

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE PHYSIQUE

N°:...../2019.....



DOMAINE: Sciences de la matière

FILIERE: Physique

OPTION: Physique Energétique
et Energies Renouvelables

Physique Energétique et Energies Renouvelables

Mémoire présenté pour l'obtention

Du diplôme de Master Académique

Réalisé par:

KECHIDA Essaghir

Intitulé

***Etude expérimentale et théorique du gisement
solaire pour la région de M'sila***

Soutenu le 30 /06 /2019 de vante jury composé de:

TALOUB Djedid

Université Mohamed Boudiaf-M'sila

Présidente

BOURAS Abdelkarim

Université Mohamed Boudiaf-M'sila

Rapporteur

BENMANSOUR Nadia

Université Mohamed Boudiaf-M'sila

Examineur

Année universitaire: 2018/2019

Remerciements

Avant tout, je remercie ALLAH, le tout puissant, de m'avoir donné le courage et la volonté pour accomplir ce travail de recherché.

Je remercie le docteur BOURAS Abdelkarim d'avoir accepté d'être mon encadreur de mémoire, ses conseils et son soutien ont été pour moi un vrai support scientifique et personnel.

J'adresse mes remerciements à monsieur le president de jury et messieurs les members de jury d'avoir accepté de me faire l'honneur de juger ce travail et de participer au jury de ce mémoire.

A travers cemodest travail, nous tenons à remercier vivement notrepromoter «Dr. Salmi. M ».

Je remercie également les évaluateurs de la station météorologique de la région de Mesila, dirigée par le directeur Marwan et Mohammed.

Je tiens à exprimer ma respectueuse gratitude à tous les professors de l'énergétique, pour ses encouragements, et les conseils précieux et pour toutes les commodities et aisances qu'il nous a apportées durant notre etude et realization de ce projet.

Tous mes remerciements et mon estiméea tous les professors et enseignants du department de physique.

Sans omettre bien sur de remercier profondément tous ceux qui ont contribute de près ou de loin à la realization du present travail.

Kechida Essaghir

Dédicace

Je dédie ce travail à mes très chers parents, pour leur soutien et tous les efforts qu'ils m'ont donné le long de mon parcours et je leur souhaite bonne santé et longue vie.

A Toute Ma Famille

Tous ceux qui ont sacrifié leur temps pour la science et à tous ceux qui utilisent la science pour le bien et la prospérité de l'humanité.

SOMMAIRE

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Nomenclature	
Introduction générale	1

Chapitre I : Gisement solaire

I .1. Gisement solaire.....	4
I.1.2. Le soleil.....	4
I .1.3. Caractéristiques de soleil.....	4
I.1.4. Température du soleil.....	5
I.2. Origine.....	5
I.3. Constant solaire.....	5
I.4. La terre.....	6
I.5. Mouvements de la terre.....	7
I.6. Mouvement du solaire.....	8
I.7. Rayonnement solaire.....	9
I.8.Les composantes du rayonnement solaire.....	9
I.8.1. Rayonnement direct.....	9
I.8.2.Rayonnement diffus.....	10
I.8.3. Albédo.....	10
I.8.4. Le rayonnement global.....	10
I.9.coordonnées célestes.....	11
I.9.1.Sphère céleste.....	11
I .10.Coordonnées géographiques.....	12
I.10.1. La longitude(L).....	12
I .10.2. La latitude (φ).....	12
I .10.3. L'altitude (Z).....	12
I .11. Coordonnées horaires.....	12
I .11.1. La déclinaison (δ).....	12
I .11.2. L'angle horaire (ω).....	13
I.12.coordonnées horizontale.....	13
I.12.1. La hauteur du soleil(h).....	13
I.12.2. L'azimut(a).....	14

I.13. Les temps solaires.....	14
I.13.1. Le temps solaire vrai (T.S.V).....	14
I.13.2. Le temps solaire moyen (T.S.M).....	14
I.13.3. Le temps universel (TU).....	15
I.13.4. Le temps légal (TL).....	15
I.14. Le gisement solaire en Algérie.....	15

Chapitre II : Les Modèles

II.1. Modèles d'estimation du rayonnement solaire terrestre.....	18
II.2. Méthode Semi-Empirique de Perrin Brichambaut.....	18
II.2.1. Estimation de l'énergie instantanée (ciel clair).....	18
II.2.2. Estimation de l'énergie instantanée (ciel couvert).....	19
II.3. Modèles de Liu Jordan.....	19
II.3.1. Rayonnement solaire horaire sur une surface inclinée.....	20
II.4. Modèle de Capderou.....	22
II.4.1. Éclairement reçu sur un plan horizontal par ciel clair.....	22
II.4.2. Éclairement solaire global reçu sur un plan incliné.....	23
II.5. Modèle de R. Sun.....	25
II.5.1. Facteur de trouble de Linke.....	25
II.5.2. Éclairement solaire direct incident sur un plan horizontal par ciel clair.....	25
II.5.3. Éclairement solaire diffus incident sur un plan horizontal par ciel clair.....	25

Chapitre III: la région de M'sila

III.1. Station météorologiques de Msila	27
III.1.1. Station automatique.....	28
III.1.2. Station manuelle.....	28
III.2. Appareils de mesures utilisées dans la station manuelle de Msila.....	29
III.2.1. Abri météorologiques.....	29
III.2.2. Thermomètre.....	30
III.2.3. Thermographe.....	30
III.2.4. Thermomètre à maxima minima.....	31
III.2.5. Hygro graphe.....	32
III.2.6. Baromètre à mercure	33
III.2.7. Anémomètre.....	33
III.2.8. Pluviomètre.....	34
III.2.9. Mesure de la température.....	35

III.2.10. Pyranomètre.....	36
III.2.11. Héliographe.....	37

Chapitre IV: Résultats et discussions

IV.1. Données utilisés.....	38
IV.2. Le Caractères Moyens du Climat a M'sila.....	38
IV.2.1. Le vent.....	38
IV.2.2. Les Températures.....	38
IV.2.2.1. Température maximal.....	38
IV.2. 2.2.Température minimal.....	39
IV.2. 2.3.Evolution de la température Moyenne mensuelle.....	40
IV.2.3. L'humidité relative.....	41
IV.2.4. La pluviométrie.....	42
IV.3. Variation temporelle l'irradiation solaire reçue par unité de surface plane.....	43
IV.4. Comparaison des Valeurs de l'éclairement dû au rayonnement global mesurée et estimée.....	45
<i>Conclusion</i>	49
<i>Références Bibliographiques</i>	51
<i>Résumé</i>	

Liste des figures

N ^o	titers	page
CHAPITRE I		
I.1	Variation mensuelle de la constante solaire	6
I.2	mouvement de la terre autour du soleil	7
I.3	trajectoire de la terre	7
I.4	Movement apparent du soleil	8
I.5	Rayonnement direct, diffus et global	11
I.6	Sphere Celeste	11
I.7	La déclinaison du soleil (δ)	13
I.8	Les coordonnées célestes horizontales	13
I.9	Schéma descriptive pour les angles azimut et hauteur solaire	14
I.10	Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel	16
I.11	Moyenne annuelle de l'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné à la latitude du lieu	17
I.12	Répartition territoriale des stations météorologiques en	17
CHAPITRE III		
III.1	Station météorologique de Msila	27
III.2	Mini station automatique de Msila	28
III.3	Abri météorologique de Msila	29
III.4	Thermomètre à mercure de l'abri météorologique de Msila	30
III.5	thermographe de l'abri météorologique de Msila	31
III.6	thermomètre à maxima-minima sous –abri de la station de Msila	31
III.7	Thermomètre à maxima-minima au dessusde sol à la station de Msila	32
III.8	hygro-graphe de labri météorologique de Msila	32
III.9	baromètre à mercure de la station météorologique de Msila	33
III.10	Anémomètre de la station météorologique de Msila	34

III.11	pluviomètre de la station météorologique de Msila	35
III.12 (A,B)	Mesure de la température du sol à la station de Msila	36
III.13	pyranomètre	36
III.14	Héliographe	37
CHAPITRE IV		
IV.1	Variation de la vitesse moyenne des vents a M'sila Au cours de l'année	39
IV.2	Evolution des temperatures moyenne maximales mensuelle a M'sila Au cours de l'année	39
IV.3	Evolution des températures minimales moyennes a M'sila Au cours de l'année	40
IV.4	Evolution des températures moyennes a M'sila Au cours de l'année	41
IV.5	Variation moyenne de l'humidité a M'sila Au cours de l'année	42
IV.6	Variation de la pluviométrie annuelle a M'sila Pendant 5 anis	42
IV.7	Variation de la pluviométrie mensuelle a M'sila Pendant 5 ans	43
IV.8	L'évolution instantanée de l'irradiation globale En automne	44
IV.9	L'évolution instantanée de l'irradiation globale en hiver	44
IV.10	L'évolution instantanée de l'irradiation globale au printemps	45
IV.11	L'évolution instantanée de l'irradiation globale en été	45
IV.12	L'irradiation solaire globale (été) mesurée et estimée par le modèle d' LIU JORDAN	47
IV.13	Erreur relative instantanée sur le rayonnement solaire globale en été	47
IV.14	L'irradiation solaire globale (printemps) mesurée et estimée par le modèle d' LIU JORDAN	48
IV.15	Erreur relative instantanée sur le rayonnement solaire globale en printemps	48

Liste des tableaux

N ⁰	Titre	page
CHAPITRE I		
I.1	Caractéristiques principales du soleil	4
I.2	Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques	16
CHAPITRE IV		
IV.1	Coordonnées géographiques des sites utilisés	38

Nomenclature

C la constante solaire.

I_0 est la valeur moyenne de la constante solaire actuellement retenue égal 1353 (W/m^2).

N le numéro du jour de l'année (Jour).

E l'énergie, exprimée en (J).

C la vitesse de la lumière en (m/s).

h la constante de Planck ($h= 6.626.10^{-37}$ J/s).

T_L est le facteur de trouble de linke.

P_V est la pression partielle de vapeur d'eau exprimée en (mmHg).

h Hauteur du soleil($^\circ$).

G rayonnement global(W/m^2).

S Rayonnement diffus (W/m^2).

D Rayonnement direct (W/m^2).

T.S.V Le temps solaire vrai (heure).

T.S.M Le temps solaire moyen (heure).

ET l'équation du temps (heure).

TU Le temps universel (heure).

TL Le temps légal (heure).

L Est la longitude($^\circ$).

Z L'altitude du lieu (km).

L La latitude($^\circ$).

ΔH le décalage horaire entre le méridien de Greenwich et l'état considéré (heure).

I_g éclairement global reçu par une surface horizontale (W/m^2).

I_s éclairement diffus reçu par une surface horizontale (W/m^2).

I_d éclairement directe reçu par une surface horizontale (W/m^2).

A, B, A', B' sont des constantes qui dépendent de l'état de l'atmosphère.

K coefficient qui dépend de l'état du ciel avant d'être recouvert par les nuages.

I Rayonnement global horaire sur une surface horizontale (W/m^2).

I_d Rayonnement diffus horaire sur une surface horizontale (W/m^2).

I_b Rayonnement direct horaire sur une surface horizontale (W/m^2).

I_{bi} Rayonnement direct sur une surface inclinée (W/m^2).

R_b Rapport du rayonnement direct journalier incliné à celui sur une surface horizontale.

T_0 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.

T_1 Le trouble correspondant à l'absorption par les gaz de l'atmosphère.

T_2 Est le trouble relatif à la diffusion par les aérosols couplés à une légère absorption.

I_{dh} L'éclairement diffus sur un plan horizontal (W/m^2).

I_{gh} Est l'éclairement global horizontal (W/m^2).

F_d La fonction de l'altitude solaire.

A_i sont des coefficients dépendants uniquement du facteur de trouble T_L corrigé.

Lettre grec

β est le coefficient de trouble atmosphérique.

a L'azimut($^{\circ}$).

L La longitude($^{\circ}$).

δ La déclinaison (degré).

ω Angle horaire compté en (degré).

ω_s Angle horaire du lever du soleil (degré).

β Angle entre le plan horizontale et le plan considéré (degré).

ϕ Latitude du lieu (degré).

ρ Est l'albédo du sol.

Introduction générale

Introduction générale

L'énergie a toujours constitué un enjeu vital pour l'homme et les sociétés humaines. Les comportements humains sont fortement induits par sa disponibilité ou sa non-disponibilité, son abondance ou sa pénurie. De ces comportements vont découler de nouveaux enjeux, en particulier pour l'environnement et les équilibres socio-économiques. La prise de conscience de l'importance de ces enjeux (réchauffement climatique, épuisement des ressources, augmentation des coûts de la santé, ...) devrait, nous l'espérons, permettre de tendre vers une utilisation plus rationnelle de l'énergie. Les énergies renouvelables ont connu une première phase de développement à l'occasion des chocs pétroliers de 1973 et 1978, puis une période de repli après le contre-choc de 1986, avant de retrouver un second souffle en 1998 à la suite de la signature du protocole de Kyoto, protocole qui prévoit notamment une baisse de 5.2% des émissions de gaz à effet de serre des pays riches sur la période 2002-2012 par rapport à 1990.

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible dans un lieu donné et au cours d'une période donnée. Son évaluation peut se faire à partir des données de l'irradiation solaire globale.

Elle est utilisée pour simuler le fonctionnement probable d'un système énergétique solaire et donc d'effectuer son dimensionnement le plus exact possible compte tenu des demandes en énergie à satisfaire [1]. De par 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 acquise quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m^2 est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700 KWh/m²/an au nord et 2263 kWh/m²/an au sud du pays [2.3]. Une source énergétique renouvelable comme l'énergie solaire représente une énergie propre, gratuite et prometteuse.

L'étude du gisement solaire est le point de départ de toute investigation dans le domaine de l'énergie solaire. L'énergie globale incidente sur un plan incliné est la plus appropriée que le plan horizontal, qui ne dépend que de la latitude du lieu, l'ordre ou le numéro du jour de l'année.

Depuis la fin des années 90, quelques pays ont relancé des programmes de soutien au développement du solaire thermique : l'Autriche, l'Allemagne, la Chine et, plus récemment, l'Espagne pour les centrales solaires.

L'étude du rayonnement solaire est un domaine de recherche d'une vaste ampleur dont les applications sont d'ordre météorologique, environnementale et climatologique, ainsi que celles dérivées et couvrant les activités de recherche dans les domaines de l'exploitation de l'énergie solaire.

Plusieurs études ont été menées sur l'évaluation du rayonnement solaire par des modèles empirique dans le but de générer des séquences artificielles de données, radiométriques [4]. D'autres travaux [5.6] ont utilisés soit les paramètres météorologiques, soit la durée d'insolation pour estimer les composantes du rayonnement solaire. [7] ont proposé quelques modèles théoriques qui permettent d'estimer le rayonnement solaire global reçu au sol. Ces modèles tiennent compte des effets de diffusion et d'absorption que subit le rayonnement solaire lors de sa traversée de l'atmosphère pour les sites de Ghardaïa et Bouzaréah.[8] ont déterminé un modèle mathématique des radiation solaires globales sur une surface horizontale dans la région de Msila en fonction du nombre de jour, avec quatre modèles. [9] ont étudié qualitative et quantitative du trouble atmosphérique au site de Ghardaïa. Il s'agit de la détermination du facteur de trouble de Linke T^*_L , à partir des mesures instantanées données par une station radio métrique, qui utilise un système de poursuite à trois dimensions.[10] ont effectué une étude comparative entre deux approches semi empiriques de calcul du gisement solaire dans le site de Biskra. Deux modèles différents ont été adoptés pour estimer l'éclairement : le modèle de PERRIN DE BRICHAMBAUT qui emploie le facteur de trouble totale de Linke rarement utilisé en comparaison avec le modèle de LIU JORDAN qui est le plus fréquemment employé. [11] ont mené une étude sur le trouble atmosphérique, en se focalisant sur le facteur de trouble de Linke. Avec deux formulations différentes: Kasten et Ineichen pour déterminer expérimentalement ce facteur. ont mesuré le facteur de Linke durant une année (entre le 01/09/2004 et 01/09/2005) à Ghardaïa. [12] ont mené une confrontation entre des valeurs de rayonnement solaires mesurées sur deux sites algériens et des valeurs.

Estimées par des modèles théoriques proposés dans la littérature par divers chercheurs. Les sites choisis sont Bouzaréah (Alger) et Ghardaïa, dans lesquels des données météorologiques et radiométriques sont continuellement collectées.

Dans ce travail, nous avons analysé des données météorologiques d'une cinq ans d'étude à Msila et nous avons élaboré une confrontation entre des valeurs de rayonnement solaires mesurées sur le site de Msila et des valeurs estimées par le modèle théorique LIU JORDAN.

Le présent manuscrit est organisé de la façon suivante:

Dans le premier chapitre, on représente l'aspect géométrique du rayonnement solaire concernant les mouvements de la terre; la rotation et la translation et les différents paramètres qui interviennent dans le calcul du rayonnement solaire incident sur terre. Le deuxième chapitre concerne les modèles d'estimation du rayonnement solaire terrestre telle que le modèle LIU JORDAN. Le troisième chapitre parle sur la station météorologique de Msila.

Finalement le mémoire se termine par une synthèse des résultats obtenus pour la région de M'sila et en utilisant le modèle empirique de LIU JORDAN pour modéliser le rayonnement solaire a la région de M'sila.

Chapitre I:

Gisement solaire

I .1. Gisement solaire

Le gisement solaire est une énergie, gratuit, il brille pour tout le monde. L'énergie solaire est le moteur de toutes les grandes sources naturelles. Et le solaire est une science qui propose radiométrique et météorologique de l'atmosphère. En effet, l'énergie émise par le soleil voyage jusqu'à la terre sous forme de rayonnement électromagnétique.

I.1.1. Soleil

Le soleil est la seule étoile du système solaire et la plus proche de la terre, sa lumière met environ 8 mn à nous atteindre. La deuxième étoile la plus proche est Proxima de Centaure située à 4.23 années lumières du soleil mais la grande distance qui nous sépare de cette étoile fait que le soleil soit la seule étoile qui assure la vie sur terre [13], [14].

Sur le plan humain, le soleil a une importance primordiale car il est à l'origine de la vie sur terre, en lui fournissant d'énormes quantités d'énergie, qui permet la présence de l'eau à l'état liquide et la photosynthèse des végétaux. Le rayonnement solaire est aussi responsable du climat et des phénomènes météorologiques [13].

I .1.2. Caractéristiques du soleil

L'étude astro physique du soleil conduit aux valeurs suivantes:

Les caractéristiques principales du soleil sont regroupées dans le tableau (I .1)

Tableau (I.1) caractéristiques principales du soleil

Caractéristiques	Valeurs
Diamètre (km)	$13,92 \cdot 10^5$
Masse (kg)	$2 \cdot 10^{30}$
Surface (km ²)	$6,09 \cdot 10^{12}$
Volume (km ³)	$1,41 \cdot 10^{18}$
Masse volumique moyenne (kg/m ³)	1408
Vitesse (km/s)	217
Temperature au centre (MK)	16
Température à la surface (K)	5900

I.1.3. Température du soleil

Au cœur du soleil, au sein du noyau solaire, il règne une température de pas moins de 15 millions de degrés celsius. Cette température énorme a permis d'initier des réactions de fusion nucléaire, lesquelles entretiennent aujourd'hui une telle température.

En direction de la surface du soleil, soit sa photosphère, la température décroît jusqu'à n'être plus que de quelque 6.000°C. Dans certaines régions qui apparaissent plus sombres, que les astronomes appellent des taches solaires, la température est encore plus faible. De l'ordre de 3500°C.

De manière tout à fait surprenante, la température de la couronne solaire, qui forme 1 atmosphère solaire, peut atteindre jusqu'à un million de degrés Celsius. Un phénomène que les chercheurs pensent pouvoir expliquer par l'existence, sous la surface du soleil, d'une couche de plasma qui se comporte comme une marmite en ébullition. Celle-ci serait à la source d'un champ magnétique qui réchaufferait les couches.

I.2. Origine

Les conditions résidantes au cœur du soleil favorisent l'interaction des différents atomes d'hydrogène qui subissent une réaction de fusion thermonucléaire. Le résultat de ce processus, lorsqu'il se répète est la fusion de quatre noyaux d'hydrogène en un noyau d'hélium avec émission d'énergie sous forme de rayonnements gamma et X.

Chaque seconde, 564 millions de tonnes d'hydrogène se transforment en 560 millions de tonnes d'hélium, cette différence de 4 millions de tonnes par seconde correspond à la différence d'énergie de liaison entre les protons d'hydrogène et ceux d'hélium donnant une énergie sous forme de rayonnement, estimée à $3.7 \cdot 10^{26}$ j/s.

I.3. La constante solaire C

C'est la quantité d'énergie totale envoyée par le soleil à la limite de l'atmosphère terrestre sur une surface unité perpendiculaire au rayonnement solaire [15].

La variation de la constante solaire suit la relation suivante [16]:

$$C = I_0 [1 + 0,033 \cos (0,984j)] \quad (I.1)$$

C : la constante solaire.

$I_0=1353 \text{ W/m}^2$ est la valeur moyenne de la constante solaire actuellement retenue [18].

n : le numéro du jour de l'année.

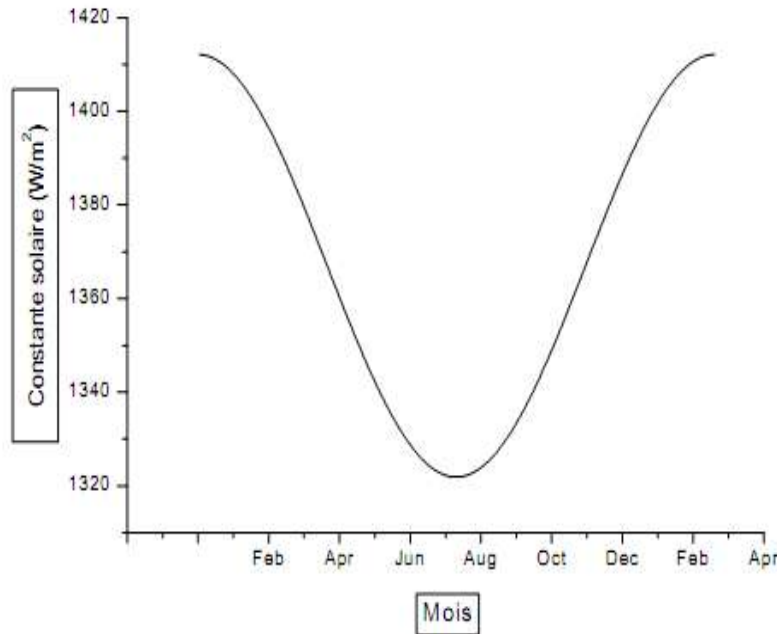


Figure (I.1) Variation mensuelle de la constante solaire

I.4.La Terre

La terre a la forme d'un ellipsoïde de révolution aplati. Sa superficie est de 510101.10^3 Km^2 , son volume est égale à $1083320.10^6 \text{ Km}^3$, sa masse vaut 6.10^{21} tonnes et sa densité moyenne est de 5.52.

La terre décrit autour du soleil une ellipse presque circulaire figure (I.2). Cette est située dans un plan appelé écliptique. L'axe de rotation terrestre fait un angle de $+23^\circ 27'$ à $-23^\circ 27'$ ce qu'on appelle déclinaison. L'intersection du plan de l'équateur avec le plan l'écliptique définit la ligne des équinoxes. L'intersection de cette ligne avec l'orbite terrestre, lors de l'équinoxe de printemps définit le point vernal celui-ci est pris comme origine pour le celui des angles définissant la position relative du soleil par rapport à la terre [17].

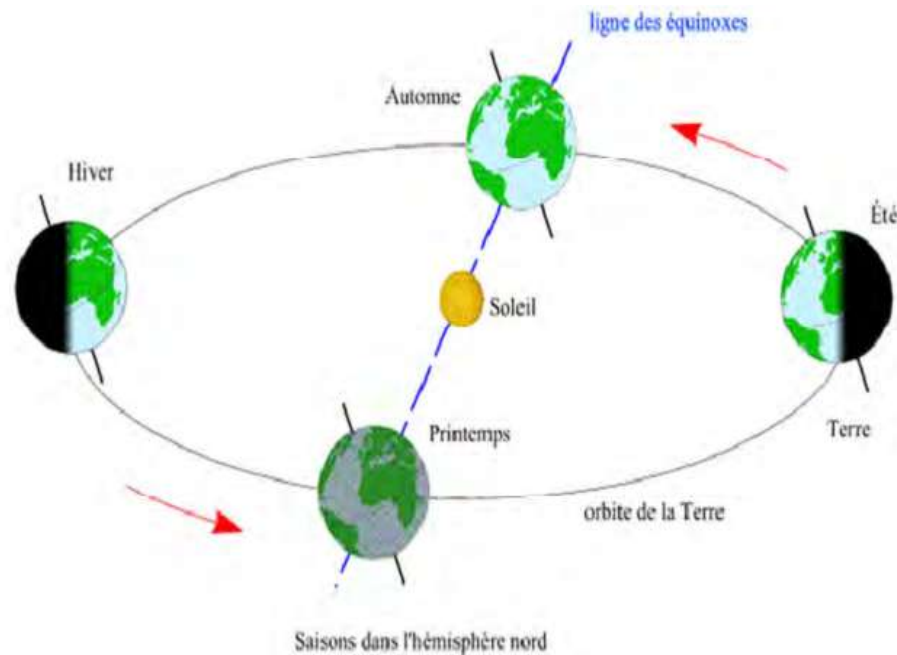


Figure (I.2) mouvement de la terre autour du soleil

I.5. Mouvements de la terre autour du soleil

La connaissance des mouvements relatifs à la terre et au soleil est nécessaire pour connaître le flux solaire reçu sur la surface de la terre en un lieu quelconque et en un instant quelconque de la journée ou de l'année.

La terre effectue donc une révolution autour du soleil, selon une trajectoire assez proche d'un cercle (plan de l'écliptique ou orbite de la terre).

La distance terre-soleil est approximativement de 150 millions de kilomètres, et il faut 8 minutes à sa lumière ou énergie pour nous parvenir. Ce tour complet dure 365 jours et 6 heures, ce qui correspond à une année solaire. Tous les 4 ans, une année bissextile de 366 jours permet de compenser les 6 heures par un jour ($4 \times 6 = 24h$) [18].

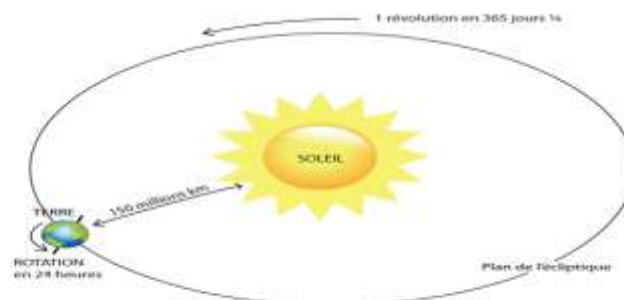


Figure (I.3) trajectoire de la terre

I.6. Mouvement du soleil

Le mouvement que paraît faire le soleil en une journée vu par un observateur situé sur terre est appelé "Le mouvement apparent du soleil". En dehors des régions polaires, de l'Equateur et des tropiques :

- Le matin ; le soleil est à l'Est, bas sur l'horizon, c'est le « lever du soleil »
 - A midi ; le soleil est positionné au Sud ou au Nord, et il est au plus haut de son trajet apparent ;
 - Le soir ; le soleil apparaît à l'Ouest, bas sur l'horizon, c'est le « coucher du soleil »
- Le mouvement apparent du soleil observé par un homme fixe en un point de latitude L au Nord de l'Equateur est schématisé sur la figure (I.4).

L'angle que fait la direction du soleil avec la verticale du lieu au midi solaire est égal à $(L - \delta)$.

La durée du jour est de 12h aux équinoxes, elle est inférieure à 12h entre le 21 septembre et le 21 mars, supérieure à 12h entre le 21 mars et le 21 septembre dans l'hémisphère Nord.

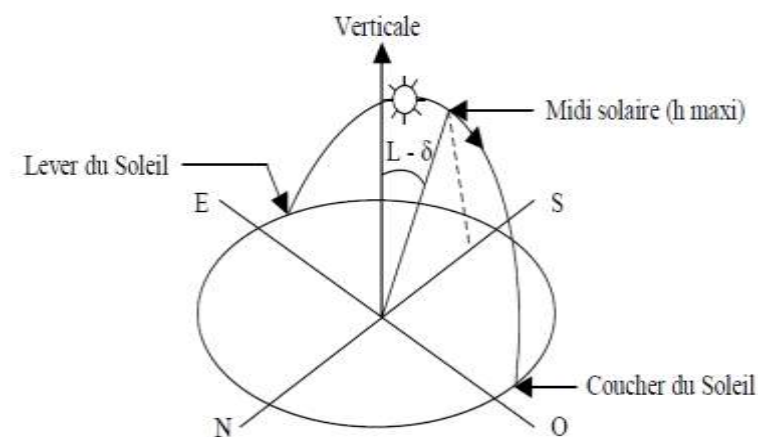


Figure (I.4) Mouvement apparent du soleil

I.7. Rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est de nature électromagnétique, provenant essentiellement d'une série d'interactions composites émises par le soleil [19].

Le rayonnement électromagnétique émis à un double aspect ondulatoire et corpusculaire correspondant à deux champs, l'un électrique et l'autre magnétique, il se déplace dans le vide avec une vitesse de 3.10^8 m/s. Le corpuscule, appelé photon, de masse nulle, a une énergie reliée à la fréquence ν ou à la longueur d'onde λ par la relation suivante :

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (I.2)$$

Où,

E : l'énergie, exprimée en Joule

C : la vitesse de la lumière en (m/s)

h : la constante de Planck ($h = 6.626.10^{-37}$ J/s)

I.8. Les composantes du rayonnement solaire

I.8.1. Rayonnement direct (D)

Rayonnement solaire sous forme de rayons parallèles provenant du disque solaire sans avoir été dispersé par l'atmosphère.

Le rayonnement direct reçu par une surface orientée en permanence vers le soleil et qui reçoit donc le rayonnement solaire sous une incidence normale est désigné par I.

Nous avons la relation suivante:

$$I_d = I^* \sin(h) \quad (I.3)$$

h : hauteur du soleil.

L'éclairement solaire direct (D) sur un plan horizontal peut être déterminé de plusieurs manières en fonction des données disponibles.

Dans le cas où nous ne disposons d'aucune mesure, on peut évaluer le rayonnement direct sur un plan perpendiculaire au rayonnement solaire par la relation :

$$I^* = 1370 \exp \left[\frac{T_L}{0.9 + 9.4 \sin(h)} \right] \quad (I.4)$$

Ou T_L est le facteur de trouble de linke calculable par:

$$T_L = 2.4 + 14.6\beta + 0.4(1 + 2\beta) \ln(p_v) \quad (I.5)$$

β est le coefficient de trouble atmosphérique.

P_v est la pression partielle de vapeur d'eau exprimée en mmHg.

Avec : h : Hauteur du soleil.

I.8.2. Rayonnement diffus(S)

C'est une partie du rayonnement provenant du soleil, ayant subi de multi-réflexions (dispersion) par l'atmosphère.

Pour un observateur au sol, le rayonnement diffus sur un plan horizontal

$$D^* = 54.8 \sqrt{\sin(h)} [T_L - 0.5 - \sqrt{\sin(h)}] \quad (I.6)$$

I.8.3. Albédo

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

Ainsi pour un corps noir parfait, l'albédo est nul.

$$ALB = \frac{\text{énergie refléchi}}{\text{énergie reçu}} \quad (I.7)$$

I.8.4. Le rayonnement global(G)

Le rayonnement global (G) est la somme des rayonnements diffus et direct.

$$G = S + D \quad (I.8)$$

Avec : G : rayonnement global

S : Rayonnement diffus

D : rayonnement direct

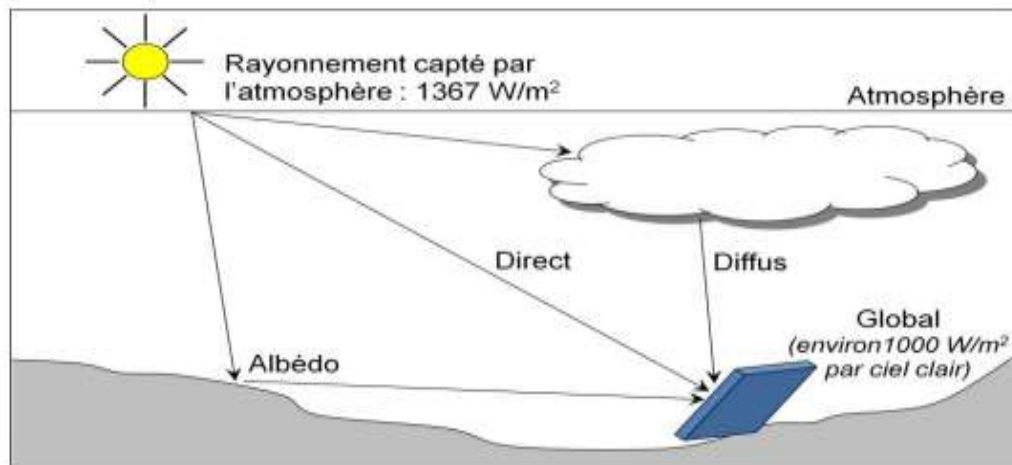


Figure (I.5) Rayonnement direct, diffus, global et albédo

I.9. Coordonnées célestes

I.9.1. Sphère céleste

La sphère céleste est une sphère imaginaire de rayon indéfini, établie dans les cieux et ayant comme centre l'œil d'un observateur terrestre. La sphère est la base du système de coordonnées employé pour déterminer les positions des astres. Elle est également utilisée pour désigner les intervalles de temps Figure (I.6) [20].

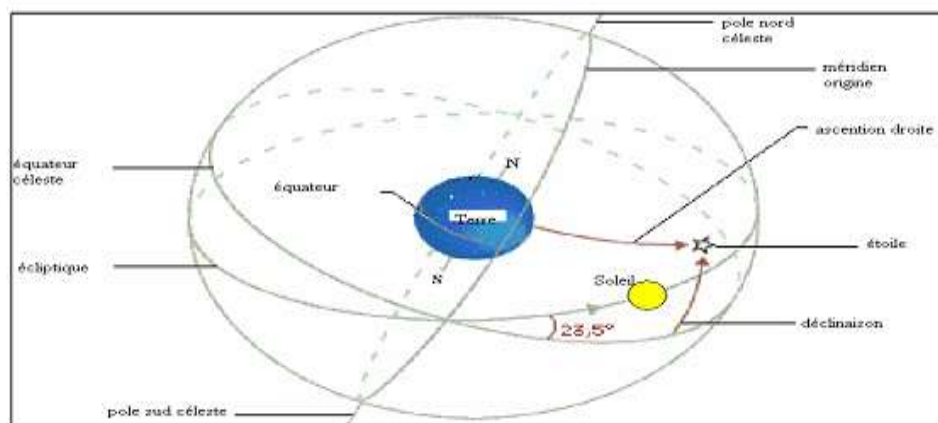


Figure (I.6) Sphère Céleste

I.10. Coordonnées géographiques

I.10.1. La longitude (L)

Est comptée positivement vers l'Est et négativement vers l'Ouest, à partir du méridien Greenwich, elle varie de -180° à $+180^\circ$.

I.10.2. La latitude (L)

Permet de repérer la distance angulaire d'un point quelconque à l'équateur. Elle varie de 0° à 90° dans hémisphère Nord et de 0° à -90° dans hémisphères Sud.

I.10.3. L'altitude (φ)

Correspond à la distance verticale entre ce point et une surface de référence, le géoïde, figurant le niveau moyen de la mer.

I.11. Coordonnées horaires

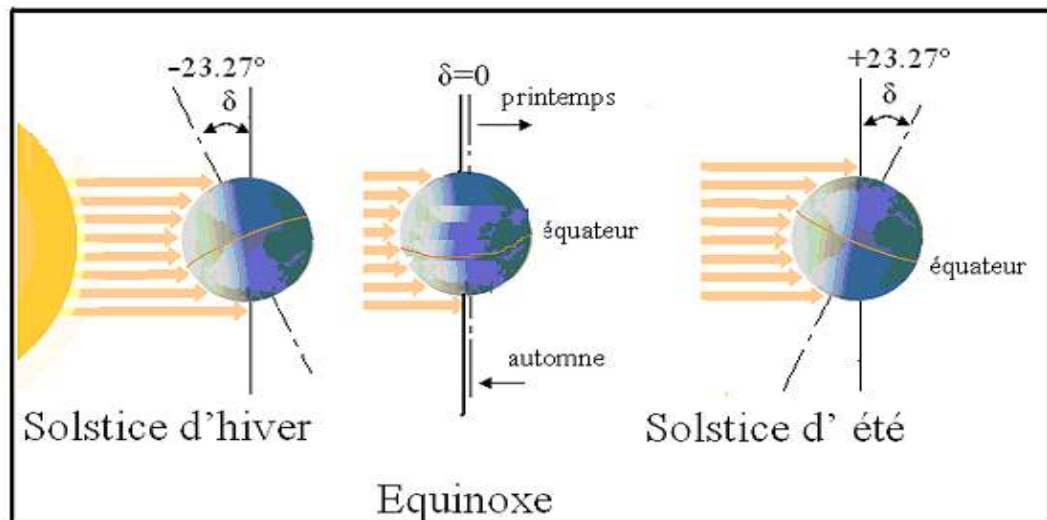
I.11.1. La déclinaison (δ)

C'est l'angle fait par le plan de l'équateur avec celui de l'écliptique. Elle varie au cours de l'année de $+23^\circ 27'$ à $-23^\circ 27'$ et détermine inégalité des durées des jours. Elle s'obtient à partir de la formule suivante :

$$\delta = 23.45 \times \sin\left[\frac{360}{365}(n-81)\right] \quad (I.9)$$

n : quantième jour de l'année $1 \leq n \leq 365$

n : le numéro du jour dans l'année compte à partir du 1er Janvier.

Figure (I.7) La déclinaison du soleil (δ)

I.11.2. L'angle horaire(ω)

L'angle horaire du soleil est déterminé par la rotation diurne de la terre autour de son axe. C'est la mesure de l'arc de trajectoire solaire compris entre le soleil et le plan méridien du lieu.

$$\omega = 15^\circ (\text{TSV} - 12) \quad (\text{I.10})$$

I.12. Coordonnées horizontales

I.12.1. La hauteur du soleil (h)

Ou l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection. Il est compte de 0° a 90° vers le zénith. il est donne par la relation:

$$\sin h = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \omega \quad (\text{I.11})$$

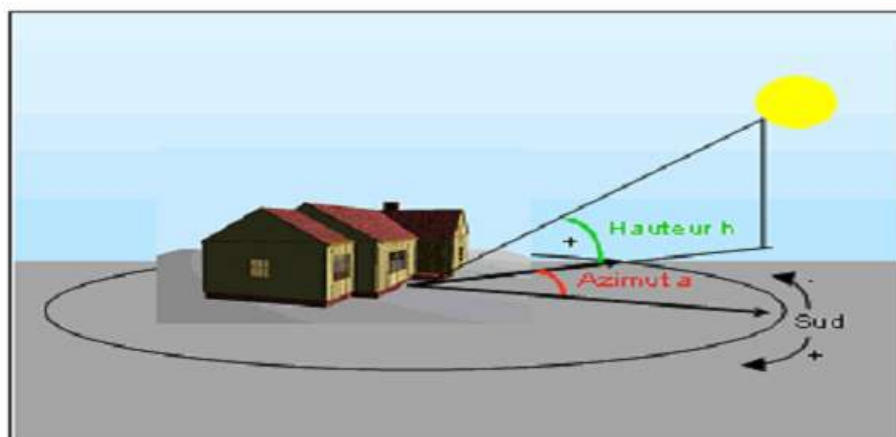


Figure (I.8) Les coordonnées célestes horizontales

I.12.2. L'azimut(a)

Ou l'angle que fait la projection de la direction du soleil sur le plan horizontal avec la direction sud. Il est compte de 0° a 180° a partir du sud vers l'ouest. il est donne par la relation

$$\sin a = \frac{\cos \delta \sin \omega}{\cosh} \quad (\text{I.12})$$

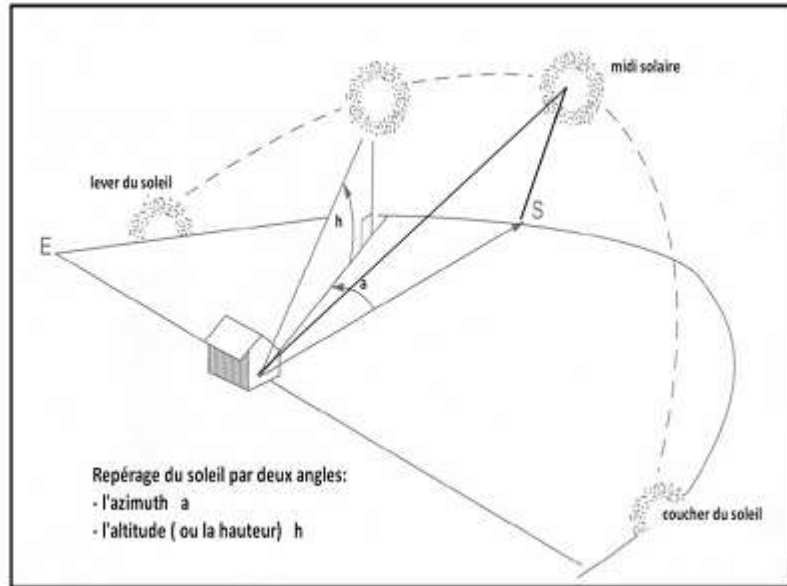


Figure (I.9) Schéma descriptive pour les angles azimut et hauteur solaire

I.13. Les temps solaires

I.13.1. Le temps solaire vrai (T.S.V)

Le temps solaire vrai, en un instant et un lieu donné, est l'angle horaire du soleil ω . Il est donné sous la forme suivante:

$$\text{TSV} = 12 + \omega/15 \quad (\text{I.13})$$

ω en degré

Si $\omega = 0$, TSV=12h.00

I.13.2. Le temps solaire moyen (T.S.M)

Il est donné par la relation:

$$\text{ET} = \text{TSV} - \text{TSM} \quad (\text{I.14})$$

ET, l'équation du temps, qui corrige le TSV par rapport au TSM

$$Et = 9.87 \sin (2N') - 7.53 \cos (N') - 1.5 \sin (N') \text{ [min]} \quad (I.15)$$

$$N' = (N - 81) \times 360/365 \quad (I.16)$$

Où : N est le numéro du jour dans l'année

I.13.3. Le temps universel (TU)

C'est le temps moyen du méridien de Greenwich (méridien origine)

$$TU = TSM - L/15 \quad (I.17)$$

Où : L : est la longitude

$L > 0$, pour les villes situées à l'Est de Greenwich

$L < 0$, pour les villes situées à l'Ouest de Greenwich

$TU = TSM$, pour le méridien de Greenwich

I.13.4. Le temps légal (TL)

C'est le temps officiel d'un état, il est donné par :

$$TL = TU + \Delta H \quad (I.18)$$

ΔH : le décalage horaire entre le méridien de Greenwich et l'état considéré

$\Delta H = 1$ heure pour l'Algérie

I.15. Le 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 d'un système énergétique solaire et faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu de la demande à satisfaire [2].

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un gisement solaire énorme comme le montre la Figure (I.10):

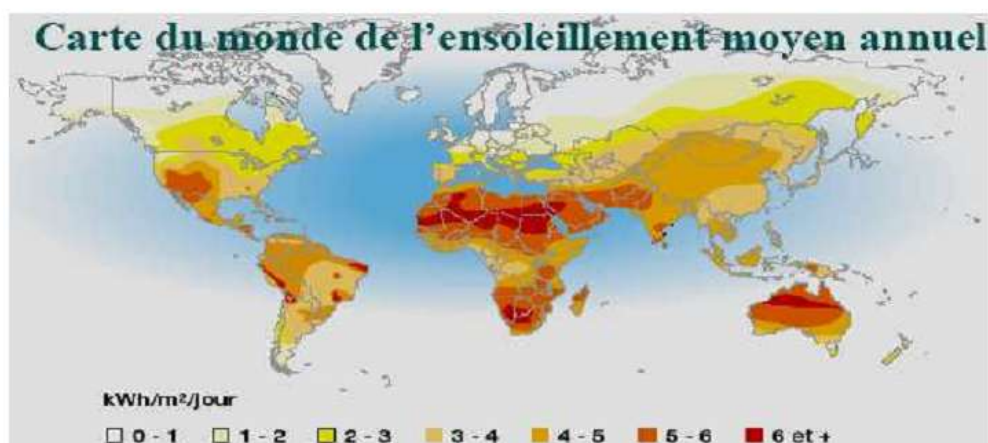


Figure (I.10) Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel

Suite à une évaluation par satellites, l'Agence spatiale Allemande (ASA) a conclu, que l'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen, soit 169.000 TWh/an pour le solaire thermique, 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque. Le potentiel solaire algérien est l'équivalent de 10 grands gisements de gaz naturel qui auraient été découverts à HassiR'Mel.

La répartition du potentiel solaire par région climatique au niveau du territoire algérien est représentée dans le tableau (I.2) selon l'ensoleillement reçu annuellement [21]:

Tableau (I.2) Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques

Régions	Régions côtières	Hauts plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (h/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (kWh/m ² /an)	1700	1900	2650

La durée d'insolation dans le Sahara algérien est de l'ordre de 3500h/an est la plus importante au monde, elle est toujours supérieure à 8h/j et peut arriver jusqu'à 16h/j pendant [21].

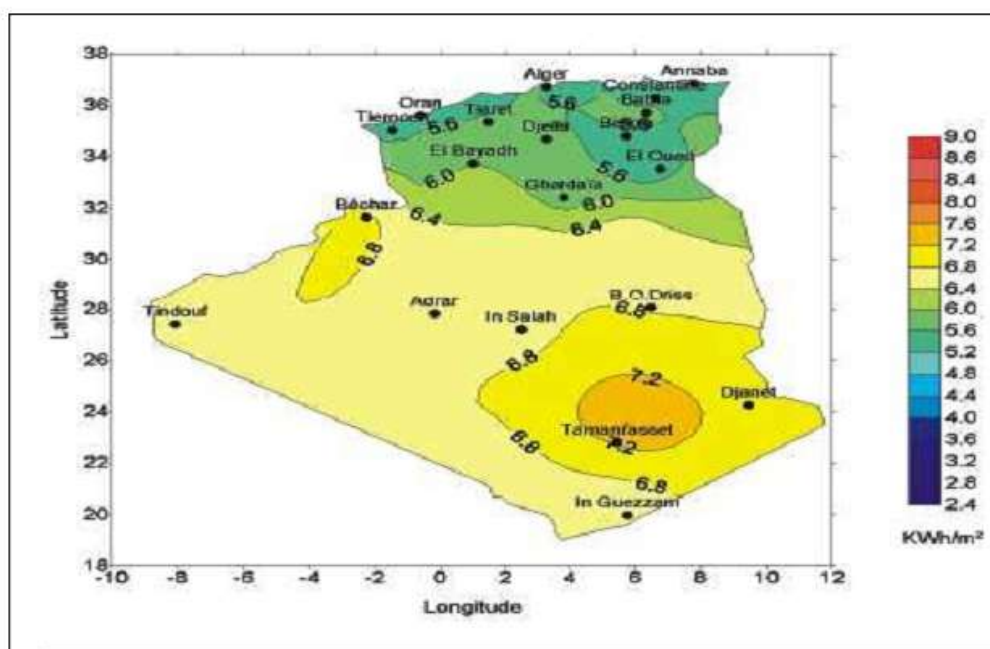


Figure (I.11) Moyenne annuelle de l'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné à la latitude du lieu

En algérie, il existe un réseau de 271 stations de mesure météorologiques de l'O.N.M réparties sur tout le territoire algérien (figure I.12)[9]. Cependant, seules 7 stations météorologiques assurent la mesure des composantes diffuses et globales du rayonnement solaire reçu sur un plan horizontal en raison, soit du manque de fiabilité des appareils de mesure, ou bien, du coût élevé d'un tel appareillage. La durée d'insolation quant à elle, est mesurée par un héliographe dans la majorité des stations de (O.N.M) à cause de la facilité de sa mise en œuvre.

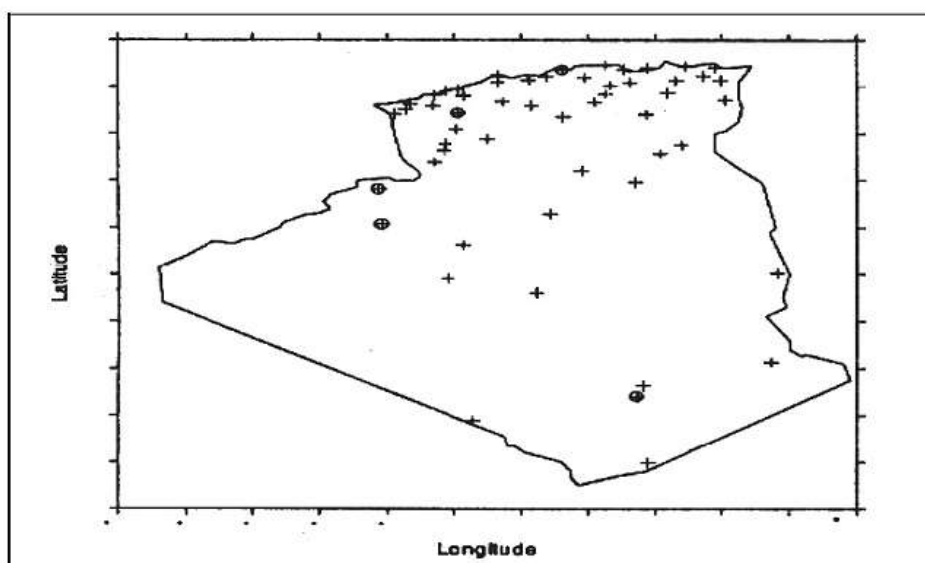


Figure I.12 Répartition territoriale des stations météorologiques en Algérie

Chapitre II:

Les Modèles

II.1. Modélisation de rayonnement solaire

Il existe plusieurs modèles pour la simulation de l'éclairement solaire global, direct et diffus, généralement exprimés par des approches semi empiriques, les plus fréquemment connus et utilisés dans la pratique on citera principalement les modèles : **PERRIN DE BRICHAMBAUT**, le modèle de **Liu Jordan**, **Capderou** et **R.Sun**, ces quatre modèles donnent de bons résultats pour estimer l'irradiation solaire sur un plan parfaitement horizontal ou sur un plan incliné.

Le rapport entre le rayonnement au sol et le rayonnement extraterrestre est appelé indice de clarté, la moyenne mensuelle de l'indice de clarté $\overline{K_T}$ est définie par

$$\overline{K_T} = \frac{\overline{H}}{\overline{H_0}}$$

Avec $\overline{H}$: rayonnement solaire moyen, mensuel mesuré sur une surface horizontale au niveau du sol.

$\overline{H_0}$: rayonnement solaire moyen mensuel hors de l'atmosphère.

II.2. Méthode Semi-Empirique de Perrin Brichambaut

Tout rayonnement incident sur terre va être décomposé en plusieurs rayonnements. Ces derniers varient en fonction de la hauteur du soleil, de l'angle d'incidence, des intempéries et de l'état de visibilité de l'atmosphère. La modélisation théorique des éclairissements solaires est très compliquée, ils sont en fonction des variations climatiques et des intempéries.

La méthode empirique de Perrin Brichambaut a donné de bons résultats pour l'estimation de l'énergie reçue par un capteur d'orientation quelconque [22,23].

II.2.1. Estimation de l'énergie instantanée (ciel clair)

Pour un ciel clair, les éclairissements du rayonnement direct I_d diffus I_s et global I_g reçus sur un capteur sont donnés par les relations suivantes:

$$I_s = A(\sin(h))^{0.4} \quad (\text{II.1})$$

$$I_g = A'(\sin(h))^{\beta'} \quad (\text{II.2})$$

$$I_d = A \left(\exp\left(-\frac{1}{B \sin(h+2)}\right) \cos(\theta) \right) \quad (\text{II.3})$$

$$I_g = I_s + I_d \quad (\text{II.4})$$

I_g : éclairement global reçu par une surface horizontale (w/m^2).

I_s : éclairement diffus reçu par une surface horizontale (w/m^2).

I_d : éclairement direct reçu par une surface horizontale (w/m^2).

A, B, A', B' : sont des constantes qui dépendent de l'état de l'atmosphère

II.2.2. Estimation de l'énergie instantanée (ciel couvert)

Le ciel couvert est un ciel gris totalement rempli de couches nuageuses continues, plus ou moins denses optiquement, et au travers des quelles il n'est pas possible de distinguer le disque Solaire.

Dans ces conditions, le rayonnement direct est inexistant et le rayonnement global ne se compose que du rayonnement diffus [24,25]. Si la couverture nuageuse est homogène, on peut considérer que le rayonnement diffus du ciel est isotrope de même que le rayonnement diffus du sol. Le rayonnement global par un ciel couvert est ;

$$I'_g = K I_g (1 + 0.33 \sin(h)) \quad (\text{II.5})$$

K : coefficient qui dépend de l'état du ciel avant d'être recouvert par les nuages.

$K = 0.6$ pour un ciel bleu foncé.

$K = 0.3$ pour un ciel bleu clair.

$K = 0.6$ pour un ciel bleu laiteux [24].

II.3. Modèles de Liu Jordan

a) Rapport du rayonnement global horaire en moyenne mensuelle, au rayonnement global Journalier en moyenne mensuelle (r_t)

Est défini par :

$$r_t = \frac{I^*}{H} \quad (\text{II.6})$$

$$r_t = \frac{\pi}{24} (a + b \cos \omega) \frac{(\cos \omega - \cos \omega_s)}{(\sin \omega_s - \frac{\pi}{180} \omega_s \cos \omega_s)} \quad (\text{II.7})$$

Avec:

$$a = 0.409 + 0.5015 \sin (\omega_s - 60) \quad (\text{II.8})$$

$$b = 0.6609 - 0.4767 \sin (\omega_s - 60) \quad (\text{II.9})$$

ω_s : Angle horaire du lever du soleil. Où dessus de l'horizon pour le jour choisi d'après Liu et Jordan, pour une Journée quelconque du mois r_t est identique au rapport entre le rayonnement global horaire I et le rayonnement global Journalier H [26].

b) Rapport du rayonnement diffus horaire en moyenne mensuelle, au rayonnement diffus Journalier en moyenne mensuelle (r_d).

Il est défini par :

$$r_d = \frac{I_d^*}{H_d} \quad (\text{II.10})$$

$$r_d = \left(\frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \frac{\pi}{180} \omega_s \cos \omega_s} \right) \quad (\text{II.11})$$

C) Rayonnement direct horaire

$$I_b = I - I_d \quad (\text{II.12})$$

Avec :

I : Rayonnement global horaire sur une surface horizontale.

I_d : Rayonnement diffus horaire sur une surface horizontale.

I_b : Rayonnement direct horaire sur une surface horizontale.

II.3.1. Rayonnement solaire horaire sur une surface inclinée

a) Le rayonnement direct sur une surface inclinée I_{bi} est donné par la relation suivante :

$$I_{bi} = R_b I_b \quad (\text{II.13})$$

Avec:

I_{bi} : rayonnement direct sur une surface inclinée

R_b : Rapport du rayonnement direct journalier incliné à celui sur une surface horizontale : il est donné par la relation suivante :

$$\frac{I_{bi}}{I_b} = \frac{\cos(\phi - \beta) \cos \beta \cos \omega + \sin(\phi - \beta) \sin \delta}{\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega} \quad (\text{II.14})$$

Avec:

ϕ : Latitude du lieu

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

a) **Rayonnement solaire horaire diffus sur une surface inclinée.**

D'après [28]. Qu'une surface faisant un angle β avec l'horizontale regarde une portion du ciel sous l'angle solide $:\frac{1+\cos\beta}{2}$ et une position du sol, sous l'angle solide $\frac{1-\cos\beta}{2}$.

Si ρ est l'albédo du sol on a donc :

$$I_{di} = I_d \frac{1+\cos\beta}{2} + (I_b + I_d) \rho \left(\frac{1-\cos\beta}{2} \right) \quad (\text{II.15})$$

On peut prendre $\rho = 0.2$ en absence de neige.

$\rho = 0.8$ en cas de neige

c) **Rayonnement solaire global horaire sur une surface inclinée :**

$$I_i = I_b R_b \left(\frac{1+\cos\beta}{2} \right) + (I_b + I_d) \rho \left(\frac{1+\cos\beta}{2} \right) \quad (\text{II.16})$$

Le premier terme de l'équation représente l'ensoleillement qui arrive directement du soleil, il est obtenu en faisant le produit du rayonnement direct sur une surface horizontale

par un facteur géométrique R_b qui dépend de l'orientation du capteur, de la latitude du lieu et du moment de l'année.

Le second terme représente la contribution du rayonnement diffus I_d et dépend de l'inclinaison β du capteur.

Le dernier terme représente la réflexion du rayonnement sur le sol face au capteur et dépend de l'inclinaison du capteur et du coefficient de réflexion de lumière diffuse du sol ρ .

II.4. Modèle de Capderou

Le modèle de Capderou utilise le trouble atmosphérique pour calculer les composantes directes et diffuses de l'irradiation reçue sur un plan. L'absorption et la diffusion causées par les constituants de l'atmosphère peuvent être exprimées par des facteurs de troubles, à partir de ces facteurs, on peut exprimer les irradiances directes et diffuses par ciel clair.

II.4.1. Eclairement reçu sur un plan horizontal par ciel clair

La connaissance du facteur de trouble atmosphérique est nécessaire pour déterminer les irradiances par ciel clair. Ce facteur est le rapport entre l'extinction du rayonnement direct traversant une atmosphère de référence constituée uniquement d'air pur et sec sous la même incidence. Dans ce modèle, le facteur de trouble atmosphérique de Linke par ciel clair est donné par [2,28].

$$T_L = T_0 + T_1 + T_2 \quad (\text{II.17})$$

T_0 : 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. Une modélisation de ce facteur en fonction des seuls paramètres géo-astronomiques a permis à Capderou de proposer l'expression suivante [2,12] :

$$T_0 = 2.4 - 0.9 \sin(\phi) + 0.1(2 + \sin(\phi)) \times A_{he} - 0.2Z - (1.22 + 0.14 \times A_{he}) \times (1 - \sin(h)) \quad (\text{II.18})$$

$$A_{he} = \sin\left(\frac{360}{365}\right) \times (n - 121) \quad (\text{II.19})$$

Z : L'altitude du lieu

T_1 : Le trouble correspondant à l'absorption par les gaz de l'atmosphère (O_2 , CO_2 et O_3) et à la diffusion moléculaire de Rayleigh donné par l'approche:

$$T_1 = 0.89^z \quad (II.20)$$

T_2 : Est le trouble relatif à la diffusion par les aérosols couplés à une légère absorption (il dépend à la fois de la nature et de la quantité des aérosols). En fonction du coefficient de trouble d'Angstrom β , T_2 est donné par :

$$T_2 = (0.9 + 0.4A_{he})(0.63)^z \quad (II.21)$$

L'éclairement direct par ciel clair obtenu sur un plan horizontal est donné par:

$$I_{bh} = I_c \exp[-T_L \times \left(0.9 + \frac{9.4}{0.89^z} \sin(h)\right)^{-1} \sin(h)] \quad (II.22)$$

L'éclairement diffus incident sur un plan horizontal.

$$I_{dh} = I_c \times \exp\left((-1 + 1.06 \log(\sin(h))) + a - \sqrt{a^2 + b^2}\right) \quad (II.23)$$

$$a = 1.1$$

$$b = \log(T_L - T_0) - 2.8 + 1.02 \times (1 - \sin(h))^2 \quad (II.4)$$

L'éclairement global reçu sur un plan horizontal est donné par :

$$I_{gh} = I_{bh} + I_{dh} \quad (II.25)$$

II.4.2. Éclairement solaire global reçu sur un plan incliné

L'éclairement direct est la projection de la composante normale sur un plan incliné.

$$I_b = I_c \times \exp[-T_L \times \left(0.9 + \frac{9.4}{0.89^z} \sin(h)\right)^{-1} \cos \theta] \quad (II.26)$$

L'éclairement diffus du ciel est composé de trois parties:

La composante directe ou curcuma solaire. Elle provient du voisinage du soleil dans un cône de demi-angle au sommet compris entre 3° et 15°. Elle peut être considérée aussi qu'elle provient directement du soleil.

$$\delta_d = I_c \times \exp\left(-2.48 + \sin(h) + a - \sqrt{a^2 + 4b^2}\right) \quad (\text{II.27})$$

$$a = 3.1 - 0.4b \quad (\text{II.28})$$

$$b = \log(T_L - T_0) - 2.28 - 0.5 \log(\sin(h)) \quad (\text{II.29})$$

La composante isotrope qui correspond à un ciel de luminance uniforme.

$$\delta_i = I_{dh} - \delta_d \sin(h) \quad (\text{II.30})$$

I_{dh} : L'éclairement diffus sur un plan horizontal.

La composante du cercle de l'horizon qui provient d'une bande d'horizon d'une hauteur de 6°. Elle est associée à une accumulation d'aérosols dans les basses couches atmosphérique [24,29].

$$b = \exp(0.2 + 1.75 \log(\sin(h))) \quad (\text{II.31})$$

$$a = \log(T_L - T_0) - 3.1 - \log(\sin(h)) \quad (\text{II.32})$$

$$\delta_h = I_c \frac{-0.02a}{a^2 + ab + 1.8} \exp(\sin(h)) \quad (\text{II.33})$$

Le diffus du ciel est l'éclairement diffus incident en provenance du ciel

$$\delta_i = I_{dh} - \delta_d \sin(h) \quad (\text{II.34})$$

L'éclairement diffus du sol est caractérisé par l'albédo du sol qui indique la réflexion de la lumière incidente. Pour un plan quelconque (α, γ).

$$I_{dsol} = \delta_d \frac{1 + \cos(\beta)}{2} \quad (\text{II.35})$$

$$\delta_d = \rho I_{gh} \quad (\text{II.36})$$

I_{gh} : Est l'éclairement global horizontal.

L'éclairement diffus rétrodiffusé est celui diffusé à nouveau par le ciel vers le sol. Selon le raisonnement de Capderou, cette composante a la forme suivante :

$$\delta'_i = 0.9(\rho - 0.2)I_{gh} \exp\left(-\frac{4}{\sqrt{T_L - T_0}}\right) \quad (\text{II.37})$$

L'éclairement diffus incident sur un plan incliné est donné par.

$$I_d = I_{dciel} + I_{dsol} + \delta'_i \frac{1 + \sin(\beta)}{2} \quad (\text{II.38})$$

D'où l'éclairement global incident à un instant donné sur un plan inclinés.

$$I_g = I_b + I_d \quad (\text{II.39})$$

II.5. Modèle de R. Sun

II.5.1. Facteur de trouble de Linke

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 [31,22]. 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.

II.5.2. Éclairement solaire direct incident sur un plan horizontal par ciel clair

Le rayonnement direct normal est exprimé en fonction du facteur T_{LK} selon la formule suivante [28, 29,30]:

$$I_d = I_c \exp(-0.8662 \times T_L \times m \times \delta_r(m)) \quad (\text{II.40})$$

Le terme $-0.8662 T_L$: est le deuxième facteur de trouble atmosphérique de Linke par ciel clair (sans dimension) corrigé par Kasten [29].

Le rayonnement direct incident sur un plan horizontal par ciel clair I_d est donné par l'équation suivante ;

$$I_d = I_c \times \exp(-0.8662 \times T_{Lk} \times m \times \delta_r(m)) \times \sin(h) \quad (\text{II.41})$$

II.5.3. Éclairement solaire diffus incident sur un plan horizontal par ciel clair

Puisque le ciel sans nuage devient plus trouble, donc, l'éclairement diffus augmente lorsque l'éclairement direct diminue. L'estimation de la composante diffuse sur un plan horizontal est effectuée en faisant le produit de l'éclairement énergétique normal extraterrestre, le facteur de transmission (T_n) est en fonction uniquement du facteur de trouble atmosphérique de Linke corrigé (T_{LK}) et une fonction du diffus de l'altitude solaire F_d qui ne dépend que de l'altitude solaire h [28].

$$I_s = I_c \times T_n(T_{LK}) \times F_d(h_0) \quad (\text{II.42})$$

L'estimation du facteur de transmission $T_n(T_{LK})$ permet de donner un éclairement diffus théorique sur une surface horizontale. L'expression suivante est sous forme d'une fonction polynomiale de deuxième ordre [28,29].

$$T_n(T_{LK}) = -0.051843 + 0.030543T_{LK} + 0.0003797T_{LK}^2 \quad (\text{II.43})$$

F_d : La fonction de l'altitude solaire est donnée par l'expression:

$$F_d(h_0) = A_1 + A_2 \sinh_0 A_3 \sin^2 h_0 \quad (\text{II.44})$$

A_i : sont des coefficients dépendants uniquement du facteur de trouble T_L corrigé, définis par les expressions suivantes [30]:

$$A_1' = 0.26463 - 0.06158T_{LK} + 0.003108T_{LK}^2 \quad (\text{II.45})$$

$$A_1 = A_1' \quad \text{si } A_1' T_n(T_{LK}) \geq 0.0022 \quad (\text{II.46})$$

$$A_2 = 2.0420 + 0.018945T_{LK} - 0.011101T_{LK}^2 \quad (\text{II.47})$$

$$A_3 = -1.3025 + 0.039231T_{LK} - 0.0085079T_{LK}^2 \quad (\text{II.48})$$

Subséquentement, l'éclairement global sur une surface horizontale est calculé comme suit ;

$$I_g = I_d + I_s \quad (\text{II.49})$$

Chapitre III:

La région de M'sila

III .1. Station météorologiques de Msila

La station météorologique de Msila (voir la Figure(III.1)) est située à 7Kmau sud-ouest de la ville de Msila. Elle est mise en fonction le 23 mars 1976.cette dernière s'étale sur une superficie de 1600m^2 .cette station ouverte tous les joues, de 6h00à18h00 se compose défectifs suivants:

- Un(01) chef de station
- Deux(2) techniciens observateurs
- Un(1) chauffeur
- Deux(2) gardiens.



Figure (III.1) station météorologique de Msila

Les stations météorologiques sont dotées d'équipements pour surveiller l'atmosphère de la terre et fournir ainsi des informations sur le temps et par conséquent sur le climat au bout de plusieurs années.les mesures relevées au niveau des stations météorologiques comprennent la température, la pression atmosphérique, Humidité, la vitesse et la direction du vent et les précipitations.

Un réseau de station météorologiques à grande échelle surveille les conditions météorologiques en transmettant périodiquement et régulièrement les relevés via les moyens de communication.

III .1.1.Station automatique

Les stations automatiques (voir la figure III.2) ont été développées pour être utilisées dans des endroits des plus les stations avec personnel à de leur moindre cout.

Développées pour les services météorologiques, elles sont maintenant utilisées également dans la recherche météorologique, pour diverse utilisation spécialisée comme la météorologie agricole et le suivi de la condition routière, même les météorologues amateurs utilisent ce genre de station. Elles sont le plus souvent regroupées en réseaux pour couvrir un territoire donné, leur densité variant de quelques kilomètres entre la station (mésosets) à plusieurs centaines de kilomètres selon les besoins et l'accessibilité des sites.

La station météorologique de Msila a bénéficié d'une mini-station automatique depuis octobre 2015 (voir la figure(III.2)), qui permet de faire des relevés plus exacts des paramètres météorologiques chaque minute.



Afficheur de la station automatique

Placé à l'intérieur



partie extérieure de la station

Automatique

Figure(III.2) Mini station automatique de Msila.

III.1.2. Station manuelle

Une station manuelle est celle où la prise de mesure se fait par un technicien en météorologie selon un horaire régulier alors qu'une station météorologiques automatique est station dont les capteurs rapportent à intervalles une série de données météorologiques sans intervention humaine.les instruments sont souvent les mêmes dans les deux cas mais certaines

observation sont plus fiables quand elles proviennent d'un observateur en chair et en os .par exemple ,la couverture nuageuse et le type de précipitation sont plus facilement observables par un être humain que déduits par un instrument électronique .

III.2. Appareils de mesures utilisés dans la station manuelle de Msila

III.2.1. Abri météorologiques

Ils agissent d'une boîte blanche en bois qui n'absorbe pas la chaleur et qui présente des fentes obliques permettant à l'air d'atteindre sa hauteur (figure(III.3)) l'abri météorologique dont les dimensions sont :longueur:2m, largeur :0,5m ,hauteur :0,5m ,réalise l'équilibre thermique du thermomètre avec l'air ,en minimisant les échanges avec des sources de chaleur ou de froid qui pourraient fausser la mesure (par ses parois latérales et supérieures),il protège également le thermomètre du rayonnement solaire qui le réchaufferait.



Figure(III.3) Abri météorologique de Msila.

Pour éviter au mieux la pénétration des rayons solaires, ses portes d'accès doivent s'ouvrir au Nord dans l'hémisphère Nord et au Sud dans l'hémisphère Sud .A l'intérieur de l'abri météorologique, on trouve un thermomètre à mercure, un thermographe et un hygro -graphe.

III.2.2. Thermomètre



Figure(III.4) Thermomètre à mercure de l'abri météorologique de Msila.

Le mot thermomètre provient du grec ancien *thermos* qui signifie chaud et de *métrons* qui signifie mesure. Le thermomètre (voir la figure(III.4)) est sans aucun doute l'instrument météorologique le plus utilisé.

Le principe de fonctionnement d'un thermomètre utilise la propriété qu'ont certains corps de se dilater ou de se contracter suivant la température, il existe des thermomètres à alcool (peu précis), à mercure (précis mais coûteux), à bilames (peu précis) et enfin, les thermomètres électroniques (précis avec coût variable). Certains d'entre eux existent en enregistreur, (thermographe), le thermomètre utilisé dans la station de M'sila est le thermomètre à mercure.

Il y a une certaine façon de mesurer la température : en plaçant l'appareil de mesure (thermomètre ou thermographe) à l'ombre, c'est à dire à l'abri de la lumière directe du soleil et loin du sol, pour éviter que l'appareil ne soit affecté par le rayonnement réfléchi par la terre.

III.2.3. Thermographe

Cet appareil (voir la figure(III.5)) est utilisé pour enregistrer l'évolution des températures en fonction des temps. Le thermographe utilise en fait un bilame métallique dont l'une des extrémités est reliée à une pointe feutre qui inscrit les variations de température sur un diagramme, lui-même enroulé sur un cylindre tournant, mu par un mouvement d'horlogerie. La

rotation et l'enregistrement peuvent être quotidiens ou hebdomadaires, mécaniques ou à batterie.



Figure(III.5) thermographe de l'abri météorologique de Msila.

III.2.4. Thermomètre à maxima minima

Un thermomètre à maxima minima indique la température la plus haute et la température la plus basse de la journée ainsi que la température à l'instant du relevé. Les figures ci-dessous montre l'emplacement de thermomètre à maxima minima dans l'abri météorologique, et celui du thermomètre à maxima minima au dessus de sol au niveau de la station météorologique de m'sila

Il est à noter que le thermomètre à maxima utilisé dans la station de M'sila est un thermomètre à mercure, alors que, le thermomètre à minima est un thermomètre à alcool.



Figure(III.6) thermomètre à maxima-minima sous -abri de la station de Msila.



Figure(III.7) Thermomètre à maxima-minima au dessus de sol à la station de Msila.

III.2.5. Hygro graphe

L'hygro- graphe (voir la figure(III.8)) utilise la propriété de certaines molécules organiques (comme la kératine des cheveux) qui se dilatent ou se rétractent en fonction de l'humidité relative ambiante. Une mèche de cheveux est fixée sur un support par une extrémité. L'autre extrémité mobile, est reliée à un mécanisme qui en amplifie la variation de mouvement. Un stylet, asservi à l'ensemble, inscrit les variations d'humidité sur un diagramme, lui même enroulé sur un cylindre tournant, mu par un mouvement d'horlogerie (ensemble mécanique similaire à celui d'un thermographe ou d'un barographe).



Figure(III.8) hygro-graphe de labri météorologique de Msila.

III.2.6. Baromètre à mercure

La pression atmosphérique est la pression qu'exerce le mélange gazeux constituant l'atmosphère considérée (sur terre : de l'air) sur une surface quelconque avec cette atmosphère. la pression de l'air est mesurée par plusieurs appareils. Le baromètre à mercure est l'appareil utilisé pour mesurer la pression atmosphérique (barométrique) à la station météorologique de Msila (figure(III.9)) il peut, de façon secondaire, servir d'altimètre pour déterminer, de manière approximative, l'altitude.



Figure(III.9) baromètre à mercure de la station météorologique de Msila.

III.2.7. Anémomètre

L'anémomètre est un instrument qui permet de mesurer la vitesse et la pression du vent .En effet, le vent correspond au déplacement d'une masse d'air consécutif à des différences locales de température de pression .d'une légère brise à une forte tempête, la vitesse et l'amplitude géographique des vents peuvent être très variables dans l'espace et dans le temps.

L'anémomètre associé à une girouette, peut également apporter des précisions concernant la direction du vent .il est essentiellement utilisé en météorologie mais, les informations qu'il fournit peuvent aussi servir au transport aérien à la navigation ou à estimer les effets de retombées radioactives ou de poussières industrielles.

L'anémomètre associé à une girouette utilisé dans la station météorologique de Msila est donné la figure

Le plus classique des anémomètres doit être posé sur un mât de 10 mètres de haut (figure(III.10)) il se compose de trois petites couples installées sur des bras horizontaux régulièrement espacés. Lorsque le vent souffle, cet instrument météorologique se met en rotation. En effet, les lois de l'aérodynamique imposent une plus grande résistance aux creux qu'aux surfaces bombées. Le nombre de tours effectués par seconde est alors proportionnel à la vitesse du vent.

Pour mesurer la pression du vent, certains anémomètres comptent simplement sur la mesure de la force exercée par le vent sur une plaque maintenue face à lui. D'autres dispositifs reposent sur l'introduction d'un tube en U. le vent souffle dans l'ouverture et provoque une pression transmise pour mesure à un manomètre.



Figure(III.10) Anémomètre de la station météorologique de Msila.

III.2.8. Pluviomètre

Le pluviomètre est un instrument météorologique (figure(III.11)) destiné à mesurer la quantité de précipitation (surtout la pluie) tombée pendant un intervalle de temps donné en un endroit. Lun des plus communs dans les stations météorologiques, il en existe différents types, certains à mesure directe et d'autres automatiques. Ces derniers peuvent être reliés à des enregistreurs en continu de la hauteur d'eau .il est constitué:

- Dun entonnoir ou cône de réception
- Dun réservoir gradué en "mm de précipitations"

La précipitation solides sont mesurées après quelles aient fondu .Certains pluviomètres sont munis d'un dispositif de "pré- chauffage" permettant entre autre, de faire fondre la neige ou la grêle avant d'effectuer la mesure. 1mm de précipitation correspond à 1L d'eau par m².

Le pluviomètre doit ne recevoir que l'eau tombée du ciel et non celle qui, toute mesure ne serait plus significative. L'emplacement idéal serait de le maintenir sur un piquet à une hauteur d'au moins 1mètre et dans un endroit parfaitement dégagé et plat.



Figure(III.11) pluviomètre de la station météorologique de Msila.

III.2.9. Mesure de la température du sol

A la station météorologique de Msila, on fait deux prises de température à l'intérieur du sol différentes profondeurs souterraines, une à 0,3mètre et l'autre 0,6mètres (figure(III.12)).



Figure (A) (III.12) Mesure de la température du sol à la station de Msila.



Figure (B) (III.12) Mesure de la température du sol à la station de Msila.

III.2.10. Pyranomètre

Un pyranomètre est un capteur de flux thermique utilisé pour la mesure de la quantité d'énergie solaire en lumière naturelle et est notamment utilisé en météorologie. Il permet la mesure de la puissance du rayonnement solaire total en W/m^2 . Il est sensible dans un domaine spectral de 300 à 2500 nm selon le filtre utilisé. Ce dernier contient une thermopile qui délivre une tension proportionnelle à l'irradiation. La partie supérieure de la pile s'échauffe lorsqu'elle est exposée au rayonnement solaire, tandis que la partie inférieure est protégée du rayonnement et sert de référence.

Au niveau de la station météorologie de Msila, le flux thermique reçu est donné par la mini station.



Figure(III.13) pyranomètre.

III.2.11. Héliographe

L'héliographe Campbell-stokes (voir la figure(III.14)) se compose essentiellement d'une sphère en verre de 10 cm de diamètre fixée concentriquement sur un support de forme circulaire. Celui-ci est de trois paires de rainures dans lesquelles une bande de carton spécial peut être passée. Elles permettent d'installer la bande de carton à différents niveaux en fonction de la saison.



Figure(III.14) Héliographe.

Lorsque le soleil brille, son image se forme sur la bande de carton qui est carbonisée à cet emplacement. Comme la Terre tourne, on n'a pas besoin de mouvement mécanique sur l'appareil : la lumière qui passe par une fente se déplace régulièrement et quand il n'y a pas de soleil, la feuille reste vierge. Les bandes sont graduées heures et le dépouillement des mesures est relativement imprécis car la combustion du carton est possible à différents degrés et loin d'être toujours évidente à discerner. On distingue également des héliographes automatiques. Certains sont constitués de deux cellules photovoltaïques dont l'une reçoit le rayonnement solaire global et l'autre uniquement le rayonnement diffus grâce à un écran. Lorsque le soleil est présent, les deux cellules délivrent des signaux déséquilibrés, suivant une valeur seuil donnée. La station météorologique de M'sila est dotée d'un héliographe.

Chapitre IV:
Resultants ET
Discussion

Résultats et discussions

IV.1. Données utilisées

Les données expérimentales, qui ont servi dans notre étude, sont des mesures d'irradiation globale pour le site de m'sila. ce sont des données solaires fournies par le centre de Météo Les caractéristiques géographiques de site étudié sont données sur le tableau IV.1.

Tableau (IV.1): Coordonnées géographiques des sites utilisés

Latitude (°)	35.31 N
Longitude(°)	4.23 E
Altitude (m)	675 m
Albédo	0.25

IV.2. Le caractères moyens du climat a Msila

L'analyse de caractères moyens du climat a M'sila, qui constituent la réponse a l'apport de la circulation atmosphérique, portera sur les paramètres météorologiques suivants : vents, insolation, température, humidité relative, pluviométrie.

IV.2. 1. Le vent

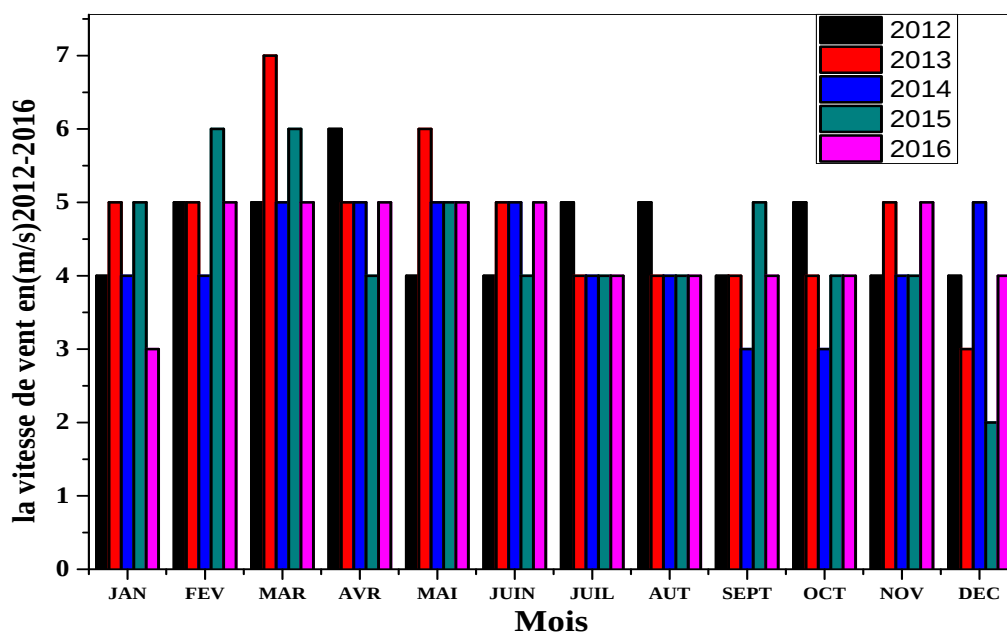
L'analyse des vents a la station de M'sila porte sur la période de 2012 a 2016. L'évolution de la vitesse moyenne mensuelle du vent est caractérisée par 2 périodes (figure IV.1). Une période caractérisée par des vitesse élevées de Février a Juin avec un maximum en mars 2013 (7m/s). la deuxième période va du mois Juillet a janvier avec un minimum en décembre 2015 (2 m/s).

IV.2. 2. Les températures

IV.2. 2.1. Température maximale

La température connaît des variations journalières, saisonnières et mensuelles. Notre analyse porte sur l'évolution des températures moyennes mensuelles.

D'après la figure (IV.2), qui présenté l'évolution des températures maximales moyennes mensuelle, la maximum température s'observe au mois de juillet avec une valeur maximale en juillet 2012 (46,2°C). Le minimum enregistré au mois de Décembre qui correspond a l'hiver de l'hémisphère nord en 2015 (14,2°C).



Figure(IV.1) Variation de la vitesse moyenne des vents a M'sila au cours de l'année.

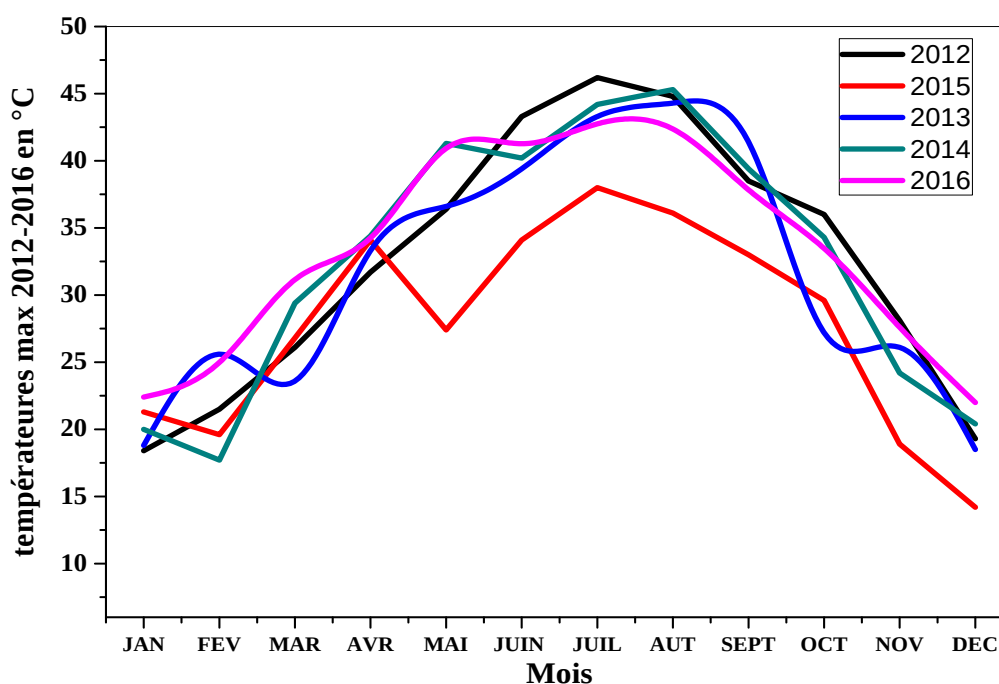


Figure (IV.2) Evolution des températures moyennes maximales mensuelle a m'sila au cours de l'année.

IV.2. 2.2. Température minimale

D'après la figure (IV.3), qui présenté l'évolution des températures minimale moyennes mensuelle, la maximum température s'observe au mois de juillet avec une valeur maximale en juillet 2013(23,5°C). Le minimum enregistré au mois de février 2012(-2,9°C).

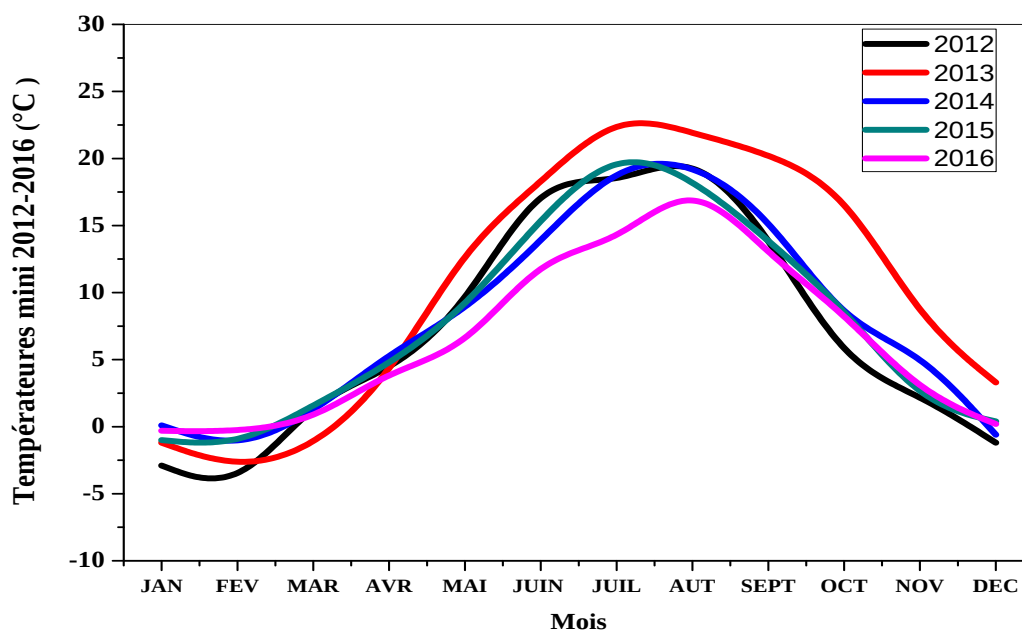


Figure (IV.3) Evolution des températures minimales moyennes à m'sila au cours de l'année.

IV.2. 2.3. Evolution de la température Moyenne mensuelle

La figure (IV.4) représente l'évolution de la température moyenne mensuelle de la ville de M'sila. on constate que l'évolution de la température moyenne possède un comportement parabolique.

Une première constatation est la différence des températures moyenne entre celles des mois de décembre-janvier-février qui restent largement inférieures à celles du mois de juillet (34°C), la température est maximale, ce constat qui s'explique par l'amplitude de l'ensoleillement de la journée qui reste relativement plus longue en été qu'en hiver.

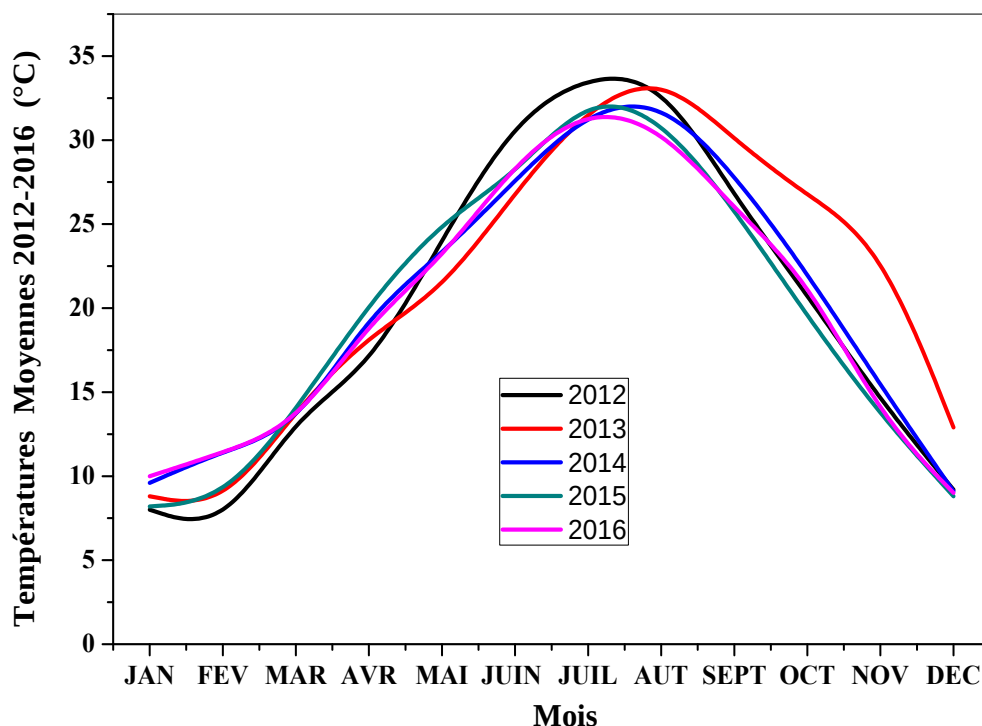


Figure (IV.4) Evolution des températures moyennes a m'sila au cours de l'année.

IV.2.3. L'humidité relative

L'humidité relative peut être définie comme le rapport de la quantité d'eau effectivement contenue dans l'air et la capacité d'absorption à une température donnée .elle dépend de la température et varie en fonction des saisons.

D'après la figure (IV.5). On remarque que l'humidité moyenne de la ville de M'sila varie relativement au cours de l'année en fonction de la température inversement.

Les valeurs les plus élevées sont enregistrées au cours de l'année en la saison d'hiver entre (65 et 74 %) et les humidités relatives les plus faibles s'observant la saison d'été avec un minimum à l'été 2012 (27 %).

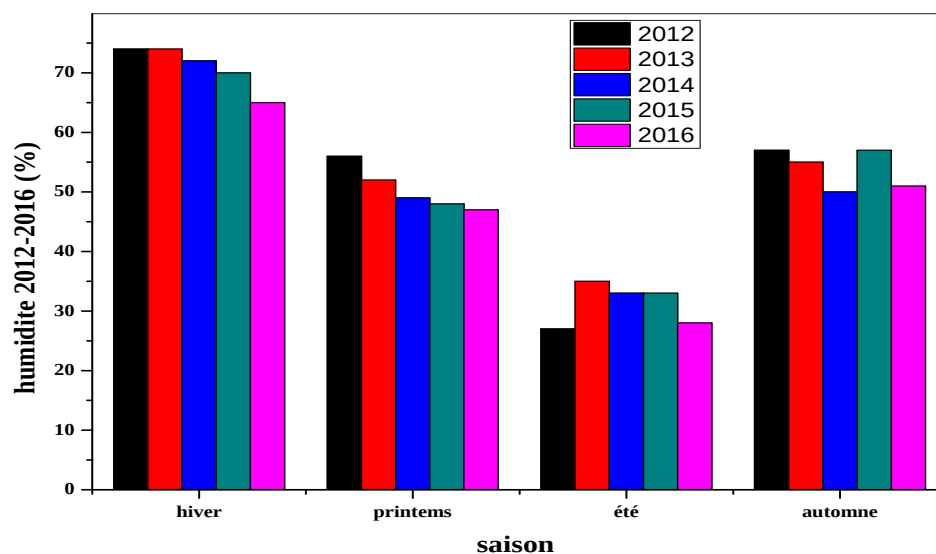


Figure (IV.5) Variation moyenne de l'humidité a M'sila au cours de l'année.

IV.2. 4. La pluviométrie

La mesure des précipitations en un point donné montre de grandes différences d'une heure à l'autre, d'une semaine à l'autre, et même d'une année à l'autre. A un pas de temps fin, cette variabilité est bien plus importante pour la pluie que pour tout autre composante du cycle hydrologique ; l'évaporation.

La pluviométrie d'une année est définie par la somme de la hauteur des précipitations mensuelles. A m'sila d'après la figure (IV.6), on observe que la précipitation annuelle varie entre 160 et 200 mm. À l'exception de l'année 2013, où les précipitations ont été importantes 200 mm. On observe sur la figure (IV.7). Que les précipitations est importante en l'automne et au printemps, moyenne en hiver et minimale en été. Ça veut dire que cette saison est sèche.

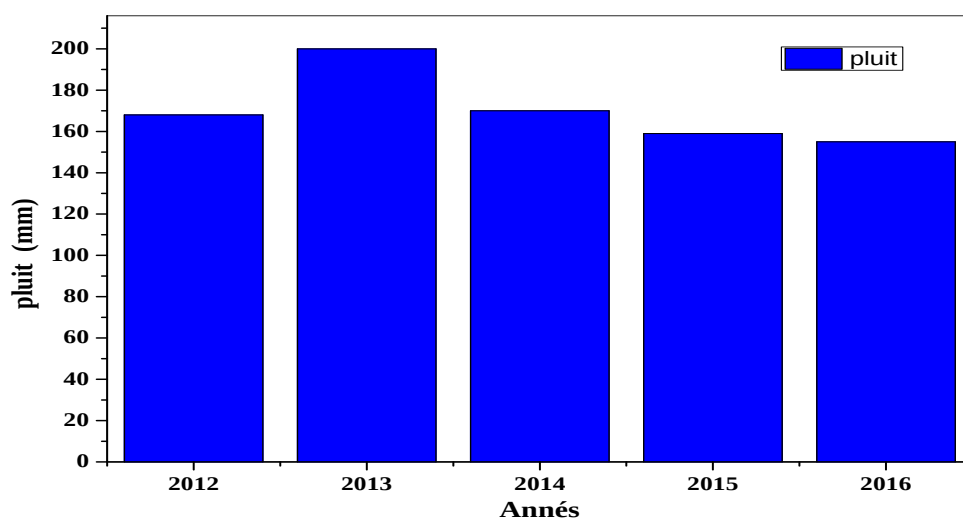


Figure (IV.6) Variation de la pluviométrie annuelle a M'sila pendant 5 ans

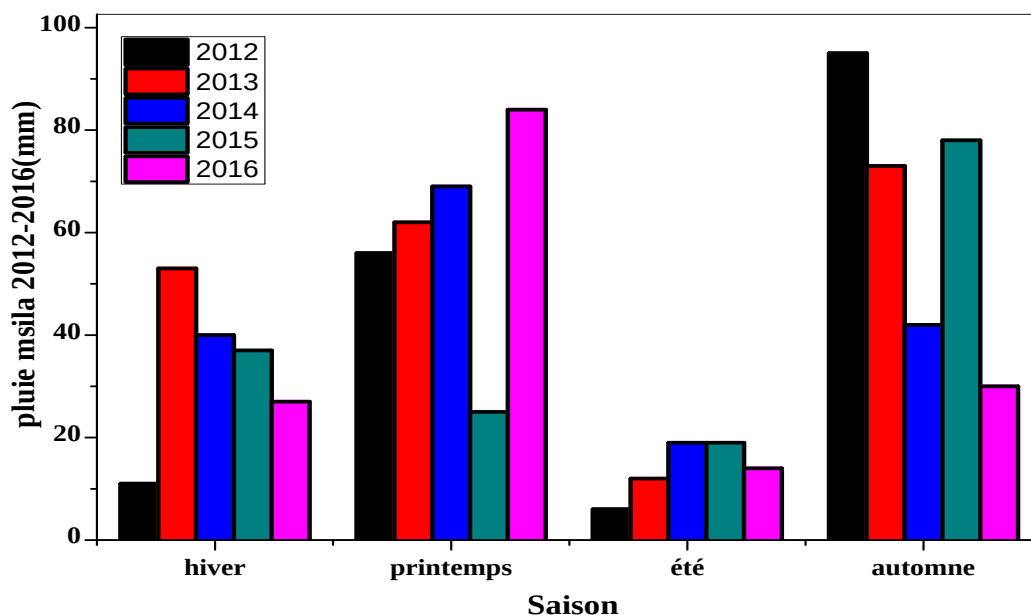
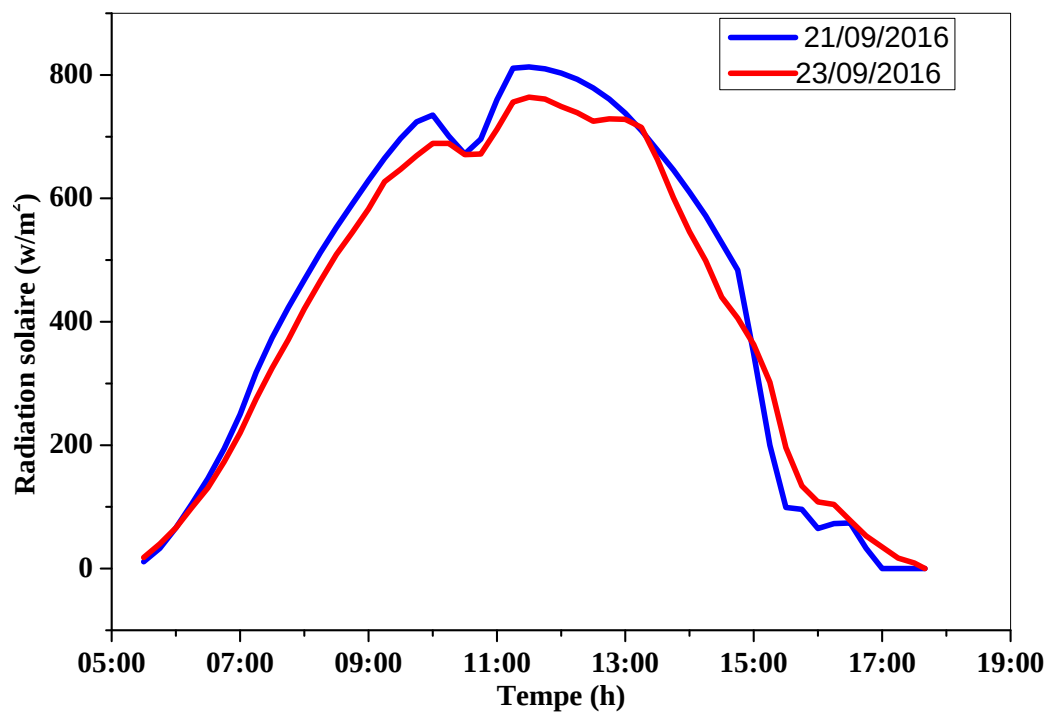


Figure (IV.7) Variation de la pluviométrie mensuelle a M'sila pendant 5 ans.

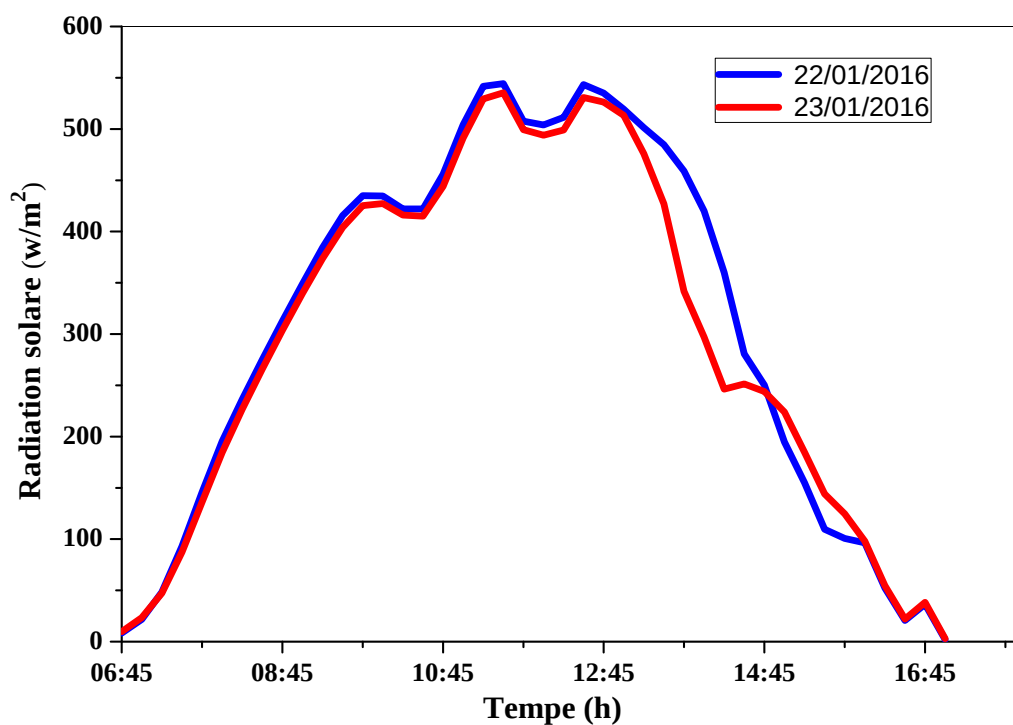
IV.3. Variation temporelle d'irradiation solaire reçue par unité de surface plane

L'évolution temporelle du rayonnement solaire global reçu par unité de surface plane horizontale pour quatre saisons est illustrée par la figure(IV.8). Il apparait nettement sur ces figures que la puissance solaire est maximale entre 11h00 et 13h00, elle varie d'une saison à une autre. La valeur maximale de cette irradiation atteint en été les 937 w/m² par contre en hiver elle ne dépasse pas les 544w/m² ce qui peut être expliqué par la hauteur du soleil et la masse atmosphérique.

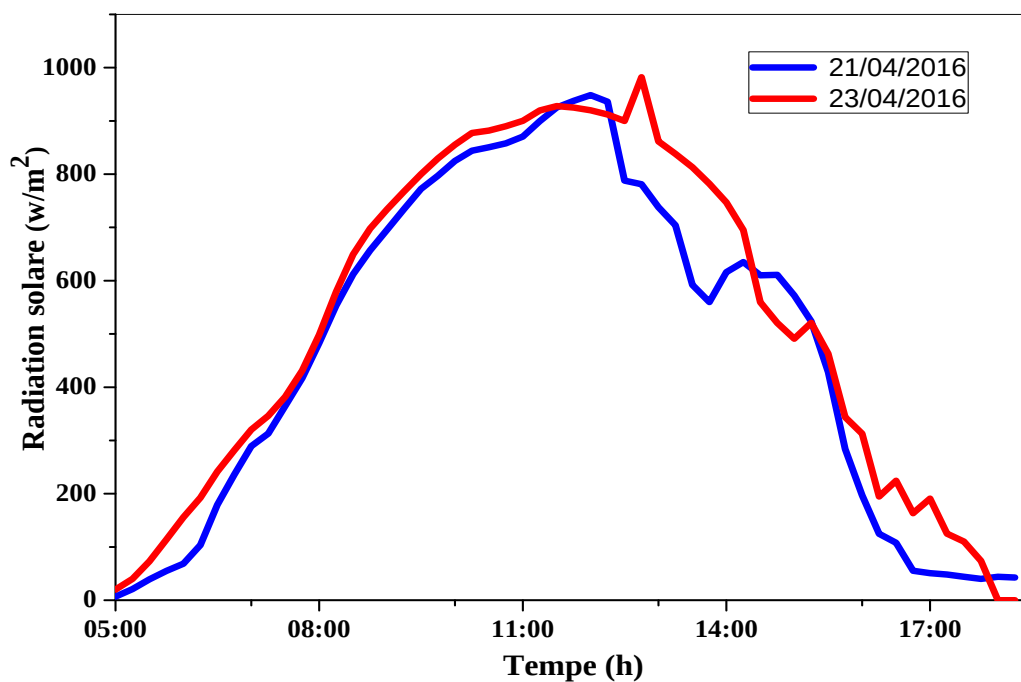
En effet, plus le soleil est bas sur l'horizon (sa hauteur petite) plus la masse atmosphérique parcourue par le rayonnement solaire est importante, ce dernier va donc subir des atténuations importantes suite à son interaction avec l'atmosphère terrestre. Par contre, lorsque le soleil s'éloigne de l'horizon, sa hauteur croît et par conséquent la masse atmosphérique parcourue par le rayonnement solaire diminue, il en résulte une atténuation moins importante.



Figure(IV.8) L'évolution instantanée de l'irradiation globale en automne



Figure(IV.9) L'évolution instantanée de l'irradiation globale en hiver



Figure(IV.10) L'évolution instantanée de l'irradiation globale au printemps

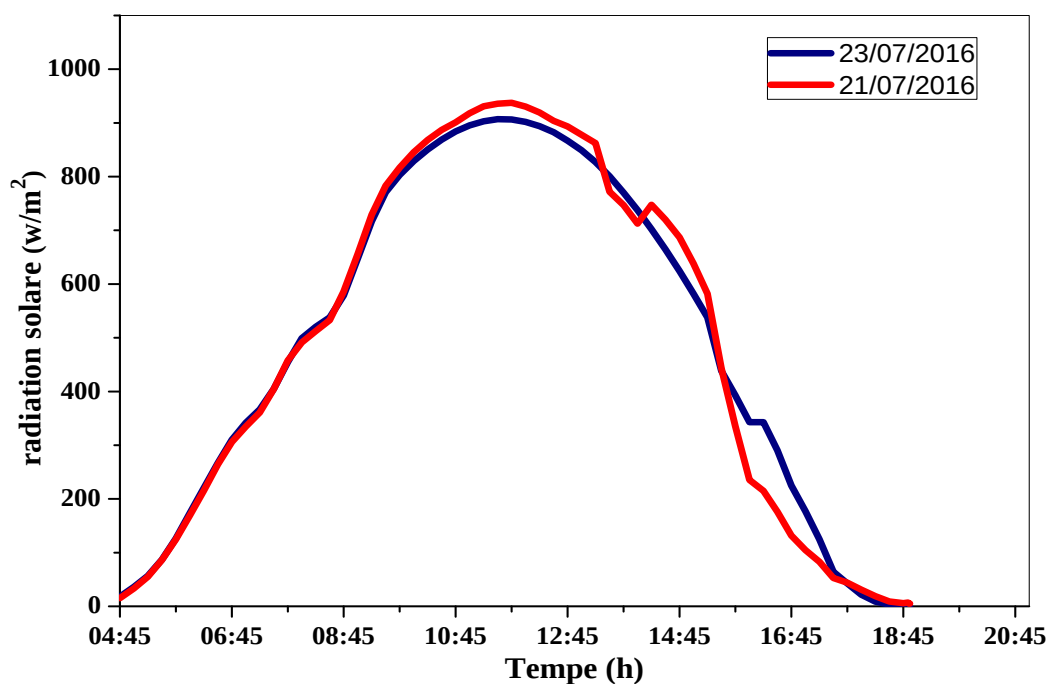


Figure (IV.11) L'évolution instantanée de l'irradiation globale en été

IV.4. Comparaison des valeurs de l'éclairement dû au rayonnement global mesurées et estimées

Dans les figures(IV.12) suivantes on trouve le graphe de l'irradiation solaire globale mesurée et celui de l'irradiation solaire globale estimée par le modèle LIU JORDAN, on remarque que pour la plupart des situations, les valeurs de la composante globale estimée sont très proches des valeurs mesurées. L'erreur relative moyenne est très faible et parfois même négligeable. Sauf après 15h, on observe que l'erreur relative du rayonnement global est supérieure à 10% dans le jour. Il semble que le ciel est légèrement couvert.

Les courbes simulées par le modèle LIU JORDAN sont en très bonne concordance avec les valeurs mesurées, si bien que l'erreur relative est très faible à ciel clair.

Par conséquent, on en déduit que ce modèle peut réaliser une estimation assez fidèle du rayonnement solaire incident dans la région de M'sila dans le cas d'un ciel clair.

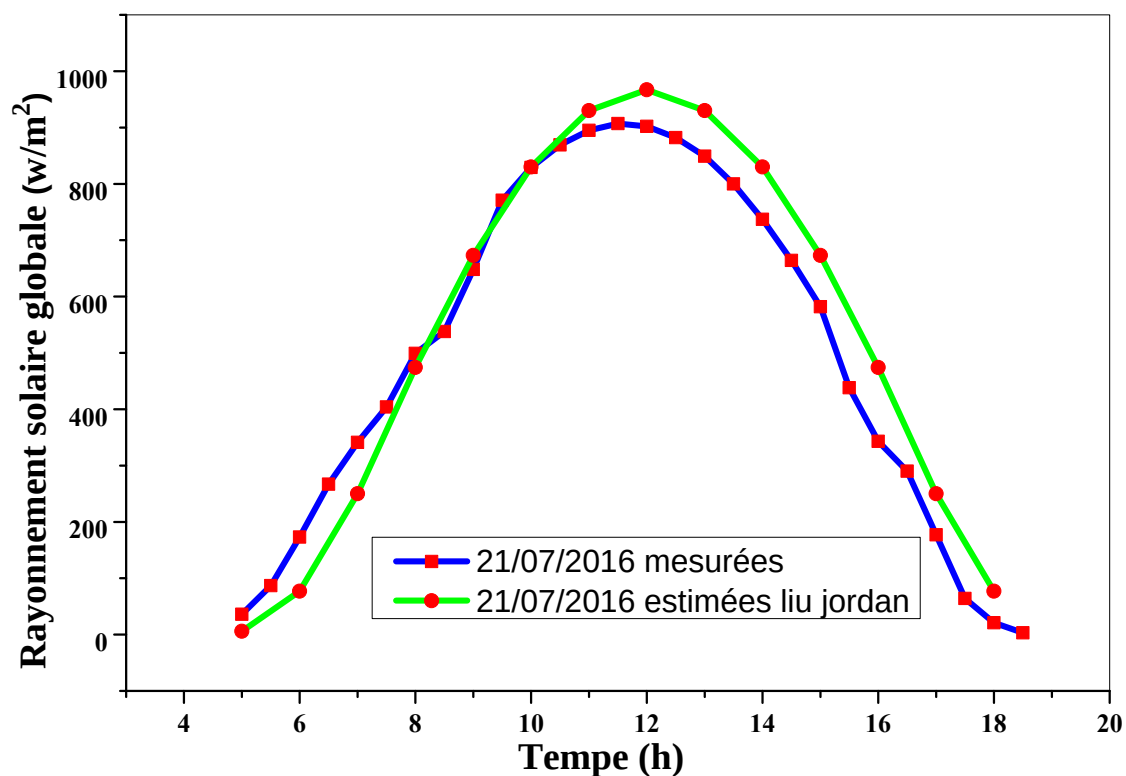


Figure (IV.12) L'irradiation solaire globale (été) mesurée et estimée par le modèle d' LIU JORDAN

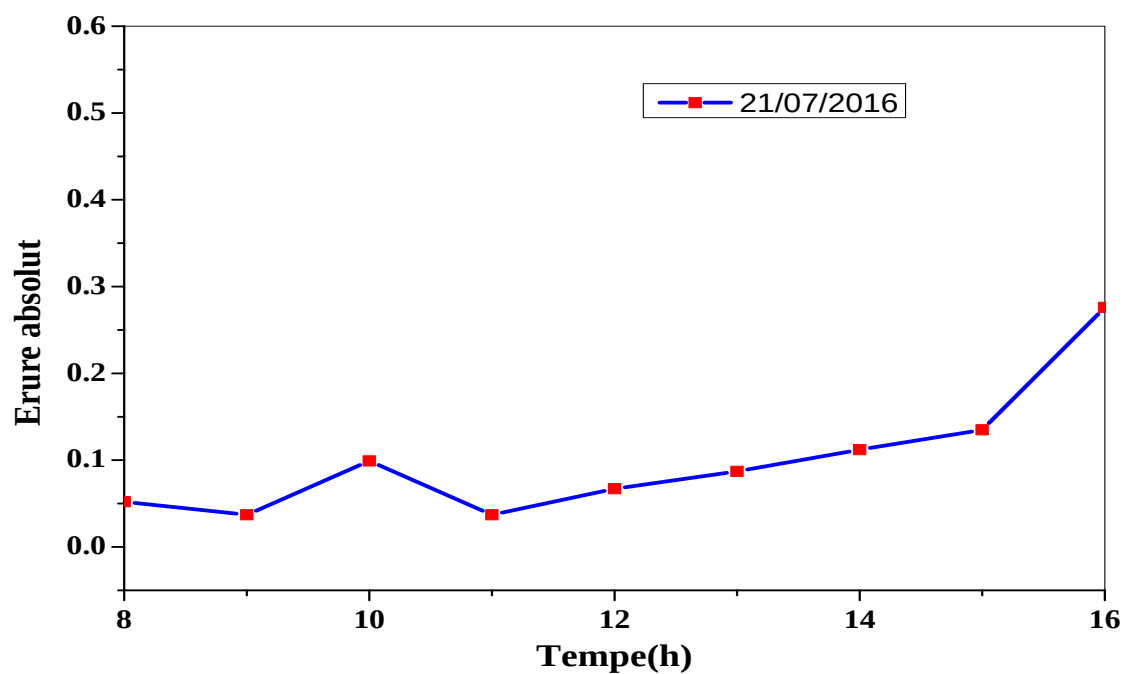
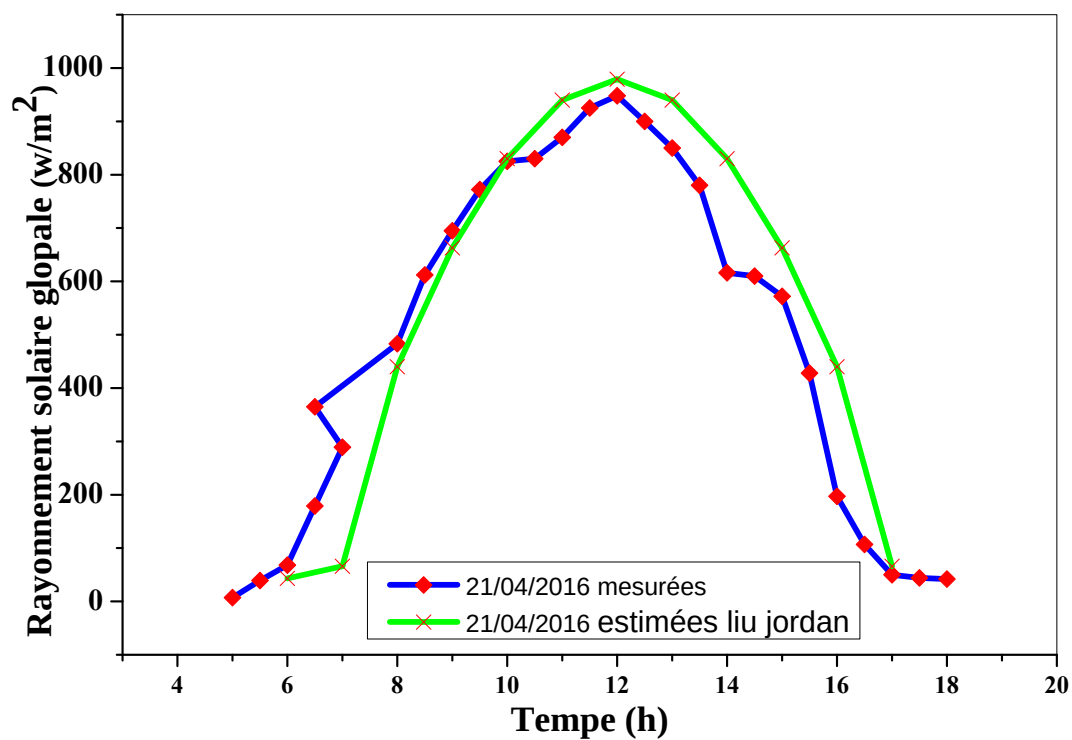
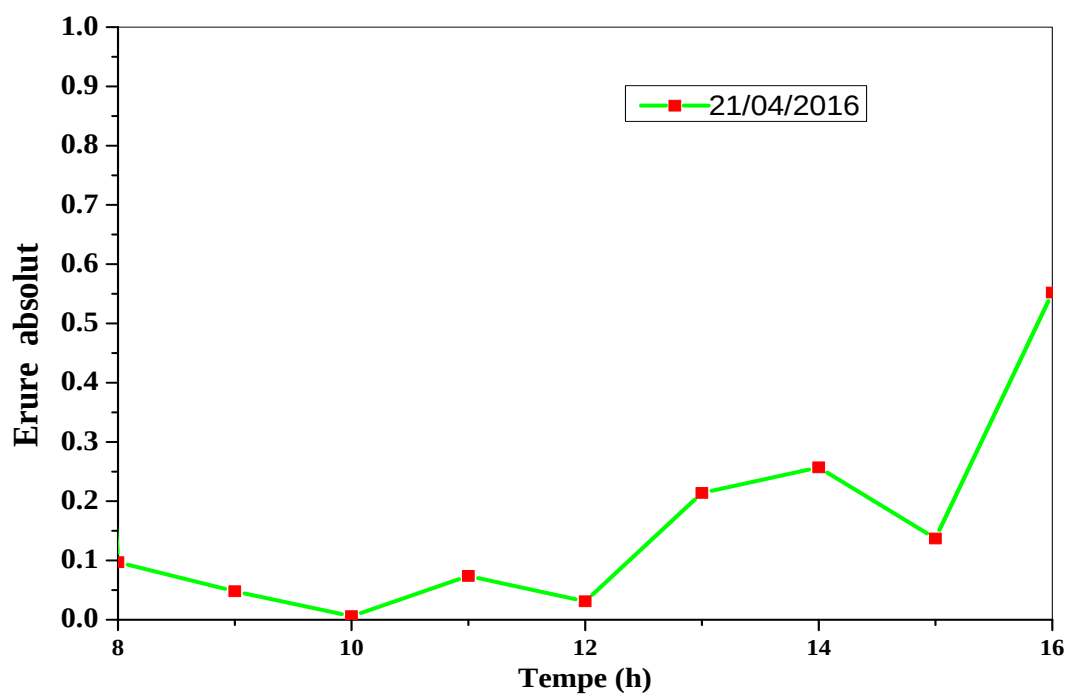


Figure (IV.13) Erreur relative instantanée sur le rayonnement solaire globale en été.



Figure(IV.14) L'irradiation solaire globale (printemps) mesurée et estimée par le modèle d' LIU JORDAN.



Figure(IV.15) Erreur relative instantanée sur le rayonnement solaire globale en printemps.

Conclusion

Conclusion

L'étude que nous venons de présenter, nous a permis d'approfondir et d'enrichir nos connaissances sur la donnée météorologique de Msila, et précisément les flux solaires. Notre travail comporte deux grands axes: Le premier axe portera sur les paramètres météorologiques Suivants: le vents, insolation, température, humidité relative, pluviométrie. Dans le deuxième axe nous avons appliqué un modèle qui permet de reconstituer les différentes composantes du rayonnement solaire par ciel clair moyennant des relations empiriques.

Pour les températures minimale moyennes mensuelle, la maximum température s'observe au mois de juillet avec une valeur maximale en juillet 2013. Le minimum enregistré au mois de février 2012.

Pour les températures maximales moyennes mensuelle, la maximum température s'observe au mois de juillet avec une valeur maximale en juillet 2012 (46,2°C). Le minimum enregistré au mois de Décembre qui correspond a l'hiver de l'hémisphère nord en 2015 (14,2°C).

L'humidité moyenne de la ville de M'sila varie relativement au cours de l'année en fonction de la température inversement, les valeurs les plus élevées sont enregistrées au cours de l'année en la saison d'hiver entre (65 et 74 %) et les humidités relatives les plus faibles s'observant la saison d'été avec un minimum à l'été 2012 (27 %).

Ces mesures sont aussi utilisées pour valider le modèle théorique semi-empirique de Liu-Jordan. Pour estimer l'énergie solaire rayonnante pour deux journées précise de l'année a la région de Msila (35. °N, 4°E). Il est à noter que les valeurs estimées par le modèle sont en bonnes concordances avec les valeurs mesurées.

On peut conclure que la région de M'sila dispose d'un climat très favorable à l'utilisation de l'énergie solaire et cela peut encourager l'exploitation de cette énergie surtout dans les régions isolées de la ville qui ne sont pas atteints par le réseau électrique ou celle où la charge est très grande ce qui provoque les coupures d'électricité. Les valeurs calculées montrent que la comparaison est acceptable. En effet, cette confrontation entre les données recueillies et les résultats nous amène à voir que le cadre théorique retenu est une grille d'analyse performante.

Les perspectives à venir de ce travail sont:

Etudier et comparer les autres modèles théoriques avec le modèle étudié.

Analyser et comparer les résultats météorologiques d'autres régions avec les résultats de la zone étudiée.

Références
Bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] **A. MAAFI**, «A survey on photovoltaic activities in Algeria», *Renewable Energy* Vol.20, pp 09-17, (2000).
- [2] **M. CAPDEROUX**, «Atlas solaire de l'Algerie, Modelestheoriques et experimentaux», tome1, Volume (1.2), Office des publications Universitaires, Alger (1987).
- [3] **K. MESSAIFA**, «Evaluation de l'Apport Quantitatif des inclinaisons d'un systeme de photovoltaïque», *Enersole'01- 30-31 Oct, ADRAR*, pp 255-272, (2001).
- [4] **Mellit, A, Benghanem, M, Hadj Arab, A, Guessoum, A**, 2005a. An adaptative artificial neural network model for sizing stand-alone photovoltaic systems: application for isolated sites in Algeria. *Renewable Energy* 30 (10), 1501–1524.
- [5] **Chegaar. M. and Chibani. A**, (2001): Global solar radiation estimation in Algeria. *Energy conversion and management*, 42(8), 967-973.
- [6] **Mecibah. M.S, Boukelia. T. E, Tahtah. R, Gairaa K.** (2014): Introducing the best model for estimation the monthly mean daily global solar radiation on a horizontal surface. (Case study: Algeria). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 36, 194–202.
- [7] **M. Mesri-Merad, I. Rougab, A. Cheknane et N.I. Bachari** Estimation du rayonnement solaire au sol par des modèles semi-empiriques *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 15 N°3 (2012) 451 – 463.
- [8] **DRISSI Kanza** Prédiction des Radiations Solaires Application à la Région de M'sila UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA le 31/ 05/2017.
- [9] **S. Benkacialia et K. Gairaa** Etude expérimentale du trouble atmosphérique sur le site de Ghardaïa *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 12 N°4 (2009) 649 – 654.
- [10] **z. Mokhtari** Estimation du Rayonnement Solaire par deux Approches Semi Empiriques dans le site de Biskra at. Béchar–Algérie, 11 et 12 Novembre 2006.
- [11] **Y. Bouhadda et L. Serrir** Contribution à l'étude du trouble atmosphérique de Linke sur le site de Ghardaïa *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 9 N°4 (2006) 277 – 284.
- [12] **F. Yettou , A. Malek , M. Haddadi, et A. Gama**, Etude Comparative De Deux Modèles De Calcul du Rayonnement Solaire Par Ciel Clair en Algérie , *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 12 N° 2 (2009) 331 – 346.
- [13] **J, Bernard.** *Energie solaire calculs et optimisation*, Ellipse Edition Marketing. (2004).
- [14] **C, Vauge.** Introduction générale sur les différentes énergies renouvelables, *Techniques de l'Ingénieur*, B263. (1982) .

- [15] **O, Sotehi.** Etude des caractéristiques de fonctionnement et de la performance d'un distillateur solaire; thèse de magistère, Université de Constantine. (2009).
- [16] **J, A, Duffie; W, A, Beckman.** Solar engineering of thermal processes, John Wiley and Sons. (1980).
- [17] http://www.neufplanetes.org/systeme_solaire/earth.html juin 2011.
- [18] **Majid Ghassemi,** Alma Cota, Robert Foster «Solar Energy:Renewable Energy and the Environment» 2010.
- [19] **Y. N'goran,** Contribution à la modélisation du gisement solaire. Thèse de doctorat, Université de Cocody Abidjan (2005).
- [20] **Beikacern, Fezzioui Naima,** Energie solaire et capteur solaires Centre Universitaire de Béchar 2001.
- [21] **A. Mefti; M, Y, bouroubi; H, Mimouni.** Evaluation du potentiel énergétique solaire Bulletin des Energies Renouvelables, N°2, p 12, décembre. (2002).
- [22] **M. hamdani,** étude et effet de l'orientation de deux Pièces d'un habitat en Pierre Situé à Ghardaïa, thèse magister, université de Tlemcen, (2011).
- [23] **C. Perrin de brichambaut,** le gisement solaire: évaluation de la ressource énergétique, technique et documentation, Paris, (1982).
- [24] **S.M.A. Bekkouché,**Modélisation du Comportement Thermique de Quelques Dispositifs Solaires, Thèse de Doctorat en Physique Electronique, Université de Tlemcen., Mai 2009.
- [25] **M.M. Hadjiat, S.M.A. Bekkouché, M.R. Yaiche, M. Hamdani,**Effet de l'Orientation sur la Température Intérieure d'une Pièce d'un Habitat Située a Ghardaïa, Revue Internationale d'Héliotechnique Energie – Environnement – N° 39 (2009) 8 - 13.
- [26] **A. Asfeir, G. Guarracino,** Ingénierie des systèmes solaire Application à l'habitat, Technique et documentation Paris 1981.
- [27] **M. Daguénet,** Les séchoirs solaires, théorie et pratique Unesco, Paris 1985.
- [28] **J. hofierka, M.sùri,** the solar radiation model for open source GIS: implementation and applications, proceedings of the open source GIS-GRASS users conference,Italy, (2002).
- [29] **L. Diabaté, J. Remund, L. Wald,**Linke Turbidity Factors for Several Sites in Africa, Solar Energy, 75, 2003, 111-119.
- ZurPhysik Der Atmosphäre, Vol. 10, pp. 91 - 103, 1922.
- [30] **J. hofierka, M.sùri,** the solar radiation model for open source GIS: implementation and applications, proceedings of the open source GIS-GRASS users conference,Italy, (2002).
- [31] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/solres/solmod3.htm>.

Résumé

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

Dans ce travail, nous avons analysé des données météorologiques : vents, insolation, température, humidité relative, pluviométrie, d'une cinq ans d'étude et nous avons élaboré une confrontation entre des valeurs de rayonnement solaires mesurées sur la région de m'sila (35. °N, 4°E) et des valeurs estimées par le modèle théorique LIU JORDAN. Nous avons par la suite comparé les valeurs mesurées et les valeurs théoriques estimées de la même période. L'étude comparative des résultats obtenus a montré que le modèle LIU JORDAN donne une erreur négligeable entre les valeurs mesurées et celles calculées.

Mots clés: vents, insolation, température, humidité relative, pluviométrie, modèle théorique LIU JORDAN.

Abstract

Solar energy is the most important source of renewable energy, for this the exploitation of solar energy in Algeria is a major area of research that is experiencing considerable development this last decade. In this work, we analyzed meteorological data: winds, insolation, temperature, relative humidity, rainfall, a five-year study and we developed a confrontation between solar radiation values measured in the region of m'sila (35 ° N, 4 ° E) and values estimated by the theoretical LIU JORDAN model. We then compared the measured values with the estimated theoretical values for the same period. The comparative study of the results obtained showed that the LIU JORDAN model gives a negligible error between the measured values and those calculated.

Key words: winds, insolation, temperature, relative humidity, rainfall, theoretical model LIU JORDAN.

ملخص

تعد الطاقة الشمسية أهم مصدر للطاقة المتجددة ، لذلك يعد استغلال الطاقة الشمسية في الجزائر مجالاً رئيسياً من الأبحاث التي تشهد تطوراً كبيراً في المدة الأخيرة.

في هذا العمل ، قمنا بتحليل بيانات الأرصاد الجوية: الرياح ، والتشمس ، ودرجة الحرارة ، والرطوبة النسبية ، وهطول الأمطار ، خلال خمس سنوات ، وقمنا بدراسة مقارنة بين قيم الإشعاع الشمسي المقاسة في منطقة المسيلة. (35 درجة شمالاً و 4 درجات شرقاً) وقيم مقدرة بالنموذج النظري لـ لي جوردان. ثم قمنا بمقارنة القيم المقاسة بالقيم النظرية المقدرة لنفس الفترة. أظهرت الدراسة المقارنة للنتائج التي تم الحصول عليها أن نموذج لي جوردان يعطي خطأ ضئيلاً بين القيم المقاسة والقيم المحسوبة.

الكلمات المفتاحية: الرياح، التشمس، درجة الحرارة، الرطوبة النسبية، هطول الأمطار، النموذج النظري لـ لي جوردان.