

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

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE PHYSIQUE



DOMAINE: SCIENCE DE LA MATIERE

FILIERE : PHYSIQUE

OPTION : PHYSIQUE ENERGÉTIQUE

ET ENERGIES RENOUVELABLES .

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

Réalisé par:

CHERIGUI AMAL et THARAFI AHLAM

Intitulé:

*Estimation de rayonnement solaire en M'sila
cas d'un ciel clair*

Soutenu le de vante jury composé de

TALOUB Djedid	Université Mohamed Boudiaf-M'sila	Présidente
BOURAS Abdelkarim	Université Mohamed Boudiaf-M'sila	Rapporteur
HADDAD Zakaria	Université Mohamed Boudiaf-M'sila	Examineur

Année universitaire: 2019/2020

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Allah, et tous ceux qui nous ont données la force et la patience pour accomplir cette tâche modeste

*A la fin de ce travail, nous remercions sincèrement monsieur **Dr, BOURAS ABDELKARIM** pour ses remarques, ses conseils considérables et ces critiques constructives.*

Nous remercions également tous les membres du jury qui nous ont fait l'honneur en acceptant d'examiner ce travail.

Nous remercions tous les enseignants qui ont encadré durant notre cursus universitaire.

Nous remercions tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, nous ont toujours soutenus par leur respect et leur gentillesse.

Dédicace

Je dédie ce travail à mes chers parents, qui ont le plus de remerciements et de respect pour leurs efforts, leur amour, leurs prières, leurs prières et leurs encouragements au cours de ma carrière universitaire .

*Pour mon cher père **Mohamed**, vous restez toujours le père idéal lorsque vous jouez un rôle dans notre éducation, nous encourageant à étudier et votre désir de réussir dans nos vie*

*À ma chère mère **Oumkheir**, à la mère la plus précieuse du ciel sous vos pieds, nous vous remercions pour vos efforts pour nous élever, votre soutien suprême pour moi et vos encouragements dans mes étude.*

*À mes chères sœurs, **Bouchra**, **Soumaya** .*

*À mes chers frères, **Amer** ,**Faris**, **Abdellatif**, parce qu'ils ont un rôle de soutien et d'encouragement, et surtout **Amer**, à cause de son grand mérite de m'aider dans ce travail*

*Je dédie également ce travail à ma famille, **CHERIGUI** et **Khadraoui** .*

*À mes chers amis, **Ahlem** de mon partenaire dans cette entreprise et de mon collègue dans ma carrière universitaire, **Souhila**, **Zineb**, **Salima**, **Hayat**, **Soumaya** , **Fatna** , **Faiza**, **Yamina**, **Saida**, **Rania**.*

À tous les membres de ma promotion .

À tous mes enseignants depuis mes premières années d'études.

Dédicace

Je dédie ce travail

A mon très cher père Mohamed

Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager que ce travail traduit ma gratitude et mon amour et mon respect, que Dieu te préserve pour moi pour toujours.

A ma très chère mère Nora

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurais point te remercier comme il se doit. ton affection me couvre ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

A mes très chers frères Hamlaoui et Youssef et mes belles sœurs Hadjer, Zayneb, Rachida.

A toute ma famille surtout ma belle petite tante Nassima et mon cher oncle Salah (Abd Rachid).

A mes chers grands-parents : Kouider, Khiera et Zaynb.

A mes très chers amis : Amal, Saïda, Soumiya, Rania, Rokaya, Fatoum, Soumiya Khaouini et Je n'oublierai pas mes amis Fayza, Yamina, Sabrina, Safia, Hadjer et mes souvenirs sont avec eux.

A tous les membres de ma promotion.

A tous mes enseignants depuis mes premières années d'études.

A tous ceux qui me sont chers et que j'ai omis de citer.

Sommaire

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Nomenclature

Lettre grec

Introduction générale 1

Chapitre I:

Elément de Gisement solaire

I.1. Introduction:	4
I.2. Le soleil	4
I.3.La constante solaire	5
I.4.Les mouvements de la terre:	5
I.5.Position du soleil par rapport à la terre:.....	6
I .5.1.coordonnées géographiques:	6
I.5.2.coordonnees horizontales :.....	7
I.5.3 Les coordonnées célestes horaires:	8
I.6.Les temps solaires.....	9
I.6.1.Le Temps Solaire Vrai (T.S.V).....	9
I.6.2.Le Temps Solaire Moyen (T.S.M).....	9
I.6-3.Le temps universel (TU).....	10
I.6-4.Le temps légal (TL)	10
I.6.5.Équation du temps.....	10
I.7.Rôle de l'atmosphère terrestre et rayonnement au sol	11
I.7.1.La structure de l'atmosphère	11

Sommaire

I.7.2.La composition de l'atmosphère:	11
I.8.Les différents types de rayonnement solaire	13
I.8.1.Rayonnement direct	14
I.8.2.Rayonnement diffus	14
I.8.3.Rayonnement global	14
I.9.L'enseillement	15
I.10.Le gisement solaire en Algérie	16
I.11.Conclusion:	18

Chapitre II :

Les Modèles Mathématique

II.1.introduction:	20
II.2.Modele de bird et hulstrom	20
II.2.1.Eclairement dû au rayonnement direct sur un plan horizontal	21
II.2.2. Diffusion de Rayleigh.....	21
II.2.3.Diffusion par les aérosols	21
II.2.4.Absorption par l'ozone:	21
II.2.5.Absorption par la vapeur d'eau:	22
II.2.6.Eclairement dû au rayonnement diffus sur un plan horizontal.....	22
II.2.7. Eclairement dû au rayonnement global sur un plan horizontal	22
II.3.Modèle de Liu et Jordan.....	23
II.3.1. Calcul du rayonnement direct.....	24

Sommaire

II.3.2.Calcul du rayonnement diffus.....	24
II. 3.3.Calcul du rayonnement réfléchi:.....	24
II. 3.4. Calcul du rayonnement global:.....	24
II.4..Algorithme de calcul du rayonnement sur une surface arbitrairement orientée et inclinée: .	25
II.5.Conclusion:.....	26

Chapitre III:

Station météorologique de M'sila.

III .1 Introduction :.....	29
III .2 .Situation géographique de la région de M'sila :	29
III .3 Station météorologiques de Msila.....	31
III .4 Le rôle de la station :.....	34
III .4.1 Station automatique.....	35
III.4.2 Station manuelle.....	36
III.5. Appareils de mesures utilisés dans la station manuelle de Msila:	36
III.5.1 Abri météorologiques	36
III .5.2 Baromètre à mercure:	40
III .5.3 Anémomètre	41
III .5.4 Pluviomètre:	42
II .5.5 Mesure de la température de sol:.....	43
III.5.6 Héliographe	44

Sommaire

III.6 Institution bénéficiant des services du Bureau National de Météorologie:	45
III. 7. Conclusion:	46

Chapitre IV:

Résultats Et Discussions.

IV.1.Introduction :	49
IV.2.Le caractères moyens du climat a Msila.....	49
IV.2.1.Le vent	49
IV.2.2. Les températures	50
IV.2.2.1. Température maximale moyenne annuelle :	50
IV.2.2.2. Température minimale:	52
IV.2.2.3.Evolution de la température Moyenne annuelle	52
IV.2.3. La pluviométrie:.....	52
IV.2. 4.Le Neige	54
IV.2. 5. La tempête.....	55
IV.2.6.Le brouillard.....	56
IV.2.7.Tornades ou nuages :.....	57
IV.3. Comparaison des valeurs de l'éclairement dû au rayonnement global mesurées et estimées:	58
IV.4.Variation temporelle d'irradiation solaire reçue par unité de surface plane par le modèle d'Liu Jordan:	60
IV.4.1 L'évolution mensuel de l'irradiation globale en les saisons:.....	63

Sommaire

IV.4.2. Les fonctions appliquées sur l'évolution mensuelle de l'irradiation globale en les Saisons:.....	64
IV.5 .Conclusions:	67
Conclusion générale	67
Références Bibliographiques.....	70
Résumé	74

Liste des figures

Chapitre I:

Figure (I.1): Les mouvements de la terre	6
Figure (I.2): La longitude et la latitude d'un lieu	7
Figure (I.3): Coordonnées horizontales	8
Figure (I.4): La déclinaison du soleil (δ)	9
Figure (I.5): La structure de l'atmosphère	13
Figure (I.6): Les composants du rayonnement solaire	14
Figure (I.7): Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel	16

Chapitre II :

Figure (II.1): Algorithme de calcul de l'irradiation solaire sur plan incliné	26
--	-----------

Chapitre III:

Figure (III.1): La situation géographique de la wilaya de M'sila [Web1],[Web 2]...	30
Figure (III.2): Station météorologique de M'sila	32
Figure (III.3): La digramme l'insolation	34
Figure (III.4): Carnet d'observation	34
Figure (III.5): Station automatique	35
Figure (III.6): Abri météorologique de Msila	36
Figure (III.7): Thermomètre à mercure de l'abri météorologique de Msila	37
Figure (III.8): Thermographe de l'abri météorologique de Msila	38
Figure (III.9): Thermomètre à maxima-minima sous –abri de la station de Msila	39
Figure (III.10): Thermomètre à maxima-minima au dessus de sol à la station de Msila	39
Figure (III.11): Hygro-graphe de labri météorologique de Msila	40
Figure (III.12): Baromètre à mercure de la station météorologique de Msila	41
Figure(III.13): Anémomètre de la station météorologique de Msila	42
Figure(III.14): Pluviomètre	43
Figure(III.15): Mesure de la température du sol à la station de Msila.....	44
Figure(III.16): Mesure de la température du sol à la station de Msila.....	44
Figure(III.17): Héliographe.....	45

Chapitre IV:

Figure (IV.1): Variation de la vitesse moyenne des vents a M'sila au cours de l'année	50
Figure (IV.): Variation de la température maximale moyenne annuelle a M'sila	51
Figure (IV.3): Variation de la température minimale moyenne annuelle a M'sila	51
Figure (IV.4): Variation de la température moyenne annuelle a M'sila	52
Figure (IV.5): Variation de la pluviométrie annuelle a M'sila.....	53
Figure (IV.6): Variation totale jours de pluie a M'sila durant l'année	54
Figure (IV.7): Variation totale jours de neige a M'sila durant l'année.....	55
Figure (IV.8): Variation totale jours de tempête a M'sila durant l'année.....	56
Figure (IV.9): Variation totale jours de brouillard a M'sila durant l'année	57
Figure (IV.10): Variation totale jours de tornades ou nuages en entonnoir a M'sila durant l'année	58
Figure (IV.11): L'irradiation solaire globale mesurées et estimées par le modèle d'Liu Jordan (de 6:00 h à 18:00 h)	59
Figure (IV.12): L'irradiation solaire globale mesurées et estimées par le modèle d'Liu Jordan (de 6:00 h à 10:00 h)	60
Figure (IV.13): L'évolution journaliers de l'irradiation globale au l'hiver	61
Figure (IV.14): L'évolution journalière de l'irradiation globale au printemps.....	61
Figure(IV.15) : L'évolution journaliers de l'irradiation globale en été	62
Figure (IV.16): L'évolution journaliers de l'irradiation globale en automne	63
Figure (IV.17): L'évolution mensuel de l'irradiation globale en les saisons	64
Figure (IV.18): Comparaison entre des radiations solaires globales (l'ordre 2)	65
Figure (IV.19): Comparaison entre des radiations solaires globales (l'ordre 3)	66

Liste des Tableaux

Chapitre I :

Tableau (I.1) : Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques 17

Chapitre II :

Tableau (II.1) : compte de la nature du ciel 24

Chapitre III:

Tableau (III.1) : Liste de materiel 31

Chapitre IV:

Tableau (IV.1) : variations de fonction polynomial (ordre 2) 65

Tableau (IV.2) : variations de fonction polynomial (ordre 3) 66

Nomenclature

C	La constante solaire.
I₀	Est la valeur moyenne de la constante solaire actuellement retenue égal 1353 (W/m ²).
j	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)..
PV	Est la pression partielle de vapeur d'eau exprimée en (mm Hg).
h	Hauteur du soleil(°).
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(°).
A	L'altitude du lieu (km).
Φ	La latitude(°).
ΔH	Le décalage horaire entre le méridien de Greenwich et l'état considéré (heure).
H₀	Irradiation hors atmosphère (MJ/m ²)
G_H	Éclairement global reçu par une surface horizontale (W/m ²).
D_H	Éclairement diffus reçu par une surface horizontale (W/m ²).
B_n	Éclairement directe reçu par une surface horizontale (W/m ²).
G	Rayonnement global horaire sur une surface inclinée (W/m ²).
D	Rayonnement diffus horaire sur une surface inclinée (W/m ²).
I	Rayonnement direct horaire sur une surface inclinée (W/m ²).
R	Rayonnement réfléchi horaire sur une surface inclinée (W/m ²).
R_b	Rapport du rayonnement direct journalier incliné à celui sur une surface horizontal.

Nomenclature

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 horizontal et le plan considéré (degré).
ϕ	Latitude du lieu (degré).
ρ	Est l'albédo du sol.

Introduction Générale

Introduction générale:

Au XXe siècle, l'utilisation du pétrole se diversifie (paraffine, plastique, huile lubrifiante...) tandis que l'industrie du charbon recule. La crise pétrolière de 1973 incitera certains pays comme la France à se tourner vers d'autres formes d'énergie (nucléaire, hydroélectrique, solaire)

D'autre part, le réchauffement climatique causé par l'émission des gaz à effet de serre a conduit beaucoup de pays à s'intéresser aux énergies renouvelables. Les énergies renouvelables constituent une source d'énergie inépuisable pour l'homme. Elles sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués par les astres, principalement le Soleil (rayonnement), mais aussi la Lune (marée) et la Terre (énergie géothermique).

L'énergie solaire est l'énergie que dispense le soleil par son rayonnement, directement ou de manière diffuse à travers l'atmosphère. Sur Terre, l'énergie solaire est à l'origine du cycle de l'eau et du vent. Le règne végétal, dont dépend le règne animal, l'utilise également en la transformant en énergie chimique via la photosynthèse. A l'exception de l'énergie nucléaire, de la géothermie et de l'énergie marémotrice, l'énergie solaire est à l'origine de toutes les énergies sur Terre.

Notre travail s'intéresse à l'étude des gisements solaire, Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé dans des domaines aussi variés que l'agriculture, la météorologie, les applications énergétiques et la sécurité publique.

En plus d'étudier et de modéliser le flux solaire à la station météorologique de M'sila, nous cherchons à évaluer le flux et les irradiances journalières et mensuelle et à comparer le modèle le plus utilisé avec les données expérimentales locales.

Plusieurs études ont été menées sur l'évaluation du rayonnement solaire par des modèles empirique[1].

D'autres travaux[2,3] ont utilisés soit les paramètres météorologiques, soit la durée d'insolation pour estimer les composantes du rayonnement solaire[4].

D'abord ce travail traite la reconstitution du rayonnement solaire par ciel clair. Après une synthèse bibliographique, ils ont retenu le modèle Bird et Hulstrom[5].

Ce dernier tient compte des données météorologiques telle que la température, l'humidité relative, la durée d'insolation, la pression, etc. Les résultats expérimentaux et théoriques obtenus par l'utilisation du modèle sus élaboré présentent une bonne concordance, par. Saheb-Koussa et al, la principale discipline à laquelle fait appel ce programme est l'estimation des irradiances solaires globales, directes et diffuses pour différents types de ciel.

Autre étude théorique fait par Perrin Brichambaut, valable seulement pour un ciel totalement clair, l'éclairement solaire incident sur une surface horizontale a été calculé. Concerne l'estimation des éclaircissements incidents pour différentes inclinaisons et orientations pour un ciel totalement clair. M.R Yaïche et al [6], utilise le modèle de Liu & Jordan pour la détermination du type de ciel, ont utilisés la notion de nébulosité, qui est la fraction du ciel caché par l'ensemble des nuages visibles.

Dans ce travail, nous avons analyse des données météorologiques d'un jour de l'année d'étude à M'sila et nous avons élaboré une confrontation entre des valeurs de rayonnement solaires mesurées sur le site de M'sila et des valeurs estimées par le modèle théorique LIU JORDAN.

Notre étude est présentée en quatre chapitres :

Le premier chapitre est consacré à l'étude des gisements solaires avec quelques concepts et définitions astronomiques, couramment utilisés dans tous les domaines liés à l'énergie solaire.

- Le deuxième chapitre présent différent modèle de mesure du flux solaire total, nous décrivons donc quelques modèles mathématiques et différentes équations.
- Dans Le troisième chapitre, nous fournirons des informations générales sur la station météorologique et le concept et les éléments de la météorologie.
- Les principales conclusions, discussion, interprétation et arithmétique font l'objet du dernier chapitre

Finalement le mémoire se termine par une conclusion générale sur les résultats obtenus pour la région de M'sila.

Chapitre I:
ELEMENT DE GISEMENT
SOLAIRE.

I.1- Introduction:

L'énergie solaire est la plus dominante de toutes les énergies renouvelables, elle est l'une des plus facilement exploitables. Comme la plus part des énergies douces, elle donne à l'utilisateur la possibilité de subvenir sans intermédiaire à une partie de ses besoins. La connaissance de la position du soleil dans le ciel à tout instant et en tout lieu est nécessaire pour l'étude de l'énergie interceptée. Les heures du lever et du coucher ainsi que la trajectoire du soleil dans le ciel au cours d'une journée permettent d'évaluer certaines grandeurs telles que la durée maximale d'insolation, l'irradiation globale.

Dans cette partie nous allons définir certaines grandeurs solaires à savoir:

- Les grandeurs astronomiques.
- Les grandeurs géographiques.
- Le rayonnement solaire hors atmosphère.
- Le rayonnement direct, diffus et global.

I.2- Le 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.

L'astre soleil est de constitution gazeuse, de forme sphérique de 14×10^5 km de diamètre, sa masse est de l'ordre de 2×10^{30} kg. Il est constitué principalement de 80% d'hydrogène, de 19% d'hélium, le 1% restant est un mélange de plus de 100 éléments. 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 à peu près égale à 4×10^{26} W.

Seule une partie est interceptée par la terre, elle est de l'ordre de $1,7 \times 10^{17}$ W. Elle nous parvient essentiellement sous forme d'ondes électromagnétiques ; 30% de cette puissance est réfléchi vers l'espace, 47% est absorbée et 23% est utilisée comme source d'énergie pour le cycle d'évaporation-précipitation de l'atmosphère[7];[8].

I.3 -La constante solaire

La valeur du rayonnement solaire " I_c ", reçu par une surface perpendiculaire aux rayons solaires placée à la limite supérieure de l'atmosphère terrestre (soit à environ 80 Km d'altitude) varie au cours de l'année avec la distance Terre/Soleil. Sa valeur moyenne " I_0 " appelée constante solaire est de l'ordre de 1354 W.m^{-2} . En première approximation, on peut calculer la valeur de " I_c " en fonction du numéro du jour de l'année "j" par la relation suivante[9] :

$$I_c = I_0[1 + 0.033 \times \cos (0.984 \times j)] \quad \text{(I.1)}$$

I.4 -Les mouvements de la terre:

La terre tourne autour de l'axe des pôles (Pôle Nord, Pôle Sud) dans le sens trigonométrique. L'alternance des jours et des nuits est une manifestation immédiate de ce mouvement. On définit le jour solaire comme la durée moyenne entre deux passages consécutifs du soleil au méridien d'un lieu, ce jour est divisé en 24 intervalles égaux appelés heures. La rotation de la terre s'effectue avec une période de :

$$T_r = 23\text{h } 56\text{mn } 04\text{s} \approx 24\text{h.}$$

La vitesse linéaire de rotation à l'équateur est ;

$$V_r \approx 0,465\text{km/s,}$$

Elle est variable en fonction de latitude φ telle que :

$$V_r(\varphi) = V_r (\cos \varphi) \quad \text{(I.2)}$$

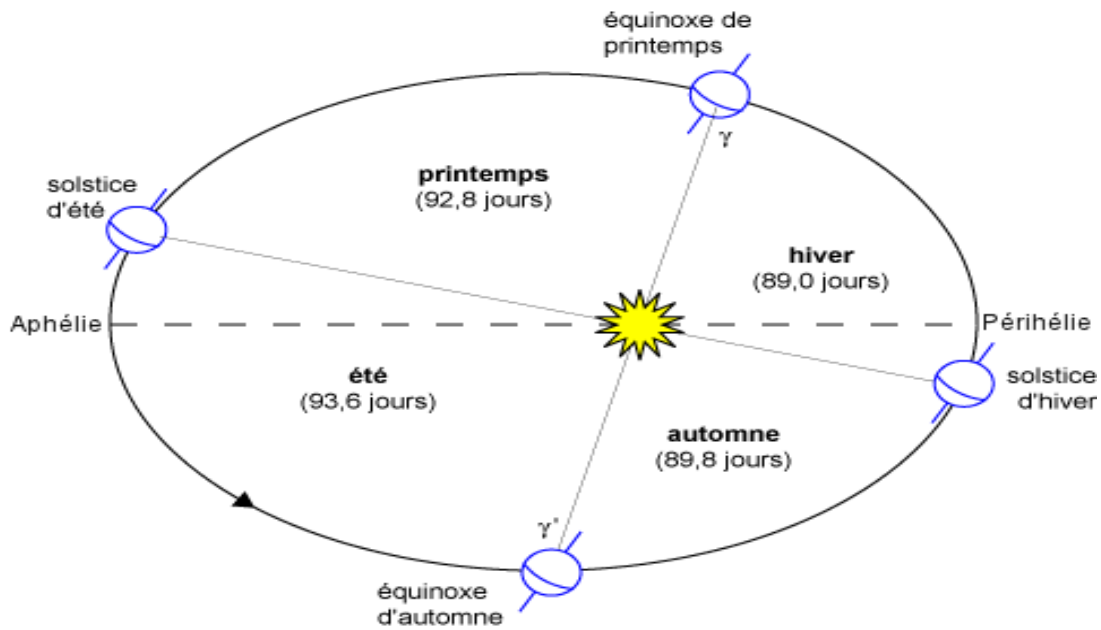


Figure (I.1): Les mouvements de la terre[10].

I.5.Position du soleil par rapport à la terre:

Il est possible de déterminer la position du soleil dans la voûte céleste en fonction du temps et de la position de l'observateur sur la terre

I .5.1.Coordonnées géographiques:

Sont des coordonnées angulaires qui permettent le repérage d'un point sur la terre

- La longitude (L) :** l'est et est comptée positivement de 0 à +180° vers l'est négativement de 0 à -180° vers l'ouest, à partir du méridien Greenwich.
- La latitude (Φ) :** permet de repérer la distance angulaire d'un point quelconque à l'équateur. Elle est comptée positivement de 0 à +90° vers le Nord et négativement de (0 à -90°) vers le Sud, notons que la latitude est égale à la hauteur du pôle.
- L'altitude A:** C'est la distance verticale exprimé en mètres, séparant le point considéré du relief terrestre du niveau de la mer, pris comme surface de référence.

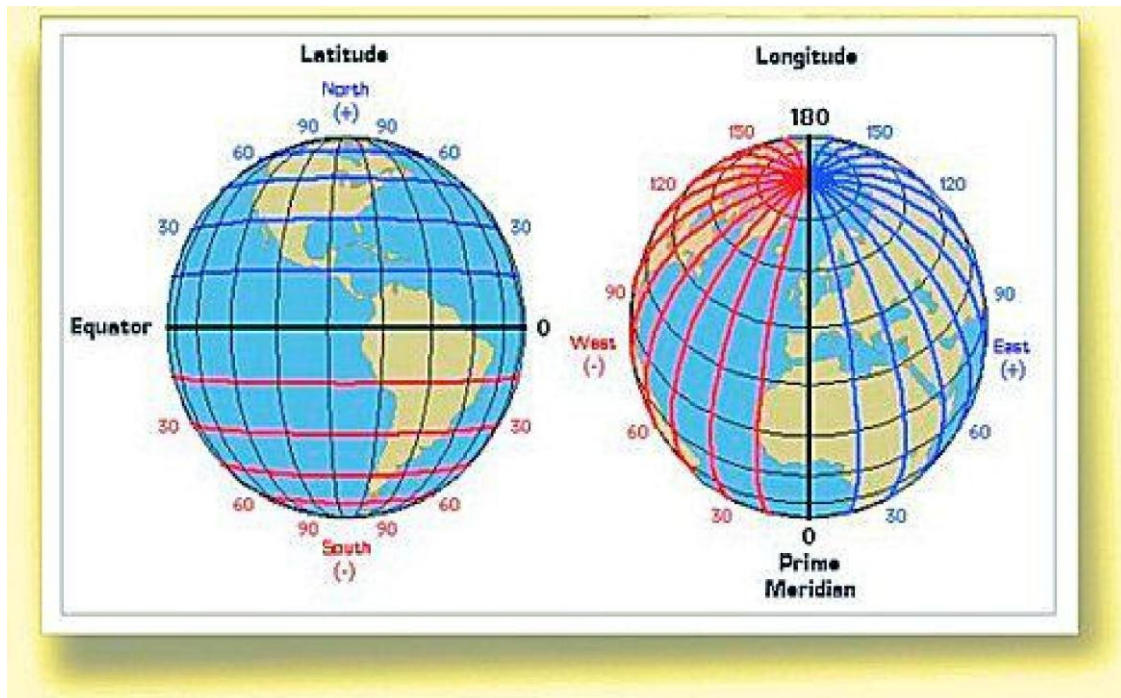


Figure (I.2): La longitude et la latitude d'un lieu.

I.5.2.Coordonnées horizontales :

Le repère horizontal est formé par le plan de l'horizon astronomique et la verticale du lieu[11].

a) La hauteur du soleil (h):

Est l'angle entre la direction du soleil et sa projection .Elle est comptée positivement de 0 à +90° vers le zénith et négativement de 0 à -90° vers le nadir. Elle est donnée par la relation suivante :

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega \quad (\text{I.3})$$

b) L'azimut (a) :

Est l'angle entre la direction de soleil et la direction de sud. On peut le compter positivement de 0 à +180° vers l'ouest et négativement de 0 à -180° vers l'est. La relation qui donne l'azimut est donné par :

$$\sin a = \frac{\cos \delta \sin \omega}{\cos h} \quad (\text{I.4})$$

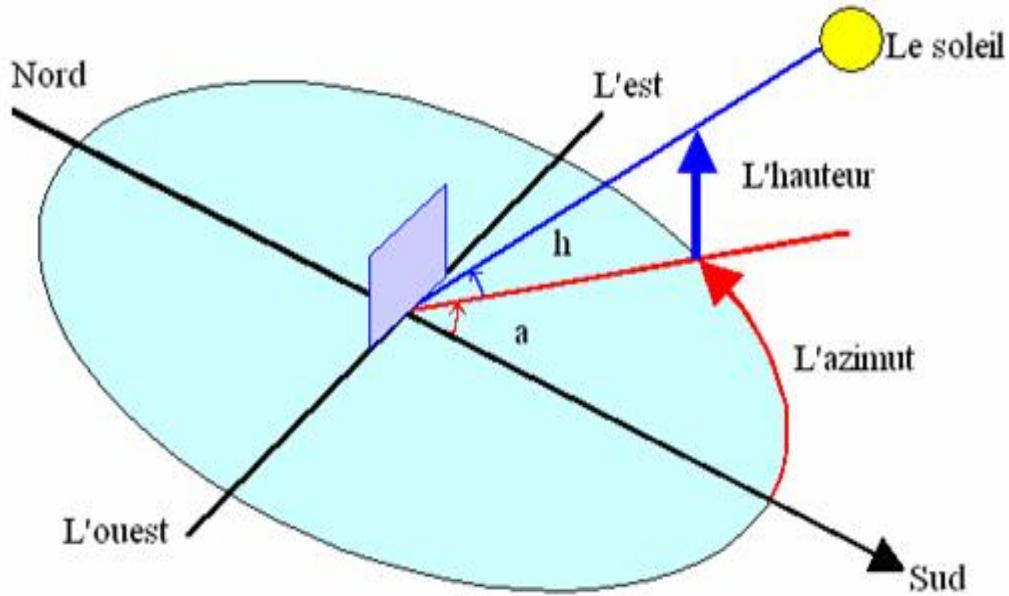


Figure (I.3): Coordonnées horizontales[12].

I.5.3. Les coordonnées célestes horaires:

- **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[13].

- **Angle déclinaison δ :** L'angle que fait le plan de l'équateur terrestre avec la direction terre-soleil .cet angle varie tout au long de l'année de façon symétrique de $- 23,26$ à $+ 23,26$, δ est donnée par la relation suivante :

$$\delta = 23.45^\circ \sin \left(\frac{360}{365} \times (284 + j) \right) \quad (I.5)$$

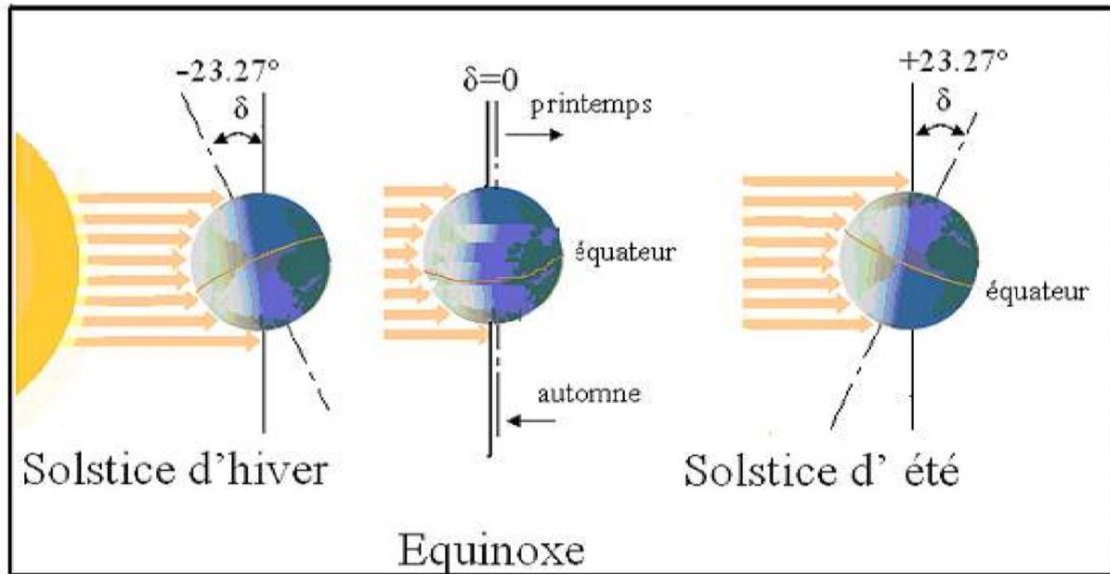


Figure (I.4): La déclinaison du soleil (δ)

j : Le numéro du jour dans l'année compté à partir du premier janvier.

➤ **L'angle horaire ω :**

L'angle horaire mesure le mouvement du soleil par rapport à midi qui est l'instant où le soleil passe au plan méridien du lieu zénith. Cet angle est formé entre la projection du soleil sur le plan équatorial à un moment donné et la projection du Soleil sur ce même plan au midi vrai. L'angle horaire

$$\omega = 15 (\text{TSV} - 12) \tag{I.6}$$

Où TSV est le temps solaire vrai.

I.6.Les temps solaires:

I.6.1.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[14] :

$$\text{TSV} = 12 + \frac{\omega}{15} \tag{I.7}$$

I.6.2.Le Temps Solaire Moyen (T.S.M):

Le temps solaire moyen est appelé parfois temps local, Il est donné par la relation suivante :

$$\text{TSM} = \text{TSV} - E_t \tag{I.8}$$

$$E_t = 9.87 \sin \left[2. \frac{360}{365} (j - 81) \right] - 7.53 \cos \frac{360}{365} (j - 81) - 1.5 \sin \frac{360}{365} (j - 81)$$

Et: est l'équation du temps exprimée en minutes.

j: est le numéro du jour dans l'année.

I.6.3.Le temps universel (TU):

En un lieu de longitude donnée, le temps universel est lié au temps solaire moyen (local) par la relation :

$$TU = TSM \pm L/15 \quad (\text{I.9})$$

(+) pour longitudes EST, (-) pour longitude OUEST.

Le temps universel se calcule donc par :

$$TU = TSV + E_t \pm L/15$$

I.6.4.Le temps légal (TL):

$$\text{C'est le temps officiel de l'état } T_L = TU + \Delta H \quad (\text{I.10})$$

étant le décalage horaire entre le méridien de Greenwich et l'état considéré, (+ ΔH =1 heure pour l'Algérie)

I.6.5.Équation du temps:

La différence entre le temps solaire moyen et le temps solaire apparent est appelée l'équation du temps. Sur Terre, elle varie entre 17 minutes en moins et 14 minutes en plus: $ET = TSV - TSM$

L'équation du temps peut être approchée par la formule suivante :

$$E_t = 9.87 \sin \left[2. \frac{360}{365} (j - 81) \right] - 7.53 \cos \frac{360}{365} (j - 81) - 1.5 \sin \frac{360}{365} (-81) \quad (\text{I.11})$$

- **Irradiation hors atmosphère:**

Considérons un plan horizontal, à la limite de l'atmosphère terrestre situé à une

latitude \emptyset :

$$H^* = I_0 \sinh \quad (\text{I.12})$$

Ou I_0 : représente la constante solaire que l'on peut considère constante compte tenu de sa faible variation au cours du temps

Notons : H_0 : irradiation Journalière

$$\text{On a : } H_0 = \int_{L.S}^{C.S} H^* dt = \int_{L.S}^{C.S} I_0 \sinh dt$$

L.S et C.S correspondent aux heures de lever et couche du soleil.

$$H_0 = I_0 \int_{LS}^{CS} (\sin \delta \sin \phi + \cos w \cos \delta \cos \Phi) dt \quad (\text{I.13})$$

Pour une journée et un lieu donné, δ et ϕ sont fixes d'autre part. 1 heure de temps correspond à une variation de 15° de l'angle horaire w

$$dt = (12 / \pi) dw$$

Avec le temps (t) en heures et l'angle w en radions

L'intégration donne alors :

Le rayonnement extraterrestre sur une surface horizontale H_0 peut être calculer pour une journée précis n de l'année, par l'équation suivante :

ϕ : Latitude du lieu

δ : Déclinaison solaire

j : nombre du jour de l'année.

I.7.Rôle de l'atmosphère terrestre et rayonnement au sol:

I.7.1.La structure de l'atmosphère:

- la troposphère qui s'étend jusqu'à 10 à 12 km d'altitude et où la température décroît de 6.5°C par km, pour atteindre -56°C à la base de la couche suivante
- la stratosphère de 12 à 55 km où la température croît de -56°C à 0°C jusqu'à la stratopause. C'est elle qui contient une mince couche d'ozone
- la mésosphère de 50 à 85 km où la température décroît à nouveau de 0°C à -90°C
- l'ionosphère (confondue avec la thermosphère) et où la température croît régulièrement pour atteindre 1500°C . C'est elle qui contient les couches réfléchissantes pour les ondes radio (couches d'Heaviside); elle s'étend jusqu'à 700km d'altitude
- l'exosphère au delà de 700 km qui s'ouvre sans frontière sur l'espace intersidéral.

I.7-2- La composition de l'atmosphère:

La composition de l'atmosphère est à peu près la même pour les trois premières couches: 78 % d'azote, 21 % d'oxygène, 0.9 % d'argon, 0.03 % de CO_2 et des traces d'autres gaz, avec de la vapeur d'eau dans la troposphère et une mince couche d'ozone dans la stratosphère dont le rôle est si important dans l'absorption des rayons

ultraviolets les plus durs. L'essentiel des modifications subies par le rayonnement solaire se fait dans la troposphère par diffusion, diffraction, absorption, réfraction par des gaz de température et de densité croissante.

La masse gazeuse totale traversée est de 10 tonnes /m²; elle équivaut à 7.8 km d'atmosphère ramenée aux conditions de température et de pression dites normales: T=0°C; p=1 013 mbar.

Si ces gaz étaient tous ramenés aux conditions normales, on aurait 6.2 km d'azote, 1.7 km d'oxygène, 74 m d'argon, 30m de vapeur d'eau, 24 m de CO₂, 14 cm de Néon, 4cm d'Hélium, quelques mm de Krypton, de méthane de NO et de NO₂ et seulement 5 mm d'ozone.

-Rôle de l'eau:

La troposphère contient la quasi totalité de la vapeur d'eau. La couche qui s'élève jusqu'à 2000m d'altitude contient déjà 50 % de la quantité totale de vapeur d'eau. On appelle hauteur d'eau condensable, la hauteur d'eau liquide qui serait recueillie par cm² si toute la vapeur était condensée. On l'exprime en cm ou de préférence en g/cm². Elle est reliée à la tension de vapeur par la formule empirique de **Hahn**:

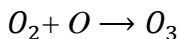
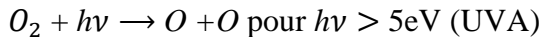
$$W(\text{cm})=0.17 t \quad (\text{I.14})$$

où t (mbar) représente la tension de vapeur d'eau au sol. La hauteur d'eau condensable varie assez fortement suivant la latitude, la saison et bien sûr l'humidité; elle reste normalement comprise entre 0.5 et 6 cm. Une humidité relative de 50 % au sol à une température de 20 °C

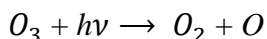
correspond à t = 11 mbar et W = 2cm.

- Rôle de l'ozone:

L'ozone stratosphérique est constamment renouvelé; il est produit en deux étapes:



mais à son tour une partie de cet ozone est dissocié sous l'influence des photons d'énergie comprise entre 4 et 5eV.



c'est cette dernière réaction qui filtre les

rayonnements solaires dangereux pour les micro-organismes et les végétaux.

Arrivant au sol le rayonnement filtré produit de l'oxygène O₂ par photosynthèse sur les végétaux. Le CO₂ est absorbé le jour par les végétaux et restitué la nuit.

Les mêmes végétaux, en se dégradant, restituent à l'atmosphère du méthane CH_4 et de l'hémioxyde d'azote N_2O qui eux-mêmes entrent dans le fragile équilibre de l'ozone stratosphérique.

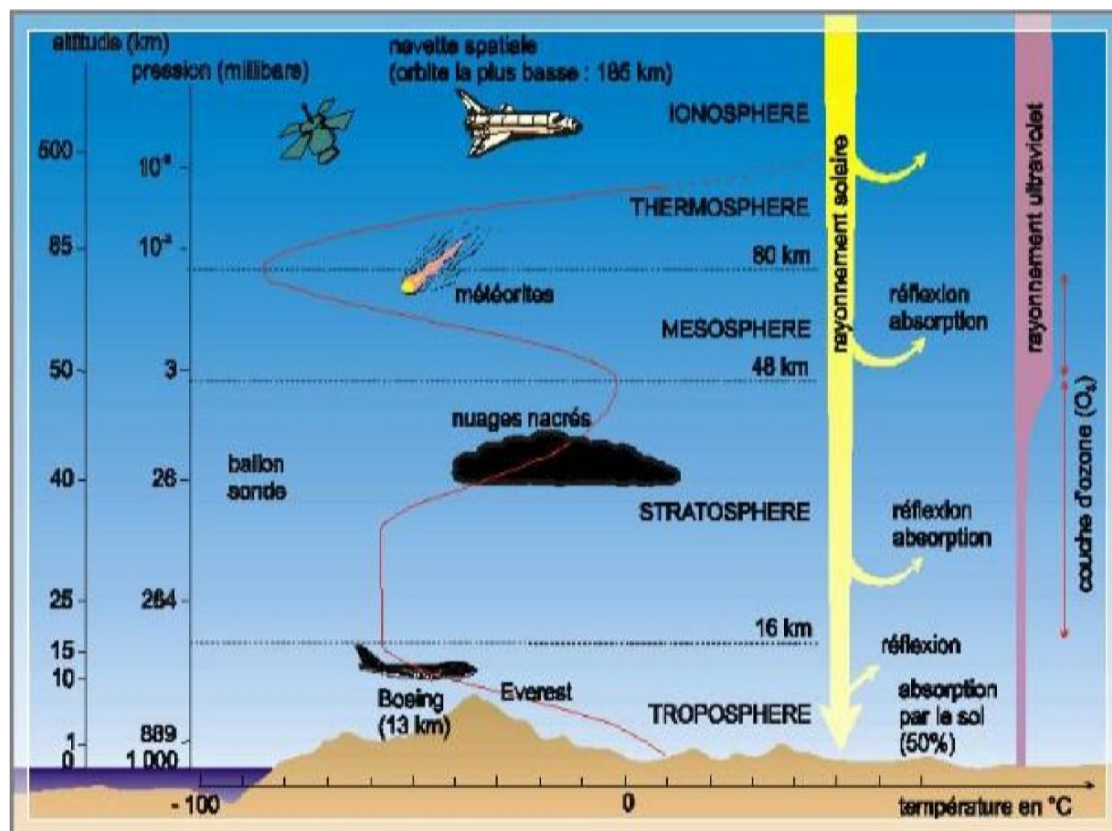


Figure (I-5): la structure de l'atmosphère[15].

I.8 - Les différents types de rayonnement solaire:

Rayonnement solaire:

- L'énergie reçue au niveau du sol est plus faible que 1354 w/m^2 (la constante solaire) car l'atmosphère absorbe une partie du rayonnement solaire (environ 15%) et la réémet dans toutes les directions sous forme de rayonnement diffus. L'atmosphère réfléchit une autre partie du rayonnement solaire vers l'espace (environ 6%). Le rayonnement global au niveau du sol se définit donc comme la somme du rayonnement direct et du rayonnement diffus. L'énergie reçue par une surface dépend en outre de la saison, de la latitude, des conditions météorologiques, du relief, de la pollution, de l'orientation de la surface considérée, etc....

I.8-1- Rayonnement direct:

Le rayonnement direct est la lumière parvenant directement du soleil par ciel clair.

I.8-2 Rayonnement diffus:

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.

I.8-3- Rayonnement global:

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

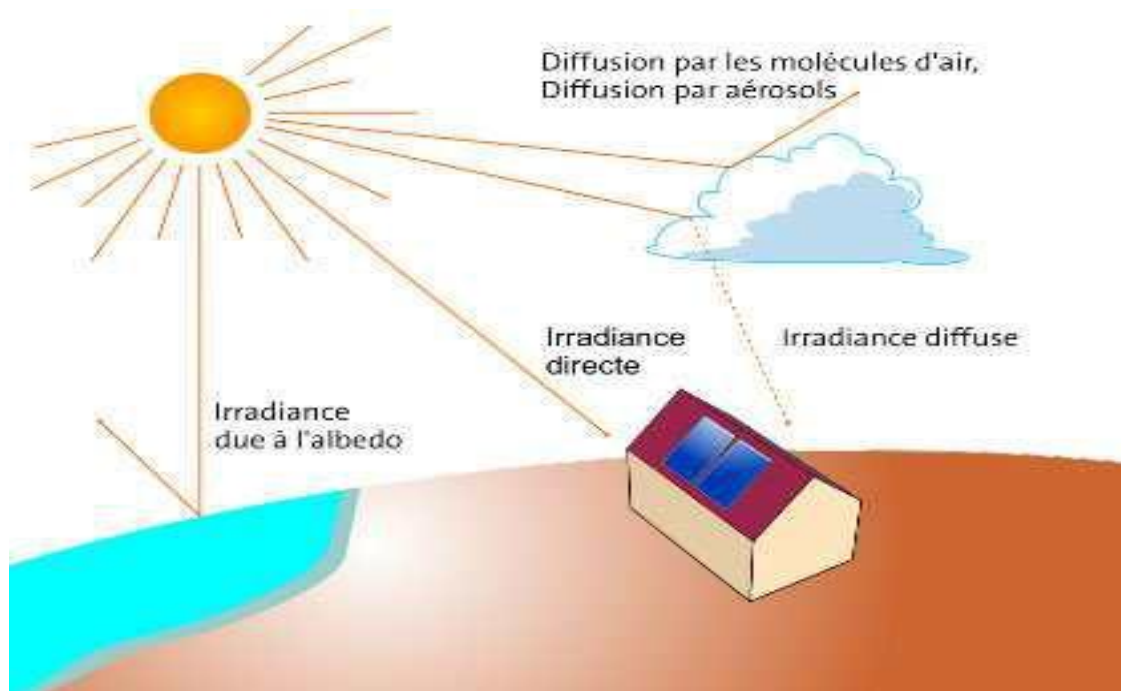


Figure (I-6):: Les composants du rayonnement solaire au niveau du sol[16].

- **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.

$$\rho = \frac{\text{énergie refléchi}}{\text{énergie reçu}} \quad (\text{I.15})$$

I.9.L'enseillement:

a)Durée d'enseillement:

Les diagrammes de course du soleil, relatifs aux différentes époques de l'année, permettent une estimation directe de la durée d'enseillement d'un site. Cette information sera exploitée pour calculer le rendement des capteurs solaires : il suffira, par simple lecture du diagramme, de relever la durée du passage de l'ombre portée des masques du site étudié.

Selon les conditions atmosphériques, le ciel peut être plus ou moins couvert de nuages au cours d'une journée. Ceux-ci occultent le soleil, totalement ou partiellement, empêchant ainsi le rayonnement d'atteindre directement le sol. On dit que la nébulosité est plus ou moins importante selon qu'il y a beaucoup ou peu de nuages. On appelle durée effective d'enseillement ou insolation S, le temps pendant lequel, au cours d'une journée, le rayonnement solaire direct a atteint le sol du lieu considéré. Nous pouvons mesurer la Durée d'enseillement par un dispositif appelé héliographe

b)Taux d'enseillement:

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

$$\sigma = \frac{s}{s_0} \quad \text{(I.16)}$$

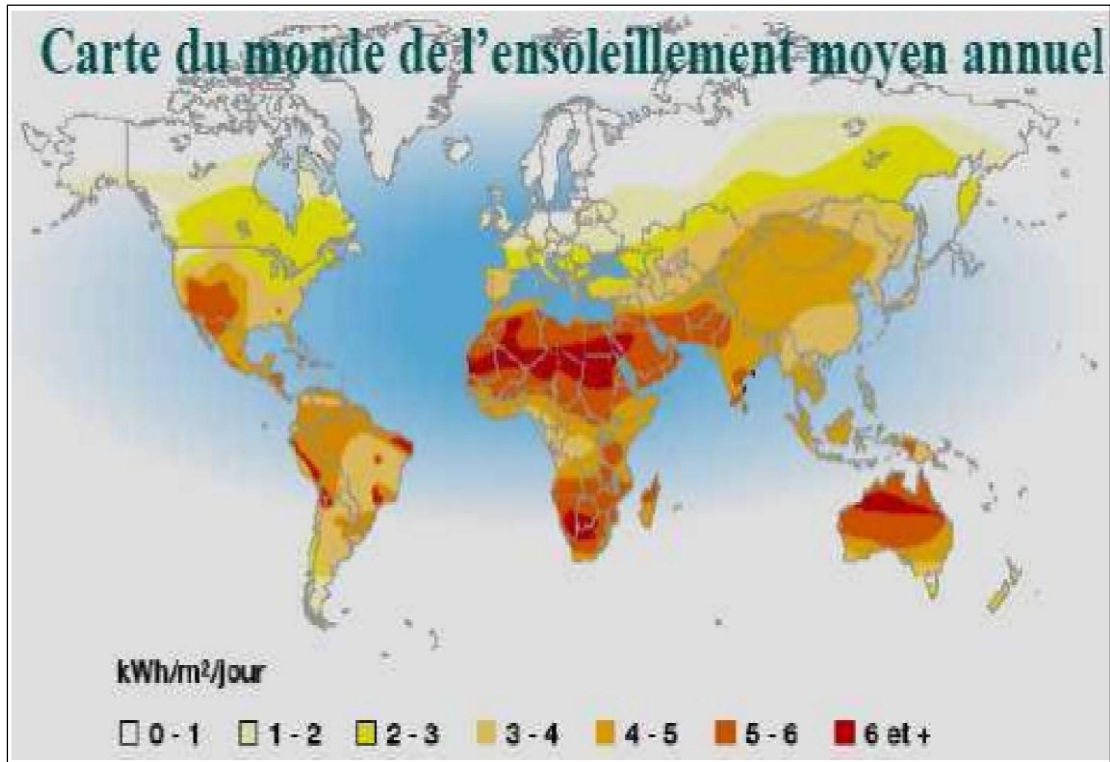


Figure (I-7): Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel[17].

I.10. 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[18]. De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus importants du monde, comme illustré sur la carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel.

L'Algérie possède un gisement solaire parmi les plus élevés dans le monde, la durée moyenne d'ensoleillement dans le Sahara algérien est de 3500 heures, ce potentiel peut constituer un facteur important de développement durable dans cette région, s'il est exploité de manière économique.

Le tableau (I.1) indique le taux d'ensoleillement pour chaque région de l'Algérie. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures

annuellement et atteint les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m² 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.

Regions	Regions côtières	Hauts plateaux	Sahara
Superficies	4%	10%	86%
Durée moyenne d'ensoleillement (Heures/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne recue	1700	1900	2650

Tableau I.1: Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques.

L'énergie journalière maximale moyenne (ciel clair, mois de juillet) dépasse les 6KW/m² et l'énergie annuelle maximale en Algérie est de l'ordre de 2500 KWh/m², la carte suivante représente les zones énergétiques en Algérie. Comme on peut le constater il existe quatre zones énergétiques en Algérie.

I.11-Conclusion:

Le rayonnement solaire qui arrive au sol se compose du rayonnement direct provenant directement du soleil et du rayonnement diffus, la somme du direct et de la diffuse donne le rayonnement global. Ces composantes peuvent être mesurées directement par différents instruments de mesure ou bien elles peuvent être estimées par des modèles analytiques qui sont établis après plusieurs mesures expérimentales qui On va les présenter dans le chapitre suivant.

Chapitre II:
modèle mathématique

II.1.introduction:

La connaissance du rayonnement solaire et ces composantes sur des surfaces horizontale et inclinées est nécessaire et indispensable pour toute étude ou dimensionnement d'installations solaires. Or généralement, dans les stations météorologiques le rayonnement solaire global est mesuré sur des surfaces horizontales et sur le chef-lieu de chaque région.

Bien qu'il soit difficile de connaître la valeur de l'irradiation solaire pour un site précis, sous une orientation et une inclinaison bien déterminées, il existe quelques modèles approximatifs pour le calcul dans le cas où au moins le rayonnement global horizontal est mesuré ou estimé.

Dans ce chapitre nous présenterons une description de deux modèles physique pour le calcul des divers composants du rayonnement solaire à ciel clair, le premier modèle de Bird et Hulstrom. Ce modèle prend en compte les données météorologiques, notamment la température de l'air, l'humidité et la pression atmosphérique.

En outre, le deuxième modèle Liu et Jordan est un modèle plus simple utilisé dans différents types d'applications d'énergie solaire. Ce modèle a été évalué pour estimer le rayonnement solaire instantané par ciel clair sur une surface horizontale dans le climat de la région de M'sila.

La vérification et la validation de le modèle ont été effectuées après la collecte continue de données radiométriques et météorologiques provenant du site de m'sila, situées dans la région est, connaissent des températures diurnes élevées en été et des températures basses en hiver. Ce région a également un potentiel d'énergie solaire considérable, l'intensité de rayonnement solaire, cette région connue par des températures diurnes très élevées en été, et des températures basses en hiver.

II.2. Modèle de bird et hulstrom:

II .2.1.Eclairement dû au rayonnement direct sur un plan horizontal[19]:

Dans ce modèle, l'éclairement dû au rayonnement direct est donné par la relation suivante:

$$B_n = 0,975 \cdot I_{sc} \cdot \tau_r \cdot \tau_g \cdot \tau_w \cdot \tau_a \quad (\text{II.1})$$

avec B_H est l'éclairement dû au rayonnement direct calculé sur un plan horizontal, tel que:

$$B_H = B_n \sin h \quad (\text{II.2})$$

Nous donnons ci-dessous les différentes équations des coefficients de transmission.

II .2.2.Diffusion de Rayleigh:

Le coefficient de transmission après la diffusion moléculaire est donné par la relation suivante:

$$\tau_r = \exp[- 0,0903 \cdot ma^{0.84} \cdot (1.0+ma - ma^{1.01})] \quad (\text{II.3})$$

II .2.3.Diffusion par les aérosols:

Dans ce modèle, le coefficient de transmission après la diffusion par les aérosols concerne uniquement les deux longueurs d'onde ($\lambda = 0,38 \mu\text{m}$ et $\lambda = 0,50 \mu\text{m}$). Ce sont ces longueurs d'onde où il existe un minimum d'absorption par l'ozone. Il est donné par la relation suivante:

$$\tau_a = \exp[-k_a^{0.873} \cdot ma^{0.9108} \cdot (1,0 + k_a - k_a^{0.7088})] \quad (\text{II.4})$$

Où:

$$k_a = 0,2758 \cdot k_{\frac{a\lambda}{\lambda}} = 0,38\mu\text{m} + 0,35 \cdot k_{\frac{a\lambda}{\lambda}} = 0,8\mu\text{m} \quad (\text{II.5})$$

II .2.4.Absorption par l'ozone:

Le coefficient de transmission après absorption par l'ozone est donné par la relation suivante:

$$\tau_0 = 1 - \alpha_0 \quad (\text{II.6})$$

où :

α_0 le coefficient d'absorption par l'ozone donné par:

$$\alpha_0 = 0.1611 \cdot U_3 \cdot (1.0 + 139.48 \cdot U_3)^{-0.3035} + 0.02715 \cdot U_3 \cdot (1.0 + 0.044 \cdot U_3 + 0.0003 \cdot U_3^2)^{-1} \quad (\text{II.7})$$

avec U_3 qui est l'épaisseur de la couche d'ozone corrigée par le trajet optique du rayonnement solaire dans la couche d'ozone, est défini comme suit:

$$U_3 = L_3 \cdot m_r \quad (\text{II.8})$$

II .2.5.Absorption par la vapeur d'eau:

Le coefficient de transmission après absorption par la vapeur d'eau est donné par la relation suivante:

$$\tau_w = 1 - \alpha_w \quad (\text{II.9})$$

Où α_w est le coefficient d'absorption par la vapeur d'eau, donné par:

$$\alpha_w = 1 - 2.4959 \cdot U_1 [(1 + 79.034 \cdot U_1 (1 + 79.034 \cdot U_1)^{0.6828} 6.385 \cdot U_1)^{-1}]$$

Avec U_1 qui est l'épaisseur d'eau condensable corrigée par la longueur du trajet optique, elle peut être calculée par la relation donnée ci-dessous:

$$U_1 = w \cdot m_r \quad (\text{II.10})$$

où w est la hauteur d'eau condensable.

$$W = \frac{0.493 \cdot \phi_r P_s}{T} \quad (\text{II.11})$$

avec :

$$P_s = P_s \exp\left(26.23 - \frac{5416}{T}\right) \quad (\text{II.12})$$

II .2 .6.Eclairement dû au rayonnement diffus sur un plan horizontal[20] :

Dans ce modèle, l'éclairement dû au rayonnement diffus sur un plan horizontal est la somme des trois composantes diffuses dues aux divers types de diffusion du rayonnement solaire par la pellicule atmosphérique:

$$D_H = D_r + D_a + D_m \quad (\text{II.13})$$

a) Eclairement dû au rayonnement diffus issu de la diffusion de Rayleigh:

$$D_r = 0.74 I_{0h} \cdot \cos \theta_z \cdot \tau_g \cdot \tau_w \cdot \tau_{aa} \cdot 0.5 (1 - \tau_r) (1 - m a - m a^{1.02}) \quad (\text{II.14})$$

τ_{aa} donné par:

$$\tau_{aa} = 1 - (1 - w_0) \cdot (1 - m a + m a^{1.06}) (1 - \tau_r) \quad (\text{II.15})$$

Bird et Hulstrom recommandèrent que $w_0 = 0.90$

b) Eclairage dû au rayonnement diffus après diffusion par les aérosols:

$$D_r = 0.74 I_{0h} \cdot \cos \theta_z \cdot \tau_0 \cdot \tau_g \cdot \tau_w \cdot \tau_{aa} \cdot F_c \cdot (1 - \tau_{as}) (1 - m_a - m_a^{1.02}) \quad (\text{II.16})$$

Avec $F_c = 0.84$, valeur recommandée par ce modèle et τ_{as} donné par:

$$\tau_{as} = \tau_a / \tau_{aa} \quad (\text{II.17})$$

c) Eclairage dû au rayonnement dû au phénomène de multi réflexion terre atmosphère[21]:

L'éclairage dû au rayonnement issu du phénomène de multi - réflexion est donné par l'expression suivante

$$D_m = (BH + Dr + Da) \cdot \rho_g \cdot \rho_a' / (1 - \rho_g - \rho_a') \quad (\text{II.18})$$

II .2.7 Eclairage dû au rayonnement global sur un plan horizontal:

L'éclairage dû au rayonnement global [22.23] sur un plan horizontale est comme suit :

$$G_H = B_H + D_H \quad (\text{II.19})$$

II .3 Modèle de Liu et Jordan:

En 1960, Liu et Jordan[24] ont proposé un modèle empirique simple qui permet d'estimer les composantes du rayonnement solaire sur plan incliné ne nécessitant que quelques paramètres géo astronomiques tels que le numéro de jour de l'année, la hauteur du soleil et la latitude du lieu. L'avantage de ce modèle par rapport aux autres est qu'il permet de générer le flux solaire reçu au sol pour différents états du ciel et différentes inclinaisons de surfaces.[25,26]

II .3.1. Calcul du rayonnement direct:

L'expression générale de l'irradiation directe sur un plan incliné d'un angle β' est sous la forme :

$$I = I_h R_b \quad (\text{II.20})$$

Où R_b est le facteur d'inclinaison donné par :

$$R_b = \frac{\cos(\varphi - \beta') \cos \delta \cos \omega + \sin(\varphi - \beta') \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta \cos \omega + \sin \varphi \sin \delta} \quad (\text{II.21})$$

Mais sur un plan horizontal, $\beta' = 0$ donc $R_b=1$, l'expression d'irradiation directe devient :

$$I = I_h = A \sin(h) \exp\left(\frac{-1}{C \sin(h+2)}\right) \quad (\text{II.22})$$

A et C sont des données fournies dans le tableau (II.1) .

II.3.2 .Calcul du rayonnement diffus

L'expression générale de l'irradiation diffuse sur un plan incliné est:

$$D = D_h \left(\frac{1 + \cos \beta'}{2} \right) \quad (\text{II.23})$$

Si le plan est horizontal, $D = D_h$

$$D = D_h = B (\sin(h))^{0.4} \quad (\text{II.24})$$

A, B et C sont des constantes qui tiennent compte de la nature du ciel. Elles sont données d'après le tableau suivant Tableau (II.1) :

Les coefficients: A, B et C pour le modèle de Lui & Jordan

Nature de ciel	A	B	c
Ciel très clair	1300	87	6
Ciel moyen	1230	125	4
Ciel pollué	1200	187	5

Tableau (II.1): la nature du ciel.

II. 3.3.Calcul du rayonnement réfléchi:

Pour un plan incliné, l'irradiation réfléchie est donnée par :

$$R = (I_h + D_h) \left(\frac{1 - \cos \beta'}{2} \right) \rho \quad (\text{II.25})$$

Pour un plan horizontal, la composante solaire réfléchie est nulle.

II.3.4.Calcul du rayonnement global:

L'irradiation globale est égale à la somme des composantes solaires directe, diffuse et réfléchie.

$$G = I_h R_b + D_h \left(\frac{1 + \cos \beta'}{2} \right) + \left(\frac{1 - \cos \beta'}{2} \right) \rho (I_h + D_h) \quad (\text{II.26})$$

Pour un plan horizontal :

$$G = G_h = I_h + D_h \quad (\text{II.27})$$

II .4.Algorithme de calcul du rayonnement sur une surface arbitrairement orientée:

Le calcul de l'irradiation sur la surface arbitraire se fait en utilisant les étapes suivantes selon l'algorithme:

ETAPE 1 : Writeln : le jour, le mois, L'altitude, Temps solaire vrai, Albédo.

ETAPE 2 : Calcul la Déclinaison puis l'angle horaire.

ETAPE 3 : Calcul le rayonnement hors atmosphère

ETAPE 4 : Calcul le facteur d'inclinaison

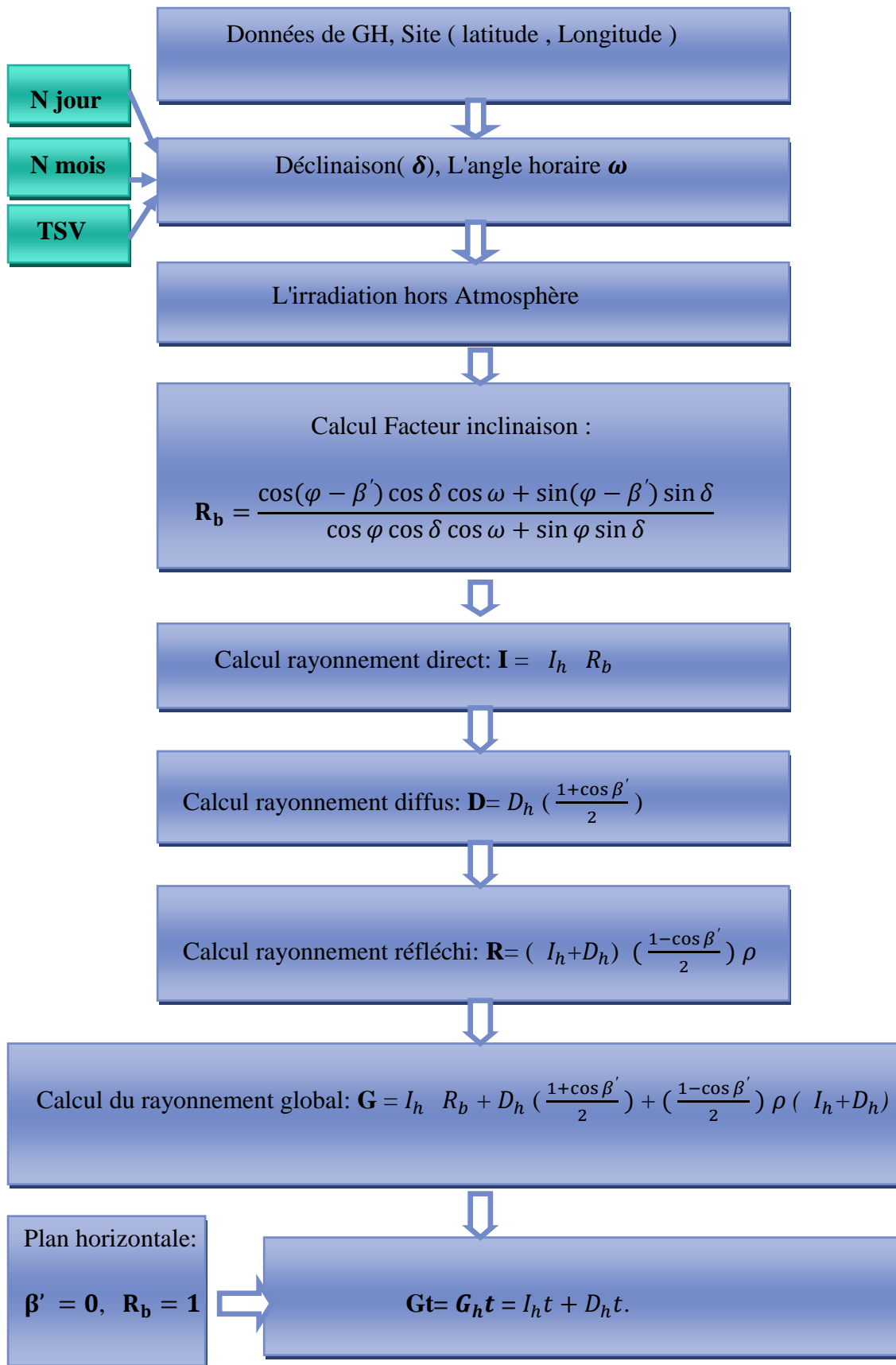
ETAPE 5: Calcul le rayonnement direct

ETAPE 6: Calcul le rayonnement diffus

ETAPE 7: Calcul le rayonnement réfléchi

ETAPE 8: Calcul du rayonnement global

ETAPE 9: Calcul l'irradiation horaires global sur une surface horizontale pour toutes les heures d'une (journée moyenne).



Figure(II.1) : Algorithme de calcul de l'irradiation globale solaire sur surface horizontale.

II .5 Conclusion:

Les modèles radiométriques les plus importants ont été présentés dans ce chapitre. Les modèles semi empiriques permettent de calculer les différentes composantes du rayonnement solaire au niveau du sol en utilisant comme paramètres d'entrée : les paramètres astronomiques, les paramètres géographiques ainsi que les paramètres météorologiques. Les modèles météorologiques permettent de calculer l'irradiation globale et parfois diffuse au niveau du sol à partir de la moyenne mensuelle de l'insolation. Ces modèles ont l'avantage d'être simples, ils utilisent des équations mathématiques pas trop lourdes pour l'étude de gisement solaire et l'estimation de l'énergie solaire incidente. Ils peuvent être appliqués généralement pour n'importe quelle région et n'importe quelle journée de l'année.

Chapitre III :
Station météorologique de M'sila

III.1.Introduction :

Ce chapitre présente une description du site de notre étude « la région de M'sila » et les données des radiations solaires globales sur une surface horizontale utilisés dans notre étude. De même, on a étudié l'influence des années d'étude sur la distribution des radiations solaires globales de même, on a étudié l'influence des années d'étude sur la distribution des radiations solaires globales c.-à-d la possibilité de réduire le nombre d'année d'étude de 20 ans à 15 ans.

III.2.Situation géographique de la région de M'sila :

La wilaya de M'sila est située dans la zone des hauts plateaux entre les deux chaînes de montagnes qui sont l'Atlas Tellien et l' Atlas Saharien. Elle s'étale sur une superficie de 18 175 km² et sa population est de 1 029 447 habitants [Web2].Elle est délimitée par les wilayas de Bouira et Bordj Bou-Arredj au nord, par les wilayas de Batna et Sétif à l'est, par les wilayas de Médéa et Djelfa à l'ouest et par la wilaya de Biskra au sud(Figure II.1). Elle est située à 441 m d'altitude par rapport au niveau de la mer, ayant une latitude de 35° 42`07` Nord et une longitude de 04°32`49`Est [Web2]. Sa morphologie et sa position géographique confèrent à cette région un aspect écologique unifié représenté par la prédominance de la steppe qui couvre 1 200 000 ha (soit 63 % de la superficie totale).

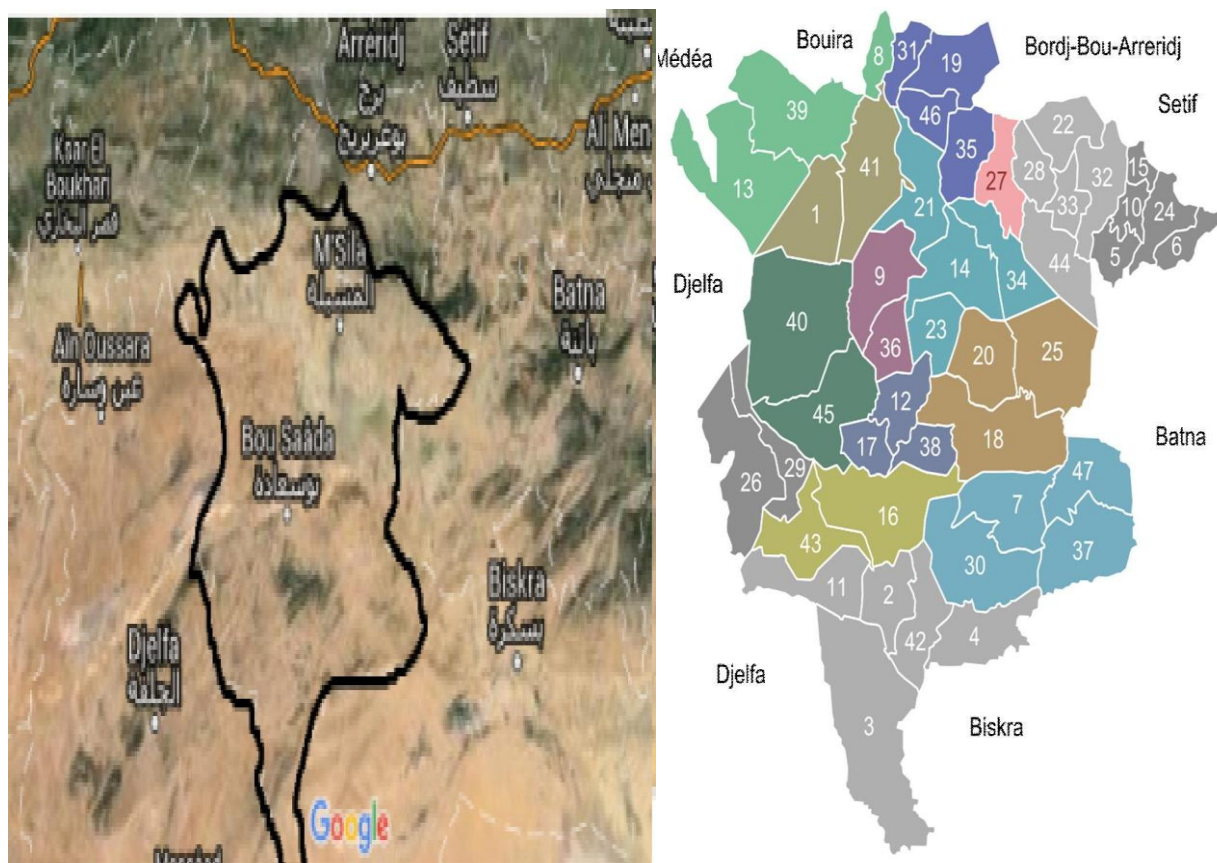


Figure III.1: La situation géographique de la wilaya de M'sila [Web1],[Web 2].

Le climat de la wilaya est de type continental soumis en partie aux influences sahariennes. L'été est sec et très chaud, alors que l'hiver est très froid. Sur le plan pluviométrique, la zone la plus arrosée se trouve au Nord; elle reçoit près de 480 mm/an (Djebel EchChouk – Chott de Ouanougha); quant au reste du territoire. La zone la plus sèche est située à l'extrême Sud de la wilaya et reçoit moins de 200 mm/ an. Les températures minimales en hivers froids varient de $-0,6^{\circ}\text{C}$ jusqu'à $6,2^{\circ}\text{C}$, par contre les températures maximales varient entre 33°C et $37,9^{\circ}\text{C}$ (Juillet- Août) [Web2].

Les vents du Nord sont fréquents pendant en hiver alors que ceux du Sud soufflent en été avec des rafales brûlantes [Web2] .

M'sila présente une durée d'ensoleillement de 8,72 h/jour durant toute l'année et une intensité de radiation globale sur une surface horizontale de 5428 KWh/m^2 . De ce fait, la région de M'sila est bien placée pour exploiter l'énergie solaire et de la mettre une source principale de ces sources d'énergie.

III.3.Station météorologiques de Msila

La station météorologique de Msila (est située à 7Kmau sud-ouest de la ville de Msila. Elle est mise en fonction le 01/08/1977 son adresse est station Météo de M'sila cité ghzal BP N°: 25hodna poste M'sila cette dernière s'étale sur une superficie du terrain 29000 m²et superficie bâtie 253m²,elle contient deux bureau et Un garage .et un logement d'astreinte ,cette station ouverte tous les jour de 6h0à18h00 c'est-à-dire le type de travail semi-brigade et le téléphone de la station : 0656036590.

a)Personnels:

- 01chef de station
- 02gardients .

B) Liste de matériel :

Un ensemble d'équipement de mesure manuel	Un ensemble d'équipement de mesure automatique
<ul style="list-style-type: none">- Un abri météo.- Un bac d'évaporation.- Un pluviomètre .- Un pluviographe.- Un héliographe .- Les thermomètre au sol et dans le sol.- Un baromètre .- Un Barographe.	<p>Une station météo auto de type ventage pro 2.0 mesurant:</p> <ul style="list-style-type: none">- Température moyen / min / max.- Humidité moyenne / min / max.- Direction et force du vent.- Rayonnement solaire .- Pression atmosphère au niveau station et mer .- Précipitations (quantité et durée)- Rayonnement ultra-violet.

Tableau (III.1) : Liste de materiel .



Figure(III .2): Station météorologique de M'sila.

➤ **Fonctionnement de la station météorologique :**

La première étape lorsque l'observateur atteint la station et avant d'y entrer remarque l'état du ciel (nuage : leur nombre , hauteur , type ...) et l'état de sol (mouillé ou pas mouillé , il y a de la glace ou pas) .Puis il entre dans la station et allume l'ordinateur et écrit les valeurs de récupération nocturne le soi-disant rattrapage , nous obtenons les valeur de la station automatique les valeur sont les suivantes : température , quantité de la pluie , hauteur , vitesse du vent ..

Après cela , il prend le carnet d'observation et sorte d'abord pour écrire les valeurs , il va dans la boîte en bois (**Abri météorologiques**) , à partir de laquelle vous obtenez les valeurs suivantes : la température maximale et minimale , l'évaporation , et à partir des courbes nous prenons les valeurs d'humidité et la courbes des dernière température .

Ces courbes changent tous les lundis en bois , nous fermons la boîte , elle est de couleur blanche (**Abri météorologiques**).

Ensuite, nous tournons vers le température au-dessus du sol maximum et minimum et nous remettons le température à zéro , puis nous prenons les valeurs de thermomètre placé sous le sol avec une certaine profondeur

Nous retournons à la station , ouvrons le programme OPM , écrivons les données nécessaire , remplissons également le carnet , puis le calculons psychos afin d'en extraire les valeurs de P_s et U (humidité) , puis nous remplissons le TSM , nous envoyons des messages à la station principale d'Alger et d'Oran , et nous avons également un message Agro pour les messages , qui est envoyé à tout moment , il a des valeurs : température , vitesse du vent , l'insolation et humidité moyenne .

Nous avons d'autres messages : un message spécial en cas de phénomène (vent forts ou tonnerre ...) lorsque ce phénomène est terminé et que le temps est calme , nous envoyons également un message pour les en informer .

Nous avons le message l'agmet , qui est envoyé tous les dix jours , qui est retardé d'un jour .

Le message de climat envoie le troisième jour de chaque mois .

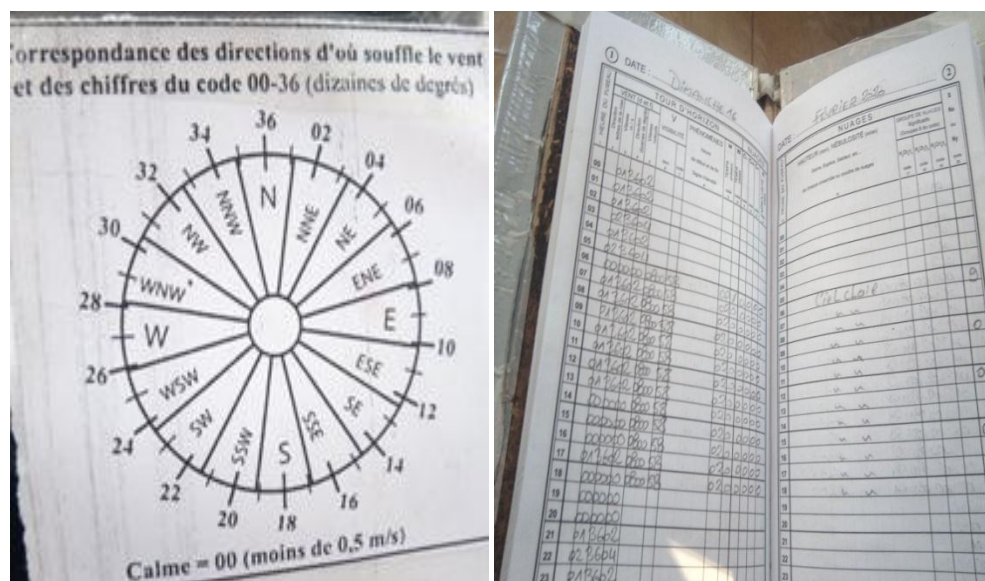
Et en cas de panne de courant , l'observateur se tourne vers la méthode classique et n'oublie pas le baromètre ... , car la station automatique a généralement des erreurs .

A la fin , il rédige le rapport quotidien , en deux exemplaires , en noir et un ballon bleu est conservé .

Quant à la digramme de l'insolation , nous la changeons la nuit ou avant le lever du soleil.



Figure(III.3): La digramme de l'insolation



Figure(III.4): Carnet d'observation.

III.4. Le rôle de la station :

le rôle principale de la station météorologique de m'sila consiste à assurer une bonne veille météorologique sur l'ensemble de la région de la région de wilaya à travers l'observation permanente de l'évolution des différents paramètres météorologique tels que la température ,l'humidité, la pression atmosphérique, la force et la direction du

vent ,la pluviométrie et le rayonnement solaire .ainsi que l'enregistrement des phénomènes météorologiques prévalent sur l'ensemble de la région ce que permet de saisir et conserver un archive des données climatiques depuis 1977.

Le deuxième rôle consiste à la diffusion d'un bulletin météorologique spécial aux différents services de la wilaya lorsqu'il s'agit d'un éventuel mauvais temps qui pourrait menacer la sécurité des citoyens .

III.4.1.Station automatique

Les stations automatiques sont différents capteurs conçu pour mesures différents éléments de l'atmosphère tels que la température, la pression atmosphérique, l'humidité, la pluie et le vent.

Ce station ont développées afin de passer du travail manuel au travail.

La station météorologique de M'sila a bénéficié d'une mini-station automatique depuis octobre 2015voir **la figure(III.5)**, qui permet de faire des relevés plus exacts des paramètres météorologiques chaque minute.



figure(III.5): Station automatique .

III.4.2.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 météorologique automatique est une 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 observations 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 [27].

III.5.Appareils de mesures utilisés dans la station manuelle de Msila:

III.5.1.Abri météorologiques

C'est une boîte en bois blanc qui n'absorbe pas la chaleur, ses dimensions sont les suivantes: longueur 2m, largeur 0.5 .

Comprend:



Figure(III.6): Abri météorologique de Msila.

➤ Thermomètre:



Figure(III.7): Thermomètre à mercure de l'abri météorologique de Msila.

Le thermomètre est instrument permettant de mesurer la température. Il se compose essentiellement d'une substance qui se dilate ou se contracte suivant les variations de la température et d'une échelle graduée qui indique le degré de contraction ou de dilatation. Le thermomètre (voir la **figure(III.7)**) 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 couteux), à bilames (peu précis) et enfin, les thermomètres électroniques (précis avec cout variable).certains d'entre eux existent en enregistreur, (thermographe),le thermomètres utilise dans la station de M'sila est les thermomètres 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 affect par le rayonnement réfléchi par la terre.

➤ **Thermographe :**

Cet appareil (voir la **figure(III.8)**) 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 fine 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.8): thermographe de l'abri météorologique de Msila.

➤ **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 montrent l'emplacement de thermomètre à maxima minima dans l'abri météorologique, et celui du thermomètre à maxima minima au-dessus du 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.9):Thermomètre à maxima-minima sous –abri de la station de Msila.



Figure(III.10):Thermomètre à maxima-minima au dessus de sol à la station de Msila

➤ **Hygro graphe:**

L'hygro- graphe (voir la **figure(III.11)**) 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.11): Hygro-graphe de labri météorologique de Msila.

III.5.2.Baromètre à mercure:

Le baromètre à mercure est l'appareil utilisé pour mesurer la pression atmosphérique (barométrique) à la station métrologique de Msila (**figure(III.12)**) il peut, de façon secondaire, servir d'altimètre pour déterminer, de manière approximative, l'altitude.



Figure(III.12): baromètre à mercure de la station météorologique de Msila.

III .5.3 Anémomètre:

un anémomètre est le nom de l'outil avec lequel la vitesse du vent est mesurée. Il a été inventé par l'Irish Robinson en 1846, et il existe de nombreux types de cet outil, dont le type le plus utilisé est celui qui a trois ou quatre coupelles qui ont une forme d'entonnoir conique ou fermée attachée à l'extrémité de tiges d'une longueur de 5 à 20 cm. Les mugs sont répartis axialement sur une tête sphérique circulaire.

Le mécanisme du travail de cet outil se résume en ce que la pression du vent sur le fond fermé de la tasse est plus grande que sur le côté ouvert de celle-ci, ce qui pousserait les tasses à se déplacer, et plus les vents sont rapides, plus les tasses tournent rapidement, et la vitesse du vent est ensuite mesurée en calculant le nombre de fois que les tasses tournent Pendant un certain temps, les résultats sont souvent envoyés à un disque inséré dans le vent lui-même, et les résultats peuvent également être envoyés électriquement à des projecteurs situés à proximité immédiate du vent (**figure(III.13)**) .



Figure(III.13): Anémomètre de la station météorologique de Msila.

III.5.4.Pluviomètre:

Le pluviomètre est un instrument météorologique (**figure(III.14)**) 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.14): Pluviomètre.

II .5.5.Mesure de la température de 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.15): Mesure de la température du sol à la station de Msila.



Figure(III.16): Mesure de la température du sol à la station de Msila.

III.5.6 Héliographe:

L'héliographe est un instrument qui mesure la durée de l'ensoleillement sur un point de la surface de la planète plus précisément, il enregistre la durée pendant laquelle le rayonnement solaire et d'une diagramme d'enregistrement d'un héliographe .



Figure(III.17): Héliographe.

III.6.Institution bénéficiant des services du Bureau National de Météorologie:

l'agriculture :

- Prédire la rentabilité
- Choisisses le type de produit
- Spécifiez les mini-zones climatiques du modèle
- Transport et stockage
- Diriger et organises les grands travaux agricoles
- Protection des plantes

Sources d'eau :

- Evaluer la quantité de pluie
- l'évaporation
- l'arrosage
- a gestion et la protection des barrages .

Energie :

- Transporte d'électricité
- extraction de gaz
- énergie éolienne et l' énergie solaire .

Forêts :

Foresterie , boisement , lutte antiacridiens , protection de l'environnement .

Reconstruction :

- Renforces la résistance au climat
- au luxe et à la planification du travail
- La conduite d'ateliers concernant les ateliers de travaux publics et les ports , les grands projets (comme l'usine de fer et de construction).

Groupes locaux , protection civile et l'intérêts de sécurité :

- Prévisions prévues à utiliser dans l'activité quotidienne de l'Autorité .
- Surveillance constante des événements météorologique dangereux .

III. 7. Conclusion:

Dans cette chapitre, nous avons parlé des généralités sur la station météorologique de M'sila .

Lorsque ,dans chaque pays ,il existe un certain nombre de station météorologique à des fins de surveillance et de prévisions météorologique réparties dans toutes leurs régions ,elles envoient leurs informations météorologiques à certains moments à une station centrale de surveillance ou cette station diffuse les informations aériennes au moyen d'appareils de communication modernes à des heures précises dans le monde sous la forme de codes universellement convenus ,par l'organisation météorologique mondiale .

Chapitre IV:
RESULTATS ET DISCUSSIONS.

IV.1.Introduction :

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 : humidité relative, le vent, les températures, pluviométrie, la Neige, le tempête, le brouillard, le grêle et tornades ou nuages et l'irradiation d'une cinq ans d'étude.

L'utilisation des modèles d'estimation de l'éclairement solaire reste pratiquement l'un des seuls moyens pour pallier au problème des données radiométriques à cause de la rareté des stations radiométriques sur le territoire national. ce mémoire porte sur l'estimation de l'ensoleillement solaire global par ciel clair au niveau du sol par un modèle théorique (LIU JORDAN) à partir de programmes développés à cet effet.

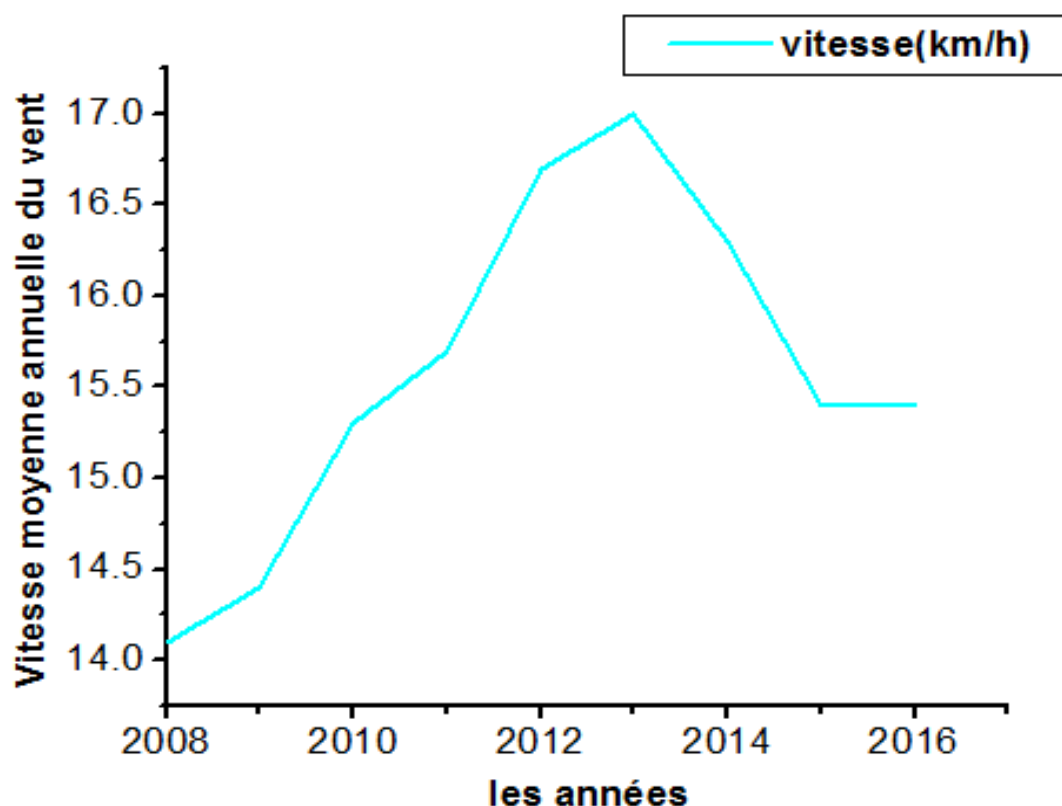
L'application de ce modèle permet d'estimer l'éclairement solaire incident sur un plan horizontal ou incliné. Par ailleurs, une validation des résultats obtenus par comparaison des valeurs calculées avec les valeurs radiométriques mesurées sur le site de M'sila (35. °N, 4°E) montre un bon accord entre les données estimées et les données expérimentales. les résultats de l'étude statistique sont très encourageants et prometteurs, avec un coefficient de corrélation supérieur à 85%.

IV.2.Le caractères moyens du climat a Msila

IV.2.1.Le vent :

Le vent est le mouvement au sein d'une atmosphère de la masse de gaz située à la surface d'une planète. D'une partie de ce gaz, les vents sont globalement provoqués par un réchauffement inégalement réparti à la surface de la planète provenant du rayonnement stellaire (énergie solaire), et par la rotation de la planète.

L'analyse de l'évolution de la vitesse moyenne annuelle des vents à la station de M'sila sur la période de 2008 à 2016. (**figure IV.1**) montre une augmentation des valeurs de vitesse du vent pour atteindre la valeur maximale en 2013, puis commençons à diminuer jusqu'à ce qu'elle atteigne la valeur la plus basse de 13,5 km/h en 2015, puis prouvons.

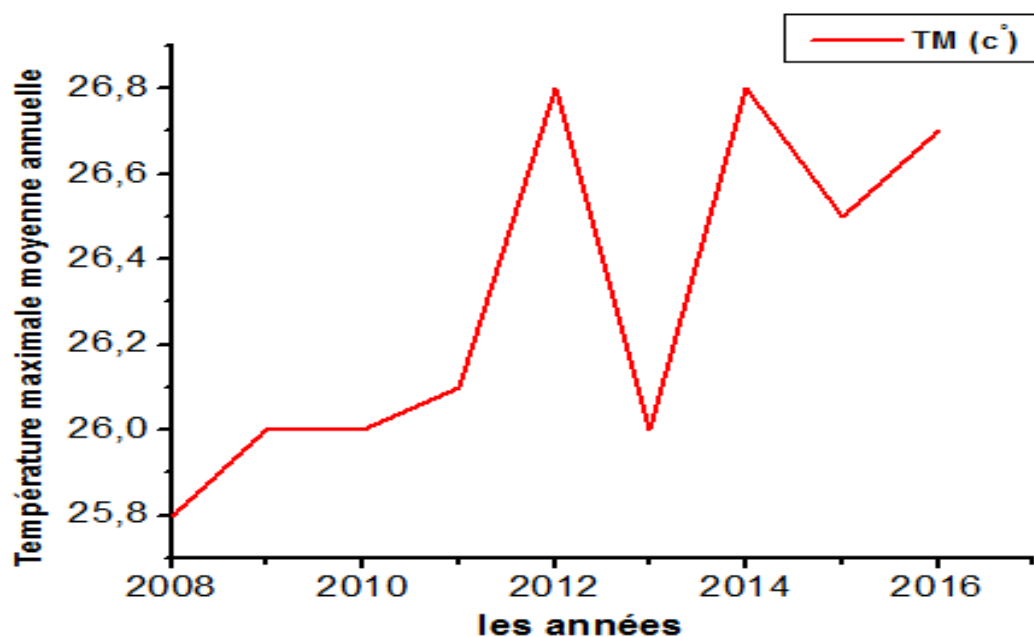


(Figure IV.1): Variation de la vitesse moyenne des vents a M'sila au cours de l'année.

IV.2. 2. Les températures :

IV.2. 2.1. Température maximale moyenne annuelle:

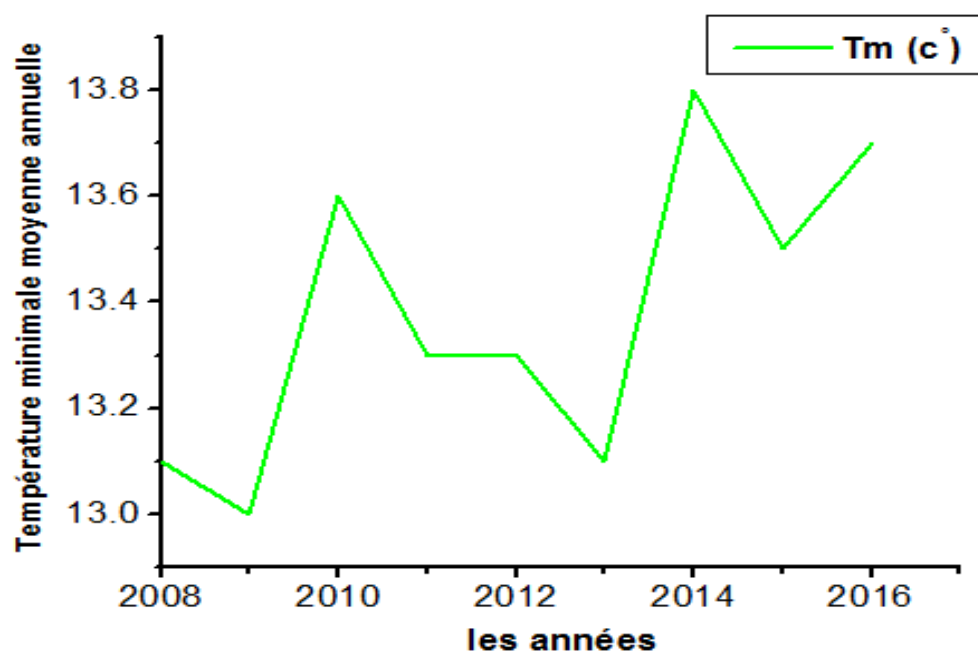
La (figure IV.2), illustre les résultats obtenus de la variation de la température maximale moyenne annuelle a M'sila sur la période de 2008 a 2016. Nous remarquons que Les plus grandes valeurs il a été enregistré dans les années 2012 et 2013 et atteindre les 26.8°C. Par contre, 2008 a été l'année la plus froide avec une température maximale moyenne annuelle d'environ 25.8°C.



(Figure IV.2): variation de la température maximale moyenne annuelle a M'sila..

IV.2. 2.2. Température minimale:

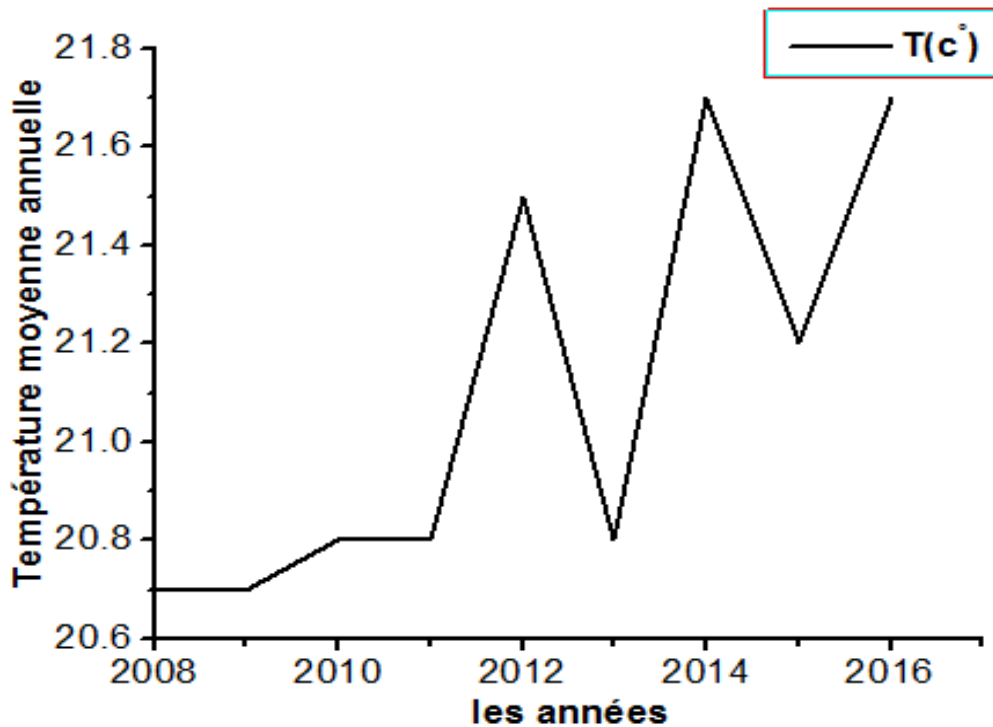
La courbe montre les variations de température moyenne minimale De 2008 à 2016 nous enregistrons deux valeurs minimales: 13°C et 13.1°C en 2009, 2013 respectivement et une valeur maximale : 13.8 °C en 2014.



(Figure IV.3): variation de la température minimale moyenne annuelle a M'sila.

IV.2.2.3. Evolution de la température Moyenne annuelle :

La courbe montre les variations de température moyenne annuelle. Nous enregistrons une valeur maximale: 21.7°C en 2016, et une valeur minimale: 20.7°C en 2008 et 2009.



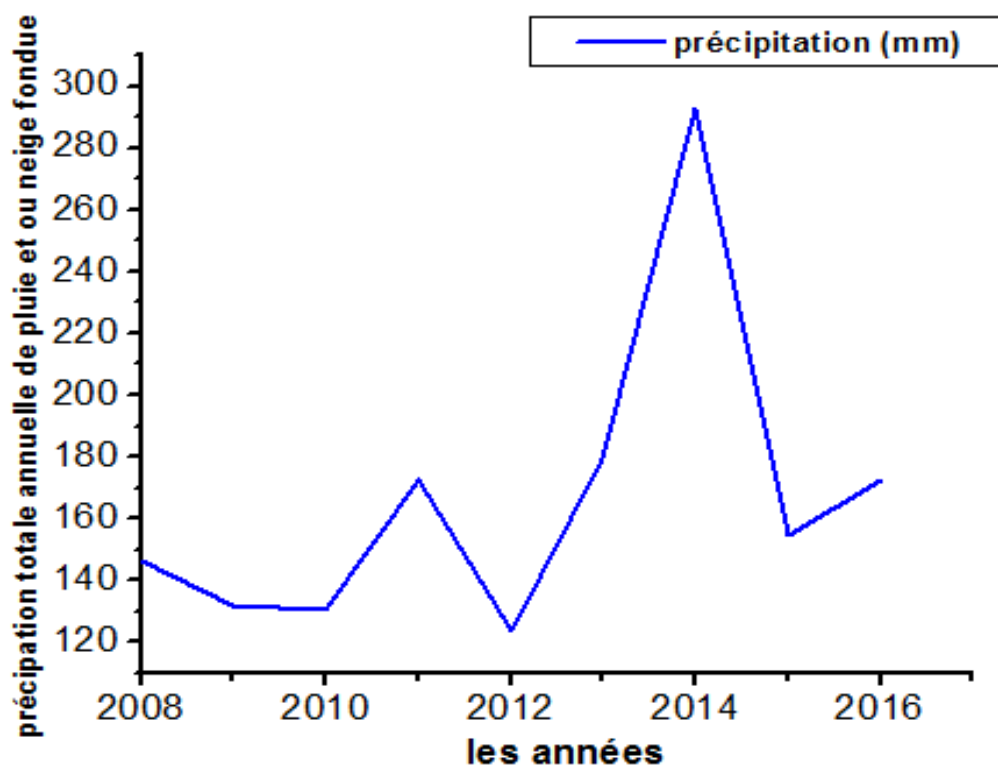
Figure(IV.4): variation de la température moyenne annuelle a M'sila.

IV.2.3. La pluviométrie:

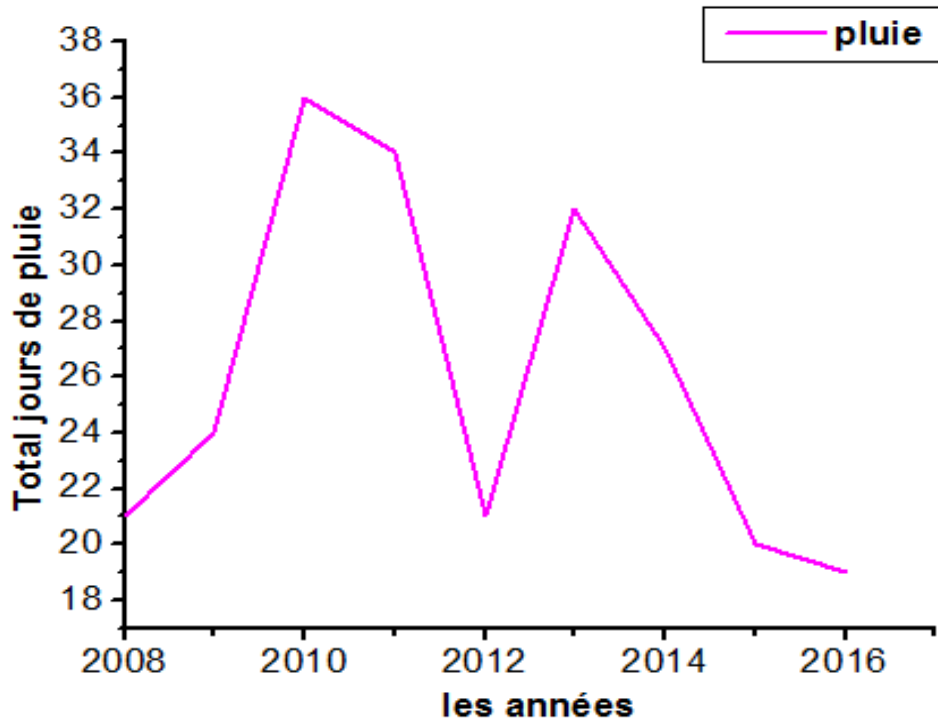
La pluviométrie est l'évaluation quantitative des précipitations, de leur nature (pluie, neige, grésil, brouillard) et distribution. Elle est calculée par diverses techniques[28]. Plusieurs instruments sont utilisés à cette fin, dont le pluviomètre/pluviographe est le plus connu. L'unité de mesure varie selon que le type de précipitations est solide ou liquide, mais elle est ramenée en millimètre d'équivalence en eau par mètre carré de surface à fin de comparaisons. Toute précipitation de moins de 0,1 mm est qualifiée de « trace »[29].

Les courbes (figure IV.5), (figure IV.6):: montrent la variation de la pluviométrie annuelle a M'sila, on remarque de 2008 à 2009 une diminution de la quantité de précipitations jusqu'à ce qu'elle s'établisse entre 2009 à 2010 puis commence à

augmenter jusqu'à atteindre une valeur de 170 mm en 2011 puis commence à diminuer jusqu'à ce qu'elle atteigne l'année 2012 et commence à augmenter jusqu'à La valeur maximale 290 mm en 2014 .



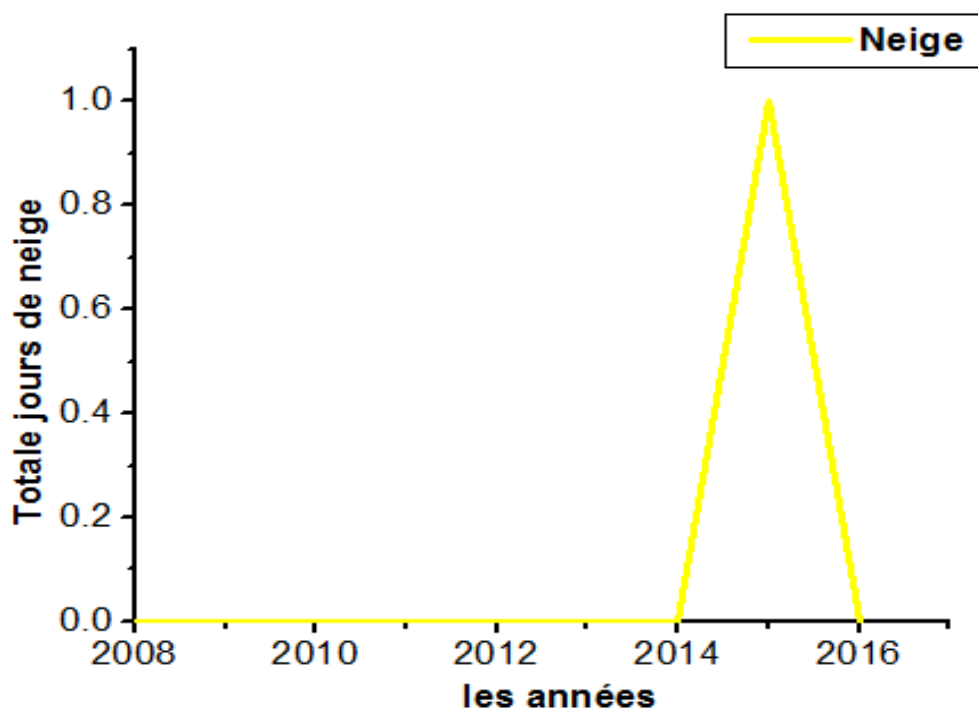
(Figure IV.5): Variation de la pluviométrie annuelle a M'sila.



(Figure IV.6): Variation Totale jours de pluie a M'sila durant l'année.

IV.2. 4.Le Neige :

La neige est d'abord une forme de précipitations[30] atmosphériques constituée de particules de glace ramifiées contenant de l'air qui sont la plupart du temps cristallisées et agglomérées en flocons[31], de structure et d'aspect très variables. Mais cette glace peut aussi être sous forme de grains : neige en grains et neige roulée. Lorsqu'il y a suffisamment de froid et d'humidité dans l'atmosphère, la neige se forme naturellement par condensation solide de la vapeur d'eau à saturation autour des noyaux de congélation. Selon sa structure et le vent. La courbe représente l'évolution du nombre de jours de neige en termes d'années dans la région de M'sila, où l'on constate de 2008 à 2016 l'absence de neige sauf en 2015, la neige est tombée pendant une journée.



(Figure IV.7): Variation Totale jours de neige a M'sila durant l'année.

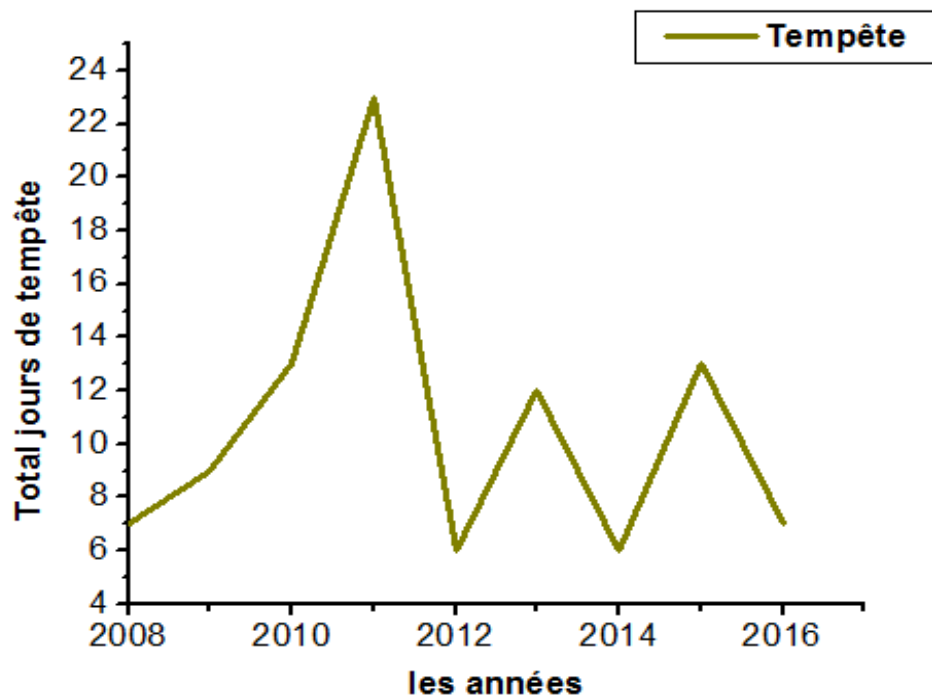
IV.2. 5. La tempête:

Une tempête est un phénomène météorologique violent à large échelle dite synoptique, avec un diamètre compris en général entre 200 à 1 000 km, caractérisé par des vents rapides et des précipitations intenses. Elle peut être accompagnée d'orages donnant des éclairs et du tonnerre ainsi que de la grêle et des tornades.

La courbe représente l'évolution du nombre de jours de tempête en termes d'années dans la région de M'sila de 2008 à 2016.

Initialement en 2008, 4 tempêtes se sont produites puis montent pour atteindre une valeur maximale en 2011: 23 tempêtes et commencent à diminuer à 6 tempêtes dans les années 2012 et 2014 puis montent pour enregistrer deux valeurs similaires: 12 tempêtes en 2013 et 13 tempêtes en 2015

Enfin, la valeur des tempêtes est tombée à 7 en 2016.

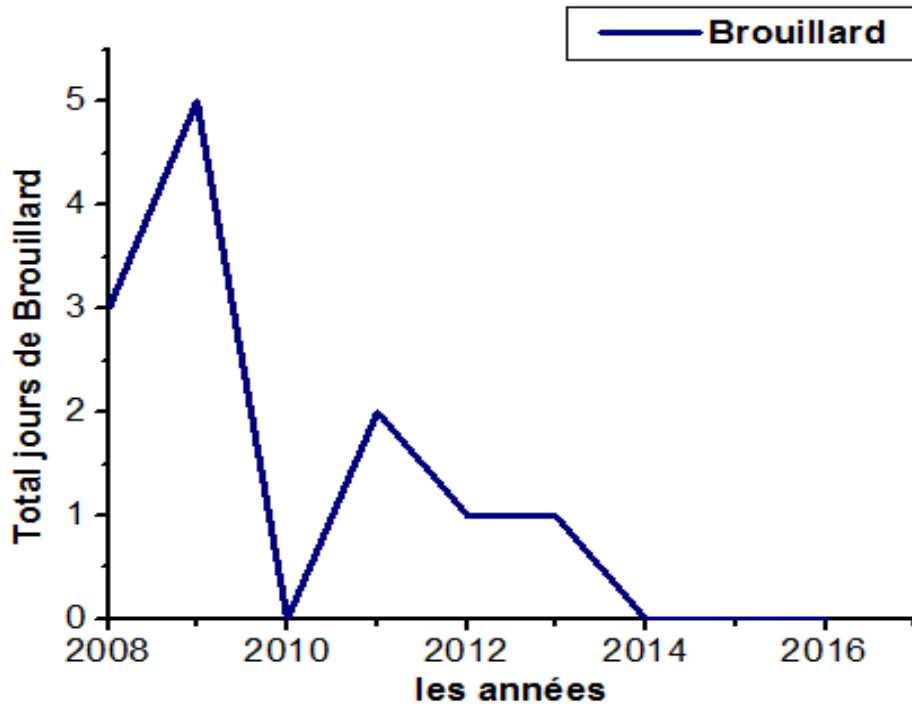


(Figure IV.8):Variation Totale jours de tempête a M'sila durant l'année.

IV.2.6.Le brouillard:

Le brouillard est le phénomène météorologique constitué d'un amas de fines gouttelettes ou de fins cristaux de glace, accompagné de fines particules hygroscopiques saturées d'eau, souvent de taille microscopique, réduisant la visibilité en surface. Sa composition est donc identique à celle d'un nuage dont la base toucherait le sol. Par convention, les météorologistes parlent de brume lorsque la visibilité horizontale est supérieure à un kilomètre et de brouillard si la visibilité est inférieure à un kilomètre[32].

La courbe représente les changements du nombre de jours de brouillard en fonctions d'années, on remarque à partir de 2008 le brouillard en trois jours, puis il commence à augmenter pour atteindre cinq jours de brouillard dans l'année 2009 , il commence à reculer donc il n'y a pas de brouillard dans l'année 2010, puis il augmente pour atteindre deux jours dans l'année 2011 puis atteint Un jour est l'année de 2012 et il est prouvé jusqu'à ce qu'il n'y ait pas d'année de 2014 à 2016.



(Figure IV.9):Variation Totale jours de brouillard a M'sila durant l'année.

IV.2.7.Tornades ou nuages :

Une tornade est un tourbillon de vents extrêmement violents, prenant naissance à la base d'un nuage d'orage lorsque les conditions de cisaillement des vents sont favorables dans la basse atmosphère. De très faibles tornades peuvent également se développer sous des nuages d'averses.

En météorologie, un nuage est une masse visible constituée initialement d'une grande quantité de gouttelettes d'eau (parfois de cristaux de glace associés à des aérosols chimiques ou des minéraux) en suspension dans l'atmosphère au-dessus de la surface d'une planète. L'aspect d'un nuage dépend de sa nature, de sa dimension, de la lumière qu'il reçoit, ainsi que du nombre et de la répartition des particules qui le constituent. Les gouttelettes d'eau d'un nuage proviennent de la condensation de la vapeur d'eau contenue dans l'air. La courbe représente les changements dans le nombre de jours pour les tornades et les nuages en entonnoir d'années a M'sila, d'après la figure on constate un manque de tornades et de nuages entre 2008 et 2016.

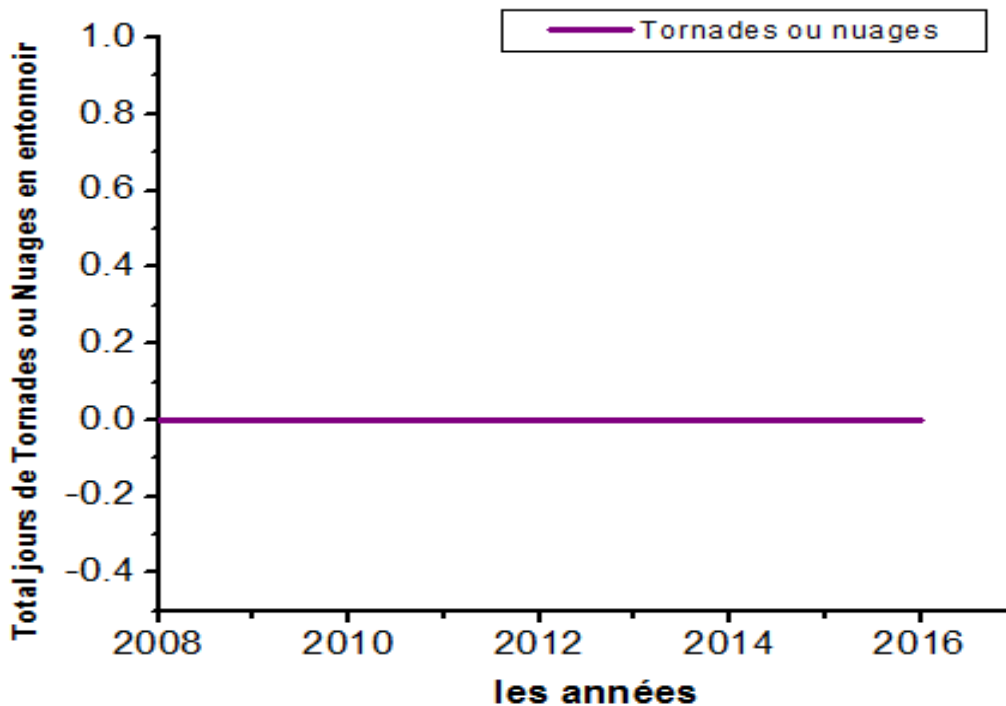


Figure (IV.10): Variation Totale jours de tornades ou nuages en entonnoir *a* *M'sila* durant l'année.

IV.3. Comparaison des valeurs de l'éclairement dû au rayonnement global mesurées et estimées:

Les figures (IV.11) et (IV.12) : représentent les résultats obtenus pour des estimations du rayonnement global calculé pour la date 26/08 2016 par le modèle LIU JORDAN, représentant de situations à ciel nuageux.

Nous observons que de 6 heures à 10 heures, les estimations sont très proches des valeurs mesurées. L'erreur relative moyenne est très faible et parfois négligeable. Sauf après 10 heures, nous remarquons une erreur relative de rayonnement global pendant la journée. Le ciel semble nuageux, ce qui n'est pas du ciel clair à cette heure de la journée.

On peut donc dire que les courbes simulées par le modèle LIU JORDAN sont très bonnes avec des valeurs mesurées, de sorte que l'erreur relative est très faible sous un ciel clair.

Ainsi, nous concluons que ce modèle peut fournir une estimation assez précise du rayonnement solaire qui s'est produit dans la région de M'sila dans le cas d'un ciel clair.

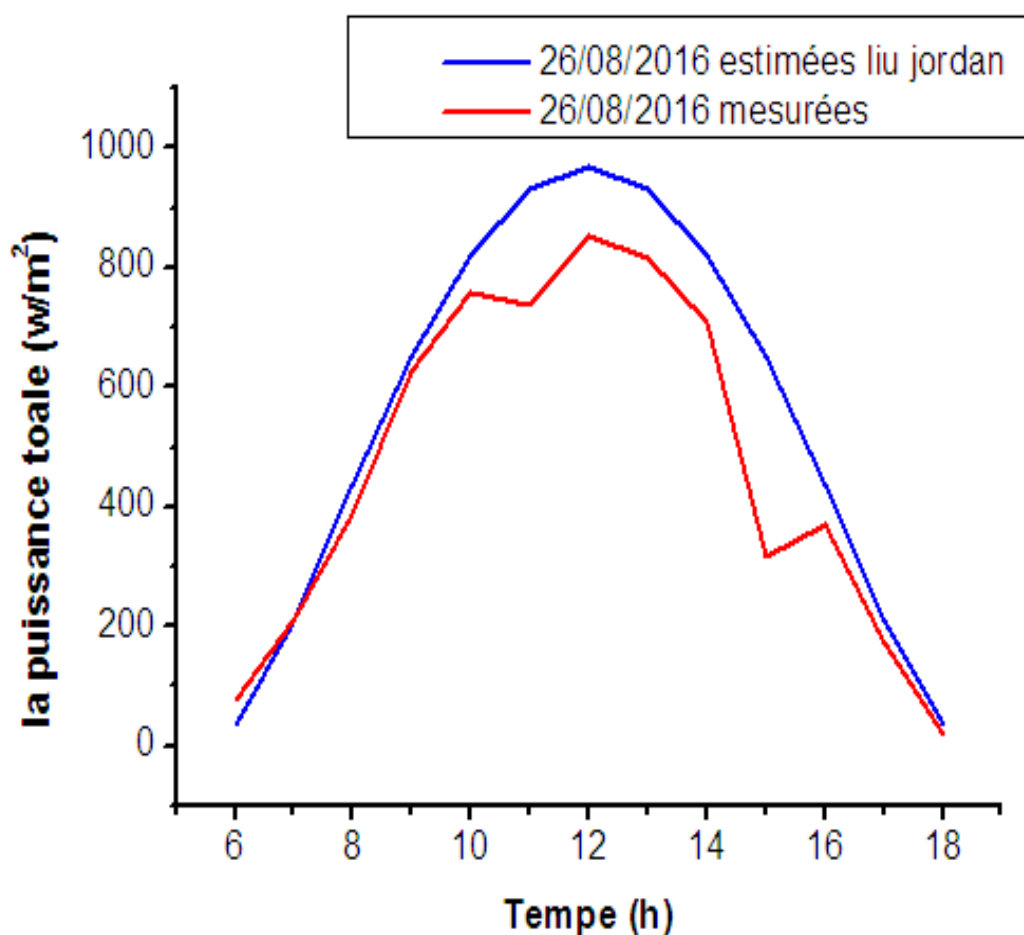


Figure (IV.11): L'irradiation solaire globale mesurées et estimées par le modèle d'Liu Jordan (de 6:00 h à 18:00 h).

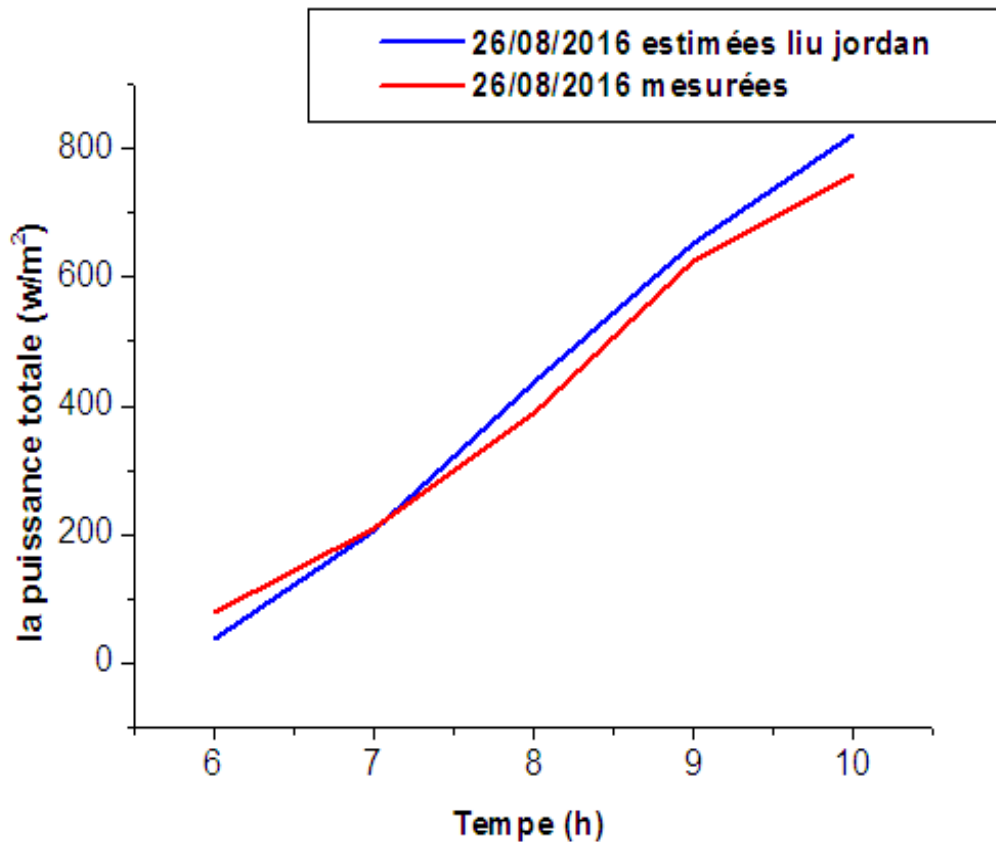


Figure (IV.12): L'irradiation solaire globale mesurées et estimées par le modèle d'Liu Jordan (de 6:00 h à 10:00 h).

IV.4.Variation temporelle d'irradiation solaire reçue par unité de surface plane par le modèle d'Liu Jordan:

L'évolution temporelle du rayonnement solaire global reçu par unité de surface plane horizontale pour quatre saisons par le modèle d'Liu Jordan est illustrée par les figures suivantes (IV.13). (IV.14) (IV.15) (IV.16).

a) En hiver :

La courbe représente les changements de la puissance totale en termes de jours à l'hiver. On remarque d'abord la diminution de la puissance totale à partir d'une valeur égale à 4170.04 W/m^2 (valeur initiale), puis augmenté pour atteindre une valeur maximale 5760 W/m^2 .

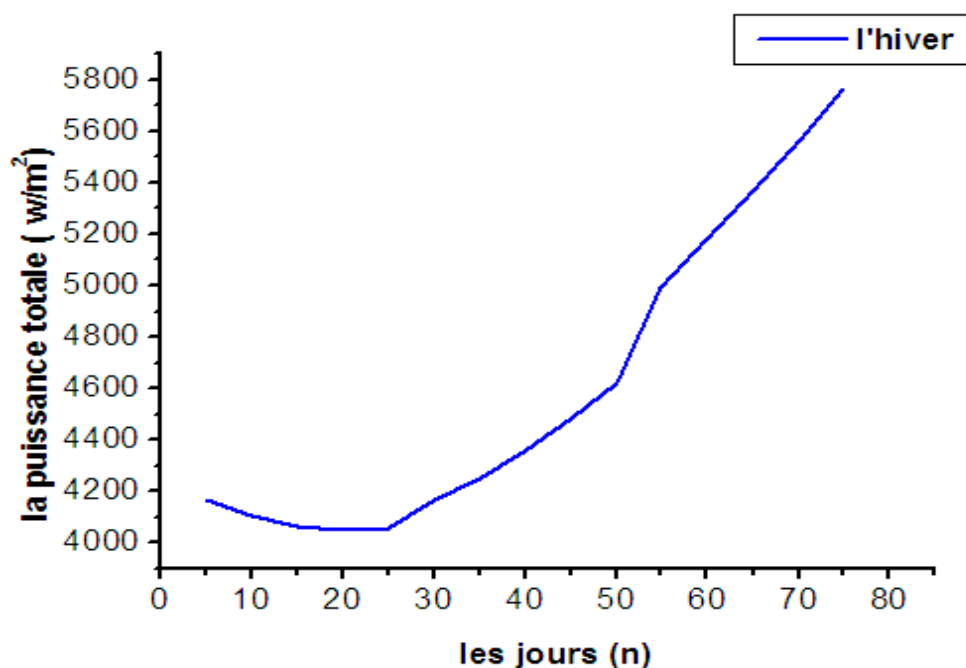


Figure (IV.13) : L'évolution journaliers de l'irradiation globale au l'hiver.

b) En printemps:

La courbe représente les changements de la puissance totale en termes de jours à printemps. On remarque que la puissance totale est passé de la valeur initiale de 6064,46 W/m² pour atteindre la valeur maximale de 7432,57 W/m².

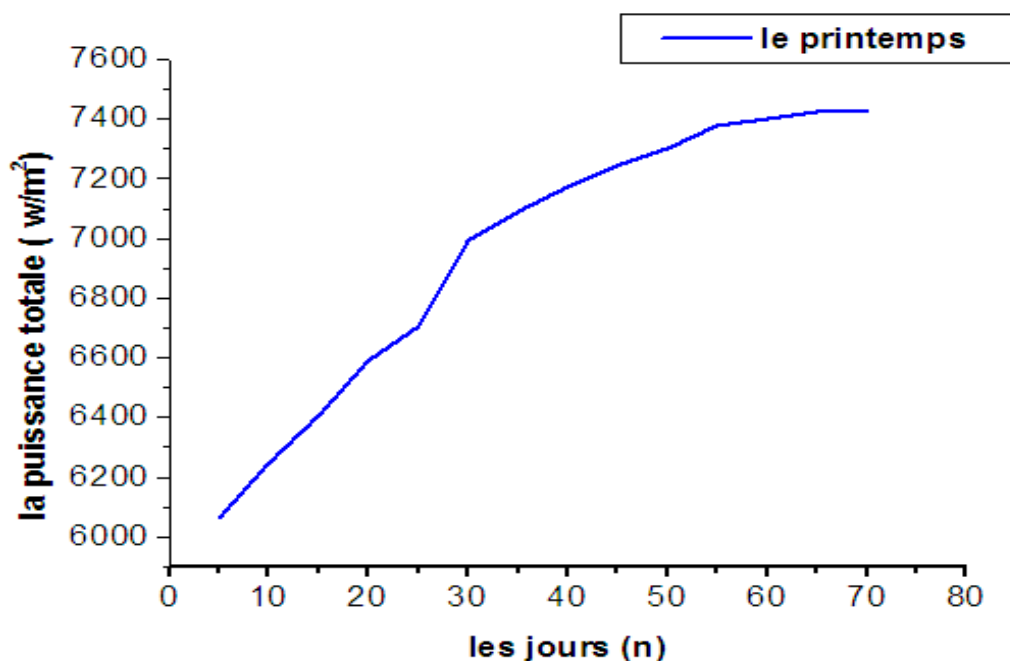


Figure (IV.14) : L'évolution journalière de l'irradiation globale au printemps.

c) En l'été :

La courbe représente les changements de la puissance totale en termes de jours à l'été , Notez que la puissance totale est passé d'une valeur initiale de $7440,93 \text{ W/m}^2$ à valeur minimale de $7144,15 \text{ W/m}^2$

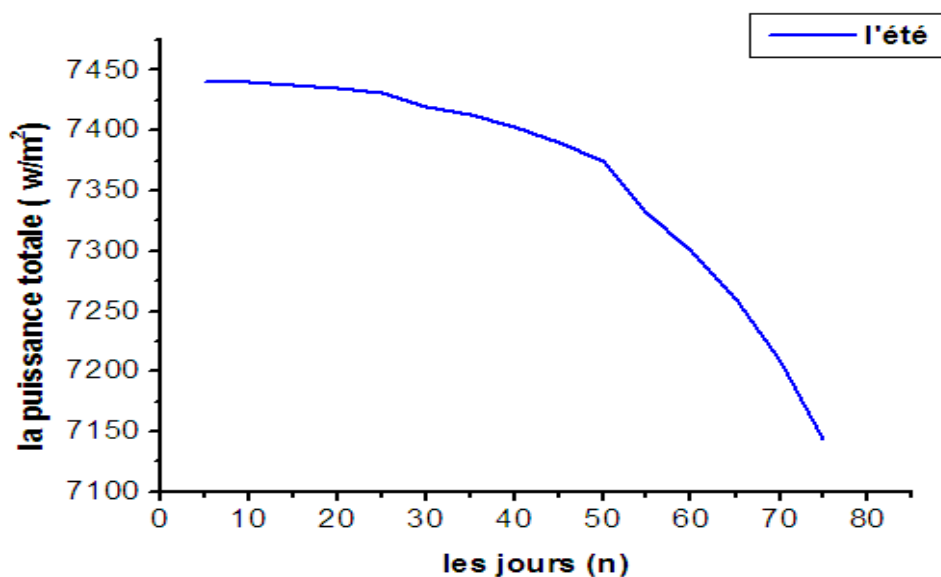


Figure (IV.15): L'évolution journalière de l'irradiation globale en été.

d) En l'automne:

La courbe représente les changements de la puissance totale en termes de jours à l'automne. On remarque que la puissance totale est passé d'une valeur initiale de $6953,65 \text{ W/m}^2$ à une valeur minimale de 4360 W/m^2 .

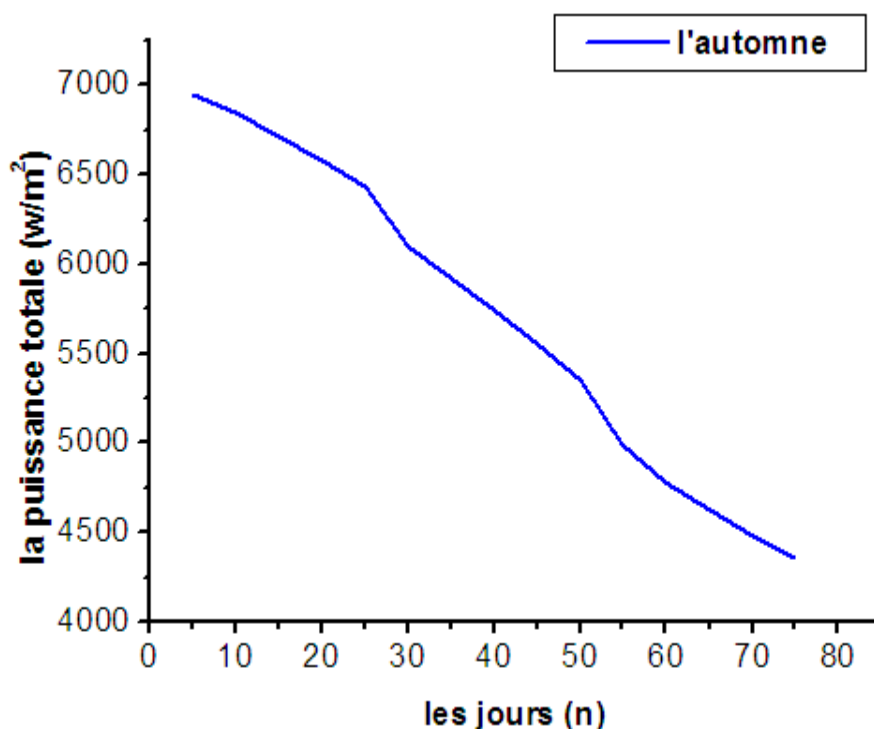
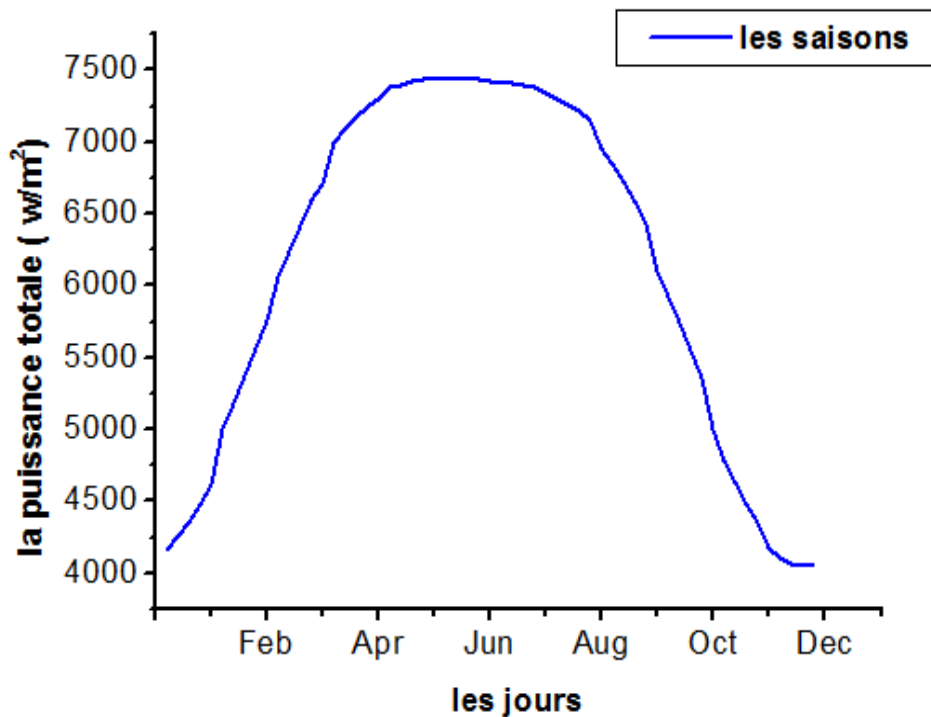


Figure (IV.16): L'évolution journalière de l'irradiation globale en automne.

IV.4.1 L'évolution mensuel de l'irradiation globale en les saisons:

La courbe représente les variations globale de rayonnement solaire en fonctions de mois estimés pour le modèle lui Jordan.

On remarque que l'irradiation globale augmente à partir d'une valeur initiale de 4167,96 pendant la saison d'hiver au mois de janvier, atteignant une valeur maximale de 7440,93 W/m^2 pendant la saison estivale au mois de juin, puis il commence à diminuer et continue de diminuer pendant la saison d'automne, atteignant sa valeur la plus basse de 4360 W/m^2 au mois de novembre.



Figure(IV.17) : L'évolution mensuelle de l'irradiation globale en les saisons.

IV.4.2. Les fonctions appliquées sur l'évolution mensuelle de l'irradiation globale en les Saisons:

Les deux courbes représentent les variations mensuelles de l'irradiation globale au cours des saisons des deux modèles de, Liu Jordan et le modèle estimé.

Figure(IV.18): On observe une congruence entre la courbe de la fonction polynomiale de rang 2 et la courbe d'approximation de Liu Jordan.

La Figure (IV.19): montrent la bonne concordance entre la courbe de la fonction polynomiale de rang 3 et la courbe d'approximation de Liu Jordan.

D'après ce que nous pouvons conclure, les deux fonctions représentent la meilleure approximation de la courbe de Liu Jordan.

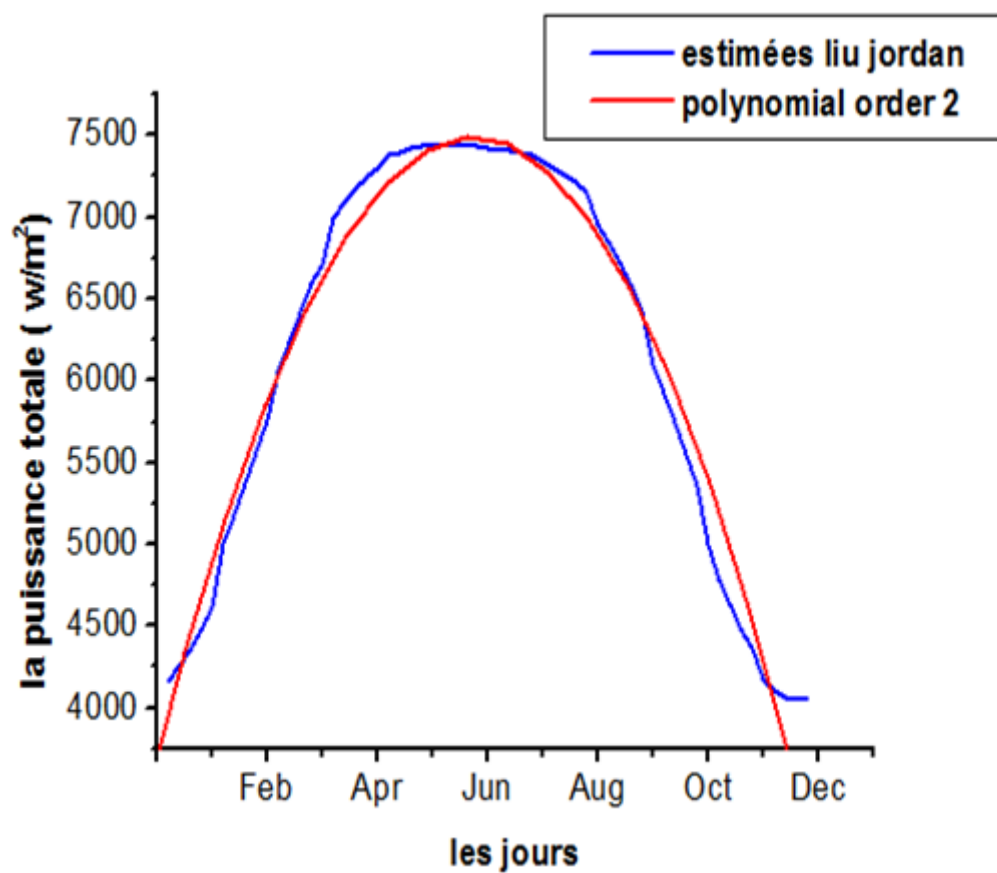


Figure (IV.18): Comparaison entre des radiations solaires globales (l'ordre 2).

$$Y = A + B1 * X + B2 * X^2 \quad (IV.1)$$

Paramètre	Value	Error
A	3700.35691	83.86704
B1	52.83911	1.2899
B2	-0.18426	0.00417

Tableau (IV.1): variations de fonction polynomial (ordre 2).

$$Y = 3700,35691 + 52,83911 * X - 0.18426 * X^2 \quad (IV.2)$$

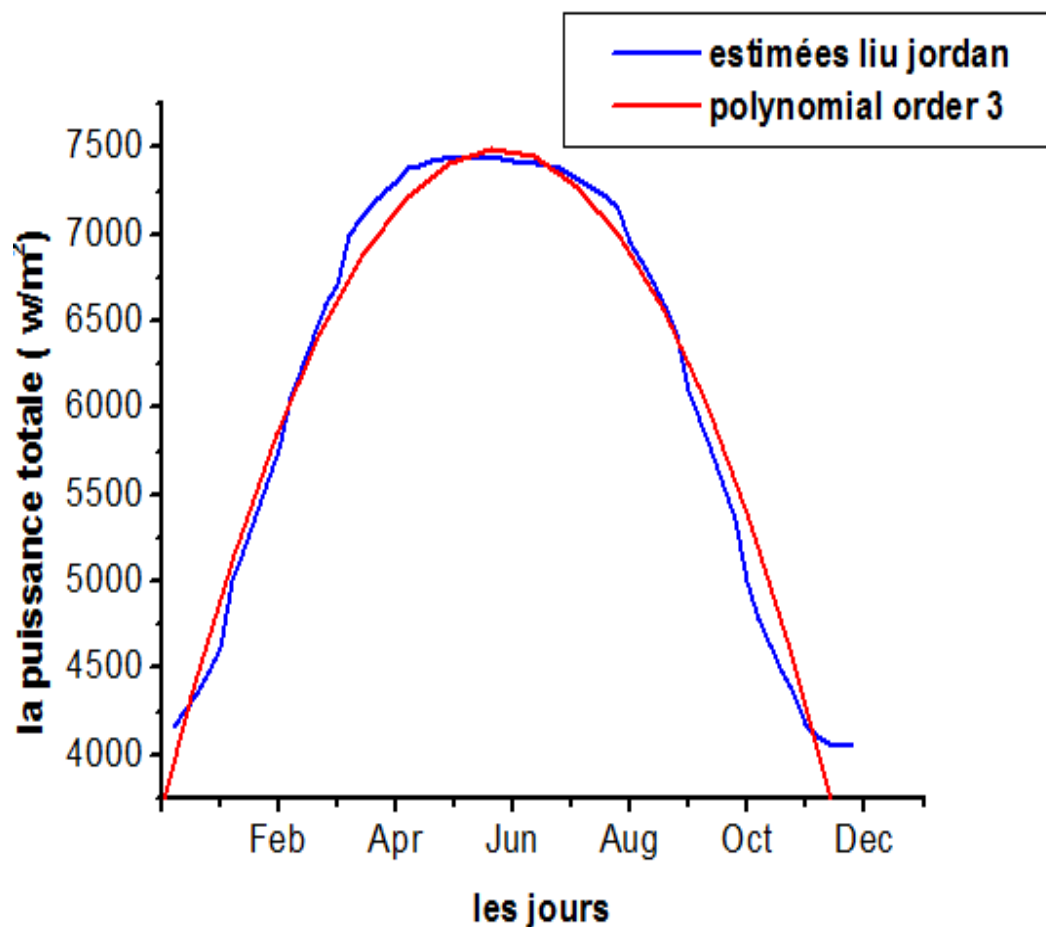


Figure (IV.19) : Comparaison entre des radiations solaires globales (l'ordre 3).

$$Y = A + B1 * X + B2 * X^2 + B3 * X^3 \quad (IV.3)$$

Paramètre	value	Error
A	3415,63723	102,01258
B1	63,77118	2,92018
B2	-0.2746	0.02252
B3	$2.00754 e^{-4}$	$4.93608 e^{-5}$

Tableau (IV.2) : variations de fonction polynomial (ordre 3).

$$Y = 3415,63723 + 63,77118 * X - 0.2746 * X^2 + 2.00754 e^{-4} * X^3 \quad (IV.4)$$

IV.5 .Conclusions:

Les mesures sont utilisées pour valider le modèle théorique semi-empirique de Liu-Jordan. Pour estimer l'énergie solaire rayonnante pour une journée précise de l'année pour la région de Msila (36. °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.

Conclusion Générale:

Conclusion Générale

Conclusion générale :

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

Dans ce travail, ils étudient le rayonnement solaire global dans la région de M'sila.

Notre thèse se compose de 4 axes principaux:

Nous avons d'abord traité des généralités sur les gisements solaires et sommes passés à l'introduction des modèles physiques pour le calcul des composés du rayonnement solaire dans un ciel clair sur une zone horizontale du climat de la région de M'sila.

Après cela, nous nous concentrons sur les facteurs météorologiques suivants:

Vent Humidité relative. Température, rayonnement solaire

Nous avons estimé la valeur du rayonnement solaire le jour du (26/ 8/ 2016) au moyen d'une expérience et d'une théorie pour vérifier la validité du modèle théorique quasi-expérimental de Liu Jordan dans la région de M'sila.

Il est à noter que les valeurs estimées par le modèle sont en bon accord avec les valeurs mesurées.

Enfin, nous concluons que la région de M'sila a un bon potentiel climatique et énergétique qui encourage l'utilisation de l'énergie solaire, en particulier dans les zones isolées.

Références Bibliographiques:

- [1] **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.
- [2] **Chegaar. M. and Chibani. A**, (2001): Global solar radiation estimation in Algeria. *Energy conversion and management*, 42(8), 967-973.
- [3] **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.
- [4] **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.
- [5] **M. Iqbal**, ‘An Introduction to Solar Radiation’, Academic Press, 1983
- [6] **D. Saheb-Koussa**, ‘Contribution à l’Etude Théorique du Comportement d’un Système Hybride (Eolien -Photovoltaïque - Diesel) de Production d’Electricité sans Interruption’, Mémoire de Magister, Blida, Septembre 2005.
- [7] **J.M Chassériaux**, *Conversion thermique du rayonnement solaire* ; Dunod, 1984.
- [8] **R. Bernard ; G. Menguy ; M. Schwartz**, *Le rayonnement solaire conversion thermique et applications* ; Technique et documentation Lavoisier, 2ème édition 1980.
- [9] **Charles Chauliaquet** : *L’énergie solaire dans le bâtiment*, Editions Eyrolle 1981P22, 32 et p147-148.
- [10] **MR Maouedj Rachid**, *Application de l’énergie photovoltaïque au pompage hydraulique sur les sites de Tlemcen et de Bouzareah* , Mémoire de magister, Université Abou Bekr Belkaïd Faculté des Sciences Département de physique 2005.
- [11] <http://web.laghuniv.dz/web/fr/doc/publications/ouvrage/techno/Mepdf>.
- [12] **Khoudrane Ismail** ‘‘ Etude d’un système de poursuite solaire pour les panneaux photovoltaïques ‘’. Mémoire de master en énergétique. Université de Ksdi Merbah Ouargla 2014.

- [13] **Beikacern, Fezzioui Naima**, Energie solaire et capteur solaires Centre Universitaire de Béchar 2001.
- [14] **DUFFIE J. A. , BECKMAN W. A.**, Solar energy thermal processes, John Wiley and Sons, New York,1974.
- [15] **Samira Mouhous-Chaouchi**. “ Etude statistique du rayonnement solaire sur un plan incliné ” .mémoire de Magister en Energie Renouvelable, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen. 2012.
- [16] L'absorption de l'énergie solaire par l'atmosphère et le sol
lamap.inrp.fr/?Page Id=16& Elément Id=528&Domain Science Type Id=5
- [17] **S. BEKKOUCHE**. "Modélisation du Comportement Thermique de Quelques Dispositifs". Solaires. Option « Electronique et Modélisation » . Thèse doctorat. l'université Abou- bakrBelkaid – Tlemcen. (2008).
- [18] **A, Mefti; M, Y, bouroubi; H, Mimouni**. Evaluation du potentiel énergétique solaire, Bulletin des Energies Renouvelables, N°2, p 12, décembre. (2002).
- [19] **R.K. Swartman**, ‘Solar Radiation Estimates from Common Parameters’, Solar Energy, Vol. 11, pp. 170 -172, 1967.
- [20] **S.J. Reddy**, ‘An Empirical Method for Estimation of Net Radiation Intensity’, Solar Energy, Vol. 13, pp.289 - 291, 1971.
- [21] **A.A.M. Sayigh**, ‘Estimation of the Total Solar Radiation from Meteorological Data’, Solar Energy, Vol.19, pp. 307 - 311, Ed. Pergamon Press, 1977.
- [22] **H.P. Garg et S.N. Garg**, ‘Prediction of Global Solar Radiation from Bright Sunshine Radiation Hours and Other Meteorological data’, Energy Conversion, Vol. 23, N°2, pp. 113 - 118, 1983.
- [23] **Hussain et al**, ‘Estimation of Global and Diffuse Irradiation from Sunshine Duration and Atmospheric Water Vapour Contents’, Solar Energy, Vol. 33, N°2, pp. 217 - 220, USA 1984.

Références Bibliographiques

[24] **A. Moumami et al**, 'Estimation du rayonnement solaire par deux approches semi empiriques dans le site de Biskra', 8ème Séminaire International sur la Physique Énergétique, Centre Universitaire de Béchar, Algérie, 11 et 12 Novembre 2006.

[25] **R.E. Bird and R.L. Hulstrom**, 'Direct Insulation Models', Trans. ASME Journal of Solar Energy Engineering, Vol. 103, pp. 182 - 192, 1982.

[26] **Michel Capderou**, '*Atlas solaire de l'Algérie*', TOM 1, Vol 1 et 2, Modèles Théoriques et Expérimentaux, Office des Publication Universitaires, Algérie, 1987.

[27] **KECHIDA Essaghir** " Etude expérimentale et théorique du gisement solaire pour la région de M'sila ", Centre Universitaire de M'sila, 30 /06/2019.

[28] Organisation météorologique mondiale, « Pluviométrie » [[archive](#)], sur Eumetcal (consulté le 11 décembre 2012)

[29] Organisation météorologique mondiale, « Trace » [[archive du 3 mars 2016](#)], sur Eumetcal (consulté le 11 décembre 2012)

[30] **Richard Leduc et Raymond Gervais**, Connaître la météorologie, Presses de l'Université du Québec, 1985, 300 p. ([ISBN 2760520447](#), [lireenligne](#) [[archive](#)]), p. 46- 47.

[31] **Magdeleine Moureau et Gerald Brace**, Dictionnaire des sciences de la terre : Comprehensive dictionary of earth science, Paris, TECHNIP, 2000, 1035 p. ([ISBN 2710807491](#)), p. 467 .

[32] **MÉTAVI**, chap. 11 (Visibilité), p. 102-106 .

Webographe:

[web1] https://fr.wikipedia.org/wiki/Wilaya_de_M'Sila.

[web2] https://fr.wikipedia.org/wiki/Wilaya_de_M'Sila.

Résumé.

L'énergie solaire est l'une des technologies les plus importantes présentes à l'heure actuelle, car en plus d'être une source d'énergie propre et gratuite, l'exploitation de l'énergie solaire en Algérie est une pure exigence pour répondre à la demande croissante d'électricité.

Dans ce travail, nous présentons différents modèles d'estimation du rayonnement solaire, en développant une comparaison entre les valeurs du rayonnement solaire mesurées dans la région de M'sila (36. °N, 4°E) pendant une journée (26/08/2016) et les valeurs estimées par le modèle théorique de Liu Jordan.

L'étude comparative des résultats a montré que le modèle de Liu Jordan donne la meilleure approximation dans une certaine mesure du rayonnement solaire qui s'est produit dans la région de M'sila en cas de ciel clair.

Mots clés: rayonnement solaire, modèle de Liu Jordan, ciel clair.

Abstract.

Solar energy is one of the most important technologies present at the present time, because in addition to being a clean and free source of energy, the exploitation of solar energy in Algeria is a pure requirement for meet the growing demand for electricity.

In this work, we present different models for estimating solar radiation, developing a comparison between the values of solar radiation measured in the region of M'sila (36. °N, 4°E) during a day (26/08 / 2016) and the values estimated by Liu Jordan's theoretical model.

The comparative study of the results showed that Liu Jordan's model gives the best approximation to some extent of the solar radiation that occurred in the M'sila area under clear sky.

Keywords: solar radiation , Liu Jordan's model, clear sky.

ملخص.

تعتبر الطاقة الشمسية من أهم التقنيات الموجودة في الوقت الحالي ,حيث إضافة إلى أنها طاقة نظيفة ومجانية المصدر لذلك فإن استغلال الطاقة الشمسية في الجزائر مطلباً بحثاً لتلبية الطلب المتزايد على الكهرباء.

في هذا العمل نقدم نماذج مختلفة لتقدير الإشعاع الشمسي ,كما قمنا بتطوير مقارنة بين القيم الإشعاع الشمسي المقاسة في منطقة المسيلة (شمال,4, شرقاً,35) ليوم واحد (2016/8/26) والقيم المقدرة بالنموذج النظري ليو جوردان .

فأظهرت الدراسة المقارنة للنتائج أن نموذج ليو جوردان يعطي أحسن تقريب إلى حد ما للإشعاع الشمسي الذي حدث في منطقة المسيلة في حالة السماء صافية.

الكلمات المفتاحية: الإشعاع الشمسي ، نموذج ليو جوردان ، السماء صافية .