

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERSCIENTIFIQUE



جامعة محمد بوضياف - المسيلة

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

كلية التكنولوجيا

FACULTE DE TECHNOLOGIE

قسم الإلكترونيك

DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE



MEMOIRE DE MASTER

DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE

FILIERE : ELECTRONIQUE

OPTION : TECHNOLOGIE DES SYSTEMES ELECTR-ENERGETIQUES DE
SOURCES D'ENERGIES RENOUVELABLES

THEME

**Optimisation de l'irradiation solaire sur le plan
des capteurs photovoltaïques à structure
porteuse statique**

Proposé et dirigé par:

DRIF Mahmoud

Réalisé par :

OUANIOUGHI Badiia

N° D'ordre:2016/S3ER05/89/385

PROMOTION: JUIN 2016

Sommaire

Introduction Générale

Chapitre 1 :Rayonnement solaire

1.1 Introduction.....	1
1.2 énergie solaire.....	2
1.3 Capter l'énergie solaire.....	3
1.3.1 Energie solaire photovoltaïque	4
1.3.2 énergie solaire thermodynamique.....	5
1.3.3 énergie solaire passive.....	6
1.4 Rayonnement solaire dans l'atmosphère.....	7
1.4.1 Troposphère.....	8
1.4.2 Stratosphère	9
1.4.3 Mésosphère	10
1.4.4 Thermosphère.	11
1.5 Extinction atmosphérique du rayonnement solaire.....	12
1.5.1 Nature du rayonnement solaire	13
1.5.2 Constante solaire	14
1.6 Masse atmosphérique	15
1.7 Rayonnement solaire hors atmosphère.....	16
1.8 Durée d'insolation	17
1.9 Rayonnement solaire au niveau du sol.....	18
1.9.1 Rayonnement direct.....	19
1.9.2 Rayonnement diffus	20
1.9.3 Rayonnement réfléchi ou l'albédo du sol.....	21
1.9.4 Rayonnement global.....	22
1.10 Influence des constituants atmosphériques sur le rayonnement solaire	23
1.11. Appareils de mesure pour les différents types de rayonnement.	24
1.11.1 Pyranomètre.....	25

SOMMAIRE

1.11.2 Héliographe de Campbell-Stockes	26
1.11.3 Pyrhéliomètre	27
1.11.4 Spectroradiomètre	28
1.11.5 Albedomètre	30
1.12 Mouvement de la terre.....	31
1.13 Paramètres de position du Soleil	32
1.13.1 Coordonnées horizontales.....	33
a) Hauteur du soleil	34
b) Zénith	35
c) Azimut du soleil	36
1.13.2 Coordonnées équatoriales	73
a) déclinaison	38
b) Angle horaire du soleil	39
c) Angle horaire au lever et au coucher du soleil	40
1.14 Coordonnées géographiques.....	41
a) latitude du lieu (Φ).....	42
b) longitude λ	43
1.15 Capteurs solaires	44
1.15.1 Définition.....	45
1.15.2 Types de capteurs solaires	46
1.15.3 Position du capteur	47
a) angle d'incidence (θ_i)	48
b) Cas particulier	49
Conclusion.....	50

Chapitre 2 : Modélisation de Rayonnement solaire

2.1 Introduction.....	51
2.2 Irradiation globale sur un plan incliné	52
2.2.1 Rayonnement extraterrestre	53
2.2.2 Irradiation sur un plan horizontal	54
a) Fraction diffuse	55
b) Indice de clarté.....	56

SOMMAIRE

2.3 Estimation des moyennes mensuelles de l'irradiation globale journalière.....	57
2.3.1 Irradiation journalière globale	58
2.4 Estimation des moyennes mensuelles des irradiances journalières	59
2.4.1 Modèle de Liu et Jordan.	60
2.4.2 Modèle de Collares-Pereira et Rabl	61
2.5 Estimation des irradiances horaires global et diffus	62
2.6 Eclairage d'une surface horizontale sur une surface inclinée.....	63
2.7 Modèles d'estimation du rayonnement diffus sur plan incliné	64
2.7.1 Ciel isotrope.....	65
2.7.1.1 Modèle de Liu et Jordan	66
2.8.2 Ciel anisotrope	67
2.8.1 Modèle de Klucher	68
2.8.2 Modèle de Hay et Davies.....	69
2.8.3 Modèle de Reindl et al	70
2.8.4 Modèle de Perez.....	71
2.9 Comparaison entre les modèles empiriques.....	72
2.10 Organigramme de calcul.....	73
2.10.1 Description de l'algorithme	74

Chapitre 3 :Optimisation de l'irradiation solaires - Resultatset discussions

3.1 Introduction.....	75
3.2 Résultats des simulations et présentation.....	76
3.2.1 Irradiation solaire de la ville de M'silla.....	77
3.2.2 Irradiation solaire de la ville d'Ouargla.....	78
3.2.3 Irradiation solaire de la ville d'Alger.....	79
3.2.4 Irradiation solaire de la ville d'Oran	80
3.2.5 Irradiation solaire de la ville de Tamanrasset	81
3.2.6 Irradiation solaire de la ville de Becher	82
3.2.7 Irradiation solaire de la ville d'Aloued.....	83
3.2.8 Irradiation solaire de la ville de Jijel.....	84
3.2.9 Irradiation solaire de la ville de Média	85

SOMMAIRE

3.2.10 Irradiation solaire de la ville de Tindouf	86
3.2.11 Irradiation solaire de la ville de Skikda	87
3.2.12 Irradiation solaire de la ville d'Adrar	88
3.2.13 Irradiation solaire de la ville de Sétif	89
3.2.14 Irradiation solaire de la ville d'El-tarf	90
3.2.15 Irradiation solaire de la ville de Bejaia	91
3.2.16 Irradiation solaire de la ville de Ghardaïa	92
3.2.17 Irradiation solaire de la ville de Boumardes	93
3.2.18 Irradiation solaire de la ville d'Illizi	94
3.2.19 Irradiation solaire de la ville de Tlemcen	95
3.2.20 Irradiation solaire de la ville de Mila	96
3.3 Pertes d'irradiation solaire annuelle	97
3.3.1 Pertes d'irradiation solaire annuelle de la ville de M'sila	98
3.3.2 Pertes d'irradiation solaire annuelle de la ville d'Ouargla	99
3.3.3 Pertes d'irradiation solaire annuelle de la ville d'Adrar	100
Conclusion	101
Conclusion Générale.....	102
Référence et bibliographie.....	103

Liste des figures

Figure(1.1) : Couches de l’atmosphère 1

Figure (1.2): Spectre du rayonnement solaire2

Figure (1.3): Description du nombre de masse d’air3

Figure (1.4): Rayonnement Diffus4

Figure (1.5): Composantes du rayonnement solaire5

Figure (1.6): Trajectoire de la terre autour du soleil6

Figure (1.7): définition des coordonnées horizontales7

Figure (1.8): définition des coordonnées terrestres8

Figure(2.1) : Algorithme du calculer l’irradiation solaire sur plan incliné 10

Figure(3.1): Irradiation solaire journalier annuelle de site M’silla 11

Figure(3.2): Irradiation solaire journalier annuelle de site Ouargla 12

Figure(3.3): Irradiation solaire journalier annuelle de site Oran 13

Figure(3.4): Irradiation solaire journalier annuelle de site Alger 14

Figure(3.5): Irradiation solaire journalier annuelle de site Tamanrasset 15

Figure(3.6): Irradiation solaire journalier annuelle de site Becher 16

Figure(3. 7): Irradiation solaire journalier annuelle de site Aloued 17

Figure(3. 8): Irradiation solaire journalier annuelle de site Jijel 18

Figure(3. 9): Irradiation solaire journalier annuelle de site Média 19

Figure(3. 10): Irradiation solaire journalier annuelle de site Tindouf 20

Figure(3.11): Irradiation solaire journalier annuelle de site Skikda 21

Figure(3.12): Irradiation solaire journalier annuelle de site Adrar..... 22

Figure(3. 13): Irradiation solaire journalier annuelle de site Sétif 23

Figure(3. 14): Irradiation solaire journalier annuelle de site El-Tarf..... 24

Figure(3. 15): Irradiation solaire journalier annuelle de site Boumerdes 25

Figure(3. 16) Irradiation solaire journalier annuelle de site Ghardaïa 26

Figure(3. 17): Irradiation solaire journalier annuelle de site Boumerdes 27

Figure(3. 18): Irradiation solaire journalier annuelle de site Illizi..... 28

Figure(3. 19) : Irradiation solaire journalier annuelle de site Tlemcen 29

Figure(3. 20): Irradiation solaire journalier annuelle de site Mila 30

Liste des tableaux

Tableau(2.1) : les coefficients Perez	1
Tableau (2.2) : Description des modèles	2
Tableau (3. 1) : Valeurs de l'irradiation globale journalière mensuelle.....	3
Tableau (3. 2) : Variations de l'irradiation solaire journalier annuelle (M'sila).....	4
Tableau (3. 3) : Variations de l'irradiation solaire journalier annuelle (Ouargla)	5
Tableau (3. 4) : Variations de l'irradiation solaire journalier annuelle (Ouargla).	6
Tableau (3. 5) : Variations de l'irradiation solaire journalier annuelle (Oran)	7
Tableau (3. 6) : Variations de l'irradiation solaire journalier annuelle (Alger).....	8
Tableau (3. 7) : Variations de l'irradiation solaire journalier annuelle (Tamanrasset).....	9
Tableau (3. 8) : Variations de l'irradiation solaire journalier annuelle (Becher)	10
Tableau (3. 9) : Variations de l'irradiation solaire journalier annuelle (Aloued)	11
Tableau (3. 10) : Variations de l'irradiation solaire journalier annuelle (Jijel).....	12
Tableau (3. 11) : Variations de l'irradiation solaire journalier annuelle (Tindouf)	13
Tableau (3. 12) : Variations de l'irradiation solaire journalier annuelle (Skikda)	14
Tableau (3. 13) : Variations de l'irradiation solaire journalier annuelle (Adrar).....	15
Tableau (3. 14) : Variations de l'irradiation solaire journalier annuelle (Sétif).....	16
Tableau (3. 15) : Variations de l'irradiation solaire journalier annuelle (El-Tarf)	17
Tableau (3. 16) : Variations de l'irradiation solaire journalier annuelle (Bejaia)	18
Tableau (3. 17) : Variations de l'irradiation solaire journalier annuelle (Ghardaïa)	19
Tableau (3. 18) : Variations de l'irradiation solaire journalier annuelle (Boummardes).....	20
Tableau (3. 19) : Variations de l'irradiation solaire journalier annuelle (Illizi).....	21
Tableau (3. 20) : Variations de l'irradiation solaire journalier annuelle (Tlemcen)	22
Tableau (3. 21) : Variations de l'irradiation solaire journalier annuelle (Mila).....	23
Le tableau (3.22) : présentation de l'irradiation maximale pour tout le site	24
Tableau (3.23) : Pertes de l'irradiation solaire pour le site de Msila	25
Tableau (3.24) : Pertes de l'irradiation solaire pour le site d'Ouargla	26
Tableau (3.25) : Pertes de l'irradiation solaire pour le site d'Adrar	27

Introduction générale

L'énergie solaire occupe une des places les plus importantes parmi les diverses sources d'énergies possibles. Une connaissance précise de distribution du rayonnement solaire à un endroit géographique donné est d'une importance majeure pour le développement des dispositifs d'énergie solaires. Malheureusement, pour beaucoup de pays en voie de développement les mesures du rayonnement solaire ne sont pas facilement disponibles. Donc, il est important d'élaborer des modèles d'estimation du rayonnement sur la base des données astronomiques et météorologiques. Au cours des années, beaucoup des modèles ont été proposés pour prévoir la valeur du rayonnement solaire en utilisant plusieurs paramètres, à savoir : le rayonnement extraterrestre, la durée d'insolation, l'altitude, la latitude, la longitude et l'albédo. Notons également que les composantes du rayonnement solaire direct et diffus sont mesurées essentiellement sur un plan horizontal. Or, pour capter maximum, les capteurs solaires que ce soient photovoltaïque ou thermique doivent être minutieusement orientés et inclinés.

Dans ce sens, *le présent travail de Master se veut une contribution au développement de méthodes d'optimisation de l'irradiation solaire journalière annuelle pour des capteurs PV à structures porteuses statiques*. Il est question également d'établir une méthode de calcul des pertes d'irradiation relatives aux capteurs PV arbitrairement orientés et inclinés ; cas fréquemment présent dans les systèmes PV intégrés aux édifices.

Le présent travail est reparti en trois chapitres :

Dans le premier chapitre nous donnerons quelques connaissances de l'énergie solaire, le rayonnement solaire hors atmosphère et le rayonnement solaire au niveau du sol. Et aussi, nous présenterons les paramètres et les relations essentiels liant la position du soleil, la latitude et l'angle horaire pour l'estimation des énergies captées par les systèmes PV.

Au second chapitre, nous mettrons en évidence les différentes procédures de calcul de la

radiation solaire globale sur une surface inclinée et nous donnerons une présentation de modèle utilisés dans notre étude pour l'optimisation de l'irradiation solaire globale.

Le dernier chapitre est réservé aux résultats obtenus par l'application du modèle de Perez pour déterminer les angles optimaux de l'orientation et l'inclinaison (α_{opt} et β_{opt}) des capteurs PV installés dans différentes sites algérien.

Nous terminerons notre travail par une conclusion générale.

Rayonnement solaire

1.1. Introduction

Plusieurs paramètres peuvent influencer l'énergie captée par un système photovoltaïque. le mouvement apparent de la terre et son influence sur la définition du jour et du temps, la position du soleil, l'orientation et l'inclinaison du capteur, la situation géographique, quelques grandeurs qui sont en relation avec l'évaluation de l'irradiation solaire.

Dans ce chapitre on va parler sur L'énergie solaire et présenter le rayonnement solaire hors atmosphère et le rayonnement solaire au niveau du sol. Et aussi nous présentons les paramètres essentiels pour l'estimation des énergies captées par les systèmes PV.

1.2. Energie solaire

Il existe deux types d'énergie solaire: le solaire photovoltaïque et le solaire thermique. Décrit par le physicien français Antoine Becquerel (le grand-père du découvreur de la radioactivité), l'effet photovoltaïque est simple dans son principe. Les modules photovoltaïques se composent de cellules constituées de matériau semi-conducteur tel que le silicium, qui abrite donc des électrons. Excités par les rayons du soleil, les électrons entrent en mouvement et produisent de l'électricité. L'énergie solaire photovoltaïque est surtout utilisée pour la fourniture d'électricité dans les sites isolés: électrification rurale et pompage de l'eau (50%), télécommunications et signalisation (40%), applications domestiques (10%). À la différence du solaire photovoltaïque, le solaire thermique ne produit pas d'électricité mais de la chaleur. Grâce à de grands panneaux sombres dans lesquels circulent de l'eau, on récupère la chaleur du soleil pour chauffer l'eau. Cela permet notamment d'alimenter des chauffe-eau solaires.[1]

1.3. Capter l'énergie solaire

Pour capter directement une partie de cette énergie sont disponibles et sont constamment améliorées. On peut distinguer le solaire passif, le solaire photovoltaïque et le solaire thermique [1],[2].

1.3.1. Energie solaire photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque est l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire avec une cellule photovoltaïque. Plusieurs cellules sont reliées entre elles sur un module solaire photovoltaïque. Plusieurs modules sont regroupés pour former une installation solaire chez un particulier ou dans une centrale solaire photovoltaïque. L'installation solaire peut alimenter un besoin sur place (en association avec un moyen de stockage) ou être injectée, après transformation en courant alternatif, dans un réseau de distribution électrique.

1.3.2. Energie solaire thermique

Le solaire thermique consiste à utiliser la chaleur du rayonnement solaire. Il se décline de différentes façons:

- en usage direct de la chaleur: chauffe-eau et chauffages solaires, cuisinières et sécheuses solaires.
- en usage indirect, la chaleur servant pour un autre usage : rafraîchissement solaire, centrales solaires thermodynamiques.

1.3.3. Energie solaire thermodynamique

L'énergie solaire thermodynamique est une technique solaire qui utilise le solaire thermique pour produire de l'électricité, ou éventuellement directement du travail mécanique (le terme solaire mécanique est alors employé), sur le même principe qu'une centrale électrique classique (production de vapeur à haute pression qui est ensuite turbinée).

1.4.4. Energie solaire passive

La plus ancienne utilisation de l'énergie solaire consiste à bénéficier de l'apport direct du rayonnement solaire, c'est-à-dire l'énergie solaire passive. Pour qu'un bâtiment bénéficie au mieux des rayons du Soleil, on doit tenir compte de l'énergie solaire lors de la conception architecturale (façades doubles, orientation vers le sud, surfaces vitrées, etc.). L'isolation thermique joue un rôle important pour optimiser la proportion de l'apport solaire passif dans le chauffage et l'éclairage d'un bâtiment. Dans une maison solaire passive, l'apport solaire passif permet de faire des économies d'énergie importantes. Dans les bâtiments dont la conception est dite bioclimatique, l'énergie solaire passive permet aussi de chauffer tout ou partie d'un bâtiment pour un coût proportionnel quasi nul.

1.4. Rayonnement solaire dans l'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, chacune avec ses propriétés physiques forment un véritable filtre naturel pour le rayonnement électromagnétique. L'organisation mondiale de la météorologie définit quatre zones successives pour l'atmosphère à savoir la troposphère, la stratosphère, la mésosphère et la thermosphère. Ce sont les variations verticales de la température de l'air qui définissent la division de l'atmosphère en ces quatre grandes régions [3], [4].

1.4.1. Troposphère

C'est la couche atmosphérique la plus proche du sol, dans laquelle nous vivons. Son épaisseur varie de 7 kilomètres de hauteur au-dessus des pôles, 18 kilomètres au-dessus de l'équateur et environ 13 kilomètres selon les saisons, dans la zone tempérée. La température diminue à mesure qu'on s'élève dans la troposphère, c'est-à-dire à mesure qu'on s'éloigne du sol, atteignant -56°C à la tropopause (zone séparant la troposphère de la stratosphère); l'air près du sol est plus chaud qu'en altitude car la surface le réchauffe.

1.4.2. Stratosphère

C'est la couche atmosphérique au-dessus de la troposphère, dans la stratosphère on trouve la couche d'ozone. Sa formation il y a 3 milliards d'années, a permis le développement de la vie sur notre planète. Car elle filtre une partie des rayons ultraviolets du soleil qui sont extrêmement nocifs pour tout être vivant. Cette absorption provoque un dégagement d'énergie sous forme de chaleur. C'est pourquoi la température augmente lorsqu'on s'élève dans la stratosphère. Les équations chimiques suivantes décrivent la formation de la molécule d'ozone.

1.4.3. Mésosphère

Elle se trouve juste au-dessus de la stratosphère. Dans cette couche, la température recommence à décroître avec l'altitude pour atteindre un minimum de -80 degrés Celsius à une altitude d'environ 80 kilomètres. Les poussières et particules qui proviennent de l'espace (les météores) s'enflamment lorsqu'elles entrent dans la mésosphère à cause de la friction de l'air. Ce phénomène nous apparaît sous la forme « d'étoiles filantes ».

1.4.4. Thermosphère

C'est la couche la plus haute. Dans cette couche, la température augmente avec l'altitude et peut atteindre environ 100 degrés Celsius. La thermosphère atteint des milliers de kilomètres d'altitude et disparaît graduellement dans l'espace. La partie inférieure de la thermosphère réfléchit les ondes courtes (ondes radio), elle s'appelle l'ionosphère.

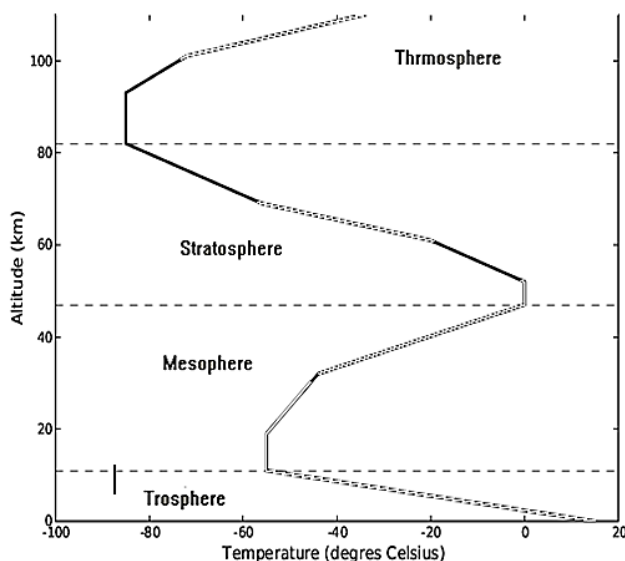


Figure (1.1) : Couches de l'atmosphère

1.5. 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 composantes gazeuses telles que la vapeur d'eau H₂O, le gaz carbonique CO₂ et l'oxygène O₂[5]

1.5.1. Nature du rayonnement solaire

L'énergie émise par le soleil nous parvient sous forme de rayonnements électromagnétiques se propageant à la vitesse de la lumière et dont l'ensemble forme le rayonnement solaire, qui constitue la seule source externe notable d'énergie pour l'atmosphère. La théorie corpusculaire de Max Planck prévoit que tout rayonnement de fréquence (ν) peut être considéré comme un flux de photons dont l'énergie élémentaire (**E**) est directement proportionnel à cette fréquence de ce fait, ce sont les rayonnements de courte longueur d'onde (ou de haute fréquence) qui sont les plus énergétiques[6] ,[7].

$$E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot C}{\lambda} \quad (1.1)$$

Où

h :est la constante de Planck.

ν : est la fréquence.

C : est la vitesse de la lumière.

Le spectre du rayonnement extraterrestre correspond environ à l'émission d'un corps noir porté à 5800°K. Une courbe standard, compilée selon les données recueillies par les satellites, est désignée sous le nom de **AM0**. Sa distribution en énergie est répartie en :

- ultraviolet UV 0.20 < λ < 0.38 μ m 6.4%.
- visible 0.38 < λ < 0.78 μ m 48.0%.

- infrarouge IR $0.78 < \lambda < 10 \text{ mm}$ 45.6%.

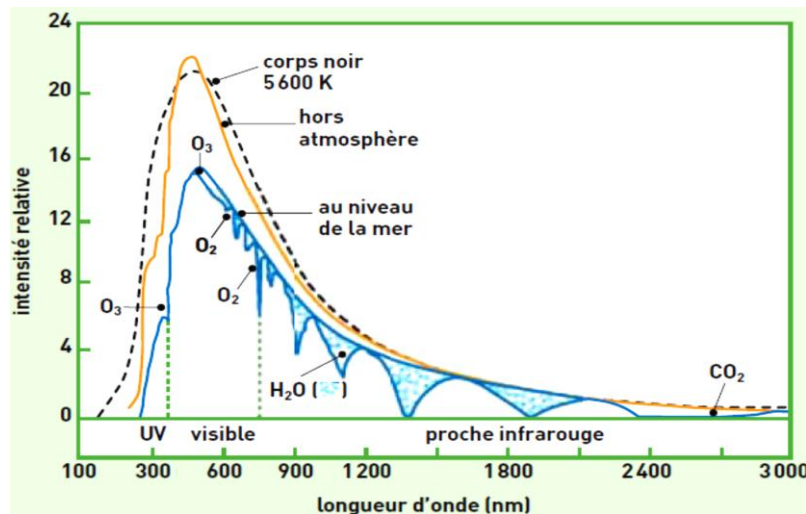


Figure (1.2) : Spectre du rayonnement solaire

1.5.2. Constante solaire

L'énergie totale que le soleil envoie à la limite de l'atmosphère terrestre sur une surface de 1 m^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 : $C_{so} = 1367 \text{ W/m}^2$. En première approximation, on peut calculer la valeur de C_s en fonction du numéro du jour de l'année N_j par la relation suivante [8] ; [9] :

$$C_s = C_{so} \left[1 + 0.33 \cos \left(\frac{360 N_j}{3.5} \right) \right] \quad (1.2)$$

1.6. Masse atmosphérique ou masse d'air

Plus le soleil est bas sur l'horizon, plus il va traverser une épaisseur importante d'atmosphère et plus il va subir de transformation [10].

On appelle <masse d'air>, (m) la masse d'atmosphère traversée par le rayonnement direct pour atteindre le sol (par ciel clair), par rapport à une traversée verticale au niveau de la mer. Cela dépend surtout de la hauteur angulaire du soleil.

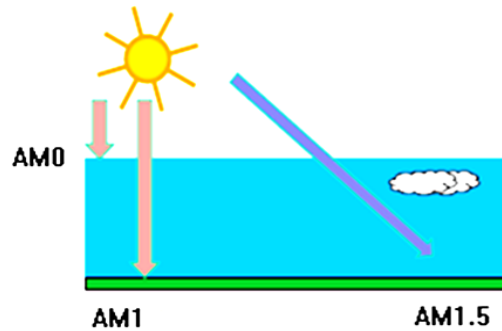


Figure (1.3): Description du nombre de masse d'air

On désigne par masse atmosphérique ou masse d'air le nombre m obtenu en posant $OA = 1$:

$$M = \frac{1}{\sin(h)} \quad (1.3)$$

Pour le soleil au zénith ($h = 90^\circ$), $m^* = 1$ (AM1 = Air Mass One en anglais) et pour le soleil vu sous un angle ($h = 30^\circ$), $m^* = 2$ (AM2). Le cas $m^* = 0$ correspond à l'étude du rayonnement solaire à la limite de l'atmosphère terrestre (référence AM0).

1.7. Rayonnement solaire hors atmosphère

Le rayonnement extraterrestre est le rayonnement solaire hors atmosphère. Pour un point donné, il est caractérisé par une donnée fondamentale appelée constante solaire. Le rayonnement extraterrestre sur une surface horizontale peut être calculé pour un jour précis N_j de l'année par l'équation suivante [11]:

$$H_o = \frac{C_s}{\pi} [\cos(\phi) \sin(\omega) + \omega_{ss} \sin(\delta) \sin(\phi)] \quad (1.4)$$

Où

N_j : Nombre de jours dans l'année.

C_{s0} : Constante solaire. (Elle est égale à 1367 W/m^2).

ϕ : Latitude.

δ : Déclinaison solaire.

L'essentiel du rayonnement solaire hors atmosphère se trouve dans l'intervalle spectral (200-400) nm. Le rayonnement hors atmosphère de la terre est représenté et les paramètres géométriques du soleil et du collecteur sont déterminés; puis la proportion du rayonnement atteignant le dispositif, qui dépend de plusieurs facteurs géométriques (latitude, azimut, etc.) et environnementaux (absorption par vapeur d'eau, gaz, etc.) [12].

1.8. Durée d'insolation

La durée d'insolation correspond au nombre d'heures dans la journée, entre le lever et coucher du soleil, où celui-ci est bien visible. Le relevé est fait au moyen de l'héliographe de Campbell-Stokes dans lequel une sphère de cristal concentre les rayons du soleil sur un papier qu'il brûle en se déplaçant. Ainsi, seuls les moments où le soleil est bien visible sont enregistrés ; on parle alors de durée d'insolation réelle ou effective et dépend du fait que le soleil levé soit visible du point d'observation ou caché par les nuages. Au défaut de l'héliographe, il est possible à partir du calcul du mouvement astronomique relatif du soleil et de la terre d'évaluer la durée théorique du jour ; c'est-à-dire, celle qu'il y aurait si les nuages ne cachaient pas le soleil. Cette durée est calculée en fonction de la latitude du site et de la déclinaison apparente qu'elle-même dépend de la période de l'année considérée. [13]

1.9. Rayonnement solaire au niveau du sol

Au sol le rayonnement global reçu par une surface plane d'inclinaison quelconque est constitué de plusieurs composantes principales [14] ;[15] :

1.9.1. Rayonnement direct

Il est directement du soleil, sans diffusion par l'atmosphère. Ses rayons sont parallèles entre eux. Il forme donc des ombres et peut être concentré par des miroirs.

1.9.2. Rayonnement diffus

Il est constitué par la lumière diffusée par l'atmosphère (air, nébulosité). Il est le rayonnement qui arrive au niveau au sol après avoir subi des collisions avec les constituants atmosphériques.

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 provenant de l'horizon.

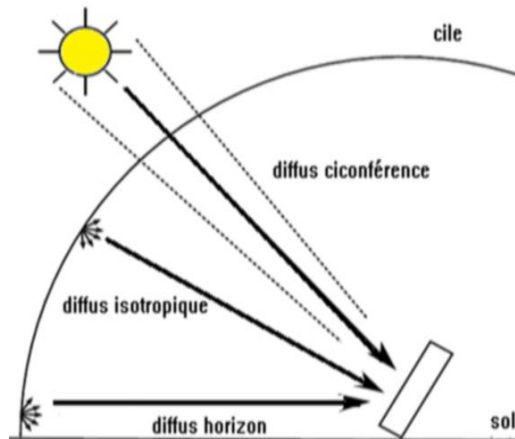


Figure (1.4) : Rayonnement Diffus

1.9.3. Rayonnement réfléchi ou l'albédo du sol

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

1.9.4. Rayonnement global

C'est tout simplement la somme des rayonnements directs, diffus et reflété par le sol. figure (1.5).

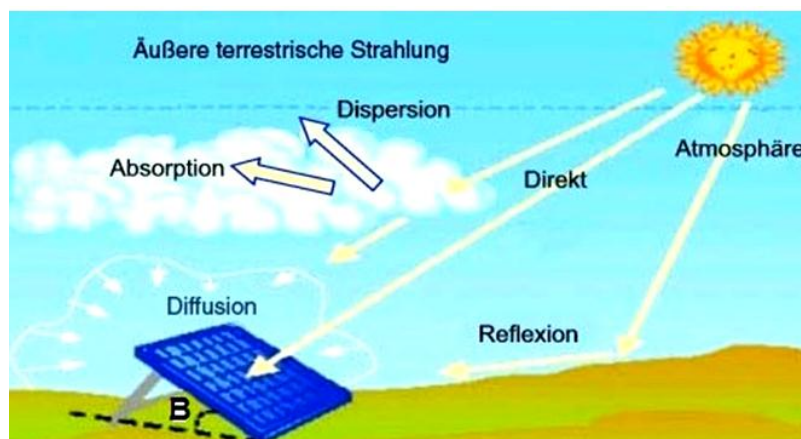


Figure (1.5) : Composantes du rayonnement solaire

1.10. Influence des constituants atmosphériques sur le rayonnement solaire

Après son voyage dans l'espace le rayonnement solaire atteint l'atmosphère, une certaine quantité de ce rayonnement est absorbée par l'atmosphère, les nuages et les particules en suspension dans l'atmosphère, une autre partie est réfléchi dans l'espace et une certaine quantité est absorbée par la surface de la terre. La surface de la terre renvoie aussi une certaine partie sous forme d'un rayonnement de différentes longueurs d'ondes en raison de la température superficielle de la terre. Environ 70% du rayonnement solaire total reste dans la surface de la terre et dans l'atmosphère.

La rotation de la terre autour de son axe produit des variations horaires dans l'intensité du rayonnement reçue par un emplacement donné pendant le jour et aboutit même à l'extinction complète pendant la nuit. En passant par l'atmosphère, le rayonnement solaire est partiellement dispersé dans toutes les directions, partiellement absorbé et partiellement réfléchi, par les gaz atmosphériques, les aérosols et les gouttelettes de nuage. Le rayonnement dispersée atteignant la surface de la terre constitue ce qu'on appelle le rayonnement diffus. À nouveau, une partie de ce rayonnement diffus revient en arrière dans l'espace, alors qu'une partie atteinte la surface de la terre sous forme d'un rayonnement, direct, diffus et réfléchi (figure 1.5).

Le rayonnement direct comme son nom l'indique est le rayonnement solaire reçu à n'importe quel point sur terre directement du soleil sans aucune perturbation. Le rayonnement réfléchi est principalement renvoyé par la surface réceptrice, cette composante est plus importante dans des régions montagneuses [16].

1.11. Appareils de mesure pour les différents types de rayonnement

1.11.1. Pyranomètre

C'est le capteur le plus fréquemment utilisé pour mesurer le rayonnement global ou diffus. Il se compose d'une thermopile composé d'une série de thermocouples avec alternance des soudures chaudes et soudures froides [17].

- ✓ Les soudures chaudes sont en contact thermique avec la surface absorbante une «noire» avec une capacité thermique faible.

- ✓ Les soudures froides sont en contact avec un matériau ayant une capacité thermique relativement élevée et reste à la température ambiante.
- ✓ Lorsque le rayonnement solaire tombe sur la surface absorbante (noire) la quasi-totalité du rayonnement incident est absorbé.

Il en résulte une augmentation de la température à la «jonction chaude» proportionnelle à l'intensité du rayonnement. Une tension est alors générée par la thermopile, qui est proportionnelle à la différence de température entre le «chaud» et le «froid».

1.11.2. Héliographe de Campbell-Stockes

L'héliographe de Campbell-Stockes permet de mesurer avec une résolution de six minutes la durée d'ensoleillement quotidienne. Le principe consiste à focaliser les rayons solaires (grâce à la sphère en verre centrale) sur le diagramme sans que ce dernier ne s'enflamme. Une règle transparente permet ensuite d'apprécier la longueur de la trace de brûlure avec une résolution permettant de mesurer la durée d'insolation à 6 minutes près. Un héliographe plus récent mesure automatiquement l'insolation c'est un héliographe à fibre optique. La connaissance de la durée d'ensoleillement est utile en météorologie, mais aussi pour les énergéticiens (pour les calculs de production d'eau chaude ou d'électricité par panneaux ou moquettes solaires par exemple), ainsi que pour les écologues (la lumière étant la condition de la photosynthèse). Cette tension de sortie est converti Watts/mètre² par l'utilisation d'un facteur de sensibilité. Les pyranomètres ont une réponse spectrale comprise entre 335 et 2200 nm du spectre solaire qui inclut la bande de longueurs d'onde visibles. Pour la mesure du rayonnement réfléchi par le sol

on utilise un pyranomètre inversé et pour le rayonnement diffus on utilise un pyranomètre plus un pare soleil.

1.11.3. Pyrhéliomètre

C'est un instrument destiné à la mesure de l'intensité du rayonnement solaire direct. Il est généralement constitué par une thermopile peinte en noir, donc très absorbante, montée sur un système de suivi. Ainsi cet instrument ne mesure que le rayonnement directement issu du soleil.

1.11.4. Spectro-radiomètre

Il mesure la répartition spectrale du rayonnement solaire et fournit la densité spectrale de

l'éclairement énergétique.

1.11.5. Albedomètre

Il mesure l'albédo qui est définie par le rapport du rayonnement réfléchi au rayonnement global on utilise deux pyranomètres opposés à l'horizontal.

1.12. Mouvements de la terre

Le soleil est une étoile pseudo-sphérique gazeuse, composée essentiellement d'hydrogène et d'hélium, il est le siège de fusion nucléaire générant d'énormes quantités d'énergie dont une petite partie arrive sur terre par rayonnement électromagnétique (estimé à environ 1 million de Téra wattheures). La terre décrit autour du soleil une trajectoire légèrement elliptique dont le soleil occupe l'un des foyers. Sa distance moyenne est de **149.6** millions de km, avec une variation de $\pm 1.7\%$. La terre traverse le grand axe de l'ellipse de 21 janvier (position la plus proche) et le 21 juillet (la plus éloignée du soleil).

Depuis la terre, le diamètre apparent du soleil est vu sous un angle de **0.5°**. L'axe de rotation de la terre sur elle-même est incliné de **23° 27'** par rapport au plan de l'écliptique (plan de l'orbite terrestre). On appelle déclinaison l'angle formé par l'axe terre- soleil avec le plan de l'équateur à un moment donné de l'année. La déclinaison δ vaut donc **+ 23°27'** au solstice d'été, et est nulle aux équinoxes. [18]

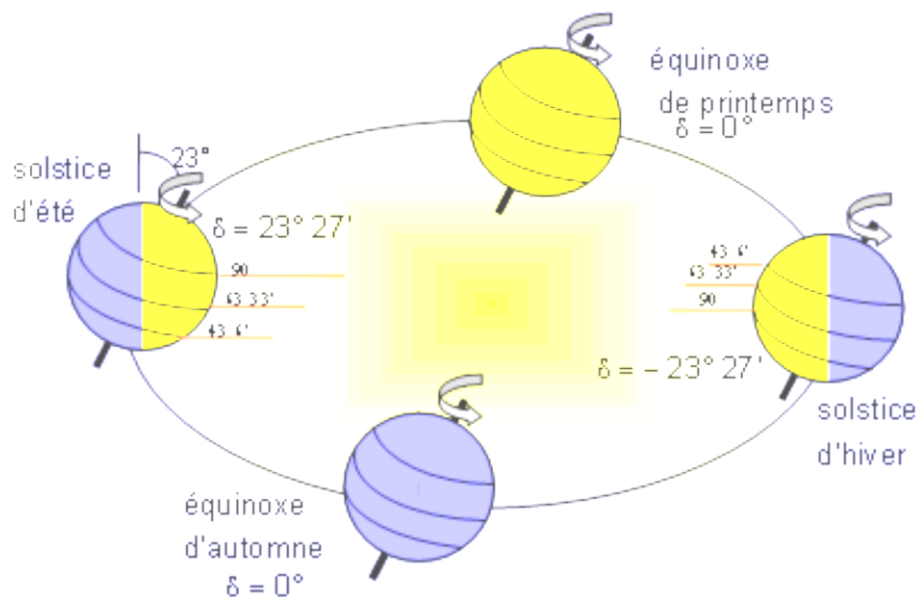


Figure (1.6) : Trajectoire de la terre autour du soleil

1.13 Paramètres de position du Soleil

Pour un lieu donné le soleil est repéré à chaque instant de la journée et de l'année par deux systèmes de coordonnées différents [19] ;[21] :

- Par rapport au plan équatorial de la terre(repère équatorial).
- Par rapport au plan horizontal du lieu(repère horizontal)

1.13.1 Coordonnées horizontales

Le mouvement du soleil est repéré par rapport au plan horizontal du lieu de latitude ϕ par deux angles azimut(α) et hauteur (h).

a) Hauteur du soleil

C'est l'angle formé par la direction du soleil et sa projection sur le plan horizontal. $h = 0$: correspond au lever et au coucher du soleil, la hauteur du soleil varie entre **+90** et **-90**. Il est donné par la relation suivante :

$$\sin(h) = \sin(\Phi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) \cdot \cos(\Phi) \quad (1.5)$$

b) Zénith

C'est le point le plus élevé de l'hémisphère céleste, se trouvant directement à la verticale de l'observateur. Il est donné par l'équation suivante :

$$\sin(\theta z) = \sin(\Phi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) \cdot \cos(\Phi) \quad (1.6)$$

Alors

$$\sin(\theta z) = \sin(h) \quad (1.7)$$

c) Azimut du soleil

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

L'azimut du soleil varie à chaque instant de la journée . α : varie entre -180 et +180.

On prend : $\alpha > 0$ vers l'ouest.

$\alpha < 0$ vers l'est.

$\alpha = 0$ vers le sud

Il est donné par la relation suivante :

$$\sin(\alpha) = \frac{\cos(\delta) \cdot \sin(\omega)}{\cos(h)} \quad (1.8)$$

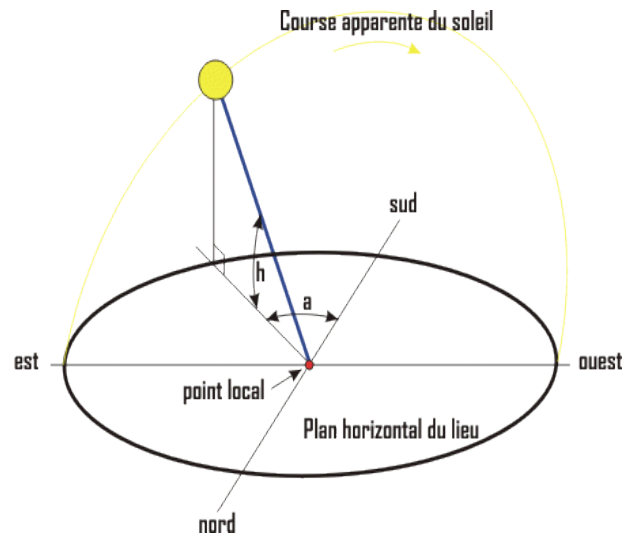


Figure (1.7) : Définition des coordonnées horizontales

1.13.2. Coordonnées équatoriales

L'équateur est une ligne fictive de séparation entre l'hémisphère nord et l'hémisphère sud, définie par un plan perpendiculaire à l'axe des pôles. Le méridien est le plan du lieu passant par l'axe des pôles.[21],[22]

Le mouvement du soleil est repéré par rapport au plan équatorial de la terre à l'aide de deux angles (δ , ω).

a) Déclinaison(δ)

C'est l'angle entre la direction terre-soleil et le plan équatorial. 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. Elle est bien représentée par la formule suivante :

$$\delta(^{\circ}) = 23.45 \cdot \sin\left(\left(\frac{2\pi}{365}\right) \cdot (284 + N_j)\right) \quad (1.9)$$

δ varie entre deux valeurs extrêmes : $-23.45^\circ \leq \delta \leq +23.45^\circ$

Les **équinoxes** sont les deux dates de l'année où le soleil traverse le plan équatorial : sa déclinaison est alors nulle et les durées du jour et de la nuit sont égales. L'**équinoxe d'automne** intervient vers le 22 septembre et l'**équinoxe de printemps** vers le 22 mars, dans l'hémisphère Nord.

Dans l'hémisphère nord, le **solstice d'été** (vers le 21 juin) est la période au cours de laquelle la durée qui sépare le lever et le coucher du soleil cesse de croître

Le **solstice d'hiver** (vers le 21 décembre) est la période au cours de laquelle cette durée cesse de décroître. Les saisons sont inversées dans l'hémisphère sud.

b) Angle horaire du soleil

L'angle horaire (ω) (encore noté **AH**) du soleil étant l'angle formé par le plan méridien passant par le centre du soleil et le plan vertical du lieu (méridien) définit le temps solaire vrai **TSV**. C'est la mesure de l'arc de trajectoire solaire compris entre le soleil et le plan méridien du lieu. Exprimé en degrés.

L'angle horaire est donné par l'équation suivante:

$$\omega = 15 (\text{TSV} - 12) \quad (1.10)$$

L'angle horaire ω varie de -180° à 180° .

TSV : est le temps solaire vrai (**TSV** en heures et ω en degrés), tel que le soleil se trouve au zénith à midi. A chaque heure qui s'écoule correspond une augmentation de l'angle horaire de 15° .

c) Angle horaire au lever et au coucher du soleil

L'angle horaire du soleil à son coucher ou lever est l'angle horaire solaire correspondant à l'heure où le soleil se couche ou bien le soleil se lève; il est donné par l'équation suivante

$$\omega_{ss} = -\omega_{sr} = \cos^{-1}(-\tan(\Phi) \times \tan(\delta)) \quad (1.11)$$

Où

δ : est la déclinaison

Φ : est la latitude du lieu

1.14 Coordonnées géographiques

Les coordonnées géométriques utilisées pour déterminer la localisation d'un point sur la surface terrestre sont :La latitude et la longitude, qui s'expriment en degrés, minutes et secondes d'angle.[23] ;[24]

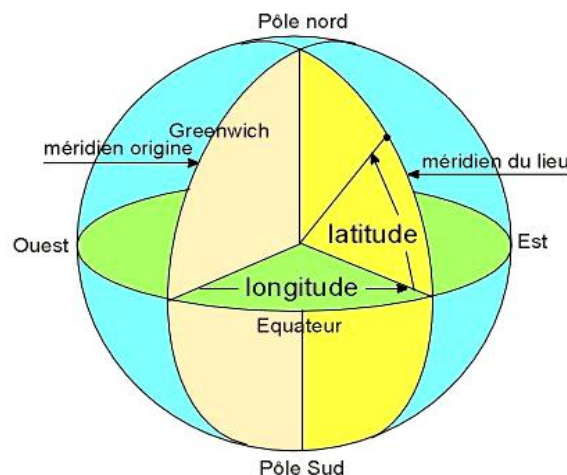
a)Latitude du lieu Φ :

L'angle de latitude est l'angle entre une ligne tracée d'un point sur la surface de la terre avec le centre de cette dernière, et le cercle équatorial de la terre. L'intersection du cercle équatorial avec la surface de la terre forme l'équateur, est indiquée en tant que latitude de 0° , le pôle nord par latitude $+90^\circ$ et le pôle sud par la latitude -90° . Φ varie de -90° à $+90^\circ$, tel que : $\Phi > 0$ vers le nord et $\Phi < 0$ vers le sud

b)Longitude λ :

Permet de localiser un point à l'Est ou à l'Ouest d'une ligne Nord- Sud de référence appelée le méridien Greenwich. λ varie de -180° à $+180^\circ$.

tel que : $\lambda > 0$ à l'est du méridien de Greenwich et $\lambda < 0$ à l'ouest du méridien de Greenwich.



Figure(1.8):Définition des coordonnées terrestres

1.15 Capteurs solaires

1.15.1 Définition

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

1.15.2. Types de capteurs solaires

Il existe des différentes méthodes pour capter l'énergie solaire provenant d'un rayonnement incident. Principalement il y a deux types de capteurs solaires:

- **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.

1.15.3. Position du capteur

Soit un plan quelconque sur la terre à un instant quelconque, repérons sa position par les deux angles α et β tels que :

β : Angle entre le plan horizontal et le plan considéré (inclinaison):

- $\beta > 0$ si le plan en face de l'équateur.
- $\beta = 0$ pour le plan horizontal.
- $\beta = 90^\circ$ pour un plan vertical.

α : Angle entre le méridien local et la normale au plan

- $\alpha = 0$ vers le sud
- $\alpha < 0$ vers l'est
- $\alpha > 0$ vers l'ouest

a) Angle d'incidence (θ_i)

L'angle entre le rayon incident et la normale au plan considéré. Pour une surface orientée vers le sud et inclinée d'un angle (β) sur l'horizontale. Cet angle peut être déterminé par la

connaissance des cosinus directeurs du rayonnement incident et la normale du plan incliné

en coordonnées horizontale du lieu, cet angle dépend des paramètres de la position du soleil et de l'angle d'inclinaison du capteur. Il est défini par :

$$\begin{aligned} \cos(\theta_i) = & \sin(\delta) \cdot \sin(\Phi) \sin(\beta) - \sin(\delta) \cos(\Phi) \sin(\beta) \cos(\alpha) \cos(\Phi) \cos(\beta) \cos(\omega) \\ & + \cos(\delta) \sin(\Phi) \sin(\beta) \cos(\alpha) \cos(\omega) + \cos(\delta) \sin(\alpha) \sin(\beta) \sin(\omega) \end{aligned} \quad (1.12)$$

CONCLUSION

L'irradiation solaire globale pour un site donné est fonction de plusieurs facteurs; astronomiques et météorologiques. Dans ce chapitre on a parlé de ces facteurs astronomiques et de leurs définitions. Elle est influencée par deux principaux paramètres, en premier lieu on trouve les constituants de l'atmosphère, qu'ils soient permanents ou ceux dont la composition varie largement avec les activités de l'homme, et en second c'est le mouvement de la terre, alors il important de faire une étude préliminaire du climat pour un site donné avant tout expose d'exploitation de l'énergie solaire.

Modélisation du rayonnement solaire

2.1. Introduction

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. Dans ce chapitre, sont présentés les différents modèles d'évaluation de l'éclairement en un site donnée. 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.

2.1 Irradiation globale sur un plan incline

2.1.1. Rayonnement extraterrestre

Pour une surface placée parallèlement à la terre, le taux de la radiation solaire extraterrestre G_{h0} , incidente sur cette surface horizontale à un moment donné de l'année est donné par [25]

$$G_{ext} = 1367 \cdot \left[1 + 0.033 \cdot \cos\left(\frac{360 \cdot N_j}{365}\right) \right] \cdot \cos(\Phi) \cdot \cos(\delta) + \sin(\Phi) \cos(\delta) \quad (2.1)$$

L'irradiation globale incidente sur une surface horizontale extraterrestre durant la journée peut être obtenue par l'intégration d'équation (2.1) sur la période du lever au coucher du soleil.

L'équation résultante est :

$$H_o = 86400 \cdot \left[1 + 0.033 \cdot \cos\left(\frac{360 \cdot N_j}{365}\right) \right] \cdot \cos(\Phi) \cos(\delta) \cos(\omega) + \omega_{ss}(\pi/180) \cdot \sin(\Phi) \sin(\delta) \quad (2.2)$$

2.1.2. Irradiation sur un plan horizontal

Estimation de la composante directe et diffuse de l'irradiation (éclairage) horizontale à partir de l'irradiation globale journalière. L'irradiation globale journalière $G_h(0)$ sur une surface horizontale peut être divisée en une composante diffuse $D_h(0)$ et une composante directe $B_h(0)$. La distribution du diffus solaire est irrégulière à cause de la variation du climat. Néanmoins la caractéristique moyenne du diffus est entièrement régulière et peut être en corrélation avec l'indice de clarté de l'atmosphère.

La composante diffuse de l'irradiation (éclairage diffus) horizontale journalière se calcule à partir de la corrélation existante entre la fraction diffuse (k_d) et l'indice de clarté de l'atmosphère (k_T). le rapport varient selon les endroits et les saisons et varient généralement entre **0.3** (pour des régions pluvieuses) et **0.8** (pour des régions à climat sec et ensoleillé) [26] ;[27].

a) Fraction diffuse

L'indice de diffuse est défini comme le rapport entre la moyenne mensuelle journalière de la radiation diffuse sur une surface horizontale et la valeur correspondante de l'irradiation globale journalière $G_h(0)$. est défini par la relation suivante :

$$k_D = \frac{D_h(0)}{G_h(0)} \quad (2.3)$$

L'rayonnement global sur une surface horizontale, G_h est la somme de rayonnement direct horizontal et de rayonnement diffus, c'est-à-dire :

$$G_h = B_h + D_h \quad (2.4)$$

Après le calcul de la composante diffuse horizontale, la composante directe de l'irradiation horizontale journalière est déduite de la relation suivante :

$$B_h(0) = G_h(0) - D_h(0) \quad (2.5)$$

b) Indice de clarté

L'indice de clarté, k_T , est défini comme le rapport entre la moyenne mensuelle de la radiation journalière sur une surface horizontale et la valeur correspondante du hors atmosphère: clarté de l'atmosphère.

$$k_T = \frac{G_h}{G_{ext}} \quad (2.6)$$

Où :

G_{ext} : Irradiation globale extraterrestre journalière

$G_h(0)$: Irradiation globale horizontale journalière

$D_h(0)$: Irradiation diffuse horizontale journalière

2.2. Estimation des moyennes mensuelles de l'irradiation globale journalière

2.2.1. Irradiation journalière globale

Les irradiances journalières globales estimées et mesurées sont données par les intégrales des éclaircissements estimés et mesurés en fonction du temps, entre le lever et le coucher du soleil et s'écrivent de la façon suivante [28]:

$$\int_{\omega_{SS}}^{\omega_{ST}} G_e(\omega) d\omega \quad (2.7)$$

$$\int_{\omega_{SS}}^{\omega_{ST}} G_m(\omega) d\omega \quad (2.8)$$

Où :

G_e : irradiation journalière globale estimée.

G_m : irradiation journalière globale mesurée.

2.3. Estimation des moyennes mensuelles des irradiances journalières (diffuse et directe)

2.3.1. Modèle de Liu et Jordan

Ils ont établi une relation empirique entre le rapport de la moyenne mensuelle de l'irradiation diffuse journalière $D_h(0)$ à G_{ext} et la moyenne mensuelle de la fraction d'irradiation k_T . [26]

$$\frac{Dh(0)}{G_{ext}} = 1.390 - 4.027KT + 5.531KT^2 - 3.018 KT^3 \quad (2.9)$$

- Ce résultat a été très fréquemment utilisé mais il a suscité plusieurs critiques : Il a été obtenu avec une valeur erronée de la constante solaire (1367W/m²).
- Les mesures du rayonnement diffus qui ont été utilisées ont été effectuées avec un pyranomètre à anneau sous-estime ce rayonnement.
- Il faudrait tenir compte d'un effet saisonnier. En effet, l'intensité du rayonnement diffus dépend de la masse atmosphérique qui en moyenne est beaucoup plus grande en hiver qu'en été.

2.3.2. Modèle de Collares-Pereira et Rabl

En première approximation, on peut supposer que la relation de **Collares-Pereira et Rabl** est valable non seulement pour les moyennes mensuelles, mais aussi pour les valeurs journalières, **Dh(0)**, **Gh**, ω_{ss} et **Kd**. Des corrélations journalières ont été aussi directement proposées. L'expression analytique de la corrélation est donnée comme suit:

[31]

Pour l'intervalle **KT** $0 \leq 0.17$

$$Kd=0.99 \quad (2.10)$$

Pour l'intervalle $0.17 < KT < 0.8$

$$Kd=1.188-2.272K_T+9.473K_T^2-21.856K_T^3+14.648K_T^4 \quad (2.11)$$

En tenant compte de ces divers facteurs **Collares-Pereira et Rabl** qui dépendra, cette fois-ci, de l'angle horaire du lever du soleil ω_{ss} , paramètre caractérisant la saison considérée. Cette relation est donnée comme suit:

$$Kd = 0.77 + (0.347/180)(\omega_{ss} - 90) - 0.505 + \left[\frac{0.261}{180} (\omega_{ss} - 90) \cdot \cos(2(KT - 0.9)) \right] \quad (2.12)$$

Où

ω_{ss} :est l'angle horaire moyen du lever du soleil pendant la période considérée.

2.4 Estimation des irradiations horaires globale et diffuse

Le rayonnement solaire peut être séparé en deux composantes; L'enseillement direct, émis par le disque solaire et l'enseillement diffus émis par le reste de la voûte céleste.

L'algorithme de calcul sur une surface inclinée nécessite la connaissance des enseillements direct et diffus pour chaque heure d'une <<journée moyenne>>. En premier lieu, il convient donc de calculer la moyenne mensuelle du rayonnement diffus journalier $Dh(0)$ à partir de la moyenne mensuelle du rayonnement global journalier Gh et en utilisant la corrélation d'Erbs [30]

$$K_d = 1.391 - 3.56 K_T + 4.189 K_T^2 - 2.137 K_T^3 \quad (2.14)$$

Quand l'angle horaire du soleil à son coucher pour le jour moyen du mois est inférieur à 81.4°

$$K_d = 1.311 - 3.022 K_T + 3.1427 K_T^2 - 1.821 K_T^3 \quad (2.15)$$

Notons que les deux formules sont valables uniquement si est compris entre [0.3 ; 0.8].

Quand l'angle horaire du soleil à son coucher est supérieur à 81.4° (la moyenne mensuelle de l'indice de clarté). Ensuite, l'enseillement quotidien moyen est réparti en valeurs horaires. Cela est réalisé grâce aux formules de << Collares-Pereira et Rabl>> pour le rayonnement global :

$$r_g = (a + b \cos(\omega)) \cdot r_d \quad (2.15)$$

$$a = 0.409 + 0.5016 \cdot \sin(\omega_{ss} - 60) \quad (2.16)$$

$$b = 0.6609 - 0.4767 \cdot \sin(\omega_{ss} - 60) \quad (2.17)$$

Où

r_g : est le rapport de la valeur horaire sur le total quotidien de l'enseillement global.

ω_{ss} : est l'angle horaire du soleil à son lever exprimé en radians.

ω : est l'angle horaire du soleil pour le milieu de l'heure pour laquelle le calcul est fait, exprimé aussi en radians ; et r_d peut être donné par la de Liu et Jordan :

$$r_d = \frac{\pi}{24} \left(\frac{\cos(\omega) - \cos(\omega_{ss})}{\sin(\omega_{ss}) - \omega_{ss} \cos(\omega_{ss})} \right) \quad (2.18)$$

Où

r_a : est le rapport de la valeur horaire et le total quotidien de l'ensoleillement diffus. Pour chaque heure de la « journée type »

G_h :est l'éclairement global horizontal.-

$D_h(0)$ et $B_h(0)$: sont les composantes diffuse et directe. Elles sont données par les trois formules suivantes :

$$G_h = r_g \cdot G_h(0) \quad (2.19)$$

$$G_d = r_d \cdot G_h(0) \quad (2.20)$$

$$B_h(0) = G_h(0) - G_d(0) \quad (2.21)$$

2.6 Eclairage sur une surface inclinée

L'ensoleillement sur un plan incliné d'orientation arbitraire à un instant quelconque de la journée est la somme des trois composantes du rayonnement solaire incident sur le même plan, à savoir la composante directe, diffuse et réfléchi par le sol. La quantité d'ensoleillement reçue dépend de l'orientation et de la pente de la surface.[31]

$$G_T(B.A) = B_T(B.A) + D_T(B.A) + R_T(B.A) \quad (2.22)$$

Où

G_t :est le rayonnement global.

B_t :est le rayonnement direct.

D_t :est le rayonnement diffus.

R_t :est le rayonnement réfléchi par le sol.

L'éclairement du au rayonnement direct sur un plan d'inclinaison et d'orientation quelconques étant directionnel, il est donné par la relation suivante :

$$B_t(\beta, \alpha) = B \cdot \cos(\theta_i) \quad (2.23)$$

L'éclairement du au rayonnement direct sur un plan horizontal, il est calculé aussi par relation suivante :

$$B_h(0)=B \cdot \cos(\theta_z) \quad (2.24)$$

Avec

θ_z :Angle zénithal du soleil

B :est l'éclairement du au rayonnement solaire direct sur un plan normal et θ_i l'angle d'incidence à la surface inclinée. De cela on obtient le rapport suivant :

$$R_b = \frac{\cos(\theta_i)}{\cos(\theta_z)} \quad (2.25)$$

Le facteur R_b est le facteur de transposition géométrique ou le facteur d'inclinaison de rayonnement direct. Donc la composante du rayonnement direct pour n'importe quelle surface inclinée est :

$$B_t(\beta,\alpha)=B_h(0) \cdot R_b \quad (2.26)$$

$$B(\beta,\alpha)=R_b(G_h(0)-D_h(0)) \quad (2.27)$$

Où

$D_h(0)$, $G_h(0)$, $B_h(0)$ sont respectivement les éclairements dus aux rayonnements global, diffus direct sur un plan horizontal.

2.7. Modèles d'estimation du rayonnement diffus sur plan incliné

2.7.1. Ciel isotopique

La majorité des mesures des radiations solaires sont pour les surfaces horizontales, en connaissant les valeurs des radiations directes et diffuses ainsi que les angles solaires. Les modèles des radiations du ciel, dans ce contexte sont des représentations mathématiques des radiations diffuses, quand les radiations directe et diffuse sont combinées elles fournissent la moyenne calculée des radiations solaires sur une surface inclinée à partir des mesures effectuées sur une surface horizontale. Un des modèles est le modèle des radiations diffuses isotropes, proposé par Liu et Jordan. [32]

2.7.1.1 Modèle de Liu et Jordan

Dans ce modèle, le rayonnement solaire global incident sur une surface inclinée est supposé être composé de trois éléments: le des radiation directs, des radiations diffusées du ciel isotopique et des radiations réfléchies par le sol sous forme de radiations diffusées due à l'albédo du sol.(celui qui arrive uniformément de la voûte céleste indépendamment de sa direction).Le rayonnement diffus sur surface inclinée $D(\beta, \alpha)$ peut être obtenu en multipliant le rayonnement diffus sur surface horizontale par un facteur de visibilité entre la surface et le ciel peut être une estimer par la relation suivante:

$$D(\beta, \alpha) = Dh(0) \cdot \left[\frac{(1 + \cos(\beta))}{2} \right] \quad (2.28)$$

Le rayonnement réfléchi du ciel sur un plan incliné peut être une estimer par l'expression suivante:

	$R(\beta, \alpha) = \rho \cdot Gh(0) \cdot \left[\frac{(1 - \cos(\beta))}{2} \right]$	(2.29)
--	--	--------

Le rayonnement global sur une surface inclinée pour un ciel isotrope se résume par :

$$Gt(\beta, \alpha) = Rb(Gh(0) - Dh(0)) + Dh(0) \cdot \left[\frac{(1 + \cos(\beta))}{2} \right] + Dh(0) \cdot \left[\frac{(1 + \cos(\beta))}{2} \right] \quad (2.30)$$

2.8. Ciel anisotrope

Un certain nombre de modèles ont été développés par un certain nombre de chercheurs. Ces modèles développés ont pour but d'estimer l'irradiation globale réelle sur une surface inclinée. Ces modèles tiennent compte du rayonnement diffus provenant de la zone avoisinante du disque solaire (auréole du soleil) et celle provenant de l'horizon. Quatre de ces modèles sont récapitulés dans cette section. Le modèle de **Klucher**, le modèle de **Hay et Davies**, le modèle de **Reindl** , Modèle de **Perez**. [33]

2.8.1. Modèle de Klucher

Klucher a développé un modèle, qui prend en compte le rayonnement provenant de deux régions du ciel, la zone avoisinante du disque solaire(circumsolaire) et celle provenant de l'horizon. Le modèle développé par Klucher donne l'irradiation globale sur une surface inclinée:

$$G_t(\beta, \alpha) = Dh(0) \cdot \left(\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right) \left(1 + F \sin\left(\frac{\beta}{2}\right) \right) \cdot \left[1 + \cos^2(\beta) \sin^3(\theta z + \rho Gh(0)) \left(\frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right) \right] \quad (2.31)$$

Avec : $Dh(0) \cdot [(1 + \cos(\beta))/2] [1 + F \cdot \sin(\beta/2)] [1 + \cos^2(\beta) \cdot \sin^3(\theta z)]$ est le facteur dans la composante du rayonnement diffus tient compte de l'effet du rayonnement d'horizon.

Le second tient $\rho \cdot Gh(0) [(1 - \cos(\beta))/2]$ compte de l'effet du rayonnement de circumsolaire.

Où **F** est une fonction de modulation donné par :

$$F = \left[1 - \left(\frac{Dh(0)}{Gh} \right)^2 \right] \quad (2.32)$$

Sa valeur est nulle lorsque le ciel est couvert et l'équation devient pour l'isotrope.

2.8.2 Modèle de Hay et Davies

Le modèle Hay-Davies est un modèle du rayonnement diffus du ciel. Il est composé de la composante isotrope et de la composante circumsolaire. Il est donné par la relation:

$$G_t(\beta, \alpha) = Rb \cdot (Bh(0) + Fi \cdot Dh(0)) + Dh(0)(1 - Fi) \left(\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right) + \rho Gh(0) \left[\frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right] \left(\frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right) \quad (2.33)$$

Fi est un indice d'anisotropie, qui est en fonction de la transmittance de l'atmosphère du rayonnement direct.

$$Fi = \frac{Bh}{G_{ext}} \quad (2.34)$$

2.8.3 Modèle de Reindl et al

En additionnant le rayonnement diffus isotropique et la radiation du circumsolaire et celle de l'horizon, Reindl et al ont développé les travaux de Hay et de Klucher pour le rayonnement global diffus d'anisotropie sur une surface inclinée. L'expression proposée est la suivante :

$$G_t(\beta, \alpha) = D_h(0) \cdot (1 - F_i) \cdot \left(\frac{(1 + \cos(\beta))}{2} \right) + \left[1 + F_i \cdot R_b + \sin^3\left(\frac{\beta}{2}\right) \cdot \sqrt{\frac{B_h(0)}{G_h(0)}} \right] \quad (2.35)$$

L'éclairement global reçu sur une surface inclinée est donnée par la relation suivante:

$$G_t(\beta, \alpha) = R_b \cdot B_h + D_h(0) \cdot (1 - F_i) \cdot \left(\frac{(1 + \cos(\beta))}{2} \right) + \left[1 + F_i \cdot R_b + \sin^3\left(\frac{\beta}{2}\right) \cdot \sqrt{\frac{B_h(0)}{G_h(0)}} + \rho G_h(0) \cdot \left(\frac{(1 - \cos(\beta))}{2} \right) \right] \quad (2.36)$$

2.8.4 Modèle de Perez

Dans ce modèle, la composante directe dans un plan d'inclinaison (β) et d'orientation (α) et pour une hauteur (h) est donnée par la relation suivante [27] :

$$G_B(\beta, \alpha) = \left[F_1 \frac{\text{Max}(0, \cos(\theta_i))}{\cos(\theta_z)} \right] \cdot F_T(\theta_i) \cdot B(0) \quad (2.37)$$

Où:

θ_i : est l'angle d'incidence

θ_z : est l'angle zénithal

$$F_T(\theta_i) = (1 - 0.0663\theta_i^2 + 0.0882\theta_i^3 - 0.194\theta_i^4) \quad (2.38)$$

$F_T(\theta_i)$ est un facteur de transmittance qui quantifie la réduction de l'irradiation directe sur le plan du module photovoltaïque. Le modèle de Perez *et al* est basé sur une analyse plus détaillée des trois composants du rayonnement diffus.

- Le rayonnement diffus circonférence. (**GdC**)
- Le rayonnement diffus horizon. (**GdH**)
- Le rayonnement diffus le reste du ciel. (**GdR**)

$$G_{dC}(\beta, \alpha) = G_d(0) \cdot \left[F_1 \frac{\text{Max}(0, \cos(\theta_i))}{\cos(\theta_z)} \right] \quad (2.39)$$

$$G_{dH}(\beta, \alpha) = G_d(0) \cdot [F_2 \cdot \sin(\beta)] \quad (2.40)$$

$$GdR(\beta, \alpha) = Gd(0) \cdot \left[(1 - F1) \frac{(1 + \cos(\beta))}{2} \right] \tag{2.41}$$

Où F1 et F2 sont des coefficients exprimant respectivement le degré d'anisotropie autour du soleil et d'anisotropie à l'horizon et au zénith. Ils s'obtiennent à partir des paramètres de clarté et de brillance du ciel. Ils ont été obtenus à partir de mesures. F1 et F2 sont calculés à partir de l'indice de clarté (ϵ) et de la brillance du ciel Δ

$$F1 = F11 + F12\Delta + F13.0z \tag{2.42}$$

$$F2 = F21 + F22. \Delta + F23.0z \tag{2.43}$$

Les expressions de l'indice de clarté (ϵ) et la luminosité Δ sont données respectivement par:

$$\epsilon = \frac{Gd(0) + \frac{B(0)}{\cos(\theta z)}}{Gd(0)} \tag{2.44}$$

$$\Delta = \frac{Gd(0)}{G_{ext} \cdot \cos(\theta z)} \tag{2.45}$$

Perez classifie les divers ciels en huit catégories basées sur l'indice de clarté ϵ de 1.000 à 1.065 pour ciel couvert (rayonnement direct nul); au-delà de 10.08 pour un ciel sans nuages et entre les valeurs extrêmes on a des états de ciels nuageux (voir tableau 2.1):

Tableau(2.1): Coefficients du modèle de Perez

E	F11	F12	F13	F21	F22	F23
1 à 1.065	-0.142	0.505	-0.044	-0.120	0.138	-0.034
1.586 à 1.253	0.261	0.559	-0.243	-0.019	0.083	-0.081
1.253 à 1.586	0.481	0.460	-0.354	0.077	0.006	-0.116
1.586 à 2.134	0.825	0.187	-0.532	0.172	-0.050	-0.151
2.134 à 3.230	1.102	-0.299	-0.586	0.350	-0.398	-0.171
3.230 à 5.980	1.226	-0.451	-0.617	0.444	-0.949	-0.073
5.980 à 10.08	1.367	0.838	-0.655	0.431	-1.750	0.094
$\epsilon > 10.08$	0.978	-0.8	-0.393	0.335	-2.160	0.186

Donc la relation mathématique du rayonnement diffus est donnée comme suit:

$$G_{Dt}(\beta,\alpha)=F_T.G_{dc}(\alpha,\beta)+0.856.G_{dH}(\alpha,\beta)+0.856.G_{dR}(\alpha,\beta) \quad (2.46)$$

L'éclairement réfléchi reçu sur une surface inclinée se donne par l'équation suivante:

$$G_R(\beta,\alpha)=0.856.G(0)(1-\cos(\beta/2)).\rho \quad (2.47)$$

L'éclairement global se donne par la relation suivante:

$$G_t(\beta,\alpha)=G_{Bt}(\beta,\alpha)+G_{Dt}(\beta,\alpha)+G_{Rt}(\beta,\alpha) \quad (2.48)$$

2.9. Algorithme de calcul du rayonnement sur une surface arbitrairement orientée et inclinée

Le calcul de l'irradiation sur la surface d'un champ PV se fait en utilisant les étapes suivantes selon l'algorithme :

ETAPE 1 : Calcul la Déclinaison puis l'angle horaire.

L'irradiation hors atmosphère.

ETAPE 2 : Calcul des irradiances horaires global et diffus sur une surface horizontale pour toutes les heures d'une (journée moyenne) .

ETAPE 3 : Calcul l'Angle d'Azimut (θ_z).

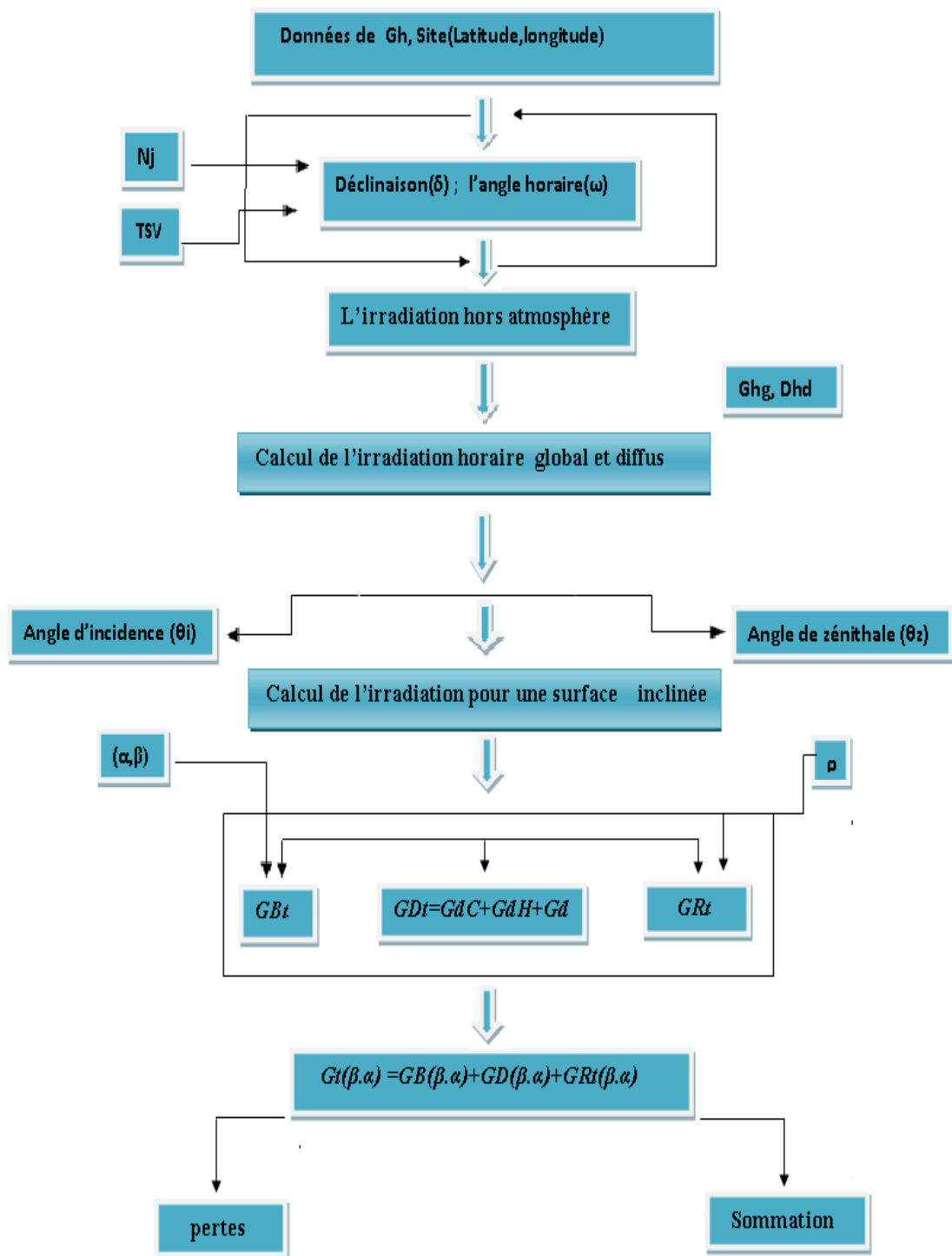
ETAPE 4 : Angle d'incidence (θ_i).

ETAPE 5 : Calcul des valeurs de l'irradiation global sur la surface inclinée pour toutes les heures de la journée.

ETAPE 6 : Calcul de l'irradiation diffus.

ETAPE 7 : Somme de ces valeurs sur la surface inclinée pour obtenir l'irradiation quotidien sur la surface du champ PV.

ETAPE 8 : calcul des valeurs des pertes de l'irradiation global sur la surface inclinée.



Figure(2.1) : Algorithme de calcul de l'irradiation solaire sur plan incliné

CONCLUSION

La production d'énergie des systèmes photovoltaïque dépend de l'énergie solaire incidente sur leurs surfaces captatrices donc il est nécessaire de développer des modèles de prédiction de l'ensoleillement qui engendrent les paramètres du lieu (site). Dans ce chapitre nous distinguons le modèle de ciel isotropique, les modèles du ciel anisotrope qui tiennent en compte de la présence de nuages dans le ciel et leur effet sur la diffusion du rayonnement et le modèle (Perez) qui tiennent en compte de tous les aspects de la diffusion du rayonnement.

OPTIMISATION DE L'IRRADIATION SOLAIRE - RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter les résultats de simulation de calcul de l'irradiation solaire que peut capter un générateur photovoltaïque à structure porteuse arbitrairement incliné et incliné. Il est question également de déterminer les deux angles optimaux (inclinaison, orientation) donnant les maximums d'énergie reçue sur le plan d'un générateur photovoltaïque. L'étude de simulation a été réalisée grâce au logiciel Matlab et concerne une vingtaine de stations en Algérie (20 villes).

3.2. Résultats de simulation

Le tableau 3.1 ci-après montre les données de l'irradiation journalière moyenne mensuelle sur le plan horizontale pour différentes régions Algérien utilise pour le calcul de l'irradiation solaire globale sur le plan inclinée. Pour identifier les angles d'inclinaison et d'orientation optimaux pour lesquels l'énergie reçue atteint sa valeur maximale pour différentes sites algérien, nous procédons à la variation de l'angle d'inclinaison de 0° à 90° et l'angle d'orientation de -90 à 90 .

Tableau 3.1 : Valeurs de l'irradiation globale journalière mensuelle.

Mois	Jan	Fév	Ma r	Av r	Ma i	Jun	Juil	Aou t	Sep	Oct	Nov	Déc
M'silla	293 0	3800	5360	622 0	7140	784 0	7880	7170	552 0	450 0	3190	2590
Ouargla	304 0	4350	5620	706 0	7250	769 0	7910	7420	597 0	433 0	3270	2660
Oran	272 0	3640	4740	594 0	6550	708 0	6920	6260	525 0	394 0	2800	2400
Alger	248 0	3380	4590	569 0	6490	720 0	7130	6440	528 0	382 0	2630	2150
Tamanrass e t	442 0	5480	6060	671 0	7130	709 0	7180	6660	602 0	540 0	4570	4040
Becher	420 0	5330	6220	727 0	7600	754 0	7420	7080	647 0	537 0	4380	3880
Aloued	258 0	3930	5220	671 0	7110	758 0	7570	7120	566 0	401 0	2810	2250
Jijel	227 0	3150	4260	522 0	6200	691 0	7080	6120	494 0	353 0	2420	2010
Média	257 0	3470	4680	580 0	6510	720 0	7260	6510	534 0	382 0	2690	2230
Tindouf	381 0	4790	6180	720 0	7760	784 0	7630	6980	605 0	494 0	4020	3340
Skikda	227 0	3150	4260	522 0	6200	691 0	7080	6120	494 0	353 0	2420	2010
Adrar	374 0	4870	6140	714 0	7580	759 0	7820	7260	632 0	477 0	3900	3360
Sétif	238 0	3310	4440	546 0	6410	712 0	7230	6380	508 0	366 0	2510	2060
EL-Tarf	223 0	3110	4200	513 0	6190	685 0	7050	5990	487 0	348 0	2390	1980
Bejaia	223 8	3310	4440	546 0	6410	712 0	7230	6380	508 0	366 0	2510	2060
Ghardaïa	288 0	4130	5310	681 0	7420	764 0	7850	7070	565 0	402 0	3000	2560
Boumardes	248 0	3380	4590	569 0	6490	720 0	7130	6440	528 0	382 0	2630	2150
Illizi	392 0	5050	6340	722 0	7590	762 0	7760	7220	649 0	511 0	4140	3590
Tlemcen	282 0	3730	4670	587 0	6640	723 0	7300	6320	513 0	392 0	2900	2500
Mila	238 0	3310	4440	546 0	6410	712 0	7230	6380	508 0	366 0	2510	2060

3.2.1. Irradiation solaire pour le site de M'silla

Le tableau (3.2) ci-dessous représente la variation de l'irradiation solaire journalière annuelle en fonction de l'orientation (α) et l'inclinaison (β) pour le site de M'sila. les caractéristiques

géographiques de ce site sont latitude ($35^{\circ}.40'37''$) et longitude ($4^{\circ}.32'3''$).

Tableau (3.2) : Irradiation solaire journalière annuelle en fonction azimut et l'inclinaison (M'sila)

α/β	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
0	8357	8357	8357	8357	8357	8357	8357	8357	8357	8357	8357	8357	8357
10	8867	8998	9111	9202	9270	9311	9325	9311	9270	9202	9111	8998	8867
20	9145	9403	9625	9805	9938	10019	10047	10019	9938	9805	9625	9403	9145
30	9183	9559	9884	10147	10341	10460	10500	10460	10341	10147	9884	9559	9183
40	8979	9462	9880	10218	10468	10621	10672	10621	10468	10218	9880	9462	8979
50	8539	9115	9613	10016	10313	10496	10557	10496	10313	10016	9612	9115	8539
60	7877	8528	9091	9547	9883	10089	10158	10089	9883	9547	9091	8528	7877
70	7013	7720	8330	8825	9190	9413	9488	9413	9190	8825	8330	7720	7013
80	5974	6715	7354	7873	8255	8489	8568	8489	8255	7873	7354	6715	5974
90	4791	5543	6192	6718	7106	7344	7424	7344	7106	6718	6192	5543	4791

Compte tenu de les composantes diffuse et globale du rayonnement solaire sur un plan incliné relativement importante dans la région M'sila, l'irradiation solaire annuelle (Wh/m^2), rapporté à sa valeur maximale varie avec l'orientation(α) et avec l'inclinaison (β) comme l'indique la figure :

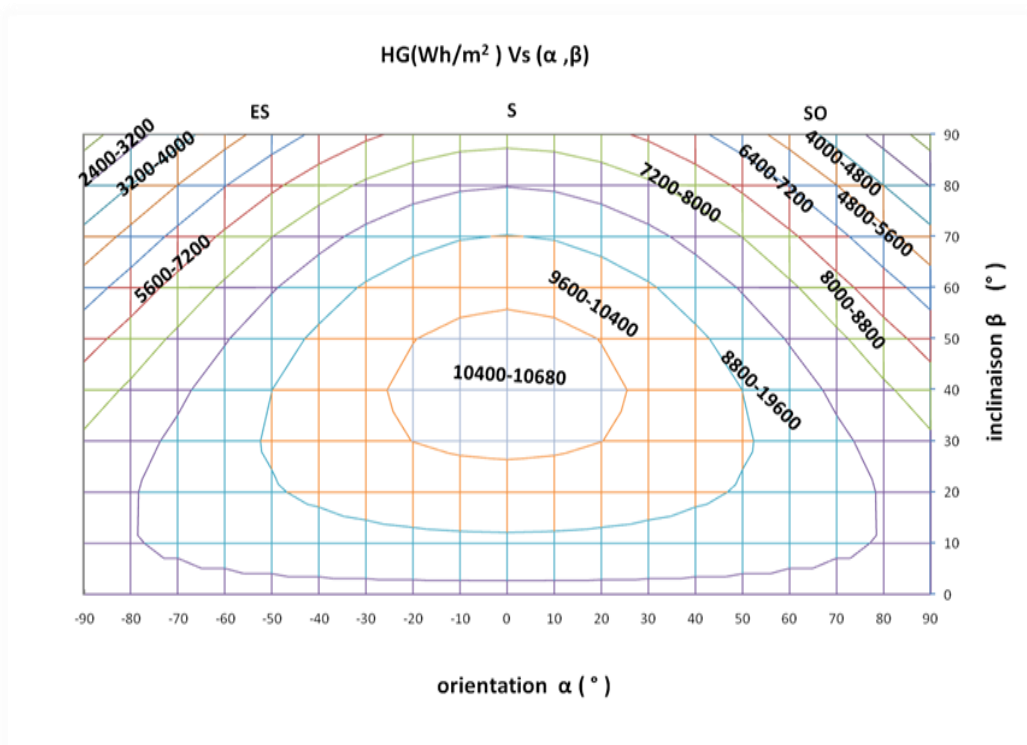


Figure (3.1) : Variation de l'irradiation journalière annuelle en fonction (α, β) pour le site M'sila

Par la lecture du tableau (3.2) et figure (3.1) on peut déduire que le maximum de valeur de l'irradiation journalière annuelle pour l'orientation (α) et l'inclinaison (β) varient respectivement (-20° à 20°) et (30° à 60°) elle est égale à (10400 à 10680) Wh/m². Alors que les deux angles optimaux pour le site de M'sila sont l'orientation Sud (0°) et inclinaison (40°) qui donnent l'irradiation maximale journalière annuel. Elle est égale à 10672 Wh/m².

3.2.2. Irradiation solaire pour le site d'Ouargla

Le tableau (3.3) suivant présente la variation de l'irradiation solaire journalière annuelle en fonction de l'orientation (α) et l'inclinaison(β). pour le site d'Ouargla les données géographiques utilisées sont latitude (31°) et longitude ($5^\circ.24$ E)

Tableau (3.3) : Valeurs de l'irradiation solaire annuelle en fonction des angles (α, β) pour le site d'Ouargla

α/β	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
0	8663	8663	8663	8663	8663	8663	8663	8663	8663	8663	8663	8663	8663
10	9177	9315	9435	9531	9603	9646	9661	9646	9603	9531	9435	9315	9177
20	9449	9721	9956	10147	10287	10373	10402	10373	10287	10147	9956	9721	9449
30	9470	9868	10211	10490	10695	10821	10863	10821	10695	10490	10211	9868	9470
40	9240	9751	10193	10551	10815	10977	11031	10977	10815	10551	10193	9751	9240
50	8766	9375	9901	10328	10643	10835	10900	10835	10643	10328	9901	9375	8766
60	8062	8750	9345	9828	10183	10401	10475	10401	10183	9828	9345	8750	8062
70	7149	7897	8542	9065	9451	9687	9767	9687	9451	9065	8542	7897	7149
80	6057	6840	7516	8064	8469	8716	8800	8716	8469	8064	7516	6840	6057
90	4816	5612	6298	6855	7265	7517	7601	7517	7265	6855	6298	5612	4816

La figure (3.2) suivante indique la variation journalière annuelle de l'irradiation pour les différents orientations et inclinaisons pour la ville d'Ouargla:

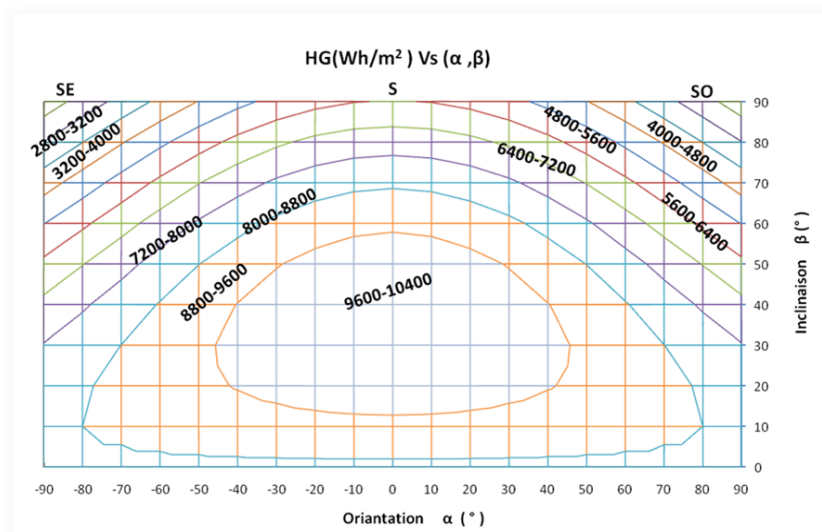


Figure (3.2) : Variation de l'irradiation journalier annuelle en fonction (α, β) pour le site Ouargla

D'après la figure (3. 2)et le tableau (3.3), la valeur de l'irradiation solaire annuelle pour le site Ouargla est maximale pour une orientation ($\alpha_{opt}=0^\circ$) et une inclinaison ($\beta_{opt}=40^\circ$)et La valeur maximale est de 1031 Wh/m.

3.2.3. Irradiation solaire du site d'Oran

Le tableau (3.4) montre les valeurs de l'irradiation solaire annuelle sur un plan incliné(β) et arbitrairement orienté (α) pour le site d'Oran. Les données géographiques utilisées sont la latitude (35.38°) et la longitude (-0.6°).

Tableau (3.4) : Valeurs de l'irradiation solaire annuelle en fonction des angles (α , β) pour le site d'Oran

α/β	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
0	7596	7596	7596	7596	7596	7596	7596	7596	7596	7596	7596	7596	7596
10	8067	8187	8290	8374	8436	8473	8486	8473	8436	8374	8290	8187	8067
20	8327	8563	8766	8931	9053	9127	9152	9127	9053	8931	8766	8563	8327
30	8368	8713	9010	9251	9429	9538	9575	9538	9429	9251	9010	8713	8368
40	8189	8631	9014	9324	9552	9692	9740	9692	9552	9324	9014	8631	8189
50	7794	8322	8777	9147	9419	9586	9643	9586	9419	9147	8777	8322	7794
60	7197	7794	8309	8726	9034	9223	9286	9223	9034	8726	8309	7794	7197
70	6415	7063	7621	8074	8408	8613	8682	8613	8408	8074	7621	7063	6415
80	5473	6151	6736	7211	7561	7775	7848	7775	7561	7211	6736	6151	5473
90	4398	5086	5681	6163	6518	6736	6809	6736	6518	6163	5681	5086	4398

A partir le tableau (3.4) et la figure (3.3) ci-dessous, nous obtenons une valeur maximale de l'irradiation annuelle se trouvant dans la zone (8800 à 9600) Wh/m² pour une orientation (α) et inclinaison(β) du GPV allant respectivement de -10° SE à 10° OS et de 40° à 50° . Les deux angles optimaux sont l'orientation $\alpha=0^\circ$ et $\beta =40$ donnent une irradiation maximale de 9740 Wh/m².

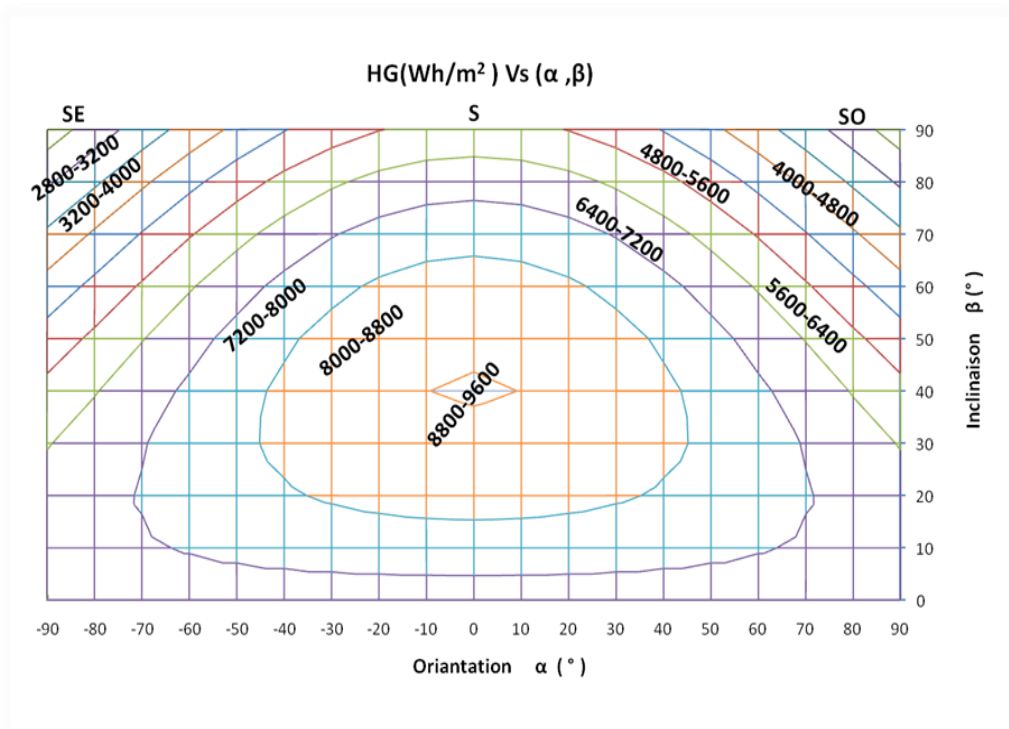


Figure (3.3): Variation de l’irradiation solaire annuelle en fonction de (α, β) pour le site d’Oran

3.2.4. Irradiation solaire pour le site d’Alger

Les résultats obtenue de la variation de l’irradiation solaire journalier annuelle sur un plan incliné en fonction de l’orientation (α) et l’inclinaison (β) pour les coordonnées du site d’Alger latitude (36.75°) et longitude (3.04°) donne par le tableau (3.5) suivant :

Tableau (3.5) : Variations de l’irradiation solaire journalier annuelle en fonction (α) et (β) site d’Alger.

α/β	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
0	7592	7592	7592	7592	7592	7592	7592	7592	7592	7592	7592	7592	7592
10	8214	8327	8425	8505	8563	8599	8611	8599	8563	8505	8425	8327	8214
20	8633	8857	9050	9207	9322	9393	9417	9393	9322	9207	9050	8857	8633
30	8838	9165	9448	9676	9845	9949	9983	9949	9845	9676	9448	9165	8838
40	8823	9243	9606	9900	10117	10250	10340	10250	10117	9900	9606	9243	8823
50	8587	9087	9520	9870	10129	10287	10294	10287	10129	9870	9520	9087	8587
60	8137	8703	9192	9588	9881	10060	10120	10060	9881	9588	9192	8703	8137
70	7489	8103	8633	9063	9380	9574	9640	9574	9380	9063	8633	8103	7489
80	6660	7304	7859	8310	8642	8846	8914	8846	8642	8310	7859	7304	6660
90	5678	6331	6895	7353	7690	7896	7966	7896	7690	7353	6895	6331	5678

La variation de l'irradiation solaire annuelle sur un plan incliné et arbitrairement orienté pour le site d'Alger est illustrée par la figure ci-dessous:

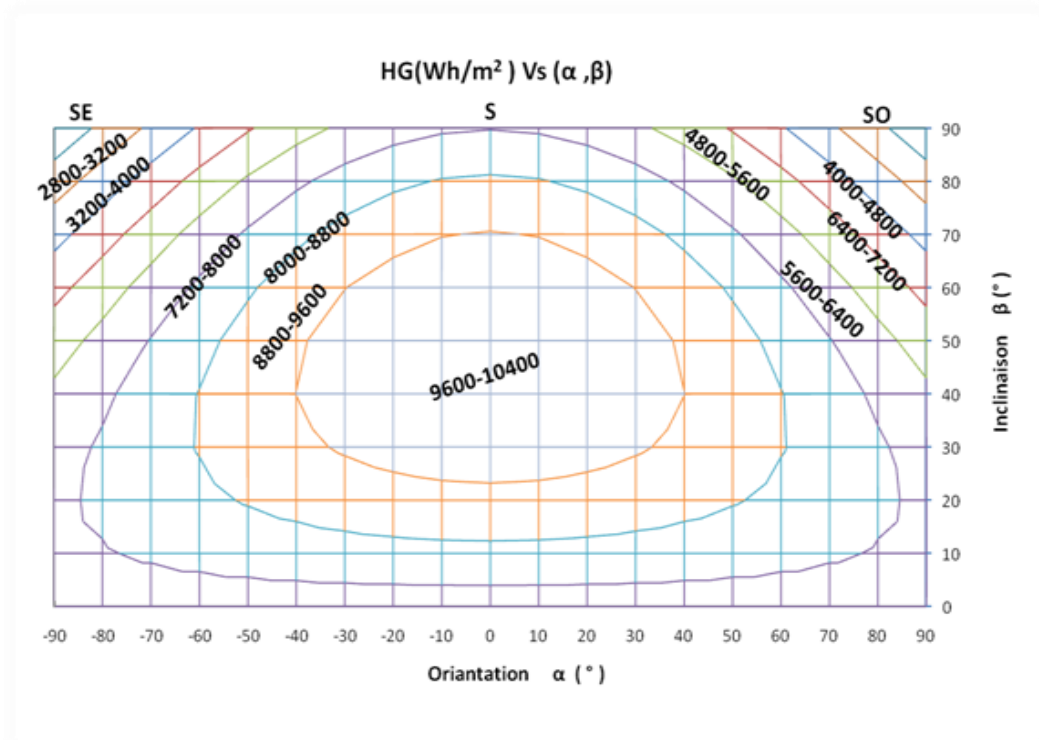


Figure (3.4): Irradiation solaire journalier annuelle en fonction de (α, β) pour site d'Alger

Au vu des résultats donnés au tableau (3.5) et la figure (3.4), on peut déduire que la valeur de l'irradiation solaire journalière moyenne annuelle pour le site d'Alger est maximale (10340 Wh/m²) pour une orientation ($\alpha_{opt}=0^\circ$) et une inclinaison ($\beta_{opt}=40^\circ$) se trouvant dans la zone d'orientation qui varier de -40° à 40° et d'inclinaison qui varie de 30° à 60° .

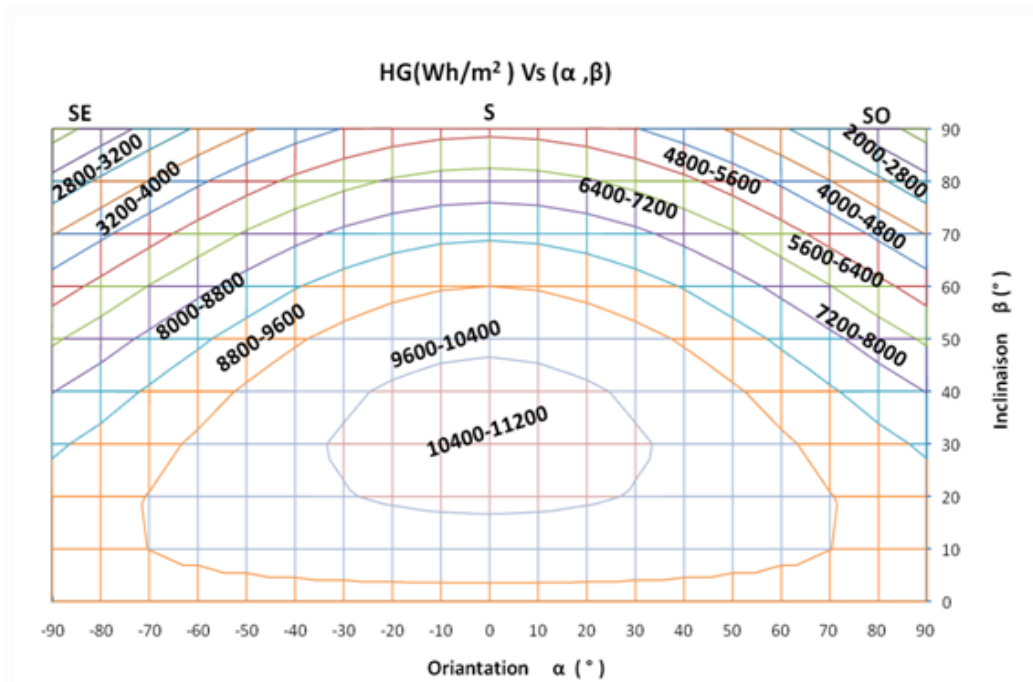
3.2.5. Irradiation solaire pour le site de Tamanrasset

Le tableau (3.6) représente les valeurs de l'irradiation solaire journalière moyenne annuelle sur un plan incliné (β) et arbitrairement orienté (α) pour le site de Tamanrasset. les caractéristiques géographiques de ce site sont la latitude ($22^\circ.88'94''$) et la longitude ($4^\circ84'7''$).

Tableau (3.6) : Variations de l’irradiation solaire journalière moyenne annuelle en fonction de (α) et (β) pour le site Tamanrasset.

α/β	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
0	9332	9332	9332	9332	9332	9332	9332	9332	9332	9332	9332	9332	9332
10	9719	9822	9912	9984	10037	10070	10081	10070	10037	9984	9912	9822	9719
20	9846	10050	10225	10368	10473	10537	10559	10537	10473	10368	10225	10050	9846
30	9709	10007	10263	10472	10626	10720	10751	10720	10626	10472	10263	10007	9709
40	9312	9695	10025	10293	10490	10611	10652	10611	10490	10293	10025	9695	9312
50	8668	9124	9517	9836	10072	10216	10264	10216	10072	9836	9517	9124	8668
60	7795	8311	8756	9116	9382	9545	9600	9545	9382	9116	8756	8311	7795
70	6722	7281	7763	8155	8443	8620	8679	8620	8443	8155	7763	7281	6722
80	5479	6065	6571	6981	7283	7468	7531	7468	7283	6981	6571	6065	5479
90	4105	4700	5214	5630	5937	6125	6188	6125	5937	5630	5214	4700	4105

La figure (3.5) représente la variation de l’irradiation journalière moyenne annuelle pour le site de Tamanrasset.



Figure(3. 5): Variation de l’irradiation solaire annuelle en fonction des angles (α , β) pour le site de Tamanrasset

A partir du tableau (3.6) et la figure (3.5), la valeur de l’irradiation solaire journalière moyenne annuelle pour le site de Tamanrasset est maximale (10751 Wh/m²) pour une orientation ($\alpha_{opt}=0^\circ$) et une inclinaison ($\beta_{opt}=30^\circ$).

3.2.6. Irradiation solaire pour le site de Bechar

Le tableau (3.7) représente les valeurs de l’irradiation solaire journalière moyenne annuelle en fonction de l’orientation (α) et l’inclinaison(β) pour le site de Bechar. Les données géographiques utilisées sont la latitude (28.96°) et la longitude (4.06°)

Tableau (3.7) : Valeurs de l’irradiation solaire journalière en fonction (β et α)pour le site de Bechar

α/β	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
0	9564	9564	9564	9564	9564	9564	9564	9564	9564	9564	9564	9564	9564
10	9978	10091	10189	10268	10326	10362	10374	10362	10326	10268	10189	10091	9978
20	10125	10348	10540	10696	10811	10882	10905	10882	10811	10696	10540	10348	10125
30	10001	10327	10608	10836	11004	11107	11142	11107	11004	10836	10608	10327	10001
40	9610	10029	10390	10683	10899	11031	11076	11031	10899	10683	10390	10029	9610
50	8963	9462	9893	10242	10499	10657	10710	10657	10499	10242	9893	9462	8963
60	8081	8645	9131	9526	9817	9995	10055	9995	9817	9526	9131	8645	8081
70	6990	7601	8129	8557	8873	9066	9131	9066	8873	8557	8129	7601	6990
80	5723	6363	6917	7365	7696	7899	7967	7899	7696	7365	6917	6363	5723
90	4318	4969	5531	5986	6322	6528	6597	6528	6322	5986	5531	4969	4318

La figure (3.7) suivante représente les évolutions journalières annuelles de l’irradiation solaire :

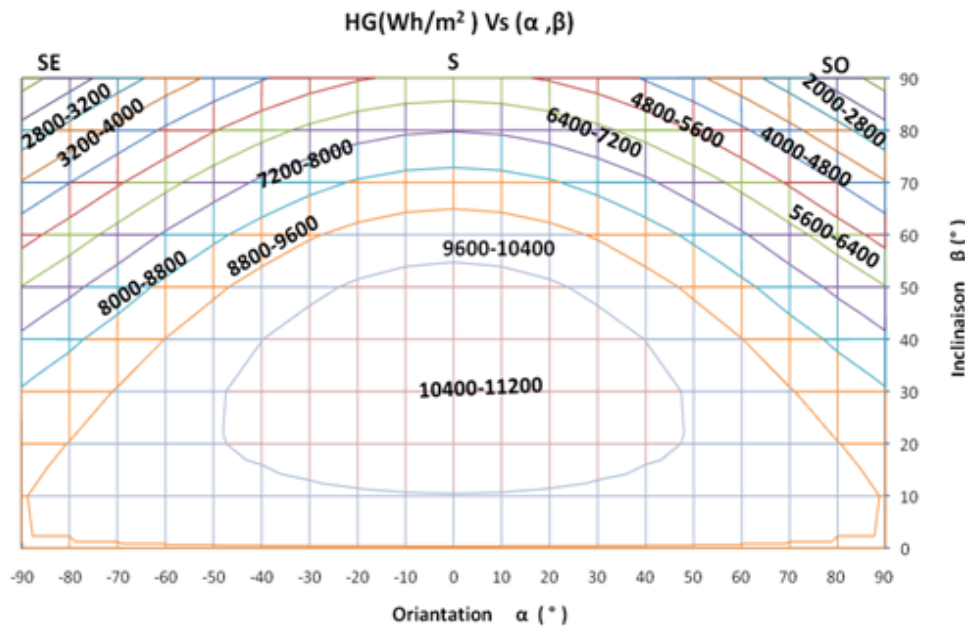


Figure (3.7) : Variation de l’irradiation solaire journalière en fonction (β et α)pour le site de Bechar

Par la lecture du tableau (3.7) et la figure (3.6) on peut déduire que l’irradiation solaire journalier annuelle pour le site de Bechar est maximale pour une orientation ($\alpha_{opt}=0^\circ$)et une

inclinaison($\beta_{opt}=30^\circ$) qui se trouve dans la zone d'orientation allant de -40° ES à 40° OS et d'inclinaison allant de 30° à 50° . Elle est égale à 11142 Wh/m^2 .

3.2.7. Irradiation solaire pour le site d'El-Oued

Le tableau (3.8) regroupe les valeurs de l'irradiation journalière moyenne annuelle en fonction de l'orientation (α) et de l'inclinaison (β) pour le site de d'El-Oued. Les données géographiques utilisées sont la latitude ($33^\circ 40'$) et la longitude ($6^\circ 67' 22''$).

Tableau (3.8) : Valeurs de l'irradiation solaire journalière en fonction (β et α) pour le site d'El-Oued

α/β	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
0	8203	8203	8203	8203	8203	8203	8203	8203	8203	8203	8203	8203	8203
10	8647	8764	8864	8946	9006	9043	9055	9043	9006	8946	8864	8764	8647
20	8862	9092	9290	9451	9569	9642	9666	9642	9569	9451	9290	9092	8862
30	8842	9178	9468	9703	9876	9982	10018	9982	9876	9703	9468	9178	8842
40	8588	9019	9392	9694	9916	10053	10099	10053	9916	9694	9392	9019	8588
50	8107	8621	9065	9425	9690	9852	9907	9852	9690	9425	9065	8621	8107
60	7414	7995	8497	8903	9203	9387	9449	9387	9203	8903	8497	7995	7414
70	6530	7161	7705	8146	8471	8671	8738	8671	8471	8146	7705	7161	6530
80	5483	6143	6713	7176	7516	7725	7795	7725	7516	7176	6713	6143	5483
90	4303	4973	5552	6022	6368	6579	6651	6579	6368	6022	5552	4973	4303

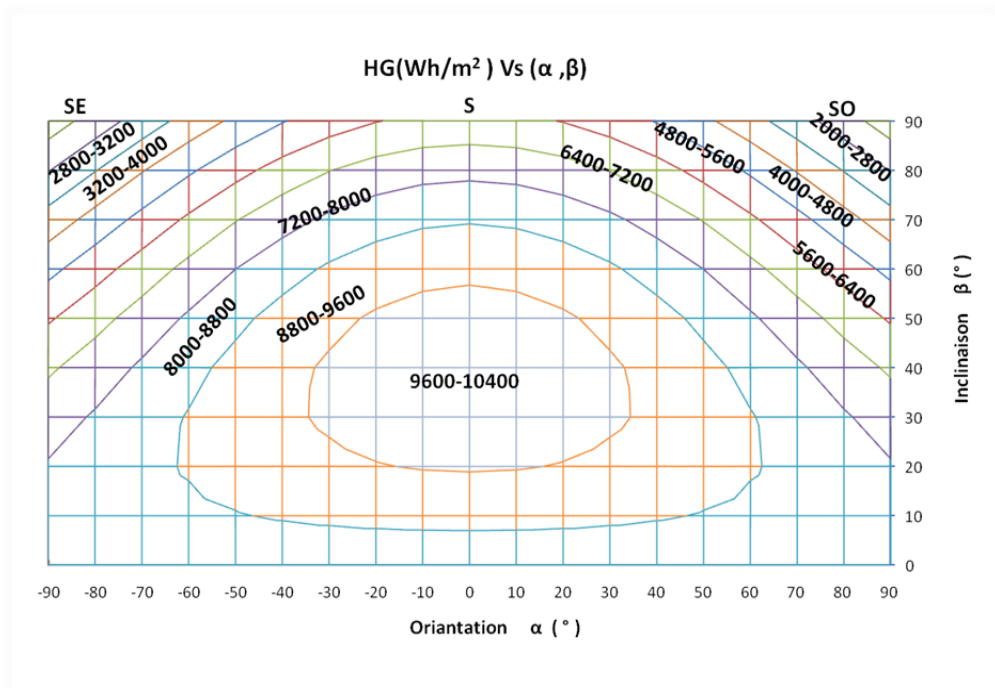


Figure (3.7) : Variation de l'irradiation solaire journalière en fonction (β et α) pour le site d'El-Oued

Au vu résultats donnés dans le tableau (3.8) et la figure (3.7), on peut déduire que l’irradiation solaire journalière moyenne annuelle est maximale (10099 Wh/m²) reçue par une surface incliné de $\beta_{opt}=40^\circ$ et orientée $\alpha_{opt}=0^\circ$.

3.2.8 Irradiation solaire pour le site Jijel

Le tableau (3.9) regroupe les valeurs calculées de l’irradiation solaire journalière moyenne annuelle en fonction de l’orientation (α) et de l’inclinaison (β) pour le site de Jijel .Les données géographiques utilisées sont la latitude ($36^\circ 42' 29''$) et la longitude($06^\circ 04' 17''$).

Tableau (3.9) : Valeurs de l’irradiation solaire journalière en fonction (β et α) pour le site de Jijel

α/β	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
0	7137	7137	7137	7137	7137	7137	7137	7137	7137	7137	7137	7137	7137
10	7604	7717	7816	7895	7954	7990	8002	7990	7954	7895	7816	7717	7604
20	7873	8097	8291	8448	8564	8635	8658	8635	8564	8448	8291	8097	7873
30	7937	8265	8548	8778	8947	9050	9085	9050	8947	8778	8548	8265	7937
40	7794	8216	8579	8874	9092	9225	9250	9225	9092	8874	8579	8216	7794
50	7448	7951	8384	8736	8995	9154	9207	9154	8995	8736	8384	7951	7448
60	6911	7478	7968	8366	8659	8838	8899	8838	8659	8366	7968	7478	6911
70	6197	6813	7344	7776	8093	8288	8354	8288	8093	7776	7344	6813	6197
80	5329	5974	6532	6983	7316	7520	7589	7520	7316	6983	6532	5974	5329
90	4334	4989	5555	6013	6351	6558	6628	6558	6351	6013	5555	4989	4334

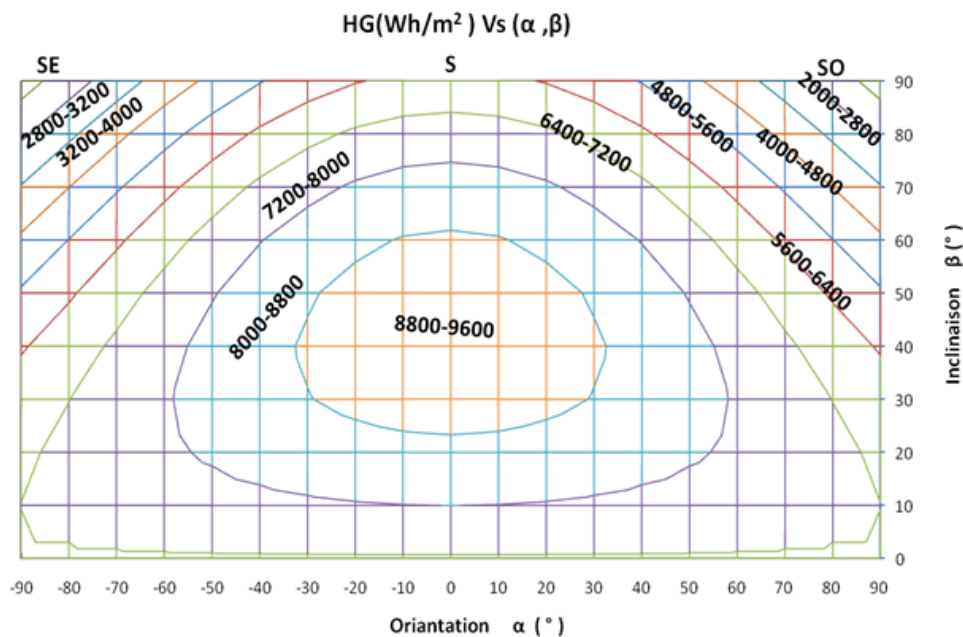


Figure (3.8) : Variation de l’irradiation solaire journalière en fonction (β et α) pour le site de Jijel

A partir du tableau (3.9) et la figure (3.8), on peut déduire que l'irradiation journalière moyenne annuelle atteint un maximum de 9250 Wh/m² pour $\beta_{opt}=40^\circ$ et $\alpha_{opt}=0^\circ$.

3.2.9. Irradiation solaire pour le site de Médéa

Le tableau (3.10) représente les valeurs de l'irradiation solaire journalière moyenne annuelle sur un plan incliné d'angle (β) et orienté d'angle (α) pour le site de Médéa. Les données géographiques sont : la latitude (36.09°) et la longitude (2.54°).

Tableau (3.10) : Valeurs de l'irradiation solaire journalière en fonction (β et α) pour le site de Médéa

α/β	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
0	7641	7641	7641	7641	7641	7641	7641	7641	7641	7641	7640,8	7641	7641
10	8121	8244	8349	8435	8499	8537	8550	8537	8499	8435	8349,4	8244	8121
20	8389	8630	8839	9008	9133	9209	9235	9209	9133	9008	8838,8	8630	8389
30	8436	8789	9094	9341	9524	9635	9673	9635	9524	9341	9093,8	8789	8436
40	8261	8715	9107	9425	9659	9803	9851	9803	9659	9425	9106,9	8715	8261
50	7870	8411	8878	9257	9536	9707	9765	9707	9536	9257	8877,6	8411	7870
60	7274	7885	8413	8841	9157	9350	9415	9350	9157	8841	8413	7885	7274
70	6491	7155	7727	8192	8534	8744	8815	8744	8534	8192	7727,3	7155	6491
80	5546	6241	6841	7328	7687	7907	7981	7907	7687	7328	6841,3	6241	5546
90	4467	5173	5782	6276	6641	6864	6939	6864	6641	6276	5782	5173	4467

Au des résultats du tableau (3.10) et la figure (3.9), on peut déduire que la valeur l'irradiation solaire journalière moyenne atteint un maximum de 9851 Wh/m² pour une orientation $\alpha_{opt}=0^\circ$ et une inclinaison $\beta_{opt}=40^\circ$.

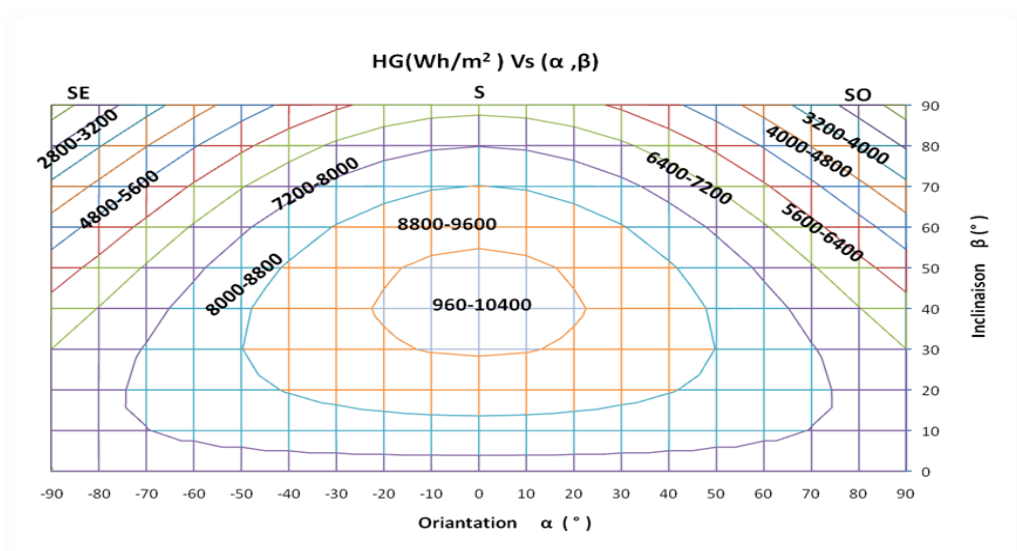


Figure (3.9) : Variation de l'irradiation solaire journalière en fonction (β et α) pour le site de Médéa

3.2.10 Irradiation solaire de la ville de Tindouf

Le tableau (3.11) regroupe les valeurs de l’irradiation solaire journalière moyenne annuelle en fonction de l’orientation (α) et de l’inclinaison (β) pour le site de Tindouf (longitude : -8.15° ; latitude : $27^\circ42'$):

Tableau (3.11) : Valeurs de l’irradiation solaire journalière en fonction (β et α) pour le site de Tindouf

α/β	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
0	9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200
10	9585	9691	9782	9857	9912	9945	9957	9945	9912	9857	9782	9691	9585
20	9713	9922	10102	10249	10357	10423	10445	10423	10357	10249	10102	9922	9713
30	9580	9886	10150	10364	10522	10619	10651	10619	10522	10364	10150	9886	9580
40	9191	9584	9924	10199	10402	10526	10568	10526	10402	10199	9924	9584	9191
50	8558	9026	9430	9758	10000	10148	10198	10148	10000	9758	9430	9026	8558
60	7699	8228	8685	9056	9329	9496	9553	9496	9329	9056	8685	8228	7699
70	6641	7215	7711	8113	8409	8591	8652	8591	8409	8113	7711	7215	6641
80	5415	6017	6537	6958	7269	7459	7523	7459	7269	6958	6537	6017	5415
90	4060	4671	5199	5627	5942	6135	6200	6135	5942	5627	5199	4671	4060

A partir du tableau (3.11) et la figure (3.10), on peut déduire que les angles d’orientation et d’inclinaison correspondant à la valeur de l’irradiation solaire journalière moyenne annuelle maximale de 10651 Wh/m^2 . Sont respectivement ($\alpha_{opt}=0^\circ$) et ($\beta_{opt}=30^\circ$).

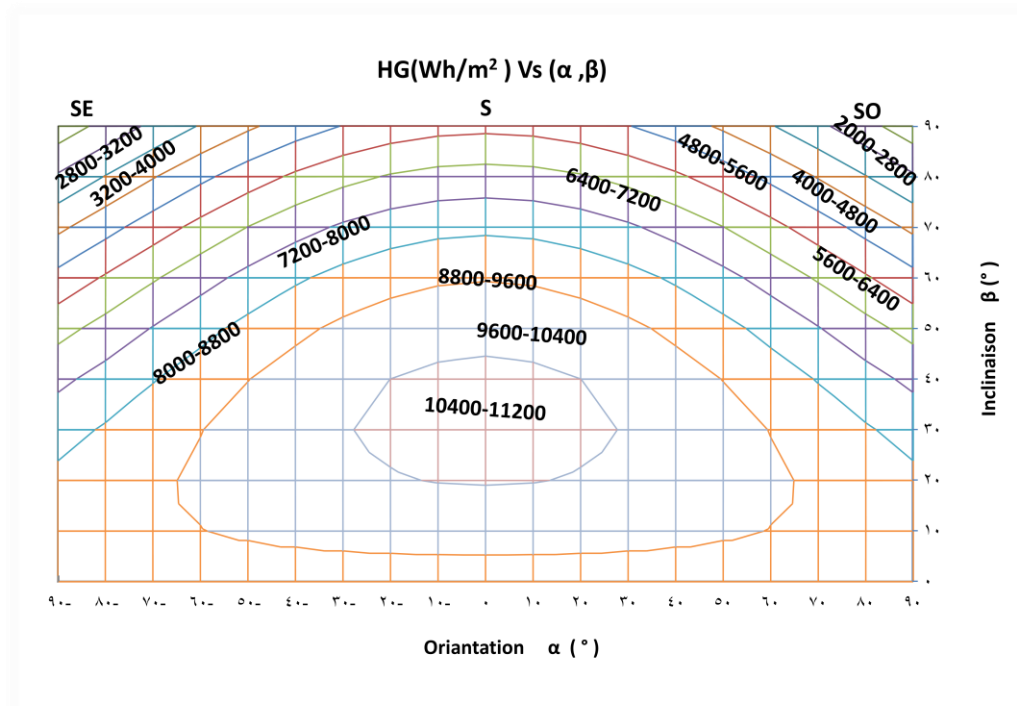


Figure (3.10) : Variation de l’irradiation solaire journalière en fonction (β et α) pour le site de Tindouf

3.2.11. Irradiation solaire pour le site de Skikda

Le tableau (3.12) représente les valeurs de l’irradiation solaire journalière moyenne annuelle en fonction des deux angles d’orientation (α) et d’inclinaison (β) pour le site de Skikda. (latitude : 6°24’28’’ ; longitude 37°)

Tableau (3.12) : Valeurs de l’irradiation solaire journalière en fonction (β et α) pour le site de Skikda

α/β	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
0	7138	7138	7138	7138	7138	7138	7138	7138	7138	7138	7138	7138	7138
10	7615	7731	7832	7913	7973	8010	8022	8010	7973	7913	7832	7731	7615
20	7895	8124	8322	8482	8600	8672	8697	8672	8600	8482	8322	8124	7895
30	7970	8304	8593	8827	9000	9106	9141	9106	9000	8827	8593	8304	7970
40	7836	8266	8638	8939	9161	9297	9343	9297	9161	8939	8638	8266	7836
50	7499	8012	8454	8813	9077	9240	9294	9240	9077	8813	8454	8012	7499
60	6969	7548	8048	8454	8753	8936	8997	8936	8753	8454	8048	7548	6969
70	6261	6890	7432	7872	8196	8395	8462	8395	8196	7872	7432	6890	6261
80	5398	6056	6624	7086	7425	7634	7704	7634	7425	7086	6624	6056	5398
90	4405	5073	5650	6118	6463	6675	6746	6675	6463	6118	5650	5073	4405

Au vu des résultats obtenu en tableau (3.12) et en figure (3.11),on peut déduire que les angles (orientation, inclinaison) correspondant à la valeur de l’irradiation solaire annuelle maximale (9343 Wh/m²) sont respectivement $\alpha_{opt}=0^\circ$ et $\beta_{opt}=40^\circ$

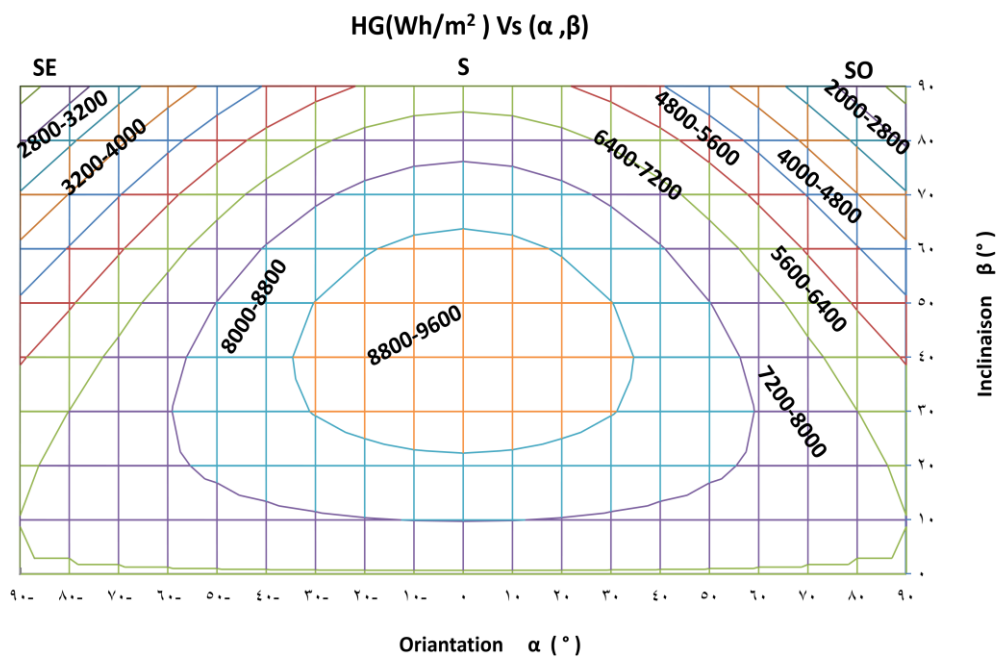


Figure (3.11) : Variation de l’irradiation solaire journalière en fonction (β et α) pour le site de Skikda

3.2.12 Irradiation solaire pour le site d'Adrar

Le tableau (3.13) montre les valeurs de l'irradiation solaire journalière moyenne annuelle en fonction de l'orientation (α) et de l'inclinaison(β) pour le site d'Adrar. Les caractéristiques géographiques de ce site sont latitude (26.42°) et longitude (-0.6°)

Tableau (3.13) : Valeurs de l'irradiation solaire journalière en fonction (β et α)pour le site d'Adrar

α/β	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
0	9185	9185	9185	9185	9185	9185	9185	9185	9185	9185	9185	9185	9185
10	9573	9680	9772	9847	9902	9936	9948	9936	9902	9847	9772	9680	9573
20	9706	9916	10098	10245	10353	10420	10442	10420	10353	10245	10098	9916	9706
30	9578	9885	10151	10366	10525	10622	10655	10622	10525	10366	10151	9885	9578
40	9193	9589	9930	10207	10411	10536	10578	10536	10411	10207	9930	9589	9193
50	8565	9036	9442	9772	10015	10164	10214	10164	10015	9772	9442	9036	8565
60	7711	8243	8703	9076	9350	9519	9575	9519	9350	9076	8703	8243	7711
70	6658	7235	7734	8138	8436	8619	8680	8619	8436	8138	7734	7235	6658
80	5438	6043	6565	6989	7301	7492	7557	7492	7301	6989	6565	6043	5438
90	4087	4701	5232	5662	5979	6173	6239	6173	5979	5662	5232	4701	4087

Les résultats obtenus au tableau (3.13) et en figure (3.12) montrent que l'irradiation journalière moyenne annuelle est maximale (10655 Wh/m^2) pour les deux angles d'orientation ($\alpha_{opt}=0^\circ$) et inclinaison ($\beta_{opt}=30^\circ$) se trouvant respectivement dans les intervalles de -20° à 20° et de 20° à 40° .

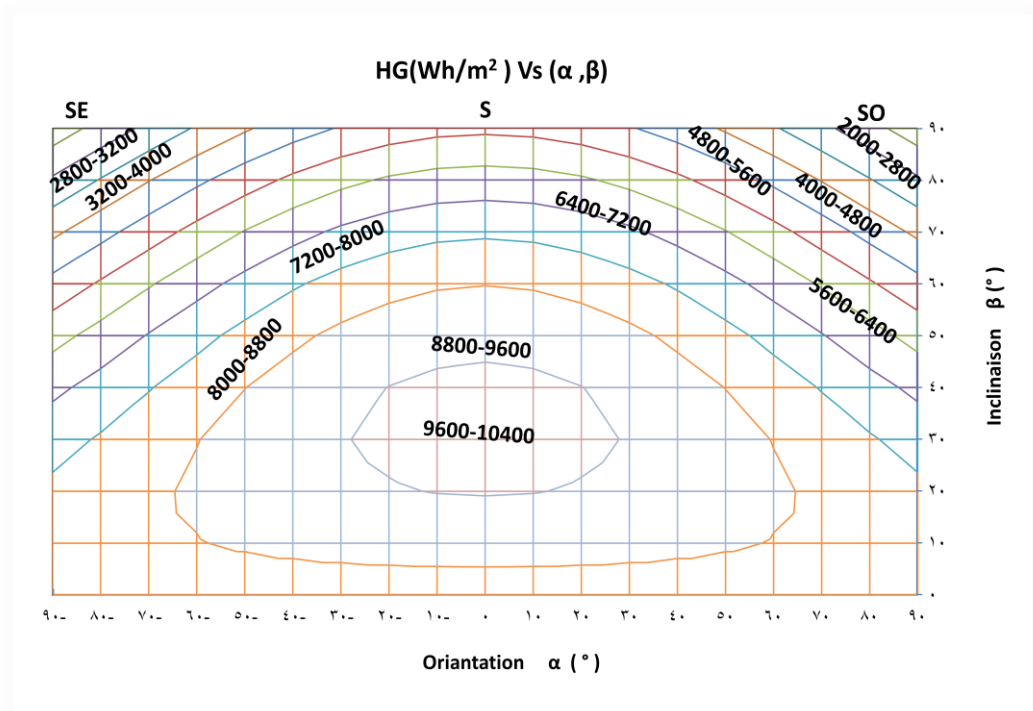


Figure (3.12) : Variation de l'irradiation solaire journalière en fonction (β et α) pour le site d'Adrar

3.2.13 Irradiation solaire de la ville de Sétif

Le tableau (3.14) représente la valeur de l’irradiation journalière moyenne annuelle en fonction de l’orientation (α) et de l’inclinaison (β) pour le site de Sétif dont les caractéristiques géographiques sont les suivantes : latitude (36.18°) et longitude (5.41°).

Tableau (3.14) : Valeurs de l’irradiation solaire journalière en fonction (β et α) pour le site de Sétif

α/β	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
0	7269	7269	7269	7269	7269	7269	7269	7269	7269	7269	7269	7269	7269
10	7720	7832	7929	8007	8065	8100	8112	8100	8065	8007	7929	7832	7720
20	7970	8190	8381	8535	8649	8718	8742	8718	8649	8535	8381	8190	7970
30	8011	8333	8611	8837	9003	9105	9140	9105	9003	8837	8611	8333	8011
40	7842	8256	8614	8904	9118	9249	9197	9249	9118	8904	8614	8256	7842
50	7469	7962	8388	8734	8989	9145	9293	9145	8989	8734	8388	7962	7469
60	6902	7460	7941	8332	8620	8796	8856	8796	8620	8332	7941	7460	6902
70	6159	6764	7286	7710	8023	8214	8279	8214	8023	7710	7286	6764	6159
80	5262	5896	6444	6888	7215	7416	7483	7416	7215	6888	6444	5896	5262
90	4239	4883	5439	5890	6223	6426	6495	6426	6223	5890	5439	4883	4239

Au vu des résultats du tableau (3.14) et de la figure (3.13), on peut déduire que le maximum de l’irradiation journalière moyenne annuelle se trouvant dans l’intervalle (de 8800 à 9600 Wh/m²) correspondant aux angles d’orientation (α) et inclinaison (β) variant respectivement de -30° SE à 30° OS et de 30° à 50° . La valeur obtenue est de 9293 Wh/m² pour $\alpha = 0^\circ$ et $\beta = 50^\circ$.

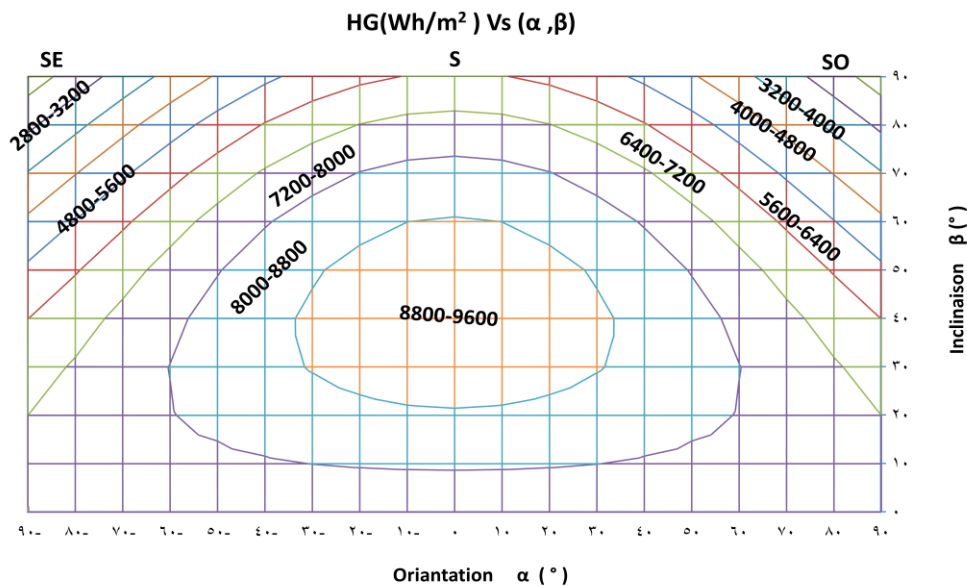


Figure (3.13) : Variation de l’irradiation solaire journalière en fonction (β et α) pour le site de Sétif

3.2.14. Irradiation solaire pour le site d'El-Taref

Le tableau (3.15) regroupe les valeurs de l'irradiation solaire journalière moyenne annuelle en fonction de l'orientation (α) et l'inclinaison(β) pour le site d'El-Taref, dont les données géographiques utilisées sont la latitude $36^{\circ} 31' 8$ et la longitude $8^{\circ} 13' 25''$

Tableau (3.15) : Valeurs de l'irradiation solaire journalière en fonction (β et α)pour le site d'El-Taref

α/β	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
0	6509	6509	6509	6509	6509	6509	6509	6509	6509	6509	6508,8	6509	6509
10	6958	7065	7157	7231	7286	7320	7331	7320	7286	7231	7156,6	7065	6958
20	7228	7438	7619	7765	7874	7940	7962	7940	7874	7765	7618,7	7438	7228
30	7310	7616	7881	8096	8254	8351	8383	8351	8254	8096	7881	7616	7310
40	7202	7595	7935	8211	8415	8539	8558	8539	8415	8211	7935,5	7595	7202
50	6906	7375	7781	8109	8352	8500	8550	8500	8352	8109	7780,6	7375	6906
60	6433	6963	7421	7793	8066	8234	8291	8234	8066	7793	7421,1	6963	6433
70	5795	6371	6868	7271	7568	7750	7811	7750	7568	7271	6867,9	6371	5795
80	5014	5617	6138	6560	6872	7062	7126	7062	6872	6560	6137,9	5617	5014
90	4112	4725	5253	5682	5998	6192	6257	6192	5998	5682	5253,3	4725	4112

A partir des résultats donnés au tableau (3.15) et en (3.14), on peut déduire que l'irradiation solaire journalière moyenne annuelle pour le site de EL-Tarf est maximale une orientation ($\alpha_{opt}=0^{\circ}$) et une inclinaison ($\beta_{opt}=40^{\circ}$) se trouvant dans les intervalles respectivement de -30° à 30° et de 20° à 60° . La valeur maximale est de 8558 Wh/m^2 .

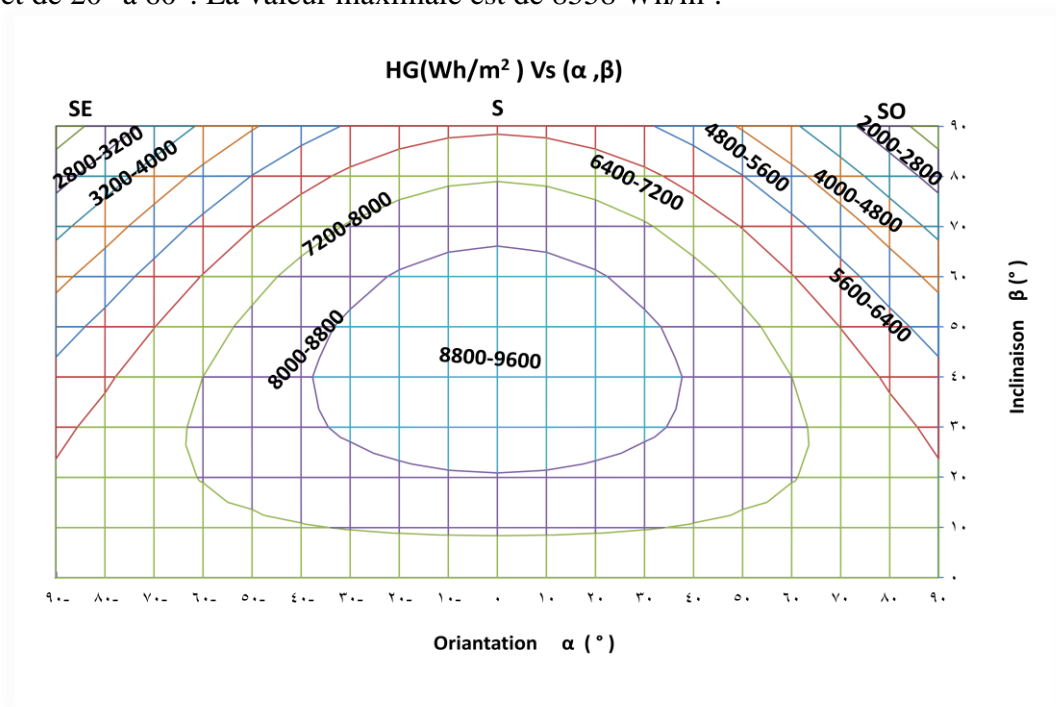


Figure (3.14) : Variation de l'irradiation solaire journalière en fonction (β et α) pour le site d'El-Taref

3.2.15. Irradiation solaire pour le site de Bejaia

Le tableau (3.16) représente les valeurs de l'irradiation solaire journalière moyenne annuelle en fonction de l'orientation (α) et de l'inclinaison(β) pour le site de Bejaia dont les caractéristiques géographiques sont : la latitude $36^{\circ} 47' 11''$ et la longitude $4^{\circ} 53'$.

Tableau (3.16) : Valeurs de l'irradiation solaire journalière en fonction (β et α)pour le site de Bejaia

α/β	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
0	7380	7380	7380	7380	7380	7380	7380	7380	7380	7380	7380,4	7380	7380
10	7860	7979	8083	8167	8228	8266	8279	8266	8228	8167	8082,8	7979	7860
20	8135	8370	8574	8739	8861	8935	8961	8935	8861	8739	8574	8370	8135
30	8197	8541	8839	9080	9258	9367	9404	9367	9258	9080	8838,9	8541	8197
40	8044	8487	8870	9180	9409	9549	9596	9549	9409	9180	8869,6	8487	8044
50	7681	8209	8665	9035	9308	9475	9531	9475	9308	9035	8665	8209	7681
60	7119	7716	8232	8650	8958	9147	9210	9147	8958	8650	8231,7	7716	7119
70	6376	7023	7583	8036	8370	8575	8644	8575	8370	8036	7582,6	7023	6376
80	5473	6152	6738	7213	7563	7778	7850	7778	7563	7213	6737,6	6152	5473
90	4439	5128	5723	6205	6561	6778	6852	6778	6561	6205	5722,5	5128	4439

Au vu des résultats présentés au tableau (3.16) et en figure (3.15) la valeur maximale de l'irradiation solaire journalière moyenne est de 9596 Wh/m^2 pour les deux angles $\alpha_{opt}=0^{\circ}$ et $\beta_{opt}=40^{\circ}$.

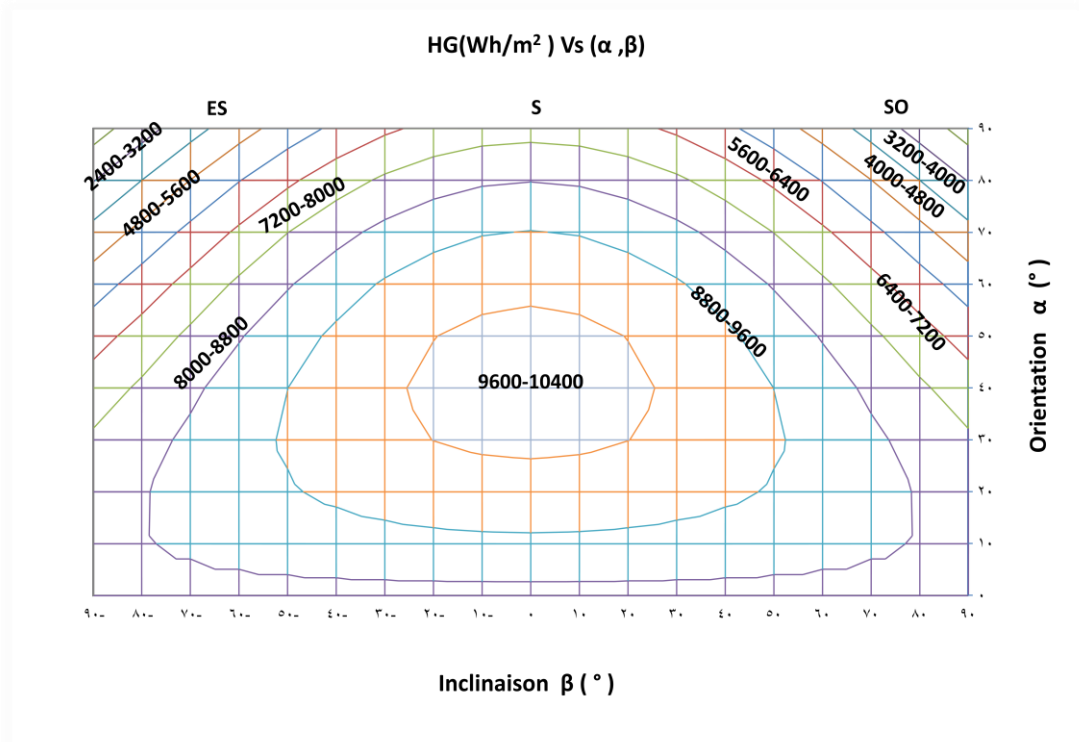


Figure (3.15) : Variation de l'irradiation solaire journalière en fonction (β et α) pour le site de Bejaia

3.2.16. Irradiation solaire pour le site de Ghardaïa

Le tableau (3.17) montre les valeurs de l’irradiation solaire journalière moyenne annuelle en fonction de l’orientation (α) et de l’inclinaison (β) pour le site de Ghardaïa. Les données géographiques utilisées sont : latitude (32.52°) et longitude (4.066°).

Tableau (3.17) : Valeurs de l’irradiation solaire journalière en fonction (β et α) pour le site de Ghardaïa

α/β	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
0	8571	8571	8571	8571	8571	8571	8571	8571	8571	8571	8570,6	8571	8571
10	9257	9338	9408	9465	9507	9533	9542	9533	9507	9465	9408,3	9338	9257
20	9710	9870	10009	10121	10203	10254	10271	10254	10203	10121	10009	9870	9710
30	9917	10151	10353	10517	10638	10712	10737	10712	10638	10517	10353	10151	9917
40	9872	10173	10432	10643	10798	10894	10926	10894	10798	10643	10432	10173	9872
50	9575	9934	10243	10494	10679	10793	10831	10793	10679	10494	10243	9934	9575
60	9036	9442	9791	10075	10284	10412	10456	10412	10284	10075	9791,4	9442	9036
70	8272	8712	9091	9399	9626	9765	9811	9765	9626	9399	9091	8712	8272
80	7305	7766	8163	8486	8724	8869	8918	8869	8724	8486	8163,2	7766	7305
90	6165	6633	7036	7364	7605	7753	7803	7753	7605	7364	7036,3	6633	6165

D’après le tableau (3.17) et la figure (3.16), l’irradiation solaire journalière moyenne annuelle est maximale de 10926 Wh/m^2 pour une orientation $\alpha_{opt}=0^\circ$ et une inclinaison $\beta_{opt}=40^\circ$.

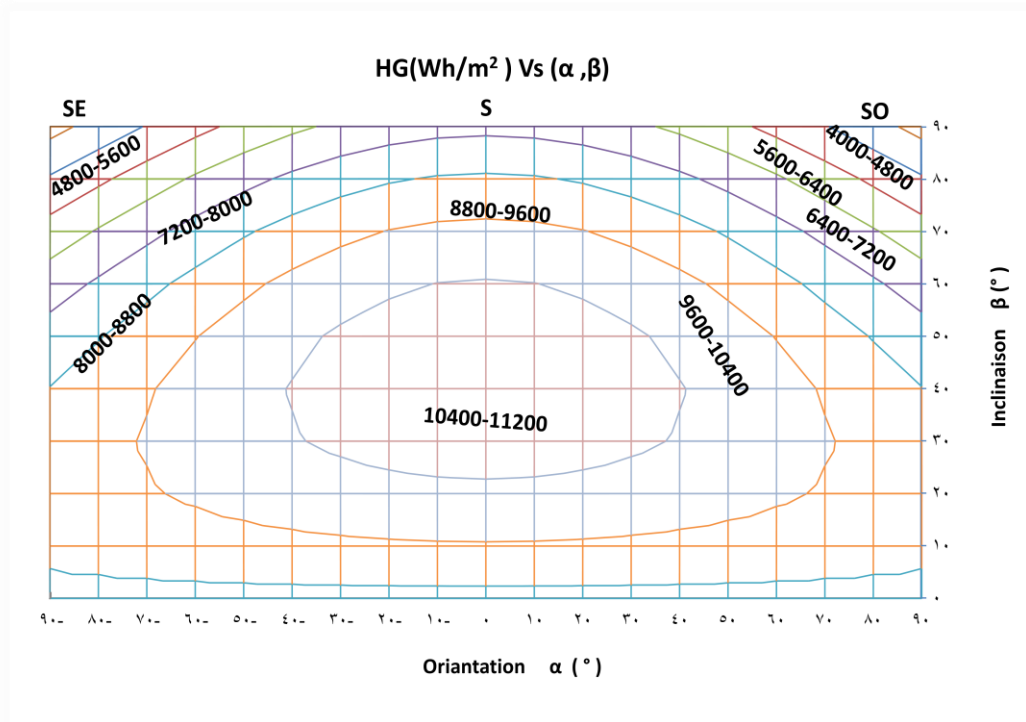


Figure (3.16) : Variation de l’irradiation solaire journalière en fonction (β et α) pour le site de Ghardaïa

3.2.17. Irradiation solaire pour le site de Boumerdes

Le tableau (3.18) suivant représente les variations de l'irradiation solaire annuelle en fonction de (α) et (β) pour le site de Boumerdes. Les données géographiques utilisées sont latitude ($36^{\circ}50'27''$) et longitude ($4^{\circ}02'56''$).

Tableau (3.1.17) : Valeurs de l'irradiation solaire journalière en fonction (β et α) pour le site de Boumerdes

α/β	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
0	7537	7537	7537	7537	7537	7537	7537	7537	7537	7537	7537,4	7537	7537
10	8024	8148	8254	8340	8404	8443	8456	8443	8404	8340	8254	8148	8024
20	8302	8545	8754	8924	9050	9127	9153	9127	9050	8924	8754,3	8545	8302
30	8361	8716	9023	9272	9455	9567	9605	9567	9455	9272	9023	8716	8361
40	8201	8658	9052	9372	9607	9752	9801	9752	9607	9372	9052	8658	8201
50	7827	8371	8840	9222	9502	9674	9732	9674	9502	9222	8840,5	8371	7827
60	7249	7864	8395	8826	9143	9337	9403	9337	9143	8826	8394,9	7864	7249
70	6486	7153	7729	8196	8540	8751	8822	8751	8540	8196	7728,8	7153	6486
80	5560	6259	6862	7352	7713	7934	8008	7934	7713	7352	6862,5	6259	5560
90	4500	5210	5822	6319	6686	6910	6986	6910	6686	6319	5822,3	5210	4500

A partir du tableau (3.18) et de la figure, l'irradiation annuelle maximale pour le site de Boumerdes se situe autour des deux angles optimaux l'orientation ($\alpha_{opt}=0^{\circ}$) et inclinaison ($\beta_{opt}=40^{\circ}$). Est égale à 9801 Wh/m^2 .

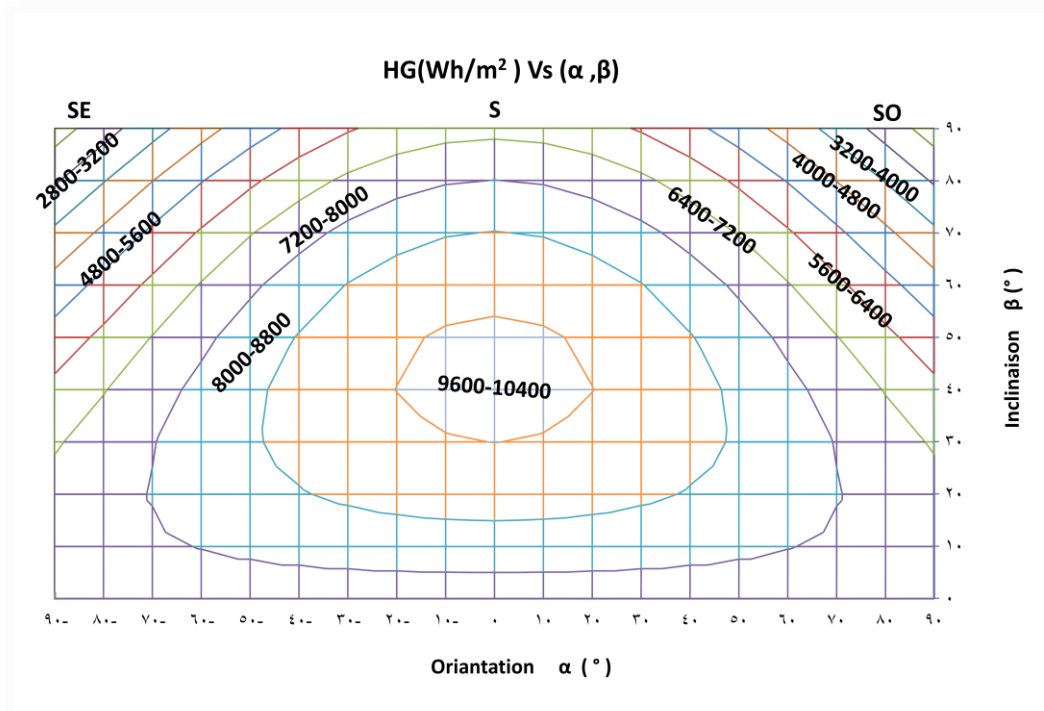


Figure (3. 17) : Variation de l'irradiation solaire journalière en fonction (β et α) pour le site de Boumerdes

3.2.18. Irradiation solaire pour le site d’Illizi

Le tableau (3.19) montre les valeurs de l’irradiation solaire journalière moyenne annuelle en fonction de α et β pour le site d’Illizi. Les données géographiques utilisées sont : la latitude 26.51° et la longitude 8.47° .

Tableau (3.19) : Valeurs de l’irradiation solaire journalière en fonction (β et α) pour le site d’Illizi

α/β	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
0	9382	9382	9382	9382	9382	9382	9382	9382	9382	9382	9382,5	9382	9382
10	9772	9881	9975	10051	10107	10141	10153	10141	10107	10051	9974,9	9881	9772
20	9900	10114	10299	10449	10560	10627	10650	10627	10560	10449	10299	10114	9900
30	9763	10076	10346	10565	10726	10825	10858	10825	10726	10565	10346	10076	9763
40	9364	9766	10113	10394	10602	10729	10772	10729	10602	10394	10113	9766	9364
50	8715	9194	9608	9943	10190	10342	10393	10342	10190	9943	9607,6	9194	8715
60	7837	8378	8846	9225	9505	9676	9733	9676	9505	9225	8845,9	8378	7837
70	6756	7344	7851	8262	8565	8751	8813	8751	8565	8262	7850,7	7344	6756
80	5505	6121	6652	7083	7401	7596	7661	7596	7401	7083	6652,3	6121	5505
90	4123	4748	5287	5725	6047	6245	6311	6245	6047	5725	5287,1	4748	4123

Les angles optimaux donnant l’irradiation solaire journalière moyenne annuelle maximale 10858 Wh/m^2 sont $\alpha_{\text{opt}}=0^\circ$ et $\beta_{\text{opt}}=30^\circ$.

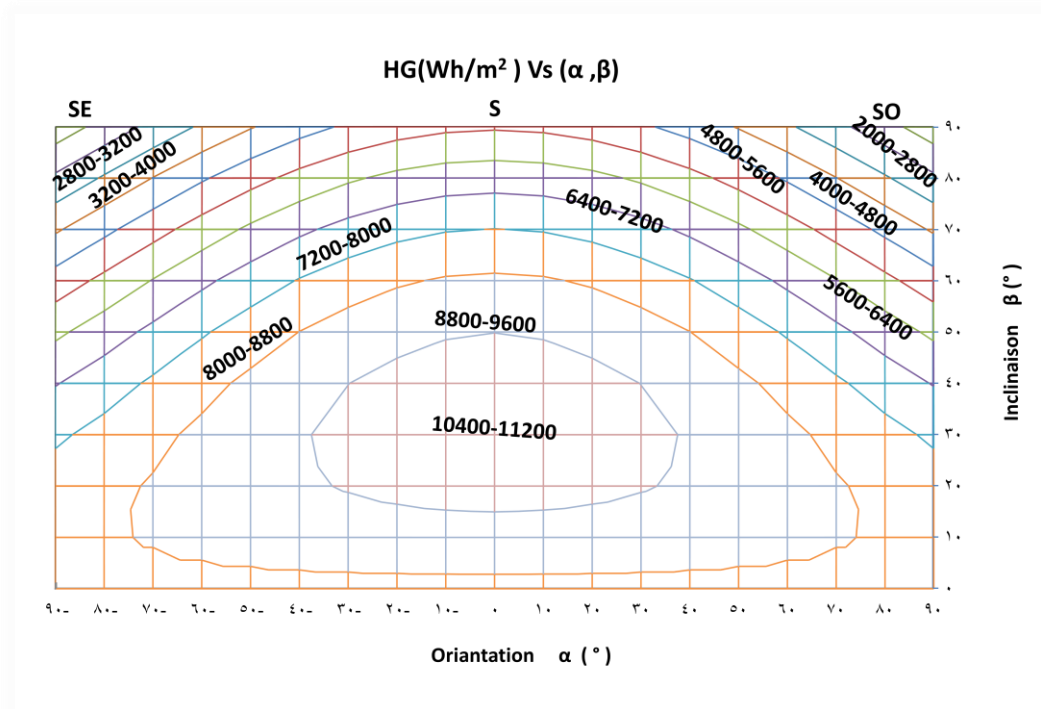


Figure (3.19) : Variation de l’irradiation solaire journalière en fonction (β et α) pour le site d’Illizi

3.2.19. Irradiation solaire pour le site de Tlemcen

Le tableau (3.20) suivant représente la variation de l'irradiation solaire annuelle en fonction d'orientation (α) et d'inclinaison (β).

Tableau (3.20) : Valeurs de l'irradiation solaire journalière en fonction (β et α) pour le site de Tlemcen

α/β	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
0	7757	7757	7757	7757	7757	7757	7757	7757	7757	7757	7757,2	7757	7757
10	8226	8345	8448	8531	8592	8630	8642	8630	8592	8531	8447,7	8345	8226
20	8480	8714	8916	9080	9201	9275	9300	9275	9201	9080	8916,2	8714	8480
30	8511	8853	9148	9388	9565	9673	9709	9673	9565	9388	9148,4	8853	8511
40	8318	8758	9137	9445	9672	9811	9858	9811	9672	9445	9137,3	8758	8318
50	7907	8431	8883	9250	9521	9686	9742	9686	9521	9250	8883,2	8431	7907
60	7290	7883	8394	8809	9115	9302	9365	9302	9115	8809	8394,1	7883	7290
70	6487	7130	7685	8135	8466	8669	8738	8669	8466	8135	7684,7	7130	6487
80	5522	6195	6777	7248	7596	7808	7880	7808	7596	7248	6776,6	6195	5522
90	4424	5107	5698	6176	6529	6745	6818	6745	6529	6176	5697,6	5107	4424

Les angles optimaux donnant l'irradiation solaire journalière moyenne annuelle maximale de 9858Wh/m² sont $\alpha_{opt}=0^\circ$ et $\beta_{opt}=40^\circ$

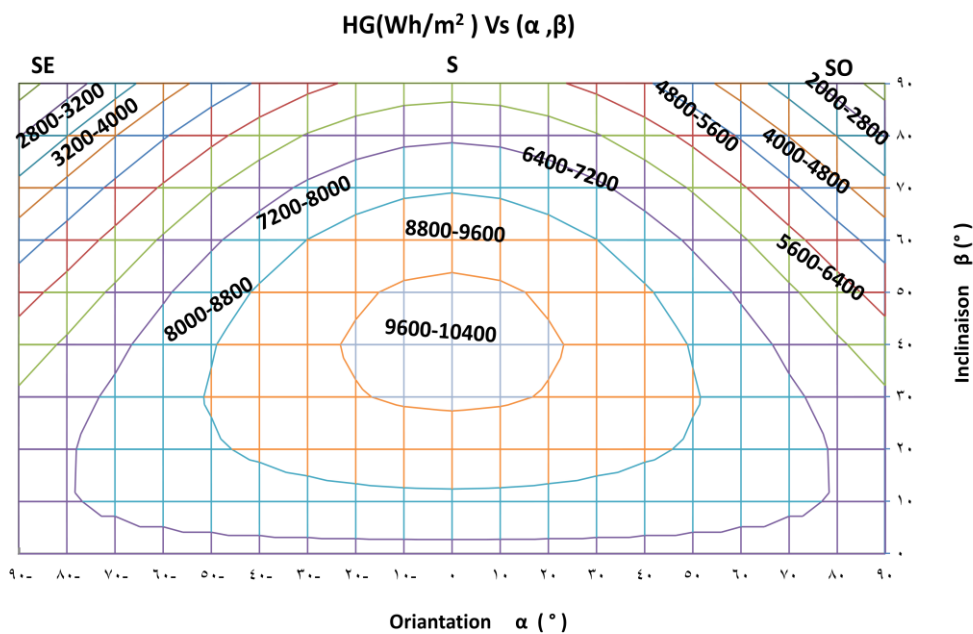


Figure (3.19) : Variation de l'irradiation solaire journalière en fonction (β et α) pour le site de Tlemcen

3.2.20. Irradiation solaire pour le site de Mila

Le tableau (3.21) regroupe les valeurs de l’irradiation solaire journalière moyenne annuelle en fonction de l’orientation (α) et de l’inclinaison (β) pour le site de Mila (longitude : $6^{\circ}25'51''$; latitude : $36^{\circ}33''$).

Tableau (3.21) : Valeurs de l’irradiation solaire journalière en fonction (β et α) pour le site de Milla

α/β	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
0	7381	7381	7381	7381	7381	7381	7381	7381	7381	7381	7380,7	7381	7381
10	7848	7964	8064	8146	8206	8243	8255	8243	8206	8146	8064,5	7964	7848
20	8110	8339	8537	8698	8816	8889	8913	8889	8816	8698	8537,2	8339	8110
30	8160	8495	8784	9019	9192	9298	9334	9298	9192	9019	8784,5	8495	8160
40	7996	8427	8799	9101	9323	9459	9505	9459	9323	9101	8798,8	8427	7996
50	7623	8137	8580	8940	9205	9367	9422	9367	9205	8940	8579,9	8137	7623
60	7053	7633	8134	8541	8841	9024	9086	9024	8841	8541	8134,3	7633	7053
70	6302	6932	7476	7917	8242	8441	8508	8441	8242	7917	7475,8	6932	6302
80	5395	6055	6624	7086	7427	7636	7706	7636	7427	7086	6624,3	6055	5395
90	4357	5027	5606	6075	6421	6632	6704	6632	6421	6075	5605,7	5027	4357

Au vu des résultats obtenus au tableau (3.21) et en figure (3.20), l’irradiation journalière moyenne annuelle pour le site de Milla est maximale (9505 Wh/m^2) pour les deux angles optimaux $\alpha_{opt}=0^{\circ}$ et $\beta_{opt}=40^{\circ}$

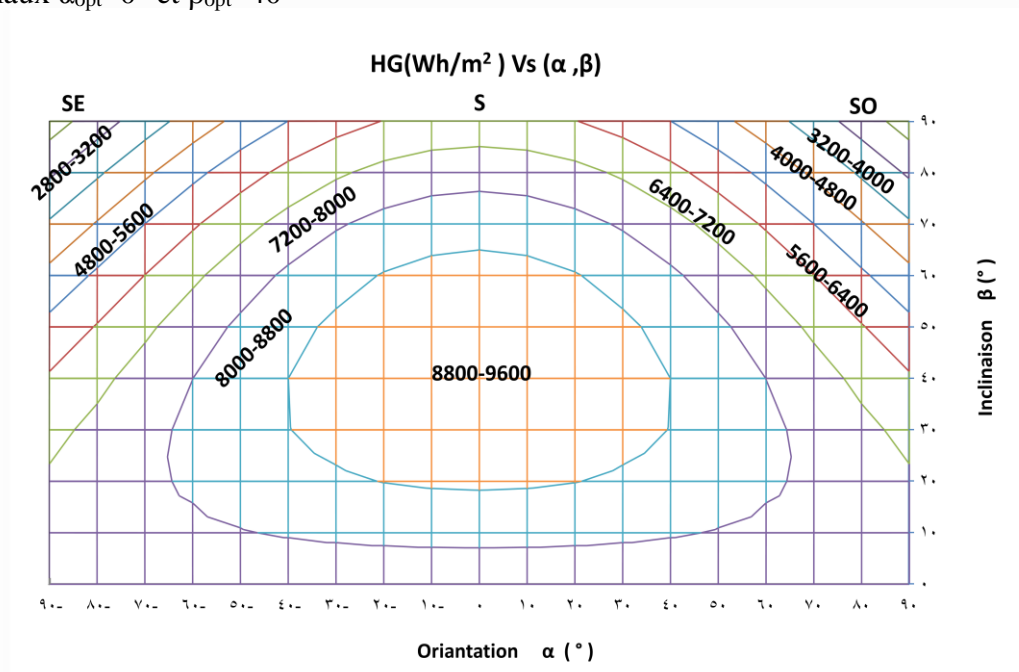


Figure (3.20) : Variation de l’irradiation solaire journalière en fonction (β et α) pour le site de Milla

3.2.21. Récapitulatif

Dans le tableau (3.22) ci-dessous, nous avons récapitulé les résultats obtenus auparavant relatifs aux valeurs d'angles d'inclinaisons et d'orientations optimum et la valeur de l'irradiation journalière moyenne annuelle maximale (H_{max}).

Tableau (3.22) : Tableau récapitulant les valeurs de l'irradiation solaire journalière maximale en fonction (β et α) pour tous les sites étudiés précédemment.

locale	latitude	longitude	β_{opt}	α_{opt}	$H_{max}(Wh/m)$
M'silla	35°40'37''	4°32'31'	40°	0°	10672
Ouargla	31°	5°.244'	40°	0°	11031
Oran	35°38'	-0.6°	40°	0°	9740
Alger	36°75'	3.04°	40°	0°	10340
Tamanrasset	22°88'	4°84'	30°	0°	10751
Becher	28.96	4°.06	30	0°	11142
El-Oued	33°40	6°.67	40°	0°	10099
Jijel	36°42	6°04	40°	0°	9250
Média	36°09	2°54	40°	0°	9767
Tindouf	27°42	-8°15	30°	0°	10651
Skikda	37°	6°24	40°	0°	9343
Adrar	26°42	-0.6°	30°	0°	10655
Sétif	36°18	5°41	40°	0°	9293
EL-Tarf	36°31	8°13	40°	0°	8558
Bejaia	36°47	4°53	40°	0°	9596
Ghardaïa	32°52	4°06	40°	0°	10926
Boumardes	36°51	4°02	40°	0°	9801
Illizi	26°51	8°47°	30°	0°	10858
Tlemcen	33°28	-0.43°	40°	0°	9858
Mila	36.33°	6.25	40°	0°	9505

Au vu des résultats obtenus, il est à noter que l'orientation en Algérie optimale correspond au plein sud ($\alpha_{opt}=0^\circ$), or l'inclinaison optimale annuelle correspond à la latitude $+10^\circ$ ($\beta_{opt}=\text{latitude}+10^\circ$).

3.3. Pertes d'irradiation solaire annuelle

Le calcul des pertes d'irradiation solaire est nécessaire pour toutes les installations photovoltaïques et en particulier les installations PV intégrés aux bâtiments, i.e. les capteurs la structures porteuses des capteurs PV peuvent ne pas être orientés et/ou inclinés d'une façon optimale. Ceci peut engendrés des pertes énormes dans l'irradiation reçue sur le plan des capteurs photovoltaïque. Dabs cette partie, nous avons procédé à l'établissement d'une formule de calcul des pertes d'irradiation en utilisation la relation suivante :

$$\Delta H = H(\alpha_{opt}; \beta_{opt}) - H(\alpha; \beta)$$

Où

$H(\alpha_{opt}; \beta_{opt})$: est l'irradiation maximale

$H(\alpha; \beta)$: est l'irradiation à $\alpha; \beta$ arbitraire

A titre illustratif, nous avons calculé les pertes d'irradiation solaire journalière moyenne annuelle pour trois sites.

Tableau (2.23) : Valeurs des pertes d'irradiation solaire journalière en fonction de (β et α) pour le site de M'sila

α/β	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
0	2315	2315	2315	2315	2315	2315	2315	2315	2315	2315	2315	2315	2315
10	1805	1674	1562	1470	1403	1361	1347	1361	1403	1470	1562	1674	1805
20	1527	1270	1047	867,2	734	653	626	653	734	867,2	1047	1270	1527
30	1489	1113	789	525,1	331	212	172	212	331	525,1	789	1113	1489
40	1694	1210	793	454,1	204	51,5	0	51,5	204	454,1	793	1210	1694
50	2133	1557	1060	656,2	359	177	115	177	359	656,2	1060	1557	2133
60	2795	2144	1582	1125	789	583	514	583	789	1125	1582	2144	2795
70	3659	2952	2342	1847	1482	1259	1184	1259	1482	1847	2342	2952	3659
80	4698	3958	3318	2800	2418	2183	2105	2183	2418	2800	3318	3958	4698
90	5881	5130	4480	3954	3566	3328	3248	3328	3566	3954	4480	5130	5881

Tableau (2.24) : Valeurs des pertes d'irradiation solaire journalière en fonction de (β et α) pour le site de Ouargla

α/β	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
0	2368	2368	2368	2368	2368	2368	2368	2368	2368	2368	2368	2368	2368
10	1854	1716	1597	1500	1429	1385	1370	1385	1429	1500	1597	1716	1854
20	1582	1310	1075	884,7	744	658	629	658	744	884,7	1075	1310	1582
30	1561	1163	820	541,3	336	210	168	210	336	541,3	820	1163	1561
40	1791	1280	838	480,2	216	54,5	0	54,5	216	480,2	838	1280	1791
50	2266	1656	1130	703,2	389	196	131	196	389	703,2	1130	1656	2266
60	2970	2281	1686	1204	848	630	557	630	848	1204	1686	2281	2970
70	3882	3135	2489	1966	1580	1344	1264	1344	1580	1966	2489	3135	3882
80	4975	4192	3515	2967	2563	2315	2232	2315	2563	2967	3515	4192	4975
90	6215	5420	4733	4176	3766	3515	3430	3515	3766	4176	4733	5420	6215

Tableau (2.25) : Valeurs des pertes d'irradiation solaire journalière en fonction de (β et α) pour le site d'Adrar

α/β	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
0	1470	1470	1470	1470	1470	1470	1470	1470	1470	1470	1470	1470	1470
10	1081	974,4	882	807,4	752,3	718	707,1	718	752	807	882	974,4	1081
20	949	738,7	557	409,7	301,1	235	212,2	235	301	410	557	738,7	949
30	1077	769,6	504	288,8	130	32,8	0	32,8	130	289	504	769,6	1077
40	1461	1066	725	448	243,9	119	76,78	119	244	448	725	1066	1461
50	2090	1619	1212	882,5	639,4	491	440,3	491	639	882	1212	1619	2090
60	2944	2411	1952	1579	1304	1136	1079	1136	1304	1579	1952	2411	2944
70	3997	3419	2921	2516	2218	2036	1974	2036	2218	2516	2921	3419	3997
80	5217	4612	4090	3666	3353	3162	3098	3162	3353	3666	4090	4612	5217
90	6568	5953	5423	4993	4676	4481	4416	4481	4676	4993	5423	5953	6568

CONCLUSION

En utilisant les données de l'irradiation journalière moyenne mensuelle sur le plan horizontale, nous avons développé un algorithme et un programme à l'aide du logiciel Matlab calculant l'irradiation journalière moyenne annuelle maximale et les angles optimaux d'orientation et d'inclinaison des capteurs photovoltaïques. Nous avons validé notre travail pour plusieurs sites Algériens. Au des résultats obtenus, Il s'est avéré que, l'orientation optimale annuelle correspond au plein sud quant à l'inclinaison est égale à la latitude+10° Nous avons également procédé au calcul des pertes d'irradiation solaire pour les capteurs dont l'orientation et l'inclinaison sont différentes des valeurs optimales.

Conclusion générale

L'énergie solaire est l'une des plus importantes parmi les diverses sources d'énergies possibles. Une connaissance précise de distribution de la radiation solaire à un endroit géographique donné est très indispensable pour l'évaluation de la production des capteurs photovoltaïques.

L'objectif principal de cette étude est de montrer l'importance des angles d'inclinaison et orientation pour maximiser le rayonnement solaire global incident sur la surface des capteurs photovoltaïques. Dans ce sens, le présent travail se veut une contribution au développement d'une méthode d'optimisation de l'irradiation solaire journalière annuelle pour des capteurs PV à structure porteuse statique.

La production d'énergie des systèmes photovoltaïque dépend de l'énergie solaire incidente sur leurs surfaces captatrices donc il est nécessaire de développer des modèles de prédiction de l'irradiation qui engendrent les paramètres du lieu (site). Dans ce travail, nous avons développé un algorithme de calcul en se basant sur le modèle anisotropique de Perez qui tient en compte de 3 zones du ciel (circumsolaire, horizon, isotropie de la voûte céleste). Nous avons également introduit dans le calcul l'effet de l'angle d'incidence qui peut engendrer des pertes supplémentaires.

Afin de valider notre algorithme, nous avons développé un programme en utilisant le logiciel Matlab. Nous avons effectué le calcul d'optimisation de l'irradiation solaire annuelle et les angles (orientation et inclinaison) correspondant. Guidés par les résultats obtenus pour plusieurs sites algériens, nous avons pu conclure que l'orientation et l'inclinaison optimales correspondent respectivement au plein ($\alpha=0^\circ$) et β =la latitude du lieu $+10^\circ$. Nous avons établi une relation calculant les pertes d'irradiation pour des capteurs dont les deux angles sont différents des angles optimaux

Comme perspective à notre étude nous préconisons l'étude des effets de masques solaires par le développement de méthode de calcul de l'irradiation solaire en présence d'ombrage.

Références Bibliographie

- [1] Le soleil pour tous - initiation à l'énergie solaire pratique, Raymond BRUCKERT, Au signal, Lausanne, 1980.
- [2] BENJAMIN.DESSUS, FRANCOIS PHARABOD – L'énergie Solaire- QUE SAIS-JE ? presse Universitaire de France, VENDOME, OCT 2002
- [3] Zekai ,Sen. Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques, Springer 2008
- [4] .Adolf Goetzberger, Joachim Knobloch Bernhard, “ Crystalline Silicon Solar Cells”, JohnWiley & Sons, p 100 -135
- [6] W. Palz, Solar (Electricity, UNESCO, Butterworths, 1978).
- [7] P. Bessemoulin, J. Oliviéri. Le rayonnement solaire et sa composante ultraviolette. La météorologie 8e série n° 31 septembre (2000), 42-59
- [8] Milton Ohring, “The Materials Science of Thin Films”, Academic Press, p 234-242
- [9] P, H, Communay. Héliothermique : le gisement solaire, méthodes et calculs, Groupe de Recherche et d'Édition, France. (2002).
- [10] Spectre solaire, courbe téléchargée ; <http://tredec.nrel.gov/solar/spectra/am0/>
- [11] M. Iqbal .Une introduction au rayonnement solaire, Academic Press, New York (1983).
- [12] N, Bellel. Contribution à la réalisation et simulation d'un capteur plan à eau type collecteur; thèse de magistère, Université de Constantine. (1989).
- [13] Capderou M. Atlas solaire de l'Algérie. Office des publications universitaires, T1-3, 1988.
- [14] A. Duffie and W.A. Beckman, ‘Solar Engineering of Thermal Processes’, 3rd Ed JohnWiley and Sons, 2006
- [15] M. Iqbal .Une introduction au rayonnement solaire, Academic Press, New York (1983).
- [16] Viorel Badescu. Modeling solar radiation at the earth's surface, Springer 2008
- [17] Tian Pau Chang . The Sun's apparent position and the optimal tilt angle of asolar collector in the northern hemisphere. Solar EnergyVolume 83, Issue 8, August 2009, Pages 1274-1284.
- [18] S, El Mokretar; R, Miri; M, Belhamel. Etude du bilan d'énergie et de masse d'un séchoir de type serre, applications au séchage des produits agro-alimentaires, Revue des Energies Renouvelables, Vol 7, p 109-123. (2004).
- [19] John A. Duffie and William A. Beckman “Solar engineering of thermal processes “Second ed 1991.New York. John Wiley.

- [20] A. Labouret, M. Viloz. Energie solaire photo voltaique. Edition le Moniteur, 3emmedition.(2006).
- [21] chiba younes,mémoire de magister, «etude de l'utilisation d'un bassin d'eau comme capteur solaire» universite mentouri constantine 2005.
- [22] D.K Edwards, Capteurs solaire ; Edition SCM, Paris, 1979.
- [23] A.Boyette ‘‘ contrôle – commande d’un générateur asynchrone à double alimentation avec système de stockage pour la production éolienne ‘’, Thèse de doctorat de l’université Henry Poincaré, Nancy I,decembre 2006.
- [24] M. Meinhardt and G. Cramer, “Past, present and future of grid connected photovoltaic- and hybridpower-systems,” Proceedings of the IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, Vol. 2, pp. 1283–1288, 2000.
- [25] M. Meinhardt and D. Wimmer, “ Multistring-converter: The next step in evolution of string converter technology,” Proceedings of the EPE’01 Conference, Graz, Austria, 2001.
- [26] Perez R, Ineichen P, Seals R, Michalsky J, Stewart R. Modeling daylight availability and irradiance components from direct and global irradiance. Solar Energy 1990;44(5):pages271-289.
- [27] Gary L. Johnson “wind energy systems”, book, Electronic Edition Manhattan October 10, 2006, pp.61- 70-15733
- [28] 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, March 2009, Pages 377-388.
- [29] .T.M. Klucher,. Evaluation of models to predict insolation on tilted surfaces.
- [30] Hay JE, Davies JA. Calculation of the solar radiation incident on an inclined surface. First Canadian Solar Radiation Data Workshop 1980.
- [31] T.Muneer. Solar Radiation and Daylight Models . Elsevier Butterworth-Hermann Edition 2004 (chapitre 4).
- [32] COURS de l’engainerais.
- [33] COURS d’introduction aux S3ER ET COURS d’composants des systèmes photovoltaïques.

Résumé

Le présent travail de Master travail présente une étude de l'importance des angles d'inclinaison et d'orientation optimaux pour maximiser l'irradiation solaire globale incidente sur le plan des capteurs photovoltaïques.

En effet, nous avons développé un algorithme d'optimisation de l'irradiation solaire et le calcul des pertes inhérents aux capteurs arbitrairement orientés et inclinés.

Mots clés : irradiation solaire, orientation, inclinaison, capteurs photovoltaïque, optimisation, pertes d'irradiation.....

ملخص :

العمل المقدم في الماجستير يقدم أهمية دراسة الزوايا من اجل تلقي الخلايا الشمسية للحد الأقصى من الشعاع الشمسي على سطح مائل ومن اجل هذا ندرس إحصائية للشعاع الشمسي الشامل و كذلك الضياع في الطاقة الشمسية على بعض المناطق الجزائرية و ذلك باختيار خوارزمية بسيطة.
الكلمات المفتاحية : الإشعاع الشمسي ' سطح مائل و موجه 'الواح شمسية ' الضياع.....

Abstract

The present work of Master work presents the importance study of optimum angles inclination and direction allowing sensor the maximum global solar radiation incident in solar panel photovoltaic.

An effect, we present the algorithm developed for estimating the optimization of radiation and calcul of cost in to solar panel oriented and inclined .

Keywords: radiation, solar, direction, Inclination, solar panel photovoltaic, optimization.....