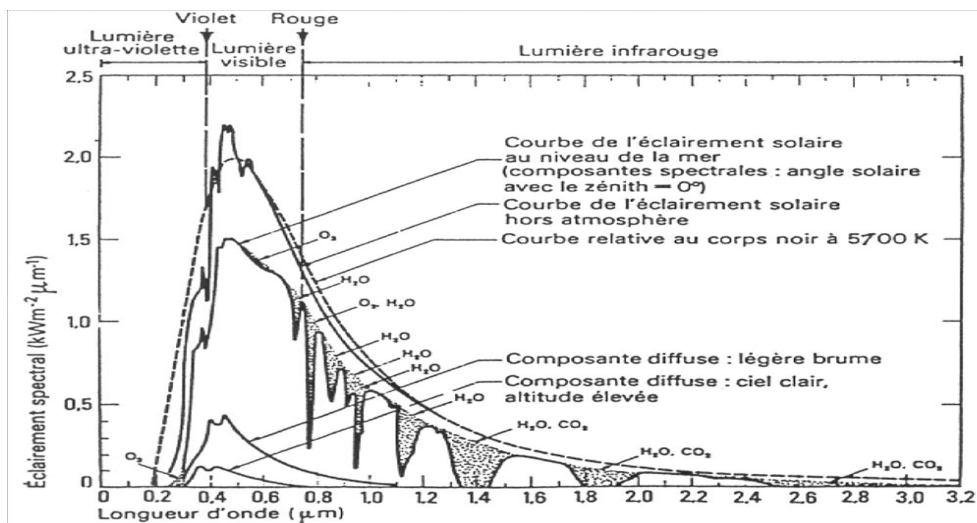


Figure 2.3. Eclairement spectral du rayonnement solaire [24]

2.4 Rayonnement solaire au sol

Le rayonnement solaire au sol a trois composantes: une composante directe H_B et une Composante diffuse H_D et une composante réfléchie H_R [24].

2.4.1 Le rayonnement direct H_B

C'est le rayonnement qui arrive directement du disque solaire au niveau du sol sans subir des modifications.

2.4.2 Le rayonnement diffus H_D

C'est le rayonnement qui arrive au niveau du sol après avoir subi des collisions avec les constituants atmosphériques [22] On en distingue :

- *Le rayonnement diffus isotropique provenant de toute la voute céleste.
- *Le rayonnement diffus circonférence provenant de la couronne solaire.
- *Le rayonnement diffus horizon provient d'une mince bande d'horizon due à une accumulation d'aérosols dans les basses altitudes.

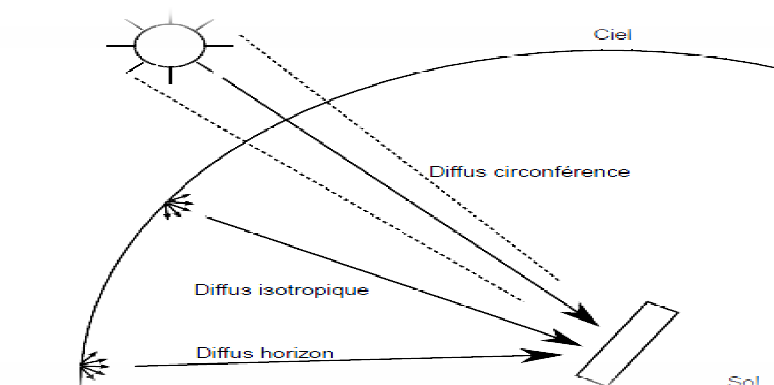


Figure 2.4. Rayonnement Diffus [22]

2.4.3 Le rayonnement réfléchi H_R

Le rayonnement réfléchi est à prendre en compte seulement dans le cas d'une surface inclinée.

Il est directement proportionnel au rayonnement global. Le sol réfléchit une partie de l'éclairement qu'il reçoit en fonction de sa nature.

*sol cultivé 10 à 25%

*neige 60 à 90%

*sable 30 à 40%

Albédo : c'est le rapport du rayonnement incident diffusé ou réfléchi sur le rayonnement incident.

Ce terme étant généralement réservé au sol ou aux nuages, c'est une valeur moyenne de leur réflectance pour le rayonnement considéré et pour tous les angles d'incidences possibles (tableau 2.1).

Par définition, le corps noir possède un albédo nul.

Tableau 2.1 : Valeurs typiques de L'albédo du sol

| Nature de sol | Valeurs d'Albedo | Valeurs moyennes |
|----------------------------|------------------|------------------|
| Sable sac | 0.1 à 0.4 | 0.25 |
| Désert | 0.2 à 0.4 | 0.3 |
| Prairies et herbages forêt | 0.2 à 0.3 | 0.25 |
| Neige fraîche | 0.7 à 0.8 | 0.75 |
| Neige ancienne | 0.5 à 0.7 | 0.6 |
| Habitat très dense | 0.1 à 0.2 | 0.15 |
| Habitat | 0.15 à 0.25 | 0.2 |

2.4.4 Le rayonnement global H_G

2.4.4.1 Rayonnement global sur une surface horizontale

Pour un rayonnement incident H_{Bh} faisant un angle h avec l'horizontale, le rayonnement global $H_G(0)$ est la somme du rayonnement direct $H_B(0)$ et du rayonnement diffus $H_D(0)$. Le rayonnement $H_G(0)$ est donné par la relation suivante [1] :

$$H_G(0) = H_B(0) \sin h + H_D(0) \quad (2.2)$$

Le rayonnement diffus peut être estimé par la relation : [24]

$$H_D(0) = K_d \times H_B(0) \quad (2.3)$$

Où K_d est un coefficient de diffusion du ciel.

Les valeurs de K_d sont tabulées et sont fonction de paramètres climatiques

2.4.4.2 Le rayonnement Global sur une surface inclinée

Le rayonnement solaire global $H_G(\alpha, \beta)$ sur une surface arbitraire ayant une inclinaison β par rapport à l'horizontale et un angle azimutal α est la somme des composantes directe $H_B(\alpha, \beta)$, diffuse $H_D(\alpha, \beta)$ et réfléchi par le sol $H_R(\alpha, \beta)$ du rayonnement solaire. Le rayonnement solaire global $H_G(\alpha, \beta)$ sur une surface arbitraire est donné par l'expression suivante :

$$H_G(\alpha, \beta) = H_B(\alpha, \beta) + H_D(\alpha, \beta) + H_R(\alpha, \beta) \quad (2.4)$$

La figure (2.5) représente les différentes composantes du rayonnement solaire au sol sur une surface orientée arbitrairement.

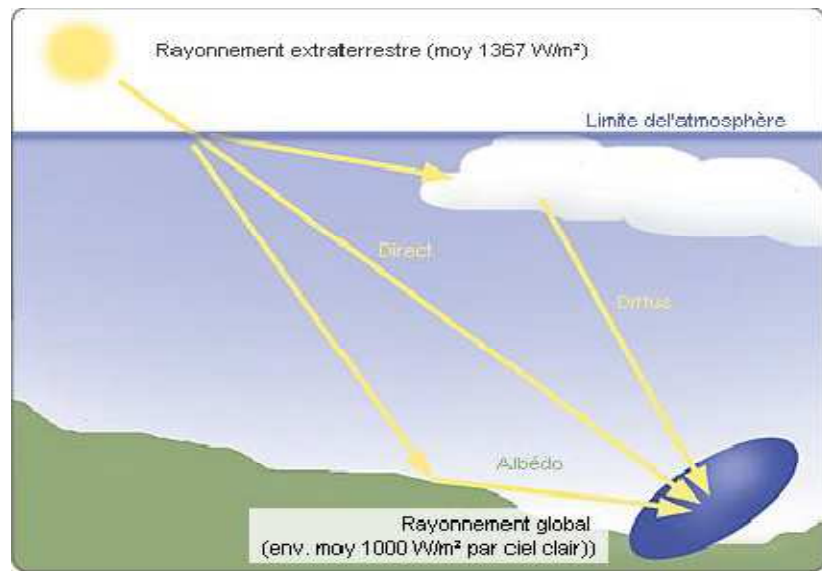


Figure 2.5. Rayonnement Global

2.5 ETUDE DES MODELES STATISTIQUES DU RAYONNEMENT GLOBAL

2.5 Estimation du Rayonnement solaire sur une surface

Le rayonnement global sur une surface avec orientation arbitraire et une inclinaison β par rapport à l'horizontale est la somme de trois composantes. La première composante c'est le rayonnement direct $H_B(\alpha, \beta)$, la deuxième composante c'est le rayonnement diffus du ciel et la troisième composante est le rayonnement réfléchi. [22].

Des modèles empiriques permettent l'estimation de l'éclairement global reçu sur un plan incliné à partir des éclairements mesurés sur un plan horizontal [23].

Ces modèles sont basé sur les différentes contributions du ciel au rayonnement diffus, à savoir l'anisotropie et l'isotropie du ciel et la valeur estimée albédo pour le rayonnement réfléchi du sol.

2.5.1 Estimations du rayonnement direct

Un plan incliné est caractérisé par son inclinaison β (par rapport à l'horizontale), et de son orientation ou azimut α par rapport au sud (négatif vers l'est, sens anti trigonométrique).

L'angle d'incidence θ_i est l'angle formé entre la normale du plan et les rayons du soleil.

On parle souvent d'incidence normale lorsque $\theta_i = 0$. L'angle d'incidence s'écrit, en fonction de la position du soleil [la hauteur (h) et l'azimut (a)], l'inclinaison (β) du plan récepteur et de son azimut (α), par la relation : [25]

$$\cos(\theta_i) = \cos(90 - h) \cos(\beta) + \sin(\beta) \sin(90 - h) \cos(a - \alpha) \quad (2.5)$$

L'éclairement du au rayonnement direct sur un plan d'inclinaison et d'orientation

Quelconque est donné par la relation [19]

$$H_B(\alpha, \beta) = H_B(0) \times R_b \quad (2.6)$$

$$R_b = \max \left[0, \frac{\cos \theta_i}{\sin h} \right] \quad (2.7)$$

$$H_B(\alpha, \beta) = H_B(0) \cos \theta_i \quad (2.8)$$

Avec $H_B(0)$ est le rayonnement sur un plan normal et θ_i est l'angle d'incidence sur le plan considéré (Angle entre la normale à la surface et le rayon du soleil)

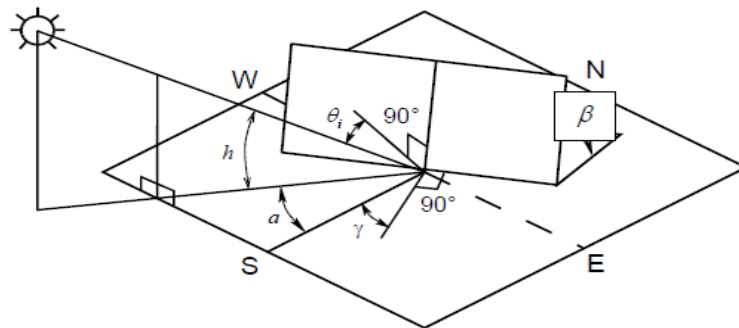


Figure 2.6. Le rayonnement direct sur une surface inclinée

2.5.2. Modèles pour l'estimation du rayonnement diffus du ciel

2.5.2.1 Modèles de Première génération

a. Modèle isotrope

Le modèle Isotrope de Liu et Jordan (1962) est le plus simple de tous les modèles, c'est un modèle qui suppose que le ciel est isotrope. Dans ce modèle, l'intensité du rayonnement diffus du ciel est supposée être uniforme sur toute la voûte céleste. Le rayonnement diffus du ciel sur un plan incliné avec une inclinaison (β) peut être estimé par l'expression suivante: [22] [24]

$$H_D(\alpha, \beta) = \frac{1}{2} H_D(0)(1 + \cos \beta) \quad (2.9)$$

Où $H_D(0)$ est le rayonnement diffus sur un plan horizontal

b. Modèle circumsolaire

Le modèle circumsolaire (1983) suppose que tout le rayonnement provient du disque solaire. C'est un modèle qui suppose que le ciel est sans nuages. Ce rayonnement est donné par [24] [26] :

$$H_D(\alpha, \beta) = H_D(0) r_b \quad (2.10)$$

Où R_b est le rapport entre le rayonnement direct journalier sur un plan incliné à celui du plan horizontal donné par l'expression suivante :

$$R_b = \frac{\sin \delta \cdot \sin(\varphi - \beta) + \cos \delta \cdot (\cos \varphi - \beta) \cdot \cos \omega}{\sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega} \quad (2.11)$$

Où

φ est la latitude,

β est la pente de la surface à l'horizontale,

δ est la déclinaison de la journée et ω est l'angle horaire.

2.5.2.2 Modèles de la seconde génération:

Ce sont des modèles anisotropes ; ces modèles différencient entre rayonnement ciel clair et ciel couvert et offrent une certaine amélioration aux modèles de la première génération.

a. Modèle Temps-Coulson

Le modèle de Temps-Coulson (1977) pour un ciel clair prend en considération la correction du rayonnement diffus horizon et diffus circonférence ; Il peut être estimé par [28]:

$$H_D(\alpha, \beta) = H_D(0) \cos^2\left(\frac{\beta}{2}\right) \cdot \left(1 + \sin^3\left(\frac{\beta}{2}\right)\right) \cdot (1 + \cos^2\theta_i) \sin^3\theta_z \quad (2.12)$$

Où

θ_i : est l'angle d'incidence,

θ_z : l'angle zénithal du soleil,

le terme $(1 + \sin^3(\frac{\beta}{2}))$ rend compte de l'effet horizon,

le terme $(1 + \cos^2\theta_i) \sin^3\theta_z$ pour l'effet circumsolaire.

b. Modèle de Klucher

Le modèle de Klucher (1979) est une généralisation du modèle Temps-Coulson pour tout type de ciel. Il est donnée par la relation suivante [19] [26] :

$$H_D(\alpha, \beta) = \frac{1}{2} H_D(0) (1 + \cos \beta) \cdot (1 + F \sin^3 \beta) \cdot (1 + F \cos^2 \theta_i \sin^3 \theta_z) \quad (2.13)$$

Avec F est une fonction de modulation donné par :

$$F = 1 - \left(\frac{H_D(0)}{H_G(0)}\right) \quad (2.14)$$

Sa valeur est nulle lorsque le ciel est couvert et l'équation devient pour l'isotrope. Quand F tend à un, l'équation devient pour les conditions de ciel clair équation donnée par Temps et Coulson.

c. Modèle de Hay

Le modèle de Hay (1979) est un modèle de rayonnement diffus du ciel .il est compose de la composante isotrope et de la composante circumsolaire. Il est donné par la relation [19]:

$$H_D(\alpha, \beta) = H_D(0) \left[\left(\frac{H_G(0) - H_D(0)}{C_s} \right) r_b + \frac{1}{2} (1 + \cos \beta) \left(1 - \frac{H_G(0) - H_D(0)}{C_s} \right) \right] \quad (2.15)$$

Avec $C_s = 1367 \text{ (W/m}^2\text{)}$ est la constante solaire.

d. Modèle de Reindl

Reindl (1990) a utilisé les travaux de Hay et de Klucher et a proposé le modèle de l'équation (2.16) pour l'estimation du rayonnement diffus [21].

$$H_D(\alpha, \beta) = H_D(0) \left\{ (1 - F') \cos^2 \left(\frac{\beta}{2} \right) \left[(1 + f \sin^3 \left(\frac{\beta}{2} \right)) \right] + F' r_d \right\} \quad (2.16)$$

Avec :

$$F' = \frac{H_G(0) - H_D(0)}{I_E} ; \quad f = \sqrt{\frac{H_B(0)}{H_G(0)}} ; \quad r_d = \frac{H_D(\alpha, \beta)}{H_D(0)}$$

2.5.2.3 Modèles de la troisième génération

Les modèles de la troisième génération traitent la composante diffuse anisotrope. Le rayonnement est décomposé dans le cas d'un ciel non couvert en deux composantes, exception pour le modèle Perez et al (1990) qui décompose en trois composantes.

a. Modèle de Gueymard

Gueymard admet dans son modèle de (1987) que le rayonnement diffus est fonction de la distribution du rayonnement. Pour une surface inclinée on peut écrire : [27]

$$H_D(\alpha, \beta) = H_D(0) r_d \quad (2.17)$$

L'hypothèse principale est que le rayonnement en ciel nuageux peut être considéré comme la somme de deux rayonnements l'un à ciel clair et l'autre à ciel couvert. Gueymard a introduit un facteur r_d qui correspond à tout type de ciel où les indices 0 et 1 correspondent à l'état du ciel (0:clair ; 1 ciel couvert). Ce facteur est donné par :

$$r_d = (1 - N_{pt}) r_{d0} + N_{pt} r_{d1} \quad (2.18)$$

$$\text{Où } N_{pt} = \max\{\min(Y, 1), 0\} \quad (2.19)$$

$$\text{Et } Y = 6.6667 \left(\frac{H_D(0)}{H_G(0)} \right) - 1.416$$

$$\text{Avec } \left(\frac{H_D(0)}{H_G(0)} \right) \leq 0.227 \quad (2.20)$$

$$\text{Autrement : } Y = 1.2121 \left(\frac{H_{Dh}}{H_{Gh}} \right) - 0.1758 \quad (2.21)$$

r_{d0} Et r_{d1} sont obtenus si les distributions normalisées du rayonnement correspondants sont disponibles. Ils peuvent être donnés par :

$$r_{d0} = \exp(a_0 + a_1 \cos \theta_i + a_2 \cos^2 \theta_i + a_3 \cos^3 \theta_i) + F(\beta) + G(h) \quad (2.22)$$

$$a_0 = -0.897 - 3.364h' + 3.960h'^2 - 1.909h'^3$$

$$a_1 = 4.448 - 12.962h' + 34.601h'^2 - 48.784h'^3 + 27.511h'^4$$

$$a_2 = -2.770 + 9.164h' - 18.876h'^2 + 23.776h'^3 - 13.014h'^4$$

$$a_3 = 0.312 - 0.217h' - 0.805h'^2 - 0.318h'^3$$

$$F(\beta) = \frac{1+b_0 \sin^2 \beta + b_1 \sin(2\beta) + b_2 \sin(4\beta)}{1+b_0} \quad (2.23)$$

$$b_0 = -0.2249 \quad b_1 = 0.1231 \quad b_2 = -0.0342$$

$$G(h) = 0.408 - 0.323h' + 0.384h'^2 - 0.170h'^3 \quad (2.24)$$

$$h' = 0.01h$$

Equation de Steven-Unsworth

$$r_{d1} = \cos^2 \left(\frac{\beta}{2} \right) + \frac{2b}{\pi(3+2b)} \times \left(\sin \beta - \beta \cos \beta - \pi \sin^2 \left(\frac{\beta}{2} \right) \right) \quad (2.25)$$

Gueymard propose $b=1.5$

$$r_{d1} = \cos^2 \left(\frac{\beta}{2} \right) + \frac{1}{2\pi} \times \left(\sin \beta - \beta \cos \beta - \pi \sin^2 \left(\frac{\beta}{2} \right) \right) \quad (2.26)$$

b. Modèle de Perez

Le modèle de Perez et al (1990) est basé sur trois composantes. L'équation de Perez est donnée par [19] [27] :

$$H_D(\alpha, \beta) = H_D(0) \left[(1 - F_1) \cos^2 \left(\frac{\beta}{2} \right) + F_1 \left(\frac{a_0}{a_1} \right) + F_2 \sin \beta \right] \quad (2.27)$$

$$a_0 = [0; \cos \theta_i] \quad ; \quad a_1 = \max[\cos 85^\circ; \cos \theta_z]$$

F_1 et F_2 sont des coefficients de luminosité relatifs à la fraction diffuse et la fraction diffuse horizon et sont fonction de trois paramètres ; l'angle Zénithal θ_z , la clarté ε et la luminosité Δ .

Perez a formulé un algorithme unique qui couvre l'ensemble des conditions du ciel. Il a introduit deux paramètres caractérisant les conditions climatiques du ciel qui sont :

- ✓ La clarté ε (sky clearness) qui représente le trouble de l'atmosphère celui-ci est donné par :

$$\varepsilon = \frac{\frac{H_G(0)+H_{bn}}{H_D(0)}+5,535.10^{-6}\theta_z^3}{1+5,535.10^{-6}\theta_z^3} \quad (2.28)$$

Avec $H_D(0)$ est le rayonnement diffus horizontal

H_{bn} Est le rayonnement direct normal

θ_z Est l'angle azimutal en degrés ($\theta_z = 90 - h$) h est la hauteur du soleil

- ✓ La luminosité Δ (sky brightness) qui représente le caractère lumineux du rayonnement diffus du ciel donnée par :

$$\Delta = m \frac{H_D(0)}{H_{bn}} \quad (2.29)$$

m : Masse d'air optique

H_{bn} : Rayonnement direct normal hors atmosphère

F_1 et F_2 Sont donnés par des tables

$$F_1 = \max \left[0, \left\{ F_{11} + F_{12}\Delta + \left(\frac{\pi}{180} \right) \theta_z F_{13} \right\} \right] \quad (2.30)$$

$$F_2 = F_{21} + F_{22}\Delta + \left(\frac{\pi}{180} \right) \theta_z F_{23} \quad (2.31)$$

Perez classifie les divers ciels en huit catégories basées sur l'indice de clarté ε de 1.00 à 1.065 pour ciel couvert (rayonnement direct nul) ; au-delà de 6.200 pour un ciel sans nuages et entre les valeurs extrêmes on a des états de ciels nuageux voir tableau 2.2.

Tableau 2.2. Coefficients Fij de Perez

| ε | F ₁₁ | F ₁₂ | F ₁₃ | F ₂₁ | F ₂₂ | F ₂₃ |
|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1-1.065 | -0.142 | 0.550 | -0.044 | -0.120 | 0.138 | -0.034 |
| 1.065-1,253 | 0.261 | 0.559 | -0.243 | -0.019 | 0.083 | -0.081 |
| 1,253-1.586 | 0.481 | 0.460 | -0.354 | 0.077 | 0.006 | -0.116 |
| 1.586-2.134 | 0.825 | 0.187 | -0.532 | 0.172 | -0.050 | -0.151 |
| 2.134-3.230 | 1.102 | -0.299 | -0.586 | 0.350 | -0.398 | -0.171 |
| 3.230-5.980 | 1.226 | -0.451 | -0.617 | 0.444 | -0.949 | -0.073 |
| 5.980-10.080 | 1.367 | 0.838 | -0.655 | 0.431 | -1.750 | 0.094 |
| 10.080-00 | 0.978 | -0.812 | -0.393 | 0.335 | -2.160 | 0.186 |

2.5.3 Rayonnement Réfléchi

Le sol reçoit du rayonnement direct et du rayonnement diffus. La valeur albédo du sol pour les rayonnements direct ρ_b et diffus ρ_d peut être différente. Pour une Réflexion Isotropique ; On suppose que $\rho_b = \rho_d = \rho$. Le rayonnement réfléchi est donné par la relation suivante :

$$H_R(\alpha, \beta) = \frac{1}{2} \rho H_G(0)(1 - \cos \beta) \quad (2.32)$$

2.5.4 Rayonnement Global

Le rayonnement global sur une surface inclinée est la somme des trois composantes ; la première composante c'est le rayonnement direct, la deuxième composante c'est le rayonnement diffus du ciel calculé selon un des modèles choisis et la troisième composante c'est le rayonnement réfléchi par le sol (équation 2.4).

2.6 Conclusion

Dans ce chapitre, les modèles d'estimation du rayonnement solaire sont présentés. La durée d'insolation a été la première donnée exploitée vue la facilité de sa disponibilité.

Beaucoup de modèles pour estimer le rayonnement solaire global, diffus et direct à partir de la durée d'insolation des valeurs moyennes mensuelles des valeurs moyennes journalières ou horaires d'irradiation moyennant plusieurs paramètres climatologiques se trouvent dans la littérature. Les données satellitaires fournissent des informations sur la couverture nuageuse. À l'exception de l'état où le ciel est clair, la composante diffuse est toujours dominante. La difficulté d'estimation de cette dernière a contribué à l'élaboration de

beaucoup de modèles statistiques. Ces modèles considèrent l'isotropie ou l'anisotropie du ciel.

Dans le chapitre suivant nous allons présenter les résultats expérimentaux d'estimation du rayonnement solaire au sol en fonction des angles optimaux d'orientation et d'inclinaison pour différents sites algériens.

Chapitre3

Resultats experimentaux d'estimation du rayonnement solaire au sol

Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter les résultats de calcul des angles optimaux d'azimut et d'inclinaison afin de capter le maximum d'énergie solaire sur un capteur solaire plan. Les modèles d'estimation du rayonnement solaire global au sol sur un capteur solaire plan de la première génération de Liu et Jordan et de la troisième génération de Pérez seront présentés. Comme application nous allons présenter les angles optimaux pour quelques sites algériens tels que : Alger, M'Sila, Tamanrasset, ...etc.

L'entrée du modèle d'estimation est le rayonnement global sur plan horizontal du lieu et la sortie est on calcule le rayonnement global sur un plan incliné β d'un angle par rapport à l'horizon et orienté d'un angle α par rapport au sud du lieu ou du site en question.

3.1 Schéma bloc de l'organigramme d'estimation du rayonnement solaire

L'organigramme d'estimation du rayonnement solaire au sol sur un capteur solaire plan pour un site donnée est représenté par le schéma bloc de la figure (3.1).

Où :

N_j : est le numéro du jour à partir du 1^{er} janvier

φ : la latitude du lieu

$C_s = 1367 \text{ W/m}^2$ est la constante solaire

ε_0 : Le facteur de correction de l'excentricité de l'ordre terrestre

$H_G^m(0)$: l'irradiation globale mensuelle sur un plan horizontal au sol

W_{sr} : l'angle horaire du lever du soleil

H_0^j : L'irradiation extraterrestre le long d'une journée

H_0^m : L'irradiation extraterrestre moyennant mensuelle

K_t : l'indice de clarté

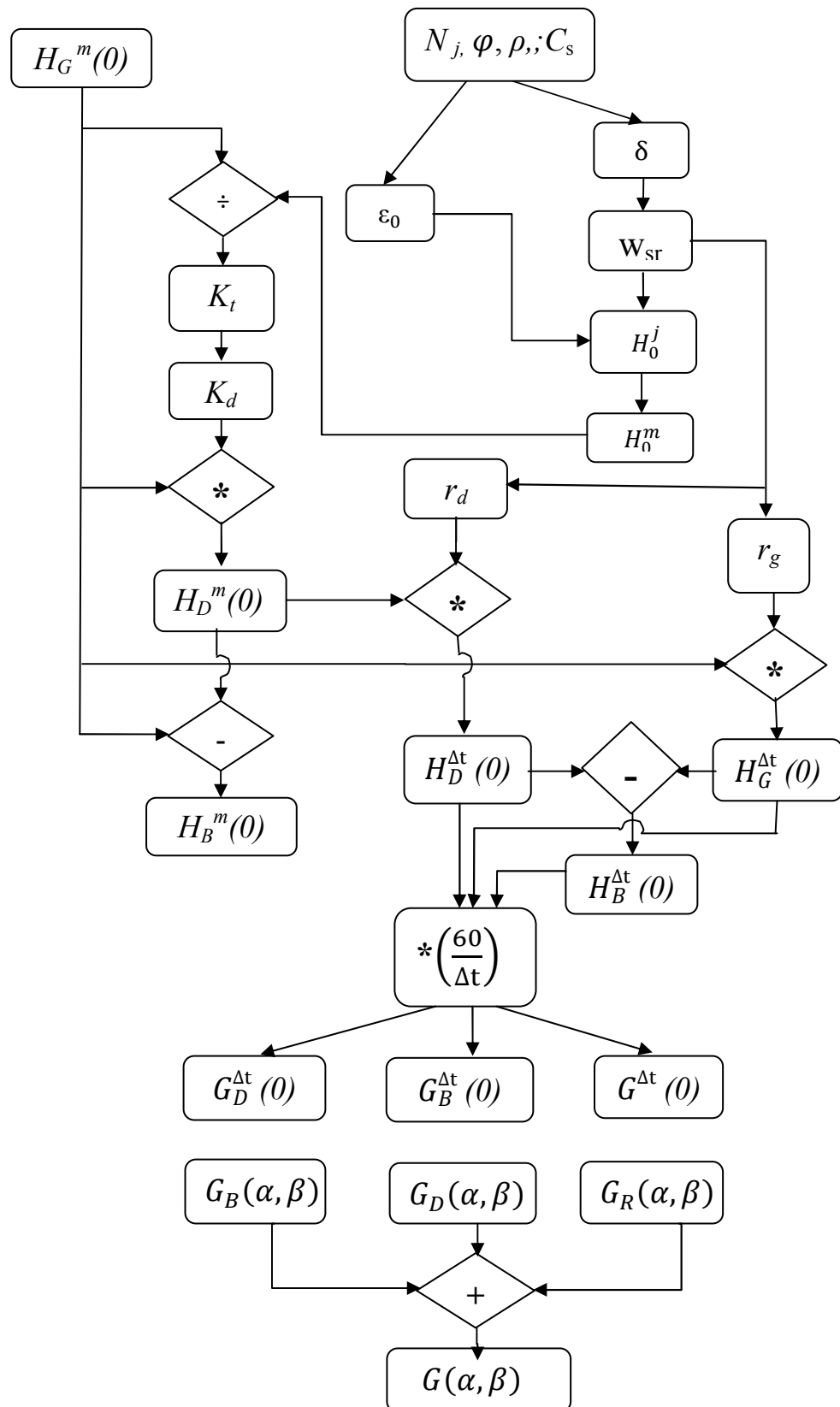


Figure3.1. Organigramme d'estimation du rayonnement solaire au sol sur un capteur plan.

K_d : fraction diffuse

r_d : diffus horaire/ diffuse journalière

r_g : globale horaire/ globale journalière

$H_D^{\Delta t}(0)$: l'irradiation diffuse horizontale en intervalle de Δt

$H_B^{\Delta t}(0)$: l'irradiation direct horizontale en intervalle de Δt

$H_G^{\Delta t}(0)$: l'irradiation globale horizontale en intervalle de Δt

$H_D^m(0)$: l'irradiation moyenne mensuelle diffuse horizontale

$H_B^m(0)$: l'irradiation moyenne mensuelle directe horizontale

$G_B(\alpha, \beta)$: L'éclairement direct

$G_D(\alpha, \beta)$: L'éclairement diffus

$G_R(\alpha, \beta)$: L'éclairement réfléchi

$G(\alpha, \beta)$: L'éclairement global

3.1.1 Estimation des irradiances directe et diffuse horizontales journalières moyennes mensuelles à partir de la valeur mensuelle de l'irradiation globale journalière horizontale

La procédure d'estimation passe par les étapes suivantes :

1) calcul de la déclinaison solaire " δ " en radian en utilisant la formule suivante :

$$\delta = 23,45 \sin \frac{\pi}{180} \left(\frac{360}{365} (284 + N_j) \right) \quad (3.1)$$

2) calcul du facteur de correction de l'excentricité de l'ordre terrestre " ϵ_0 " en utilisant l'équation suivante :

$$\epsilon_0 = \left(\frac{r_0}{r} \right)^2 = 1 + 0,033 \cos \left(\frac{360 N_j}{365} \right) \quad (3.2)$$

3) calcul de l'angle horaire du lever du soleil ω_{sr} en radians en utilisant la relation suivante :

$$\omega_{sr} = -\cos^{-1}(-\tan \delta \tan \varphi) \quad (3.3)$$

4) calcul de l'irradiation extraterrestre H_0^j le long d'une journée en utilisant l'équation suivante :

$$H_0^j(0) = \frac{24}{\pi} C_o \varepsilon_0 (\cos \varphi \cos \delta) (\omega_{sr} \cos \omega_{sr} - \sin \omega_{sr}) \quad (3.4)$$

avec $C_s = 1367 \text{ W/m}^2$

φ : Latitude du lieu en radian

A partir des valeurs journalières de l'irradiation extraterrestre on peut calculer les valeurs journalières moyennes mensuelles $H_0^m(0)$ de l'irradiation extraterrestre moyennant l'expression suivante :

$$H_0^m(0) = \frac{1}{d_{n2} - d_{n1} + 1} \sum_{d_{n1}}^{d_{n2}} H_0^j(0) \quad (3.5)$$

Où : d_{n2} et d_{n1} sont les numéros du 1^{er} et dernier jour de chaque mois.

Pour la détermination des composantes moyennes mensuelles directes ($H_B^m(0)$ et $H_D^m(0)$)

De l'irradiation horizontale au sol, on peut utiliser le modèle de Liu et Jordan et la correction proposée par Page donnée par les relations suivantes :

$$K_t^m = \frac{H_G^m(0)}{H_0^m(0)} \quad (3.6)$$

$$K_D^m = 1 - 1,13 K_t^m \quad (3.7)$$

$$H_D^m(0) = H_G^m(0) \cdot K_D^m \quad (3.8)$$

La valeur moyenne mensuelle de l'irradiation directe horizontale $H_B^m(0)$ est obtenue moyennant la différence entre l'irradiation globale et diffuse selon l'équation suivante :

$$H_B^m(0) = H_G^m(0) - H_D^m(0) \quad (3.9)$$

3.1.2 Estimation des valeurs des irradiances directe et diffuse en intervalle de ΔT (en minutes) du jour type (représentatif) à partir des valeurs de l'irradiation direct et diffuse horizontales du jour type

Pour le calcul de l'irradiation en intervalles à partir des irradiances journalières, on peut utiliser les expressions proposées par Whillier comme suit :

$$H_D^{\Delta T}(0) = r_d H_D^m(0) \quad (3.10)$$

$$H_G^{\Delta T}(0) = r_g H_G^m(0) \quad (3.11)$$

Où

Chapitre 3 Résultats expérimentaux d'estimation du rayonnement solaire au sol

$H_D^{\Delta T}(0)$: Est la valeur de l'irradiation diffuse horizontale en intervalle de ΔT (en minute) du jour type,

$H_G^{\Delta T}(0)$: Est les valeurs de l'irradiation globale horizontale en un intervalle de ΔT (En minute) du jour type,

et r_d, r_g sont obtenus à partir des expressions proposées par Liu et Jordan suivantes :

$$r_d = \frac{\pi}{T} \left(\frac{\cos \omega - \cos \omega_{sr}}{\omega_{sr} \cos \omega - \sin \omega_{sr}} \right) \quad (3.12)$$

$$r_g = \frac{\pi}{T} (a + b \cos \omega) \left(\frac{\cos \omega - \cos \omega_{sr}}{\omega_{sr} \cos \omega - \sin \omega_{sr}} \right) \quad (3.13)$$

Où

$$a = 0,409 - 0,5016 \sin(\omega_{sr} + 1,047) \quad (3.14)$$

$$\text{Et } b = 0,6609 + 0,4767 \sin(\omega_{sr} + 1,047) \quad (3.15)$$

Le paramètre T utilisé dans les expressions précédentes peut avoir plusieurs valeurs et ce, selon ΔT .

A titre d'exemples :

$$\text{Si } \Delta T = 10 \text{ min} \quad T = 24 \times 6 = 144,$$

$$\text{Si } \Delta T = 15 \text{ min} \quad T = 24 \times 4 = 96,$$

$$\text{Si } \Delta T = 30 \text{ min} \quad T = 24 \times 2 = 48.$$

Càd T est le nombre de valeurs en 24 heures, alors :

$$H_B^{\Delta T}(0) = H_G^{\Delta T}(0) - H_D^{\Delta T}(0) \quad (3.16)$$

Ou' :

$H_B^{\Delta T}$: est la valeur de l'irradiation directe horizontale en un intervalle de ΔT (en minute) du jour type (représentatif).

3.1.3 Estimation des valeurs de l'éclairement à partir des irradiances en intervalles de ΔT (en minute)

A partir de la relation d'intégrale de l'équation suivante :

$$H^{\Delta T}(\text{wh/m}^2) = \int_{t_1}^{t_2} G \, dt = G \int_{t_1}^{t_2} dt = G(t_2 - t_1) \quad (3.17)$$

$$= G(\text{w/m}^2) \times \frac{60}{\Delta T} (\text{heure})$$

Les composantes de l'éclairement à partir des irradiances en un intervalle ΔT (en minute) sont données par les expressions suivantes :

$$G^{\Delta T}(0) \quad (\text{w/m}^2) = \frac{60}{\Delta T} H_G^{\Delta T}(0) \quad (\text{wh/m}^2)$$

$$G_B^{\Delta T}(0) \quad (\text{w/m}^2) = \frac{60}{\Delta T} H_B^{\Delta T}(0) \quad (\text{wh/m}^2)$$

$$G_D^{\Delta T}(0) \quad (\text{w/m}^2) = \frac{60}{\Delta T} H_D^{\Delta T}(0) \quad (\text{wh/m}^2)$$

3.1.4 Estimation de l'évolution temporelle de l'éclairement global sur une surface arbitrairement orientée et inclinée

3.1.4.1 Eclairement direct

La composante de l'éclairement direct sur une surface arbitrairement orientée et inclinée est donnée par l'expression suivante :

$$G_B(\alpha, \beta) = \frac{G_B(0)}{\cos \theta_z} \max(0, \cos \theta_i) \quad (3.18)$$

Où :

$$\begin{aligned} \cos \theta_i = & \sin \varphi \cos \beta \sin \delta - \sin \delta \cos \varphi \sin \beta \cos \alpha + \\ & \cos \varphi \cos \beta \cos \delta \cos \omega + \cos \delta \sin \varphi \sin \beta \cos \alpha \cos \omega + \\ & \cos \delta \sin \alpha \sin \beta \sin \omega \end{aligned} \quad (3.19)$$

Et

$$\cos \theta_z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega \quad (3.20)$$

3.1.4.2 Eclairement diffus

Pour l'estimation de la composante diffuse, on utilise le modèle proposé par Pérez. Ce modèle considère trois régions du ciel comme sources des rayonnements diffus, il s'agit de : la région circumsolaire (G_{DC}), la région de l'horizon (G_{DH}) et le reste de l'hémisphère céleste (G_{DR}). Ces composantes d'éclairement diffus sont données par :

$$G_{DC}(\alpha, \beta) = G_D(0) \left[F_1 \frac{\max(0, \cos \theta_i)}{\cos \theta_z} \right] \quad (3.21)$$

$$G_{DH}(\alpha, \beta) = G_D(0) [F_2 \sin \beta] \quad (3.22)$$

$$G_{DR}(\alpha, \beta) = G_D(0) \left[1 - F_1 \frac{1 + \cos \beta}{2} \right] \quad (3.23)$$

Où F_1 et F_2 , sont des paramètres adimensionnels donnés par les relations suivantes :

$$F_1 = F_{11}(\varepsilon) + F_{12}(\varepsilon)\Delta + F_{13}(\varepsilon)\theta_Z \quad (3.24)$$

$$F_2 = F_{21}(\varepsilon) + F_{22}(\varepsilon)\Delta + F_{23}(\varepsilon)\theta_Z \quad (3.25)$$

Avec :

$$\Delta = \frac{G_D(0)}{c_s \cos \theta_Z} \quad (3.26)$$

Et

$$\varepsilon = \frac{G_D(0) + \frac{G_B(0)}{\cos \theta_Z}}{H_D(0)} \quad (3.27)$$

Finalement la composante diffuse de l'éclairement est donnée par :

$$G_D(\alpha, \beta) = G_{DC}(\alpha, \beta) + G_{DH}(\alpha, \beta) + G_{DR}(\alpha, \beta) \quad (3.28)$$

3.1.4.3 Eclairement réfléchi

La composante de l'éclairement réfléchi sur une surface arbitrairement orientée et inclinée est donnée par la relation suivante :

$$G_R(\alpha, \beta) = G(0)(1 - \cos \beta) \frac{\rho}{2} \quad (3.29)$$

Où : ρ est l'albédo du sol

3.1.4.4 Eclairement globale

L'éclairement global sur une surface arbitrairement orientée et inclinée est la somme des trois composantes d'éclairements direct, diffus et réfléchi selon la relation suivante :

$$G(\alpha, \beta) = G_B(\alpha, \beta) + G_D(\alpha, \beta) + G_R(\alpha, \beta) \quad (3.30)$$

3.2 Résultats de simulation :

Pour valider la méthode de calcul de l'irradiation solaire représenté par l'algorithme de l'organigramme précédent, nous présentons les résultats de variation de l'irradiation pour les différents sites algériens représentés par leurs coordonnées géographiques dans le tableau (3.1).

Tableau 3.1 coordonnées des sites algériens utilisés

| Site | Latitude(°) | Longitude(°) |
|--------------------|-------------|--------------|
| Alger | 36,75 | 3,04 |
| Oran | 35,69 | -0,63 |
| Annaba | 36,90 | 7,75 |
| Bordj Bou Arreridj | 36,07 | 4,75 |
| Msila | 35,7 | 4,54 |
| Sétif | 36,18 | 5,41 |
| Illizi | 26,51 | 8,47 |
| Adrar | 26,42 | -0,60 |
| Tindouf | 27,67 | -8,15 |
| Tamanrasset | 22,78 | 5,52 |

L'irradiation globale journalière mensuelle moyenne sur un plan horizontal pour les sites algériens précédent sont représentés par le tableau (3.2)

Tableau 3.2 l'irradiation global mensuelle horizontal pour quelques sites algériens en (wh/m²)

| Site | janv | Fév | mars | Avril | mai | jui | Juil | aout | Sep | oct | Nev | Dec |
|--------------------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Alger | 2580 | 3370 | 5020 | 5790 | 6750 | 7800 | 7830 | 7050 | 5470 | 4300 | 2780 | 2310 |
| Oran | 2810 | 3750 | 5200 | 5990 | 7000 | 7820 | 7760 | 7060 | 5560 | 4390 | 2990 | 2510 |
| Annaba | 2340 | 3120 | 4720 | 5540 | 6630 | 7640 | 7820 | 6890 | 5200 | 3910 | 2610 | 2090 |
| Bordj Bou Arreridj | 2730 | 3490 | 5060 | 5850 | 6830 | 7770 | 7810 | 7050 | 5370 | 4300 | 2940 | 2390 |
| Msila | 2920 | 3790 | 5360 | 6220 | 7130 | 7850 | 7870 | 7170 | 5510 | 4500 | 3170 | 2580 |
| Sétif | 2640 | 3420 | 4930 | 5710 | 6760 | 7660 | 7720 | 6920 | 5280 | 4190 | 2910 | 2340 |
| Illizi | 4330 | 5240 | 6560 | 6770 | 7240 | 7450 | 7850 | 7330 | 6330 | 5440 | 4530 | 3930 |
| Adrar | 4110 | 4990 | 6420 | 6780 | 7220 | 7570 | 7410 | 6870 | 5810 | 5170 | 4270 | 3690 |
| Tindouf | 4250 | 5140 | 6630 | 7240 | 7820 | 7990 | 7640 | 7030 | 6080 | 5380 | 4470 | 3810 |
| Tamanrasset | 4840 | 5690 | 7030 | 7110 | 7260 | 7090 | 7380 | 6800 | 6220 | 5780 | 5090 | 4540 |

3.2.1 Etude détaillée pour le site de M'Sila :

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de janvier sont représentées par le tableau (3.3)

Tableau (3. 3) Irradiation solaire du site de M'Sila pour le mois de Janvier

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 3338 | 3778 | 4198 | 4585 | 4908 | 5109 | 5176 | 5109 | 4908 | 4585 | 4198 | 3778 | 3338 |
| 80 | 3645 | 4107 | 4541 | 4932 | 5251 | 5449 | 5515 | 5449 | 5251 | 4932 | 4541 | 4107 | 3645 |
| 70 | 3872 | 4336 | 4766 | 5147 | 5452 | 5640 | 5703 | 5640 | 5452 | 5147 | 4766 | 4336 | 3872 |
| 60 | 4010 | 4458 | 4866 | 5222 | 5504 | 5677 | 5736 | 5677 | 5504 | 5222 | 4866 | 4458 | 4010 |
| 50 | 4055 | 4466 | 4837 | 5156 | 5406 | 5559 | 5611 | 5559 | 5406 | 5156 | 4837 | 4466 | 4055 |

Chapitre 3 Résultats expérimentaux d'estimation du rayonnement solaire au sol

| | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 40 | 4003 | 4360 | 4680 | 4951 | 5160 | 5289 | 5333 | 5289 | 5160 | 4951 | 4680 | 4360 | 4003 |
| 30 | 3857 | 4145 | 4399 | 4613 | 4776 | 4876 | 4909 | 4876 | 4776 | 4613 | 4399 | 4145 | 3857 |
| 20 | 3622 | 3825 | 4003 | 4151 | 4263 | 4331 | 4354 | 4331 | 4263 | 4151 | 4003 | 3825 | 3622 |
| 10 | 3306 | 3412 | 3505 | 3581 | 3638 | 3672 | 3684 | 3672 | 3638 | 3581 | 3505 | 3412 | 3306 |
| 0 | 2919 | 2919 | 2919 | 2919 | 2919 | 2919 | 2919 | 2919 | 2919 | 2919 | 2919 | 2919 | 2919 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de février sont représentées par le tableau (3.4)

Tableau (3.4) Irradiation solaire du site de M'Sila pour le mois de Février

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 3676 | 4033 | 4360 | 4652 | 4903 | 5089 | 5154 | 5089 | 4903 | 4652 | 4360 | 4033 | 3676 |
| 80 | 4067 | 4456 | 4810 | 5121 | 5379 | 5563 | 5626 | 5563 | 5379 | 5121 | 4810 | 4456 | 4067 |
| 70 | 4380 | 4782 | 5144 | 5458 | 5712 | 5888 | 5948 | 5888 | 5712 | 5458 | 5144 | 4782 | 4380 |
| 60 | 4601 | 4997 | 5351 | 5652 | 5892 | 6054 | 6110 | 6054 | 5892 | 5652 | 5351 | 4997 | 4601 |
| 50 | 4722 | 5093 | 5421 | 5697 | 5913 | 6058 | 6107 | 6058 | 5913 | 5697 | 5421 | 5093 | 4722 |
| 40 | 4737 | 5065 | 5352 | 5592 | 5776 | 5897 | 5939 | 5897 | 5776 | 5592 | 5352 | 5065 | 4737 |
| 30 | 4647 | 4914 | 5146 | 5338 | 5484 | 5578 | 5611 | 5578 | 5484 | 5338 | 5146 | 4914 | 4647 |
| 20 | 4453 | 4644 | 4809 | 4944 | 5046 | 5111 | 5133 | 5111 | 5046 | 4944 | 4809 | 4644 | 4453 |
| 10 | 4164 | 4265 | 4352 | 4423 | 4475 | 4508 | 4519 | 4508 | 4475 | 4423 | 4352 | 4265 | 4164 |
| 0 | 3789 | 3789 | 3789 | 3789 | 3789 | 3789 | 3789 | 3789 | 3789 | 3789 | 3789 | 3789 | 3789 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de mars sont représentées par le tableau (3.5)

Tableau (3.5) Irradiation solaire du site de M'Sila pour le mois de Mars

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 4304 | 4522 | 4696 | 4831 | 4931 | 5003 | 5041 | 5003 | 4931 | 4831 | 4696 | 4522 | 4304 |
| 80 | 4835 | 5103 | 5325 | 5501 | 5635 | 5727 | 5768 | 5727 | 5635 | 5501 | 5325 | 5103 | 4835 |
| 70 | 5294 | 5593 | 5845 | 6047 | 6201 | 6302 | 6344 | 6302 | 6201 | 6047 | 5845 | 5593 | 5294 |
| 60 | 5659 | 5971 | 6235 | 6448 | 6607 | 6711 | 6752 | 6711 | 6607 | 6448 | 6235 | 5971 | 5659 |
| 50 | 5914 | 6219 | 6478 | 6686 | 6842 | 6941 | 6979 | 6941 | 6842 | 6686 | 6478 | 6219 | 5914 |
| 40 | 6049 | 6327 | 6564 | 6755 | 6896 | 6986 | 7018 | 6986 | 6896 | 6755 | 6564 | 6327 | 6049 |
| 30 | 6059 | 6292 | 6491 | 6651 | 6769 | 6842 | 6869 | 6842 | 6769 | 6651 | 6491 | 6292 | 6059 |
| 20 | 5943 | 6114 | 6260 | 6377 | 6463 | 6516 | 6535 | 6516 | 6463 | 6377 | 6260 | 6114 | 5943 |
| 10 | 5708 | 5799 | 5879 | 5942 | 5988 | 6017 | 6027 | 6017 | 5988 | 5942 | 5879 | 5799 | 5708 |
| 0 | 5360 | 5360 | 5360 | 5360 | 5360 | 5360 | 5360 | 5360 | 5360 | 5360 | 5360 | 5360 | 5360 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de avril sont représentées par le tableau (3.6)

Tableau (3.6) Irradiation solaire du site de M'Sila pour le mois d'Avril

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 3982 | 3989 | 3948 | 3870 | 3768 | 3661 | 3612 | 3661 | 3768 | 3870 | 3948 | 3989 | 3982 |
| 80 | 4569 | 4626 | 4637 | 4612 | 4562 | 4500 | 4470 | 4500 | 4562 | 4612 | 4637 | 4626 | 4569 |
| 70 | 5116 | 5213 | 5267 | 5285 | 5275 | 5245 | 5228 | 5245 | 5275 | 5285 | 5267 | 5213 | 5116 |
| 60 | 5598 | 5722 | 5805 | 5855 | 5873 | 5868 | 5860 | 5868 | 5873 | 5855 | 5805 | 5722 | 5598 |
| 50 | 5990 | 6128 | 6229 | 6297 | 6335 | 6346 | 6345 | 6346 | 6335 | 6297 | 6229 | 6128 | 5990 |
| 40 | 6277 | 6414 | 6520 | 6596 | 6644 | 6664 | 6668 | 6664 | 6644 | 6596 | 6520 | 6414 | 6277 |
| 30 | 6448 | 6569 | 6666 | 6740 | 6788 | 6813 | 6819 | 6813 | 6788 | 6740 | 6666 | 6569 | 6448 |
| 20 | 6495 | 6587 | 6664 | 6723 | 6764 | 6786 | 6793 | 6786 | 6764 | 6723 | 6664 | 6587 | 6495 |
| 10 | 6418 | 6469 | 6513 | 6547 | 6572 | 6586 | 6591 | 6586 | 6572 | 6547 | 6513 | 6469 | 6418 |

Chapitre 3 Résultats expérimentaux d'estimation du rayonnement solaire au sol

0 6219 6219 6219 6219 6219 6219 6219 6219 6219 6219 6219 6219 6219

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de mai sont représentées par le tableau (3.7)

Tableau (3.7) Irradiation solaire du site de M'Sila pour le mois de Mai

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 3906 | 3735 | 3511 | 3249 | 2973 | 2768 | 2694 | 2768 | 2973 | 3249 | 3511 | 3735 | 3906 |
| 80 | 4544 | 4421 | 4252 | 4050 | 3838 | 3684 | 3629 | 3684 | 3838 | 4050 | 4252 | 4421 | 4544 |
| 70 | 5171 | 5094 | 4976 | 4831 | 4676 | 4564 | 4525 | 4564 | 4676 | 4831 | 4976 | 5094 | 5171 |
| 60 | 5752 | 5715 | 5643 | 5547 | 5441 | 5364 | 5337 | 5364 | 5441 | 5547 | 5643 | 5715 | 5752 |
| 50 | 6260 | 6255 | 6220 | 6166 | 6099 | 6050 | 6032 | 6050 | 6099 | 6166 | 6220 | 6255 | 6260 |
| 40 | 6674 | 6690 | 6684 | 6660 | 6625 | 6597 | 6588 | 6597 | 6625 | 6660 | 6684 | 6690 | 6674 |
| 30 | 6977 | 7003 | 7014 | 7011 | 6999 | 6988 | 6984 | 6988 | 6999 | 7011 | 7014 | 7003 | 6977 |
| 20 | 7156 | 7183 | 7200 | 7209 | 7210 | 7209 | 7208 | 7209 | 7210 | 7209 | 7200 | 7183 | 7156 |
| 10 | 7207 | 7224 | 7237 | 7246 | 7252 | 7254 | 7255 | 7254 | 7252 | 7246 | 7237 | 7224 | 7207 |
| 0 | 7126 | 7126 | 7126 | 7126 | 7126 | 7126 | 7126 | 7126 | 7126 | 7126 | 7126 | 7126 | 7126 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de juin sont représentées par le tableau (3.8)

Tableau (3.8) Irradiation solaire du site de M'Sila pour le mois de Juin

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 4014 | 3726 | 3380 | 2992 | 2628 | 2382 | 2296 | 2382 | 2628 | 2992 | 3380 | 3726 | 4014 |
| 80 | 4694 | 4452 | 4158 | 3833 | 3535 | 3336 | 3266 | 3336 | 3535 | 3833 | 4158 | 4452 | 4694 |
| 70 | 5373 | 5180 | 4946 | 4688 | 4455 | 4301 | 4246 | 4301 | 4455 | 4688 | 4946 | 5180 | 5373 |
| 60 | 6016 | 5874 | 5697 | 5503 | 5328 | 5212 | 5172 | 5212 | 5328 | 5503 | 5697 | 5874 | 6016 |
| 50 | 6596 | 6499 | 6375 | 6236 | 6111 | 6029 | 6001 | 6029 | 6111 | 6236 | 6375 | 6499 | 6596 |
| 40 | 7088 | 7027 | 6946 | 6855 | 6773 | 6720 | 6701 | 6720 | 6773 | 6855 | 6946 | 7027 | 7088 |
| 30 | 7469 | 7436 | 7391 | 7338 | 7290 | 7259 | 7249 | 7259 | 7290 | 7338 | 7391 | 7436 | 7469 |
| 20 | 7726 | 7712 | 7692 | 7667 | 7646 | 7632 | 7627 | 7632 | 7646 | 7667 | 7692 | 7712 | 7726 |
| 10 | 7852 | 7848 | 7842 | 7836 | 7830 | 7826 | 7825 | 7826 | 7830 | 7836 | 7842 | 7848 | 7852 |
| 0 | 7840 | 7840 | 7840 | 7840 | 7840 | 7840 | 7840 | 7840 | 7840 | 7840 | 7840 | 7840 | 7840 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de juillet sont représentées par le tableau (3.9)

Tableau (3.9) Irradiation solaire du site de M'Sila pour le mois Juillet

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 4176 | 3920 | 3601 | 3234 | 2872 | 2622 | 2532 | 2622 | 2872 | 3234 | 3601 | 3920 | 4176 |
| 80 | 4864 | 4654 | 4390 | 4095 | 3805 | 3607 | 3536 | 3607 | 3805 | 4095 | 4390 | 4654 | 4864 |
| 70 | 5539 | 5383 | 5182 | 4955 | 4732 | 4582 | 4528 | 4582 | 4732 | 4955 | 5182 | 5383 | 5539 |
| 60 | 6176 | 6071 | 5928 | 5762 | 5598 | 5488 | 5449 | 5488 | 5598 | 5762 | 5928 | 6071 | 6176 |
| 50 | 6745 | 6682 | 6588 | 6476 | 6362 | 6287 | 6260 | 6287 | 6362 | 6476 | 6588 | 6682 | 6745 |
| 40 | 7218 | 7188 | 7135 | 7066 | 6995 | 6948 | 6932 | 6948 | 6995 | 7066 | 7135 | 7188 | 7218 |
| 30 | 7576 | 7568 | 7545 | 7511 | 7473 | 7448 | 7439 | 7448 | 7473 | 7511 | 7545 | 7568 | 7576 |
| 20 | 7807 | 7811 | 7807 | 7796 | 7782 | 7772 | 7769 | 7772 | 7782 | 7796 | 7807 | 7811 | 7807 |
| 10 | 7904 | 7910 | 7913 | 7914 | 7912 | 7911 | 7911 | 7911 | 7912 | 7914 | 7913 | 7910 | 7904 |
| 0 | 7864 | 7864 | 7864 | 7864 | 7864 | 7864 | 7864 | 7864 | 7864 | 7864 | 7864 | 7864 | 7864 |

Chapitre 3 Résultats expérimentaux d'estimation du rayonnement solaire au sol

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de août sont représentées par le tableau (3.10)

Tableau (3.10) Irradiation solaire du site de M'Sila pour le mois d'Aout

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 4363 | 4274 | 4125 | 3933 | 3719 | 3521 | 3445 | 3521 | 3719 | 3933 | 4125 | 4274 | 4363 |
| 80 | 5016 | 4983 | 4897 | 4771 | 4624 | 4486 | 4433 | 4486 | 4624 | 4771 | 4897 | 4983 | 5016 |
| 70 | 5637 | 5654 | 5623 | 5555 | 5463 | 5371 | 5336 | 5371 | 5463 | 5555 | 5623 | 5654 | 5637 |
| 60 | 6195 | 6251 | 6264 | 6242 | 6195 | 6139 | 6118 | 6139 | 6195 | 6242 | 6264 | 6251 | 6195 |
| 50 | 6663 | 6746 | 6791 | 6802 | 6790 | 6762 | 6751 | 6762 | 6790 | 6802 | 6791 | 6746 | 6663 |
| 40 | 7022 | 7117 | 7179 | 7214 | 7224 | 7217 | 7214 | 7217 | 7224 | 7214 | 7179 | 7117 | 7022 |
| 30 | 7257 | 7348 | 7416 | 7460 | 7485 | 7492 | 7493 | 7492 | 7485 | 7460 | 7416 | 7348 | 7257 |
| 20 | 7360 | 7434 | 7492 | 7535 | 7562 | 7574 | 7578 | 7574 | 7562 | 7535 | 7492 | 7434 | 7360 |
| 10 | 7330 | 7373 | 7407 | 7435 | 7454 | 7465 | 7468 | 7465 | 7454 | 7435 | 7407 | 7373 | 7330 |
| 0 | 7167 | 7167 | 7167 | 7167 | 7167 | 7167 | 7167 | 7167 | 7167 | 7167 | 7167 | 7167 | 7167 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de septembre sont représentées par le tableau (3.11)

Tableau (3.11) Irradiation solaire du site de M'Sila pour le mois de Septembre

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 4062 | 4205 | 4303 | 4364 | 4395 | 4407 | 4403 | 4407 | 4395 | 4364 | 4303 | 4205 | 4062 |
| 80 | 4601 | 4791 | 4937 | 5043 | 5113 | 5151 | 5159 | 5151 | 5113 | 5043 | 4937 | 4791 | 4601 |
| 70 | 5080 | 5304 | 5483 | 5619 | 5714 | 5769 | 5784 | 5769 | 5714 | 5619 | 5483 | 5304 | 5080 |
| 60 | 5477 | 5717 | 5914 | 6067 | 6176 | 6240 | 6259 | 6240 | 6176 | 6067 | 5914 | 5717 | 5477 |
| 50 | 5774 | 6014 | 6213 | 6370 | 6482 | 6549 | 6569 | 6549 | 6482 | 6370 | 6213 | 6014 | 5774 |
| 40 | 5959 | 6182 | 6369 | 6516 | 6622 | 6686 | 6705 | 6686 | 6622 | 6516 | 6369 | 6182 | 5959 |
| 30 | 6025 | 6214 | 6374 | 6500 | 6591 | 6646 | 6663 | 6646 | 6591 | 6500 | 6374 | 6214 | 6025 |
| 20 | 5970 | 6110 | 6228 | 6322 | 6391 | 6432 | 6445 | 6432 | 6391 | 6322 | 6228 | 6110 | 5970 |
| 10 | 5797 | 5872 | 5936 | 5988 | 6026 | 6049 | 6057 | 6049 | 6026 | 5988 | 5936 | 5872 | 5797 |
| 0 | 5510 | 5510 | 5510 | 5510 | 5510 | 5510 | 5510 | 5510 | 5510 | 5510 | 5510 | 5510 | 5510 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de octobre sont représentées par le tableau (3.12)

Tableau (3.12) Irradiation solaire du site de M'Sila pour le mois d'Octobre

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 4183 | 4526 | 4832 | 5099 | 5327 | 5507 | 5577 | 5507 | 5327 | 5099 | 4832 | 4526 | 4183 |
| 80 | 4643 | 5028 | 5371 | 5667 | 5911 | 6093 | 6162 | 6093 | 5911 | 5667 | 5371 | 5028 | 4643 |
| 70 | 5019 | 5425 | 5785 | 6092 | 6339 | 6516 | 6582 | 6516 | 6339 | 6092 | 5785 | 5425 | 5019 |
| 60 | 5292 | 5698 | 6056 | 6358 | 6597 | 6762 | 6822 | 6762 | 6597 | 6358 | 6056 | 5698 | 5292 |
| 50 | 5452 | 5838 | 6175 | 6457 | 6676 | 6824 | 6877 | 6824 | 6676 | 6457 | 6175 | 5838 | 5452 |
| 40 | 5494 | 5837 | 6136 | 6384 | 6574 | 6699 | 6745 | 6699 | 6574 | 6384 | 6136 | 5837 | 5494 |
| 30 | 5413 | 5696 | 5941 | 6142 | 6295 | 6393 | 6428 | 6393 | 6295 | 6142 | 5941 | 5696 | 5413 |
| 20 | 5215 | 5419 | 5595 | 5739 | 5846 | 5914 | 5938 | 5914 | 5846 | 5739 | 5595 | 5419 | 5215 |
| 10 | 4907 | 5016 | 5109 | 5185 | 5241 | 5276 | 5288 | 5276 | 5241 | 5185 | 5109 | 5016 | 4907 |
| 0 | 4500 | 4500 | 4500 | 4500 | 4500 | 4500 | 4500 | 4500 | 4500 | 4500 | 4500 | 4500 | 4500 |

Chapitre 3 Résultats expérimentaux d'estimation du rayonnement solaire au sol

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de novembre sont représentées par le tableau (3.13)

Tableau (3.13) Irradiation solaire du site de M'Sila pour le mois de Novembre

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 3514 | 3945 | 4352 | 4726 | 5047 | 5252 | 5321 | 5252 | 5047 | 4726 | 4352 | 3945 | 3514 |
| 80 | 3846 | 4302 | 4727 | 5109 | 5427 | 5629 | 5697 | 5629 | 5427 | 5109 | 4727 | 4302 | 3846 |
| 70 | 4095 | 4557 | 4981 | 5355 | 5660 | 5853 | 5918 | 5853 | 5660 | 5355 | 4981 | 4557 | 4095 |
| 60 | 4252 | 4700 | 5105 | 5457 | 5740 | 5917 | 5977 | 5917 | 5740 | 5457 | 5105 | 4700 | 4252 |
| 50 | 4311 | 4724 | 5094 | 5412 | 5662 | 5819 | 5872 | 5819 | 5662 | 5412 | 5094 | 4724 | 4311 |
| 40 | 4269 | 4629 | 4949 | 5220 | 5431 | 5563 | 5607 | 5563 | 5431 | 5220 | 4949 | 4629 | 4269 |
| 30 | 4127 | 4418 | 4674 | 4887 | 5052 | 5155 | 5189 | 5155 | 5052 | 4887 | 4674 | 4418 | 4127 |
| 20 | 3890 | 4096 | 4276 | 4425 | 4538 | 4608 | 4632 | 4608 | 4538 | 4425 | 4276 | 4096 | 3890 |
| 10 | 3567 | 3675 | 3769 | 3846 | 3903 | 3939 | 3951 | 3939 | 3903 | 3846 | 3769 | 3675 | 3567 |
| 0 | 3168 | 3168 | 3168 | 3168 | 3168 | 3168 | 3168 | 3168 | 3168 | 3168 | 3168 | 3168 | 3168 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de décembre sont représentées par le tableau (3.14)

Tableau (3.14) Irradiation solaire du site de M'Sila pour le mois de Décembre

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 3060 | 3495 | 3911 | 4297 | 4604 | 4793 | 4856 | 4793 | 4604 | 4297 | 3911 | 3495 | 3060 |
| 80 | 3332 | 3784 | 4210 | 4596 | 4899 | 5084 | 5147 | 5084 | 4899 | 4596 | 4210 | 3784 | 3332 |
| 70 | 3529 | 3980 | 4399 | 4771 | 5060 | 5237 | 5297 | 5237 | 5060 | 4771 | 4399 | 3980 | 3529 |
| 60 | 3643 | 4075 | 4472 | 4818 | 5084 | 5247 | 5302 | 5247 | 5084 | 4818 | 4472 | 4075 | 3643 |
| 50 | 3671 | 4066 | 4425 | 4734 | 4969 | 5114 | 5162 | 5114 | 4969 | 4734 | 4425 | 4066 | 3671 |
| 40 | 3612 | 3954 | 4261 | 4522 | 4720 | 4841 | 4881 | 4841 | 4720 | 4522 | 4261 | 3954 | 3612 |
| 30 | 3467 | 3741 | 3984 | 4189 | 4342 | 4437 | 4468 | 4437 | 4342 | 4189 | 3984 | 3741 | 3467 |
| 20 | 3240 | 3433 | 3603 | 3744 | 3849 | 3914 | 3935 | 3914 | 3849 | 3744 | 3603 | 3433 | 3240 |
| 10 | 2941 | 3042 | 3130 | 3202 | 3255 | 3288 | 3299 | 3288 | 3255 | 3202 | 3130 | 3042 | 2941 |
| 0 | 2578 | 2578 | 2578 | 2578 | 2578 | 2578 | 2578 | 2578 | 2578 | 2578 | 2578 | 2578 | 2578 |

Le tableau (3.15) représente les valeurs d'irradiation en fonction des angles optimaux (α) et (β) du site de M'Sila.

Tableau (3.15) : irradiation en fonction des angles optimaux (α) et (β) du site de M'Sila.

| SITE | | M'Sila | | |
|------------------|-------|--------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| moi | angle | Inclinaison opt(β) (°) | Azimut opt(α) (°) | G opt (wh/m ²) |
| Janvier | | 60 | 0 | 5736 |
| Février | | 60 | 0 | 6110 |
| Mars | | 40 | 0 | 7018 |
| Avril | | 30 | 0 | 6819 |
| Mai | | 10 | 0 | 7255 |
| Juin | | 0 | 0 | 7840 |
| Juillet | | 10 | 0 | 7911 |
| Aout | | 20 | 0 | 7578 |
| Septembre | | 40 | 0 | 6705 |
| Octobre | | 50 | 0 | 6877 |
| Novembre | | 60 | 0 | 5977 |

Chapitre 3 Résultats expérimentaux d'estimation du rayonnement solaire au sol

| | | | |
|----------|----|---|------|
| Décembre | 60 | 0 | 5302 |
|----------|----|---|------|

D'après le tableau (3.15) on remarque que l'orientation optimale de l'azimut se trouve dans l'angle zéro qui signifie une orientation en plein sud. Alors que l'angle d'inclinaison optimal varie suivant le mois à cause des variations des valeurs de l'inclinaison de la terre et de la hauteur du soleil.

3. 2.2 Etude détaillé pour le site d'Alger :

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de janvier sont représentées par le tableau (3.16)

Tableau (3.16) Irradiation solaire du site d'Alger pour le mois de Janvier

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 2958 | 3354 | 3731 | 4075 | 4522 | 4706 | 4768 | 4706 | 4522 | 4222 | 3853 | 3452 | 3031 |
| 80 | 3226 | 3641 | 4028 | 4374 | 4816 | 4998 | 5059 | 4998 | 4816 | 4521 | 4151 | 3739 | 3301 |
| 70 | 3425 | 3839 | 4221 | 4557 | 4981 | 5154 | 5212 | 5154 | 4981 | 4699 | 4330 | 3934 | 3497 |
| 60 | 3545 | 3943 | 4304 | 4617 | 5010 | 5170 | 5224 | 5170 | 5010 | 4750 | 4416 | 4032 | 3612 |
| 50 | 3583 | 3947 | 4275 | 4555 | 4904 | 5045 | 5092 | 5045 | 4904 | 4674 | 4374 | 4027 | 3642 |
| 40 | 3536 | 3852 | 4133 | 4371 | 4665 | 4783 | 4823 | 4783 | 4665 | 4471 | 4218 | 3919 | 3586 |
| 30 | 3407 | 3660 | 3884 | 4070 | 4300 | 4392 | 4423 | 4392 | 4300 | 4149 | 3950 | 3713 | 3446 |
| 20 | 3199 | 3378 | 3534 | 3663 | 3821 | 3884 | 3905 | 3884 | 3821 | 3718 | 3580 | 3414 | 3226 |
| 10 | 2921 | 3014 | 3095 | 3161 | 3241 | 3273 | 3284 | 3273 | 3241 | 3189 | 3119 | 3033 | 2934 |
| 0 | 2580 | 2580 | 2580 | 2580 | 2580 | 2580 | 2580 | 2580 | 2580 | 2580 | 2580 | 2580 | 2580 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de février sont représentées par le tableau (3.16)

Tableau (3.17) Irradiation solaire du site d'Alger pour le mois de Février

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 3223 | 3554 | 3861 | 4135 | 4517 | 4691 | 4750 | 4691 | 4517 | 4273 | 3985 | 3664 | 3318 |
| 80 | 3570 | 3928 | 4256 | 4544 | 4930 | 5102 | 5160 | 5102 | 4930 | 4681 | 4381 | 4039 | 3665 |
| 70 | 3849 | 4217 | 4549 | 4837 | 5213 | 5377 | 5433 | 5377 | 5213 | 4970 | 4669 | 4323 | 3940 |
| 60 | 4049 | 4408 | 4731 | 5006 | 5358 | 5509 | 5560 | 5509 | 5358 | 5129 | 4842 | 4507 | 4132 |
| 50 | 4161 | 4495 | 4793 | 5044 | 5359 | 5493 | 5538 | 5493 | 5359 | 5154 | 4892 | 4583 | 4234 |
| 40 | 4180 | 4474 | 4733 | 4950 | 5218 | 5330 | 5368 | 5330 | 5218 | 5043 | 4817 | 4548 | 4241 |
| 30 | 4107 | 4345 | 4554 | 4727 | 4938 | 5025 | 5055 | 5025 | 4938 | 4800 | 4619 | 4402 | 4154 |
| 20 | 3943 | 4112 | 4260 | 4381 | 4527 | 4587 | 4608 | 4587 | 4527 | 4432 | 4305 | 4151 | 3975 |
| 10 | 3694 | 3784 | 3861 | 3924 | 4000 | 4030 | 4040 | 4030 | 4000 | 3950 | 3884 | 3803 | 3710 |
| 0 | 3370 | 3370 | 3370 | 3370 | 3370 | 3370 | 3370 | 3370 | 3370 | 3370 | 3370 | 3370 | 3370 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de mars sont représentées par le tableau (3.18)

Tableau (3.18) Irradiation solaire du site d'Alger pour le mois de Mars

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 4063 | 4286 | 4468 | 4612 | 4851 | 4934 | 4974 | 4934 | 4851 | 4733 | 4579 | 4385 | 4150 |
| 80 | 4562 | 4830 | 5055 | 5236 | 5503 | 5601 | 5644 | 5601 | 5503 | 5356 | 5165 | 4929 | 4648 |
| 70 | 4991 | 5287 | 5537 | 5740 | 6018 | 6124 | 6167 | 6124 | 6018 | 5856 | 5644 | 5382 | 5074 |
| 60 | 5331 | 5636 | 5896 | 6106 | 6379 | 6485 | 6526 | 6485 | 6379 | 6214 | 5995 | 5724 | 5407 |

Chapitre 3 Résultats expérimentaux d'estimation du rayonnement solaire au sol

| | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 50 | 5567 | 5863 | 6115 | 6319 | 6573 | 6674 | 6712 | 6674 | 6573 | 6415 | 6203 | 5941 | 5633 |
| 40 | 5689 | 5958 | 6187 | 6372 | 6596 | 6685 | 6718 | 6685 | 6596 | 6453 | 6261 | 6022 | 5743 |
| 30 | 5693 | 5918 | 6109 | 6263 | 6444 | 6517 | 6543 | 6517 | 6444 | 6326 | 6166 | 5967 | 5734 |
| 20 | 5579 | 5743 | 5882 | 5995 | 6123 | 6176 | 6194 | 6176 | 6123 | 6038 | 5921 | 5776 | 5606 |
| 10 | 5352 | 5440 | 5515 | 5576 | 5643 | 5672 | 5682 | 5672 | 5643 | 5597 | 5535 | 5456 | 5365 |
| 0 | 5020 | 5020 | 5020 | 5020 | 5020 | 5020 | 5020 | 5020 | 5020 | 5020 | 5020 | 5020 | 5020 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de avril sont représentées par le tableau (3.19)

Tableau (3.19) Irradiation solaire du site d'Alger pour le mois d'Avril

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 3728 | 3757 | 3743 | 3696 | 3725 | 3644 | 3609 | 3644 | 3725 | 3796 | 3844 | 3857 | 3824 |
| 80 | 4279 | 4353 | 4387 | 4388 | 4462 | 4418 | 4398 | 4418 | 4462 | 4489 | 4489 | 4454 | 4375 |
| 70 | 4791 | 4902 | 4973 | 5010 | 5113 | 5096 | 5087 | 5096 | 5113 | 5107 | 5071 | 4998 | 4884 |
| 60 | 5241 | 5374 | 5470 | 5532 | 5652 | 5655 | 5653 | 5655 | 5652 | 5622 | 5560 | 5463 | 5325 |
| 50 | 5606 | 5749 | 5857 | 5934 | 6059 | 6074 | 6078 | 6074 | 6059 | 6014 | 5937 | 5826 | 5680 |
| 40 | 5870 | 6010 | 6119 | 6200 | 6318 | 6341 | 6348 | 6341 | 6318 | 6267 | 6186 | 6074 | 5931 |
| 30 | 6025 | 6146 | 6245 | 6320 | 6421 | 6447 | 6455 | 6447 | 6421 | 6371 | 6296 | 6196 | 6072 |
| 20 | 6064 | 6155 | 6230 | 6290 | 6365 | 6388 | 6396 | 6388 | 6365 | 6325 | 6265 | 6188 | 6094 |
| 10 | 5984 | 6034 | 6077 | 6111 | 6153 | 6167 | 6171 | 6167 | 6153 | 6128 | 6094 | 6051 | 6000 |
| 0 | 5790 | 5790 | 5790 | 5790 | 5790 | 5790 | 5790 | 5790 | 5790 | 5790 | 5790 | 5790 | 5790 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de mai sont représentées par le tableau (3.20)

Tableau (3.20) Irradiation solaire du site de d'Alger pour le mois de Mai

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 3726 | 3587 | 3399 | 3179 | 3034 | 2867 | 2806 | 2867 | 3034 | 3265 | 3486 | 3672 | 3809 |
| 80 | 4336 | 4243 | 4108 | 3944 | 3859 | 3736 | 3692 | 3736 | 3859 | 4033 | 4197 | 4331 | 4420 |
| 70 | 4933 | 4884 | 4797 | 4683 | 4646 | 4559 | 4528 | 4559 | 4646 | 4770 | 4883 | 4969 | 5015 |
| 60 | 5486 | 5472 | 5425 | 5355 | 5354 | 5297 | 5276 | 5297 | 5354 | 5436 | 5506 | 5551 | 5562 |
| 50 | 5967 | 5980 | 5966 | 5930 | 5954 | 5920 | 5907 | 5920 | 5954 | 6002 | 6037 | 6050 | 6034 |
| 40 | 6357 | 6386 | 6394 | 6384 | 6422 | 6404 | 6400 | 6406 | 6422 | 6444 | 6454 | 6444 | 6412 |
| 30 | 6637 | 6673 | 6693 | 6700 | 6744 | 6740 | 6738 | 6739 | 6744 | 6747 | 6740 | 6718 | 6680 |
| 20 | 6799 | 6832 | 6854 | 6868 | 6907 | 6910 | 6911 | 6910 | 6907 | 6901 | 6887 | 6863 | 6828 |
| 10 | 6837 | 6856 | 6872 | 6883 | 6908 | 6913 | 6914 | 6913 | 6908 | 6901 | 6889 | 6873 | 6852 |
| 0 | 6750 | 6750 | 6750 | 6750 | 6750 | 6750 | 6750 | 6750 | 6750 | 6750 | 6750 | 6750 | 6750 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de juin sont représentées par le tableau (3.21)

Tableau (3.21) Irradiation solaire du site de d'Alger pour le mois de Juin

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 4035 | 3764 | 3435 | 3066 | 2813 | 2586 | 2506 | 2586 | 2813 | 3150 | 3508 | 3824 | 4083 |
| 80 | 4715 | 4491 | 4217 | 3908 | 3726 | 3545 | 3481 | 3545 | 3726 | 3999 | 4294 | 4556 | 4766 |
| 70 | 5392 | 5217 | 5000 | 4758 | 4637 | 4497 | 4448 | 4497 | 4637 | 4849 | 5078 | 5281 | 5443 |
| 60 | 6029 | 5902 | 5743 | 5562 | 5490 | 5387 | 5351 | 5387 | 5490 | 5647 | 5817 | 5964 | 6077 |
| 50 | 6601 | 6517 | 6407 | 6281 | 6247 | 6175 | 6150 | 6175 | 6247 | 6357 | 6474 | 6573 | 6644 |
| 40 | 7082 | 7033 | 6964 | 6883 | 6877 | 6832 | 6816 | 6832 | 6877 | 6948 | 7021 | 7080 | 7118 |
| 30 | 7453 | 7429 | 7393 | 7347 | 7360 | 7335 | 7326 | 7335 | 7360 | 7398 | 7437 | 7465 | 7480 |

Chapitre 3 Résultats expérimentaux d'estimation du rayonnement solaire au sol

| | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|-------------|------|
| 20 | 7699 | 7692 | 7677 | 7658 | 7678 | 7667 | 7663 | 7667 | 7678 | 7693 | 7708 | 7717 | 7718 |
| 10 | 7814 | 7814 | 7811 | 7807 | 7823 | 7821 | 7821 | 7821 | 7823 | 7826 | 7828 | 7828 | 7825 |
| 0 | 7800 | 7800 | 7800 | 7800 | 7800 | 7800 | 7800 | 7800 | 7800 | 7800 | 7800 | 7800 | 7800 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de juillet sont représentées par le tableau (3.22)

Tableau (3.22) Irradiation solaire du site d'Alger pour le mois de Juillet

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|------|------|------|------|
| 90 | 4206 | 3966 | 3663 | 3314 | 3067 | 2836 | 2753 | 2836 | 3067 | 3406 | 3757 | 4060 | 4299 |
| 80 | 4895 | 4702 | 4455 | 4176 | 4005 | 3824 | 3760 | 3824 | 4005 | 4273 | 4554 | 4799 | 4991 |
| 70 | 5568 | 5428 | 5244 | 5031 | 4923 | 4786 | 4738 | 4786 | 4923 | 5127 | 5341 | 5525 | 5662 |
| 60 | 6199 | 6109 | 5980 | 5828 | 5770 | 5672 | 5637 | 5672 | 5770 | 5919 | 6072 | 6199 | 6287 |
| 50 | 6759 | 6710 | 6629 | 6528 | 6509 | 6442 | 6419 | 6442 | 6509 | 6609 | 6711 | 6790 | 6836 |
| 40 | 7222 | 7203 | 7161 | 7102 | 7110 | 7070 | 7056 | 7070 | 7110 | 7171 | 7230 | 7271 | 7287 |
| 30 | 7569 | 7571 | 7556 | 7530 | 7553 | 7533 | 7526 | 7533 | 7553 | 7583 | 7610 | 7623 | 7619 |
| 20 | 7789 | 7800 | 7801 | 7796 | 7824 | 7818 | 7815 | 7818 | 7824 | 7832 | 7838 | 7836 | 7824 |
| 10 | 7876 | 7886 | 7891 | 7895 | 7916 | 7916 | 7916 | 7916 | 7916 | 7914 | 7911 | 7905 | 7894 |
| 0 | 7830 | 7830 | 7830 | 7830 | 7830 | 7830 | 7830 | 7830 | 7830 | 7830 | 7830 | 7830 | 7830 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de aout sont représentées par le tableau (3.23)

Tableau (3.23) Irradiation solaire du site d'Alger pour le mois d'Aout

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 4396 | 4317 | 4175 | 3990 | 3888 | 3710 | 3642 | 3710 | 3888 | 4086 | 4260 | 4390 | 4459 |
| 80 | 5043 | 5017 | 4936 | 4817 | 4781 | 4657 | 4611 | 4657 | 4781 | 4915 | 5024 | 5092 | 5106 |
| 70 | 5651 | 5674 | 5648 | 5584 | 5598 | 5516 | 5487 | 5516 | 5598 | 5680 | 5733 | 5748 | 5712 |
| 60 | 6192 | 6254 | 6271 | 6251 | 6300 | 6253 | 6235 | 6253 | 6300 | 6340 | 6351 | 6323 | 6249 |
| 50 | 6642 | 6729 | 6776 | 6789 | 6861 | 6839 | 6831 | 6839 | 6861 | 6868 | 6847 | 6790 | 6692 |
| 40 | 6981 | 7078 | 7143 | 7177 | 7258 | 7256 | 7254 | 7256 | 7258 | 7244 | 7202 | 7129 | 7021 |
| 30 | 7194 | 7288 | 7357 | 7401 | 7479 | 7489 | 7492 | 7489 | 7479 | 7453 | 7403 | 7327 | 7225 |
| 20 | 7278 | 7353 | 7411 | 7453 | 7517 | 7532 | 7537 | 7532 | 7517 | 7489 | 7443 | 7379 | 7298 |
| 10 | 7228 | 7271 | 7306 | 7334 | 7372 | 7383 | 7387 | 7383 | 7372 | 7352 | 7323 | 7285 | 7239 |
| 0 | 7050 | 7050 | 7050 | 7050 | 7050 | 7050 | 7050 | 7050 | 7050 | 7050 | 7050 | 7050 | 7050 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de septembre sont représentées par le tableau (3.24)

Tableau (3.24) Irradiation solaire du site d'Alger pour le mois de Septembre

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 4105 | 4260 | 4370 | 4441 | 4597 | 4620 | 4621 | 4620 | 4597 | 4549 | 4468 | 4348 | 4182 |
| 80 | 4641 | 4843 | 4999 | 5115 | 5309 | 5357 | 5368 | 5357 | 5309 | 5224 | 5098 | 4931 | 4717 |
| 70 | 5113 | 5348 | 5537 | 5682 | 5896 | 5960 | 5978 | 5960 | 5896 | 5787 | 5633 | 5433 | 5186 |
| 60 | 5501 | 5752 | 5958 | 6119 | 6338 | 6410 | 6431 | 6409 | 6338 | 6216 | 6047 | 5830 | 5568 |
| 50 | 5788 | 6038 | 6245 | 6408 | 6618 | 6692 | 6714 | 6692 | 6618 | 6494 | 6324 | 6107 | 5846 |
| 40 | 5962 | 6193 | 6387 | 6544 | 6727 | 6797 | 6818 | 6797 | 6727 | 6612 | 6452 | 6250 | 6010 |
| 30 | 6017 | 6212 | 6377 | 6508 | 6663 | 6722 | 6741 | 6722 | 6663 | 6564 | 6428 | 6256 | 6052 |
| 20 | 5950 | 6094 | 6216 | 6313 | 6426 | 6470 | 6485 | 6470 | 6426 | 6352 | 6250 | 6123 | 5974 |
| 10 | 5766 | 5843 | 5910 | 4963 | 6024 | 6049 | 6057 | 6048 | 6024 | 5983 | 5927 | 5858 | 5777 |

Chapitre 3 Résultats expérimentaux d'estimation du rayonnement solaire au sol

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 5470 | 5470 | 5470 | 5470 | 5470 | 5470 | 5470 | 5470 | 5470 | 5470 | 5470 | 5470 | 5470 |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de octobre sont représentées par le tableau (3.25)

Tableau (3.25) Irradiation solaire du site d'Alger pour le mois d'Octobre

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 4000 | 4348 | 4662 | 4939 | 5355 | 5549 | 5621 | 5549 | 5355 | 5105 | 4813 | 4481 | 4114 |
| 80 | 4440 | 4827 | 5175 | 5478 | 5909 | 6107 | 6174 | 6104 | 5909 | 5645 | 5327 | 4961 | 4554 |
| 70 | 4798 | 5204 | 5567 | 5879 | 6306 | 6494 | 6561 | 6494 | 6306 | 6041 | 5714 | 5334 | 4909 |
| 60 | 5059 | 5463 | 5821 | 6127 | 6532 | 6707 | 6769 | 6707 | 6532 | 6278 | 5959 | 5584 | 5162 |
| 50 | 5211 | 5593 | 5930 | 6213 | 6581 | 6737 | 6792 | 6737 | 6581 | 6349 | 6053 | 5701 | 5302 |
| 40 | 5250 | 5590 | 5887 | 6136 | 6451 | 6583 | 6629 | 6583 | 6451 | 6250 | 5991 | 5680 | 5325 |
| 30 | 5172 | 5451 | 5695 | 5896 | 6146 | 6250 | 6286 | 6250 | 6146 | 5986 | 5776 | 5522 | 5231 |
| 20 | 4983 | 5184 | 5357 | 5501 | 5676 | 5747 | 5772 | 5747 | 5676 | 5563 | 5413 | 5232 | 5022 |
| 10 | 4688 | 4795 | 4888 | 3360 | 5054 | 5091 | 5103 | 5091 | 5054 | 4995 | 4916 | 4819 | 4708 |
| 0 | 4300 | 4300 | 4300 | 4300 | 4300 | 4300 | 4300 | 4300 | 4300 | 4300 | 4300 | 4300 | 4300 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de novembre sont représentées par le tableau (3.26)

Tableau (3.26) Irradiation solaire du site d'Alger pour le mois de Novembre

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 3029 | 3416 | 3782 | 4117 | 4591 | 4776 | 4839 | 4776 | 4591 | 4294 | 3941 | 3555 | 3147 |
| 80 | 3319 | 3726 | 4105 | 4444 | 4915 | 5098 | 5159 | 5098 | 4915 | 4622 | 4264 | 3865 | 3437 |
| 70 | 3538 | 3947 | 4324 | 4655 | 5107 | 5281 | 5340 | 5281 | 5107 | 4826 | 4478 | 4081 | 3651 |
| 60 | 3678 | 4073 | 4431 | 4742 | 5161 | 5321 | 5376 | 5321 | 5161 | 4902 | 4574 | 4198 | 3784 |
| 50 | 3735 | 4097 | 4423 | 4702 | 5075 | 5217 | 5265 | 5217 | 5075 | 4845 | 4551 | 4209 | 3828 |
| 40 | 3704 | 4019 | 4300 | 4538 | 4852 | 4971 | 5011 | 4971 | 4852 | 4658 | 4409 | 4113 | 3782 |
| 30 | 3588 | 3841 | 4065 | 4253 | 4498 | 4591 | 4622 | 4591 | 4498 | 4347 | 4150 | 3915 | 3649 |
| 20 | 3390 | 3569 | 3726 | 3856 | 4025 | 4088 | 4110 | 4088 | 4025 | 3921 | 3785 | 3620 | 3431 |
| 10 | 3117 | 3211 | 3293 | 2871 | 3446 | 3478 | 3489 | 3478 | 3446 | 3394 | 3323 | 3237 | 3138 |
| 0 | 2780 | 2780 | 2780 | 2780 | 2780 | 2780 | 2780 | 2780 | 2780 | 2780 | 2780 | 2780 | 2780 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de décembre sont représentées par le tableau (3.27)

Tableau (3.27) Irradiation solaire du site d'Alger pour le mois de Décembre

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 2769 | 3168 | 3548 | 3896 | 4391 | 4572 | 4633 | 4572 | 4391 | 4096 | 3725 | 3321 | 2898 |
| 80 | 3010 | 3423 | 3810 | 4158 | 4648 | 4825 | 4885 | 4825 | 4648 | 4357 | 3988 | 3576 | 3139 |
| 70 | 3184 | 3594 | 3974 | 4308 | 4778 | 4947 | 5005 | 4947 | 4778 | 4501 | 4145 | 3742 | 3308 |
| 60 | 3283 | 3675 | 4033 | 4344 | 4778 | 4934 | 4987 | 4934 | 4778 | 4522 | 4192 | 3812 | 3398 |
| 50 | 3305 | 3662 | 3985 | 4262 | 4647 | 4786 | 4832 | 4786 | 4647 | 4422 | 4128 | 3785 | 3407 |
| 40 | 3248 | 3556 | 3833 | 4066 | 4391 | 4507 | 4546 | 4507 | 4391 | 4201 | 3953 | 3661 | 3334 |
| 30 | 3115 | 3361 | 3579 | 3763 | 4016 | 4106 | 4137 | 4106 | 4016 | 3869 | 3674 | 3443 | 3182 |
| 20 | 2909 | 3082 | 3234 | 3360 | 3534 | 3596 | 3616 | 3596 | 3534 | 3433 | 3299 | 3138 | 2954 |
| 10 | 2637 | 2727 | 2806 | 2908 | 2959 | 2991 | 3001 | 2991 | 2959 | 2908 | 2840 | 2756 | 2661 |
| 0 | 2310 | 2310 | 2310 | 2310 | 2310 | 2310 | 2310 | 2310 | 2310 | 2310 | 2310 | 2310 | 2310 |

Chapitre 3 Résultats expérimentaux d'estimation du rayonnement solaire au sol

Le tableau (3.28) représente les valeurs d'irradiation en fonction des angles optimaux d'orientation (α) et d'inclinaison (β) du site d'Alger.

Tableau (3.28) : irradiation en fonction des angles optimaux (α) et (β) du site d'Alger.

| SITE | | Alger | | |
|-----------|-------|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| moi | angle | Inclinaison opt(β)(°) | Azimut opt(α) (°) | G opt (wh/m ²) |
| Janvier | | 60 | 0 | 5224 |
| Février | | 60 | 0 | 5560 |
| Mars | | 40 | 0 | 7018 |
| Avril | | 30 | 0 | 6819 |
| Mai | | 10 | 0 | 7255 |
| Juin | | 0 | 0 | 7840 |
| Juillet | | 10 | 0 | 7911 |
| Aout | | 20 | 0 | 7578 |
| Septembre | | 40 | 0 | 6705 |
| Octobre | | 50 | 0 | 6877 |
| Novembre | | 60 | 0 | 5977 |
| Décembre | | 60 | 0 | 5302 |

D'après le tableau (3.28) on remarque que l'orientation optimale de l'azimute se trouve dans l'angle zéro qui signifient une orientation en plain sud. Alors que l'angle d'inclinaison optimale varie suivant le mois à cause de l'inclinaison de la terre et la hauteur de soleil.

3. 2.3 Etude détaillé pour le site d'Adrar :

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de janvier sont représentées par le tableau (3.29)

Tableau (3.29) Irradiation solaire du site d'Adrar pour le mois janvier

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 3900 | 4318 | 4712 | 5082 | 5416 | 5632 | 5705 | 5632 | 5416 | 5082 | 4712 | 4318 | 3900 |
| 80 | 4336 | 4792 | 5216 | 5604 | 5937 | 6150 | 6222 | 6150 | 5937 | 5604 | 5216 | 4792 | 4336 |
| 70 | 4691 | 5160 | 5593 | 5979 | 6300 | 6502 | 6570 | 6502 | 6300 | 5979 | 5593 | 5160 | 4691 |
| 60 | 4946 | 5407 | 5826 | 6193 | 6491 | 6678 | 6740 | 6678 | 6491 | 6193 | 5826 | 5407 | 4946 |
| 50 | 5092 | 5522 | 5908 | 6241 | 6506 | 6671 | 6727 | 6671 | 6506 | 6241 | 5908 | 5522 | 5092 |
| 40 | 5121 | 5500 | 5836 | 6121 | 6344 | 6482 | 6529 | 6482 | 6344 | 6121 | 5836 | 5500 | 5121 |
| 30 | 5033 | 5339 | 5610 | 5836 | 6010 | 6118 | 6154 | 6118 | 6010 | 5836 | 5610 | 5339 | 5033 |
| 20 | 4829 | 5047 | 5237 | 5395 | 5514 | 5588 | 5613 | 5588 | 5514 | 5395 | 5237 | 5047 | 4829 |
| 10 | 4515 | 4630 | 4730 | 4811 | 4872 | 4910 | 4922 | 4910 | 4872 | 4811 | 4730 | 4630 | 4515 |
| 0 | 4103 | 4103 | 4103 | 4103 | 4103 | 4103 | 4103 | 4103 | 4103 | 4103 | 4103 | 4103 | 4103 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de février sont représentées par le tableau (3.30)

Tableau (3.30) Irradiation solaire du site d'Adrar pour le mois février

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 4135 | 4432 | 4696 | 4928 | 5139 | 5320 | 5386 | 5320 | 5139 | 4928 | 4696 | 4432 | 4135 |
| 80 | 4648 | 4993 | 5301 | 5570 | 5803 | 5984 | 6049 | 5984 | 5803 | 5570 | 5301 | 4993 | 4648 |
| 70 | 5087 | 5460 | 5791 | 6077 | 6315 | 6490 | 6552 | 6490 | 6315 | 6077 | 5791 | 5460 | 5087 |

Chapitre 3 Résultats expérimentaux d'estimation du rayonnement solaire au sol

| | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 60 | 5432 | 5810 | 6144 | 6428 | 6659 | 6822 | 6879 | 6822 | 6659 | 6428 | 6144 | 5810 | 5432 |
| 50 | 5667 | 6028 | 6345 | 6613 | 6824 | 6969 | 7020 | 6969 | 6824 | 6613 | 6345 | 6028 | 5667 |
| 40 | 5780 | 6104 | 6387 | 6623 | 6806 | 6928 | 6971 | 6928 | 6806 | 6623 | 6387 | 6104 | 5780 |
| 30 | 5767 | 6034 | 6266 | 6458 | 6604 | 6700 | 6733 | 6700 | 6604 | 6458 | 6266 | 6034 | 5767 |
| 20 | 5627 | 5820 | 5986 | 6123 | 6226 | 6291 | 6314 | 6291 | 6226 | 6123 | 5986 | 5820 | 5627 |
| 10 | 5365 | 5467 | 5556 | 5628 | 5681 | 5715 | 5726 | 5715 | 5681 | 5628 | 5556 | 5467 | 5365 |
| 0 | 4988 | 4988 | 4988 | 4988 | 4988 | 4988 | 4988 | 4988 | 4988 | 4988 | 4988 | 4988 | 4988 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de mars sont représentées par le tableau (3.31)

Tableau (3.31) Irradiation solaire du site d'Adrar pour le mois mars

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 4435 | 4542 | 4598 | 4613 | 4605 | 4605 | 4625 | 4605 | 4605 | 4613 | 4598 | 4542 | 4435 |
| 80 | 5060 | 5228 | 5346 | 5422 | 5472 | 5512 | 5540 | 5512 | 5472 | 5422 | 5346 | 5228 | 5060 |
| 70 | 5633 | 5845 | 6008 | 6129 | 6217 | 6279 | 6311 | 6279 | 6217 | 6129 | 6008 | 5845 | 5633 |
| 60 | 6124 | 6362 | 6552 | 6700 | 6810 | 6883 | 6916 | 6883 | 6810 | 6700 | 6552 | 6362 | 6124 |
| 50 | 6508 | 6752 | 6952 | 7110 | 7228 | 7304 | 7336 | 7304 | 7228 | 7110 | 6952 | 6752 | 6508 |
| 40 | 6767 | 6998 | 7190 | 7344 | 7457 | 7529 | 7557 | 7529 | 7457 | 7344 | 7190 | 6998 | 6767 |
| 30 | 6891 | 7089 | 7257 | 7390 | 7489 | 7550 | 7574 | 7550 | 7489 | 7390 | 7257 | 7089 | 6891 |
| 20 | 6874 | 7022 | 7148 | 7248 | 7322 | 7369 | 7385 | 7369 | 7322 | 7248 | 7148 | 7022 | 6874 |
| 10 | 6715 | 6797 | 6865 | 6922 | 6963 | 6988 | 6997 | 6988 | 6963 | 6922 | 6865 | 6797 | 6715 |
| 0 | 6421 | 6421 | 6421 | 6421 | 6421 | 6421 | 6421 | 6421 | 6421 | 6421 | 6421 | 6421 | 6421 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de avril sont représentées par le tableau (3.32)

Tableau (3.32) Irradiation solaire du site d'Adrar pour le mois avril

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 3810 | 3702 | 3542 | 3344 | 3129 | 2923 | 2825 | 2923 | 3129 | 3344 | 3542 | 3702 | 3810 |
| 80 | 4426 | 4367 | 4262 | 4126 | 3978 | 3842 | 3779 | 3842 | 3978 | 4126 | 4262 | 4367 | 4426 |
| 70 | 5030 | 5015 | 4961 | 4880 | 4789 | 4702 | 4661 | 4702 | 4789 | 4880 | 4961 | 5015 | 5030 |
| 60 | 5588 | 5610 | 5598 | 5563 | 5514 | 5464 | 5438 | 5464 | 5514 | 5563 | 5598 | 5610 | 5588 |
| 50 | 6072 | 6120 | 6139 | 6137 | 6121 | 6096 | 6082 | 6096 | 6121 | 6137 | 6139 | 6120 | 6072 |
| 40 | 6460 | 6521 | 6560 | 6580 | 6585 | 6580 | 6573 | 6580 | 6585 | 6580 | 6560 | 6521 | 6460 |
| 30 | 6733 | 6796 | 6843 | 6873 | 6890 | 6896 | 6895 | 6896 | 6890 | 6873 | 6843 | 6796 | 6733 |
| 20 | 6880 | 6933 | 6975 | 7005 | 7025 | 7035 | 7038 | 7035 | 7025 | 7005 | 6975 | 6933 | 6880 |
| 10 | 6894 | 6925 | 6951 | 6971 | 6986 | 6994 | 6996 | 6994 | 6986 | 6971 | 6951 | 6925 | 6894 |
| 0 | 6773 | 6773 | 6773 | 6773 | 6773 | 6773 | 6773 | 6773 | 6773 | 6773 | 6773 | 6773 | 6773 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de mai sont représentées par le tableau (3.33)

Tableau (3.33) Irradiation solaire du site d'Adrar pour le mois mai

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 3473 | 3208 | 2892 | 2542 | 2177 | 1888 | 1782 | 1888 | 2177 | 2542 | 2892 | 3208 | 3473 |
| 80 | 4085 | 3858 | 3588 | 3294 | 2995 | 2766 | 2683 | 2766 | 2995 | 3294 | 3588 | 3858 | 4085 |
| 70 | 4718 | 4534 | 4317 | 4083 | 3853 | 3680 | 3618 | 3680 | 3853 | 4083 | 4317 | 4534 | 4718 |
| 60 | 5334 | 5193 | 5028 | 4852 | 4681 | 4555 | 4511 | 4555 | 4681 | 4852 | 5028 | 5193 | 5334 |

Chapitre 3 Résultats expérimentaux d'estimation du rayonnement solaire au sol

| | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 50 | 5899 | 5799 | 5681 | 5556 | 5437 | 5348 | 5318 | 5348 | 5437 | 5556 | 5681 | 5799 | 5899 |
| 40 | 6387 | 6321 | 6244 | 6163 | 6085 | 6027 | 6007 | 6027 | 6085 | 6163 | 6244 | 6321 | 6387 |
| 30 | 6776 | 6738 | 6692 | 6645 | 6600 | 6567 | 6555 | 6567 | 6600 | 6645 | 6692 | 6738 | 6776 |
| 20 | 7048 | 7029 | 7008 | 6986 | 6965 | 6949 | 6943 | 6949 | 6965 | 6986 | 7008 | 7029 | 7048 |
| 10 | 7191 | 7185 | 7178 | 7172 | 7166 | 7161 | 7160 | 7161 | 7166 | 7172 | 7178 | 7185 | 7191 |
| 0 | 7198 | 7198 | 7198 | 7198 | 7198 | 7198 | 7198 | 7198 | 7198 | 7198 | 7198 | 7198 | 7198 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de juin sont représentées par le tableau (3.34)

Tableau (3.34) Irradiation solaire du site d'Adrar pour le mois juin

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 3379 | 3032 | 2634 | 2202 | 1778 | 1490 | 1397 | 1490 | 1778 | 2202 | 2634 | 3032 | 3379 |
| 80 | 3995 | 3677 | 3317 | 2935 | 2563 | 2306 | 2215 | 2306 | 2563 | 2935 | 3317 | 3677 | 3995 |
| 70 | 4647 | 4371 | 4063 | 3742 | 3441 | 3236 | 3163 | 3236 | 3441 | 3742 | 4063 | 4371 | 4647 |
| 60 | 5295 | 5066 | 4816 | 4561 | 4327 | 4169 | 4114 | 4169 | 4327 | 4561 | 4816 | 5066 | 5295 |
| 50 | 5906 | 5725 | 5532 | 5339 | 5165 | 5049 | 5009 | 5049 | 5165 | 5339 | 5532 | 5725 | 5906 |
| 40 | 6450 | 6316 | 6175 | 6037 | 5915 | 5834 | 5806 | 5834 | 5915 | 6037 | 6175 | 6316 | 6450 |
| 30 | 6903 | 6810 | 6715 | 6625 | 6547 | 6496 | 6478 | 6496 | 6547 | 6625 | 6715 | 6810 | 6903 |
| 20 | 7244 | 7187 | 7132 | 7081 | 7037 | 7010 | 6999 | 7010 | 7037 | 7081 | 7132 | 7187 | 7244 |
| 10 | 7458 | 7432 | 7408 | 7387 | 7371 | 7360 | 7356 | 7360 | 7371 | 7387 | 7408 | 7432 | 7458 |
| 0 | 7535 | 7535 | 7535 | 7535 | 7535 | 7535 | 7535 | 7535 | 7535 | 7535 | 7535 | 7535 | 7535 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de juillet sont représentées par le tableau (3.35)

Tableau (3.35) Irradiation solaire du site d'Adrar pour le mois juillet

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 3449 | 3134 | 2767 | 2366 | 1958 | 1664 | 1561 | 1664 | 1958 | 2366 | 2767 | 3134 | 3449 |
| 80 | 4063 | 3781 | 3457 | 3108 | 2762 | 2516 | 2427 | 2516 | 2762 | 3108 | 3457 | 3781 | 4063 |
| 70 | 4706 | 4468 | 4195 | 3908 | 3633 | 3441 | 3373 | 3441 | 3633 | 3908 | 4195 | 4468 | 4706 |
| 60 | 5337 | 5144 | 4929 | 4704 | 4494 | 4350 | 4299 | 4350 | 4494 | 4704 | 4929 | 5144 | 5337 |
| 50 | 5925 | 5777 | 5615 | 5449 | 5295 | 5191 | 5155 | 5191 | 5295 | 5449 | 5615 | 5777 | 5925 |
| 40 | 6440 | 6334 | 6219 | 6104 | 5998 | 5928 | 5904 | 5928 | 5998 | 6104 | 6219 | 6334 | 6440 |
| 30 | 6860 | 6790 | 6715 | 6642 | 6577 | 6534 | 6519 | 6534 | 6577 | 6642 | 6715 | 6790 | 6860 |
| 20 | 7165 | 7124 | 7083 | 7044 | 7009 | 6986 | 6978 | 6986 | 7009 | 7044 | 7083 | 7124 | 7165 |
| 10 | 7342 | 7325 | 7308 | 7293 | 7280 | 7272 | 7269 | 7272 | 7280 | 7293 | 7308 | 7325 | 7342 |
| 0 | 7383 | 7383 | 7383 | 7383 | 7383 | 7383 | 7383 | 7383 | 7383 | 7383 | 7383 | 7383 | 7383 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de aout sont représentées par le tableau (3.36)

Tableau (3.36) Irradiation solaire du site d'Adrar pour le mois aout

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 3644 | 3475 | 3252 | 2995 | 2720 | 2466 | 2363 | 2466 | 2720 | 2995 | 3252 | 3475 | 3644 |
| 80 | 4253 | 4127 | 3958 | 3760 | 3554 | 3371 | 3300 | 3371 | 3554 | 3760 | 3958 | 4127 | 4253 |
| 70 | 4863 | 4781 | 4663 | 4522 | 4376 | 4249 | 4200 | 4249 | 4376 | 4522 | 4663 | 4781 | 4863 |
| 60 | 5437 | 5394 | 5322 | 5231 | 5134 | 5049 | 5016 | 5049 | 5134 | 5231 | 5322 | 5394 | 5437 |
| 50 | 5946 | 5935 | 5900 | 5850 | 5792 | 5739 | 5719 | 5739 | 5792 | 5850 | 5900 | 5935 | 5946 |

Chapitre 3 Résultats expérimentaux d'estimation du rayonnement solaire au sol

| | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 40 | 6367 | 6378 | 6371 | 6350 | 6322 | 6293 | 6281 | 6293 | 6322 | 6350 | 6371 | 6378 | 6367 |
| 30 | 6680 | 6703 | 6712 | 6712 | 6703 | 6692 | 6687 | 6692 | 6703 | 6712 | 6712 | 6703 | 6680 |
| 20 | 6871 | 6895 | 6911 | 6921 | 6924 | 6923 | 6922 | 6923 | 6924 | 6921 | 6911 | 6895 | 6871 |
| 10 | 6932 | 6948 | 6961 | 6970 | 6976 | 6979 | 6980 | 6979 | 6976 | 6970 | 6961 | 6948 | 6932 |
| 0 | 6858 | 6858 | 6858 | 6858 | 6858 | 6858 | 6858 | 6858 | 6858 | 6858 | 6858 | 6858 | 6858 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de septembre sont représentées par le tableau (3.37)

Tableau (3.37) Irradiation solaire du site d'Adrar pour le mois septembre

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 3709 | 3748 | 3743 | 3707 | 3652 | 3601 | 3573 | 3601 | 3652 | 3707 | 3743 | 3748 | 3709 |
| 80 | 4267 | 4354 | 4401 | 4416 | 4412 | 4401 | 4390 | 4401 | 4412 | 4416 | 4401 | 4354 | 4267 |
| 70 | 4792 | 4916 | 5001 | 5056 | 5087 | 5101 | 5100 | 5101 | 5087 | 5056 | 5001 | 4916 | 4792 |
| 60 | 5255 | 5402 | 5513 | 5593 | 5647 | 5676 | 5682 | 5676 | 5647 | 5593 | 5513 | 5402 | 5255 |
| 50 | 5633 | 5789 | 5913 | 6006 | 6071 | 6108 | 6117 | 6108 | 6071 | 6006 | 5913 | 5789 | 5633 |
| 40 | 5908 | 6059 | 6181 | 6276 | 6343 | 6382 | 6393 | 6382 | 6343 | 6276 | 6181 | 6059 | 5908 |
| 30 | 6068 | 6199 | 6308 | 6393 | 6454 | 6490 | 6500 | 6490 | 6454 | 6393 | 6308 | 6199 | 6068 |
| 20 | 6106 | 6205 | 6287 | 6353 | 6400 | 6428 | 6437 | 6428 | 6400 | 6353 | 6287 | 6205 | 6106 |
| 10 | 6020 | 6074 | 6120 | 6156 | 6183 | 6199 | 6204 | 6199 | 6183 | 6156 | 6120 | 6074 | 6020 |
| 0 | 5809 | 5809 | 5809 | 5809 | 5809 | 5809 | 5809 | 5809 | 5809 | 5809 | 5809 | 5809 | 5809 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de octobre sont représentées par le tableau (3.38)

Tableau (3.38) Irradiation solaire du site d'Adrar pour le mois octobre

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 3991 | 4229 | 4432 | 4605 | 4758 | 4899 | 4957 | 4899 | 4758 | 4605 | 4432 | 4229 | 3991 |
| 80 | 4515 | 4803 | 5052 | 5266 | 5449 | 5597 | 5654 | 5597 | 5449 | 5266 | 5052 | 4803 | 4515 |
| 70 | 4976 | 5293 | 5570 | 5807 | 6002 | 6149 | 6204 | 6149 | 6002 | 5807 | 5570 | 5293 | 4976 |
| 60 | 5350 | 5678 | 5963 | 6205 | 6399 | 6538 | 6588 | 6538 | 6399 | 6205 | 5963 | 5678 | 5350 |
| 50 | 5622 | 5938 | 6214 | 6445 | 6626 | 6752 | 6797 | 6752 | 6626 | 6445 | 6214 | 5938 | 5622 |
| 40 | 5777 | 6063 | 6312 | 6518 | 6678 | 6786 | 6823 | 6786 | 6678 | 6518 | 6312 | 6063 | 5777 |
| 30 | 5809 | 6047 | 6253 | 6422 | 6552 | 6637 | 6666 | 6637 | 6552 | 6422 | 6253 | 6047 | 5809 |
| 20 | 5716 | 5888 | 6037 | 6159 | 6251 | 6310 | 6330 | 6310 | 6251 | 6159 | 6037 | 5888 | 5716 |
| 10 | 5501 | 5593 | 5672 | 5737 | 5786 | 5816 | 5826 | 5816 | 5786 | 5737 | 5672 | 5593 | 5501 |
| 0 | 5169 | 5169 | 5169 | 5169 | 5169 | 5169 | 5169 | 5169 | 5169 | 5169 | 5169 | 5169 | 5169 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de novembre sont représentées par le tableau (3.39)

Tableau (3.39) Irradiation solaire du site d'Adrar pour le mois novembre

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 3881 | 4269 | 4631 | 4970 | 5281 | 5488 | 5558 | 5488 | 5281 | 4970 | 4631 | 4269 | 3881 |
| 80 | 4332 | 4759 | 5155 | 5516 | 5829 | 6034 | 6103 | 6034 | 5829 | 5516 | 5155 | 4759 | 4332 |
| 70 | 4703 | 5148 | 5555 | 5918 | 6222 | 6417 | 6483 | 6417 | 6222 | 5918 | 5555 | 5148 | 4703 |
| 60 | 4979 | 5418 | 5816 | 6164 | 6447 | 6627 | 6688 | 6627 | 6447 | 6164 | 5816 | 5418 | 4979 |
| 50 | 5147 | 5559 | 5928 | 6245 | 6498 | 6657 | 6711 | 6657 | 6498 | 6245 | 5928 | 5559 | 5147 |
| 40 | 5200 | 5563 | 5885 | 6158 | 6372 | 6506 | 6551 | 6506 | 6372 | 6158 | 5885 | 5563 | 5200 |

Chapitre 3 Résultats expérimentaux d'estimation du rayonnement solaire au sol

| | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 30 | 5134 | 5429 | 5689 | 5907 | 6075 | 6179 | 6213 | 6179 | 6075 | 5907 | 5689 | 5429 | 5134 |
| 20 | 4952 | 5162 | 5346 | 5498 | 5614 | 5685 | 5709 | 5685 | 5614 | 5498 | 5346 | 5162 | 4952 |
| 10 | 4658 | 4769 | 4866 | 4945 | 5003 | 5040 | 5052 | 5040 | 5003 | 4945 | 4866 | 4769 | 4658 |
| 0 | 4263 | 4263 | 4263 | 4263 | 4263 | 4263 | 4263 | 4263 | 4263 | 4263 | 4263 | 4263 | 4263 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de décembre sont représentées par le tableau (3.40)

Tableau (3.40) Irradiation solaire du site d'Adrar pour le mois décembre

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 3634 | 4054 | 4452 | 4827 | 5154 | 5359 | 5428 | 5359 | 5154 | 4827 | 4452 | 4054 | 3634 |
| 80 | 4028 | 4479 | 4901 | 5286 | 5610 | 5812 | 5880 | 5812 | 5610 | 5286 | 4901 | 4479 | 4028 |
| 70 | 4341 | 4802 | 5227 | 5606 | 5916 | 6109 | 6174 | 6109 | 5916 | 5606 | 5227 | 4802 | 4341 |
| 60 | 4562 | 5010 | 5419 | 5776 | 6062 | 6239 | 6290 | 6239 | 6062 | 5776 | 5419 | 5010 | 4562 |
| 50 | 4679 | 5094 | 5469 | 5790 | 6044 | 6201 | 6254 | 6201 | 6044 | 5790 | 5469 | 5094 | 4679 |
| 40 | 4689 | 5052 | 5375 | 5649 | 5862 | 5994 | 6038 | 5994 | 5862 | 5649 | 5375 | 5052 | 4689 |
| 30 | 4589 | 4882 | 5140 | 5356 | 5522 | 5625 | 5659 | 5625 | 5522 | 5356 | 5140 | 4882 | 4589 |
| 20 | 4383 | 4590 | 4771 | 4921 | 5034 | 5105 | 5128 | 5105 | 5034 | 4921 | 4771 | 4590 | 4383 |
| 10 | 4077 | 4185 | 4279 | 4356 | 4414 | 4450 | 4462 | 4450 | 4414 | 4356 | 4279 | 4185 | 4077 |
| 0 | 3680 | 3680 | 3680 | 3680 | 3680 | 3680 | 3680 | 3680 | 3680 | 3680 | 3680 | 3680 | 3680 |

Le tableau (3.41) représente les valeurs d'irradiation optimale en fonction des angles (α) et (β) du site d'Adrar.

Tableau (3.41) : irradiation en fonction des angles optimaux (α) et (β) du site d'Adrar.

| SITE | | Adrar | | |
|-----------|-------|--------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| moi | angle | Inclinaison opt(β) (°) | Azimut opt(α) (°) | G opt (wh/m ²) |
| Janvier | | 60 | 0 | 6740 |
| Février | | 60 | 0 | 6879 |
| Mars | | 30 | 0 | 7574 |
| Avril | | 20 | 0 | 7038 |
| Mai | | 10 | 0 | 7160 |
| Juin | | 0 | 0 | 7535 |
| Juillet | | 0 | 0 | 7383 |
| Aout | | 10 | 0 | 6980 |
| Septembre | | 30 | 0 | 6500 |
| Octobre | | 40 | 0 | 6823 |
| Novembre | | 50 | 0 | 6711 |
| Décembre | | 60 | 0 | 6290 |

D'après le tableau (3.41) on remarque que l'orientation optimale de l'azimute se trouve dans l'angle zéro qui signifient une orientation en plain sud. Alors que l'angle d'inclinaison optimale varie suivant le mois à cause de l'inclinaison de la terre et la hauteur de soleil.

3. 2.4 irradiation pour le site d'Oran

Le tableau (3.42) représente les valeurs d'irradiation optimale en fonction des angles (α) et (β) du site d'Oran.

Chapitre 3 Résultats expérimentaux d'estimation du rayonnement solaire au sol

Tableau (3.42) : irradiation en fonction des angles optimaux (α) et (β) du site d'Oran.

| SITE | | Oran | | |
|-----------|-------|------------------------|----------------------------|----------------------------|
| moi | angle | Inclinaison opt(B)(°) | Azimut opt(α) (°) | G opt (wh/m ²) |
| Janvier | | 60 | 0 | 5451 |
| Février | | 60 | 0 | 6029 |
| Mars | | 40 | 0 | 6789 |
| Avril | | 30 | 0 | 6571 |
| Mai | | 10 | 0 | 7126 |
| Juin | | 0 | 0 | 7820 |
| Juillet | | 10 | 0 | 7803 |
| Aout | | 20 | 0 | 7465 |
| Septembre | | 40 | 0 | 6768 |
| Octobre | | 50 | 0 | 6674 |
| Novembre | | 60 | 0 | 5540 |
| Décembre | | 70 | 0 | 5105 |

3. 2.5 irradiation pour le site d'Annaba

Le tableau (3.43) représente les valeurs d'irradiation optimale en fonction des angles (α) et (β) du site de Annaba

Tableau (3.43) : irradiation en fonction des angles optimaux (α) et (β) du site de Annaba

| SITE | | Annaba | | |
|-----------|-------|------------------------|----------------------------|----------------------------|
| moi | angle | Inclinaison opt(B)(°) | Azimut opt(α) (°) | G opt (wh/m ²) |
| Janvier | | 60 | 0 | 4494 |
| Février | | 60 | 0 | 4962 |
| Mars | | 40 | 0 | 6210 |
| Avril | | 30 | 0 | 6139 |
| Mai | | 10 | 0 | 6778 |
| Juin | | 10 | 0 | 7647 |
| Juillet | | 10 | 0 | 7888 |
| Aout | | 20 | 0 | 7336 |
| Septembre | | 40 | 0 | 6401 |
| Octobre | | 50 | 0 | 5950 |
| Novembre | | 60 | 0 | 4816 |
| Décembre | | 60 | 0 | 4220 |

3. 2.6 irradiation pour le site de Bordj Bou Arreridj

Le tableau (3.44) représente les valeurs d'irradiation optimale en fonction des angles (α) et (β) du site de Bordj Bou Arreridj.

Tableau (3.44) : d'irradiation en fonction des angles optimaux (α) et (β) du site de Bordj Bou Arreridj.

| SITE | | Bordj Bou Arreridj | | |
|---------|-------|------------------------|----------------------------|----------------------------|
| moi | angle | Inclinaison opt(B)(°) | Azimut opt(α) (°) | G opt (wh/m ²) |
| Janvier | | 60 | 0 | 5321 |

| | | | |
|-----------|----|---|------|
| Février | 60 | 0 | 5580 |
| Mars | 40 | 0 | 6624 |
| Avril | 30 | 0 | 6438 |
| Mai | 10 | 0 | 6963 |
| Juin | 10 | 0 | 7755 |
| Juillet | 10 | 0 | 7860 |
| Aout | 20 | 0 | 7469 |
| Septembre | 40 | 0 | 6556 |
| Octobre | 50 | 0 | 5664 |
| Novembre | 60 | 0 | 5489 |
| Décembre | 60 | 0 | 4862 |

3. 2.7 irradiation pour le site de Sétif

Le tableau (3.45) représente les valeurs d'irradiation optimale en fonction des angles (α) et (β) du site de Sétif.

Tableau (3.45) : irradiation en fonction des angles optimaux (α) et (β) du site de Sétif.

| SITE | | Sétif | | |
|-----------|-------|------------------------|----------------------------|----------------------------|
| moi | angle | Inclinaison opt(B)(°) | Azimut opt(α) (°) | G opt (wh/m ²) |
| Janvier | | 60 | 0 | 5114 |
| Février | | 60 | 0 | 5461 |
| Mars | | 40 | 0 | 6449 |
| Avril | | 30 | 0 | 6291 |
| Mai | | 10 | 0 | 6896 |
| Juin | | 0 | 0 | 7652 |
| Juillet | | 10 | 0 | 7775 |
| Aout | | 20 | 0 | 7339 |
| Septembre | | 40 | 0 | 6450 |
| Octobre | | 50 | 0 | 6380 |
| Novembre | | 60 | 0 | 5436 |
| Décembre | | 60 | 0 | 4751 |

3. 2.8 irradiation pour le site d'Illizi

Le tableau (3.46) représente les valeurs d'irradiation optimale en fonction des angles (α) et (β) du site d'Illizi.

Tableau (3.46) : irradiation en fonction des angles optimaux (α) et (β) du site d'Illizi.

| SITE | | Illizi | | |
|---------|-------|------------------------|----------------------------|----------------------------|
| moi | angle | Inclinaison opt(B)(°) | Azimut opt(α) (°) | G opt (wh/m ²) |
| Janvier | | 60 | 0 | 7225 |
| Février | | 60 | 0 | 7299 |
| Mars | | 40 | 0 | 7749 |
| Avril | | 30 | 0 | 7031 |
| Mai | | 10 | 0 | 7181 |
| Juin | | 0 | 0 | 7416 |

| | | | |
|------------------|----|---|------|
| Juillet | 0 | 0 | 7822 |
| Aout | 20 | 0 | 7439 |
| Septembre | 40 | 0 | 7088 |
| Octobre | 50 | 0 | 7225 |
| Novembre | 60 | 0 | 7234 |
| Décembre | 60 | 0 | 6848 |

3. 2.9 irradiation pour le site de Tamanrasset

Le tableau (3.47) représente les valeurs d'irradiation optimale en fonction des angles (α) et (β) du site de Tamanrasset.

Tableau (3.47) : irradiation en fonction des angles optimaux (α) et (β) du site de Tamanrasset

| SITE | | Tamanrasset | | |
|------------------|--------------|-------------------------------|--|---------------------------------|
| moi | angle | Inclinaison opt(B)(°) | Azimut opt(α) (°) | G opt (wh/m²) |
| Janvier | | 60 | 0 | 7562 |
| Février | | 40 | 0 | 7646 |
| Mars | | 30 | 0 | 8028 |
| Avril | | 10 | 0 | 7258 |
| Mai | | 10 | 0 | 7123 |
| Juin | | 0 | 0 | 7090 |
| Juillet | | 0 | 0 | 7380 |
| Aout | | 10 | 0 | 6841 |
| Septembre | | 30 | 0 | 6756 |
| Octobre | | 40 | 0 | 7358 |
| Novembre | | 50 | 0 | 7702 |
| Décembre | | 60 | 0 | 7394 |

3. 2.10 irradiation pour le site de Tindouf

Le tableau (3.48) représente les valeurs d'irradiation optimale en fonction des angles (α) et (β) du site de Tindouf.

Tableau (3.48) : irradiation en fonction des angles optimaux (α) et (β) du site de Tindouf.

| SITE | | Tindouf | | |
|------------------|--------------|-------------------------------|--|---------------------------------|
| moi | angle | Inclinaison opt(B)(°) | Azimut opt(α) (°) | G opt (wh/m²) |
| Janvier | | 60 | 0 | 7294 |
| Février | | 50 | 0 | 7442 |
| Mars | | 40 | 0 | 7926 |
| Avril | | 20 | 0 | 7552 |
| Mai | | 0 | 0 | 7799 |
| Juin | | 0 | 0 | 7957 |
| Juillet | | 0 | 0 | 7615 |
| Aout | | 10 | 0 | 7163 |
| Septembre | | 30 | 0 | 6873 |
| Octobre | | 40 | 0 | 7259 |

Chapitre 3 Résultats expérimentaux d'estimation du rayonnement solaire au sol

| | | | |
|-----------------|----|---|------|
| Novembre | 60 | 0 | 7322 |
| Décembre | 60 | 0 | 6769 |

D'après les valeurs des irradiances représentées par les tableaux (3.42) au (3.48), on remarque que l'orientation optimale de l'azimut se trouve toujours dans l'angle zéro qui signifie une orientation en plein sud. Alors que l'angle d'inclinaison optimale varie suivant le mois à cause des variations des valeurs de l'inclinaison de la terre et de la hauteur du soleil.

Les résultats détaillés des valeurs de l'irradiation solaire pour les différents sites Algériens proposés dans le tableau (3.1) sont reportés en annexe A.

3.3 Conclusion :

Les résultats de calcul des angles optimaux, d'azimut et d'inclinaison afin de capter le maximum d'énergie solaire sur un capteur solaire plan en utilisant les modèles d'estimation du rayonnement solaire global au sol de la troisième génération, de Pérez ont été présentés dans ce chapitre pour les différents sites algériens représentés par leurs coordonnées géographiques dans le tableau (3.1).

A partir des résultats obtenus nous avons remarqué que l'angle zéro (0) est un choix optimal pour l'orientation c'est-à-dire : orienter le capteur en plein sud pour l'hémisphère nord. Alors que le choix de l'angle optimal d'inclinaison est variable suivant plusieurs paramètres car, nous avons constaté que, cet angle varie suivant le mois à cause des variations de l'inclinaison de la terre et la hauteur (h) du soleil.

Conclusion générale

L'énergie est une des causes du développement d'un pays, elle est partout et elle permet un véritable confort. Ainsi, alors que les énergies prédominantes sont le pétrole et le nucléaire, la recherche, tant publique que privée, se tourne vers les énergies renouvelables, surtout avec l'augmentation brutale du prix du pétrole.

L'exploitation de l'énergie solaire et l'optimisation de sa collecte par les systèmes photovoltaïques nécessite une connaissance exacte de la distribution de l'irradiation solaire, qui est fonction de plusieurs paramètres géographique et astronomiques sur le lieu d'implantation de ce système. Pour cela différentes notions qui rentrent dans le domaine de l'énergie solaire ainsi qu'un rappel sur les capteurs solaires photovoltaïques ont été présentés.

Beaucoup de modèles pour estimer le rayonnement solaire global, diffus et direct à partir de la durée d'insolation des valeurs moyennes mensuelles des valeurs moyennes journalières ou horaires d'irradiation moyennant plusieurs paramètres climatologiques se trouvent dans la littérature. La difficulté d'estimation de cette dernière a contribué à l'élaboration de beaucoup de modèles statistiques. Ces modèles considèrent l'isotropie ou l'anisotropie du ciel. Dans notre travail les modèles d'estimation du rayonnement solaire de la 1^{ère} génération, de la 2^{ème} génération et de la 3^{ème} génération ont été présentés dans le chapitre 2, où pour tous ces modèles, à l'exception de l'état où le ciel est clair, la composante diffuse est toujours dominante.

En fait, l'objectif de ce travail consiste à montrer, dans le domaine des systèmes de l'énergie solaire, qu'ils soient photovoltaïques ou thermiques, l'intérêt énergétique aux systèmes à une structure fixe.

Les résultats de calcul des angles optimaux, d'azimut et d'inclinaison afin de capter le maximum d'énergie solaire sur un capteur solaire plan en utilisant les modèles d'estimation du rayonnement solaire global au sol de la troisième génération, de Pérez ont été présentés dans ce travail pour les différents sites algériens représentés par leurs coordonnées géographiques. Nous avons choisi comme entrée du modèle d'estimation, le rayonnement global sur plan horizontal du lieu et on calcule le rayonnement global sur un plan incliné β d'un angle par rapport à l'horizon et orienté d'un angle α par rapport au plein sud du lieu ou du site en question à la sortie.

A partir des résultats obtenus, nous avons remarqué que l'angle zéro (0) est un choix optimal pour l'orientation c'est-à-dire : orienter le capteur en plein sud pour l'hémisphère nord. Alors que le choix de l'angle optimal d'inclinaison est variable suivant plusieurs paramètres car, nous avons constaté que, cet angle varie suivant le mois et à cause des variations des valeurs de l'inclinaison de la terre et de la hauteur du soleil.

Comme perspective à notre étude, nous envisageons :

- D'utiliser d'autres types de méthodes à noyau pour l'estimation de rayonnement.

Bibliographie

- [1] J. Chasseriau « conversion thermique du rayonnement solaire», Dunod, 1984.
- [2] R. Bernard, G. Menguy, Schwartz. M, «Le rayonnement solaire conversion thermique et Applications », 2ème Edition, technique et documentation, Lavoisier, 1980.
- [3] A. Labouret «Cellules solaires les bases de l'énergie photovoltaïque», Dunod, paris, 2001.
- [4] M. Capderou « Atlas solaire de l'algérie, tome 1, vol. 1 et 2», OPU, 1987.
- [5] Duffie, John A., and Beckman, William A. "Solar Engineering of Thermal Processes", 2nd edition. New York: John Wiley and Sons, Inc., 1991
- [6] P. Rivet « Le rayonnement solaire», CNRS, edition, wiley interscience, New york, 1974.
- [7] A. Mefti, M.Y. Bouroubi, H. Mimouni, «Evaluation du potentiel énergétique solaire », bulletin des energies renouvelables, n° 2, p12, 2002.
- [8] D.K Edwards, « Capteurs solaire», edition SCM, paris, 1979.
- [9] H. Abdi, « Contribution à la détermination des performances de capteurs plans à contact direct eau-plaque d'absorption»; mémoire de magister, Université de Blida, 1999.
- [10] Alain R. « Photopiles solaires», presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, Suisse, 1997.
- [11] Ludovic P., Stephane A. «Convertisseurs photovoltaïques», Techniques de l'Ingénieur, 1995.
- [12] K. Kaci, A. Belloua, « Etude et réalisation d'un capteur solaire plan à contact direct eau plaque absorbante configuration 'convexe' » ; mémoire de pfe énergétique, université de blida, 1997.
- [13] Labouret.A, Michel.V, « Energie solaire photovoltaïque», 4ème édition, Dunod, paris, 2009.
- [14] Hamani Nadjette «Modélisation du flux solaire incident et de la température de sortie dans un capteur solaire à eau avec effet de concentration du rayonnement solaire incident», mémoire de Magister, Université de Biskra, 2005.
- [15] A. Sfeir, G. Guarracino, «Ingénierie des systèmes solaires», technique et documentation, paris, 1981.
- [16] A. Mefti, M. Y. Bouroubi,H. Mimouni,« Evaluation du potentiel énergétique solaire», bulletin des energies renouvelables, 2002.
- [17] A. Labouret, M. Viloz, « Energie solaire photovoltaïque », Edition le Moniteur, 2006.
- [18] A. A. El-sebaï, F.S. Al-hazmi, A.A. Al-ghamdi and S.J. Yaghmour, « Global, direct and diffuse solar radiation on horizontal and tilted surfaces in jeddah », saudi arabia, appl energy,2010.

Bibliographie

- [19] B.Y.H. Liu et R.C.Jordan, «l'ensoleillement quotidien sur des surfaces inclinées vers l'équateur», Trans ASHRAE 67 (1962).
- [20] A. H. Maghrabi , « Parameterization of a simple model to estimate monthly global solar radiation based on meteorological variables ,and evaluation of existing solar radiation models for tabouk », saudi arabia ,energy conversion and management Volume 50,2009.
- [21] D. T. Reindl, W. A. Beckman and J. A. Duffie « Evaluation of hourly tilted surface radiation models », Solar energy, 1990.
- [22] J. A. Duffie and W. A. Beckman « Solar engineering of thermal processes », 3rd ed. John Wiley and Sons, 2006.
- [23] J. Bilbao, A. Demiguel, A. Ayuso, et J. A. Franco, « Iso-radiation maps for tilted surfaces in the castile and leon region, Spain», Energy conversion and management, Vol. 44, 2003.
- [24] M. Iqbal, « Une introduction au rayonnement solaire», academic press, New York (1983)
- [25] T.Muneer, « Solar radiation and daylight models »,Elsevier butterworth-hermann, edition 2004.
- [26] Chanchal Kumar Pandey, A.K. Katiyar « A note on diffuse solar radiation on a tilted surface», Solar energy, Volume 34 issue 11,2009
- [27] Efim g. Evseev, Avraham I. Kudish «The assessment of different models to predict the global solar radiation on a surface tilted to the south», Solar energy, 2009.
- [28] Ralph C. Temps, k. l. Coulson « solar radiation incident upon slopes of different orientations », Solar energy, 1977.

Annexe

A.1. résultats détaillés de l'irradiation solaire pour le site Oran

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de janvier sont représentées par le tableau (A.1.1)

Tableau (A.1.1) Irradiation solaire du site d'Oran pour le mois janvier

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de février sont représentées par le tableau (A.1.2)

Tableau (A.1.2) Irradiation solaire du site d'Oran pour le mois février

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de mars sont représentées par le tableau (A.1.3)

Tableau (A.1.3) Irradiation solaire du site d'Oran pour le mois mars

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de avril sont représentées par le tableau (A.1.4)

Tableau (A.1.4) Irradiation solaire du site d'Oran pour le mois avril

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 3814 | 3827 | 6272 | 3729 | 3641 | 3546 | 3502 | 3546 | 3641 | 3729 | 6272 | 3827 | 3814 |
| 80 | 4381 | 4442 | 4461 | 4444 | 4404 | 4351 | 4325 | 4351 | 4404 | 4444 | 4461 | 4442 | 4381 |
| 70 | 4911 | 5010 | 5068 | 5092 | 5088 | 5065 | 5051 | 5065 | 5088 | 5092 | 5068 | 5010 | 4911 |
| 60 | 5379 | 5502 | 5588 | 5640 | 5663 | 5661 | 5656 | 5661 | 5663 | 5640 | 5588 | 5502 | 5379 |
| 50 | 5760 | 5896 | 5997 | 6066 | 6105 | 6119 | 6119 | 6119 | 6105 | 6066 | 5997 | 5896 | 5760 |
| 40 | 6040 | 6173 | 6277 | 6353 | 6401 | 6423 | 6428 | 6423 | 6401 | 6353 | 6277 | 6173 | 6040 |
| 30 | 6207 | 6325 | 6419 | 6491 | 6539 | 6564 | 6571 | 6564 | 6539 | 6491 | 6419 | 6325 | 6207 |
| 20 | 6255 | 6344 | 6417 | 6475 | 6515 | 6537 | 6543 | 6537 | 6515 | 6475 | 6417 | 6344 | 6255 |
| 10 | 6181 | 6231 | 6272 | 6305 | 6329 | 6343 | 6347 | 6343 | 6329 | 6305 | 6272 | 6231 | 6181 |
| 0 | 5990 | 5990 | 5990 | 5990 | 5990 | 5990 | 5990 | 5990 | 5990 | 5990 | 5990 | 5990 | 5990 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de mai sont représentées par le tableau (A.1.5)

Tableau (A.1.5) Irradiation solaire du site d'Oran pour le mois mai

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 3827 | 3664 | 7107 | 3197 | 2932 | 2735 | 2664 | 2735 | 2932 | 3197 | 7107 | 3664 | 3827 |
| 80 | 4455 | 4338 | 4177 | 3984 | 3782 | 3634 | 3581 | 3634 | 3782 | 3984 | 4177 | 4338 | 4455 |
| 70 | 5072 | 5000 | 4889 | 4751 | 4604 | 4497 | 4460 | 4497 | 4604 | 4751 | 4889 | 5000 | 5072 |
| 60 | 5645 | 5612 | 5545 | 5455 | 5354 | 5281 | 5255 | 5281 | 5354 | 5455 | 5545 | 5612 | 5645 |
| 50 | 6146 | 6143 | 6112 | 6061 | 5999 | 5952 | 5935 | 5952 | 5999 | 6061 | 6112 | 6143 | 6146 |
| 40 | 6554 | 6571 | 6567 | 6545 | 6513 | 6487 | 6478 | 6487 | 6513 | 6545 | 6567 | 6571 | 6554 |
| 30 | 6852 | 6879 | 6890 | 6889 | 6878 | 6868 | 6865 | 6868 | 6878 | 6889 | 6890 | 6879 | 6852 |
| 20 | 7028 | 7055 | 7073 | 7082 | 7083 | 7083 | 7082 | 7083 | 7083 | 7082 | 7073 | 7055 | 7028 |
| 10 | 7077 | 7094 | 7107 | 7117 | 7122 | 7125 | 7126 | 7125 | 7122 | 7117 | 7107 | 7094 | 7077 |
| 0 | 7000 | 7000 | 7000 | 7000 | 7000 | 7000 | 7000 | 7000 | 7000 | 7000 | 7000 | 7000 | 7000 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de juin sont représentées par le tableau (A.1.6)

Tableau (A.1.6) Irradiation solaire du site d'Oran pour le mois juin

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 3997 | 3712 | 7813 | 2983 | 2621 | 2377 | 2291 | 2377 | 2621 | 2983 | 7813 | 3712 | 3997 |
| 80 | 4675 | 4434 | 4144 | 3822 | 3525 | 3327 | 3258 | 3327 | 3525 | 3822 | 4144 | 4434 | 4675 |
| 70 | 5353 | 5162 | 4929 | 4673 | 4441 | 4288 | 4234 | 4288 | 4441 | 4673 | 4929 | 5162 | 5353 |
| 60 | 5994 | 5853 | 5678 | 5484 | 5310 | 5196 | 5156 | 5196 | 5310 | 5484 | 5678 | 5853 | 5994 |
| 50 | 6572 | 6475 | 6351 | 6214 | 6090 | 6009 | 5981 | 6009 | 6090 | 6214 | 6351 | 6475 | 6572 |
| 40 | 7061 | 7001 | 6921 | 6831 | 6750 | 6696 | 6678 | 6696 | 6750 | 6831 | 6921 | 7001 | 7061 |
| 30 | 7441 | 7408 | 7363 | 7311 | 7264 | 7233 | 7223 | 7233 | 7264 | 7311 | 7363 | 7408 | 7441 |
| 20 | 7698 | 7684 | 7663 | 7639 | 7618 | 7604 | 7599 | 7604 | 7618 | 7639 | 7663 | 7684 | 7698 |
| 10 | 7822 | 7818 | 7813 | 7806 | 7801 | 7797 | 7796 | 7797 | 7801 | 7806 | 7813 | 7818 | 7822 |
| 0 | 7820 | 7820 | 7820 | 7820 | 7820 | 7820 | 7820 | 7820 | 7820 | 7820 | 7820 | 7820 | 7820 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de juillet sont représentées par le tableau (A.1.7)

Tableau(A.1.7) Irradiation solaire du site d'Oran pour le mois juillet

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de aout sont représentées par le tableau (A.1.8)

Tableau (A.1.8) Irradiation solaire du site d'Oran pour le mois aout

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de septembre sont représentées par le tableau (A.1.9)

Tableau (A.1.9) Irradiation solaire du site d'Oran pour le mois septembre

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de octobre sont représentées par le tableau (A.1.10)

Tableau (A.1.10) Irradiation solaire du site d'Oran pour le mois octobre

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de novembre sont représentées par le tableau (A.1.11)

Tableau (A.1.11) Irradiation solaire du site d'Oran pour le mois novembre

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de décembre sont représentées par le tableau (A.1.12)

Tableau (A.1.12) Irradiation solaire du site d'Oran pour le mois décembre

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de janvier sont représentées par le tableau (A.2.1)

[illegible]

Tableau (A.2.2) Irradiation solaire du site d'Annaba pour le mois février

[illegible]

Tableau (A.2.3) Irradiation solaire du site d'Annaba pour le mois mars

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de avril sont représentées par le tableau (A.2.4)

Tableau (A.2.4) Irradiation solaire du site d'Annaba pour le mois avril

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de mai sont représentées par le tableau (A.2.5)

Tableau (A.2.5) Irradiation solaire du site d'Annaba pour le mois mai

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de juin sont représentées par le tableau (A.2.6)

Tableau (A.2.6) Irradiation solaire du site d'Annaba pour le mois juin

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de juillet sont représentées par le tableau (A.2.7)

Tableau (A.2.7) Irradiation solaire du site d'Annaba pour le mois juillet

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de aout sont représentées par le tableau (A.2.8)

Tableau (A.2.8) Irradiation solaire du site d'Annaba pour le mois aout

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de septembre sont représentées par le tableau (A.2.9)

Tableau (A.2.9) Irradiation solaire du site d'Annaba pour le mois septembre

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de octobre sont représentées par le tableau (A.2.10)

Tableau (A.2.10) Irradiation solaire du site d'Annaba pour le mois octobre

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de novembre sont représentées par le tableau (A.2.11)

Tableau (A.2.11) Irradiation solaire du site d'Annaba pour le mois novembre

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de décembre sont représentées par le tableau (A.2.12)

Tableau (A.2.12) Irradiation solaire du site d'Annaba pour le mois décembre

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de janvier sont représentées par le tableau (A.3.1)

[illegible]

Tableau (A.3.2) Irradiation solaire du site d'bordj Bou Arreridj pour le mois février

[illegible]

Tableau (A.3.3) Irradiation solaire du site d'bordj Bou Arreridj pour le mois mars

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de avril sont représentées par le tableau (A.3.4)

Tableau (A.3.4) Irradiation solaire du site d'bordj Bou Arreridj pour le mois avril

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de mai sont représentées par le tableau (A.3.5)

Tableau (A.3.5) Irradiation solaire du site d'bordj Bou Arreridj pour le mois mai

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de juin sont représentées par le tableau (A.3.6)

Tableau (A.3.6) Irradiation solaire du site d'bordj Bou Arreridj pour le mois juin

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de juillet sont représentées par le tableau (A.3.7)

Tableau (A.3.7) Irradiation solaire du site d'bordj Bou Arreridj pour le mois juillet

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de aout sont représentées par le tableau (A.3.8)

Tableau (A.3.8) Irradiation solaire du site d'bordj Bou Arreridj pour le mois aout

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de septembre sont représentées par le tableau (A.3.9)

Tableau (A.3.9) Irradiation solaire du site d'bordj Bou Arreridj pour le mois septembre

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de octobre sont représentées par le tableau (A.3.10)

Tableau (A.3.10) Irradiation solaire du site d'bordj Bou Arreridj pour le mois octobre

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de novembre sont représentées par le tableau (A.3.11)

Tableau (A.3.11) Irradiation solaire du site d'bordj Bou Arreridj pour le mois novembre

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de décembre sont représentées par le tableau (A.3.12)

Tableau (A.3.12) Irradiation solaire du site d'bordj Bou Arreridj pour le mois décembre

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de janvier sont représentées par le tableau (A.4.1)

[illegible]

Tableau (A.4.2) Irradiation solaire du site d'Sétif pour le mois février

[illegible]

Tableau (A.4.3) Irradiation solaire du site d'Sétif pour le mois mars

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de avril sont représentées par le tableau (A.4.4)

Tableau (A.4.4) Irradiation solaire du site d'Sétif pour le mois avril

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 3639 | 3664 | 3647 | 3599 | 3529 | 3451 | 3414 | 3451 | 3529 | 3599 | 3647 | 3664 | 3639 |
| 80 | 4182 | 4252 | 4283 | 4281 | 4255 | 4214 | 4193 | 4214 | 4255 | 4281 | 4283 | 4252 | 4182 |
| 70 | 4690 | 4795 | 4862 | 4896 | 4903 | 4889 | 4879 | 4889 | 4903 | 4896 | 4862 | 4795 | 4690 |
| 60 | 5137 | 5264 | 5355 | 5415 | 5445 | 5450 | 5447 | 5450 | 5445 | 5415 | 5355 | 5264 | 5137 |
| 50 | 5502 | 5638 | 5742 | 5816 | 5860 | 5877 | 5880 | 5877 | 5860 | 5816 | 5742 | 5638 | 5502 |
| 40 | 5768 | 5901 | 6007 | 6084 | 6134 | 6159 | 6164 | 6159 | 6134 | 6084 | 6007 | 5901 | 5768 |
| 30 | 5927 | 6043 | 6137 | 6209 | 6258 | 6284 | 6291 | 6284 | 6258 | 6209 | 6137 | 6043 | 5927 |
| 20 | 5970 | 6057 | 6130 | 6187 | 6226 | 6249 | 6256 | 6249 | 6226 | 6187 | 6130 | 6057 | 5970 |
| 10 | 5897 | 5945 | 5986 | 6018 | 6041 | 6055 | 6059 | 6055 | 6041 | 6018 | 5986 | 5945 | 5897 |
| 0 | 5709 | 5709 | 5709 | 5709 | 5709 | 5709 | 5709 | 5709 | 5709 | 5709 | 5709 | 5709 | 5709 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de mai sont représentées par le tableau (A.4.5)

Tableau (A.4.5) Irradiation solaire du site d'Sétif pour le mois mai

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 3705 | 3560 | 3366 | 3138 | 2898 | 2720 | 2655 | 2720 | 2898 | 3138 | 3366 | 3560 | 3705 |
| 80 | 4315 | 4215 | 4073 | 3902 | 3721 | 3588 | 3541 | 3588 | 3721 | 3902 | 4073 | 4215 | 4315 |
| 70 | 4913 | 4857 | 4763 | 4643 | 4514 | 4419 | 4385 | 4419 | 4514 | 4643 | 4763 | 4857 | 4913 |
| 60 | 5469 | 5448 | 5395 | 5320 | 5233 | 5169 | 5146 | 5169 | 5233 | 5320 | 5395 | 5448 | 5469 |
| 50 | 5954 | 5961 | 5941 | 5900 | 5848 | 5808 | 5794 | 5808 | 5848 | 5900 | 5941 | 5961 | 5954 |
| 40 | 6347 | 6371 | 6375 | 6361 | 6336 | 6315 | 6308 | 6315 | 6336 | 6361 | 6375 | 6371 | 6347 |
| 30 | 6633 | 6665 | 6681 | 6685 | 6679 | 6671 | 6669 | 6671 | 6679 | 6685 | 6681 | 6665 | 6633 |
| 20 | 6800 | 6829 | 6850 | 6861 | 6866 | 6866 | 6867 | 6866 | 6866 | 6861 | 6850 | 6829 | 6800 |
| 10 | 6842 | 6860 | 6874 | 6885 | 6891 | 6895 | 6896 | 6895 | 6891 | 6885 | 6874 | 6860 | 6842 |
| 0 | 6757 | 6757 | 6757 | 6757 | 6757 | 6757 | 6757 | 6757 | 6757 | 6757 | 6757 | 6757 | 6757 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de juin sont représentées par le tableau (A.4.6)

Tableau (A.4.6) Irradiation solaire du site d'Sétif pour le mois juin

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 3931 | 3663 | 3338 | 2975 | 2634 | 2402 | 2321 | 2402 | 2634 | 2975 | 3338 | 3663 | 3931 |
| 80 | 4598 | 4375 | 4104 | 3802 | 3523 | 3337 | 3272 | 3337 | 3523 | 3802 | 4104 | 4375 | 4598 |
| 70 | 5264 | 5091 | 4875 | 4637 | 4420 | 4276 | 4226 | 4276 | 4420 | 4637 | 4875 | 5091 | 5264 |
| 60 | 5895 | 5768 | 5608 | 5429 | 5267 | 5160 | 5123 | 5160 | 5267 | 5429 | 5608 | 5768 | 5895 |
| 50 | 6461 | 6376 | 6264 | 6138 | 6024 | 5949 | 5923 | 5949 | 6024 | 6138 | 6264 | 6376 | 6461 |
| 40 | 6939 | 6887 | 6817 | 6735 | 6661 | 6612 | 6596 | 6612 | 6661 | 6735 | 6817 | 6887 | 6939 |
| 30 | 7308 | 7281 | 7243 | 7197 | 7155 | 7127 | 7117 | 7127 | 7155 | 7197 | 7243 | 7281 | 7308 |
| 20 | 7554 | 7545 | 7528 | 7508 | 7489 | 7477 | 7473 | 7477 | 7489 | 7508 | 7528 | 7545 | 7554 |
| 10 | 7671 | 7669 | 7665 | 7660 | 7656 | 7653 | 7651 | 7653 | 7656 | 7660 | 7665 | 7669 | 7671 |
| 0 | 7652 | 7652 | 7652 | 7652 | 7652 | 7652 | 7652 | 7652 | 7652 | 7652 | 7652 | 7652 | 7652 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de juillet sont représentées par le tableau (A.4.7)

Tableau (A.4.7) Irradiation solaire du site d'Sétif pour le mois juillet

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de aout sont représentées par le tableau (A.4.8)

Tableau (A.4.8) Irradiation solaire du site d'Sétif pour le mois aout

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de septembre sont représentées par le tableau (A.4.9)

Tableau (A.4.9) Irradiation solaire du site d'Sétif pour le mois septembre

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de octobre sont représentées par le tableau (A.4.10)

Tableau (A.4.10) Irradiation solaire du site d'Sétif pour le mois octobre

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de novembre sont représentées par le tableau (A.4.11)

Tableau (A.4.11) Irradiation solaire du site d'Sétif pour le mois novembre

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de décembre sont représentées par le tableau (A.4.12)

Tableau (A.4.12) Irradiation solaire du site d'Sétif pour le mois décembre

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de janvier sont représentées par le tableau (A.5.1)

[illegible]

Tableau (A.5.2) Irradiation solaire du site d'Ilizi pour le mois février

[illegible]

Tableau (A.5.3) Irradiation solaire du site d'Ilizi pour le mois mars

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de avril sont représentées par le tableau (A.5.4)

Tableau (A.5.4) Irradiation solaire du site d'Ilizi pour le mois avril

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 3808 | 3702 | 3543 | 3347 | 3133 | 2929 | 2833 | 2929 | 3133 | 3347 | 3543 | 3702 | 3808 |
| 80 | 4423 | 4366 | 4262 | 4128 | 3982 | 3847 | 3784 | 3847 | 3982 | 4128 | 4262 | 4366 | 4423 |
| 70 | 5027 | 5013 | 4961 | 4882 | 4791 | 4706 | 4665 | 4706 | 4791 | 4882 | 4961 | 5013 | 5027 |
| 60 | 5584 | 5607 | 5596 | 5562 | 5515 | 5465 | 5440 | 5465 | 5515 | 5562 | 5596 | 5607 | 5584 |
| 50 | 6067 | 6116 | 6136 | 6135 | 6119 | 6096 | 6082 | 6096 | 6119 | 6135 | 6136 | 6116 | 6067 |
| 40 | 6454 | 6516 | 6556 | 6576 | 6582 | 6577 | 6570 | 6577 | 6582 | 6576 | 6556 | 6516 | 6454 |
| 30 | 6726 | 6790 | 6836 | 6867 | 6885 | 6891 | 6891 | 6891 | 6885 | 6867 | 6836 | 6790 | 6726 |
| 20 | 6872 | 6925 | 6967 | 6998 | 7018 | 7029 | 7031 | 7029 | 7018 | 6998 | 6967 | 6925 | 6872 |
| 10 | 6885 | 6916 | 6942 | 6963 | 6977 | 6986 | 6988 | 6986 | 6977 | 6963 | 6942 | 6916 | 6885 |
| 0 | 6763 | 6763 | 6763 | 6763 | 6763 | 6763 | 6763 | 6763 | 6763 | 6763 | 6763 | 6763 | 6763 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de mai sont représentées par le tableau (A.5.5)

Tableau (A.5.5) Irradiation solaire du site d'Ilizi pour le mois mai

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 3487 | 3222 | 2905 | 2554 | 2188 | 1899 | 1792 | 1899 | 2188 | 2554 | 2905 | 3222 | 3487 |
| 80 | 4104 | 3873 | 3603 | 3309 | 3010 | 2780 | 2696 | 2780 | 3010 | 3309 | 3603 | 3873 | 4104 |
| 70 | 4735 | 4552 | 4334 | 4100 | 3869 | 3696 | 3634 | 3696 | 3869 | 4100 | 4334 | 4552 | 4735 |
| 60 | 5352 | 5212 | 5047 | 4871 | 4700 | 4573 | 4529 | 4573 | 4700 | 4871 | 5047 | 5212 | 5352 |
| 50 | 5919 | 5819 | 5701 | 5576 | 5457 | 5368 | 5337 | 5368 | 5457 | 5576 | 5701 | 5819 | 5919 |
| 40 | 6407 | 6342 | 6265 | 6183 | 6106 | 6048 | 6028 | 6048 | 6106 | 6183 | 6265 | 6342 | 6407 |
| 30 | 6796 | 6759 | 6714 | 6667 | 6622 | 6588 | 6577 | 6588 | 6622 | 6667 | 6714 | 6759 | 6796 |
| 20 | 7068 | 7050 | 7029 | 7007 | 6986 | 6970 | 6965 | 6970 | 6986 | 7007 | 7029 | 7050 | 7068 |
| 10 | 7212 | 7206 | 7199 | 7193 | 7187 | 7182 | 7181 | 7182 | 7187 | 7193 | 7199 | 7206 | 7212 |
| 0 | 7218 | 7218 | 7218 | 7218 | 7218 | 7218 | 7218 | 7218 | 7218 | 7218 | 7218 | 7218 | 7218 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de juin sont représentées par le tableau (A.5.6)

Tableau (A.5.6) Irradiation solaire du site d'Ilizi pour le mois juin

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 3323 | 2986 | 2600 | 2181 | 1769 | 1491 | 1400 | 1491 | 1769 | 2181 | 2600 | 2986 | 3323 |
| 80 | 3930 | 3623 | 3275 | 2905 | 2547 | 2298 | 2210 | 2298 | 2547 | 2905 | 3275 | 3623 | 3930 |
| 70 | 4574 | 4308 | 4012 | 3703 | 3413 | 3214 | 3145 | 3214 | 3413 | 3703 | 4012 | 4308 | 4574 |
| 60 | 5216 | 4996 | 4754 | 4509 | 4283 | 4132 | 4079 | 4132 | 4283 | 4509 | 4754 | 4996 | 5216 |
| 50 | 5819 | 5645 | 5459 | 5274 | 5106 | 4994 | 4956 | 4994 | 5106 | 5274 | 5459 | 5645 | 5819 |
| 40 | 6355 | 6226 | 6091 | 5958 | 5841 | 5763 | 5737 | 5763 | 5841 | 5958 | 6091 | 6226 | 6355 |
| 30 | 6801 | 6711 | 6621 | 6534 | 6459 | 6410 | 6393 | 6410 | 6459 | 6534 | 6621 | 6711 | 6801 |
| 20 | 7135 | 7080 | 7027 | 6978 | 6937 | 6910 | 6901 | 6910 | 6937 | 6978 | 7027 | 7080 | 7135 |
| 10 | 7343 | 7318 | 7295 | 7275 | 7260 | 7249 | 7245 | 7249 | 7260 | 7275 | 7295 | 7318 | 7343 |
| 0 | 7416 | 7416 | 7416 | 7416 | 7416 | 7416 | 7416 | 7416 | 7416 | 7416 | 7416 | 7416 | 7416 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de juillet sont représentées par le tableau (A.5.7)

Tableau (A.5.7) Irradiation solaire du site d'Ilizi pour le mois juillet

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 3675 | 3328 | 2923 | 2473 | 2016 | 1691 | 1577 | 1691 | 2016 | 2473 | 2923 | 3328 | 3675 |
| 80 | 4320 | 4004 | 3639 | 3248 | 2862 | 2588 | 2488 | 2588 | 2862 | 3248 | 3639 | 4004 | 4320 |
| 70 | 4986 | 4718 | 4414 | 4093 | 3785 | 3569 | 3493 | 3569 | 3785 | 4093 | 4414 | 4718 | 4986 |
| 60 | 5646 | 5430 | 5188 | 4937 | 4700 | 4537 | 4479 | 4537 | 4700 | 4937 | 5188 | 5430 | 5646 |
| 50 | 6263 | 6098 | 5915 | 5728 | 5553 | 5436 | 5395 | 5436 | 5553 | 5728 | 5915 | 6098 | 6263 |
| 40 | 6806 | 6687 | 6557 | 6426 | 6307 | 6227 | 6199 | 6227 | 6307 | 6426 | 6557 | 6687 | 6806 |
| 30 | 7249 | 7171 | 7087 | 7004 | 6930 | 6881 | 6864 | 6881 | 6930 | 7004 | 7087 | 7171 | 7249 |
| 20 | 7575 | 7529 | 7483 | 7438 | 7399 | 7373 | 7364 | 7373 | 7399 | 7438 | 7483 | 7529 | 7575 |
| 10 | 7769 | 7749 | 7730 | 7713 | 7699 | 7690 | 7687 | 7690 | 7699 | 7713 | 7730 | 7749 | 7769 |
| 0 | 7822 | 7822 | 7822 | 7822 | 7822 | 7822 | 7822 | 7822 | 7822 | 7822 | 7822 | 7822 | 7822 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de aout sont représentées par le tableau (A.5.8)

Tableau (A.5.8) Irradiation solaire du site d'Illizi pour le mois aout

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de septembre sont représentées par le tableau (A.5.9)

Tableau (A.5.9) Irradiation solaire du site d'Illizi pour le mois septembre

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de octobre sont représentées par le tableau (A.5.10)

Tableau (A.5.10) Irradiation solaire du site d'Illizi pour le mois octobre

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de novembre sont représentées par le tableau (A.5.11)

Tableau (A.5.11) Irradiation solaire du site d'Ilizi pour le mois novembre

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de décembre sont représentées par le tableau (A.5.12)

Tableau (A.5.12) Irradiation solaire du site d'Illizi pour le mois décembre

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de janvier sont représentées par le tableau (A.6.1)

Tableau (A.6.1) Irradiation solaire du site d'Tindouf pour le mois janvier

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de février sont représentées par le tableau (A.6.2)

Tableau (A.6.2) Irradiation solaire du site d'Tindouf pour le mois février

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de mars sont représentées par le tableau (A.6.3)

Tableau (A.6.3) Irradiation solaire du site d'Tindouf pour le mois mars

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de avril sont représentées par le tableau (A.6.4)

Tableau (A.6.4) Irradiation solaire du site d'Tindouf pour le mois avril

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 4228 | 3702 | 3543 | 3347 | 3133 | 2929 | 3078 | 2929 | 3133 | 3347 | 3543 | 3702 | 4228 |
| 80 | 4877 | 4366 | 4262 | 4128 | 3982 | 3847 | 4103 | 3847 | 3982 | 4128 | 4262 | 4366 | 4877 |
| 70 | 5508 | 5013 | 4961 | 4882 | 4791 | 4706 | 5050 | 4706 | 4791 | 4882 | 4961 | 5013 | 5508 |
| 60 | 6089 | 5607 | 5596 | 5562 | 5515 | 5465 | 5880 | 5465 | 5515 | 5562 | 5596 | 5607 | 6089 |
| 50 | 6588 | 6116 | 6136 | 6135 | 6119 | 6096 | 6564 | 6096 | 6119 | 6135 | 6136 | 6116 | 6588 |
| 40 | 6981 | 6516 | 6556 | 6576 | 6582 | 6577 | 7081 | 6577 | 6582 | 6576 | 6556 | 6516 | 6981 |
| 30 | 7250 | 6790 | 6836 | 6867 | 6885 | 6891 | 7414 | 6891 | 6885 | 6867 | 6836 | 6790 | 7250 |
| 20 | 7385 | 6925 | 6967 | 6998 | 7018 | 7029 | 7552 | 7029 | 7018 | 6998 | 6967 | 6925 | 7385 |
| 10 | 7380 | 6916 | 6942 | 6963 | 6977 | 6986 | 7491 | 6986 | 6977 | 6963 | 6942 | 6916 | 7380 |
| 0 | 7233 | 7233 | 7233 | 7233 | 7233 | 7233 | 7233 | 7233 | 7233 | 7233 | 7233 | 7233 | 7233 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de mai sont représentées par le tableau (A.6.5)

Tableau (A.6.5) Irradiation solaire du site d'Tindouf pour le mois mai

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 3892 | 3222 | 2905 | 2554 | 2188 | 1899 | 1941 | 1899 | 2188 | 2554 | 2905 | 3222 | 3892 |
| 80 | 4551 | 3873 | 3603 | 3309 | 3010 | 2780 | 2926 | 2780 | 3010 | 3309 | 3603 | 3873 | 4551 |
| 70 | 5218 | 4552 | 4334 | 4100 | 3869 | 3696 | 3942 | 3696 | 3869 | 4100 | 4334 | 4552 | 5218 |
| 60 | 5868 | 5212 | 5047 | 4871 | 4700 | 4573 | 4909 | 4573 | 4700 | 4871 | 5047 | 5212 | 5868 |
| 50 | 6463 | 5819 | 5701 | 5576 | 5457 | 5368 | 5783 | 5368 | 5457 | 5576 | 5701 | 5819 | 6463 |
| 40 | 6973 | 6342 | 6265 | 6183 | 6106 | 6048 | 6528 | 6048 | 6106 | 6183 | 6265 | 6342 | 6973 |
| 30 | 7376 | 6759 | 6714 | 6667 | 6622 | 6588 | 7118 | 6588 | 6622 | 6667 | 6714 | 6759 | 7376 |
| 20 | 7655 | 7050 | 7029 | 7007 | 6986 | 6970 | 7534 | 6970 | 6986 | 7007 | 7029 | 7050 | 7655 |
| 10 | 7798 | 7206 | 7199 | 7193 | 7187 | 7182 | 7763 | 7182 | 7187 | 7193 | 7199 | 7206 | 7798 |
| 0 | 7799 | 7799 | 7799 | 7799 | 7799 | 7799 | 7799 | 7799 | 7799 | 7799 | 7799 | 7799 | 7799 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de juin sont représentées par le tableau (A.6.6)

Tableau (A.6.6) Irradiation solaire du site d'Tindouf pour le mois juin

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 3669 | 2986 | 2600 | 2181 | 1769 | 1491 | 1505 | 1491 | 1769 | 2181 | 2600 | 2986 | 3669 |
| 80 | 4322 | 3623 | 3275 | 2905 | 2547 | 2298 | 2390 | 2298 | 2547 | 2905 | 3275 | 3623 | 4322 |
| 70 | 4997 | 4308 | 4012 | 3703 | 3413 | 3214 | 3394 | 3214 | 3413 | 3703 | 4012 | 4308 | 4997 |
| 60 | 5669 | 4996 | 4754 | 4509 | 4283 | 4132 | 4395 | 4132 | 4283 | 4509 | 4754 | 4996 | 5669 |
| 50 | 6301 | 5645 | 5459 | 5274 | 5106 | 4994 | 5333 | 4994 | 5106 | 5274 | 5459 | 5645 | 6301 |
| 40 | 6862 | 6226 | 6091 | 5958 | 5841 | 5763 | 6169 | 5763 | 5841 | 5958 | 6091 | 6226 | 6862 |
| 30 | 7323 | 6711 | 6621 | 6534 | 6459 | 6410 | 6869 | 6410 | 6459 | 6534 | 6621 | 6711 | 7323 |
| 20 | 7668 | 7080 | 7027 | 6978 | 6937 | 6910 | 7411 | 6910 | 6937 | 6978 | 7027 | 7080 | 7668 |
| 10 | 7883 | 7318 | 7295 | 7275 | 7260 | 7249 | 7776 | 7249 | 7260 | 7275 | 7295 | 7318 | 7883 |
| 0 | 7957 | 7957 | 7957 | 7957 | 7957 | 7957 | 7957 | 7957 | 7957 | 7957 | 7957 | 7957 | 7957 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de juillet sont représentées par le tableau (A.6.7)

Tableau (A.6.7) Irradiation solaire du site d'Tindouf pour le mois juillet

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 3614 | 3328 | 2923 | 2473 | 2016 | 1691 | 1685 | 1691 | 2016 | 2473 | 2923 | 3328 | 3614 |
| 80 | 4251 | 4004 | 3639 | 3248 | 2862 | 2588 | 2594 | 2588 | 2862 | 3248 | 3639 | 4004 | 4251 |
| 70 | 4911 | 4718 | 4414 | 4093 | 3785 | 3569 | 3571 | 3569 | 3785 | 4093 | 4414 | 4718 | 4911 |
| 60 | 5555 | 5430 | 5188 | 4937 | 4700 | 4537 | 4521 | 4537 | 4700 | 4937 | 5188 | 5430 | 5555 |
| 50 | 6152 | 6098 | 5915 | 5728 | 5553 | 5436 | 5394 | 5436 | 5553 | 5728 | 5915 | 6098 | 6152 |
| 40 | 6675 | 6687 | 6557 | 6426 | 6307 | 6227 | 6153 | 6227 | 6307 | 6426 | 6557 | 6687 | 6675 |
| 30 | 7098 | 7171 | 7087 | 7004 | 6930 | 6881 | 6773 | 6881 | 6930 | 7004 | 7087 | 7171 | 7098 |
| 20 | 7403 | 7529 | 7483 | 7438 | 7399 | 7373 | 7232 | 7373 | 7399 | 7438 | 7483 | 7529 | 7403 |
| 10 | 7578 | 7749 | 7730 | 7713 | 7699 | 7690 | 7514 | 7690 | 7699 | 7713 | 7730 | 7749 | 7578 |
| 0 | 7615 | 7615 | 7615 | 7615 | 7615 | 7615 | 7615 | 7615 | 7615 | 7615 | 7615 | 7615 | 7615 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de aout sont représentées par le tableau (A.6.8)

Tableau (A.6.8) Irradiation solaire du site d'Tindouf pour le mois aout

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de septembre sont représentées par le tableau (A.6.9)

Tableau (A.6.9) Irradiation solaire du site d'Tindouf pour le mois septembre

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de octobre sont représentées par le tableau (A.6.10)

Tableau (A.6.10) Irradiation solaire du site d'Tindouf pour le mois octobre

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de novembre sont représentées par le tableau (A.6.11)

Tableau (A.6.11) Irradiation solaire du site d'Tindouf pour le mois novembre

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de décembre sont représentées par le tableau (A.6.12)

Tableau (A.6.12) Irradiation solaire du site d'Tindouf pour le mois décembre

[illegible]

A.7. résultats détaillés de l'irradiation solaire pour le site Tamanrasset

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de janvier sont représentées par le tableau (A.7.1)

Tableau (A.7.1) Irradiation solaire du site d'Tamanrasset pour le mois janvier

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de février sont représentées par le tableau (A.7.2)

Tableau (A.7.2) Irradiation solaire du site d'Tamanrasset pour le mois février

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de mars sont représentées par le tableau (A.7.3)

Tableau (A.7.3) Irradiation solaire du site d'Tamanrasset pour le mois mars

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de avril sont représentées par le tableau (A.7.4)

Tableau (A.7.4) Irradiation solaire du site d'Tamanrasset pour le mois avril

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 3839 | 3673 | 3449 | 3184 | 2901 | 2629 | 2498 | 2629 | 2901 | 3184 | 3449 | 3673 | 3839 |
| 80 | 4469 | 4349 | 4178 | 3980 | 3772 | 3584 | 3500 | 3584 | 3772 | 3980 | 4178 | 4349 | 4469 |
| 70 | 5095 | 5021 | 4909 | 4772 | 4630 | 4504 | 4448 | 4504 | 4630 | 4772 | 4909 | 5021 | 5095 |
| 60 | 5685 | 5654 | 5590 | 5507 | 5417 | 5337 | 5300 | 5337 | 5417 | 5507 | 5590 | 5654 | 5685 |
| 50 | 6207 | 6210 | 6185 | 6144 | 6094 | 6048 | 6025 | 6048 | 6094 | 6144 | 6185 | 6210 | 6207 |
| 40 | 6637 | 6661 | 6665 | 6654 | 6635 | 6611 | 6599 | 6611 | 6635 | 6654 | 6665 | 6661 | 6637 |
| 30 | 6953 | 6987 | 7008 | 7016 | 7015 | 7009 | 7004 | 7009 | 7015 | 7016 | 7008 | 6987 | 6953 |
| 20 | 7141 | 7174 | 7199 | 7215 | 7224 | 7226 | 7226 | 7226 | 7224 | 7215 | 7199 | 7174 | 7141 |
| 10 | 7192 | 7213 | 7231 | 7243 | 7253 | 7257 | 7258 | 7257 | 7253 | 7243 | 7231 | 7213 | 7192 |
| 0 | 7110 | 7110 | 7110 | 7110 | 7110 | 7110 | 7110 | 7110 | 7110 | 7110 | 7110 | 7110 | 7110 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de mai sont représentées par le tableau (A.7.5)

Tableau (A.7.5) Irradiation solaire du site d'Tamanrasset pour le mois mai

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 3361 | 3053 | 2692 | 2298 | 1891 | 1571 | 1458 | 1571 | 1891 | 2298 | 2692 | 3053 | 3361 |
| 80 | 3958 | 3680 | 3360 | 3016 | 2671 | 2405 | 2308 | 2405 | 2671 | 3016 | 3360 | 3680 | 3958 |
| 70 | 4586 | 4350 | 4082 | 3799 | 3525 | 3323 | 3250 | 3323 | 3525 | 3799 | 4082 | 4350 | 4586 |
| 60 | 5209 | 5017 | 4803 | 4583 | 4375 | 4225 | 4172 | 4225 | 4375 | 4583 | 4803 | 5017 | 5209 |
| 50 | 5790 | 5643 | 5481 | 5319 | 5167 | 5061 | 5023 | 5061 | 5167 | 5319 | 5481 | 5643 | 5789 |
| 40 | 6300 | 6194 | 6080 | 5968 | 5864 | 5793 | 5768 | 5793 | 5864 | 5968 | 6080 | 6194 | 6300 |
| 30 | 6716 | 6646 | 6573 | 6502 | 6438 | 6394 | 6378 | 6394 | 6438 | 6502 | 6573 | 6646 | 6716 |
| 20 | 7019 | 6978 | 6938 | 6899 | 6865 | 6843 | 6836 | 6843 | 6865 | 6899 | 6938 | 6978 | 7019 |
| 10 | 7194 | 7177 | 7161 | 7146 | 7134 | 7126 | 7123 | 7126 | 7134 | 7146 | 7161 | 7177 | 7194 |
| 0 | 7260 | 7260 | 7260 | 7260 | 7260 | 7260 | 7260 | 7260 | 7260 | 7260 | 7260 | 7260 | 7260 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de juin sont représentées par le tableau (A.7.6)

Tableau (A.7.6) Irradiation solaire du site d'Tamanrasset pour le mois juin

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 3035 | 2685 | 2290 | 1868 | 1460 | 1211 | 1172 | 1211 | 1460 | 1868 | 2290 | 2685 | 3035 |
| 80 | 3596 | 3265 | 2899 | 2517 | 2151 | 1895 | 1805 | 1895 | 2151 | 2517 | 2899 | 3265 | 3596 |
| 70 | 4204 | 3910 | 3591 | 3265 | 2961 | 2754 | 2681 | 2754 | 2961 | 3265 | 3591 | 3910 | 4204 |
| 60 | 4822 | 4571 | 4305 | 4039 | 3800 | 3641 | 3585 | 3641 | 3800 | 4039 | 4305 | 4571 | 4822 |
| 50 | 5411 | 5207 | 4996 | 4789 | 4609 | 4491 | 4449 | 4491 | 4609 | 4789 | 4996 | 5207 | 5411 |
| 40 | 5942 | 5785 | 5626 | 5475 | 5345 | 5262 | 5233 | 5262 | 5345 | 5475 | 5626 | 5785 | 5942 |
| 30 | 6390 | 6277 | 6167 | 6065 | 5979 | 5925 | 5906 | 5925 | 5979 | 6065 | 6167 | 6277 | 6390 |
| 20 | 6733 | 6662 | 6595 | 6534 | 6485 | 6455 | 6445 | 6455 | 6485 | 6534 | 6595 | 6662 | 6733 |
| 10 | 6958 | 6924 | 6893 | 6867 | 6846 | 6834 | 6830 | 6834 | 6846 | 6867 | 6893 | 6924 | 6958 |
| 0 | 7090 | 7090 | 7090 | 7090 | 7090 | 7090 | 7090 | 7090 | 7090 | 7090 | 7090 | 7090 | 7090 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de juillet sont représentées par le tableau (A.7.7)

Tableau (A.7.7) Irradiation solaire du site d'Tamanrasset pour le mois juillet

| | -60 | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 90 | 3267 | 2924 | 2530 | 2104 | 1672 | 1367 | 1275 | 1367 | 1672 | 2104 | 2530 | 2924 | 3267 |
| 80 | 3859 | 3541 | 3182 | 2801 | 2422 | 2144 | 2044 | 2144 | 2422 | 2801 | 3182 | 3541 | 3859 |
| 70 | 4493 | 4214 | 3904 | 3584 | 3276 | 3058 | 2980 | 3058 | 3276 | 3584 | 3904 | 4214 | 4493 |
| 60 | 5127 | 4894 | 4641 | 4385 | 4148 | 3982 | 3923 | 3982 | 4148 | 4385 | 4641 | 4894 | 5127 |
| 50 | 5728 | 5543 | 5346 | 5152 | 4976 | 4855 | 4813 | 4855 | 4976 | 5152 | 5346 | 5543 | 5728 |
| 40 | 6265 | 6127 | 5983 | 5844 | 5721 | 5637 | 5608 | 5637 | 5721 | 5844 | 5983 | 6127 | 6265 |
| 30 | 6714 | 6618 | 6521 | 6430 | 6351 | 6298 | 6280 | 6297 | 6351 | 6430 | 6521 | 6618 | 6714 |
| 20 | 7053 | 6941 | 6937 | 6886 | 6842 | 6813 | 6804 | 6813 | 6842 | 6886 | 6937 | 6941 | 7053 |
| 10 | 7268 | 7241 | 7216 | 7195 | 7178 | 7167 | 7162 | 7167 | 7178 | 7195 | 7216 | 7241 | 7268 |
| 0 | 7380 | 7380 | 7380 | 7380 | 7380 | 7380 | 7380 | 7380 | 7380 | 7380 | 7380 | 7380 | 7380 |

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de aout sont représentées par le tableau (A.7.8)

Tableau (A.7.8) Irradiation solaire du site d'Tamanrasset pour le mois aout

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de septembre sont représentées par le tableau (A.7.9)

Tableau (A.7.9) Irradiation solaire du site d'Tamanrasset pour le mois septembre

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de octobre sont représentées par le tableau (A.7.10)

Tableau (A.7.10) Irradiation solaire du site d'Tamanrasset pour le mois octobre

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de novembre sont représentées par le tableau (A.7.11)

Tableau (A.7.11) Irradiation solaire du site d'Tamanrasset pour le mois novembre

[illegible]

Les valeurs de l'irradiation solaire en fonction des angles azimut (α) et d'inclinaison (β) pour le mois de décembre sont représentées par le tableau (A.7.12)

Tableau (A.7.12) Irradiation solaire du site d'Tamanrasset pour le mois décembre

[illegible]

Résumé :

Ce sujet se veut une contribution à la réalisation de l'atlas d'Algérie offrant aux spécialistes dans le domaine d'énergie solaire photovoltaïque un paramètre très pertinent, il s'agit des deux angles optimums permettant au capteur (cellule solaire) de recevoir le maximum du rayonnement solaire

Mots clés : capteur solaire photovoltaïques, azimuth, inclinaison, atlas.

Abstract:

This topic is intended to contribute to the realization of the atlas of Algeria for offering to the specialists in the field of photovoltaic solar energy a very relevant parameter, it is both optimum angles allowing sensor to receive the maximum solar radiation.

Keywords: photovoltaic solar collector, azimuth, tilt, atlas.

ملخص:

يهدف هذا الموضوع إلى المساهمة في تحقيق الأطلس الجزائري وذلك لنقدم للمتخصصين في مجال الطاقة الشمسية الضوئية معلومات ذات صلة للغاية بالزوايا المثلى التي تسمح بتلقي الحد الأقصى للإشعاع الشمسي من طرف أجهزة الاستشعار كالخلايا الشمسية.

كلمات البحث: خلايا شمسية الضوئية، زاوية السميت، زاوية الميل، أطلس.