

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la
Recherche Scientifique



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE



Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie mécanique

Spécialité : Energétique et Énergies renouvelables

Thème

Élaboration d'un programme utilisant MATLAB
pour Calculer le rayonnement solaire :
Application sur la Région d'El-Oued, Algérie.

Devant le jury composé de :

Présenté par :

Dr. BOUKHARI.Ali

Président

- NESBA Abdelhamid

Mr.ATIA Med Elhadi

Examineur

Mr.LETEYEM Fathi

Examineur

Mr.MENECEUR Redha

Encadreur

2016-2017

Remerciement et Dédicace

*À ma famille Et
À mes amies*

Je remercie dieu le tout puissant de m'avoir donné courage et patience qui m'a permis d'accomplir ce modeste travail.

Je tiens en premier à exprimer ma grande gratitude envers mon encadreur

Dr. R. Meneceur, qui m'a apporté son aide et ses valeureux conseils pour l'accomplissement et le suivi de ce travail.

Je tiens aussi à remercier S. M. A. BEKKOUCHEE Maître de Recherche à l'Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables de Ghardaïa, et Chef de la Division Application des Energies Renouvelables dans les Milieux Arides et Semi Arides URAER, Ghardaïa et H. KAROUA Attaché de recherche, CDER, Alger. Division Solaire Thermique et Géothermie. pour leur conseil et pour les documentations.

Enfin je tiens à exprimer mes sincères gratitude et remerciements aux personnels de département de génie mécanique de l'université d'El-Oued, et en particuliers mes valeureux enseignants qui m'ont inculqués durant mon cursus universitaire, et aux honorables membres du jury qui se sont consacré pour assister à cette soutenance de Master.

Abdelhamid

SOMMAIRE

Nomenclature	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction	1

CHAPITRE I: Les Coordonnés Géographique et astronomiques

I.1.Introduction	2
I.2. Généralités	2
I.3. Le soleil	3
I.4. La constante solaire	4
I.5. Le mouvement de la terre autour du soleil	4
I.6. Coordonnées terrestres	5
I.6.1. La longitude	5
I.6.2. La latitude	5
I.6.3. L'altitude	5
I.7. Coordonnées azimutales	5
I.8. Coordonnées horaires	6
I.8.1. Jour type du mois	8
I.8.2. Mesure du temps	9
I.9. Conclusion	10

CHAPITRE II : Les conditions climatiques de la région d'El-Oued

II.1. Introduction	11
II.2. Etude climatologique	11
II.2.1. Situation et limites	11
II.2.2. Les Caractéristiques Climatiques	12
II.2.2.1. Climatologie	12
II.2.2.1.1 La Température	13
II.2.2.3.2 Précipitation	14
II.2.2.4.3 L'humidité	15
II.2.2.4.4 Les vents	16
II.2.2.4.5 L'évaporation	17
II.2.2.4.6 La durée d'isolation	18
II.3. Le Gisement Solaire en Algérie	19
II.3.1. Caractéristiques météorologiques	19
II.3.2. Potentiel Solaire En Algérie	20
II.3.3. La carte de gisement solaire en Algérie	20
II.4. Conclusion	23

CHAPITRE III: Les modèles d'estimation du rayonnement solaire terrestre

III.1.Introduction	24
--------------------	----

III.2. Généralités sur le rayonnement solaire	24
III.3. Les émissions du Soleil	24
III.3.1. Distribution Spectrale du rayonnement solaire	24
III.3.2. Nature du Rayonnement solaire	25
III.3.3. Composantes du rayonnement solaire	26
III.3.4. Angle d'incidence du rayonnement solaire sur un plan quelconque	27
III.3.5. Variation du rayonnement incident	28
III.3.6. Rayonnement solaire en présence de l'atmosphère	29
III.4. Mesure du rayonnement solaire	30
III.4.1. Généralité	30
III.4.2. Le Pyrhéliomètre	30
III.4.3. Pyranomètre	31
III.4.4. L'héliographe de Campbell-Stockes	31
III.4.5. Le Pyradiomètre	32
III.4.6. L'Albedomètre	33
III.5. Modèles d'estimation du rayonnement solaire terrestre	34
III.5.1. Modèles de Perrin de Brichambaut	34
III.5.2. Modèle de Liu et Jordan sur une surface quelconque	40
III.5.3. Modèle de Capderou	41
III.5.4. Modèle de Iacis & Hansen	44
III.6. Programme du calcul	46
III.7. Conclusion	47

CHAPITRE VI: Résultats et discussion

VI.1. Introduction	49
VI.2. Moyenne mensuelle et annuelle de l'irradiation globale	49
VI.3. Le rayonnement global	50
VI.3.1. Variation du rayonnement solaire en fonction du TSV le 21 Mars	51
VI.3.2. Variation du rayonnement solaire en fonction du TSV le 21 Juin	52
VI.3.3. Variation du rayonnement solaire en fonction du TSV le 21 Septembre	54
VI.3.4. Variation du rayonnement solaire en fonction du TSV le 21 Décembre	56
VI.4. Validation de programme	58
VI.4.1. Rayonnement solaire global (URAER, Ghardaïa)	58
VI.4.2. Rayonnement solaire global (CDER -Alger-Bouzaréah)	59
VI.4.3. Exemples d'application	60
VI.5. Conclusion	61
Conclusion générale	62
Bibliographie	

Liste des figures

Fig 1.1: Spectre du rayonnement solaire.	03
Fig 1.2: Mouvement de la terre autour du soleil.	04
Fig 1.3: Coordonnées terrestres.	05
Fig 1.4: Système local de coordonnées azimutales.	06
Fig 1.5: Système local de coordonnées horaires.	06
Fig 1.6: Déclinaison de soleil.	07
Fig 1.7: Le repérage du soleil à un instant (h,aw).	08
Fig 1.8: Equation de temps.	10
Fig 2.1: Situation géographique de wilaya d'El Oued. (Google Earth)	12
Fig 2.2: Variation mensuelle interannuelle de température Site d'El-Oued (2006/2016).	14
Fig 2.3: Distribution mensuelle interannuelle des précipitations (2006/2016) ONM.	15
Fig 2.4: histogramme des moyennes mensuelles d'humidité site d'El-Oued (2006-2016).	16
Fig 2.5: Vitesses moyenne des vents mensuels en (m/s) Site d'El-Oued (2006-2016).	17
Fig 2.6: Évaporation moyenne mensuelle (mm) Site d'El-Oued (2006-2016).	18
Fig 2.7: Durée d'isolation moyenne mensuelle (heure) site d'El-Oued (2006-2016).	19
Fig 2.8: La carte de gisement solaire en Algérie/Irradiation Globale.	21
Fig 2.9: Moyenne mensuelle de l'irradiation globale reçue sur surface horizontale Site d'El-Oued.	22
Fig 2.10: La carte de gisement solaire en Algérie /Irradiation Globale.	22
Fig 2.11: Moyenne mensuelle de l'irradiation globale inclinée verticale sud site d'El-Oued -2002.	23
Fig 3.1: Répartition spectrale de l'éclairement énergétique du rayonnement solaire au niveau du sol.	25
Fig 3.2: Les rayonnements dans l'atmosphère.	27
Fig 3.3: Azimut (orientation) et inclinaison d'un plan.	27
Fig 3.4: Variation du rayonnement incident.	29
Fig 3.5: Pyrhéliomètre.	30
Fig 3.6: Pyranomètre.	31
Fig 3.7: Pyranomètre ombré.	32
Fig 3.8: L'héliographe de campbell-Stockes.	32
Fig 3.9: L'héliographe de campbell-Stockes.	33

Fig 3.10: L'Albedomètre.	33
Fig 3.11: Angle d'ouverture.	34
Fig 3.12: Composante du rayonnement global sur un plan horizontal.	35
Fig 3.13: Composante du rayonnement global sur un plan incliné.	38
Fig 3.14: Schématisation des composantes du rayonnement solaire reçu par un plan incliné.	39
Fig 3.15: Les angles caractérisant un capteur plan incliné.	43
Fig 3.16: Algorithme de simulation (Model de PERRIN DE BRICHAMBAUT).	48
Fig 4.1: Moyenne annuelle de l'irradiation globale reçue sur une surface horizontale.	49
Fig 4.2: Moyenne Annuelle de l'irradiation global site d'El-oued 2005.	50
Fig 4.3: Rayonnement Journalier Ciel Très clair (CTC).	51
Fig 4.4: Rayonnement Journalier Condition normale de Ciel Clair (CNCC).	51
Fig 4.5: Rayonnement Journalier Ciel Clair Pollué (CCP).	51
Fig 4.6: Rayonnement Solaire Global Site d'El-Oued (CTC, CNCC, CCP).	52
Fig 4.7: Rayonnement Journalier Ciel Très clair (CTC).	52
Fig 4.8: Rayonnement Journalier Condition normale de Ciel Clair (CNCC).	53
Fig 4.9: Rayonnement Journalier Ciel Clair Pollué (CCP).	53
Fig IV.10: Rayonnement Solaire Global Site d'El-Oued (CTC, CNCC, CCP).	54
Fig 4.11: Rayonnement Journalier Ciel Très clair (CTC).	54
Fig 4.12: Rayonnement Journalier Condition normale de Ciel Clair (CNCC).	55
Fig 4.13: Rayonnement Journalier Ciel Clair Pollué (CCP).	55
Fig 4.14 : Rayonnement Solaire Global Site d'El-Oued (CTC, CNCC, CCP).	55
Fig 4.15 : Rayonnement Journalier Ciel Très clair (CTC).	56
Fig 4.16: Rayonnement Journalier Condition normale de Ciel Clair (CNCC).	56
Fig 4.17: Rayonnement Journalier Ciel Clair Pollué (CCP).	57
Fig 4.18: Rayonnement Solaire Global Site d'El-Oued (CTC, CNCC, CCP).	57
Fig 4.19: Comparaison par deux model du rayonnement solaire global de site d'El-Oued (A, B, C, D)	59
Fig 4.20: Comparaison par deux model du rayonnement solaire global de site d'El-Oued (A, B, C, D)	60
Fig 4.21: Rayonnement Solaire Global Théorique et expérimental. (Ciel Claire)	61
Fig 4.22: Rayonnement Solaire Global Théorique et expérimental.	61

Liste des tableaux

Tableau 1.1: Variation de la hauteur du soleil en fonction de la date pour la région D'El-oued.	08
Tableau 2.1: Les données géographiques pour le site d'El-Oued (Oued Souf).	11
Tableau 2.2: Donnés métrologiques de la région du D'El-oued 2006-2016 [ONM 2017].	13
Tableau 2.3: Température moyennes mensuelles site d'El-Oued (2006-2016).	14
Tableau 2.4: Précipitations moyenne mensuelles site d'El-Oued (2006-2016) ONM.	15
Tableau 2.5: Humidité moyenne mensuelle en (%) site d'El-Oued (2006/2016) ONM.	15
Tableau 2.6: Les vents moyens mensuels en (m/s) d'El -Oued (2006-2016) ONM.	16
Tableau 2.7: Evaporation moyenne mensuelle (mm) Site d'El-Oued (2016-2006).	17
Tableau 2.8: Insolation moyenne mensuelle (heure) Site d'El-Oued (2016-2006).	18
Tableau 2.9: Potentiel Solaire En Algérie.	20
Tableau 3.1: Comparaison entre la répartition spectrale du flux solaire et d'un corps noir à 5762 °k	29
Tableau 3.2: Valeurs moyennes de réflectivité (albédo du sol).	30
Tableau 3.3: Valeurs des constantes A et C en fonction de la nature du Ciel.	36
Tableau 3.4: Albédo du sol.	37
Tableau 3.5: Valeur de B en fonction de la nature du Ciel.	37
Tableau 3.6: Valeur de A et D en fonction de la nature du Ciel.	38
Tableau 3.7: Albédo moyen de quelque type de sols les plus fréquents.	40
Tableau 3.8: Constantes de la nature de ciel.	41
Tableau 3.9: Caractéristiques de site d'El-Oued.	46

NOMENCLATURE

Symbole	Dénomination	Unités
R_0	Rayon de sphère de la soleil	[km]
I_0	La constante solaire est le rayonnement direct $I_0 = 1353 \text{ W/m}^2$	[W/m ²]
λ	la longueur d'onde	[μm]
	Déclinaison Solaire	[deg] [°]
	Angle en fonction de la latitude du lieu (azimut)	[deg] [°]
h	La hauteur du Soleil	[deg] [°]
()	l'angle horaire	[deg] [°]
n	Nombre de mois	[J]
j	jour de l'année	[J]
TSV	Temps solaire vrai	[heure]
TL	Temps local	[Heure]
DE	Décalage horaire	[heure]
χ	Hauteur de plan	[Deg] [°]
l	1 année sidérale	[J]
H	Humidité	[%]
T	Température	[°C]
P	Précipitation	[mm]
E	Evaporation	[mm]
V	Vent	[m/s]
I	Insolation	[h/mois]
G	l'irradiation globale	Wh/m ²
h	la constante de Planck.	(J-s)
E	l'énergie de la particule ayant fréquence de rayonnement	[J]
C	la vitesse de la lumière	[Km/s]
	Angle d'incidence du rayonnement solaire sur un plan quelconque	[deg] [°]
W	L'énergie globale reçue du lever jusqu'au coucher du soleil	[W/m ²]
G^*	G^* représente l'apport en ensoleillement par beaux jours	[W/m ²]
G_m	représente l'apport en ensoleillement par ciel couvert	[W/m ²]

	la fraction d'insolation	[J]
t	la durée astronomique du jour	[J]
(G)	L'ensoleillement correspond à l'intensité du rayonnement solaire	[W/m ²]
I_n	le rayonnement direct reçu sur un plan normal au rayonnement	[W/m ²]
I_h	le rayonnement direct reçu sur une surface horizontale.	[W/m ²]
G_{hor}	le rayonnement global reçu par un plan horizontal	[W/m ²]
I_{hor}	Rayonnement normal reçu par un plan horizontal	[W/m ²]
D_{hor}	Rayonnement diffus provenant du ciel, reçu par un plan horizontal	[W/m ²]
$G_{(s)}$	Rayonnement global reçu par un plan incliné.	[W/m ²]
$S_{(s)}$	Rayonnement direct arrivant normalement sur un plan incliné.	[W/m ²]
$D_{ciel-(s)}$	Rayonnement diffus provenant du ciel, reçu sur un plan incliné	[W/m ²]
$D_{sol-(s)}$	Rayonnement diffus provenant du sol, reçu sur un plan incliné.	[W/m ²]
R_b	appelé facteur d'inclinaison du rayonnement direct	
s	l'angle d'inclinaison par rapport à l'horizontal	[deg°]
...	la réflectivité moyenne du sol (Albédo moyen)	/
d_{is}	Le rayonnement diffus isotrope sur un plan incliné	W/m ²
Z	l'altitude de du lieu.	m
d_{Ciel}	l'éclairement diffus incident en provenance du ciel	[W. m ⁻²]
u_{dir}	La composante directe ou circumsolaire	[W. m ⁻²]
u_{iso}	La composante isotrope pour un ciel luminance	[W. m ⁻²]
u_{hor}	La composante du cercle de l'horizon	[W. m ⁻²]
u_{sol}	l'éclairement diffus du sol	[W. m ⁻²]
I_{SC}	constante solaire extraterrestre	[W. m ⁻²]
" Z	l'angle zénithal	[Deg°]

I. INTRODUCTION GÉNÉRALE

La connaissance du rayonnement solaire est essentielle au calcul de diverses performances des systèmes liés au solaire, tels que les chauffe-eau solaires, les modules photovoltaïques, mais également pour la construction des bâtiments dans la perspective d'une meilleure isolation thermique adaptée au lieu géographique et aussi pour le chauffage de habitations et des locaux par de l'énergie solaire. Les exemples d'utilisation ne font que s'accroître au fil du temps. Cependant le développement de ces filières ne pourra se faire sans la connaissance approfondie du rayonnement solaire [1-3].

Dans ces situations, le rayonnement solaire étant mesuré sur un nombre limité de sites à travers le monde, les données relatives à cette énergie ne sont pas toujours disponibles. L'utilisation de modèles et programmes de simulation est pratiquement le seul moyen de pallier à ce problème [2-4]. Au-delà, la connaissance de l'état de ciel et de la position du soleil à tout instant et en tout lieu est nécessaire pour le calcul et l'étude de l'énergie interceptée.

L'objectif de ce présent travail est le développement d'un Programme informatique en utilisant le MATLAB qui permet de simuler le rayonnement solaire de site D'El-Oued. Pour ce faire, nous avons adopté et choisi l'approche théorique, pour estimation du rayonnement solaire global, qui est valable pour des différents types de ciel, et une méthode globale pour la simulation, pour l'estimation des irradiations incidentes sur un plan incliné, nous avons adopté le modèle de **Perrin De Brichambaut**, de ce fait, nous allons ensuite exploiter ces résultats.

Dans ce travail, on a structuré le manuscrit en quatre chapitres essentiels comme suit :

- ✚ Dans le premier chapitre, nous décrivons les notions essentielles sur le gisement solaire à savoir les coordonnées terrestre et horaires, le mouvement du soleil, et les étapes consistent à déterminer les différents paramètres astronomiques, et avant toute chose, il est nécessaire de définir les deux concepts indispensables afin de situer un lieu dans le monde: la latitude et la longitude [2]
- ✚ Dans le second chapitre, nous décrivons Les Caractéristiques Climatiques et météorologiques de site d'El-Oued (La Température, Précipitation, L'humidité, Les vents, L'évaporation, La durée d'isolation).
- ✚ Le troisième chapitre donne un aperçu général sur les différents rayonnements solaires et différents appareillages de mesure et modèles d'estimations du rayonnement solaire basés sur les modèles semi-empiriques de (Perrin de Brichambaut, de Liu-Jordan, Modèle de Capderou, Modèle de Lacis & Hansen).
- ✚ Le quatrième chapitre est consacré à l'application sur le modèle de **Modèle de PERRIN DE BRICHAMBEAUT de Site d'El-Oued** et nous allons ensuite exposer les résultats de validation et la comparaison avec d'autres travaux pour les mêmes données d'entrées. Nous terminerons notre travail par une conclusion générale.

I. Les Coordonnées Géographiques et astronomiques

I.1 Introduction:

La ressource de base la plus importante pour tous les potentiels énergétiques renouvelables est l'énergie solaire. La terre reçoit une importante quantité d'énergie solaire au cours de l'année. Le rayonnement est atténué lors de la traversée de l'atmosphère par absorption et diffusion, suivant les conditions météorologiques.

Pour exploiter cette ressource énergétique, il est nécessaire de connaître la quantité de flux disponible à une région spécifique. Pour cela nous présentons dans ce chapitre une notion générale sur les coordonnées géographiques, ainsi que l'énergie captée sur une surface donnée et les différentes relations entre les valeurs horaires [5].

I.2 Généralités

L'énergie solaire qui nous parvient sur terre est le résultat de diverses séries de réactions nucléaires complexes qu'on appelle aussi la fusion. Elles se déroulent à l'intérieur d'un gigantesque réacteur atomique fonctionnant depuis plusieurs milliards d'années et connu sous le nom de Soleil. A des températures de 15 millions de degrés, 564 millions de tonnes d'Hydrogène par second se transforment en 560 millions de tonnes d'Hélium. Cette différence de 4 millions de tonnes par seconde correspond à l'énergie libérée sous forme de rayonnement électromagnétique. Les 150 millions de km de distance qui nous séparent du soleil (et c'est ce qui différencie ce réacteur qu'est le soleil des réacteurs terrestres) réduisent cette énergie de 43000 kWh/m² par une température de plus de 5000°C à la surface du soleil (la photosphère) à 1.36 kWh/m² lorsqu'elle atteint la partie extérieure de la couche atmosphérique terrestre. Cette quantité d'énergie est connue sous le nom Constante Solaire. En fin de compte, nous recevons, à la surface du globe, que la moitié de ces 1.36 kWh/m². Le reste est réfléchi par les nuages, les aérosols atmosphériques, la calotte glaciaire des deux pôles, la masse des continents : cette réflexion est appelée Albédo. Selon les résultats des mesures de satellites, l'albédo représente environ 30% de la constante solaire. Une partie de ce reste d'énergie est absorbée par l'atmosphère : ce qui conditionne la régulation des climats terrestres ; une autre partie, enfin, peut être absorbée à la surface de la terre. C'est la source d'énergie dans les procédés biologiques de la photosynthèse. Ces trois formes d'énergie créent un équilibre sensible et vulnérable dans notre système écologique. Toute modification de l'une de ces trois formes d'énergie aura des conséquences incalculables sur la vie biologique de notre planète. La surface de la terre reçoit un rayonnement solaire correspondant à 750×10^{15} kWh par an soit environ 8000 fois la consommation énergétique mondiale. L'énergie solaire arrive à la surface de la terre par rayonnement électromagnétique, c'est-à-dire qu'elle nous parvient par oscillation électrique, intégrée dans des champs magnétiques. Cette énergie électromagnétique est basée sur deux principaux critères : la fréquence et la longueur d'onde. La fréquence indique la répétition de chacune des formes d'énergie qui composent le spectre solaire. On peut comparer ce phénomène à la tonalité de son d'une guitare. En faisant vibrer les cordes, on constate qu'il y a une anti corrélation entre le nombre des vibrations et le temps entre les répétitions de ces vibrations. Ce qui signifie que lorsque le nombre des vibrations augmente, le temps entre deux oscillations diminue et vice versa. Plus la fréquence d'oscillations électromagnétique est élevée et plus le niveau énergétique est élevé. Les rayons X ou les

rayons gamma dont la fréquence est très haute pénètrent dans beaucoup de matériaux, tissus humaines compris ; les ondes de basse fréquence comme celles de la radio, sont réfléchies par presque toutes les surfaces des matériaux [5].

I.3 Le soleil

Le soleil est une sphère de rayon $R_0 = 7.10^8$ km et de masse $M=2.10^{30}$ Kg. Il est situé à une distance de la terre égale à environ 150 millions de Km. Sa luminosité totale, c'est-à-dire la puissance qu'il émet sous forme de photons, est $L = 4.10^{26}$ W.

Il est constitué de gaz (hydrogène et hélium principalement). La température et la pression à l'intérieur du soleil sont très élevées, et décroissent du centre vers la surface. Au centre, l'hydrogène se transforme en hélium par fusion nucléaire.

L'énergie libérée est transportée radiativement dans une large zone, puis également par transport convectif au voisinage de la surface.

La surface visible du soleil est la photosphère ; c'est la partie où l'on observe les taches solaires (sombres). La couche suivante a une couleur rosée et on l'appelle chromosphère. Au-delà s'étend la couronne, puis le vent solaire [6].

Le spectre énergétique de ce rayonnement est donc à 90% inscrit dans l'intervalle 0,3 à 1,5 μ m.

La constante solaire est le rayonnement direct I_0 reçu par l'unité de surface placée perpendiculairement aux rayons solaires à la limite extérieure de l'atmosphère terrestre.

$$I_0 = 1353 \text{ W/m}^2 = 4.871 \text{ MJ/m}^2 \text{ h}$$

Le spectre du rayonnement solaire, en fonction de la longueur d'onde λ exprimée en μ m est présenté sur la Fig (1.1) Le rayonnement visible se trouve entre $\lambda = 0.38$ et $\lambda = 0.78$

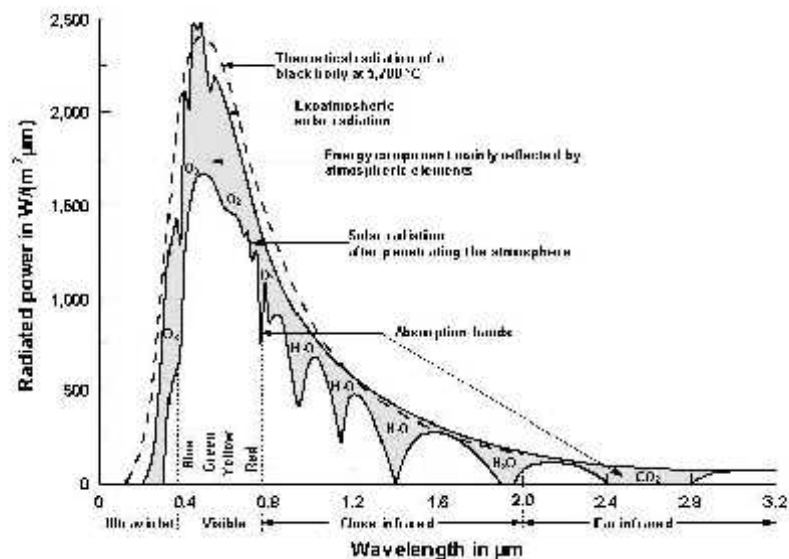


Fig 1.1: Spectre du rayonnement solaire.

I.4 La constante solaire :

Le flux solaire moyen sur un plan perpendiculaire à la direction des rayons et placé en dehors de l’atmosphère terrestre est appelé constante solaire désignée par (1.1). La valeur moyenne actuellement retenue est 1390 W/m². La variation de la distance terre-soleil pendant l’année influence la valeur de la constante solaire. La relation suivante donne la valeur corrigée de la constante solaire [6] :

$$I = 1353.(1 + 0,033.\cos j) \tag{1.1}$$

Lorsqu’une plus grande précision est requise, on pourra utiliser le développement en série de Fourier équation (1.2) :

$$I = 1353 + 45,326.\cos j + 0,88018.\cos 2j - 0,00461.\cos 3j + 1,8037 \sin j + 0,09746.\sin 2j + 0,18412.\sin 3j \tag{1.2}$$

Ou : $J=0,984j$ J, j étant le nombre du jour de l’année (1, 2,3.....365jours de l’année)

I.5 Le mouvement de la terre autour du soleil

La terre décrit autour du soleil une orbite elliptique quasi circulaire avec une période de 365, 25 jours. Le plan de cette orbite est appelé plan de l’écliptique. C’est au solstice d’hiver (21décembre) que la terre est la plus proche du soleil 147 millions de Km et au solstice d’été (22juin) qu’elle en est la plus éloignée 152 millions de Km la moyenne étant de 149, 5millions de Km. La terre coupe le plan perpendiculaire au grand axe de son orbite et contenant le soleil aux équinoxes de printemps (21mars) et d’automne (21septembre).

Elle tourne sur elle-même avec une période de 24h. Son axe de rotation (l’axe des pôles) a une orientation fixe dans l’espace.

Il fait un angle $\approx 23^{\circ}27'$ (ou 23,45° en fraction décimale du degré) avec la normale au plan de l’écliptique Fig(1.2) [7].

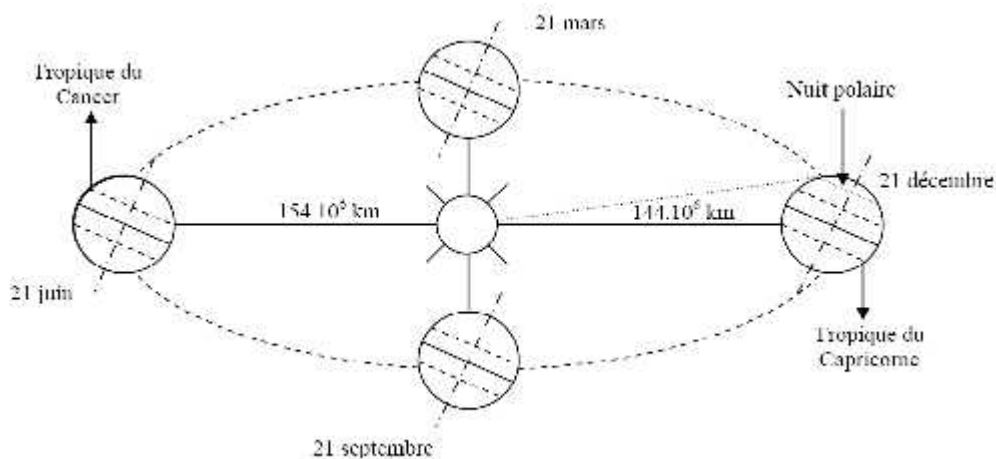


Fig .1.2: Mouvement de la terre autour du soleil.

I.6. Coordonnées terrestres :

Tout point de la surface terrestre est repéré par ses coordonnées géographiques ; longitude et latitude, ainsi que par son altitude. Fig.1.3.

I.6.1 La longitude d'un lieu correspond à l'angle que fait le plan méridien passant par ce lieu avec un plan méridien retenu comme origine. On a choisi pour méridien origine 0° le plan passant par l'observatoire de Greenwich. Par convention, on affecte le signe + les méridiens situés à l'Est de ce méridien, et de signe - les méridiens situés à l'Ouest. La longitude sera désignée ici par la lettre λ , elle peut être comprise entre -180° et $+180^\circ$.

I.6.2 La latitude d'un lieu correspond à l'angle, avec le plan équatorial, que fait le rayon joignant le centre de la terre à ce lieu.

L'équateur terrestre est donc caractérisé par une latitude égale à 0° , le pôle nord par la latitude $+90^\circ$ et le pôle sud par la latitude -90° , cette convention de signe + à tous les lieux de l'hémisphère nord et le signe - à tous les lieux de l'hémisphère sud. La latitude sera désignée ici par la lettre ϕ . Elle peut ainsi être comprise entre -90° et $+90^\circ$.

I.6.3 L'altitude d'un point correspond à la distance verticale entre ce point et une surface de référence théorique, géoïde, figurant le niveau moyen de la mer. On l'exprime généralement en mètre.

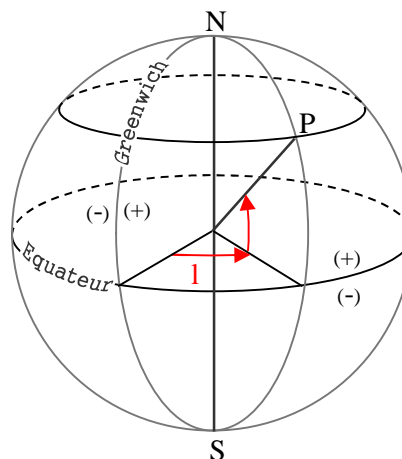


Fig.1.3: Coordonnées terrestres.

I.7 Coordonnées azimutales :

Pour repérer la position du soleil dans le ciel, il est utile d'utiliser un système de coordonnées locales (coordonnées azimutales) défini en un point de la surface terrestre (nous supposons qu'il est situé dans l'hémisphère nord). Ce trièdre est représenté sur la Fig(1.4) Ses axes sont définis de la façon suivante :

- OX vers le sud.
- OY vers l'ouest.
- OZ vers du lieu, vers le haut.

La direction (OS) du soleil est repérée à deux angles.

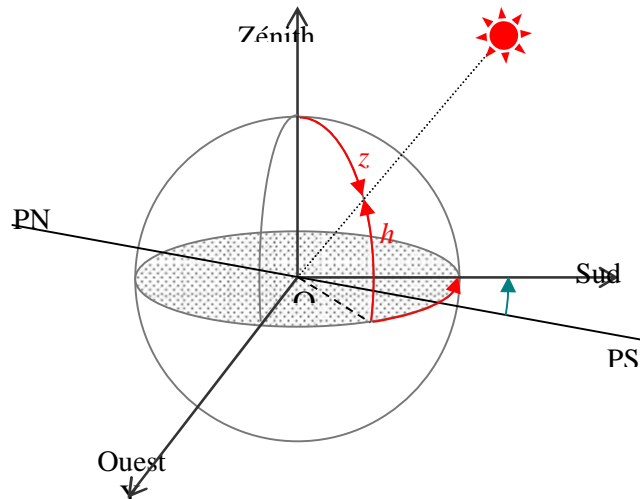


Fig.1.4: Système local de coordonnées azimutales.

➤ **sa hauteur (h) :**

Angle compris entre l’horizon astronomique et l’axe issu du point considéré au soleil. Il est compté de 0° et 90° si le soleil se trouve dans l’hémisphère Nord (zénith) et de 0° à -90° si le soleil se trouve l’hémisphère Sud (Nadir).

➤ **son azimut () :**

Angle entre la projection de la direction du soleil (OS), sur le plan horizontal et le Sud, il est compté positivement vers l’Ouest et négativement vers l’Est.

I.8 Coordonnées horaires

Les angle (h) et () varient au cours de la journée à cause de la rotation de la terre sur elle- même, c’est pour celle raison qu’un second système de coordonnées à été défini et axé sur la direction des pôle, c’est la système de coordonnées horaires.

Le trièdre de référence de ce système est le trièdre inverse représenté sur la fig(1.5).

- OX' dans le plan (OX, OZ) est perpendiculaire à OZ'.
- OY' vers l'ouest.
- OZ' vers le pôle nord.

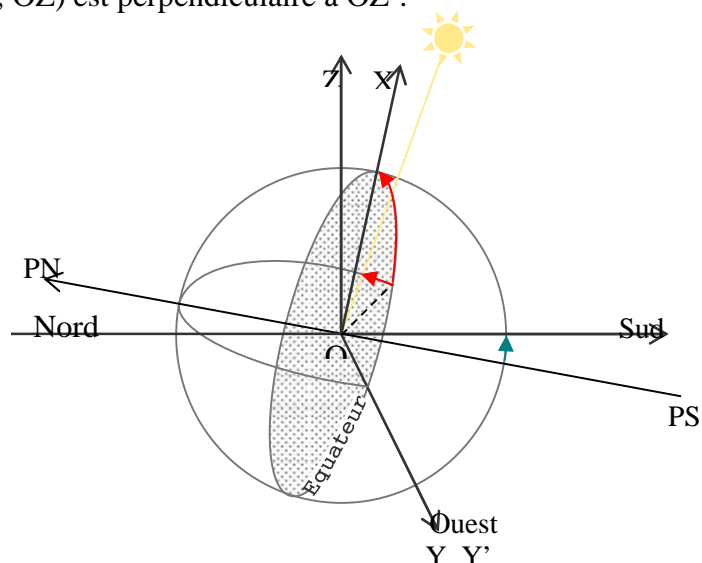


Fig.1.5: Système local de coordonnées horaires.

➤ **sa déclinaison (δ)**

L'angle formé par la direction terre-soleil avec le plan équatorial. Elle varie au cours de l'année entre $-23,45^\circ$ et $+23,45^\circ$. Elle est nulle aux équinoxes (21mars et21 septembre), maximale au solstice d'été (21décembre).La déclinaison, qui est fonction du jour de l'année est définie par son quantième (j) représenté sur la fig(1.6), la valeur de la déclinaison peut être calculée par équation (1.3) et (1.4) :

$$u = 23,45^\circ \sin[0,980^\circ(j + 284)] \tag{1.3}$$

$$u = 0,33281 - 22,984.\cos j - 0,3499.\cos 2j - 0,1398.\cos 3j + 3,3772.\sin j + 0,03205.\sin 2j + 0,07187.\sin 3j \tag{1.4}$$

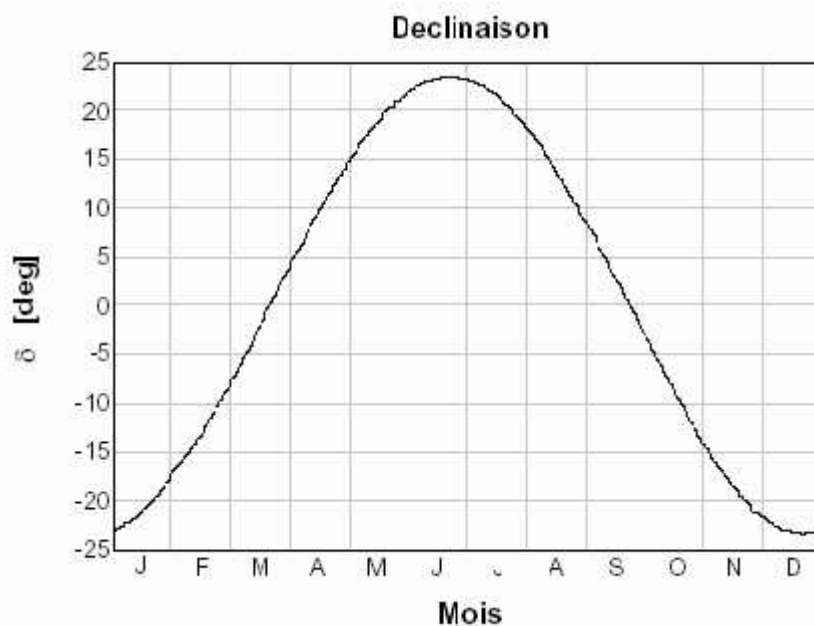


Fig.1.6: Déclinaison de soleil.

➤ **L'angle horaire (h) :** entre les plans (OZ', OS) et (OZ', OX')

L'angle horaire est formé par le pan méridien passent par le centre du soleil et le plan vertical du lieu. Au midi solaire l'angle horaire (h) est égal à 0° ensuite chaque heure correspond à 15° car la terre effectue un tour complet (360°) sur elle-même en 24 heures [7].

L'angle (h) est négativement le matin lorsque le soleil est vers l'est et positivement le soir.

En pratique on exprime les angles (h) et (δ) en fonction de la latitude du lieu équation (1.5) et (1.6) la déclinaison et l'angle horaire du soleil Fig (1.7) :

$$\sinh = \cos \{ \cos u \cos \tilde{S} + \sin \{ \sin u \tag{1.5}$$

$$\sin = \frac{\cos \sin}{\cosh} \tag{1.6}$$

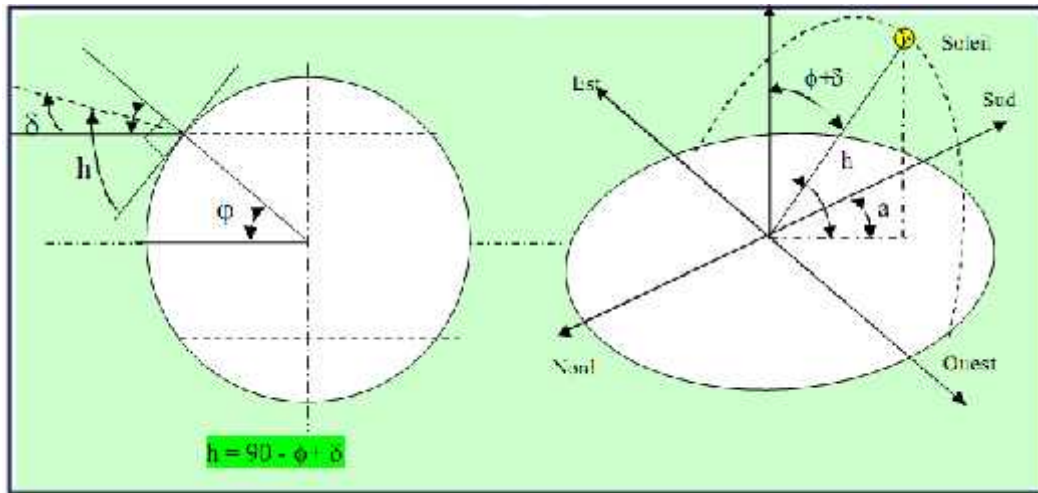


Fig.1.7: Le repérage du soleil à un instant (h,aw).

Exemple: Variation de la hauteur du soleil en fonction de la déclinaison (date) pour la région d'El-Oued (Oued Souf) (latitude :33,36°) tableau 1.1.

Tableau 1.1: Variation de la hauteur du soleil en fonction de la date pour La région D'El-oued.

Hauteur du soleil	Date	Déclinaison
33,2 °	21décembre	-23,4 °
35,4 °	15 janvier	-21,3°
43,7 °	15 février	-02,5°
54,2°	15 mars	-13,0°
56,5 °	21 mars	-00,1°
66,1°	15 avril	+ 09,5°
75,3°	15 mai	+ 18,7°
79,9°	15 juin	+ 23,3°
80,1°	21 juin	+ 23,4°
78,3°	15 juillet	+ 21,7°
71,0°	15 août	+ 14,3°
60,0°	15 septembre	+ 03,4°
57,7 °	21 septembre	+ 01,0 °
48,4°	15 octobre	-08,2°
38,4°	15 novembre	-18,3°
33,4 °	15 décembre	-23,2°
33,2 °	21 décembre	-23,4°

I.8.1 Jour type du mois

Les valeurs des énergies quotidiennes reçues sont celles du jour type du mois qui est, pour une grandeur donnée, le jour du mois qui se rapproche le plus de la moyenne mensuelle de cette grandeur [8].

Soit un mois de (n) jours, (j) un jour du mois et G(j) une grandeur qui est en fonction de (j). La valeur moyenne de cette grandeur est définie par (1.7) :

$$G = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n G(j) \quad (1.7)$$

Le jour type du mois noté (J) est donc, tel que $|G - G(j)|$ soit minimum

I.8.2 Mesure du temps

I.8.2.1 Les heures et les jours

Les mouvements de la terre et sa forme influencent directement notre perception du temps. La succession des jours et des nuits du fait de la rotation de la terre, permet de définir
A) Le Temps Solaire vrai (TSV) (1.8) :

$$T_{S,VRAI} = \check{S} / 15 + 12h \quad (1.8)$$

Où \check{S} est l'angle horaire du Soleil. Les 12 h de différence entre les deux temps reflètent le fait qu'il est midi lorsque le Soleil est au méridien ($\check{S} = 0$). Du fait de l'orbite elliptique de la terre autour du soleil et à cause de l'inclinaison de l'écliptique le temps solaire vrai change au long de l'année. On définit donc un temps solaire moyen basé sur un soleil fictif qui se déplacerait uniformément le long de l'équateur durant le même temps requis par le vrai soleil pour se mouvoir le long de l'écliptique.(1.9)

$$\check{S} = \frac{360}{24}(TSV - 12) \quad (1.9)$$

C'est l'angle horaire de ce soleil fictif qui définit le temps solaire moyen de telle sorte que :

$$T_{S,VRAI} - T_{S,moy} = ET \quad (1.10)$$

La valeur de ET au cours du temps est appelée l'équation du temps (Fig. I.8).

Les valeurs extrêmes de T sont -14,3 minutes le 12 février, +3,7 minutes le 14 mai, -6,4 minutes le 26 juillet et +16,4 minutes le 4 novembre. Le temps solaire moyen dépend du méridien où l'on se trouve.

Afin de simplifier les transports et communications dans notre société, 24 zones de temps ont été constituées. Certaines zones sont prises pour références. Par exemple le méridien de Greenwich donne le Greenwich Mean Time (GMT). L'Europe centrale est dans le système du Central Mean Time (CET).

Pour des raisons scientifiques, il est parfois indispensable de coordonner les observations obtenues dans des endroits différents en utilisant le même temps.

On définit donc le temps universel, comme le temps solaire moyen au méridien de Greenwich. On le note TU. Il vaut 0 heures à minuit. Par exemple 12.00 h TU correspond à 12.00 h GMT et à 13.00 h CET.

Pour un lieu de longitude λ , on a l'équation (1.11) :

$$T_{s,moy} = TU + \lambda / 15 \quad (1.11)$$

} = degré, + vers l'est et – vers l'ouest.

Au cours de l'année le Soleil moyen se déplace par rapport au point vernal à raison de 360° (ou encore 24 h) tous les 365 jours. Le jour solaire moyen est donc $24 \text{ h}/360 \text{ j}$ plus long que le jour sidéral, soit 3 minutes 56 secondes, comme déjà vu plus haut.

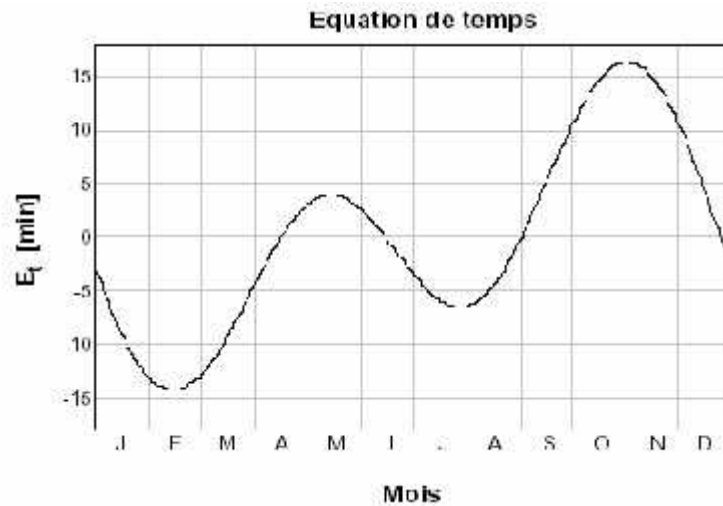


Fig .1.8: Equation de temps[8].

B) Le Temps légal

Le temps légal est l'heure officielle d'un état (ou pour les très grands pays d'une partie du territoire, c'est l'heure du fuseau horaire, aux décalages conventionnels près. La terre est divisée en 24 fuseaux de 15° de large, centrés sur les méridiens dont la longitude est un multiple de 15 équations (1.12), (1.13).

$$TL = TU + DE \quad (DE \text{ en heure}) \quad (1.12)$$

Tel que :

$$TL \text{ (pour midi TU)} = 12 \text{ h} + DE \quad (1.13)$$

C) Les années

De la même manière que l'on définit le jour sidéral on peut définir l'année sidérale, comme étant le temps que l'on doit attendre entre deux passages successifs du Soleil en un même point de la voûte céleste. Ce temps est de :

1 année sidérale = 365,25637 jours solaires moyens

On définit aussi l'année tropique, qui est le temps entre deux passages du Soleil au point vernal. Comme ce dernier se déplace de $50,3''$ vers l'ouest, chaque année, l'année tropique est plus courte que l'année sidérale : 1 année tropique = 365,24220 jours solaires moyens [8].

I.9 Conclusion :

Dans ce présent chapitre, on a présenté une brève description du soleil et de son l'énergie, quelques données nécessaires pour notre étude notamment les paramètres de position et de temps solaire.

Chapitre II. Les Conditions Climatiques de La Région d'El-Oued

II.1 Introduction :

Une donnée très importante et fondamentale pour réaliser une simulation fine d'un système solaire, est l'irradiation solaire incidente sur une surface collectrice, les mesures des données horaires des irradiances solaires sont souhaitables, mais parfois ils ne sont pas disponibles pour un site précis sous une orientation bien déterminée, ce qui rendra le calcul de ces données indispensables. Les données climatiques ont une influence directe sur les performances des systèmes solaires, la connaissance de ces données est indispensable afin de simuler le fonctionnement probable de système solaire et de s'assurer de son intérêt et de sa faisabilité. Dans ce chapitre nous présentons une étude climatologique de la région d'étude D'El-Oued (Oued Souf) puis une étude de gisement solaire [9].

II.2 Etude climatologique

II.2.1 Situation et limites

La wilaya de El-Oued (oued Souf) est située au sud-est du pays à environ 650 Km de la capitale Alger. Est délimité au sud par la mer de dunes du grand erg oriental, à l'est par une série de chotts, à l'ouest par l'Oued RIGH et par la ligne de palmeraie qui coure de Biskra à Touggourt. Cette wilaya s'étend sur une superficie de 80.000 km² (Fig 2.1),

Les données géographiques. (6°53' de longitude, 33°22' de latitude, 70 m Altitude) tableau 2.1 [10]

Tableau 2.1: Les données géographiques pour les différents sites en Algérie. [11]

Station	Latitude (° ')	Longitude (° ')	Altitude (m)
-ANNABA	36.50	+7.49	4
-ALGER	36.43	+3.15	25
-CONSTANTINE	36.17	+6.37	687
-SETIF	36.11	+5.25	1081
-ORAN	35.38	-0.37	99
-BATNA	35.33	+6.11	1040
-TEBESSA	35.26	+8.08	816
- BISKRA	34.48	+ 5.44	81
-DJELFA	34.41	+3.15	1144
-EL OUED	33.22	+6.53	70
-OURGLA	31.57	+5.24	141
-BECHAR	31.38	-2.15	806
-TIMIMOUN	29.15	+0.14	284
-IN AMENAS	28.38	+9.38	562
-ADRAR	27.53	-0.17	264
-TINDOUF	27.40	-8.08	402



Fig 2.1: Situation géographique de wilaya d'El Oued. (Google Earth)

II.2.2 Les Caractéristiques Climatiques:

Les paramètres climatiques (température, vent, l'humidité relative, précipitation..) ont une action directe sur toutes les processus physiques ou chimiques qui se déroulent dans cet environnement. Les valeurs de ces paramètres sont disponibles à l'office national métrologique d'ELOUED station de l'aéroport de Guemar (ONM Mars 2017) Tableau 2-2 [11].

La région d'El-Oued par sa situation géographique est d'un climat de type saharien, caractérisé par un faible taux des précipitations, des températures élevées, d'une évaporation importante et d'un rayonnement solaire excessif. Pour une meilleure caractérisation du climat de la région de Souf nous avons utilisé les données relatives aux différents paramètres climatiques (précipitation, température, vent, humidité et évaporation) dans une durée de 2006-2016 [11]

II.2.3 Climatologie:

Le climat joue un rôle fondamental dans la distribution et la vie des êtres vivants. Ceci incite à présenter les facteurs climatiques les plus marquants tels que la température, les précipitations, l'humidité relative et les vents et la durée d'insolation [11].

Tableau2.2: Donnés métrologiques de la région du D'El-oued 2006-2016 [ONM 2017][11].

Paramètre	Humidité	Température	Précipitation	Vitesse de Vent	Evaporation	Insolation
Moins	H(%)	T(°C)	P.(mm)	(m/s)	E.(mm)	I.(h/mois)
Janvier	64,87	10,43	12,83	1,83	80,3	263
Février	56,22	12,81	6,93	2,34	93,1	229
Mars	49,49	16,38	12,97	2,85	167,7	256
Avril	43,43	20,19	7,9	3,08	203	240
Mai	38,5	25,28	4,14	3,07	288,5	223
Juin	34,74	30,09	1,84	2,92	337,7	337
Juillet	31,9	32,84	0,18	2,45	361,5	365
Aout	34,63	32,78	1,71	2,17	321,3	351
Septembre	46,93	28,44	5,94	2,2	184,2	244
Octobre	52,72	22,27	6,35	1,69	144,8	196
Novembre	60,04	15,75	7,86	1,6	105,2	239
Décembre	66,81	11,03	7,13	1,56	87,3	222
Moyenne annuelle	48,36	21,52	6,31	2,32	197,88	3165

II.2.3.1. La Température:

A)- Définition:

C'est une grandeur physique qui caractérise de façon objective la sensation de chaleur ou de froid, la température est mesurée avec le thermomètre.

B)- Température moyenne mensuelle:

Les moyennes des donnés de température durant la période (2006-2016) est représentée dans le tableau (2.3) et Fig(2.2).

Tableau 2.3 : Température moyennes mensuelles site d'El-Oued (2006-2016) [11]

Source : O.N.M – Station de Guemar – Mars 2017.

Température Moyennes Mensuelles												
Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
T (°C)	10.43	12.81	16.38	20.19	25.28	30.09	32.84	32.78	28.44	22.27	15.75	11.03

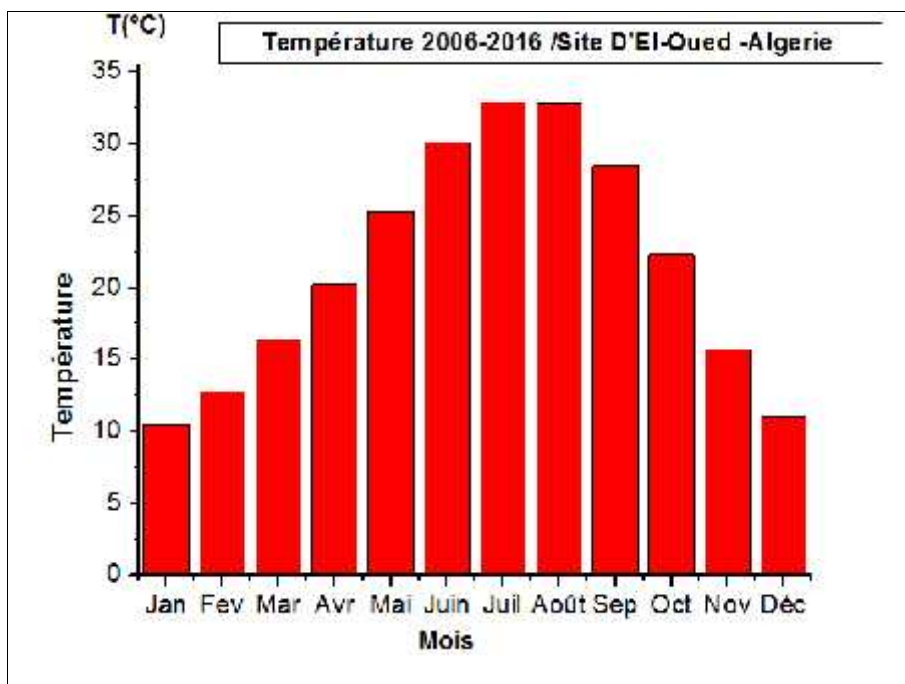


Fig 2.2: Variation mensuelle interannuelle de température Site d'El-Oued (2006/2016).

Source : O.N.M – Station de Guemar – Mars 2017 [11].

D'après courbe des variations moyennes mensuelles des températures on conclue que la température moyenne mensuelle est maximale au moins de Juillet avec une valeur d'ordre de 32,84°C et minimale au mois de janvier avec une valeur d'ordre de 10,43°C.

II.2.3.2 Précipitation:

A) Définitions :

Formes variées sous lesquelles l'eau solide ou liquide contenue dans l'atmosphère se dépose à surface du globe. Les différentes formes de la précipitation sont : la pluie, la neige, brouillard, grêle, rosé, la quantité de la précipitation est mesurée à laide d'un pluviomètre.

B)-Précipitations moyenne mensuelles:

Selon les données, nous avons établi la courbe de variation moyenne mensuelle interannuelle des précipitations ; Fig (2.3) et le tableau 2.4. On constate que : le mois de mars est le plus arrosé avec 12,97 mm, et le mois de juillet est le moins avec 0,18 mm et cumule est 75,78 mm.

Tableau 2.4: Précipitations moyenne mensuelles site d'El-Oued (2006-2016) ONM [11].

Précipitations Moyenne Mensuelles													
Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Cumule
P (mm)	12.83	6.93	12.97	7.90	4.14	1.84	0.18	1.71	5.94	6.35	7.86	7.13	75.78

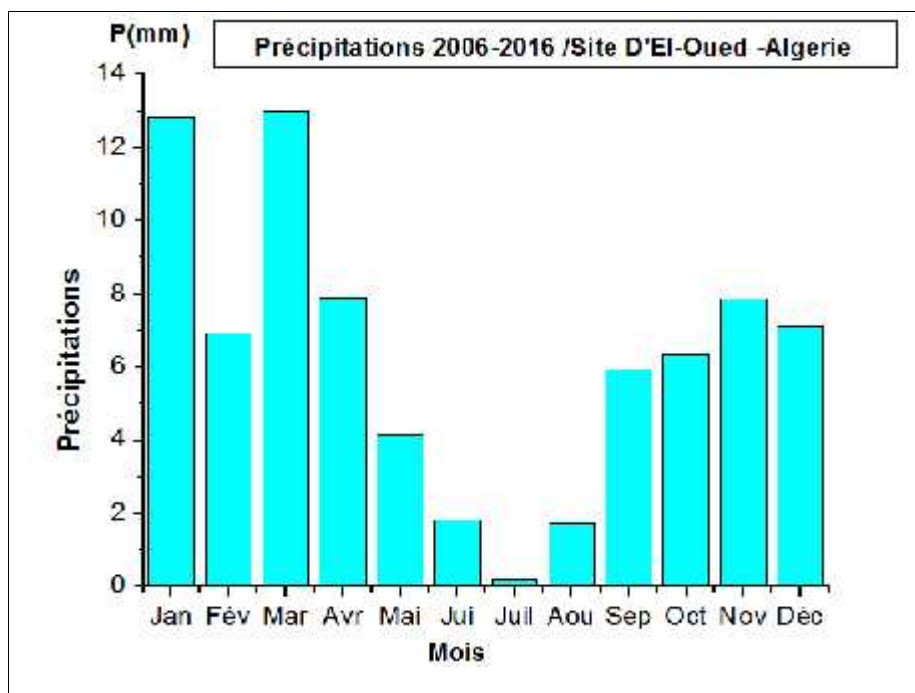


Fig 2.3: Distribution mensuelle interannuelle des précipitations (2006/2016) ONM [11].

Les précipitations sont très rares et irrégulières, leur répartition est marquée par une sécheresse quasi absolue du mois de Juin jusqu’au mois d’Aout, et un maximum au mois de Mars.

II.2.3.3 L’humidité :

L’humidité est un état de climat qui représente le pourcentage de l’eau existant dans l’atmosphère, sous forme de vapeur, ou bien ; nombre de grammes de vapeur d’eau contenue dans une mètre cube d’air. Elle est mesurée par l’hygromètre.

D’après les données des moyennes mensuelles interannuelles d’humidité représentées dans le tableau (2.5) et le Fig (2.4).on peut tirer les informations suivantes :

La moyenne de plus forte est mois de décembre d’une valeur 66,81%, et la plus faible valeur est au mois de juillet d’une valeur de 3,19%.

Tableau 2.5: Humidité moyenne mensuelle en (%) site d’El-Oued (2006/2016) ONM [11]

Humidité Moyenne Mensuelle												
Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Humidité (%)	64.87	56.22	49.49	43.43	38.5	34.74	31.9	34.63	46.93	52.7	60.0	66.81

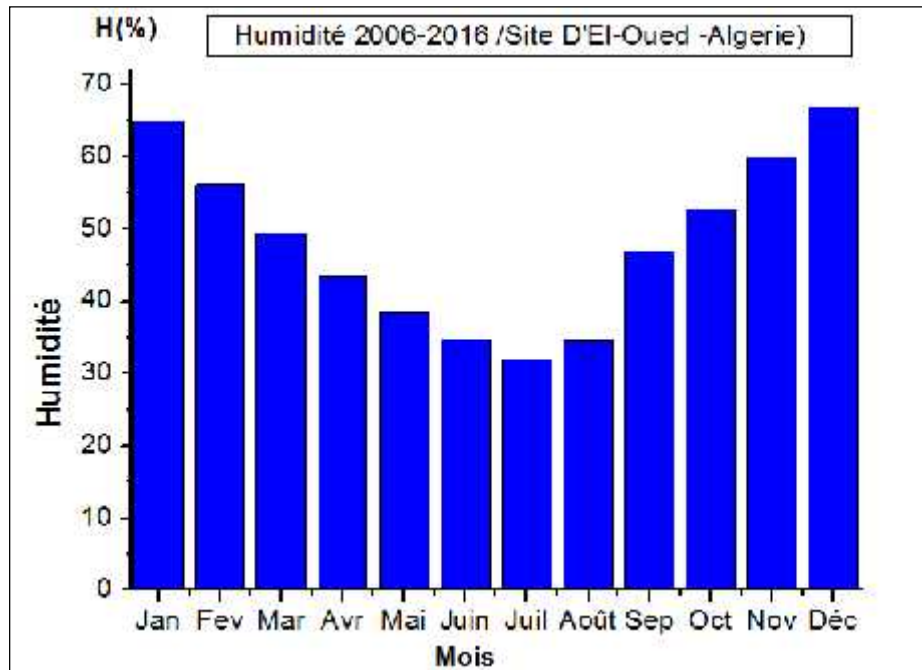


Fig 2.4: histogramme des moyennes mensuelles d'humidité site d'El-Oued (2006-2016)

II.2.3.4 Les vents:

Le vent est mouvement de l'aire entre deux différentes pressions atmosphérique de la haute pression, vers la basse pression, il est influence par la température.

Il y a trois mois durant lesquels les ventes de sables sont les plus nombreux : Avril, Mai, et juin. Les vents atteignant 3,08m/s, présentent un phénomène normal ;l'air reste obscurci pendant 2 à 3 jours et les particules minérales peuvent être soulevées jusqu'à 1500 m .en hiver

les vents froids dominants sont ceux des secteurs Ouest (N-O et S-O) , au printemps et en été, ils viennent uniquement de l'Est(N-E et S-E),en automne ,ils N-E ou S-O (Fig. 2.5) et tableau (2.6). [11]

Tableau 2.6: Les vents moyens mensuels en (m/s) d'El -Oued (2006-2016) ONM [11].

Vent Moyenne Mensuelle												
Mois	Jan	Feb	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Vents (m/s)	1.83	2.34	2.85	3.08	3.07	2.92	2.45	2.17	2.20	1.69	1.60	1.56

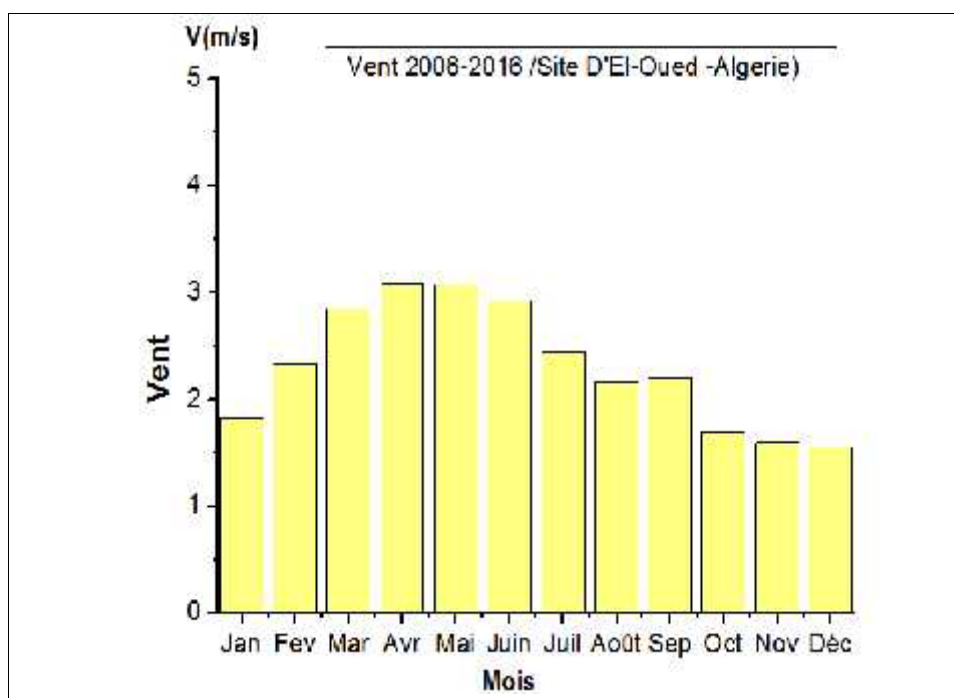


Fig 2.5: Vitesses moyenne des vents mensuels en (m/s) Site d'El-Oued (2006-2016) [11].

II.2.3.5 L'évaporation:

La maximum du moyenne mensuelle d'évaporation est enregistrée au mois de juillet à une valeur de 361.50 mm, et la plus faible est au mois de janvier avec une valeur de 80.30 mm selon le tableau 7, qui résume les variations de l'évaporation moyenne mensuelle (ONM2017) Tableau (2-7) et Fig (2-6).

Tableau 2.7: Evaporation moyenne mensuelle (mm) Site d'El-Oued (2016-2006).[11]

Evaporation Moyenne Mensuelle												
Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Evaporation (mm)	80.3	93.1	167.7	203	288.5	337.7	361.5	321.3	184.2	144.8	105.2	87.3

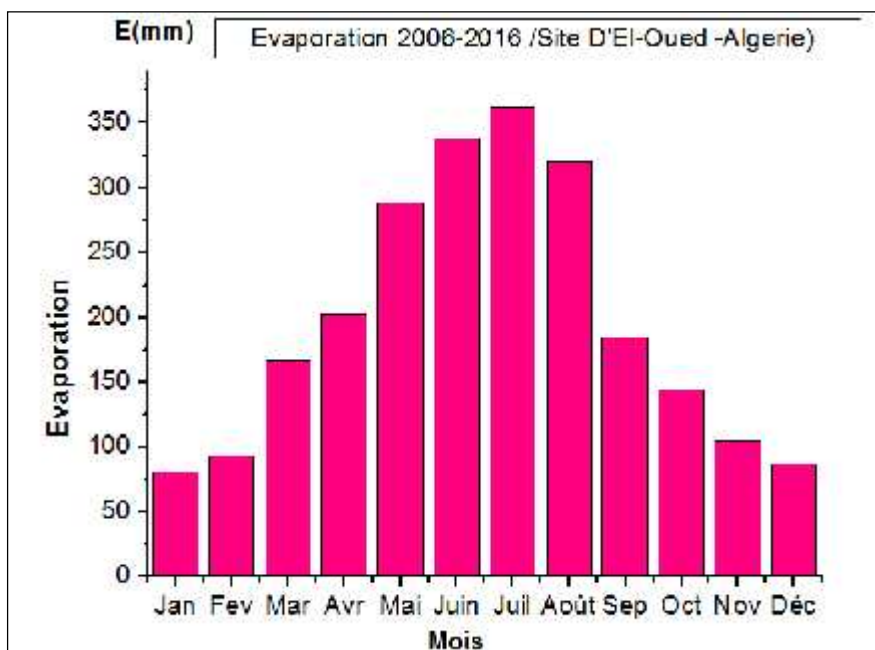


Fig 2.6: Évaporation moyenne mensuelle (mm) Site d'El-Oued (2006-2016).[11]

II.2.3.6 La durée d'isolation:

La région d'El-Oued reçoit une quantité de lumière solaire relativement très forte, le maximum est atteint au mois de juillet avec une durée d'insolation de 353,29 heures et le minimum enregistré est enregistré au mois de décembre avec une durée de 227,35 heures Fig (2.7) et tableau (2.8).

Tableau 2-8 : Insolation moyenne mensuelle (heure) Site d'El-Oued (2016-2006) [11]

Source : O.N.M – Station de Guemar – Mars 2017.

Insolation Moyenne Mensuelle												
Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Insolation (heure)	238.15	247.23	275.85	283.75	307.06	344.21	353.29	323.19	271.2	257.14	277.61	227.35

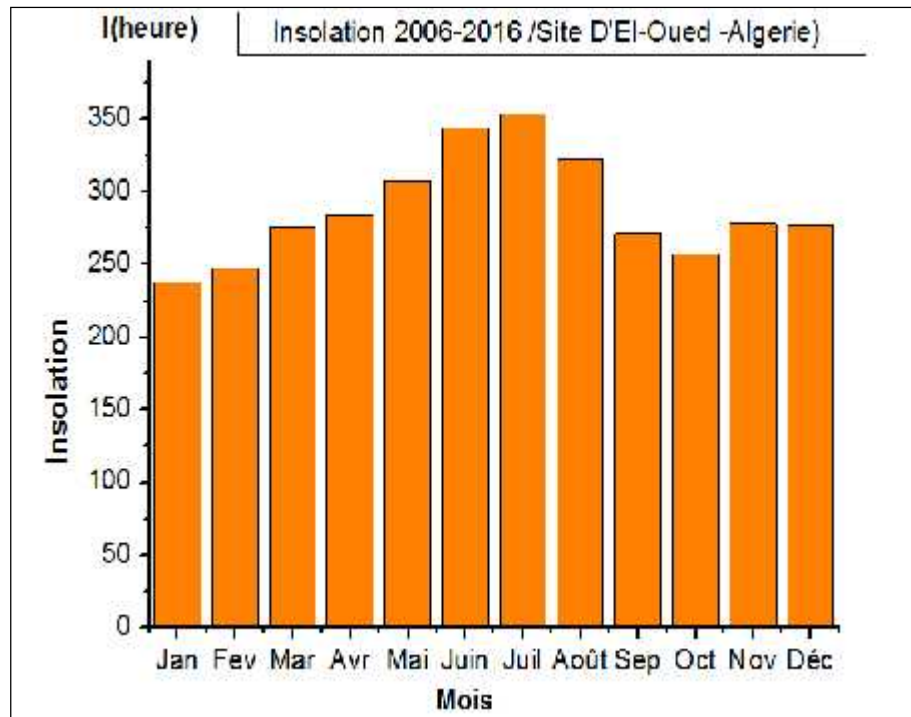


Fig 2.7: Durée d'isolation moyenne mensuelle (heure) site d'El-Oued (2006-2016)

Le climat de la région d'El-oued est saharien et aride, caractérisé par un été chaud, sec et un hiver doux ; la température moyenne mensuelle interannuelle est de l'ordre de 21,52°C, le maximum de la température est atteint au moins juillet et d'aout (32,84) et son minimum est enregistré au mois de janvier (10,42°C). les précipitations moyennes interannuelles sont de l'ordre de 75,78 mm. la valeur maximum des précipitations est observée au mois de janvier 12,86 mm et la valeur minimale est observée au mois de juillet 0,18 mm .les vents ont une direction Est et Nord-Est avec une vitesse 2,31 m/s .l'humidité relative moyenne est l'ordre de 48,36 % et l'évaporation moyenne interannuelles est observé la valeur maximum au mois juillet 361.5 mm et la valeur minimale 80,3 mm. la durée d'isolation moyenne mensuelle interannuelle est de l'ordre de 277,35 heure et le valeur maximum de l'insolation est atteint au mois juillet est de l'ordre 353.29 heure.

II.3 Le Gisement Solaire en Algérie

II.3.1 Caractéristiques météorologiques

Située dans la rive Sud de la méditerranée, l'Algérie est un pays étendu sur une superficie de 2.382.000 Km², dont seulement 20% est utilisée par l'agriculture. Trois zones géographiques caractérisent le territoire national :

- Au Nord le long de la côte méditerranéenne, s'étend la plaine du Tell algérien avec une largeur variant entre 80 et 190 km. Cette région, où est concentrée la majorité de la population et des terres agricoles, est caractérisée par un climat méditerranéen tempéré, avec une température moyenne variant de 11 à 25°C en hiver et en été .
- La région des hauts plateaux, située entre l'Atlas Tellien au Nord et l'Atlas saharien au Sud et qui a un caractère semi désertique avec une population de moyenne densité;

- La région du Sahara qui représente 80% du territoire algérien et qui est composée de plateaux et plaines rocheuses, d'étendues de sable et, à l'extrême Sud, du massif du Hoggar. La région est caractérisée par un climat aride à amplitudes thermique hiver/été et jour/nuit très importantes. [13]

II.3.2 Potentiel Solaire En Algérie :

De part sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur la quasi totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara).

L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1m² est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700KWh/m² /ans au Nord et 2263 kWh/m²/ans au Sud du pays. [13]

Ce gisement solaire dépasse les 5 milliards de GWh ; répartie suivant les régions comme le montre le tableau (2-9) suivant :

Tableau 2.9: Potentiel Solaire En Algérie.

Régions	Région côtière	Hauts Plateaux	Sahara
Superficie ()	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (Heures/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (KWh/m ² / an)	1700	1900	2650

I.3.3. La carte de gisement solaire en Algérie

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

Il est utilisé pour simuler le fonctionnement probable d'un système énergétique solaire et donc faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu des demandes à satisfaire.

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

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

A cet effet, concernant la mesure du rayonnement solaire en Algérie, le réseau de mesures est peu dense relativement à la superficie du territoire. En effet seules sept stations météorologiques sur la soixantaine que compte le réseau de l'office national de la

météorologie assurent la mesure des composantes diffuse et globale du rayonnement solaire reçu sur le plan horizontal.

Pour pallier aux insuffisances des réseaux de mesures, des modèles sont proposés, ils sont basés essentiellement sur l'utilisation des données météorologiques en particulier la durée d'insolation.

Dans ce cadre, l'équipe de recherche en gisement solaire du laboratoire Evaluation du potentiel énergétique, s'est assignée pour objectif le développement d'une méthodologie qui a permis une estimation réaliste du gisement solaire pouvant être exploité à des fins énergétiques par les concepteurs de systèmes solaires.

Cette méthodologie consiste d'une part, à valider et développer des modèles sur le site de Bouzaréah où les différentes composantes du rayonnement solaire particulièrement celles obtenues sur des plans d'inclinaison et d'orientation intéressant les concepteurs de systèmes solaires sont mesurées. D'autre part, elle a été étendue à l'ensemble du réseau de mesures en tenant compte de la nature et du type de mesures effectués ainsi que des régimes radiatifs observés[12].

Ainsi, un Atlas préliminaire a été élaboré, il est constitué d'un ensemble de 72 cartes représentant la distribution mensuelle à grande échelle des différentes irradiations solaires utilisées par les concepteurs de systèmes solaires, il s'agit de :

- Les irradiations de base la diffuse et la globale mesurées sur plan horizontal Fig (2.8)et fig(2.9)
- L'irradiation solaire globale reçue sur des plans verticaux orientés Est, Ouest et Sud.
- L'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné à la latitude du lieu et orienté Sud. La distribution à grande échelle de sa moyenne annuelle est donnée par la Fig ci dessous. fig. (2..10) ,fig.(2.11).

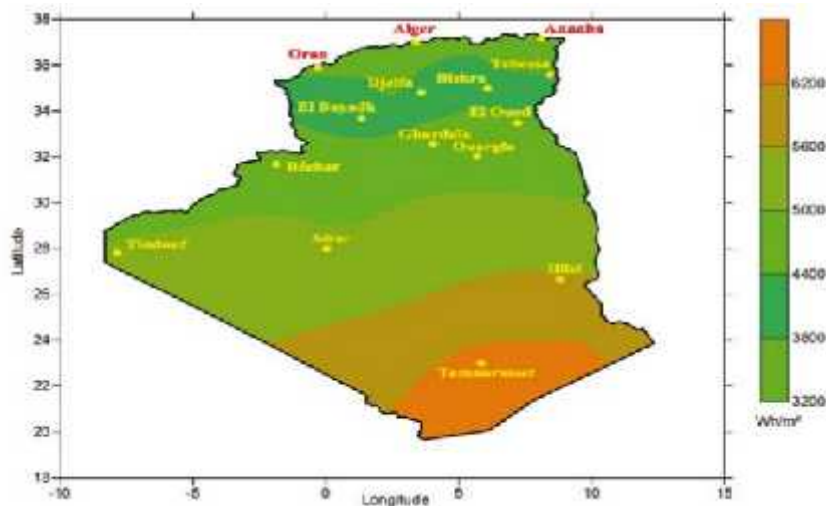


Fig 2.8: La carte de gisement solaire en Algérie/Irradiation Globale [12].

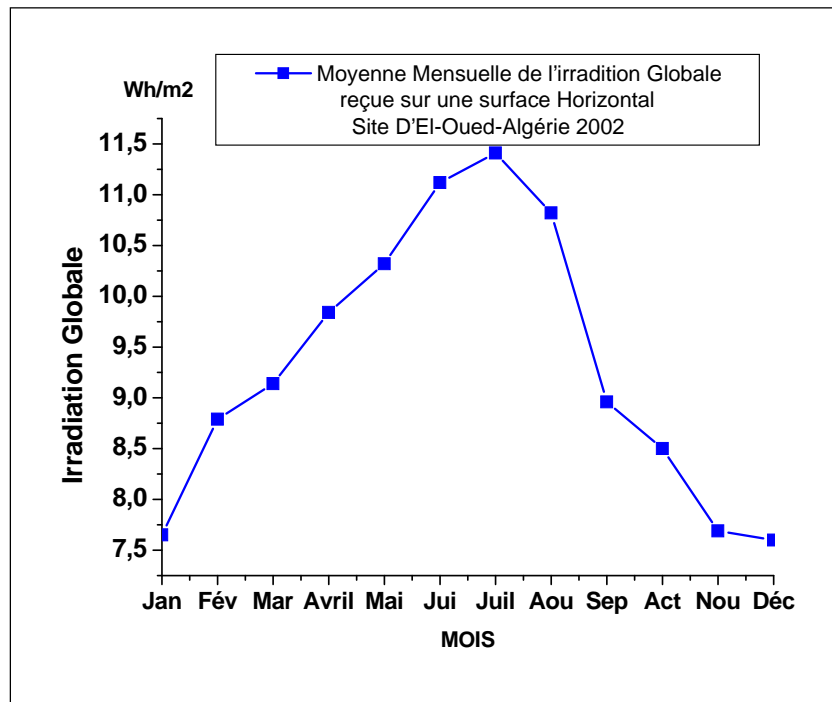


Fig 2.9.: Moyenne mensuelle de l'irradiation globale reçue sur une surface horizontale Site d'El-Oued –Algérie [12].

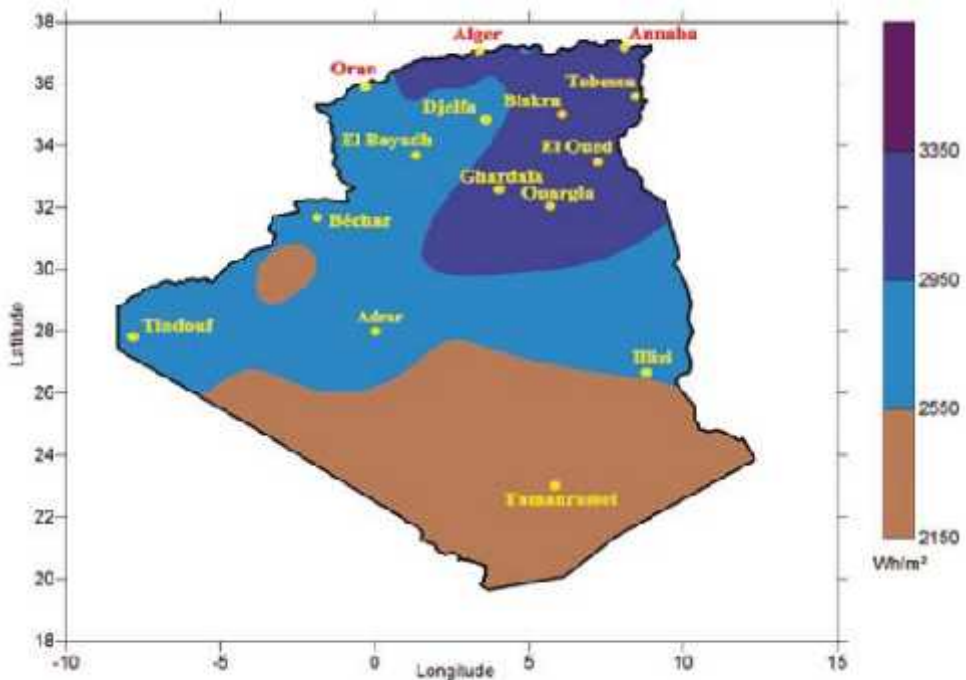


Fig 2.10 : La carte de gisement solaire en Algérie /Irradiation Globale [12].

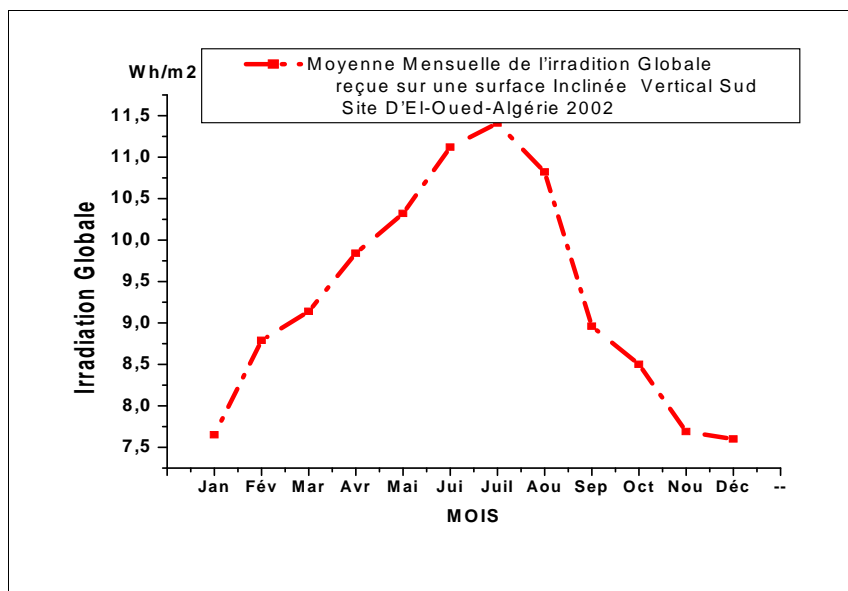


Fig 2.11: Moyenne mensuelle de l'irradiation globale inclinée verticale sud
Site d'El-Oued –Algérie-2002. [12]

II.4 Conclusion:

La région d'El-Oued est située dans une zone saharienne, son climat sec désertique est caractérisé par une aridité qui s'exprime par une sécherresse permanente

D'après les données climatiques et l'étude de Moyenne mensuelle de l'irradiation globale nous avons constaté que l'isoalton est considérable . en effet , il dépasse dix heures par jour pendant plusieurs mois , ce qui nous permet de classer la ville d'El-Oued comme un e site favorable pour rayonnement solaire les instatllation solaires.

Chapitre 3: Les Modèles d'estimation du rayonnement solaire terrestre

III.1 Introduction:

Le rayonnement solaire qui arrive au sol se décompose en deux parties : L'une provient directement du soleil (direct), l'autre a été diffusée par l'atmosphère (diffus). L'atmosphère et la terre possèdent également un rayonnement propre. La connaissance de ces divers rayonnements permet d'établir un bilan radiatif du système terre- atmosphère [14].

III.2 Généralités sur le rayonnement solaire:

Les rayons solaires sont filtrés par notre atmosphère. Ainsi, les régions plus humides sont moins ensoleillées que les régions sèches. L'ensoleillement dépend aussi des saisons, car certaines régions sont humides en été, et sèches en hiver.

Pratiquement, la puissance disponible au sol dépasse rarement 1000 W/m^2 alors que la puissance qui arrive à la limite de notre atmosphère est de l'ordre de 1400 W/m^2 . Une partie de cette énergie est diffusée et c'est ce qui fait que le temps soit clair même si des nuages cachent le soleil. Le rayonnement solaire qui arrive au sol peut être décomposé en deux parties : l'une provient directement au sol, l'autre est diffusée par l'atmosphère [14].

III.3 Les émissions du Soleil:

L'énergie émise par le Soleil est d'abord sous la forme de rayonnements électromagnétiques dont l'ensemble forme le rayonnement solaire, qui constitue la seule source externe notable d'énergie pour l'atmosphère. L'œil humaine perçoit une partie seulement du rayonnement solaire, celle située dans le domaine dite visible, de longueurs d'onde comprises entre $0,40$ et $0,70 \mu\text{m}$, le rayonnement ultraviolet, est un rayonnement électromagnétique de longueur d'onde plus courte que le visible ($< 0,4 \mu\text{m}$). Le rayonnement infrarouge est un rayonnement électromagnétique de longueur d'onde $> 0,77 \mu\text{m}$. La plus grande partie de l'énergie solaire est cependant rayonnée dans les domaines ultraviolet, visible et proche d'infrarouge : $99,2 \%$ de l'énergie solaire hors atmosphère se trouve entre $0,2$ et $3,4 \mu\text{m}$. Au sol, par suite de l'absorption du rayonnement solaire par la vapeur d'eau, le spectre est limité à $2,5 \mu\text{m}$ environ (Fig 2.1) [7].

III.3.1 Distribution Spectrale du rayonnement solaire:

La distribution spectrale du flux solaire en dehors de l'atmosphère ainsi que la distribution spectrale d'un corps noir porté à 5762 °K dans les trois bande du spectre du rayonnement solaire thermique, montre l'existence d'un écart minimum généralement considéré inférieur à 3% , ce qui permis de supposer que le rayonnement d'un corps noir est une approximation acceptable du rayonnement solaire .

Le tableau (2-1) montre la répartition spectrale du rayonnement solaire (résultats adaptés des études de Thékaekara [14] qui sont basés sur des observations satellitaires par la NASA).

Tableau 3.1: Comparaison entre la répartition spectrale du flux solaire et d'un corps noir à 5762 °K [14].

Longueur d'onde en micron	%Energie (Solaire)	% Energie (Corps noir)
Ultraviolet $\lambda < 0,38$	7 %	9,9 %
Visible $0,38 < \lambda < 0,78$	47,3 %	46,4 %
Infrarouge $0,78 < \lambda < 15$	45,1 %	43,6 %

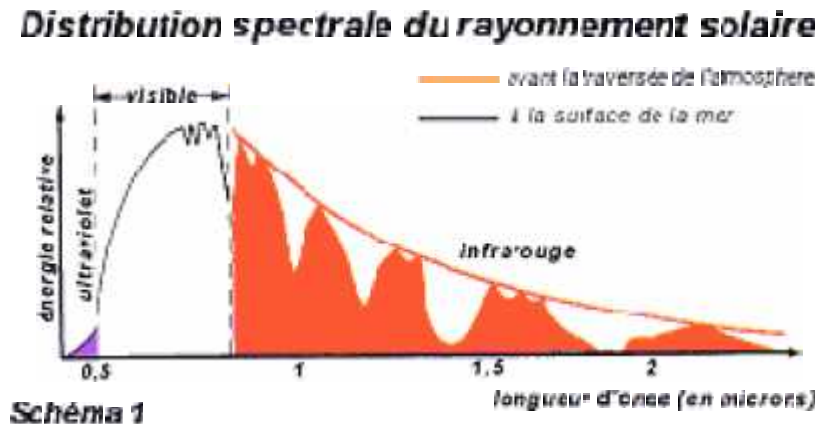


Fig 3.1: Répartition spectrale de l'éclairement énergétique du rayonnement solaire Au niveau du sol [14].

III.3.2 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 peut être considéré comme unvde Max Planck prévoit que tout rayonnement de fréquence (ν) flux de photons dont l'énergie élémentaire (E) est directement proportionnel à cette fréquence équation (3.1).

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \tag{3-1}$$

Où

h : est la constante de Planck.

c : la vitesse de la lumière. :

λ : La longueur d'onde

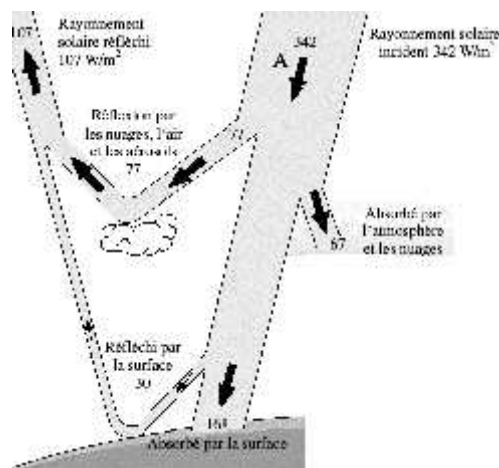
De fait, ce sont les rayonnements de courte longueur d'onde (ou haute fréquence) qui sont les plus énergétiques ; la plus grande partie de l'énergie solaire est cependant rayonnée dans les domaines ultraviolet, visible et proche infrarouge 99,2 % de l'énergie solaire hors atmosphère se trouve entre 200 nm et 4000 nm. Au sol, par suite de l'absorption du rayonnement solaire par la vapeur d'eau, le spectre est limité à 2,5 µm environ [16].

III.3.4 Composantes du rayonnement solaire:

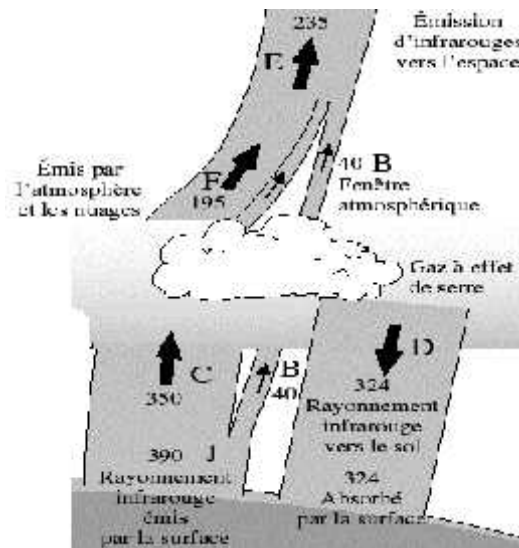
Les processus affectant les rayons solaires sont trop complexes pour être abordés d'une manière détaillée dans ce paragraphe. D'une façon générale nous disons que les radiations solaires arrivent au sommet de l'atmosphère sous formes d'onde électromagnétique se répartissent en premier lieu en deux parties : La première partie est directement réfléchie vers l'espace avant de s'enfoncer dans l'atmosphère. La deuxième en pénétrant dans l'atmosphère subit des réflexions et des diffractions pour être à son tour, renvoyée vers l'espace, soit dirigée vers la terre.

En outre dans l'atmosphère, la vapeur d'eau et de multiples gaz absorbent de façon très irrégulière certaines radiations caractérisées par leurs longueurs d'onde. Citons par exemple la vapeur d'eau, qui a une épaisseur variable selon le climat et la saison (elle varie entre quelques millimètres et quelques centimètres), est responsable de l'absorption des rayons infrarouges.

Les radiations absorbées par les composantes de l'atmosphère sont ensuite émises dans toutes les directions, il en résulte que parmi les radiations solaires arrivant finalement à la terre, quelques unes sont fournies par les nuages et les autres composantes de l'atmosphère. Une fois ces radiations arrivées au sol, une fraction est réfléchie directement vers le ciel, l'autre sera gagnée par la terre. En conclusion la terre reçoit l'énergie du soleil et de l'atmosphère pour simplifier ces multiples et émission, on subdivise le rayonnement solaire provenant au sol en rayonnement diffus, l'ensemble forme le rayonnement global **Fig 3.2** [16].



Domaine des courtes longueurs d'ondes
 $300\text{nm} < \lambda < 2400\text{ nm}$ (Rayonnement solaire)



Domaine des grandes

longueurs d'ondes

$\lambda > 2400 \text{ nm}$ (Rayonnement terrestre)

Fig 3.2: Les rayonnements dans l'atmosphère.

III.3.5 Angle d'incidence du rayonnement solaire sur un plan quelconque:

On se propose de calculer l'angle entre un rayon arrivant directement du soleil et la normale à un plan quelconque. L'orientation de la surface est précisée par :

- son inclinaison S qui est l'angle entre le plan horizontal et le plan considéré :
- son azimut α c'est-à-dire l'angle entre la normale au plan et le méridien (compté comme précédemment, positivement vers l'ouest et négativement vers l'est).

En utilisant ces définitions et la Fig.3.3. Ci-dessous [26].

$$\cos \theta = \cos h \sin s \cos (\alpha - \gamma) + \cos s \sin h \tag{3-2}$$

L'angle θ est exprimé aussi en fonction de α , h et s comme suit :

$$\cos \theta = \sin \alpha \sin (\alpha - \gamma) + \cos \alpha \cos (\alpha - \gamma) \cos s \tag{3-3}$$

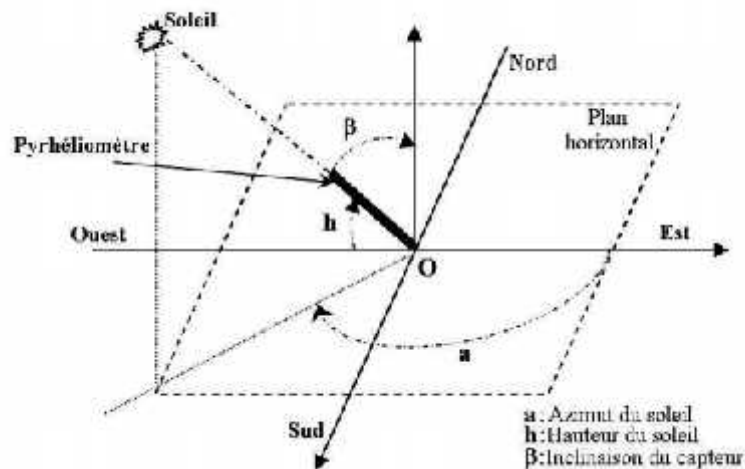


Fig 2.3: Azimut (orientation) et inclinaison d'un plan [30].

III.3.6 Variation du rayonnement incident:

Dans la pratique on admet une variation sinusoïdale de l'éclairement global.

Si G_{max} : désigne l'éclairement énergétique maximum à midi solaire sur un plan horizontal et t , la durée du jour entre le lever et le coucher du soleil, le rayonnement instantané a comme expression **Fig 3.4 [26]**:

$$G(t) = G_{max} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T} t\right) \tag{3-4}$$

Tel que:
$$= \frac{2\pi}{T} \text{ où } T = 2 \cdot t \tag{3-5}$$

Calculons G_{max} :

L'énergie globale reçue du lever jusqu'au coucher du soleil s'écrit :

$$W = \int_{t_l}^{t_c} G(t) \cdot dt = G_{max} \cdot \int_{-\frac{t}{2}}^{\frac{t}{2}} \cos\left(\frac{2\pi}{t} \cdot t\right) \cdot dt \tag{3-6}$$

$$W = \frac{t}{2} \cdot G_{max} \cdot \int_{-\frac{t}{2}}^{\frac{t}{2}} \cos\left(\frac{2\pi}{t} \cdot t\right) \cdot d\left(\frac{2\pi}{t} \cdot t\right) \tag{3-7}$$

$$W = G_{max} \cdot \frac{t}{2} \cdot \left[\sin\left(\frac{2\pi}{t} \cdot \frac{t}{2}\right) - \sin\left(-\frac{2\pi}{t} \cdot \frac{t}{2}\right) \right] \tag{3-8}$$

$$W = 2 \cdot G_{max} \cdot \frac{t}{2} \quad \text{d'où} \quad G_{max} = \frac{W}{2 \cdot t} \tag{3-9}$$

En fin $G(t)$ prend l'expression suivante:

$$G(t) = \frac{W}{2 \cdot t} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{t} \cdot t\right) \tag{3-10}$$

$W = G^*$: représente l'apport en ensoleillement par beaux jours.

Pour les journées non ensoleillées, on remplace (W) par (G_m).

G_m : représente l'apport en ensoleillement par ciel couvert se calcule de la façon suivante :

$$G = (1 - \alpha) \cdot G_m + \alpha \cdot G^* \tag{3-11}$$

$$G_m = \frac{(G - \alpha \cdot G^*)}{(1 - \alpha)}$$

α : est la fraction d'insolation définie comme suit : On mesure, pour une journée, le temps durant lequel a brillé le soleil. Cette durée est la durée d'insolation quotidienne notée (S). La fraction d'insolation notée (α), est par définition :

$$\alpha = \frac{S}{t} \tag{3-12}$$

Où: t est la durée astronomique du jour (intervalle entre le lever et le coucher du soleil).

On appelle jour clair, un jour pour lequel a est aux alentours de 0,8

G : est le rayonnement solaire global en $[W/m^2]$.

Le terme $(1 - a) \cdot G_m$ représente la moyenne des jours par ciel couvert.

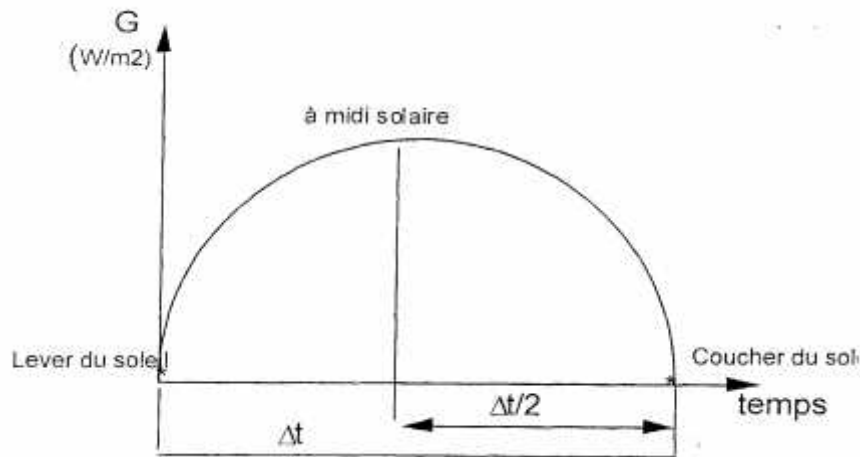


Fig 3.4: Variation du rayonnement incident [26].

III.3.7. Rayonnement solaire en présence de l'atmosphère:

Lors de sa traversée dans l'atmosphère, le rayonnement solaire subit une diffusion et une absorption par des molécules gazeuses comme par les cristaux et poussières diverses en suspension. Le rayonnement absorbé est transformé en chaleur et disparaît du bilan du rayonnement utilisable au sol.

Le rayonnement diffusé est rayonné dans l'espace pour être à nouveau diffusé vers le sol ou vers le ciel, absorbé ou transmis.

Le rayonnement reçu au sol se décompose en :

- ✓ **Rayonnement direct** : les rayons parallèles, viennent directement du soleil, plus ou moins atténués (par absorption ou par diffusion).
- ✓ **Rayonnement diffus provenant du ciel** : ce rayonnement provient de manière non isotrope, de toutes les directions de l'espace. Une partie du rayonnement diffusé est renvoyée vers l'espace.
- ✓ **Rayonnement diffus provenant du sol** : il s'agit du rayonnement réfléchi par le sol constitué du rayonnement direct et diffus atteignant le sol puis réfléchi par ce dernier, qui est caractérisé par la nature du sol qui est désigné souvent par un coefficient de réflectivité du sol dit aussi Albédo, comme étant le rapport entre l'énergie réfléchie par diffusion et l'énergie incidente tableau (3.2).
- ✓ **L'ensemble (direct + diffus) constitue le rayonnement global.**

Le tableau (3.2) donne quelques valeurs moyennes de réflectivité ou albédo du sol (...) pour différents types de sols [18].

Tableau 3.2: Valeurs moyennes de réflectivité (albédo du sol) [18].

Surface	Réfectivité moyenne
Sol enneigé	0,7
Sol recouvert de feuilles mortes	0,30
Herbe verte	0,26
Forêt en automne ou champs dorés	0,26
Galets et pierres blanches	0,20
Herbe sèche	0,20
Sol argileux	0,17
Forêt en hiver (arbres conifères sans neige)	0,07
Plan d'eau (soleil haut $h > 30^\circ$)	0,07

III.4. Mesure du rayonnement solaire:

III.4.1 Généralité :

L'ensoleillement (G) correspond à l'intensité du rayonnement solaire reçu sur un plan à un moment donné. il s'exprime habituellement en watts par mètre carré (W/m^2).

L'ensoleillement varie de zéro, au lever du soleil, à sa valeur maximale, typiquement au midi solaire. L'ensoleillement peut également exprimer la quantité d'énergie solaire captée sur un plan pendant un intervalle déterminé [19].

La mesure du rayonnement solaire est assurée par des appareils spécifiques :

III.4.2 Le Pyrhéliomètre :

La mesure de l'éclairement solaire direct est assurée par un Pyrhéliomètre. Cet appareil est généralement constitué par une thermopile peinte en noir. Cette thermopile est installée dans un tube de 30cm de longueur ayant une ouverture de 5° . Le tube est monté sur un système de poursuite du disque solaire, appelé monture équatorial qui permet au tube d'être pointé constamment vers le soleil. Ainsi à l'exclusion du rayonnement issu de l'atmosphère et de la terre cet appareil ne mesure que le rayonnement directement issu du soleil Fig 3.5 [19].



Fig 3.5: Pyrhéliomètre.

III.4.3 Pyranomètre :

C'est le capteur le plus fréquemment utilisé pour mesurer le rayonnement global ou diffus .il se compose d'une thermopile composé d'un série de thermocouples avec alternance des soudures chaudes et soudures froids.

Les soudures chaudes sont en contact thermique avec la surface absorbante une <<noire >> avec une capacité thermique faible. **Fig 3.6.**



Fig 3.6: Pyranomètre.

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 la différence de température entre le << chaud >> et le <<froid >>, cette tension de sortie est converti Watts/metre2 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 sol on utilise un Pyranomètre inversé et pour le rayonnement diffus on utilise un pyranomètre plus un pare-soleil [19].

III.4.3.1 Pyranomètre ombré:

La mesure de l'éclairement diffus est assurée par un Pyranomètre avec un anneau d'ombrage appelé bande pare-soleil. Cette dernière permet d'occulter la partie sensible du pyranomètre de la part du rayonnement solaire provenant directement du disque solaire. Ce qui permet par conséquent de ne mesurer que l'éclairement du au rayonnement diffus.

L'arceau d'ombrage est un dispositif mécanique utilisable avec un pyranomètre pour réaliser une solution simple pour la mesure du rayonnement solaire diffus. Le principe de fonctionnement est très simple : l'arceau maintient le pyranomètre à l'ombre toute la journée en le protégeant du rayonnement solaire direct ; en conséquence, le pyranomètre mesure le rayonnement diffus **Fig 3.7.**



Fig 3 .7: Pyranomètre ombré.

En associant un second pyranomètre disposé à l'horizontale pour mesurer le rayonnement global et en faisant la soustraction du rayonnement diffus, vous obtenez le rayonnement direct [19].

3.4.4 L'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 de mesure la durée d'insolation à 06 minutes près.

Un héliographe plus récent mesure automatiquement l'insolation c'est un héliographe a fibre optique **Fig 3.8** [19]

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 solaire par exemple), ainsi que pour les écologues (la lumière étant la condition de la photosynthèse).



Fig 3.8: L'héliographe de campbell-Stockes.

III.4.5 Le Pyradiomètre:

Le radiomètre Net appelé également Pyradiomètre est composé de deux capteurs mis en opposition pour mesurer le rayonnement net et rayonnement solaire direct provenant du ciel et le rayonnement réfléchi par sol, c'est-à-dire la différence entre le rayonnement arrivant directement du ciel et du rayonnement par réflexion qui induit des longueurs d'ondes longues et courtes émises à partir du sol Fig 3.9 [19].



Fig 3.9: L'héliographe de Campbell-Stokes.

III.4.6 L'Albedomètre :

Mesure l'albédo qui est définie par le rapport du rayonnement réfléchi au rayonnement global on utilise deux pyranomètres apposés à l'horizontal **Fig 3.10**.



Fig 3.10: L'Albedomètre.

L'albédo, également appelé facteur de réflexion solaire, est défini comme le rapport entre le rayonnement global et le rayonnement réfléchi. L'albédo solaire dépend de la distribution directionnelle du rayonnement entrant et sur la propriété des surfaces au niveau du sol. Les albédos de surfaces typiques vont d'environ 4% pour l'asphalte frais, 15% pour l'herbe verte et jusqu'à 90% pour la neige fraîche [19].

III.5 Modèles d'estimation du rayonnement solaire terrestre:

Il existe plusieurs modèles pour la simulation de l'éclairement solaire global, direct et diffus, qui généralement exprimés par des approches semi empiriques, les plus fréquemment connus et la pratique on citera principalement le utilisé dans modèle de PERRIN DE BRICHAMBAUT (à trois types de ciel), LIU et JORDAN et modèle de PERRIN DE BRICHAMBAUT (à un type de ciel) ces trois modèles donnent l'estimation de l'irradiation solaire sur un plan parfaitement horizontal ou sur un plan incliné [38].

III.5.1 Modèles de Perrin de Brichambaut []: (pour trois types de ciel)

Le modèle empirique de **Perrin de Brichambaut** a été établi sur la base d'une série de mesures expérimentales qui ont été effectués dans le centre de Trappes (région parisienne et de Carpentras (Midi de France), qui s'appliquent correctement à plusieurs parties du monde, à l'exception des régions qui sont caractérisées par une atmosphère trop chargé de poussières l'exemple des régions de Sahe l tel que le Mali, Le Niger pendant quelques périodes de l'année. Pour l'Algérie les expériences effectuées montrent la validité des formules de **Perrin de Brichambaut** au nord de l'Algérie comme au sud [38].

III.5.1.1 Rayonnement direct:

Le rayonnement direct est défini comme étant le rayonnement provenant au sol sous un angle solide limité au seul disque solaire sans aucun intermédiaire et reçu sur une surface normale à l'axe de cet angle solide [26].

La disque solaire ayant un rayon $0,7 \cdot 10^9$ m , la distance terre soleil étant $1,5 \cdot 10^{11}$ m. L'angle d'ouverture () du cône est tel l'équation (3-13) , Fig(3.11) .

$$\operatorname{tg} r = \frac{0,7 \cdot 10^9}{1,5 \cdot 10^{11}} = 5 \cdot 10^{-3} \quad [3-13]$$

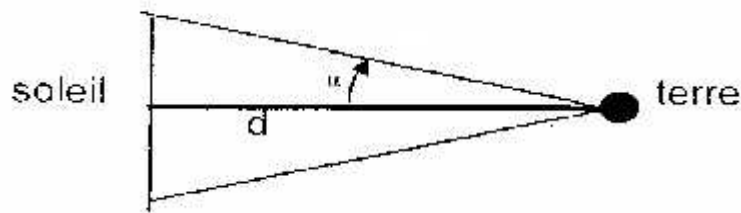


Fig 3.11: Angle d'ouverture [26] .

Où :

$$= 5 \cdot 10^{-3} \text{ radians ou } 16' \text{ d'arc}$$

Le rayonnement direct sur un plan incliné est calculé par la formule suivante (3-14) : []

$$I = I_n \cdot \cos = \frac{I_h \cdot \cos}{\sinh} \quad (3-14)$$

Où

I_n : est le rayonnement direct reçu sur un plan normal au rayonnement

I_h : est le rayonnement direct reçu sur une surface horizontale.

La composante directe du rayonnement solaire est donnée par les expressions empiriques suivantes: (3.15,16,17)

A) conditions normales par ciel clair:

$$I = 1230 \exp \left[\frac{-1}{3,8 \sin(h + 1,6)} \right] \quad (3-15)$$

B) pour un ciel très clair:

$$I = 1210 \exp \left[\frac{-1}{6 \sin(h + 1)} \right] \quad (3-16)$$

C) pour un ciel pollué : zone industrielle:

$$I = 1260 \exp \left[\frac{-1}{2,3 \sin(h + 3)} \right] \quad (3-17)$$

➤ **Modèle de PERRIN DE BRICHAMBAUT sur un plan horizontal :**

Le rayonnement global sur un plan horizontal est la somme du rayonnement direct et du Rayonnement diffus, estimé par l'expression suivante Fig 3.12:

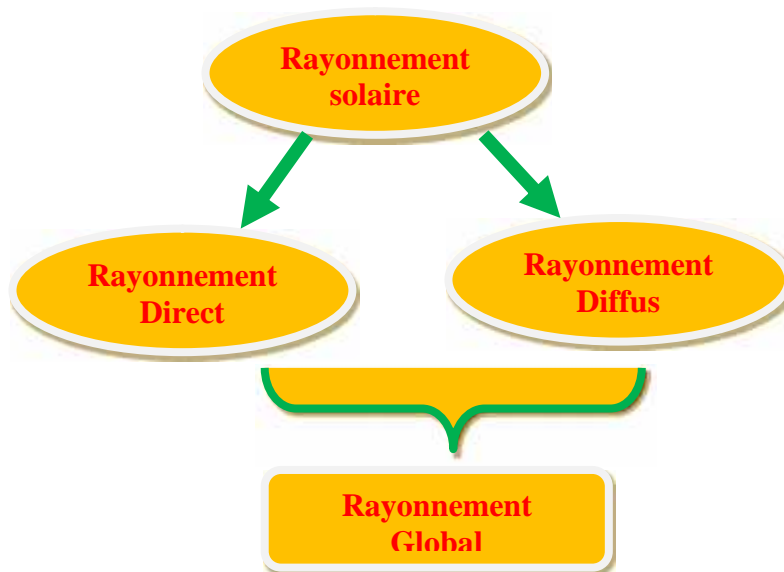


Fig 3.12: Composante du rayonnement global sur un plan horizontal.

$$G_{hor} = I_{hor} + D_{hor} \quad (3-18)$$

Où G_{hor} : étant le rayonnement global reçu par un plan horizontal en $W.m^{-2}$

I_{hor} : Rayonnement normal reçu par un plan horizontal en $W.m^{-2}$

D_{hor} : Rayonnement diffus provenant du ciel, reçu par un plan horizontal en $W.m^{-2}$

Le rayonnement direct sur un plan horizontal peut être estimé comme suit :

$$I_{hor} = A(\sin h) \cdot \exp \frac{-1}{C \cdot \sin(h+2)} \quad (3-19)$$

Avec :

- h : étant la hauteur du soleil en degré.
- A, et C sont des constantes qui dépendent de la qualité du ciel, dont les valeurs sont exprimées d'après le tableau (3-3) suivant :

Tableau 3.3: Valeurs des constantes A et C en fonction de la nature du Ciel

(Modèle de **Perrin de Brichambaut**). [26]

Nature du Ciel	A	C
Ciel très pur (très clair) [CC]	1300	6
Ciel Moyen [CM]	1230	4
Ciel Pollué [CP]	1200	2,5

Tableau 3.3: Valeurs des constantes A et C en fonction de la nature du Ciel

(Modèle de **Perrin de Brichambaut**).

III.5.1.2 Le rayonnement diffus:

Le rayonnement diffus, issu du ciel, à l'exception du disque solaire et du sol, est beaucoup plus difficile à analyser. Tout d'abord, le sol réfléchi en moyenne le tiers du rayonnement qu'il reçoit et il faut tenir compte également de la diffusion de ce rayonnement réfléchi.

Le rayonnement diffus est le rayonnement émis par des obstacles (nuages, sol, bâtiments) et provient de toutes les directions. La part du rayonnement diffus n'est pas négligeable et peut atteindre 50% du rayonnement global (selon la situation géographique du lieu).

Le rayonnement global sur la terre et sa part de rayonnement diffus varie au cours de l'année.

Les expressions empiriques permettant d'estimer la composante du rayonnement solaire diffus sont ci- dessous

A) Part du ciel

* part du ciel sur une surface horizontale:

- par ciel clair :

$$D_{c,h} = 125(\sin h)^{0,4} \quad (3-20)$$

- par ciel très clair, on multiplie cette dernière expression par 3/4, si le ciel est couvert, on la multiplie par 4/3 [52].

* part du ciel sur une surface d'inclinaison quelconque:

$$D_c(i) = D_{c,h} \frac{1 + \cos i}{2} \quad (3-21)$$

b) Part du sol

$$D(i) = \text{alb} \frac{1 - \cos i}{2} \cdot G \quad (3-22)$$

Où: $G_h = I_h + D_h = I_{\text{dir}} \sinh + D_h \quad (3-23)$

(alb) : est l'albédo ou coefficient de réflexion qui dépend de la nature du sol. Le tableau suivant donne quelques valeurs de l'albédo pour divers types de sols.

Tableau 3.4: Albédo du sol [26].

Nature du sol	Albédo ()
Terre végétale sèche	10 à 25
Terre végétale	8 à 9
Humide	18 à 40
Sable sec	9 à 18
Sable humide	15 à 26
Herbe verte	19 à 32
Herbe sèche	12 à 15
Neige fraîche	80 à 90
Béton	3 à 55
Aluminium poli	85
Eau	7
Sol calcaire	14
Goudron	13
Brique sombre	27

➤ **Modèle de PERRIN DE BRICHAMBAUT sur un plan horizontal [26]:**

De la même façon, le rayonnement diffus en provenance du ciel est aussi en fonction de la qualité du ciel, exprimé par la relation (3-24) suivante :

$$D_{hor} = B(\sinh)^{0,4} \quad (3-24)$$

Avec B est une constante qui dépend de la nature du ciel, Tableau (3-5).

Tableau 3.5: Valeur de B en fonction de la nature du Ciel. []

(Modèle de Perrin de Brichambaut)

Nature du Ciel	A
Ciel très pur (très clair) [CC]	87
Ciel Moyen [CM]	125
Ciel Pollué [CP]	187

Selon un autre proche le rayonnement global sur un plan horizontal peut être aussi estimé par la formule globale de **Perrin de Brichambaut** exprimée par la relation :

$$D_{hor} = A(\sinh)^D \tag{3-25}$$

Avec A et D sont des constantes dont les valeurs dépendent aussi de la nature de ciel voir tableau (3.6) :

Tableau 3.6: Valeur de A et D en fonction de la nature du Ciel.
(Modèle de **Perrin de Brichambaut**) [26]:

Nature du Ciel	A	C
Ciel très pur (très clair) [CC]	1150	1,15
Ciel Moyen [CM]	1080	1,22
Ciel Pollué [CP]	990	1,25

➤ **Rayonnement solaire sur un plan incliné:**

Si les éclairagements solaires incidents directs, diffus ou globaux sur un plan horizontal sont connus, on peut calculer l'éclairagement solaire sur un plan incliné et l'orientation quelconque. Dans ce cas l'irradiation globale arrivant sur une surface réceptrice inclinée, est constituée de Trois composantes Fig 3-13 []:

1. Composante directe du rayonnement solaire
2. Composante diffuse isotrope provenant du ciel.
3. Composante diffuse proven

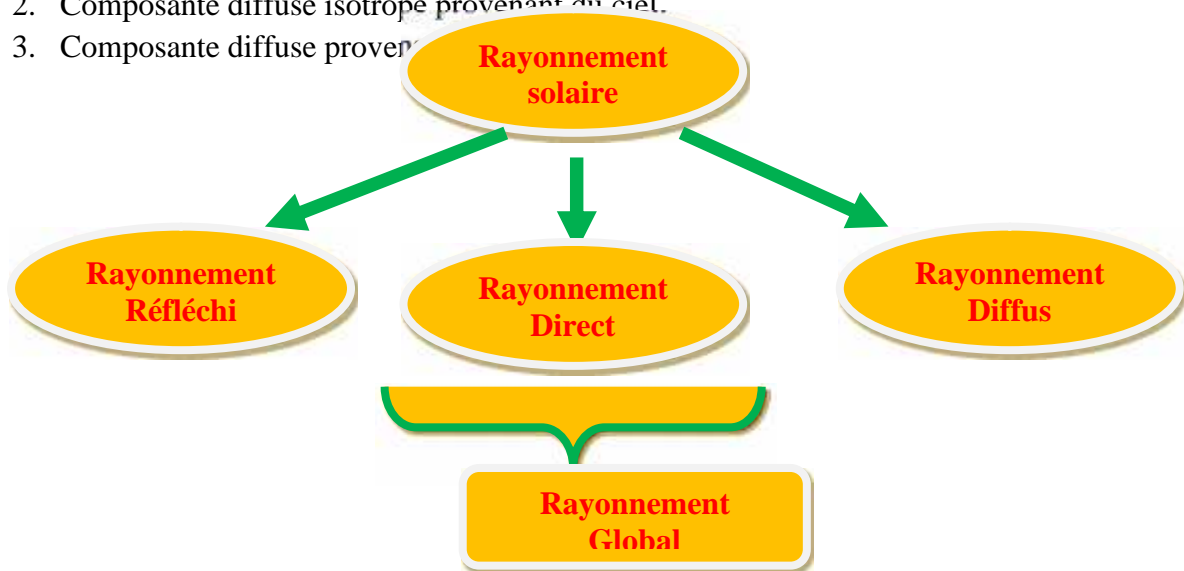


Fig 3.13: Composante du rayonnement global sur un plan incliné. [37]:

L'expression de la composante du rayonnement solaire global arrivant sur un plan incliné par rapport à l'horizontal d'un angle S serait de forme de l'équation 3-26 :

$$G_{(s)} = S_{(s)} + D_{ciel-(s)} + D_{sol-(s)} \tag{3-26}$$

Avec,

$G_{(s)}$: Rayonnement global reçu par un plan incliné.

$S_{(s)}$: Rayonnement direct arrivant normalement sur un plan incliné.

$D_{ciel-(s)}$: Rayonnement diffus provenant du ciel, reçu sur un plan incliné.

$D_{sol-(s)}$: Rayonnement diffus provenant du sol, reçu sur un plan incliné.

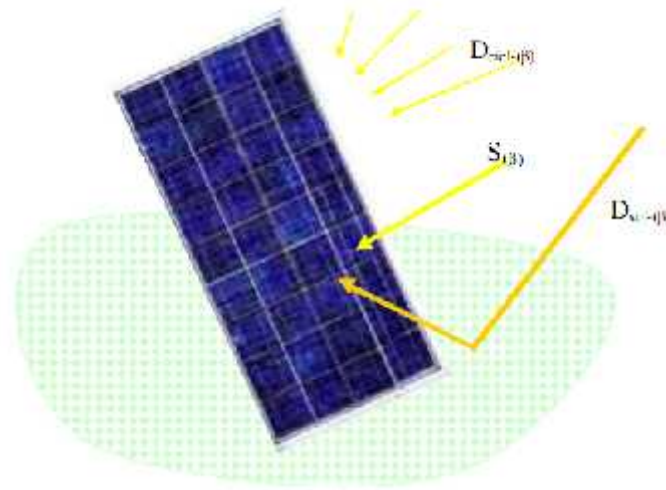


Fig 3.14: Schématisation des composantes du rayonnement.

Solaire reçu par un plan incliné. [37]

En tenant compte de l'inclinaison du plan récepteur incliné, le rayonnement direct reçu par le plan incliné est estimé comme suit:

$$S_{(s)} = I_{hor} \cdot R_b \quad (3-27)$$

Où,

I_{hor} : étant le rayonnement direct sur un plan horizontal ; équation (3-19)

R_b : est une fonction purement géométrique qui désigne le rapport entre le cosinus de l'angle d'incidence (θ) du rayonnement sur le plan incliné et le sinus de la hauteur du soleil, qui fait apparaître l'effet d'orientation du plan incliné, de la latitude du lieu de la date et l'heure de la journée, ce rapport désigné par R_b est appelé facteur d'inclinaison du rayonnement direct [],

Pour une surface au sud, exprimé par la relation suivante 3-28 :

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\sin h} = \frac{\cos(\theta - S) \cdot \cos u \cdot \cos \tilde{S} + \sin(\theta - S) \cdot \sin u}{\cos \theta \cdot \cos u \cdot \cos \tilde{S} + \sin \theta \cdot \sin u} \quad (3-28)$$

D'autre part le rayonnement isotrope venant de toutes les directions en provenance du ciel, sur un plan incliné est de la forme 3-29:

$$D_{ciel-(s)} = D_{hor} \cdot \left(\frac{1 + \cos S}{2} \right) \quad (3-29)$$

Finalement, la part du rayonnement réfléchi en provenance du sol et reçu par le plan incliné s'écrit à l'équation suivante 3-30:

$$D_{sol-(s)} = (I_{hor} \cdot \sinh + D_{hor}) \cdot \left(\frac{1 - \cos S}{2} \right) \dots \quad (3-30)$$

Où,

S : étant l'angle d'inclinaison par rapport à l'horizontal.

... : étant la réflectivité moyenne du sol avoisinant au plan incliné, caractérisé par un coefficient désigné par l'albédo du sol tableau (3.7) :

Tableau 3.7: Albédo moyen de quelque type de sols les plus fréquents

Nature du sol	Réflectivité moyenne (Albédo moyen)
Terre labourée	0,2
Herbages verts	0,25
Herbe sèche	0,2
Champs cultivé	0,15
Forêts	0,15
Déserts	0,3
Sable sec	0,25
Cailloux	0,2
Villes	0,15
Bitume	0,15
Ciment, Béton, Graviers	0,25
Pierre	0,2
Calcaire	0,45
Peinture blanche, chaux	0,8
Peinture noire	0,05
Neige fraîche	0,8
Neige ancienne	0,6
Lac, mer calme (hauteur soleil > 30°)	0,05

III.5.2 Modèle de Liu et Jordan sur une surface quelconque:

A partir de l'éclairement direct et diffus sur un plan horizontal, on peut calculer l'éclairement solaire sur un plan incliné, Le rayonnement global arrivant sur une surface inclinée est composé de trois composantes [30] :

Direct, diffus isotrope et diffus provenant du ciel.

Le rayonnement global sur un plan incliné est donné par l'équation suivante 3-31 :

$$g_s = s_s + d_{is} + d_{cs} \quad (3-31)$$

➤ 1- Le rayonnement direct sur un plan incliné s_s :

$s_s = s_h \cdot R_b$ Ou R_b est le facteur d'inclinaison du rayonnement est s_h est le rayonnement direct sur un plan horizontal.

$$\left\{ \begin{array}{l} s_h = A \cdot \sinh \cdot \exp \left[\frac{-1}{C \cdot \sin(h+2)} \right] \end{array} \right. \quad (3-32)$$

$$R_b = \frac{\cos(\{ - S). \cos.u. \cos \tilde{S} + \sin(\{ - S). \sin u}{\cos \{ . \cos u. \cos \tilde{S} + \sin \{ . \sin u} \quad (3-33)$$

Où A, B et C sont des constantes qui tiennent compte de la nature du ciel, données d'après le tableau 3.8 suivant :

Tableau 3.8: Constantes de la nature de ciel. [37]

Nature du Ciel	A	B	C
Ciel très pur (très clair) [CC]	1300	87	6
Ciel Moyen [CM]	1230	125	4
Ciel Pollué [CP]	1200	187	5

2- Le rayonnement diffus isotrope d_{is} sur un plan incliné :

$$d_{is} = g_h \left(\frac{1 - \cos i}{2} \right) \dots \quad (3-34)$$

Où g_h : est le rayonnement global sur un plan horizontal

... : est l'albédo du sol

➤ 3- Le rayonnement diffus par le ciel d_{cs} sur un plan incliné :

$$d_{cs} = g_h \left(\frac{1 + \cos S}{2} \right). \quad (3-35)$$

Les deux composantes de rayonnement solaire global sur un plan horizontal, sont estimées comme suit :

- Rayonnement direct : $s_h = A. \sinh. \exp \left[\frac{-1}{C. \sin(h+2)} \right] \quad (3-36)$

- Rayonnement diffus : $d_h = B. (\sinh)^{0,4} \quad (3-37)$

III.5.3 Modèle de Capderou:

Modèle de Capderou Le modèle de Capderou utilise le trouble atmosphérique pour estimer les composantes directe et diffuse de l'éclairement reçu sur un plan incliné. L'absorption et la diffusion provoquées par les constituants de l'atmosphère sont représentées par des facteurs de troubles. A partir de ces facteurs, on peut formuler les éclairements direct et diffus par ciel clair.

Le facteur de trouble atmosphérique de linke T_L représente le nombre d'atmosphères idéales qui, si elles étaient superposées, entraîneraient la même atténuation que l'atmosphère réelle. L'avantage du facteur de linke est d'exprimer les divers paramètres, tels que la vapeur d'eau atmosphérique et les aérosols en un seul indice facile à utiliser [3-38].

Capderou pour son modèle estime le facteur de trouble de linke en fonction des propriétés climatiques locales du site ainsi que de la hauteur du soleil. Il est représenté par la somme des trois facteurs de trouble auxiliaires [31]

$$T_L = T_1 + T_2 + T_3 \quad (3-38)$$

Ou,

T_1 = est le trouble dû à l'absorption gazeuse tant par les constituants fixes de l'atmosphère que par l'ozone et surtout par la vapeur d'eau. Pour le calcul de ce facteur, Capderou a proposé l'expression suivante (3-39) :

$$T_1 = 2,4 - 0,9 \sin \left\{ + 0,1 \cdot (2 + \sin \{ \}) \cdot A_h - 0,2 \cdot z - (1,22 + 0,14 A_h) \cdot (1 - \sin h) \right\} \quad (3-39)$$

Où ;

$$A_h = \sin \left[\left(\frac{360}{356} \right) \cdot (Nj - 121) \right] \quad \text{Représente la variation saisonnière (degré)} \quad (3-40)$$

T_2 : est le trouble correspondant à l'absorption par les gaz de l'atmosphère (O_2, CO_2, O_3) et à la diffusion moléculaire de Rayleigh donné par :

$$T_2 = (0,89)^z \quad (3-41)$$

Z : est l'altitude de du lieu.

T_3 = est le trouble relatif à la diffusion par les aérosols contenue dans l'atmosphère.

Il est obtenu par la relation suivante :

$$T_3 = (0,9 + 0,4 \cdot A_h) (0,63)^z \quad (3-42)$$

✓ **Eclairement global reçu sur un plan horizontal par ciel clair :**

Dans L'atlas Solaire de l'Algérie (A.S.A) [31], Capderou ; selon la préface de C.Perrin de Brichambaut, présente un modèle mathématique pour estimer le rayonnement direct et diffus sur un plan horizontal [31] :

Le rayonnement direct incident sur un plan horizontal S_H par ciel clair, en fonction de la hauteur du soleil (h) est du facteur de trouble total de Link (T_L), est donné par la relation :

$$S_H = I_0 C_{t-s} \sin(h) \cdot \exp \left[\frac{-T_L}{0,9 + \frac{9,4}{(0,89)^z} \cdot \sin(h)} \right] \quad (3-43)$$

Ou,

I_0 : Constante solaire (W/m^2) ;

$$C_{t-s} = 1 + 0,033 \cdot \cos \left(\frac{360}{365} \cdot nj \right) \quad \text{La correction de la constante solaire.} \quad (3-44)$$

z : Altitude du lieu (Km)

h : La hauteur du soleil,

T_L : facteur de trouble atmosphérique de Linke par ciel clair, donné par la relation [3-38].

Pour estimer le rayonnement diffus, **Capderou** emploie le facteur de trouble diffusif

($T'_L = T_L - T_1$) et propose en 1987, l'expression (3-45) fonction de la hauteur du soleil (h) []

$$D_H = C_{sj} \cdot \exp \left[-1 + 1,06 \cdot \log(\sin(h)) + a - \sqrt{a^2 + b^2} \right] \quad (3-45)$$

Avec,

$$a=1,1 \quad b = \log(T_L - T_1) - 2,8 + 1,02 \cdot [1 - \sin(h)]^2 \quad (3-46)$$

L'éclairement global incident sur un plan horizontal G_H est par conséquent la somme des rayonnements.

$$G_H = S_H + D_H \quad (3-47)$$

✓ **Eclairement global reçu sur un plan incliné par ciel clair :**

Capderou propose un modèle pour estimer les différentes composantes du rayonnement solaire incident sur un plan orienté d'un angle Γ par rapport au sud et incliné d'angle S par rapport à l'horizontale, dont l'éclairement du rayonnement global qui étant la somme des deux composantes directe et diffuse du rayonnement.

Pour cela il projette l'éclairement normal en utilisant l'angle d'incidence (i) (Cet angle formé par la formule du plan avec le vecteur portant la direction du soleil

Fig 3.15 son expression est : $\cos i = \vec{n} \cdot \vec{S}$ [31]

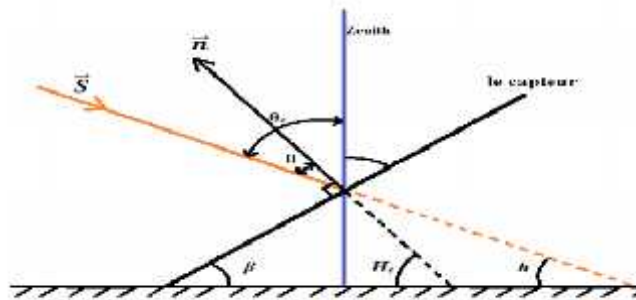


Fig 3.15: Les angles caractérisant un capteur plan incliné.

On trouve :

$$\cos i = \sin \{ \cdot \sin u \cdot \sin S - \sin u \cdot \cos \{ \cdot \sin S \cdot \cos \Gamma + \cos u \cos \{ \cdot \cos S \cdot \cos \tilde{S} + \cos u \cdot \sin \Gamma \cdot \cos S \cdot \cos \tilde{S} + \cos \{ \cdot \sin \Gamma \cdot \sin \tilde{S}$$

Pour estimer le rayonnement direct à l'aide de l'équation suivante [31].

$$S_i = C_{sj} \cdot \exp \left[\frac{-T_L}{0,9 + \frac{9,4}{(0,89)^z} \cdot \sin(h)} \right] \cdot \cos(i) \quad (3-48)$$

Dans ce modèle l'éclairement diffus incident sur un plan incliné est composé de trois parties, il est par [3-49] :

$$D_i = d_{ciel} + d_{sol} + u'_i \frac{1 - \sin(x)}{2} \quad (3-49)$$

Ou,

$\chi = 90 - S$, correspond à la hauteur du plan

S : Inclinaison du plan

d_{Ciel} : est l'éclairement diffus incident en provenance du ciel qu'on peut calculer avec la formule suivante :

$$d_{Ciel} = u_{dir} \cdot \cos(i) + u_{iso} \cdot \frac{1 + \sin(y)}{2} + u_{hor} \cdot \cos(\chi) \quad (3-50)$$

Avec,

u_{dir} : La composante directe ou circumsolaire

$$u_{dir} : C_{sj} \cdot \exp\left(-2,48 + \sin(h) + a - \sqrt{a^2 + 4b^2}\right) \quad (3-51)$$

$a=3,1-0,4.b$ avec

$$b = \log(T_L - T_1) - 2,28 - 0,5 \cdot \log(\sin(h)) \quad (3-52)$$

u_{iso} : La composante isotrope pour un ciel luminance uniforme

$$u_{iso} = D_H - u_{dir} \cdot \sin(h) \quad (3-53)$$

u_{hor} : La composante du cercle de l'horizon

$$u_{hor} = I_0 \cdot \frac{-0,02}{a^2 + a \cdot b + 1,8} \cdot \exp[\sin(h)] \quad (3-54)$$

$$a = \log(T_L - T_1) - 3,1 - \log(\sin(h)) \quad (3-55)$$

et

$$b = \exp|0,2 - 1,75 \cdot \log(\sin(h))| \quad (3-56)$$

u_{sol} : est l'éclairement diffus du sol, il est caractérisé par l'albédo du sol qui indique la réflexion de la lumière incidente, il est donné par :

$$d_{sol} = alb \cdot G_H \frac{1 - \sin(\chi)}{2} \quad (3-57)$$

alb : est l'albédo du sol

$$u'_i = 0,9 \cdot (alb - 0,2) \cdot G_H \cdot \exp\left[-\frac{4}{\sqrt{T_L - T_1}}\right] \quad (3-58)$$

L'éclairement global incident sur un plan incliné $G^*(i, \chi)$ est la somme des deux rayonnements.

$$G_i = S_i + D_i \quad (3-59)$$

III.5.4 Model de Iacis & Hansen [22]:

➤ Calcul du Rayonnement solaire global

La formule générale proposée par Lacis & Hansen pour le calcul du rayonnement solaire global sur un plan horizontal est donnée par l'équation [22].

$$G = I_{SC} \cdot \cos \theta_z \left[\frac{0.647 - \dots - \Gamma_0}{(1 - 0.0685 \dots)} + 0.353 - r_s \right] \quad (3-60)$$

I_{SC} : est la constante solaire extraterrestre calculée par

$$I_{SC}(n_j) = I_0 \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360}{365} \cdot (n_j - 3) \right) \right] \quad (3-61)$$

Avec, I_0 , la constante solaire moyenne égale à 1367 W.m^{-2} et n_j , le numéro de jour dans l'année ($n_j=1$ pour le 1^{er} janvier et $n_j=365$ pour le 31 décembre).

Où θ_z est l'angle zénithal, $\theta_z = 90^\circ - h$.

Le coefficient r_0 correspondant à l'absorption du rayonnement solaire direct par la couche d'ozone, est calculé par la relation 3-62.

$$r_0 = \frac{0.02118U_0}{1 + 0.042U_0 + 3.2310^{-4}U_0^2} + \frac{1.082U_0}{(1 + 138.6U_0)^{0.805}} + \frac{0.0658U_0}{1 + (103.6U_0)^3} \quad (3-62)$$

Où, U_0 , l'équation de couche d'ozone corrigée par le trajet optique du rayonnement solaire à travers cette couche et définie par :

$$U_0 = 1 \cdot m_r \quad (3-63)$$

Où, m_r représente la quantité d'ozone à la verticale du lieu (épaisseur de la couche d'ozone réduite (cm) 3-65[]

$$1 = \left\{ 235 + \left[15 + 40 \sin(0.9856 (n_j - 30)) + 20 \sin(3L) \right] \left[\sin^2(1.28 \{ \}) \right] \right\} / 1000 \quad (3-64)$$

L et $\{$ sont respectivement la longitude de lieu.

r_w , représente le coefficient d'absorption du rayonnement direct par la vapeur d'eau, est donné par l'équation 3-65

$$\{ = \frac{2.9X_w}{(1 + 141.5X_w)^{0.635} + 5.925X_w} \quad (3-65)$$

X_w est l'épaisseur d'eau condensable corrigée par trajet optique du rayonnement à travers cette couche, donnée par 3-66

$$X_w = m_a \cdot U_w \quad (3-66)$$

U_w est l'épaisseur d'eau condensable à la verticale de lieu (cm). Elle donnée par l'équation 3-67.

$$U_w = \frac{0.493}{T} HR \cdot \exp \left(26.23 - \frac{5416}{T} \right) \quad (3-67)$$

Avec, m_a la masse d'air corrigé exprimée par 3-68 :

$$m_a = m_r \left(\frac{P}{1013} \right)^{0.75} \cdot \left(\frac{273}{T} \right)^{0.5} \quad (3-68)$$

P est la pression atmosphérique (mbar). Elle peut calculée à partir de [22] :

$$P = P_0 \exp(-0.0001184 \cdot z) \quad (3-69)$$

P_0 est la pression atmosphérique au niveau de la mer ($P_0=1013$ mb)

L'altitude de site (m), par rapport au niveau de la mer ; la température ambiante(K) et HR, l'humidité relative(%).

III.6 Programme de Calcul:

Le rayonnement solaire globale (G) reçue par un capteur incliné de β par rapport à un plans horizontal est composée de deux rayonnement, direct(S) et diffus(D). Ses rayonnements varient aléatoirement en fonction de la hauteur du soleil, l'angle d'incidence, des intempéries de l'état de visibilité de l'atmosphère .le calcul de ces rayonnement est très compliqué, on utilise des méthodes approchées.

Pour l'Algérie la méthode empirique de **PERRIN DE BRICHAMBAUT** donne de bons résultats pour l'estimation de l'énergie reçue par un capteur. [27]

Pour cela on a élaboré un organigramme de calcul du rayonnement solaire sur un plan pour la région d'el-Oued . Il peut estimer le rayonnement solaire global à n'importe quel instant et dans n'importe quel endroit. On a fait l'application des formules de **PERRIN DE BRICHAMBAUT** concernant le rayonnement solaire global.

En utilisant le logiciel Matlab on a pu estimer l'énergie solaire rayonnante pour une journée précise de l'année et pour des conditions climatiques données.

Le modèle de **PERRIN DE BRICHAMBAUT** donnant le rayonnement global est présenté par la formule précédente [3-4.1] :

Les caractéristiques de site d'El-Oued sont données par les grandeurs météorologiques Suivantes :

Tableau 3.9: Caractéristiques de site d'El-Oued.

Le Site	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude z(m)	Albédo
El-Oued	33.5	+6.8	70	0,3

La simulation de l'énergie instantanée et journalière incidente sur le site d'El-Oued, est basée sur un champ modèle dérivé des modèle empirique de P.De BRICHAMBOU et les différent états du ciel.

La connaissance de cette énergie à chaque instant de la journée et de l'année permet l'analyse fine de système de captation.

Un programme informatique a été développé pour simuler rayonnement solaire .

Le programme est écrit en langage MATLAB 5.3, qui comporte les étapes suivantes:

- 01^{ème} étape : introduction des données :
 - Les Paramètre géographiques de Cite d'El-Oued
 - L'angle inclinaison
 - Les coordonnées solaires (Latitude du lieu, nombre de jour et le type de ciel)

- 02^{ème} étape :
 - Calculer de l'heure du lever et du coucher du soleil ;
 - Calculer de la déclinaison u et de l'angle solaire S
- 03^{ème} étape :
 - Calcul du rayonnement Direct, diffus et global
- 04^{ème} étape : Imprimé les résultats

Pour mieux comprendre l'enchaînement des étapes de calculs qui ont été suivis dans ce travail, on a élaboré un algorithme qui permet de simuler en premier lieu le gisement solaire par deux modèles semi-empiriques de **PERRIN DE BRICHAMBAUT**, Fig 3.16

3.7 Conclusion:

Les modèles de rayonnement solaire sont élaborés en fonction des données disponibles. La durée d'insolation a été la première donnée exploitée vue la facilité de sa disponibilité.

Beaucoup de modèles pour estimer le rayonnement solaire global, diffus et direct à partir de la durée d'insolation des valeurs moyennes mensuelles, des valeurs moyennes journalières ou horaires d'irradiation moyennant plusieurs paramètres climatologiques. Les données satellitaires fournissent des informations sur la couverture nuageuse, le paramètre le plus important pour l'atmosphère.

L'étude de l'aspect énergétique du rayonnement solaire est caractérisée par la modélisation du flux solaire incident basé sur les modèles semi-empiriques de **Perrin de Brichambaut** et de Liu-Jordan. À travers ces modèles en utilisant le logiciel Matlab, pour estimer le rayonnement solaire de site d'El-oued, à l'exception de l'état où le ciel est clair.

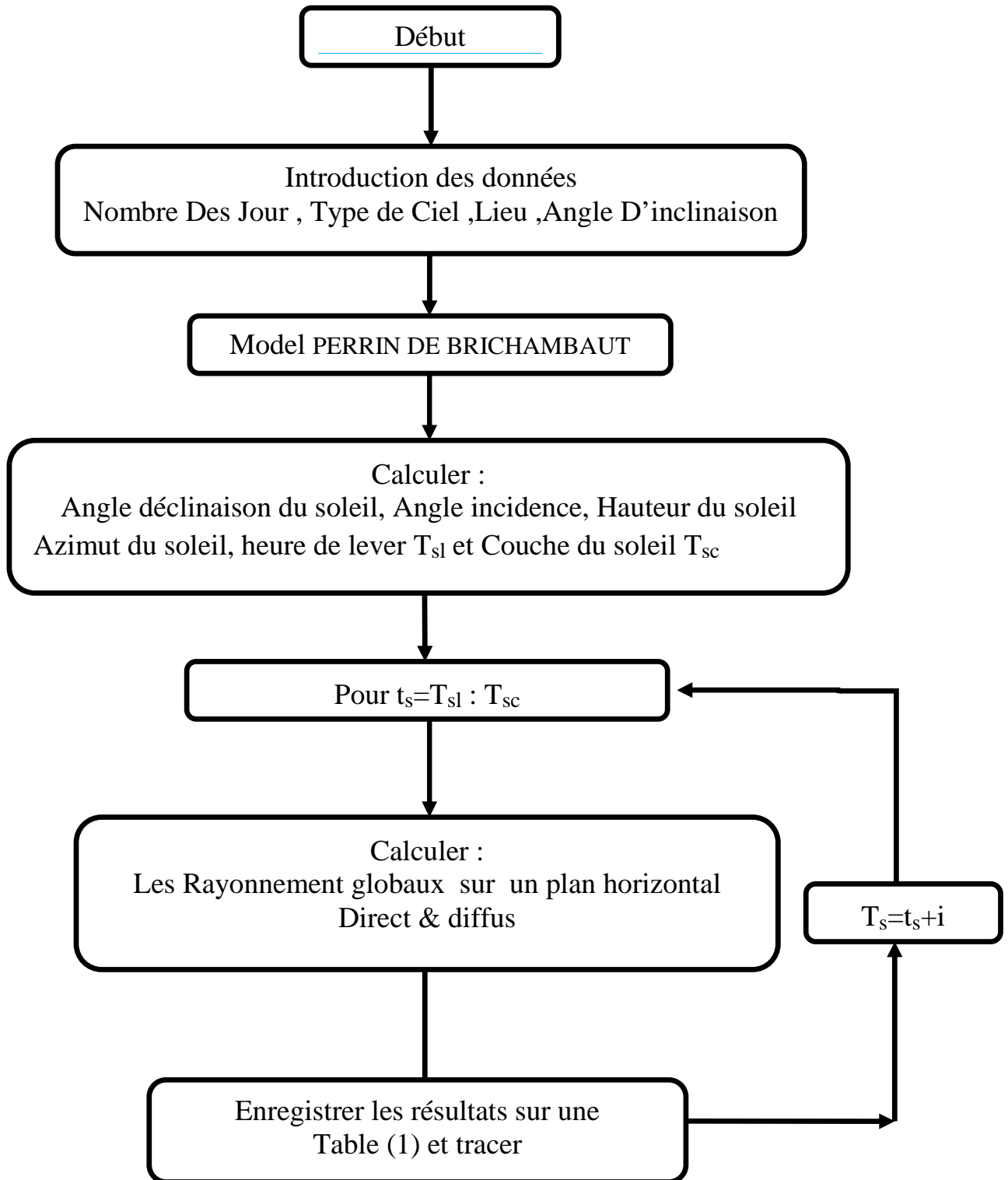


Fig 3.16: Algorithme de simulation.
(Model de PERRIN DE BRICHAMBAUT)

Chapitre IV. Résultats et discussion

(Application sur le modèle de Modèle de PERRIN DE BRICHAMBEAUT)

IV.1 Introduction:

Pour calculer le rayonnement solaire global du lever au coucher du soleil, un algorithme a été développé qui peut simuler le rayonnement solaire par le modèle semi-empirique PERRIN DE BRICHAMBEAUT. Le rayonnement mondial a été calculé dans des conditions de ciel clair pour le 21ème jour du mois suivant: mars, juin, septembre et décembre dans les régions d'El-Oued et dans cette chapitre nous allons présenter l'ensemble des résultats issus de la simulation numérique à l'aide d'un programme numérique que nous avons développé sous le code de calcul Matlab[39],

IV.2 Moyenne mensuelle et annuelle de l'irradiation globale:

Le gisement solaire est exprimé par les sommes annuelles du rayonnement solaire global sur un plan horizontal. L'Algérie est le premier pays d'Afrique par sa superficie, plus des quatre cinquièmes de leur territoire sont désertiques et possède une source énergétique très importante de part de sa situation géographique. La durée annuelle du rayonnement solaire sur la quasi-totalité du territoire national dépasse 2000 heures, où peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). La Fig (4.1) montre la moyenne annuelle de l'irradiation globale reçue sur une surface horizontale, période 1992-2002 dans le territoire national [39].

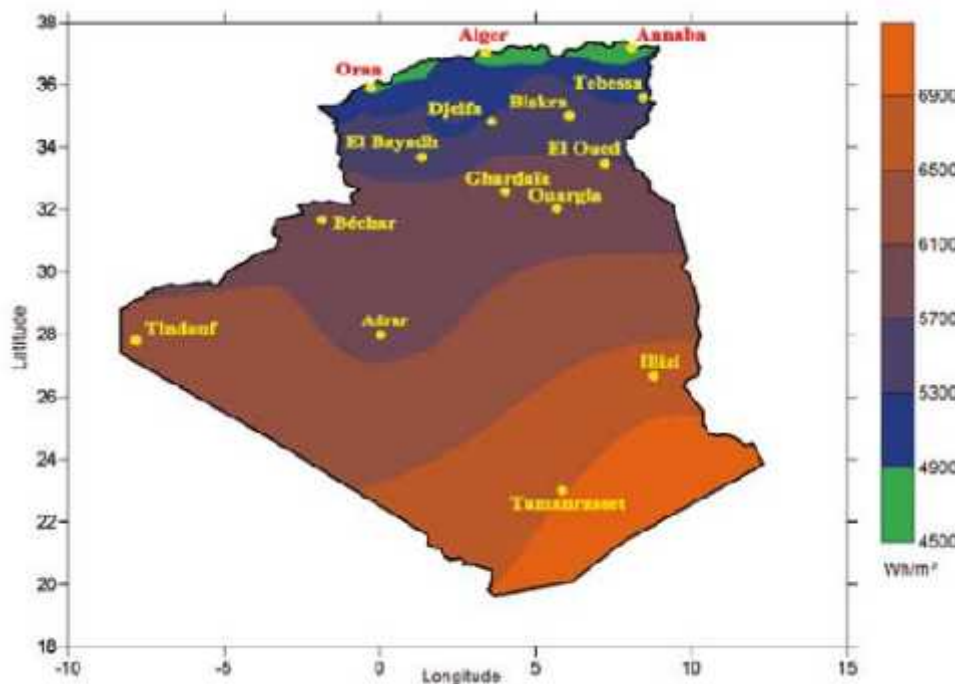


Fig 4.1: Moyenne annuelle de l'irradiation globale reçue sur une surface horizontale[40].

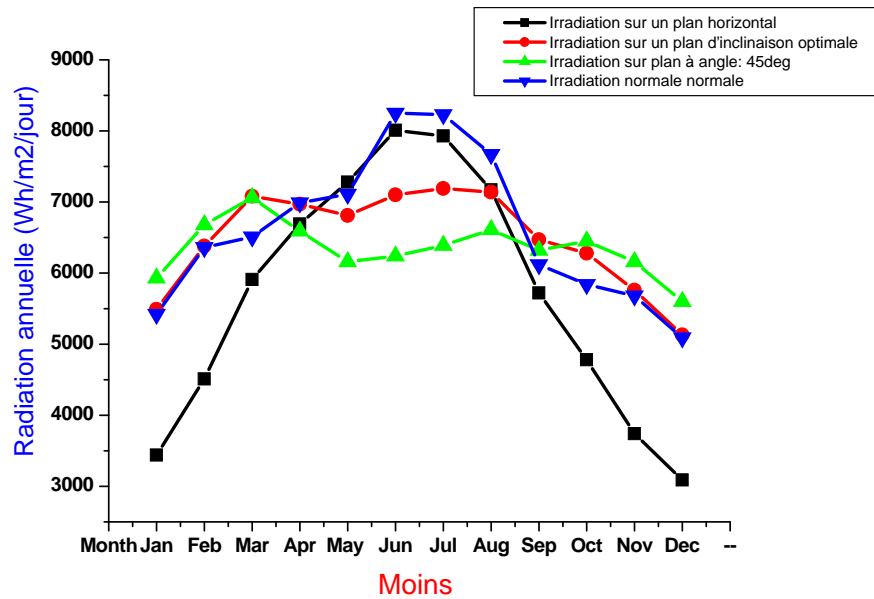


Fig 4.2: Moyenne Annuelle de l'irradiation globale site d'El-oued 2005[31].

Nous voyons que le plus grand rayonnement solaire est au mois de juillet (8566.7 wh/m²) et qui représente le plus grand nombre d'heures d'insolation (11.30h) ; Alors que la plus faible valeur du rayonnement solaire est dans le mois de Décembre (3088.4 wh/m²) avec une plus faible valeur pour le nombre d'heures d'insolation (5.08 h) Fig(4.2)

Donc on peut dire que l'irradiation globale est directement proportionnelle aux moyennes mensuelles des insolation.

IV.3 Le rayonnement globale:

La variation du rayonnement solaire global dépend en particulier des coordonnées géographiques de l'emplacement considéré et du nombre de jours de l'année. Les résultats sont simulés d'un lever du soleil à un coucher de soleil, le rayonnement recueilli varie proportionnellement à l'heure et la variation enregistrée en raison de la position du soleil pendant la journée. Ainsi, l'objectif principal de ce programme est de calculer la quantité de rayonnement solaire pour estimer la quantité d'énergie reçue par les collecteurs solaires (en particulier les collecteurs solaires plats). Choisissez simplement la journée, le mois, le type de ciel, la latitude de l'emplacement et l'angle d'inclinaison. Les résultats donneront les valeurs globales de rayonnement sous forme graphique.

Après avoir introduit les données du site, les atouts de l'évolution du rayonnement solaire global ont été tracés, ces radiations sont reçues par une surface inclinée (ou un plan) avec un angle d'inclinaison égal à la latitude du site sélectionné. Les résultats des quatre jours typiques "21 mars, 21 juin, 21 septembre et 21 décembre (correspondent aux solstices et équinoxes)" dans les Figs suivantes (4) [-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18]

IV.3.1 Variation du rayonnement solaire en fonction du TSV Site D'El-Oued le 21 Mars:

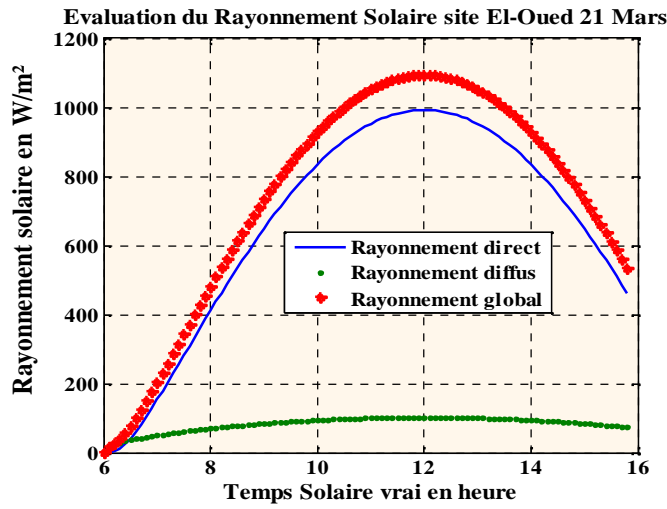


Fig 4.3: Rayonnement Journalier Ciel Très clair (CTC).

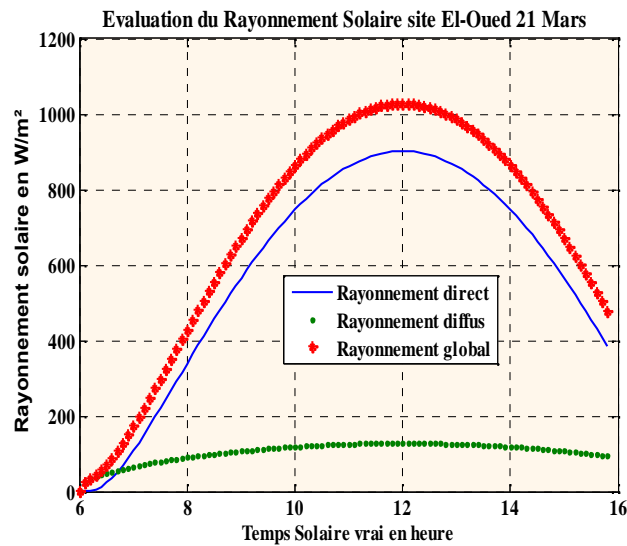


Fig 4.4: Rayonnement Journalier Condition normale de Ciel Clair (CNCC).

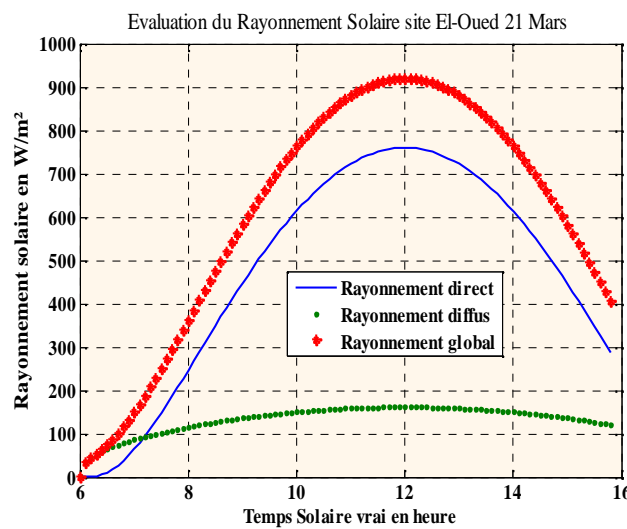


Fig 4.5: Rayonnement Journalier Ciel Clair Pollué (CCP).

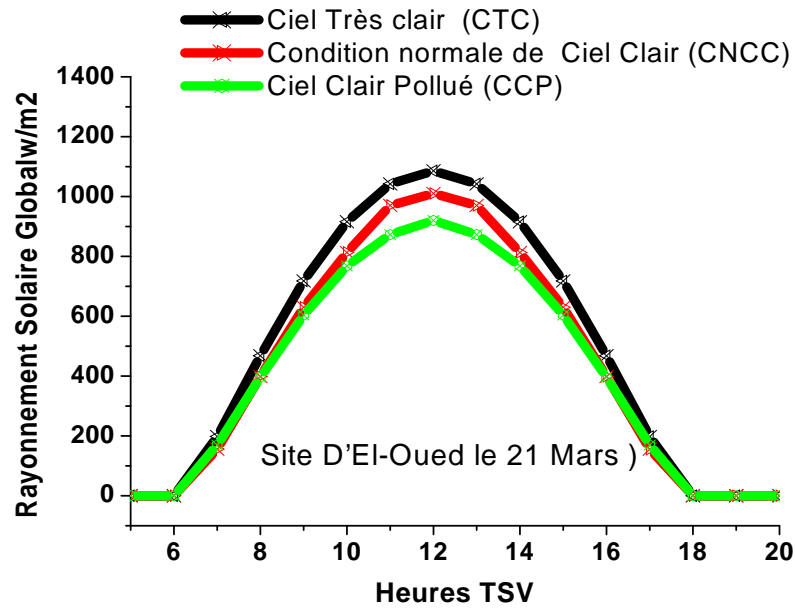


Fig 4.6: les différent diagramme de Rayonnement Solaire Global Site d'El-Oued (CTC,CNCC,CCP).

Interprétation des courbes:

Nous pouvons constater que la valeur de rayonnement global (G) varie entre 1000 et 1200 w/m^2 au midi TSV pour les trois cas atmosphériques Fig (4.3), Fig(4.4;) et la valeur de rayonnement direct (S) varie entre 800et 1200 (Fig 4.6),cependant, pour le rayonnement diffus (D) (Fig 4.5) à valeur maximale correspondant au ciel pollué est environ de 180 w/m^2 et la minimale pour un ciel très clair est moyen égale à 80 w/m^2 .

IV.3.2 Variation du rayonnement solaire en fonction du TSV Site D'El-Oued le 21 Juin:

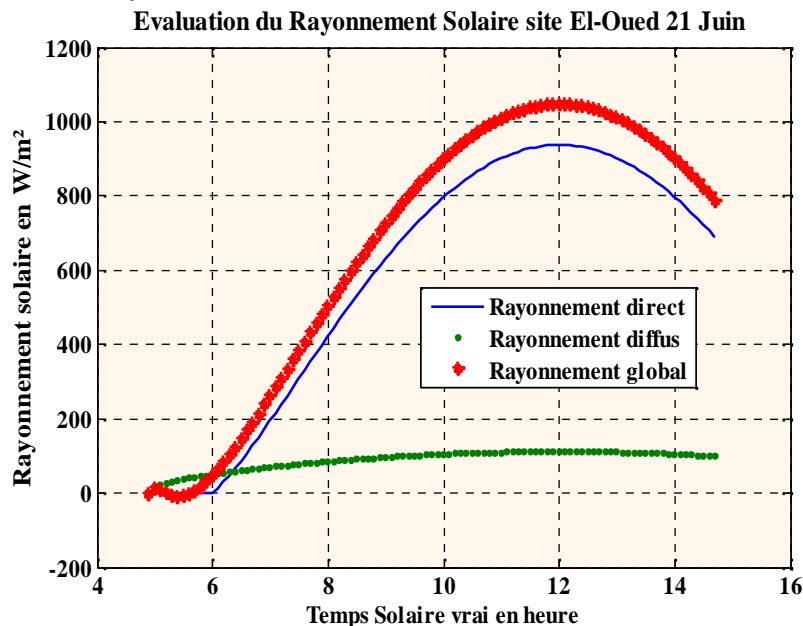


Fig 4.7: Rayonnement Journalier Ciel Très clair (CTC).

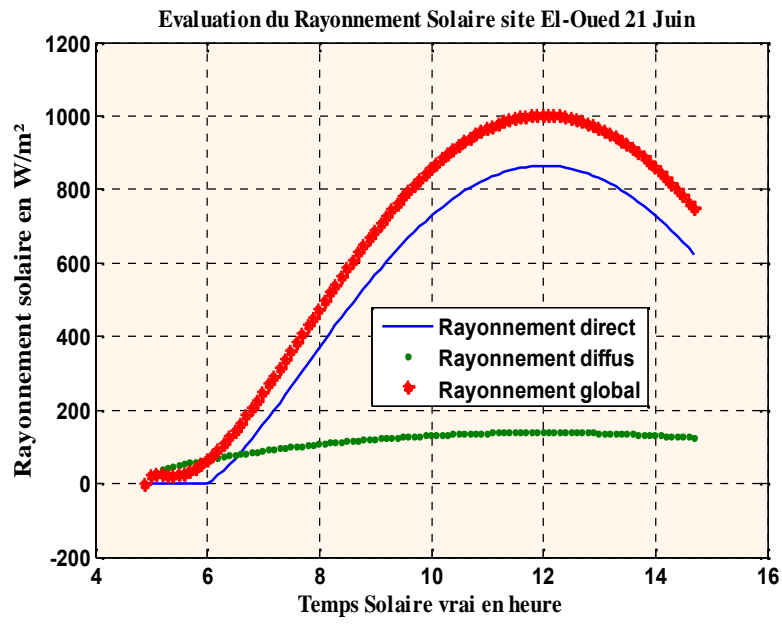


Fig 4.8: Rayonnement Journalier Condition normale de Ciel Clair (CNCC).

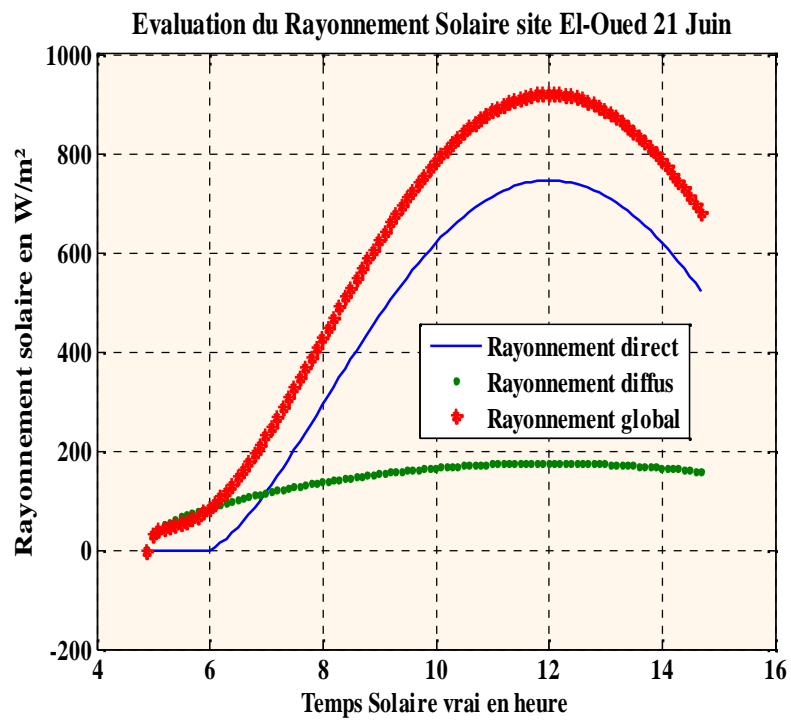


Fig 4.9: Rayonnement Journalier Ciel Clair Pollué (CCP).

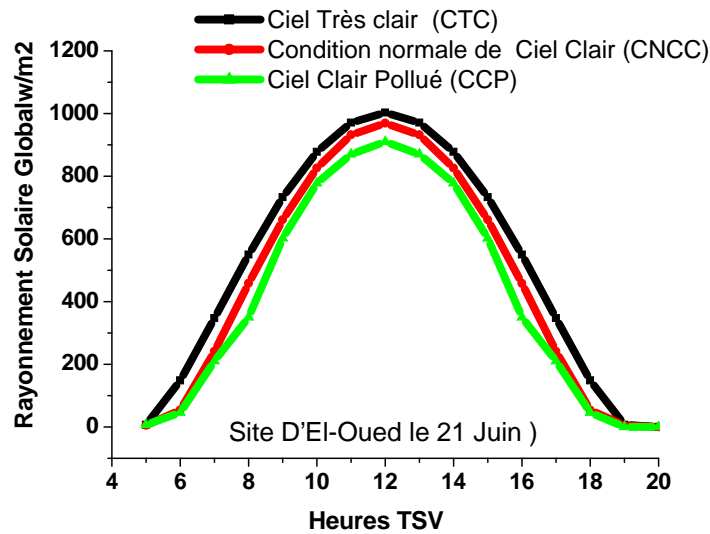


Fig 4.10: Rayonnement Solaire Global Site d’El-Oued (CTC, CNCC, CCP).

Interprétation des courbes:

On représente les courbes des Figs(4.7), Fig (4.8), Fig(4.9) qui traduisent la variation des rayonnements global (G), direct (D) et diffus (S) durant le journée 21 juin,

Le rayonnement a été calculé pour les trois cas des conditions du ciel (CTC, CNCC, CCP), mais dans la simulation on suppose que le ciel est très clair dans le site d’El-Oued. On remarque que la journée 21 juin le rayonnement global est maximale au midi solaire vrai qui peut atteindre 1000 W/m² (Fig4.10).

IV.3.3 Variation du rayonnement solaire en fonction du TSV Site D’El-Oued le 21 Septembre:

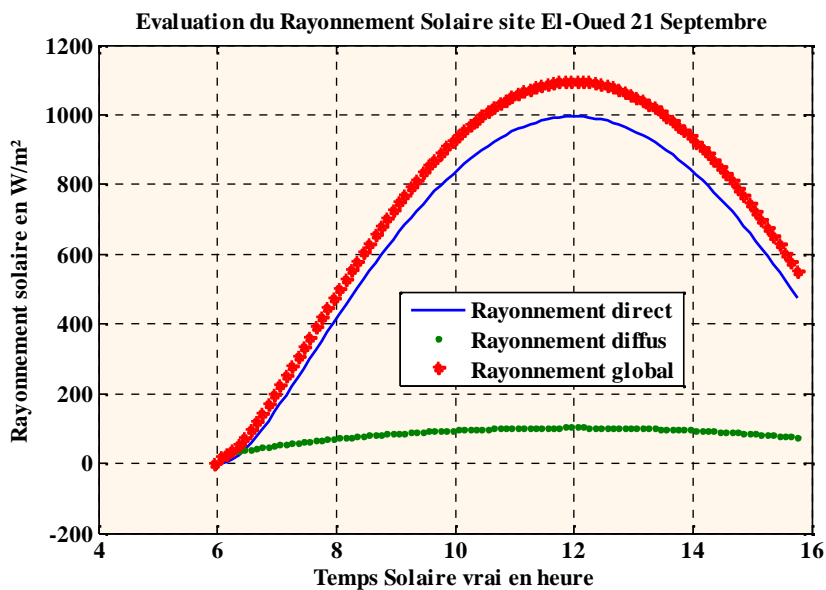


Fig 4.11: Rayonnement Journalier Ciel Très clair (CTC).

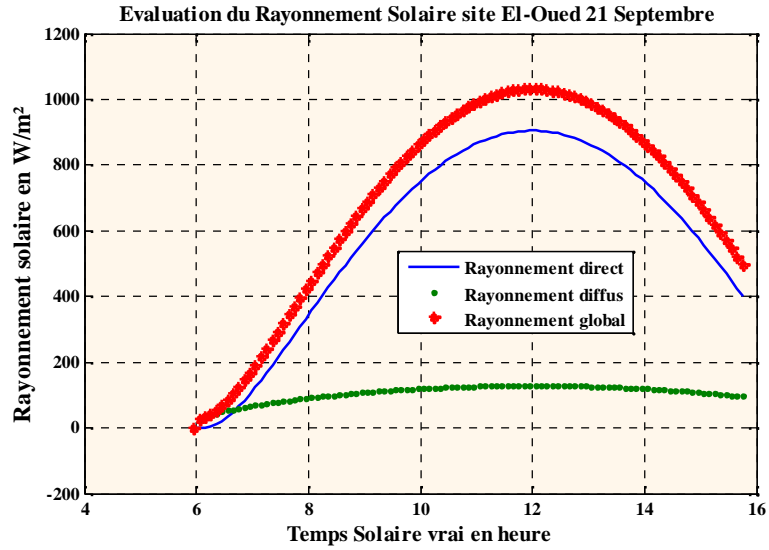


Fig 4.12: Rayonnement Journalier Condition normale de Ciel Clair (CNCC).

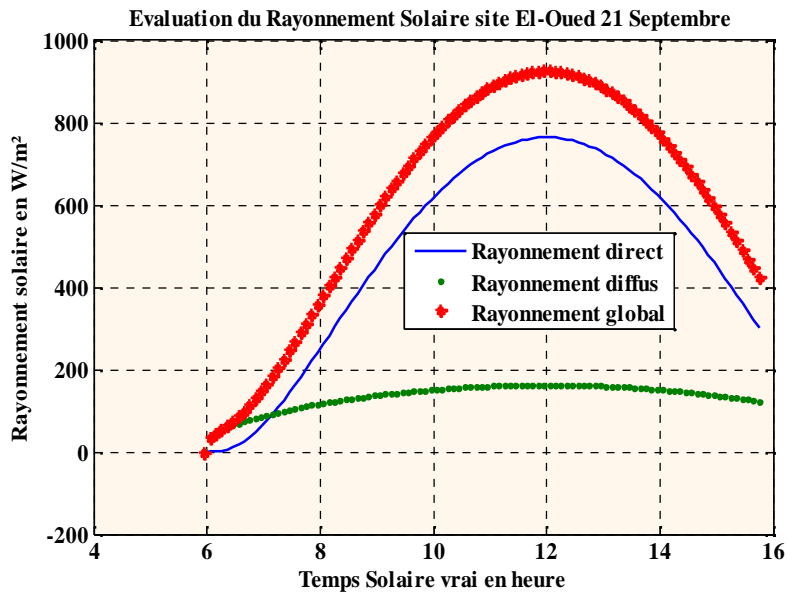


Fig 4.13: Rayonnement Journalier Ciel Clair Pollué (CCP).

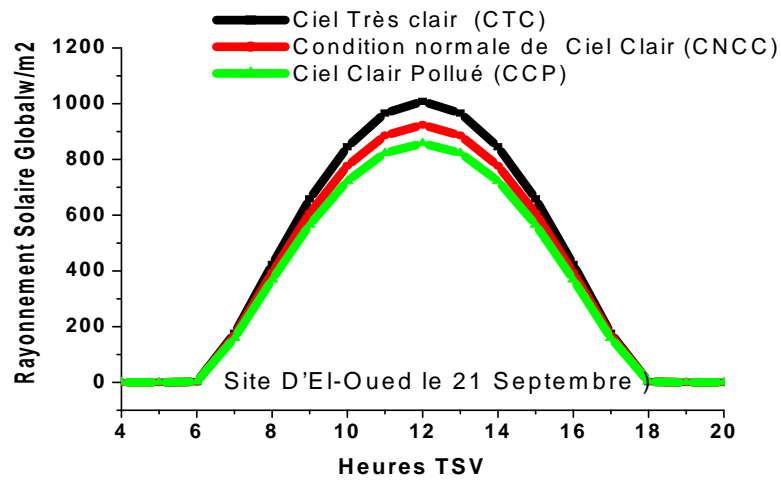


Fig 4.14 : Rayonnement Solaire Global Site d'El-Oued (CTC, CNCC, CCP).

Interprétation des courbes:

On représente les courbes des Figs (IV.11), (4.12), (4.13) qui traduisent la variation des rayonnements global (G), direct (D) et diffus (S) durant la journée 21 Septembre,

Le rayonnement a été calculé pour les trois cas des conditions du ciel (CTC, CNCC, CCP), mais dans la simulation on suppose que le ciel est très clair dans le site d’El-Oued. On remarque que la journée 21 septembre le rayonnement global est maximale au midi solaire vrai qui peut atteindre 1100 W/m² (Fig4.14), et la valeur de rayonnement direct (D) de ciel (CCP) varie entre 180et 200 W/m² (Fig 4.13).

IV.3.4 Variation du rayonnement solaire en fonction du TSV Site D’El-Oued le 21 Décembre:

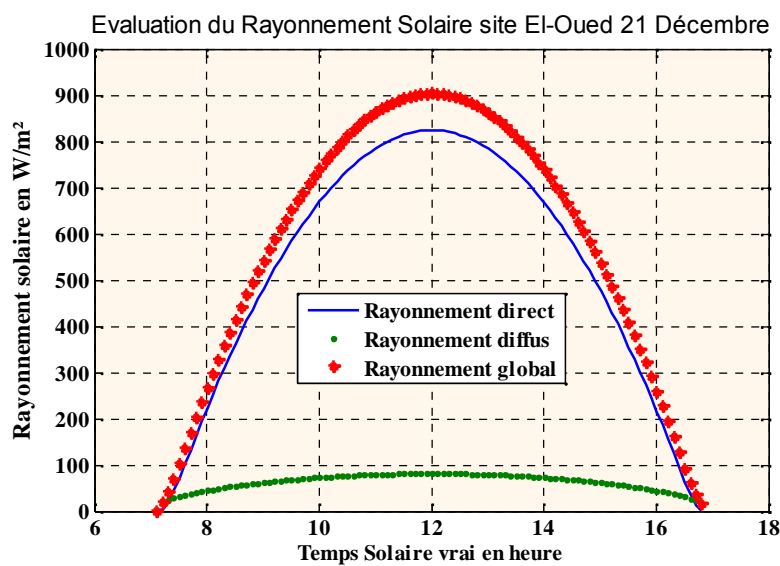


Fig 4.15 : Rayonnement Journalier Ciel Très clair (CTC).

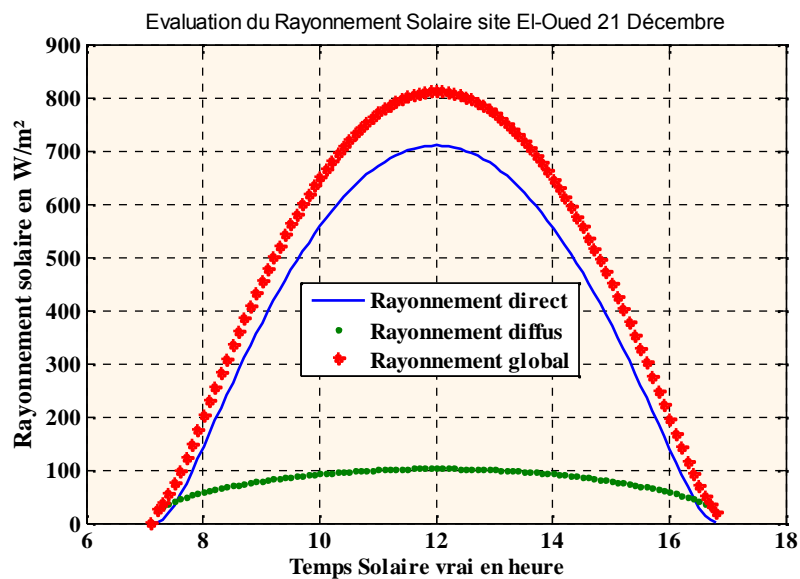


Fig 4.16: Rayonnement Journalier Condition normale de Ciel Clair (CNCC).

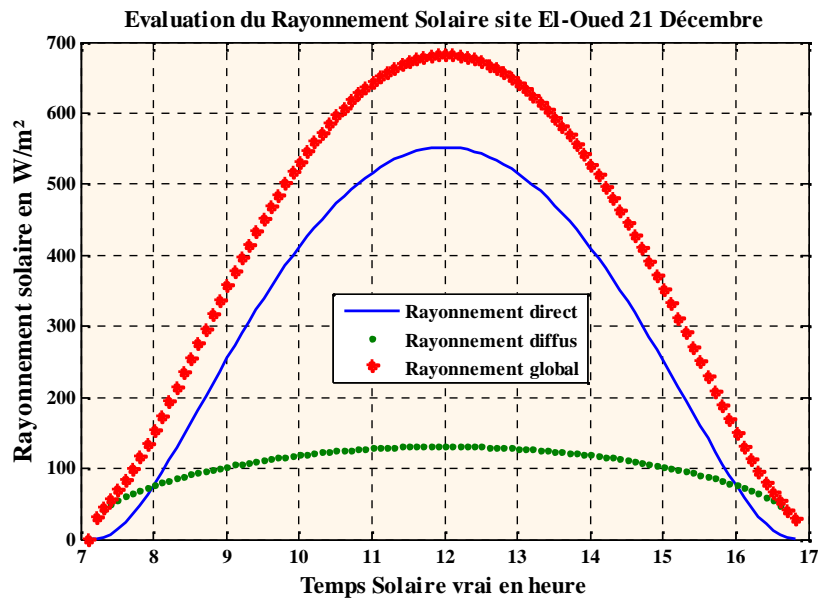


Fig 4.17: Rayonnement Journalier Ciel Clair Pollué (CCP).

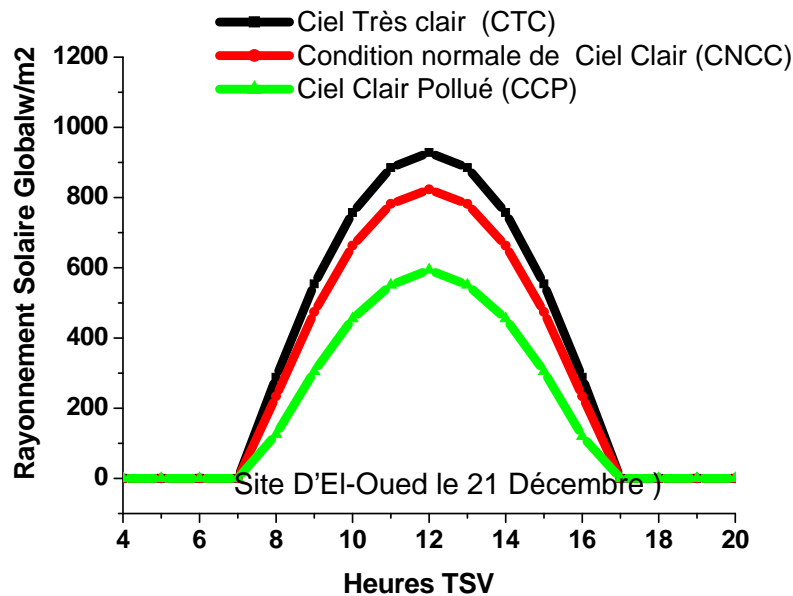


Fig 4.18: Rayonnement Solaire Global Site d'El-Oued (CTC, CNCC, CCP).

🌈 Interprétation des courbes:

On représente la courbe de Fig (4.18) qui traduit la variation des rayonnements globaux avec les types de ciel (CTC, CNCC, CCP) de 21 décembre.

Durant la journée 21 décembre l'examen des courbes de la variation du rayonnement solaire diffus (4.15),(4.16),(4.17) en fonction du temps solaire vrai (07h-17h) montre que les valeurs obtenues de ciel (CTC) qui peut atteindre 900 W/m² et de ciel (CNCC) qui atteint 840 W/m², puis pour le ciel (CCP) varie entre 500 et 600 W/m².

IV.4 Validation de programme:

Afin de vérifier la fiabilité des résultats générés par le modèle de **Perrin de Brichambaut** de site d'El-oued avec d'autres travaux de recherches numériques et expérimentaux, on a entamé une étude comparative entre les résultats calculés par les deux sites ont été choisis centre en Algérie :

- ✓ Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, URAER, Ghardaïa
- ✓ Centre de Développement des Energies Renouvelables CDER -Alger-Bouzaréah.

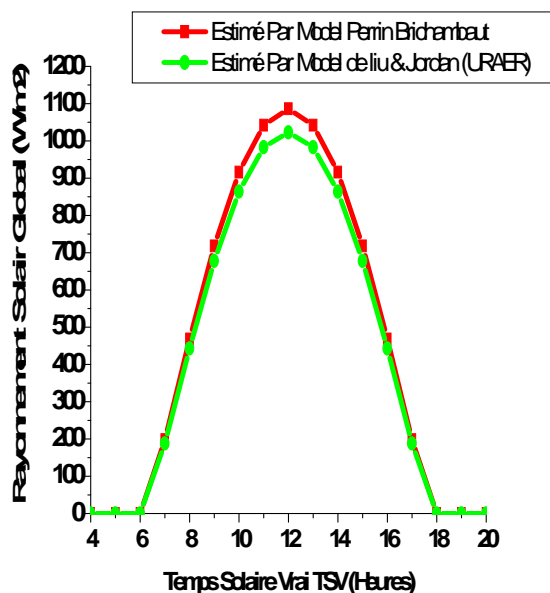
Les résultats affichés par l'application informatique relativement au rayonnement solaire global des quatre jours typiques "21 mars, 21 juin, 21 septembre et 21 décembre.

IV.4.1 Rayonnement solaire global (URAER, Ghardaïa):

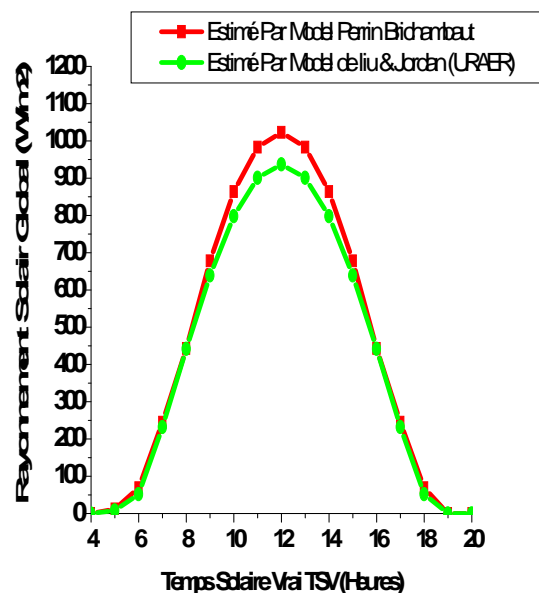
Nous avons confronté quelques valeurs du rayonnement solaire fournies par le travail de centre de développement des énergies renouvelables URAER unité de Ghardaïa,

'M.R. Yaïche1, S.M.A. Bekkouche [03]' (*Estimation du rayonnement solaire global en Algérie pour différents Types de ciel*) pour site d'El -Oued avec des valeurs délivrées par le logiciel développé et calculé par le modèle (LIU et JORDAN).

A) 21 Mars (Site d'El-Oued) Ciel Clair



B) 21 Juin (Site d'El-Oued)



C) 21 Septembre (Site d'El-Oued)

D) 21 Décembre (Site d'El-Oued)

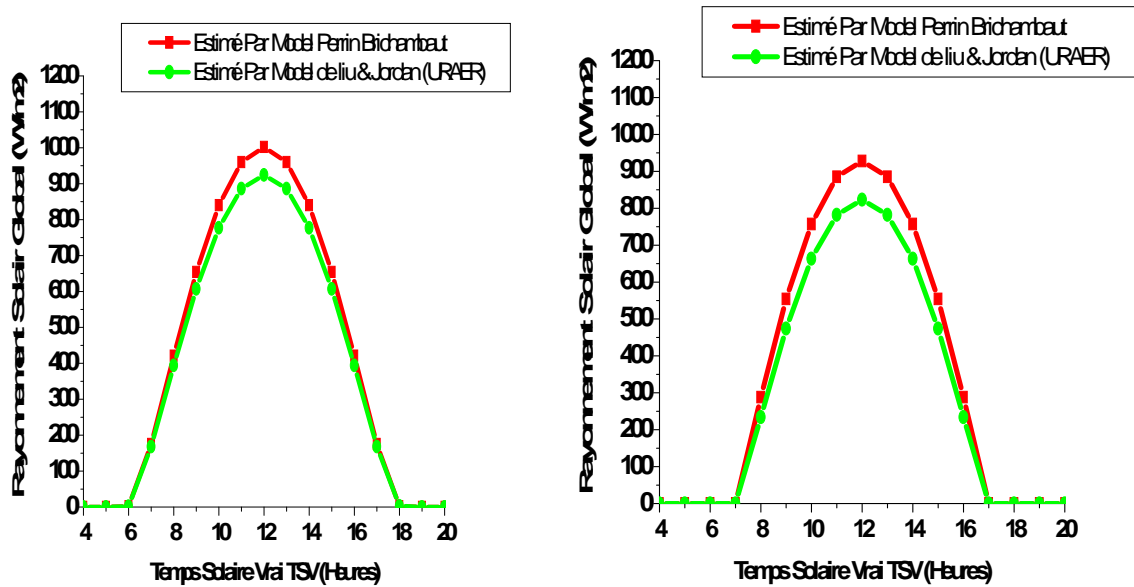


Fig 4.19 : Comparaison par deux Model du rayonnement solaire global de Site d'El-Oued (A, B, C, D)

IV.4.2 Rayonnement solaire global (CDER -Alger-Bouzaréah):

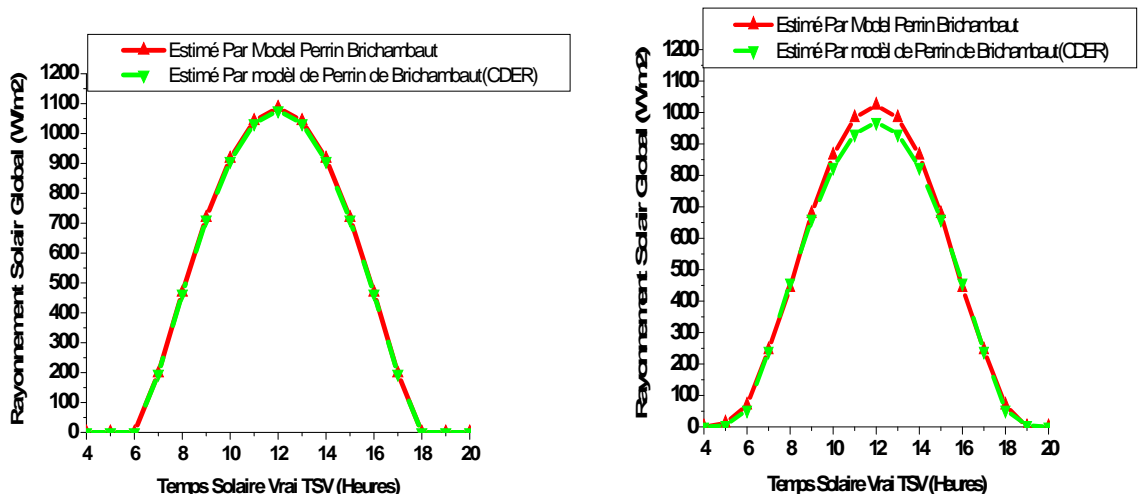
Nous avons confronté quelques valeurs du rayonnement solaire fournies par le travail de centre de développement des énergies renouvelable CDER) unité de Bouzaréah, à la Département des Nouvelle Technologies au service des ENR, *Yaiche, et al. (2014)[27]* une application de calcul du rayonnement solaire.

L'objectif de ce travail consiste en la simulation des différents flux du rayonnement solaire. Pour ce faire, deux approches théoriques ont été adoptées et choisies, valables pour un ciel clair en utilisant le modèle de **Perrin de Brichambaut**.

A) 21 mars (Site d'El-Oued)

B) 21 Juin (Site d'El-Oued)

Ciel Clair



A) 21 Septembre (Site d'El-Oued) Ciel Clair

B) 21 Décembre (Site d'El-Oued)

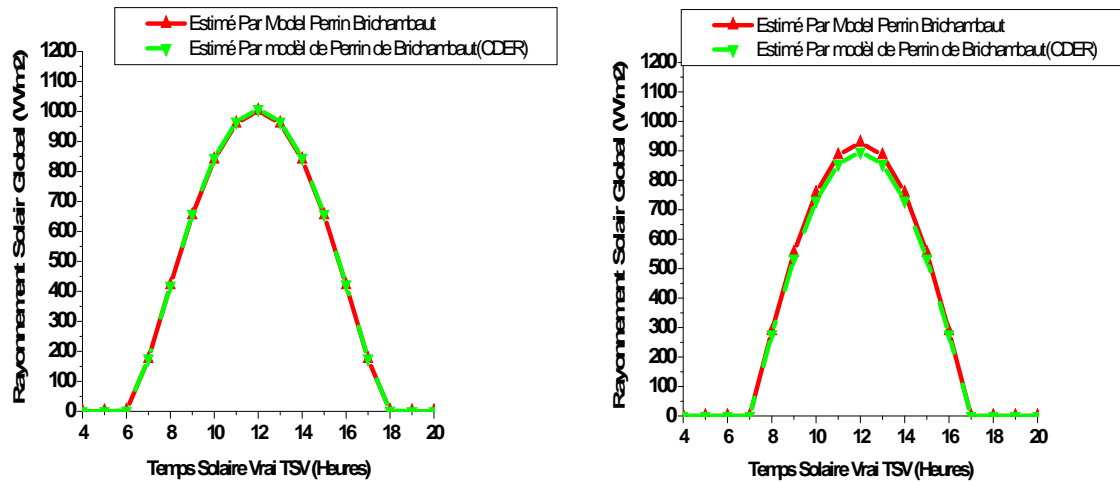


Fig 4.20: Comparaison par deux Model du rayonnement solaire global de Site d'El-Oued (A, B, C, D).

IV.4.3 Exemples d'application:

L'objectif est de permettre au lecteur d'apprécier l'intérêt de ce programme en mettant en commun deux aspects (théorie et expérimentation), alliant ainsi la similitude.

Ce programme de calcul est adopté en faisant le choix de deux approches théoriques, pour l'estimation de rayonnement solaire de site d'El-Oued. Nous avons utilisé le modèle de **Perrin de Brichambaut** qui reste valable pour un ciel totalement clair.

Selon les courbes de prévention, il note que le programme peut calculer et déterminer le rayonnement solaire quotidien collecté par n'importe quel site sur la surface de la Terre. L'estimation du rayonnement solaire nécessite la connaissance pour clarifier de nombreux paramètres, y compris les paramètres d'emplacement (latitude, longitude et altitude) sans oublier l'albédo du lieu et les paramètres qui dépendent de la surface de réception qui sont:

- L'angle d'inclinaison (β) à un angle d'inclinaison égal à la latitude;
- L'orientation du capteur solaire dirigé vers le sud.

Pour confirmer la validité de ce programme, on compare les résultats du modèle semi-empirique de **Perrin de Brichambaut** et des travaux expérimentaux de Centre de Développement des Energies Renouvelables CDER -Alger-Bouzaréah sur le 03 Janvier 2015 et 19 Juin 2015, Fig (4.21) ,Fig(4.22) illustrent les courbes de comparaison.

A) 19 Juin calculé par Model PERRIN BRICHANBAURT (Site d'El-Oued)
B) 19 Juin 2015 Mesuré expérimental (CDER Bouzaréah)

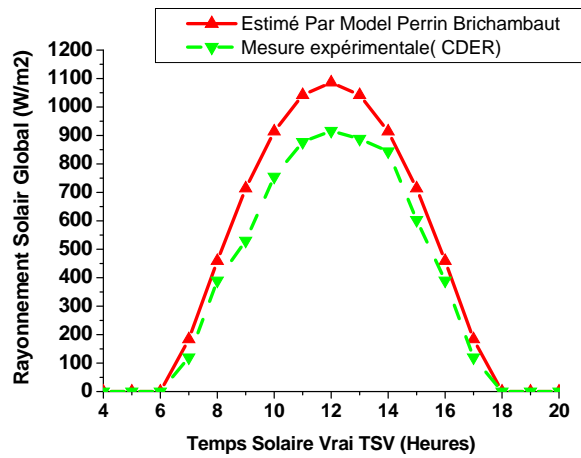


Fig 4.21: Rayonnement Solaire Global Théorique et expérimental.(Ciel Claire)

A) 03 Janvier calculé par Model PERRIN BRICHANBAURT (Site d'El-Oued)
B) 03 Janvier 2015 Mesuré expérimental (CDER Bouzaréah)

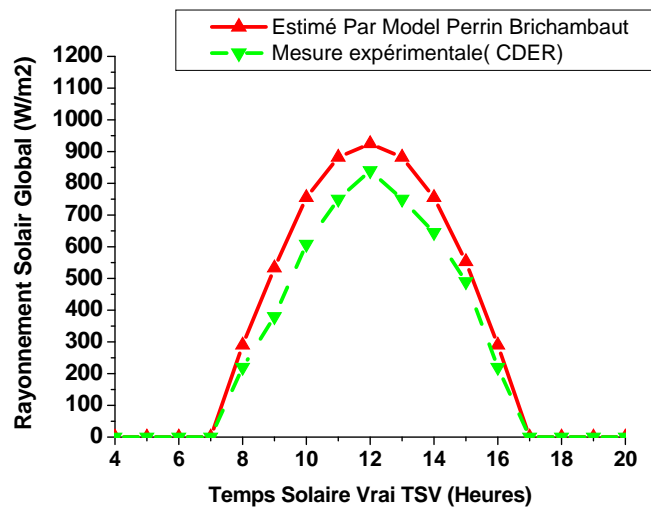


Fig IV.22: Rayonnement Solaire Global Théorique et expérimental.

IV.5 Conclusion:

Après avoir comparé les résultats des trois outils, il constate qu'ils donnent des valeurs de rayonnement solaire très similaires, surtout à midi, ou la différence est presque négligeable. L'écart qui existe entre les deux modèles étudiés par rapport aux valeurs expérimentales est très important. Par conséquent, l'ajustement semi-empirique est concluant et les êtres considérés comme un modèle de simulation d'illumination solaire sur le site étudié, donc en Algérie pourraient s'appuyer sur un modèle **PERRIN DE BRICHAMBAUT** en estimant la quantité de rayonnement solaire mondial, où L'utilisation durable de ce potentiel répondra en grande partie à la demande du chauffage, de la climatisation, etc. Dans des études antérieures, nous utilisons ce programme, où nous avons obtenu de très bons résultats.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Pour les pays à forte radiation solaire comme l'Algérie, l'application des systèmes d'énergie renouvelable solaire peut faire la différence et résoudre de nombreux problèmes. Le soleil est à l'origine de la vie sur terre et la perpétue par son apport incessant d'énergie. Cette énergie nous arrive sous forme de rayonnement électromagnétique après avoir parcouru des millions de kilomètres. Notre étoile, est une véritable boule de feu, nous envoie à travers l'espace une énergie considérable qui n'est pas encore exploitée rentablement [1].

Dans la Région d'El-Oued le climat est aride, le soleil nous envoie un flux, une partie de ce dernier est reçue par un plan quelconque l'autre se reflète et diffuse le groupement de ces rayons donne un flux global qui nous permet de calculer sur un plan quelconque [2].

Le présent travail est réparti en quatre chapitres.

Dans le premier chapitre nous avons exposé quelques connaissances de base sur le soleil, et une présentation détaillée des données astronomiques et détermination des paramètres géométriques (déclinaison solaire, angle horaire, hauteur du soleil, azimut et angle d'incidence) qui sont nécessaires pour toutes études des systèmes solaires.

Au second chapitre nous avons exposé les Conditions Climatiques de La Région d'El-Oued on a commencé par présentation de 'Etude climatologique et Les Caractéristiques Climatiques et l'étude de Moyenne mensuelle de l'irradiation globale.

Dans le troisième chapitre nous avons présenté différents modèles afin d'estimer le rayonnement solaire. Pour ce faire, nous avons choisi le modèle semi-empirique de **PERRIN DE BRICHAMBAUT**, ce modèle théorique permettant de simuler le rayonnement solaire de site d'El-Oued dans le type de ciel par un code de calcul en langage Matlab a été élaboré. Il a été utilisé pour obtenir et caractériser le gisement solaire à El-Oued.

Le dernier chapitre est réservé aux résultats obtenus par l'application de ces modèles et à une étude comparative entre les résultats obtenus.

Cette étude de l'estimation de la modélisation du rayonnement solaire sur une surface inclinée avec le modèle semi-empirique de PERRIN DE BRICHAMBAUT de site d'El-Oued, il note que la valeur la plus élevée du rayonnement solaire enregistrée à El Oued et il a atteint 1180 [W / m²] à un véritable midi solaire et que le jour du 21 Septembre; la ville d'El-Oued est l'une des régions sahariennes avec un fort champ lumineux; elle se caractérise par un climat chaud et sec et un taux très élevé de soleil. Ce programme peut calculer et estimer le rayonnement solaire diffus, partiel direct et complet sur la surface de la Terre en fonction des paramètres géographiques et le nombre de jours de l'année. Ce programme aidera les chercheurs dans le domaine des énergies renouvelables dans la détermination de la quantité d'énergie solaire qui peut être convertie en énergie thermique ou photovoltaïque, au besoin.

Les résultats obtenus ont conduits au fait que les valeurs estimées du rayonnement solaire global de site d'El-Oued, comparées aux valeurs calculé a UREA Ghardaïa pour les mois (Mars, Juin, Septembre, Décembre) à sont Relativement différentes. Le modèle de **Perrin de Brichambaut** permet une meilleure estimation du rayonnement solaire par comparaison à celui de model Liu et Jordan.

- Le modèle de la méthode empirique de **Perrin Brichambaut** est généralement le plus favorable pour l'estimation de rayonnement solaire incident sur un capteur horizontal, même s'il ne présente qu'un peu d'avantage par rapport à celui de Liu et Jordan,

Alors une bonne concordance entre les valeurs calculées a site d'El-Oued et de centre CDER

Ce modèle peut être utilisé pour estimer rayonnement solaire globale pour des endroits dont les climats sont similaires ce pendant les meilleurs résultats sont obtenus par le ce modèle.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] **P. Bessemoulin et J. Oliviéri**, '*Le Rayonnement Solaire et sa Composante Ultraviolette*', Physique Atmosphérique, La Météorologie, 8ème Série, N°31, Septembre 2000.
- [2] **M.R Yaïche et S.M.A Bekkouche**, '*Conception et Validation d'un Logiciel sous Excel pour la Modélisation d'une Station Radiométrique en Algérie, Cas d'un Ciel Totalement Clair*', Revue des Energies Renouvelables, Vol. 12, N°4, pp. 677 – 688, 2009.
- [3] **M.R Yaïche et S.M.A Bekkouche**, '*Conception et Validation d'un Programme Sous Excel pour l'Estimation du Rayonnement Solaire Incident en Algérie. Cas d'un Ciel Totalement Clair*', Revue des Energies Renouvelables, Vol. 11, N°3, pp. 423 – 436, 2008.
- [4] **M.R Yaïche**, '*Logiciel de Calcul des Paramètres Astronomiques à l'Usage des Installations Solaires*', Revue des Energies Renouvelables, 'ICRES-07', Tlemcen, Algérie, pp. 343 – 348, 2007.
- [5] **Pierre Bessemoulin et Jean Oliviéri**, '*Le rayonnement Solaire et sa Composante*', La Météorologie 8^{ème} série - n° 31 - Septembre pp 42-59. 2000.
- [6] **F.Youcef Ettoumi, L.Nacet, A. Adane, H.Sauvageot**, '*Génération du Gisement Quotidien en Algérie*, 3eme Séminaire National en Génie Electrique 29-31 pp 25 1256.2001.
- [7] **A.A SFEIR G. GUARRACINO**, '*Ingénieur des Systèmes Solaires*', application à l'habitat, technique et documentation, Edition paris ,1981.
- [8] **K-Messaitfa**, '*Evaluation de l'apport quantitatif des inclinaisons optimales d'un Système de Pompage photovoltaïques*' –ENERSOLE'01-ADRAR- ALGERIE pp 255-272. 2001.
- [12] **F.Youcef Ettoumi et A. Adane**, '*Génération des données d'irradiation solaire globale Quotidienne à Bechar*, international conférence on electrotechnic, ICEL'2000, november 13-15, 2000, U.S.T.Oran 'M.B', Alegria pp 384-387.
- [09] **A.DJAFOUR**, '*Etude D'un Système de Production d'hydrogène*' thèse doctorat, Université de Kasdi Merbah , Oaurgla, 2013 pp 20.
- [10] **ONS**, '*Office National des Statistiques*' 2008.
- [11] **L'office National de Météorologie**, '*les Données Climatiques d'El-Oued*' de l'année 2006 jusqu'à l'année 2016, Station de Guemar (Aéroport) Mars 2017.
- [12] **M.REDHA YAICHE, A.BOUHANIK**, '*Atlas Solaire de l'Algérie*,', Le Centre de Développement des Energies Renouvelables ,1992-2002
- [13] **M.Capderou**, '*Atlas Solaire de l'Algérie*,', Office des Publications Tome 1, Tome 2, Algérie 1986.

[14] **N.HAMANI** : ‘*Modélisation du flux solaire incident et de la température de sortie dans un capteur solaire à eau avec effet de concentration du rayonnement solaire incident.* Thèse de magister, université de Biskra 2005.

[15] **AT.FERDJANI** : ‘*Développement d’un logiciel de simulation des performances thermiques des capteurs solaires plans,* Thèse de magister, université de Biskra 2013.

[16] **N.MOUMMI**, ‘*Energies renouvelables, Polycopie*’, Université de Biskra 2007.

[17] **J-M. CHASSERIAUX**, *Conversion thermique du rayonnement solaire AFME 1984.*

[18] **A. Labed, N. Moummi, K. Aouès, M. Zellouf et A. Moummi**, *Etude théorique et expérimentale des performances d’un capteur solaire plan à air muni d’une nouvelle forme de rugosité artificielle*, Revue des Energies Renouvelables Vol, 12 N°4 (551 – 561), 2009,

[19] **S .M..CHAOUCHI**, ‘*Etude statistique du rayonnement solaire sur un plan incliné*’, Thèse de Magister, Université de Tlemcen 2012.

[20] **P.DE BRICHAMBAUT** : *Rayonnement solaire et échanges radiatifs naturels*, Gauthier-Villars 1983.

[21] **A .RICAUD**, ‘*évaluation des apports solaires a l’échelle d’un quartier urbain en période de Chauffage selon sa typologie, son orientation et sa latitude dans un contexte de densification de la ville*’ Mémoire présenté à L’école De technologie supérieur, Université de Québec Montréal, le 26 Mai 2014.

[22] **N.HOUCINE**, ‘*Etude de gestion d’une mini-centrale solaire et mise au point d’un dispositif Automatique de mesures, contrôles et régulation de l’énergie électrique*’, Thèse de Doctorat LMD, UST D’Oran Mohamed Boudiaf, département de physique, Énergétiques 2016.

[23] **A .Brahimi**, ‘*Etude de performances d’un capteur solaire plan à eau* ’Mémoire de Master 02 CDER bouzaréah (Alger) 2016.

[24] **N.BOUGUETAIA**, ‘*Contribution à l’Etude et a la Simulation d’un Concentrateur Cylindro Parabolique*, Thèse de magister en physique, université de Constantine 01, 2013.

[26] **M. T. Baissi et O. Kaddour**, *Etude théorique et expérimentale en fonction du gisement solaire locale d’une installation solaire thermique*, thèse d’ingénieur, Université de Biskra, 2009.

[27] **Y.EL MGHOUCHI,A.ELBOURADI, Z.CHOULLI, T.AJZOUL**, *Estimate of the Direct, Diffuse and Global Solar Radiations*,international, journal of science and research (IJSR).Faculty of Sciences, Abdelmalek Essadi University, Tetouan,Marocco Volume 3 Issue 7, July 2014.

[28] **F.MEZIANI**, ‘*Détermination du gisement solaire par traitement d’images MSG*, Thèse de Magister en électronique université Tizi Ouzou, 01, 2013.

[29] **M.BENSAFI, B.DRAOUI, M.HASNAT, N.KAID**, ‘*Elaboration d’un logiciel pour l’estimation de rayonnement solaire en Algérie*, Journal of Scientific Research, université de Béchar, 30 décembre 2012, P 20-21.

- [30] **M.HAMDANI, S.M.A.BEKOUCHE, T.BENOUAZ, M.K.CHERIER**, *Etude et Modélisation du Potentiel Solaire Adéquat pour l'estimation des éclaircissements incidents a Ghardaïa*, REVUE INTERNATIONAL D'HELIOTECHNIQUE N°43 (2011) 8-13.
- [31] **K.KERKOUCHE, F.CHERFA, A.HADJ ARAB, S.BOUCHEKOUR, K.ABDELADIM, K.BERGHEUL**, 'Evaluation de l'irradiation solaire globale sur une surface inclinée selon différents Modèles pour le site de Bouzaréah', Revue des Energies Renouvelables, 'Vol.16N°2 (2013) 269-284, Algérie.
- [32] **A.OUDRANE, B.ZEGMATI, X.CHESNEOU, B.AOUR**, 'MODELING THE RADIATE AND ENERGY BALANCE OF A BUILDING LOCATED IN THE ADRAR REGION ', RECUEIL DE MECANIQUE Vol.1 N°002(2016) 79-087, recueil de mécanique centre universitaire ELWANCHARISSI DE TISSEMSIL P09-10-11.
- [33] **A. MOUMMI**, *Estimation du rayonnement solaire par deux approches semi empiriques dans le site de Biskra, 8ème Séminaire International sur la Physique Energétique*, Centre Universitaire de Béchar Algérie, 11 et 12 Novembre 2006, recueil d'abstract page 81.
- [34] **A. M'Raoui**, *Etude statistique du rayonnement solaire à Alger. Revue des Energies Renouvelables Vol. 14 N°4 (2011) pp.637 – 648.*
- [35] **N. Moummi, S. Youcef-Ali, A. Moummi, J.Y. Desmons**, Energy analysis of a solar air collector with rows of fins, Renewable Energy, Vol.29, (2053–2064), 2004,
- [36] **Y. El Mghouchi**, *New model to estimate and evaluate the solar radiation*. International Journal of Sustainable Built Environment, Vol. 3 N°2 (2014) pp.225–234.
- [37] **N.MOUMMI**, 'Energies renouvelables, Polycopie', Université de Biskra 2007.
- [38] **M.T.BAISSI**, ' Etude théorique et expérimentale des paramètres de fonctionnement d'un capteur solaire plan, Thèse de magister département génie mécanique, université de Biskra 2012.
- [39] **M.GHODBANE, B.BOUMEDDANE**, 'Estimating solar radiation according to semi empirical approach of ERRIN DE BRICHAMBAUT: application on several areas with different climate in Algeria,international Journal of Energetica, Volume 1.Issue 1.2016 faculty of technology, University of Saad DAHLLAB , Blida.
- [40] **M. Capdérrou**, *Atlas solaire en Algérie (tome 1, 2 et 3)*, O.P.U Alger, 1988.

*Élaboration d'un Programme Utilisant MATLAB pour Calculer le
Rayonnement solaire :
Application sur la région d'El-Oued, Algérie*

Résumé :

L'énergie solaire atteignant une surface donnée dépend directement de l'orientation de celle-ci et de la position du soleil. Pour récupérer un maximum d'énergie en provenance du soleil, il est nécessaire d'orienter au mieux le récepteur par rapport aux rayons lumineux ou le rayonnement solaire soit perpendiculaire au capteur solaire, donc la connaissance de la position du soleil en fonction du temps est une chose très importante. Dans cette étude, nous nous soucions calculer l'intensité du rayonnement solaire reçu par une surface inclinée. L'étude est en fonction du temps solaire vrai, les données géométriques et astronomiques. Un programme de simulation par l'outil de programmation Matlab est développé, afin de calculer le rayonnement solaire global, direct et diffus journalier recueilli en n'importe quel site géographique selon le modèle semi- empirique de PERRIN DE BRICHAMBAUT. Nous montrons dans ce sujet, certaines applications sur un endroit dans notre patrie Algérie. Nous avons choisi la région d'El-Oued (Oued souf) pour calcul les rayonnements solaires pour les journées typiques de l'année. Les résultats obtenus seront validés par des résultats expérimentaux.

Mots Clés: *Énergie solaire ; Rayonnement solaire ; Surface inclinée ; Simulation ; modèle semi-empirique de PERRIN DE BRICHAMBAUT ; région d'El-Oued.*

Developing a Program Using MATLAB to Calculate Solar Radiation: Application to the El-Oued region, Algeria

Abstract :

Solar energy reaching a given surface depends directly on its orientation and the position of the sun. In order to recover maximum energy from the sun, it is necessary to orient the receiver in the best way with respect to the light rays or the solar radiation is perpendicular to the solar collector, so the knowledge of the position of the sun as a function of time is A very important thing. In this study, we care about calculates the intensity of solar radiation received by an inclined surface. The study is based on true solar time, geometric and astronomical data. A simulation program using the Matlab programming tool is developed to calculate the global, direct and diffuse daily solar radiation collected at any geographical site according to the semi-empirical model of PERRIN DE BRICHAMBAUT. We show in this subject, some applications on a place in our homeland Algeria. We chose the region of El-Oued (Oued souf) to calculate the solar radiation for the typical days of the year. The results obtained will be validated by experimental results.

Key Words: *Solar energy; Solar radiation ; Inclined surface; Simulation ; Semi-empirical model of PERRIN DE BRICHAMBAUT; Region of El-Oued.*