

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET LA RECHERCHE

SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE



جامعة محمد بوضياف - المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'sila



جامعة محمد بوضياف - المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'sila

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER EN GENIE

MECANIQUE

CYCLE L.M.D

OPTION : ENERGITIQUE

THEME

**Etude des radiations solaires
Application à la région de M'sila**

Proposé et dirigé par :

Dr Ihaddadene Razika

Présenté par:

Mr :HamidiAissa

Année universitaire :2015/2016



السلام عليكم ورحمة الله وبركاته

Dédicace

*Avant tout , je tiens à remercier le bon dieu , et
l'unique qui m'a offert le courage et la volonté
nécessaire pour affronter les obstacles de la vie ,
Je dédie ce modeste tard pour travailler Pour mon
défunt père Silami*

*Mama Mibarka peut prolonger la vie de Dieu et
mes frères Ramadan . Miloud. Mstepha
Et sœurs et Fatiha Lubna et à toute la famille et
des amis de leur*

*Sid Ali . Dhman . Karim . Amer
A toutes les enseignants et les étudiants de
génie mécanique surtout mon encadreur.*

Aïssa

Notation et symbol

\bar{G}_{n+1} : les radiations solaires globales moyennes annuelles de n+ 1 années ;

G_i : les radiations annuelle de l'année i.

n : nombre d'année. ;

h : est la constant de Planck.

C:la vitesse de la lumière .

λ : la longueur d'onde.

G: radiation solaire globale (Wh/m²);

G_i :présente les radiations solaires globales en temps i et n le nombre de valeurs utilisées.

mu : le paramètre local, il présente la déviation standard

\bar{y} : présente la valeur moyenne des valeurs de y_i ;

y_i : la $i^{\text{ème}}$ fréquence de distribution actuelle (mesurée);

x_i : la $i^{\text{ème}}$ fréquence de distribution prédit de la loi de Weibull selon la méthode utilisée;

N: le nombre des données de radiation solaire .

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction générale----- 01

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES RADAITIONS SOLAIRES

Partie A :

I.1. Le gisement solaire en Algérie ----- 04

I.2. Nature du rayonnement solaire -----05

I.3. Répartition spectrale du rayonnement solaire----- 07

I.4. Constante solaire ----- 08

I.5. Bilan énergétique dans l'atmosphère ----- 09

I.6. Les mouvements de la terre ----- 11

 I.6.1 Mouvement de rotation ----- 11

 I.6.2 Mouvement de translation ----- 11

I.7. Repérage d'un point sur la surface de la terre ----- 13

 I.7.1 La longitude ----- 13

 I.7.2 La latitude ----- 13

I.8 Instrument de mesure d'éclairement ----- 14

 I.8.1 Le pyranomètre: ----- 14

 I.8.2 Le pyréliomètre ----- 14

Partie B :

I.9. Modélisation des radiations solaires globales -----	15
I.10. Les fonctions de distribution -----	15
I.10.1 La distribution Weibull -----	15
I.10.2 La distribution Gamma -----	16
I.10.3 La distribution Logistique -----	17
I.10.4 La distribution Normale -----	17
I.10.5 La distribution Lognormale -----	17
I.10.6 La distribution Loglogistique-----	18
Conclusion : -----	19

CHAPITRE II : SITE ET DONNEES

II-1 Situation géographique de la région de M'sila -----	21
II-2 La source des données -----	22
II-3 Evolution annuelle des radiations solaires globales -----	22
II-4 Evolution mensuelle des radiations solaires globales pour toutes les années-----	22
II-5 Influence de nombre d'année sur les radiations solaires moyennes annuelles -----	24
II-6 Validation des résultats -----	27
II-7 Evolution des fréquences de distributions des radiations solaires globales mensuelles -----	29
Conclusion -----	34

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

III.1 Estimation des paramètres des différentes fonctions de distribution -----	36
III. 2 Méthodes de comparaison des différences distributions -----	42
III.2.1 Le coefficient de détermination R^2 -----	43
III.2.2 Erreur quadratique moyenne (RMSE)-----	43
III.3. L' erreur systématique moyenne MBE -----	43
III.4. L'erreur systématique absolue moyenne MABE -----	44
III.5 Comparaison des six fonctions de distribution -----	44
Conclusion -----	57
Conclusion générale -----	59
Références bibliographiques -----	61

Liste des tableaux

CHAPITRE I :

Tableau I.1 : Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques -----05

CHAPITRE III :

Tableau III.1 : Les paramètres des distributions (Weibull, normale, gamma, lognormal, logistique et loglogistique) de la région de M'sila (1984-1998)-----37

Tableau III.2.a : L'analyse statistique des distributions (Weibull, normale, gamma, lognormal, logistique et loglogistique) pour le mois de Janvier de la région de M'sila (1984-1998)-----45

Tableau III.2.b : L'analyse statistique des distributions (Weibull, normale, gamma, lognormal, logistique et loglogistique) pour le mois de Fevrier de la région de M'sila (1984-1998)-----46

Tableau III.2.c : L'analyse statistique des distributions (Weibull, normale, gamma, lognormal, logistique et loglogistique) pour le mois de Mars de la région de M'sila (1984-1998) -----47

Tableau III.2.d : L'analyse statistique des distributions (Weibull, normale, gamma, lognormal, logistique et loglogistique) pour le mois d'Avril de la région de M'sila (1984-1998) -----48

Tableau III.2.e : L'analyse statistique des distributions (Weibull, normale, gamma, lognormal, logistique et loglogistique) pour le mois de Mai de la région de M'sila (1984-1998)-----49

Tableau III.2.f : L'analyse statistique des distributions (Weibull, normale, gamma, lognormal, logistique et loglogistique) pour le mois de Juin de la région de M'sila (1984-1998)-----50

Tableau III.2.g : L'analyse statistique des distributions (Weibull, normale, gamma, lognormal, logistique et loglogistique) pour le mois de Juillet de la région de M'sila (1984-1998) -----51

Tableau III.2.h : L'analyse statistique des distributions (Weibull, normale, gamma, lognormal, logistique et loglogistique) pour le mois de Aout de la région de M'sila (1984-1998)-----52

Tableau III.2.i : L'analyse statistique des distributions (Weibull, normale, gamma, lognormal, logistique et loglogistique) pour le mois de Septembre de la région de M'sila (1984-1998) -53

Tableau III.2.j : L'analyse statistique des distributions (Weibull, normale, gamma, lognormal, logistique et loglogistique) pour le mois d'Octobre de la région de M'sila (1984-1998)-----54

Tableau III.2.k : L'analyse statistique des distributions (Weibull, normale, gamma, lognormal, logistique et loglogistique) pour le mois de Novembre de la région de M'sila (1984-1998)--55

Tableau III.2.l : L'analyse statistique des distributions (Weibull, normale, gamma, lognormal, logistique et loglogistique) pour le mois de Décembre de la région de M'sila (1984-1998)--56

Liste des figures

CHAPITRE I :

Figure I.1 : Carte du monde de l'insolation moyen annuel -----	04
Figure I.2 : Les zones énergétiques de l'Algérie -----	05
Figure I.3 : Le spectre des radiations électromagnétiques -----	07
Figure I.4 : Le spectre des radiations solaires -----	08
Figure I.5 : Bilan énergétique du rayonnement solaire dans l'atmosphère -----	10
Figure I.6 : Les composantes du rayonnement global -----	10
Figure I.7: Les mouvements de la terre -----	12
Figure I.8 : L'angle d'inclinaison de la terre -----	12
Figure I.9 : La longitude et la latitude d'un lieu -----	13
Figure I.10 : Pyranomètre d'Eppley-----	14
Figure I.11: Pyrhéliomètre -----	15

CHAPITRE II :

Figure II.1 : La situation géographique de la wilaya de M'sila -----	21
Figure II.2 : Evolution annuelle des radiations solaires globales (M'sila, 84-03) -----	23
Figure II.3 : Évolution mensuelle des radiations solaires globales pour chaque année (1984-2003) de M'sila-----	23
Figure II.4 : Évolution mensuelles des radiations solaires globales suivant le nombre d'année(en ordre croissant) -----	25
Figure II.5 : Évolution mensuelles des radiations solaires globales suivant le nombre d'année (15, 16, 17, 18, 19 et 20ans) en ordre croissant-----	25

Figure II.6 : Évolution mensuelles des radiations solaires globales suivant le nombre d'année
(en ordre décroissant)-----26

Figure II.7: Évolution mensuelles des radiations solaires globales suivant le nombre d'année
(15, 16, 17, 18, 19 et 20 ans) en ordre décroissant-----27

Figure II.8: Comparaison entre des radiations solaires globales des(15 ans dans l'ordre
croissant et 20 ans)-----28

Figure II.9: Comparaison entre des radiations solaires globales des(15 ans dans l'ordre
décroissant et 20 ans-----28

Figure II.10 : Evolution des fréquences de distributions mensuelles des radiations solaires
globales -----33

CHAPITRE III :

Figure III.1. Distribution des fréquences mensuelle des radiations solaires -----42



INTRODUCTION

GENERALE

Introduction générale

L'énergie solaire se présente comme une des énergies renouvelables. Les radiations solaires reçus sur la surface de la terre dépendent fortement de la situation géographique du lieu et des conditions atmosphériques. Elles présentent des variations journalières, saisonnières et annuelles de ce fait plusieurs années sont nécessaires pour faire une bonne estimation à long terme à fin d'estimer le potentiel solaire.

Les données des radiations solaires et leur composition jouent un rôle très important dans le dimensionnement et la conception des systèmes utilisant les énergies renouvelables. La quantité des radiations solaires globales et sa distribution sont les premières variables dans l'utilisation de l'énergie solaire à titre d'exemple les systèmes photovoltaïques, les systèmes thermiques, les systèmes photo thermiques.....Le développement d'un projet de recherche avec l'énergie solaire doit nécessairement commencer par une étude des radiations solaires du site ou de la région d'étude.

Pour étudier la caractérisation des radiations des fonctions de probabilité de densité sont utilisées dans la littérature pour décrire leur fréquence de distribution, à titre d'exemple ; la distribution Gamma, la distribution Normale, la distribution Weibull

L'Algérie dispose d'un des gisements 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 dans les hauts plateaux et le Sahara. La région de M'Sila (avec les coordonnées : 35° 42'07''N, 04°32'49''E) en Algérie dispose un climat très favorable à l'utilisation de l'énergie solaire. Malheureusement, stations de mesure des radiations solaires ne sont pas disponibles sur tout le territoire national, c'est pour cette raison qu'on a utilisé les données satellites.

L'objectif de ce travail est d'étudier les radiations solaires globales de la région de M'sila sur une période de 20 ans allant de 1984 jusqu'à 2003. Notre mémoire s'articule autour de trois chapitres répartis comme suit :

Le premier chapitre représente une synthèse bibliographique sur le rayonnement solaire. Il est divisé en deux parties ; la première est consacrée au gisement solaire en Algérie, à la nature du rayonnement solaire, la répartition spectrale du rayonnement solaire, la constante solaire, le bilan

énergétique dans l'atmosphère, les mouvements de la terre, le repérage d'un point sur la surface de la terre et en fin les instruments de mesure de l'éclairement.

La deuxième partie est consacrée à la modélisation des radiations solaires en utilisant les fonctions de distribution.

Le deuxième 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 c.-à-d. la possibilité de réduire le nombre d'année d'étude de 20 ans à 15 ans.

Dans le troisième est le dernier chapitre, on a tenté de regrouper les données des radiations solaires globales sous forme d'un modèle mathématique ou plus exactement d'une fonction de distribution. Les fonctions de distribution étudiées dans ce mémoire sont au nombre de six à savoir ; la distribution de Weibull, la distribution normale, la distribution gamma, la distribution lognormal, la distribution logistique et la distribution loglogistique. Dans le but de déterminer la meilleure fonction de distribution qui décrit les radiations solaires globales mensuelle dans cette zone, une analyse statistique était effectuée.



CHAPITRE : I

GENERALITES SUR LES RADAITIONS SOLAIRES

Introduction

Ce chapitre présente une synthèse bibliographique sur le rayonnement solaire. Il est divisé en deux parties ; la première est consacrée au gisement solaire en Algérie, à la nature du rayonnement solaire, la répartition spectrale du rayonnement solaire, la constante solaire, le bilan énergétique dans l'atmosphère, les mouvements de la terre, le repérage d'un point sur la surface de la terre et en fin les instruments de mesure de l'éclairement.

La deuxième partie est consacrée à la modélisation des radiations solaires en utilisant les fonctions de distribution.

Partie A :

I.1. 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 [1]. 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 (figure I.1).

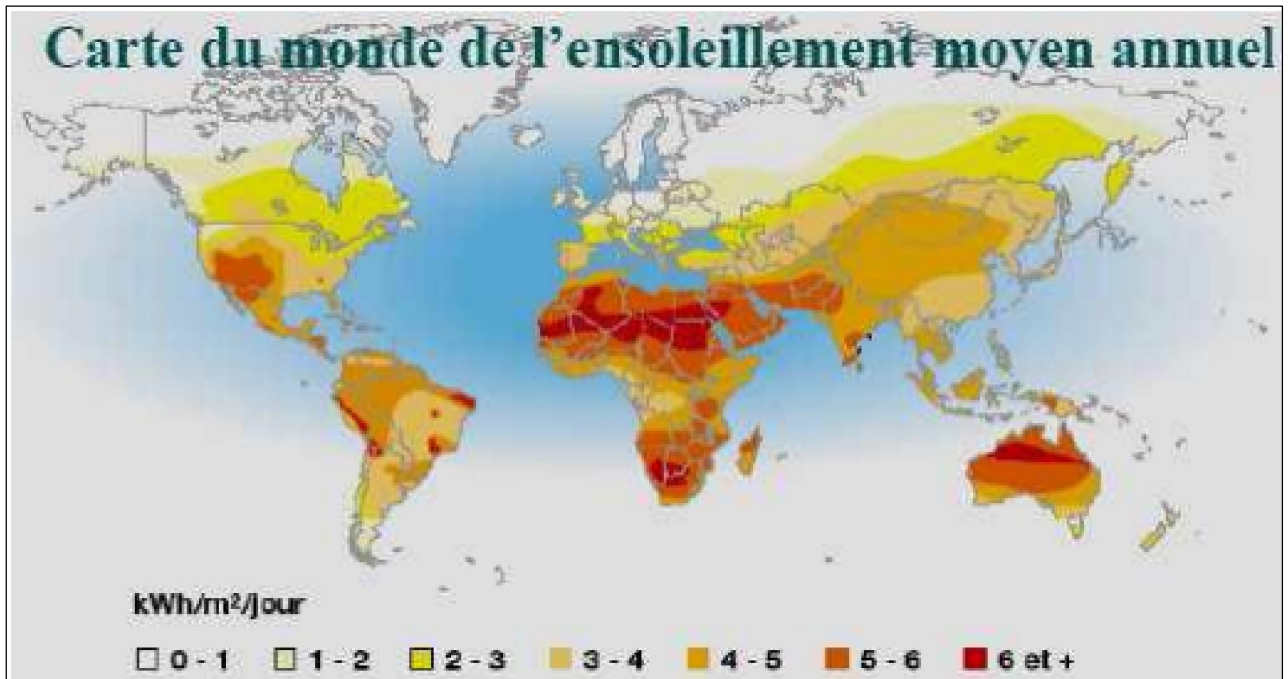


Figure I.1 : Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel [1].

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.

Tableau I.1. Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques [2].

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

L'énergie journalière maximale moyenne (ciel clair, mois de juillet) dépasse les 6 Kw/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 [3]. Comme on peut le constater il existe quatre zones énergétiques en Algérie.

I.2. Nature du rayonnement solaire

L'énergie émise par le soleil nous parvient sous forme de rayonnements électro magnétiques se propageant à la vitesse de la lumière et dont l'ensemble forme le rayonnement solaire, qui constitue la seule source externe notable d'énergie pour l'atmosphère. La théorie corpusculaire de

Max Planck prévoit que tout rayonnement de fréquence (λ) peut être considéré comme un flux de photons dont l'énergie élémentaire (E) est directement proportionnel à cette fréquence.

$$E = hv = \frac{hc}{\lambda} \tag{I. 1}$$

Ou

h ; est la constante de Planck

c :la vitesse de la lumière.

λ ; la longueur d'onde

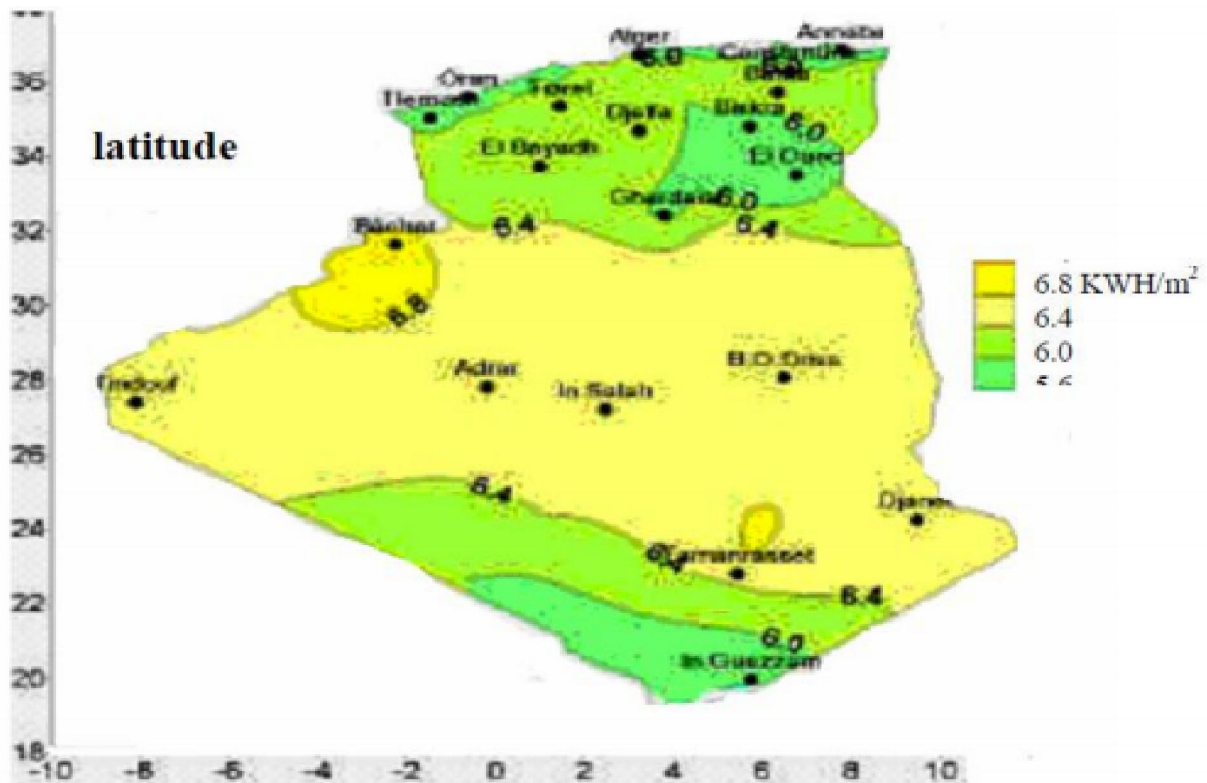


Figure I.2 : Les zones énergétiques de l'Algérie [3].

De ce fait, ce sont les rayonnements de courte longueur d'onde (ou de haute fréquence) qui sont les plus énergétiques, la plus grande partie de l'énergie solaire est cependant rayonnée dans les domaines ultraviolet, visible et proche infrarouge. 99,2 % de l'énergie solaire hors atmosphère se

trouve entre 200 nm et 4 μm . Au sol, par suite de l'absorption du rayonnement solaire par la vapeur d'eau, le spectre est limité à 2,5 μm environ [4].

I.3. Répartition spectrale du rayonnement solaire

Le rayonnement qui nous parvient du soleil est émis par sa surface extérieure dont la température est d'environ 6000 °K. A une telle température, 40% de l'énergie est émise dans le domaine visible, c'est-à-dire dans une gamme de longueur d'onde allant de 0,3 μm (violet-bleu) à 0,7 μm (rouge).

La décomposition du rayonnement solaire peut être réalisée en projetant un faisceau lumineux sur un prisme de verre ou sur un réseau de diffraction. Tout un éventail de couleurs apparaît, du bleu au rouge en passant par le vert et le jaune.

Chacune de ces couleurs est associée à un rayonnement d'une certaine longueur d'onde. William Herschell (Vers 1800) qui étudiait le rayonnement solaire, avait placé un thermomètre derrière un tel prisme. Il s'aperçut qu'il indiquait une élévation de température (et donc qu'il recevait de l'énergie) non seulement dans le domaine visible mais également dans la région au-delà du rouge. Ce fut la découverte du rayonnement infrarouge qui représente 50% du rayonnement émis par le soleil. Les 10% du rayonnement solaire total sont émis à des longueurs d'onde plus petites que celles du violet (l'ultraviolet) et les 40% restant sont dans le domaine visible (Figure I.2).

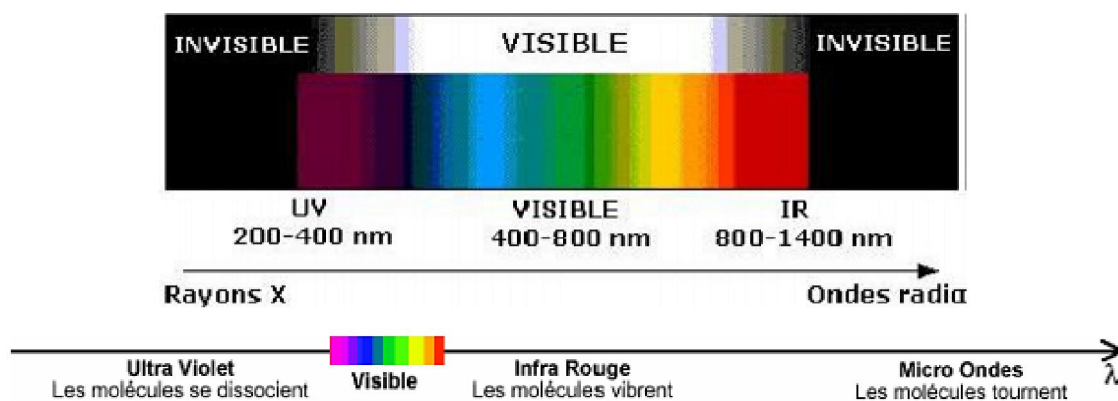


Figure I.3 : Le spectre des radiations électromagnétiques.

Si l'on trace l'évolution de l'énergie associée à chaque gamme de longueurs d'onde. On observe qu'elle est très faibles pour les longueurs d'ondes inférieures à 0.2 μm et pour des longueurs d'onde supérieures à 4 μm comme illustré sur la Figure I.3. On constate également, qu'elle passe par

un maximum autour de $0.5 \mu\text{m}$ correspond au jaune (qui est bien la couleur dominante de l'astre solaire).

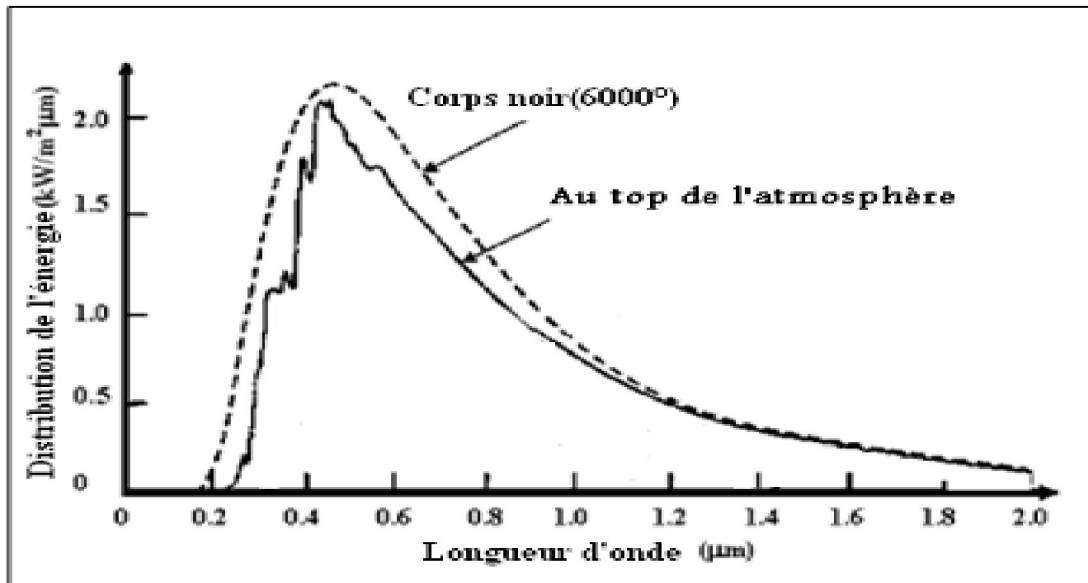


Figure I.4 : Le spectre des radiations solaires [4].

Il est intéressant de remarquer que sur le plan d'émission du rayonnement, le soleil se comporte de façon similaire à un corps noir à une température de presque 6000°K . La terre et son atmosphère jouent un rôle de transformateurs de l'énergie solaire, qu'elles reçoivent principalement sous forme de rayonnement de courtes longueurs d'ondes et qu'elles réémettent vers l'espace essentiellement sous forme de rayonnement infrarouge.

I.4. Constante solaire

La terre reçoit pratiquement toute son énergie du soleil, sous la forme d'un rayonnement électromagnétique. Son contenu total de chaleur ne change significativement pas avec le temps, indiquant en général un équilibre entre le rayonnement solaire absorbé et le flux de rayonnement diffus émis par la planète. À l'extérieur de l'atmosphère terrestre il n'y a pas de composante diffuse du rayonnement solaire mais seulement la composante directe. Pour une distance moyenne entre la terre et le soleil. L'irradiation émise par le soleil à la terre aboutit à une intensité presque fixe dite constante solaire qui est de $1360 \text{ W}/\text{m}^2$ [4].

La constante solaire présente l'énergie solaire reçue par unité de temps et par unité de surface d'une superficie perpendiculaire à la direction de propagation du rayonnement solaire. Les mesures

faites avec une variété d'instruments ont donné la valeur 1353 w/m^2 estimée avec une erreur de $\pm 1.5\%$. La commission des instruments et des méthodes d'observation (CIMO) de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) a adopté en octobre 1981 la valeur 1367 W/m^2 avec une incertitude de 1%. À présent la meilleure valeur disponible de la constante solaire est 1360 w/m^2 [4].

L'énergie reçue au niveau du sol est plus faible que 1360 w/m (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.5. Bilan énergétique dans l'atmosphère

A l'entrée dans l'atmosphère, le rayonnement solaire est divisé en plusieurs flux qui correspondent à plusieurs processus. La figure (I.5) illustre par des valeurs moyennes, le devenir de l'énergie solaire incidente dans l'atmosphère en pourcentage de l'énergie incidente hors atmosphère. Cette énergie solaire au sommet de l'atmosphère est approximativement constante sur un plan de surface unitaire (1 m^2) et perpendiculaire aux rayons du soleil, à la distance terre-soleil moyenne : elle vaut $S = 1368 \text{ W.m}^{-2}$ et correspond à la constante solaire. L'unité retenue pour les transferts d'énergie par unité de surface et de temps est le Joule par mètre carré et par seconde, ($\text{J.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) soit le Watt par mètre carré (W.m^{-2}) sachant qu'un Joule par seconde correspond à un Watt. Compte tenu des cycles journaliers et saisonniers auxquels est soumis un point à la surface de la terre, cette valeur de la constante solaire correspond à une énergie moyenne reçue à la surface de l'atmosphère égale à $E_s = 342 \text{ W.m}^{-2}$.

En réalité, le rayonnement total reçu sur une surface, appelé irradiation solaire incidente (ou encore éclairage énergétique global), est défini par la somme de trois composantes (Figure I.5) :

- L'irradiation directe, provenant directement du Soleil. Cette composante s'annule si le Soleil est caché par des nuages ou par un obstacle.

- L'irradiation diffuse, correspondant au rayonnement reçu de la voûte céleste, hors rayonnement direct. Cette énergie diffusée par l'atmosphère et dirigée vers la surface de la Terre, peut atteindre 50 % du rayonnement global reçu, lorsque le Soleil est bas sur l'horizon, et 100 % pour un ciel entièrement couvert.
- L'irradiation réfléchie, correspondant au rayonnement réfléchi par l'environnement extérieur,
- en particulier le sol, dont le coefficient de réflexion est appelé "albedo".

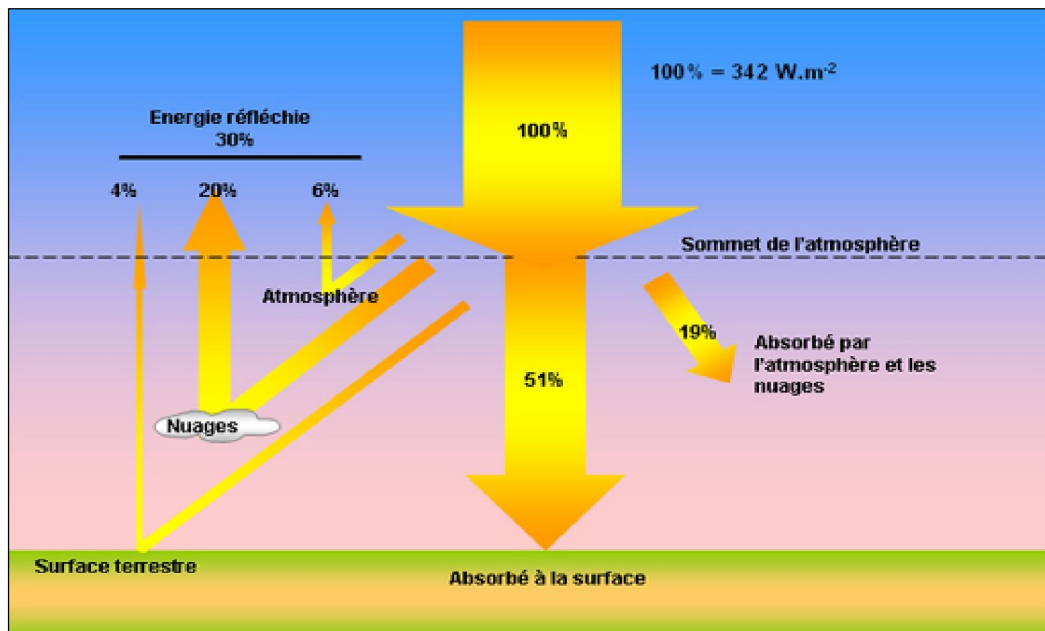


Figure I.5 : Bilan énergétique du rayonnement solaire dans l'atmosphère [5].

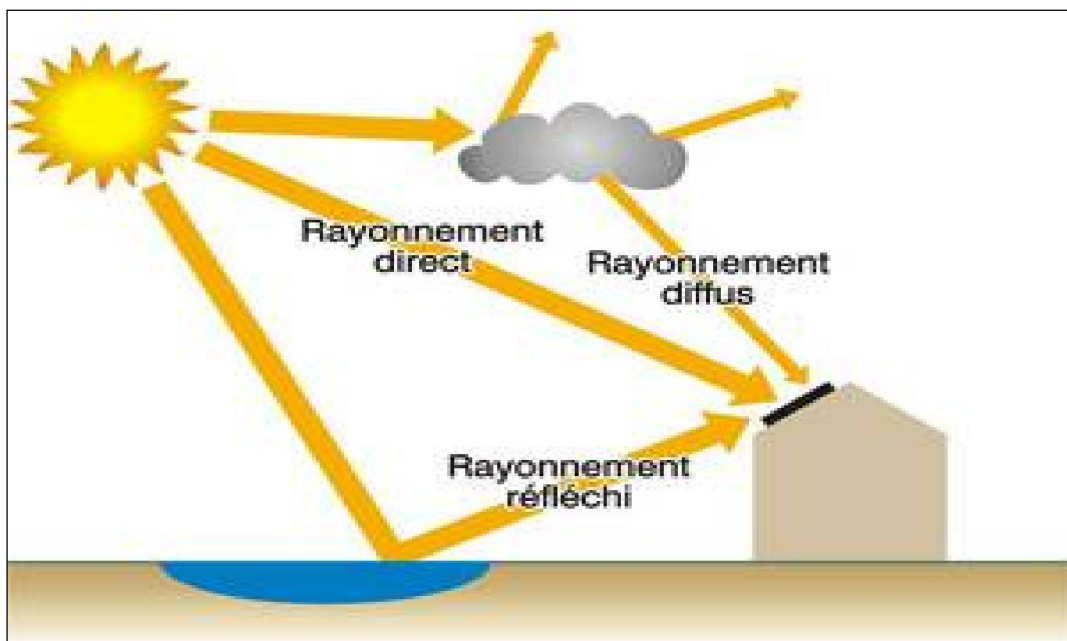


Figure I.6 : Les composantes du rayonnement global [6].

I.6. Les mouvements de la terre

Les mouvements de la terre peuvent être décomposés en deux mouvements ; le mouvement par rapport au centre de masse (rotation) et le mouvement de ce centre de masse par rapport à lui-même (translation).

I.6.1 Mouvement de rotation

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 (T_r) de 23h 56mn 04s \approx 24h

La vitesse linéaire de rotation à l'équateur est envirant 0,465km/s.

I.6.2 Mouvement de translation

La terre est en rotation sur elle-même puis elle tourne autour du soleil en une période $T_t = 365$ jours 5h 48mn 40s \approx 365,25 jours. Elle décrit une orbite elliptique dont le soleil occupe l'un des foyers. Cette orbite est située dans un plan appelé plan de l'écliptique où le soleil est presque au centre. Elle est légèrement aplatie, elle correspond à un cercle de rayon moyen de 150 millions de Kilomètres. La terre tourne autour du soleil avec une vitesse moyenne $V_t \approx 29,77$ km/s [vitesse maximale], en hiver 30,27 Km/s et minimale en été 29,77 Km/s. Ce mouvement s'effectue dans le sens trigonométrique direct et provoque le cycle des saisons [7]. L'axe des pôles n'est pas perpendiculaire à l'écliptique ; l'équateur et l'écliptique font entre eux un angle appelé déclinaison et qui vaut $23,45^\circ$ comme le montre la figure I.7. Elle varie au cours de l'année entre $-23,45^\circ$ et $+23,45^\circ$, elle est nulle aux équinoxes (21 Mars et 21 Septembre) et maximale au solstice d'été (21 Juin) et minimale au solstice d'hiver (21 Décembre). La valeur de la déclinaison peut être calculée par la formule suivante :

$$\delta = 23.45 \times \sin[0.980(j+284)] \text{ en degré } (^\circ) \quad (\text{I. 2})$$

Avec j est le numéro du jour de l'année.

ff La rotation de la terre nous donne la notion de la journée qui est le temps qui sépare deux passages successifs du soleil au méridien d'un lieu. L'évolution de la terre autour du soleil définit l'année.

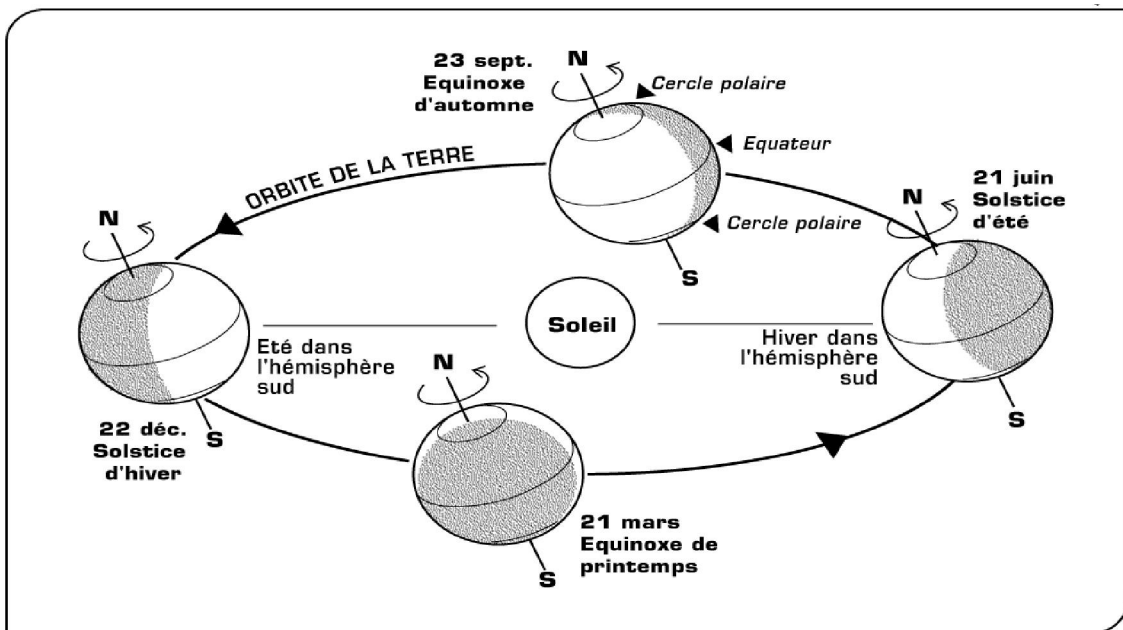


Figure I.7: Les mouvements de la terre [7].

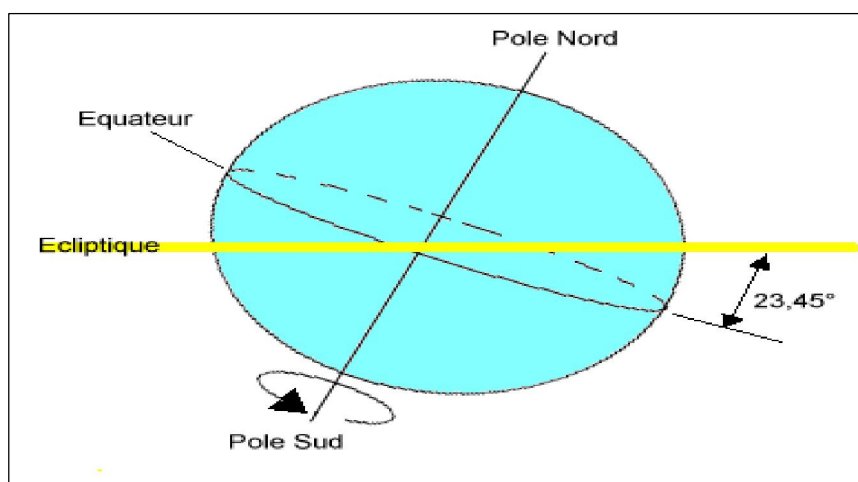


Figure I.8 : L'angle d'inclinaison de la terre [8].

I.7. Repérage d'un point sur la surface de la terre

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

I.7.1 La longitude

La longitude mesure de l'angle entre le méridien du lieu et le méridien origine des longitudes (Greenwich). Le méridien de Greenwich est un méridien où la longitude est définie

comme égale à 0. Les lieux qui sont situés à l'Est sont comptés avec le signe +. Il y a trois méridiens séparés de 15° donnant naissance aux 24 fuseaux horaires

I.7.2 La latitude

La latitude permet de repérer la distance angulaire d'un point quelconque par rapport à l'équateur. Elle varie de 0° à l'équateur à 90° au pôle Nord.

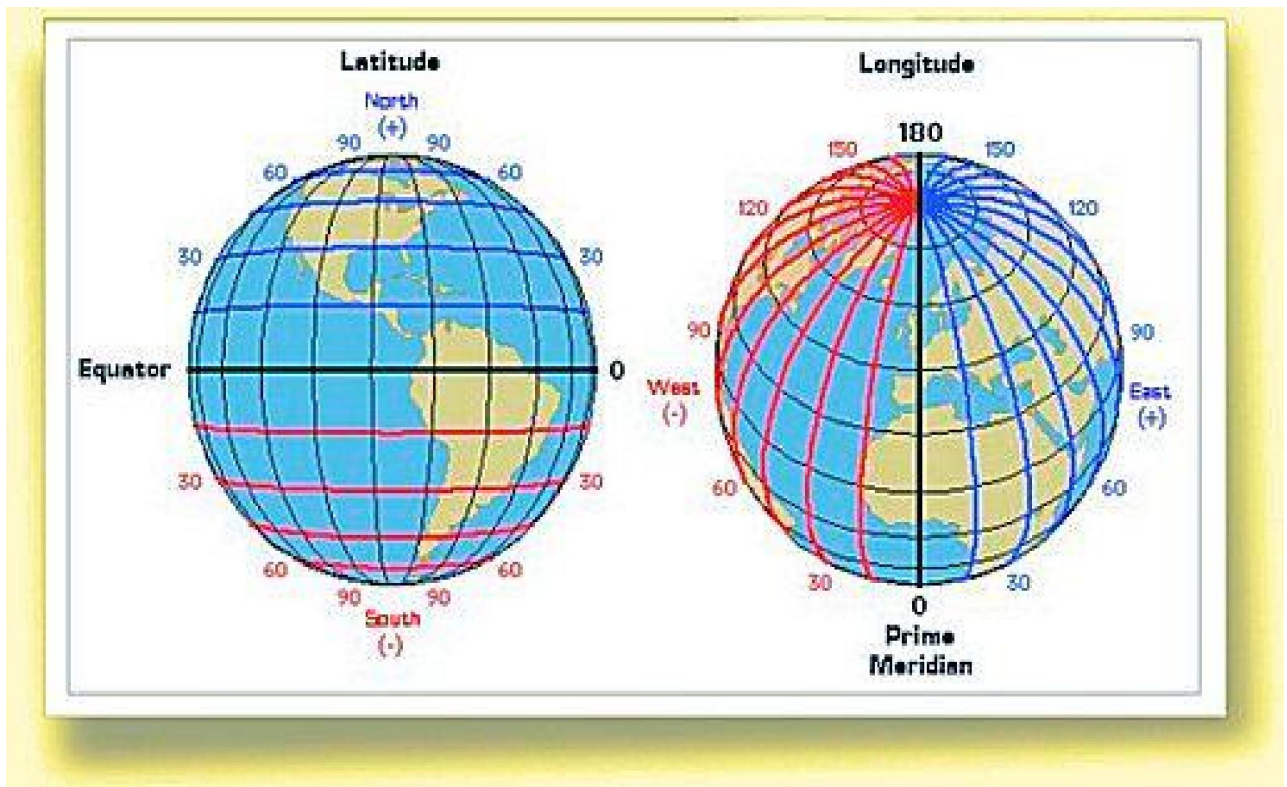


Figure I.9 : La longitude et la latitude d'un lieu [9].

I.8 Instrument de mesure d'éclairement

I.8.1 Le pyranomètre:

Un pyranomètre est un capteur de flux thermique utilisé pour la mesure du rayonnement globale. Un courant électrique, proportionnel à l'éclairement reçu, est fourni par une thermopile protégée par deux hémisphères en verre et par un disque métallique recouvert de peinture blanche. Le verre est transparent aux longueurs d'onde comprises dans la bande spectrale ($0.3 - 2.5\mu\text{m}$). L'appareil placé horizontalement grâce à un niveau à bulle, donne valeur de l'éclairement globale G.

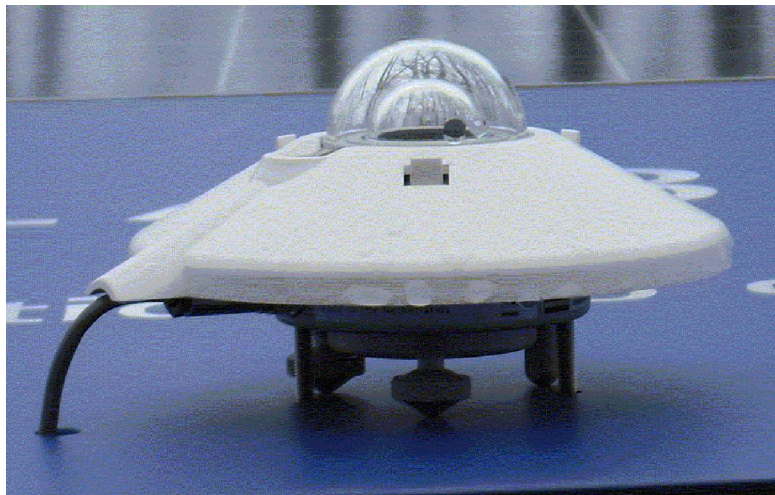


Figure I.10 : Pyranomètre d'Eppley[10].

Pour éliminer le rayonnement direct, certains pyranomètres sont munis d'un cache à orienter suivant la saison pour suivre la déclinaison. Ainsi équipé, le pyranomètre mesure le rayonnement diffus. Si on mesure simultanément les rayonnements global et diffus, on peut obtenir le rayonnement direct par différence.

I.8.2 Le pyréliomètre:

Instrument de mesure du rayonnement direct. L'appareil est orienté de façon que sa surface réceptrice soit normale aux rayons solaires. Il mesure le rayonnement solaire provenant de l'angle solide limité au disque solaire parvenant sur une surface unité perpendiculaire à l'axe de cet angle solide.

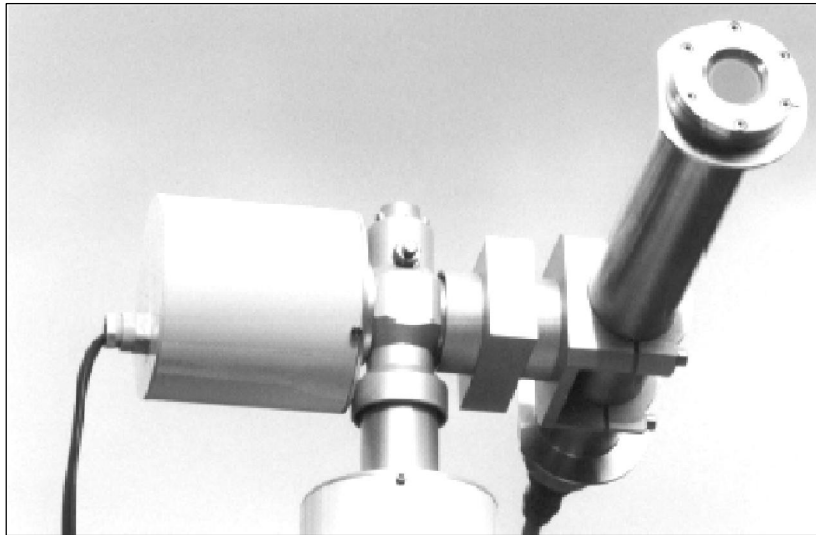


Figure I.11: Pyrhéliomètre [Web 05].

Partie B :

I.9. Modélisation des radiations solaires globales

La quantité des radiations solaires globales et leur distribution temporelle sont les premières paramètres dans l'application de l'énergie solaire (photovoltaïque, thermique, cheminées solaires...). Le développement d'un programme de recherche sur l'énergie solaire doit démarrer par une étude des radiations solaire sur le site ou la région d'étude. Pour étudier les caractérisations du rayonnement solaire, certaines fonctions de densité de probabilité ont été proposées dans la littérature pour d'écrire leur distribution de fréquence.

I.10. Les fonctions de distribution

Parmi les fonctions de distributions utilisées dans la description des radiations solaires globales, on peut citer : la distribution Weibull, la distribution Gamma, la distribution logistique, la distribution Normale, la distribution Lognormale et la distribution loglogistique. Ces distributions sont décrites dans ce qui suit.

I.10.1 La distribution Weibull

La distribution Weibull est une fonction à deux paramètres, elle est largement utilisée pour représenter la distribution de fréquence des radiations solaires. Cette distribution est largement

appliquée dans le domaine des énergies renouvelables. Elle est donnée par la relation suivante [5-6] :

$$f(G) = \frac{B}{A} \left(\frac{G}{c}\right)^{k-1} \exp \left[-\left(\frac{G}{c}\right)^k \right] \quad (\text{I. 3})$$

Avec;

G: radiation solaire globale (Wh/m²);

k et c présentent les paramètres de forme et d'échelle de la distribution de Weibull, ils sont calculés en utilisant la méthode de Likelihood. Le paramètre de forme est donné par la formule suivante [6]:

$$k = \left[\frac{\sum_{i=1}^n G_i^k \ln(G_i)}{\sum_{i=1}^n G_i^k} - \frac{\sum_{i=1}^n \ln(G_i)}{n} \right]^{-1} \quad (\text{I. 4})$$

Avec;

G_i présente les radiations solaires globales en temps i et n le nombre de valeurs utilisées.

Pour déterminer la valeur du facteur d'échelle k un processus itératif est utilisé, il est donné par la formule suivante :

$$C = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n G_i^k \right]^{1/k} \quad (\text{I. 5})$$

I.10.2 La distribution Gamma

La distribution Gamma est aussi une fonction à deux paramètres (α et β), elle est exprimée par la formule suivante [5-6] :

$$g(G) = \frac{G^{\alpha-1}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \exp \left[-\frac{G}{\beta} \right] \quad (\text{I. 6})$$

La détermination des paramètres de la fonction Gamma (α et β) s'effectue également par la méthode maximum Likelihood qui maximise le logarithme de la fonction Likelihood[6].

I.10.3 La distribution Logistique

La distribution Logistique est aussi une fonction à deux paramètres (μ et σ), elle est exprimée par la formule suivante [5-6] :

$$h(G) = \frac{\exp\left[-\frac{(G-\mu)}{\sigma}\right]}{\sigma \left[1 + \exp\left[-\frac{(G-\mu)}{\sigma}\right]\right]^2} \quad (\text{I. 7})$$

Avec ;

σ : le paramètre d'échelle de la distribution Logistique, il est donné par :

$$\sigma = \sqrt{3} \mu / \pi \quad (\text{I. 8})$$

μ : le paramètre local, il présente la déviation standard.

I.10.4 La distribution Normale

La distribution Normale est aussi une fonction à deux paramètres (μ et σ), elle est exprimée par la formule suivante [5-6] :

$$l(G) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(G - \mu)^2}{(\sigma)^2}\right] \quad (\text{I. 9})$$

Avec ;

μ présente la moyenne des radiations globales et σ la déviation standard.

I.10.5 La distribution Lognormale

La distribution Lognormale est une fonction à deux paramètres (μ et σ), elle se présente comme une fonction de distribution avec une variable aléatoire et son logarithme suit une distribution normale. Cette distribution est exprimée par la formule suivante [5-6] :

$$v(G) = l(G) = \frac{1}{G \times \sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left[- \left(\frac{\ln(G) - \mu}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (\text{I. 10})$$

Avec ;

μ présente la moyenne du logarithme des radiations globales et σ la déviation standard du logarithme des radiations solaire. Ils sont donnés par les relations suivantes :

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(G_i) \quad (\text{I. 11})$$

$$(\sigma)^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [\ln(G_i) - \mu]^2 \quad (\text{I. 12})$$

G_i présente les radiations solaires globales en temps i et n le nombre de valeurs utilisées.

I.10.6 La distribution Loglogistique

La distribution Loglogistique est appelée aussi la fonction Fisk, cette distribution est exprimée par la formule suivante [11-12] :

$$d(G) = \frac{1}{\sigma G} \frac{\exp(z)}{(1 + \exp(z))^2} \quad (\text{I. 13})$$

$$z = \frac{\log(G) - \mu}{\sigma} \quad (\text{I. 14})$$

Avec ;

μ et σ sont la moyenne des radiations globales et la déviation standard respectivement.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons fait un rappel de quelques notions de base sur le rayonnement solaire, on peut retenir les points suivants :

- L'énergie émise par le soleil nous parvient sous forme de rayonnements électromagnétiques se propageant à la vitesse de la lumière et dont l'ensemble forme le rayonnement solaire, qui constitue la seule source externe notable d'énergie pour l'atmosphère.
- Le rayonnement solaire dépend des mouvements de la terre (la rotation et la translation), donc pour l'estimation du rayonnement solaire il est nécessaire de bien préciser les paramètres géométriques du lieu qui sont la latitude, la longitude.
- le rayonnement solaire global reçu sur une surface est défini par la somme de trois composantes le rayonnement direct, le rayonnement diffus et le rayonnement réfléchi.
- Le développement d'un programme de recherche sur l'énergie solaire doit démarrer par une étude des radiations solaire sur le site ou la région d'étude. Pour étudier les caractérisations du rayonnement solaire, certaines fonctions de distribution ont été proposées dans la littérature pour d'écrire leur distribution de fréquence. Parmi ces fonctions on note ; la fonction Gamma, la fonction Normale, La fonction Lognormale, la fonction Weibull, la fonction Logistique et la fonction Loglogistique.



CHAPITRE : II

SITE ET DONNÉES

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 c.-à-d. la possibilité de réduire le nombre d'année d'étude de 20 ans à 15 ans.

II-1 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-Argeridj 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) de la wilaya.

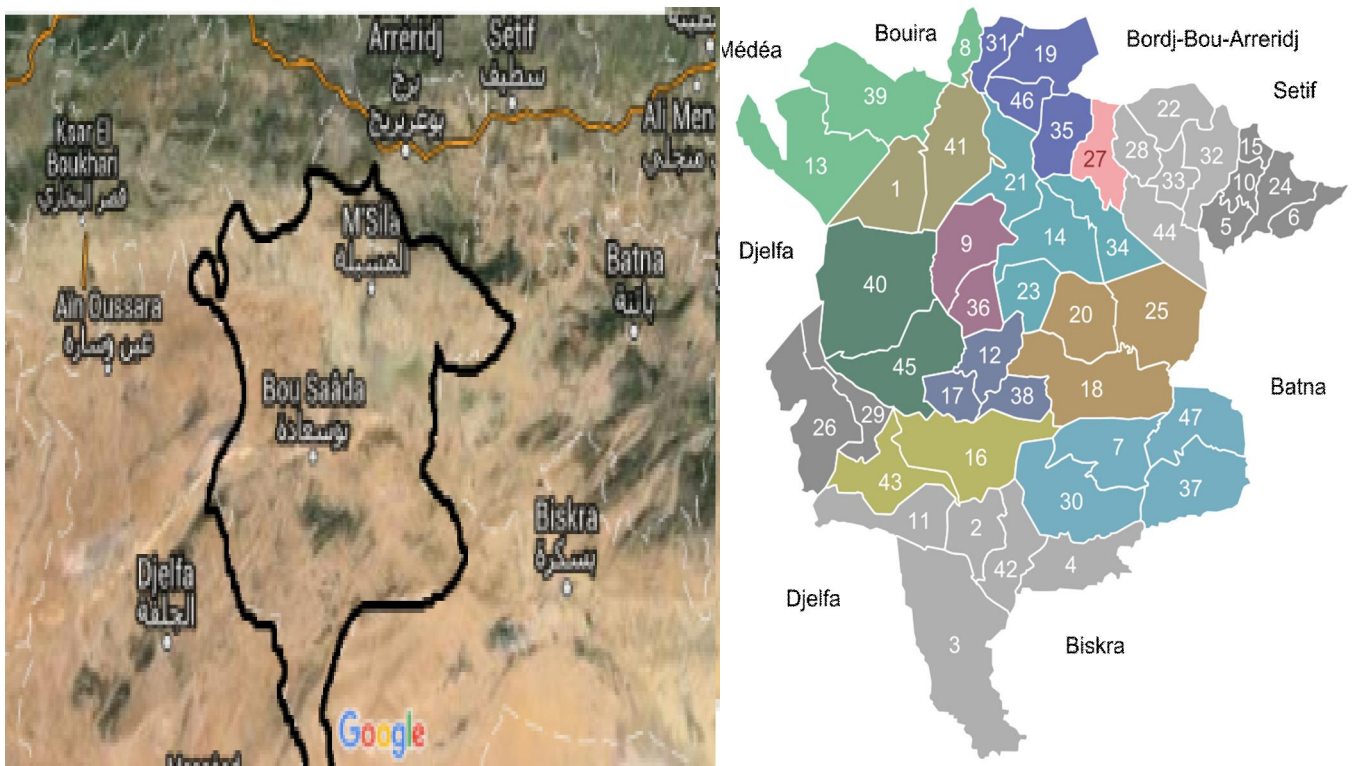


Figure (II.1) : La situation géographique de la wilaya de M'sila [Web1],[Web 2].

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 [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.

II-2 La source des données

Les données des radiations solaires globales de la région de M'sila utilisées au cours de cette étude couvrent une période de vingt ans à partir de Janvier 1984 jusqu'à Décembre de l'année 2003. Elles ont été collectées à partir du site NASA, USA(National AeronoticsandSpace Administration)[web3]. Ces données sont des données journalières et à partir d'elles les radiations solaires globales mensuelles, les radiations solaires globales annuelles sont déterminées.

II-3 Evolution annuelle des radiations solaires globales

Les radiations solaires globales sont des variables très importantes dans le domaine de l'énergie solaire, elles présentent un ordre de grandeur de l'importance de l'énergie solaire durant les mois sur le site étudié. La Figure II.2 illustre l'évolution des radiations solaires globales de 1984 jusqu'à 2003.

On constate que les radiations solaires varient d'une année à une autre, elles présentent la plus grande valeur durant l'année 2000 de $5189,11 \text{ Wh/m}^2$ et la plus petite valeur durant l'année durant l'année 1990 avec une valeur de $4520,90 \text{ Wh/m}^2$.

II-4 Evolution mensuelle des radiations solaires globales pour toutes les années

Les radiations solaires annuelles sont des variables très importantes dans le domaine de l'énergie solaire, elles présentent un ordre de grandeur de l'importance de ces radiations sur le site

étudié. La Figure II.3 illustre l'évolution des radiations solaires globales pour chaque année d'étude de 1984 jusqu'à 2003.

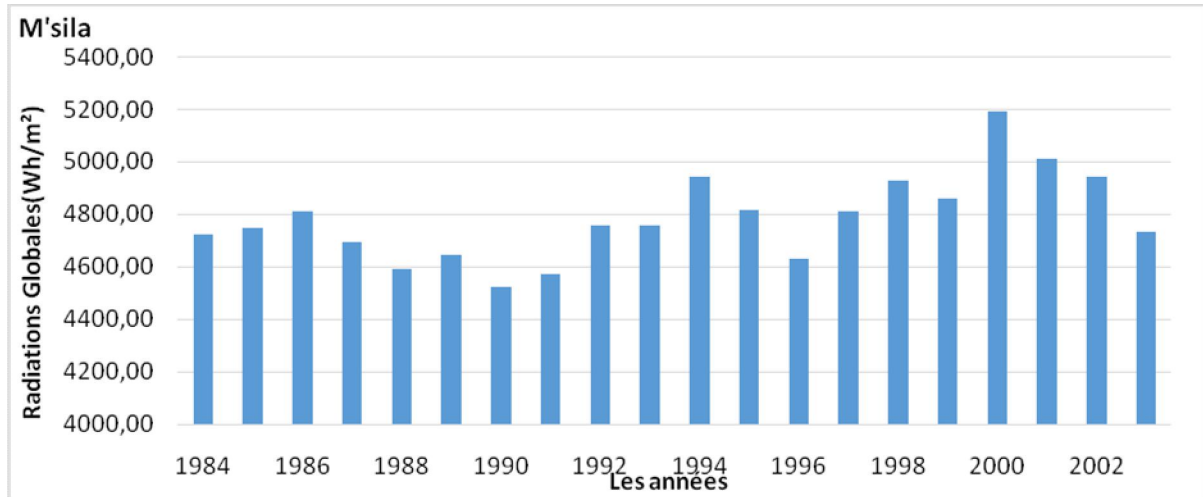


Figure (II.2) : Evolution annuelle des radiations solaires globales (M'sila, 84-03).

On remarque que l'évolution mensuelle des radiations solaires globales suit la forme d'une clochette. On note également que chaque année diffère de l'autre pour les vingt ans (1984-2003) d'étude. Vu le nombre élevé des valeurs enregistré chaque jour huit valeur et chaque année nous avons 365 ou 360 jours pour les vingt ans. De ce faite, il est très intéressant réduire de nombre d'années d'étude et cela l'étude de l'influence du nombre d'année sur les radiations solaires annuelles.

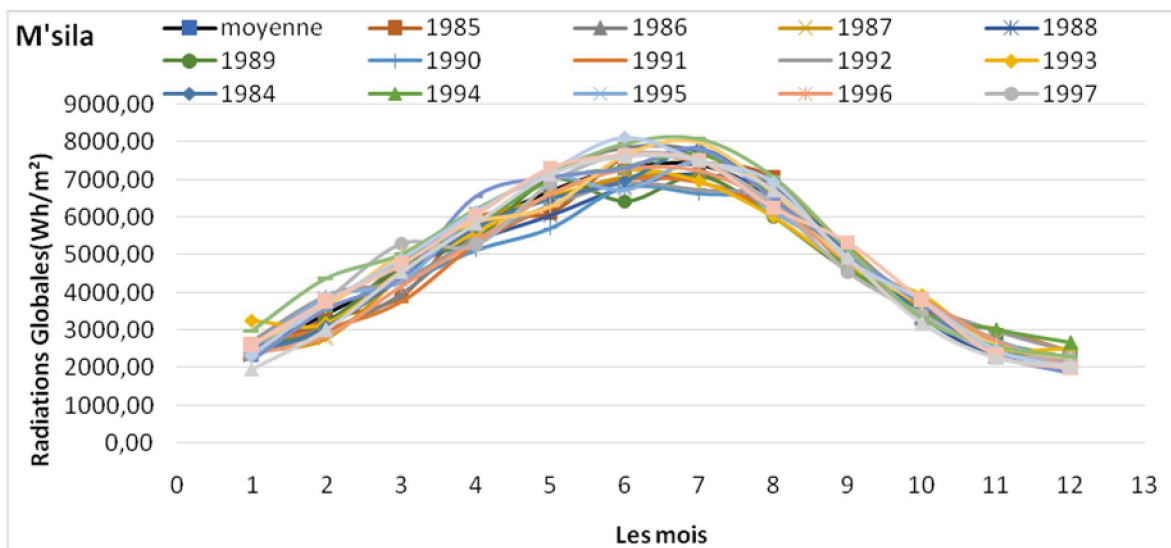


Figure II.3. Évolution mensuelle des radiations solaires globales pour chaque année (1984-2003) de M'sila.

II-5 Influence de nombre d'année sur les radiations solaires moyennes annuelles

L'étude de l'influence des années (la taille de l'échantillon) est un très bon test de représentativité de cet échantillon du point de vue des normales climatologiques. En effet, plus le nombre totale de mesure augmente plus l'influence de la contribution de la (n+1) année devient faible sur la valeur moyenne des n premières mesures. La formule suivante explique ce que nous venant de dire :

$$\bar{G}_{n+1} = \frac{1}{n+1} \sum_{i=1}^n G_i \quad (\text{II1})$$

$$\bar{G}_{n+1} = \frac{n}{n+1} \bar{G}_n \quad (\text{II2})$$

$$\bar{G}_{n+1} = \frac{1}{n+1} \sum \quad (\text{II3})$$

: les radiations solaires globales moyennes annuelles de n+ 1 années ;

G_i : les radiations annuelle de l'année i.

N : nombre d'année. ;

On constate que pour n grand, la valeur de $n/(n+1)$ tend vers 1 et $G_{n+1}/(n+1)$ tend vers 0. La part de la (n+1) mesure sur les radiations solaires globales moyenne devient négligeable au fur et à mesure que n augmente et par conséquence les radiations solaires globales moyennes de n années est la même que les radiations solaires globales moyenne sue n+1 années.

Dans le but de chercher la période minimale de mesure nécessaire à l'estimation des moyennes mensuelles des radiations solaires globales sur le site de M'sila, nous avons réalisé une étude systématique sur les variations mensuelles des radiations solaires globales suivant le nombre d'année d'étude. Nous avons fait un test sur la contribution de chacune des années par permutation en calculant les moyennes par ordre décroissant : 1984, 1984-1985,.... Et ainsi de suite jusqu'à 1984-2003 (la moyenne des vingt années d'étude) comme le montre la Figure II.4.

On constate qu'au fur et à mesure que le nombre d'année de mesure augmente, les courbes tendent à se rapprocher l'une de l'autre pour atteindre la moyenne annuelle des vingt années d'étude (à partir de 9 ans). De même, la courbe de la moyenne des radiations solaires globales des 15 années (84-98) est très proche de la courbe de la moyenne des radiations solaires globales des 20 années (84-03) comme illustré sur la Figure II.4. Donc l'ajout des années 1999, 2000, 2001, 2002 et 2003 ne modifie pas la moyenne des radiations solaires globales comme le montre la Figure II.5.

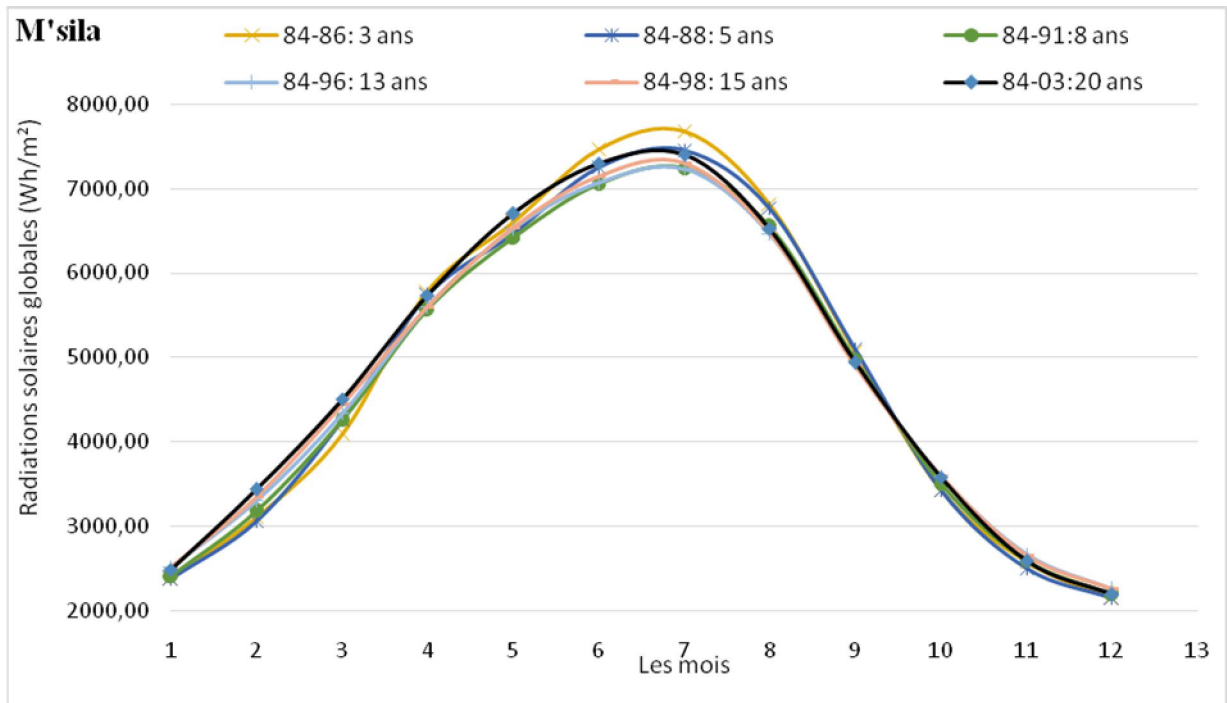


Figure II.4 : Évolution mensuelles des radiations solaires globales suivant le nombre d'année (en ordre croissant).

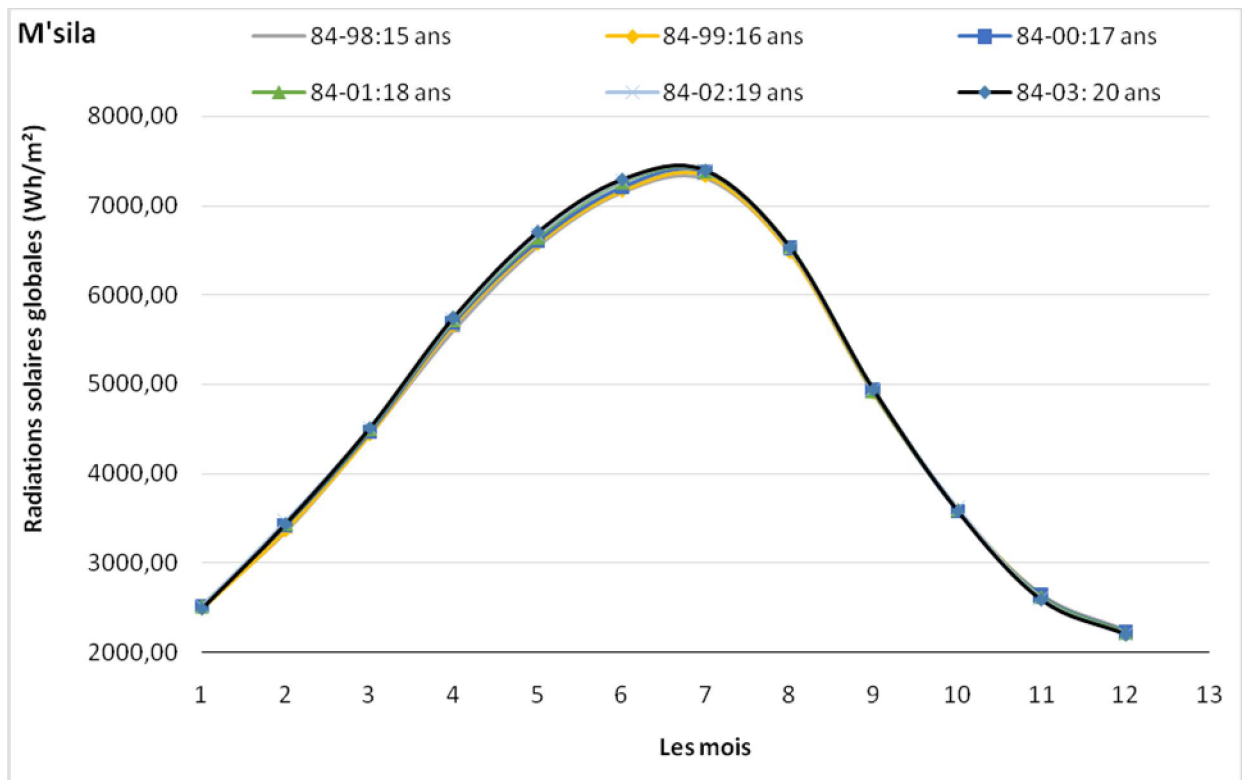


Figure II.5 : Évolution mensuelles des radiations solaires globales suivant le nombre d'année (15, 16, 17, 18, 19 et 20 ans) en ordre croissant.

Pour vérifier que les quinze (15) ans sont suffisantes pour estimer les moyennes mensuelles et annuelles des radiations solaires globales dans la région de M'sila. Nous avons fait le même test cité précédemment mais cette fois dans l'ordre décroissant : 2003, 2003-2002,et ainsi de suite jusqu'à 2003-1984 (la moyenne des vingt années d'étude).

L'évolution des radiations solaires globales suivant l'ordre décroissant est illustré sur la figure II.6. De la même façon au fur et à mesure que le nombre d'année de mesure augmente, les courbes tendent à se rapprocher l'une de l'autre pour atteindre la moyenne annuelle des vingt années d'étude (à partir de. 9 ans). De même, la courbe de la moyenne des radiations solaires globales des 15 années (03-89) est très proche de la courbe de la moyenne des radiations solaires globales des 20 années (03-84) comme illustré sur la Figure II.6.

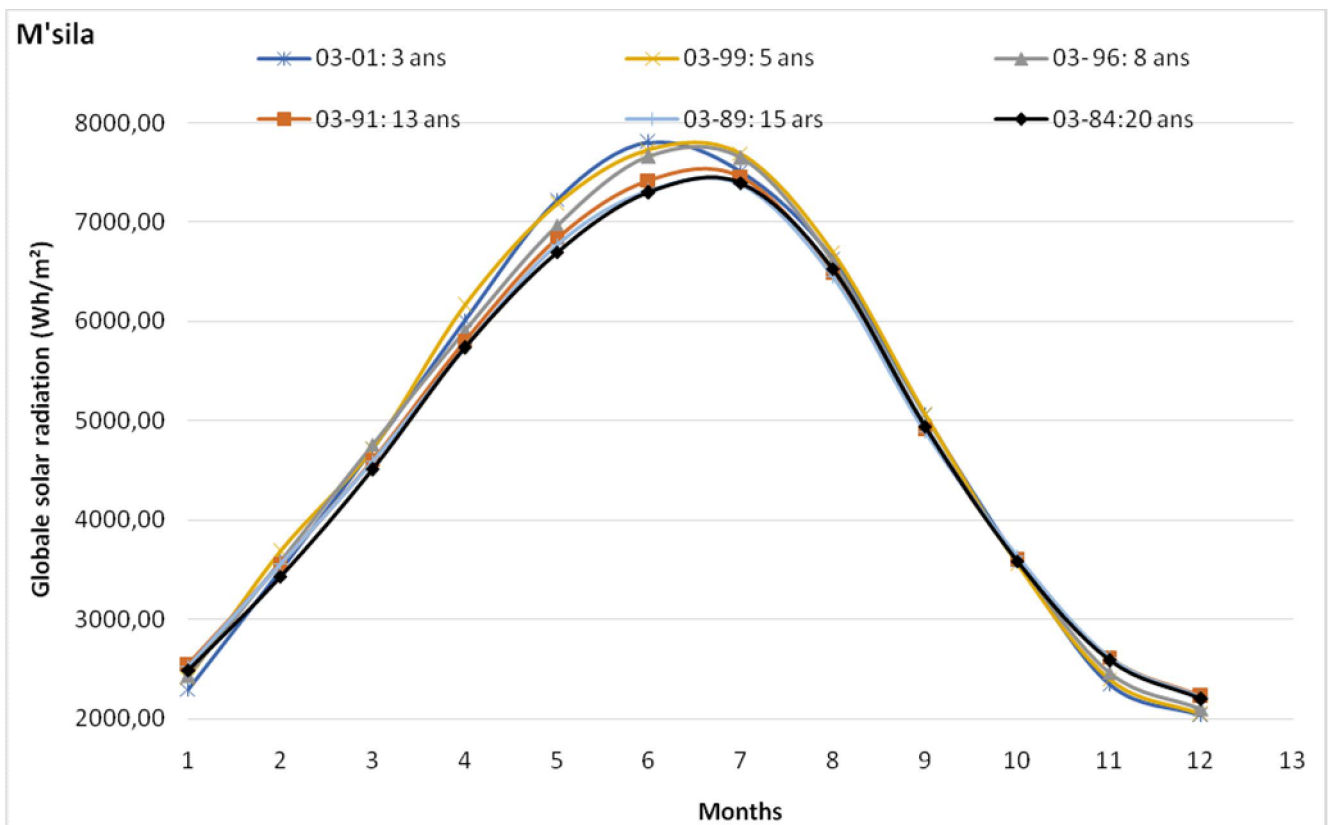


Figure II.6 : Évolution mensuelles des radiations solaires globales suivant le nombre d'année (en ordre décroissant).

Pour vérifier que l'ajout des années 1988, 1987, 1986, 1985 et 1984 ne modifie pas la moyenne des radiations solaires globales, on a tracé l'évolution des radiations solaires moyennes pour 15ans, 16ans, 17 ans,18 ans 19ans et 20ans comme le montre la figureII.7. Comme on le constate que les courbes sont très proches de la moyenne des 20 ans.

Donc le choix du nombre d'année optimale est de quinze ans, soit dans l'ordre croissant de 1984 jusqu'à 1998 ou bien dans l'ordre décroissant de 2003 jusqu'à 1989. Dans les deux cas, il n'existe pas de différences entre la moyenne des radiations solaires globales des quinze premières années (1984-1998) et la moyenne des radiations globales des vingt années (1984-2003) d'étude ou bien entre la moyenne des radiations solaires globales des quinze dernières années (1989-2003) et la moyenne des radiations globales des vingt années (1984-2003) d'étude.

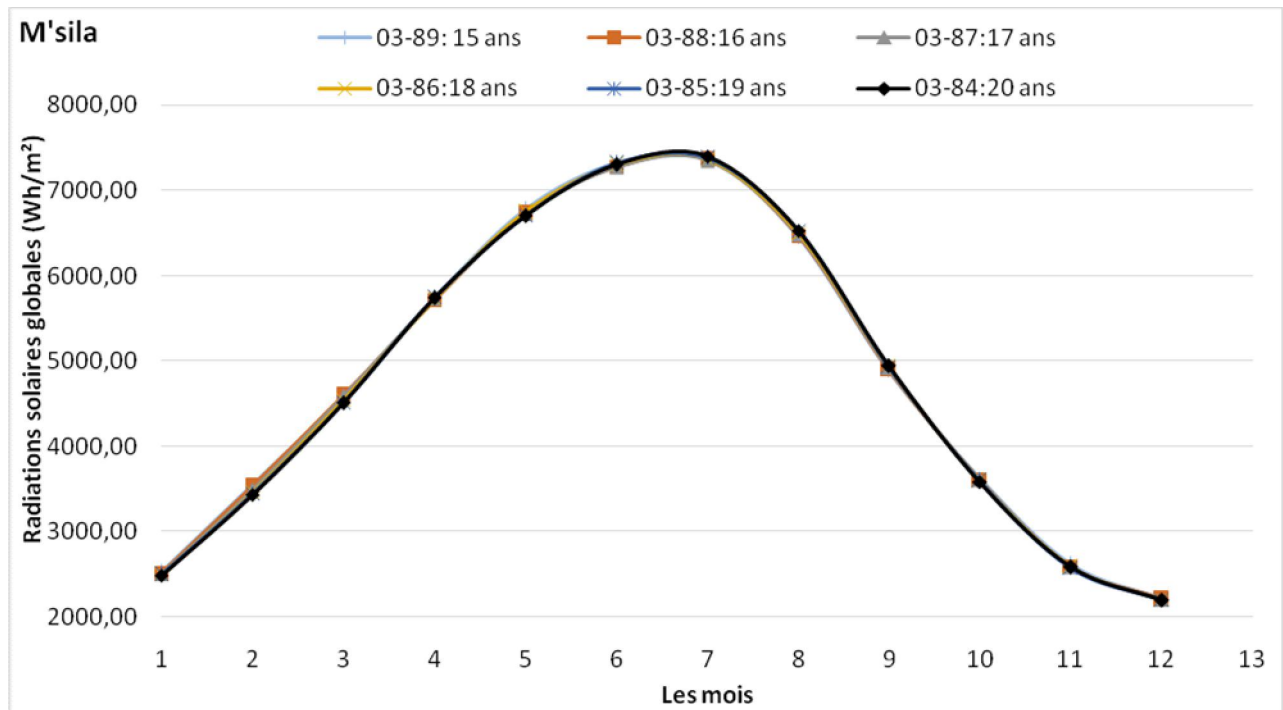


Figure II.7:Évolution mensuelles des radiations solaires globales suivant le nombre d'année (15, 16, 17, 18, 19 et 20ans) en ordre décroissant.

II-6 Validation des résultats

Afin d'attester qu'il suffit de quinze ans pour caractériser les radiations solaires globales du site de M'sila et de diminuer le stockage des données, nous avons présenté les résultats en comparant la série d'origine (1984-2003) et celle de quinze ans de 1984 jusqu'à 1998 dans l'ordre croissant et de 2003 jusqu'à 1989 dans l'ordre décroissant.

Nous avons tracé les courbes d'évolution des moyennes mensuelles des radiations solaires des quinze ans dans l'ordre croissant et la moyenne mensuelles des radiations solaires des vingt ans comme illustré sur la Figure II.8. Egalement on a tracés courbes d'évolution des moyennes mensuelles des radiations solaires des quinze ans dans l'ordre décroissant et la moyenne mensuelles des radiations solaires des vingt ans comme illustré sur la Figure II.9.

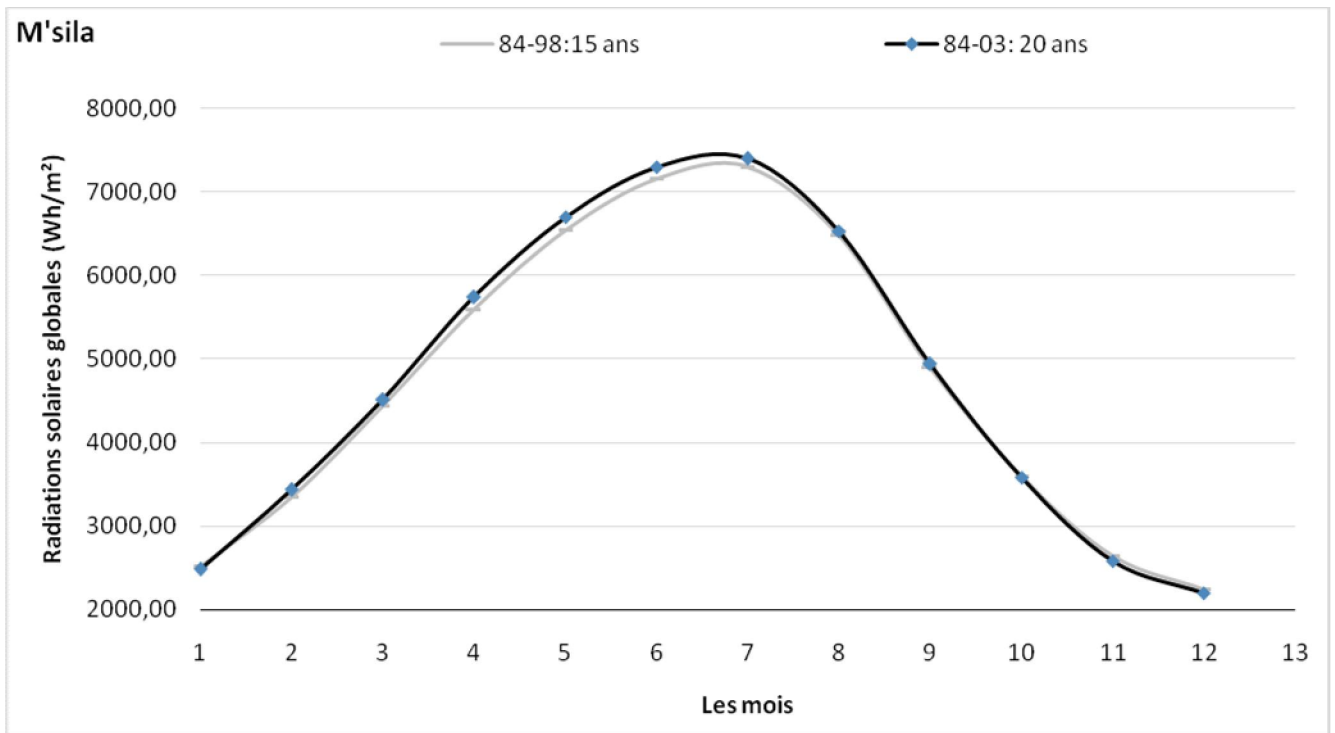


Figure II.8: Comparaison entre des radiations solaires globales des(15 ans dans l'ordre croissant et 20 ans).

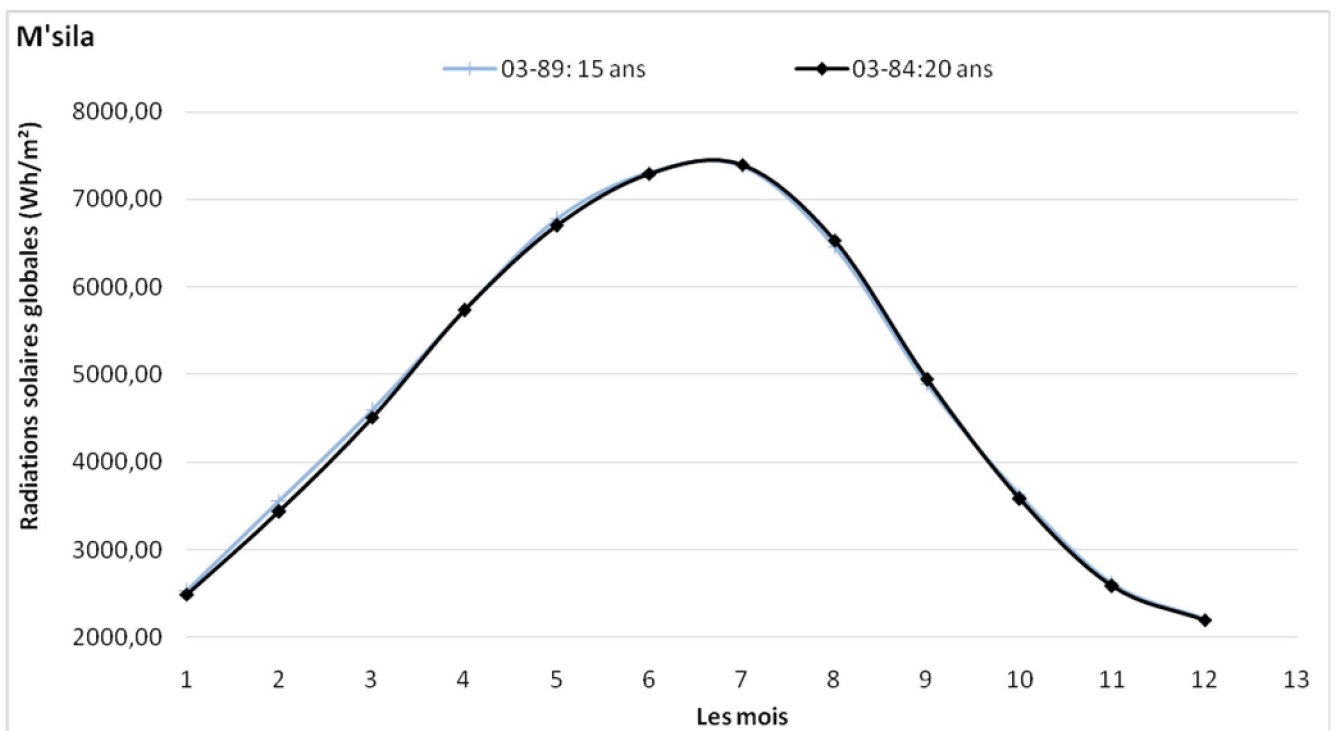
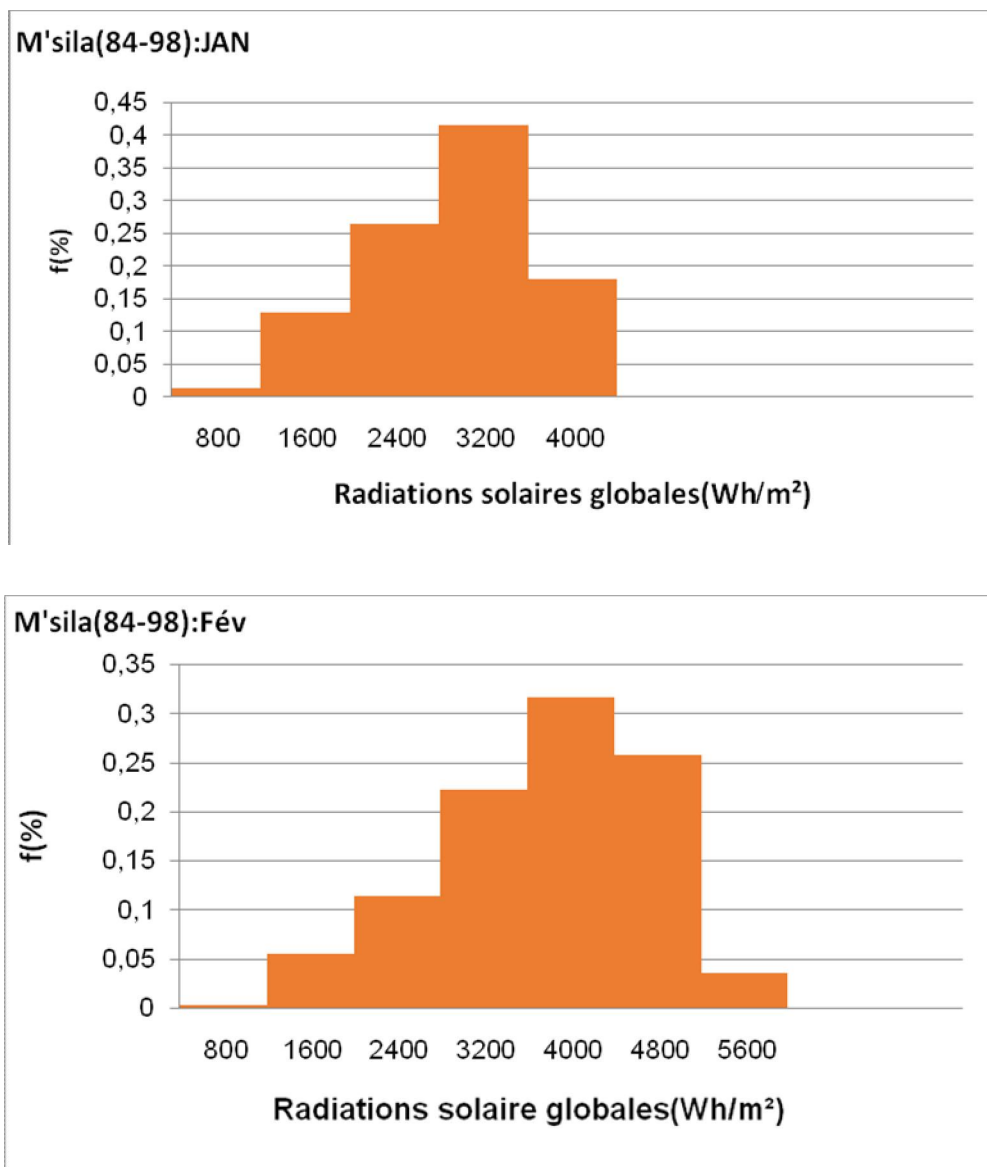


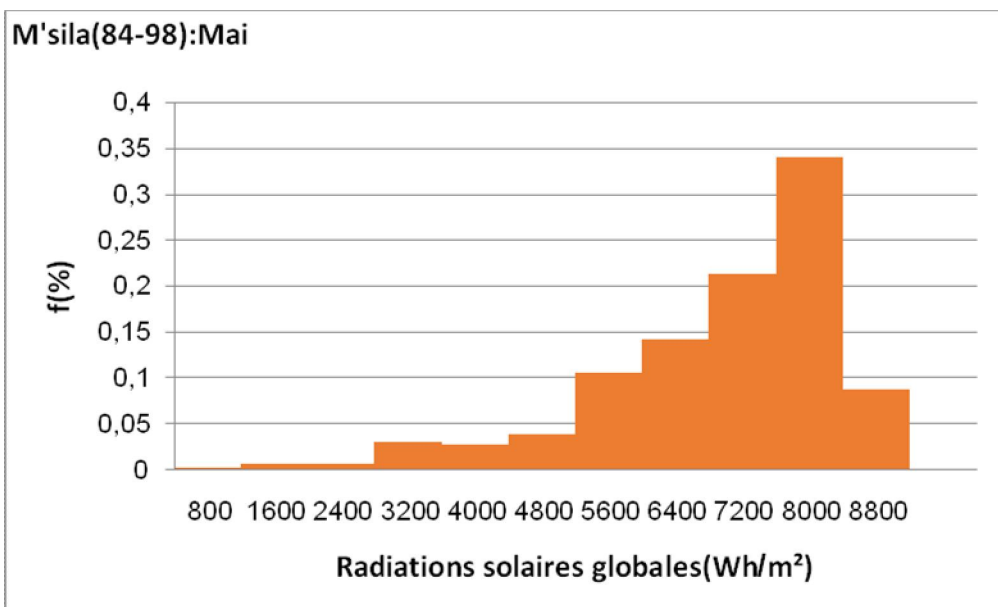
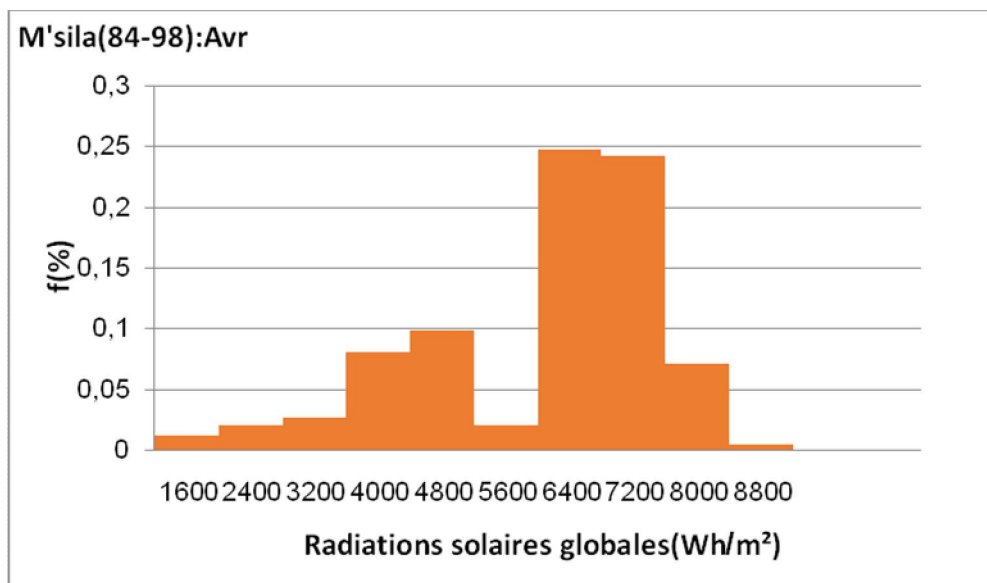
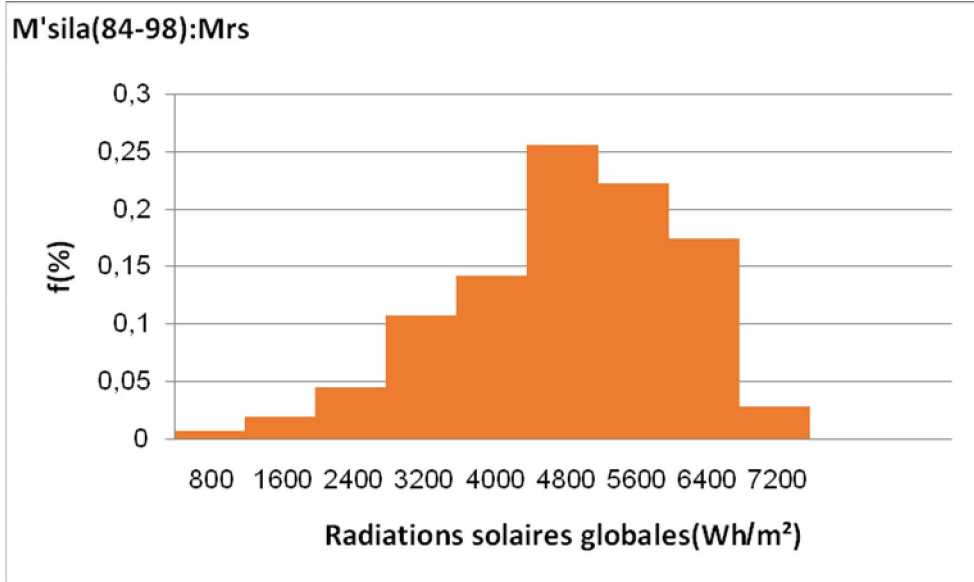
Figure II.9: Comparaison entre des radiations solaires globales des(15 ans dans l'ordre décroissant et 20 ans).

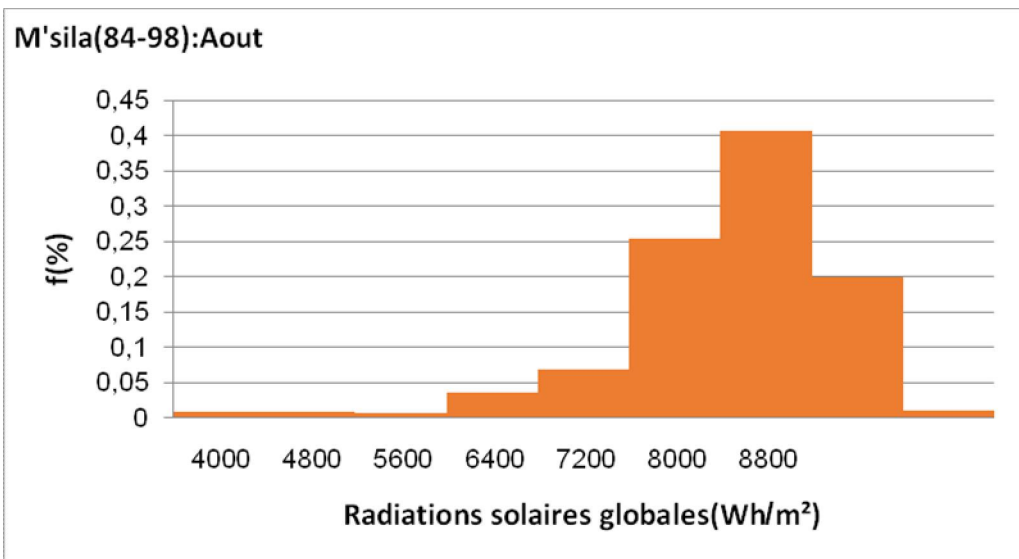
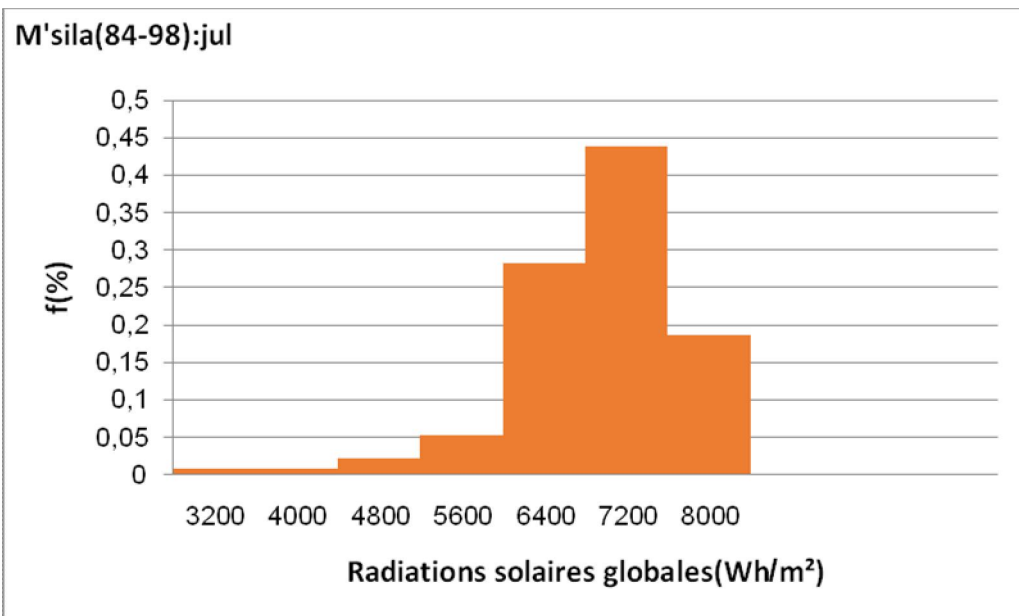
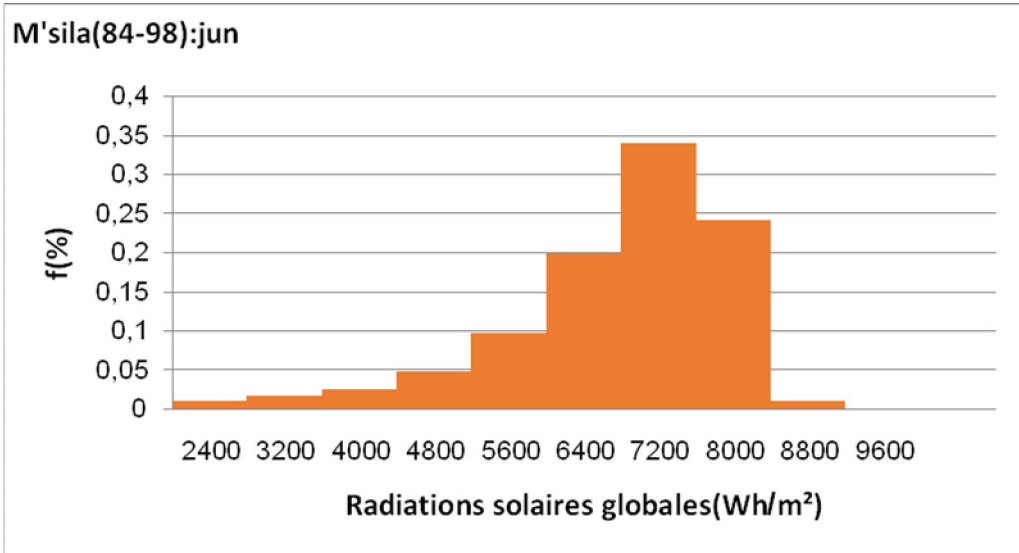
On constate pour les deux cas qu'elles sont presque identiques, ce qui a été confirmé statistiquement par l'utilisation du coefficient de détermination ; $R^2= 0.9995$ pour le cas d'ordre croissant et $R^2= 0.9992$ pour cas d'ordre décroissant. Donc on peut conclure qu'on peut limiter notre étude à quinze ans (1984-1998) pour l'étude des radiations solaires globales dans la région de M'sila.

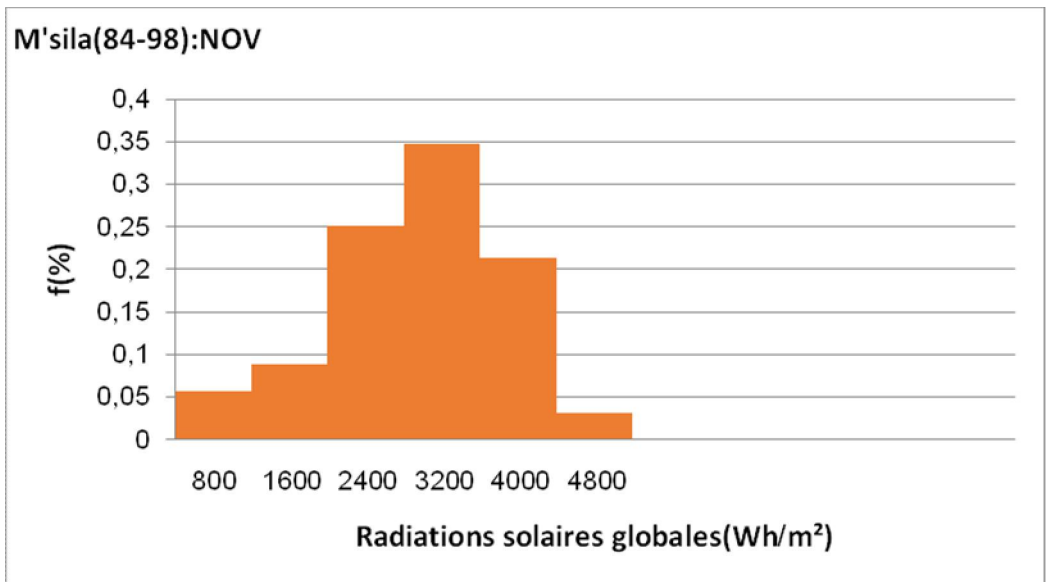
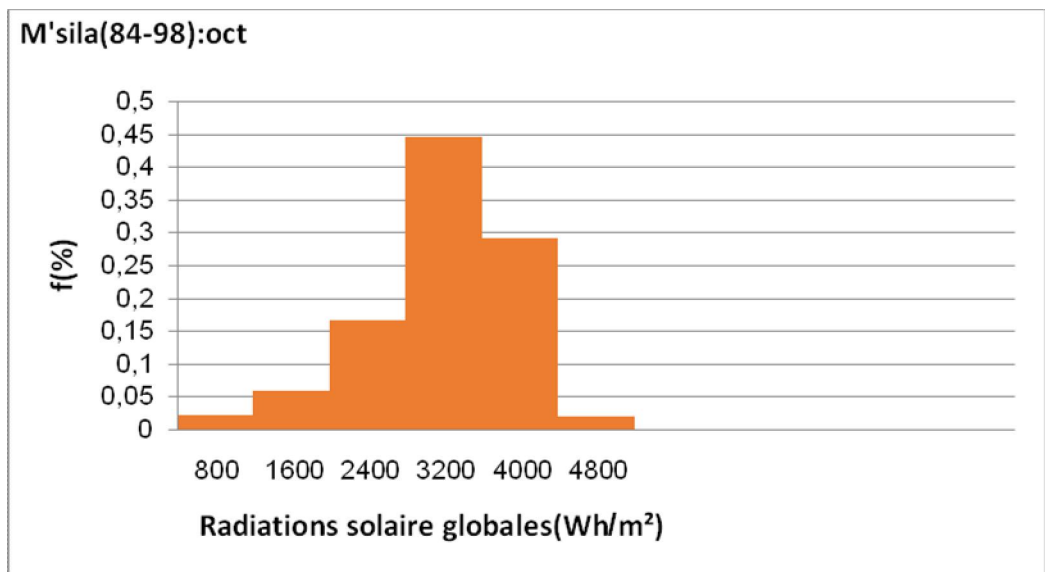
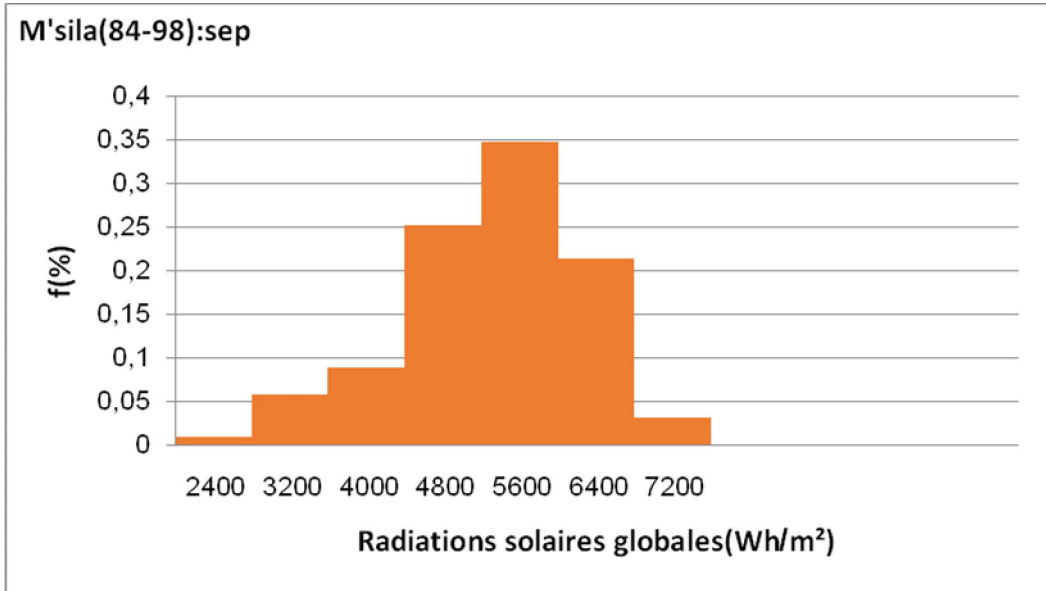
II-7 Evolution des fréquences de distributions des radiations solaires globales mensuelles

Après avoir déterminé le nombre d'années minimales pour notre étude, on a présenté sur la Figure II.10 la distribution des fréquences mensuelles des radiations solaires globales pour l'année moyenne des quinze ans dans la région de M'sila.









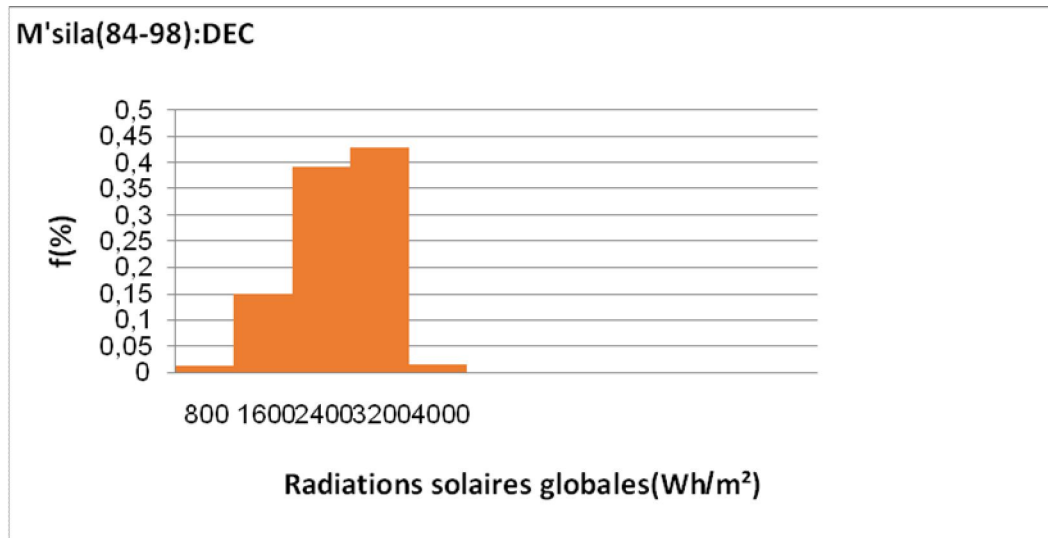


Figure II.10. Evolution des fréquences de distributions mensuelles des radiations solaires globales.

On constate que la distribution des fréquences des radiations solaires globales varie d'un mois à un autre. Elle prend des valeurs plus élevées durant les mois de mai, juin, juillet et Aout, à titre d'exemple au mois d'Aout les radiations solaires de 8800 Wh/m² présentent la fréquence la plus élevée du mois. D'autre part, on note des valeurs plus faibles durant le mois d'hiver à titre d'exemple ; les mois de Janvier et Décembre présentent la valeur maximale des fréquences de 3200Wh/m².

On note que la plage des radiations solaires globales varie d'un mois à un autre, elle présente des valeurs plus élevées durant l'été(à titre d'exemple au Aout la valeur des radiations solaires varient entre 4000 et 9200 Wh/m²) et des valeurs faibles en hiver(à titre d'exemple au Janvier la valeur des radiations solaires varient entre 800 et 4000 Wh/m²).

Conclusion

L'étude faite durant ce chapitre nous permet de retenir les points suivants :

- Le site de notre études est la zone de M'sila ayant les coordonnées :Altitude : 441 m, latitude : 35°42'07'' Nord, et une longitude de 04°32'49''Est.
- Les données des radiations solaires globales journalière de la région de M'sila pour les 20 ans (1984-2003) ont été collectés le site de la NASA, USA(National Aeronotics and Space Administration).
- L'étude de l'influence du nombre des années sur les radiations solaires moyennes nous permis de limiter notre étude à 15 ans au lieu de 20ans.
- La distribution des fréquences des radiations solaires globales durant les 15 ans d'étude dans la région de M'sila varie d'un mois à un autre.



CHAPITRE : III

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Introduction

Au cours de ce chapitre, nous avons utilisé les radiations solaires globales du site de M'sila durant quinze années allant de 1984 jusqu'à 1998. On a tenté de regrouper les données des radiations solaires globales sous forme d'un modèle mathématique ou plus exactement d'une fonction de distribution. Les fonctions de distribution étudiées dans ce mémoire sont au nombre de six à savoir ; la distribution de Weibull, la distribution normale, la distribution gamma, la distribution lognormal, la distribution logistique et la distribution loglogistique. Chaque distribution est caractérisée par deux paramètres comme noté au chapitre I (partie B).

Dans le but de déterminer la meilleure fonction de distribution qui décrit les radiations solaires globales mensuelle dans cette zone, une analyse statistique était effectuée.

III.1 Estimation des paramètres des différentes fonctions de distribution

Les distributions de fréquence que nous allons appliquer aux radiations solaires globales retenues pour 15 ans d'étude de 1984 jusqu'à 1998 dans la zone de M'sila sont la distribution de Weibull, la distribution normale, la distribution gamma, la distribution lognormal, la distribution logistique et la distribution loglogistique. Les paramètres de forme et d'échelle à l'échelle annuelle sont estimés à partir des résultats observés des radiations solaires globales en utilisant le logiciel de calcul MATLAB, ils sont regroupés dans le Tableau III.1.

On remarque que les valeurs des paramètres d'échelle (μ , α) et de forme (σ , β) des différentes distributions sont variables d'un mois à un autre comme noté dans le Tableau III.1.

La valeur μ varie entre 2468.53 enregistré au mois de décembre et 7627.68 notée au mois de juin pour la fonction de Weibull. De même, la valeur de σ varie entre 3.9311(janvier) et 11.711(juillet).

Pour le cas de la fonction de distribution normale, μ varie entre 2249.26 enregistré au mois de décembre et 7299.03 notée au mois de juillet. Les valeurs de σ varient entre 591.039(décembre) et 1465.31(mai).

Pour le cas de la fonction de distribution Gamma, la valeur de α 8.93696 (mars) et 69.387(juillet) et pour la valeur de β , elle se situe entre 104.387(juillet) et 496.625 (mars).

Dans le cas de la distribution lognormal, μ varie entre 7.6759(Décembre) et 8.8883(juillet) et σ varie entre 0.1249 (juillet) et 0.3759(Mars).

Tableau III.1 : Les paramètres des distributions (Weibull, normale, gamma, lognormal, logistique et loglogistique) de la région de M'sila (1984-1998).

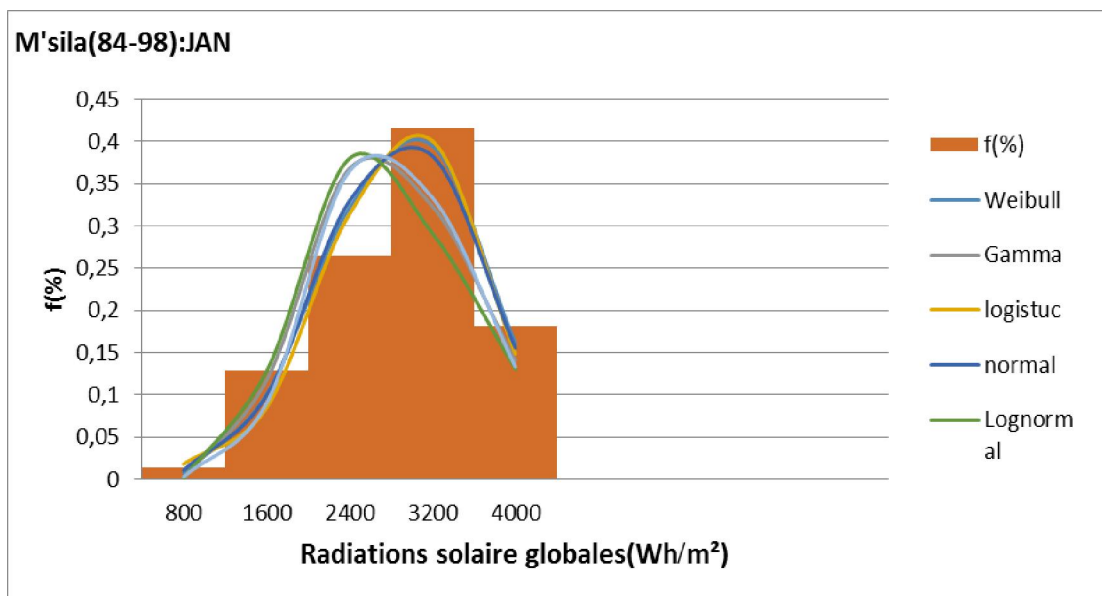
Les mois	Weibull	Gamma	Normal	Logistic	Lognormal	Loglogistic
Janvie	a=2781.25 b=3.93119	a=9.42926 b=266.62	mu=2514.03 sigm=743.988	mu=2547.15 sigm=436.45	mu=7.77568 sigm=0.3514	mu=7.81618 sigm=0.19185
Févie	a=3689.43 b=4.24997	a=10.0907 b=331.94	mu=3349.51 sigm=941.274	mu=3419.22 sigm=542.56	mu=8.2662 sigm=0.3419	mu=8.11371 sigm=0.18168
Mars	a=4893.17 b=4.07476	a=8.93696 b=496.625	mu=4438.32 sigm=1284.28	mu=4515.38 sigm=741.01	mu=8.34104 sigm=0.3759	mu=8.3909 sigm=0.1889
Avril	a=6090.85 b=5.1948	a=13.5834 b=411.881	mu=5594.75 sigm=1337.17	mu=5712.16 sigm=749.05	mu=8.59232 sigm=0.2964	mu=8.63533 sigm=0.14891
Mai	a=7059.27 b=5.92528	a=13.1704 b=496.41	mu=6537.92 sigm=1465.91	mu=6735.55 sigm=780.14	mu=8.74693 sigm=0.3192	mu=8.80089 sigm=0.13933
June	a=7627.68 b=7.73266	a=25.2345 b=283.443	mu=7152.54 sigm=1256.31	mu=7305.14 sigm=662.14	mu=8.85528 sigm=0.2156	mu=8.8893 sigm=0.1014
Juille	a=7627.25 b=11.711	a=69.9231 b=104.387	mu=7299.03 sigm=812.688	mu=7368.97 sigm=420.59	mu=8.88833 sigm=0.1249	mu=8.9028 sigm=0.05999
Aout	a=6836.53 b=9.12696	a=34.0149 b=190.30	mu=6473.05 sigm=963.936	mu=6577.91 sigm=483.11	mu=8.76063 sigm=0.1877	mu=8.78733 sigm=0.08131
Septe	a=5277.23 b=6.1432	a=21.5517 b=227.318	mu=4899.09 sigm=963.347	mu=4955.89 sigm=539.35	mu=8.47343 sigm=0.2309	mu=8.49935 sigm=0.11745
Octob	a=3871.50 b=5.97475	a=19.7274 b=181.909	mu=3588.59 sigm=732.328	mu=3640.23 sigm=403.46	mu=8.15995 sigm=0.2410	mu=8.19047 sigm=0.12124
Nove	a=2905.31 b=4.37849	a=10.2007 b=259.645	mu=2684.55 sigm=712.213	mu=2695.65 sigm=405.16	mu=7.83195 sigm=0.3578	mu=7.879 sigm=0.1731
Déce	a=2468.53 b=4.55216	a=11.9359 b=188.444	mu=2249.26 sigm=591.039	mu=2284.54 sigm=343.88	mu=7.67588 sigm=0.3111	mu=7.71377 sigm=0.16755

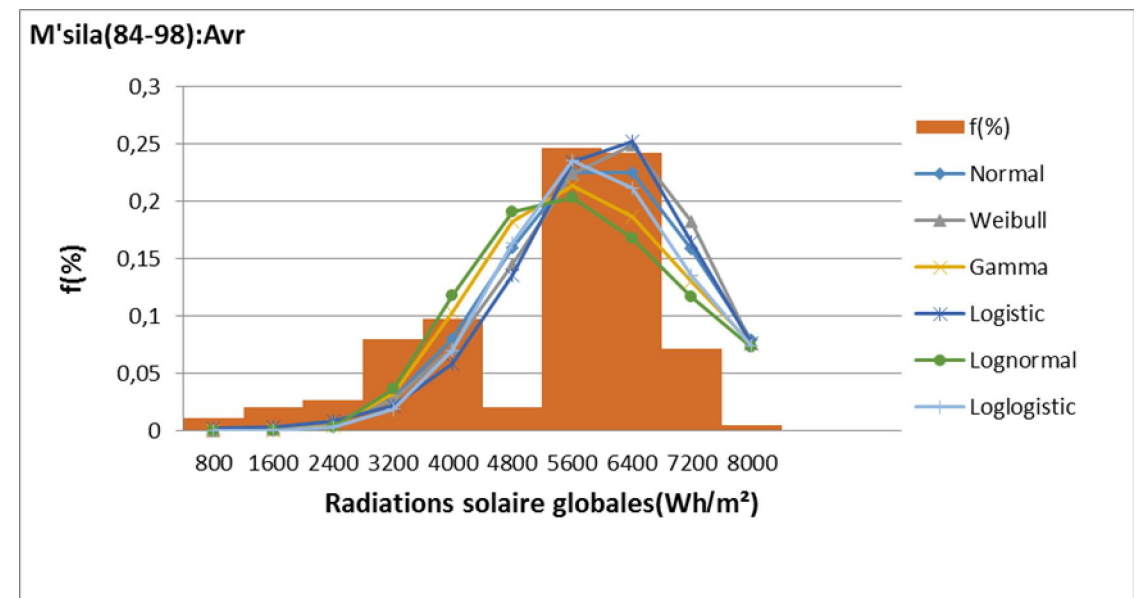
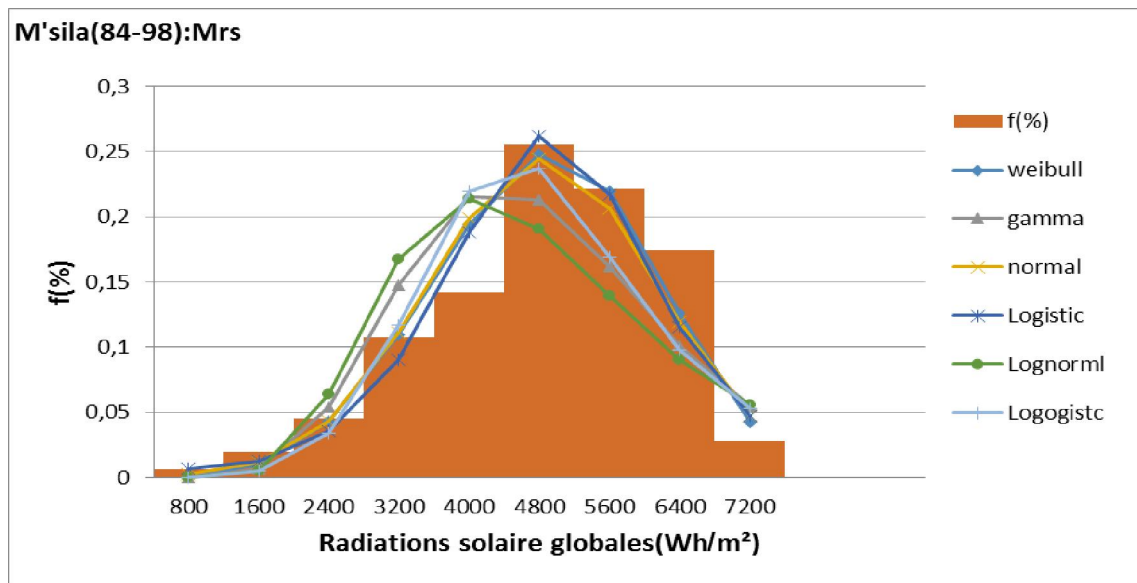
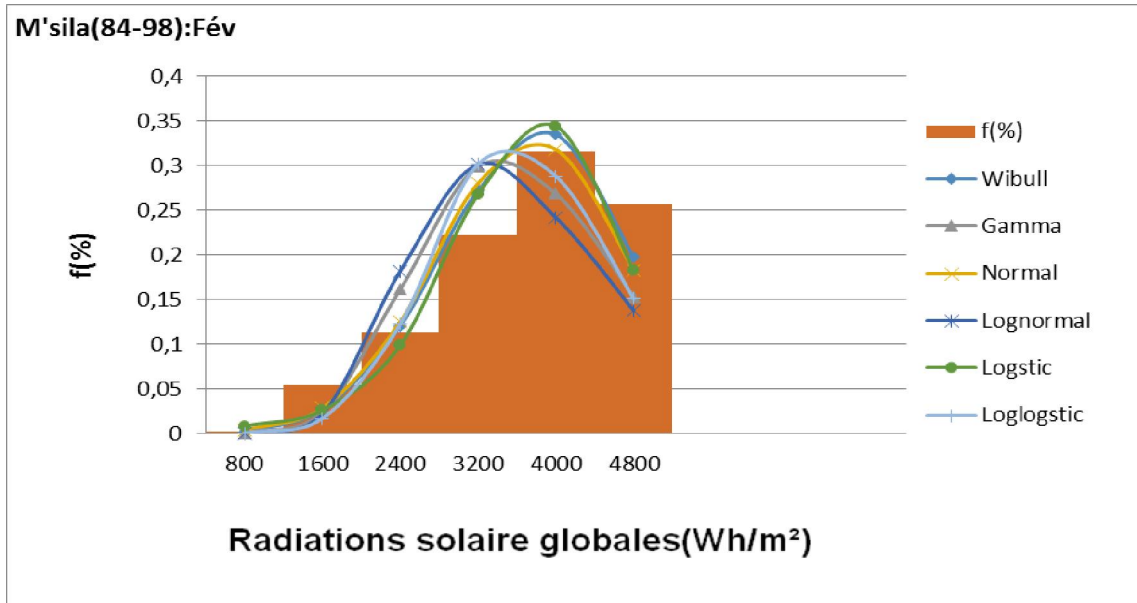
Pour la fonction de distribution Logistique, μ varie entre 2284.54 (décembre) et 7368.97 (Juillet) et σ entre 343.889(décembre) et 780.141(Mai).

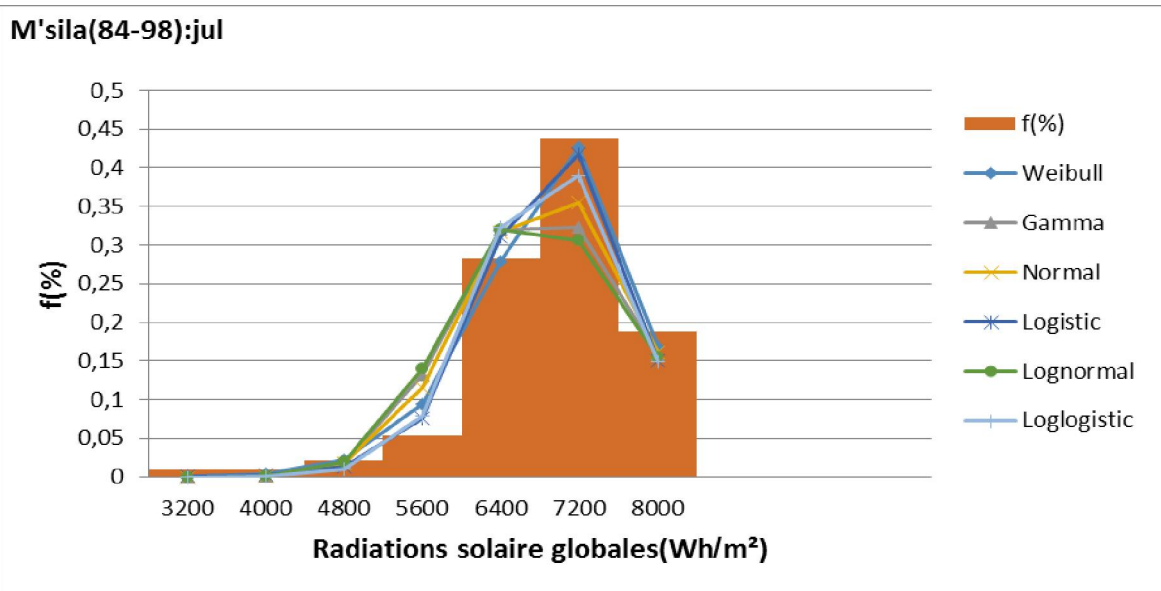
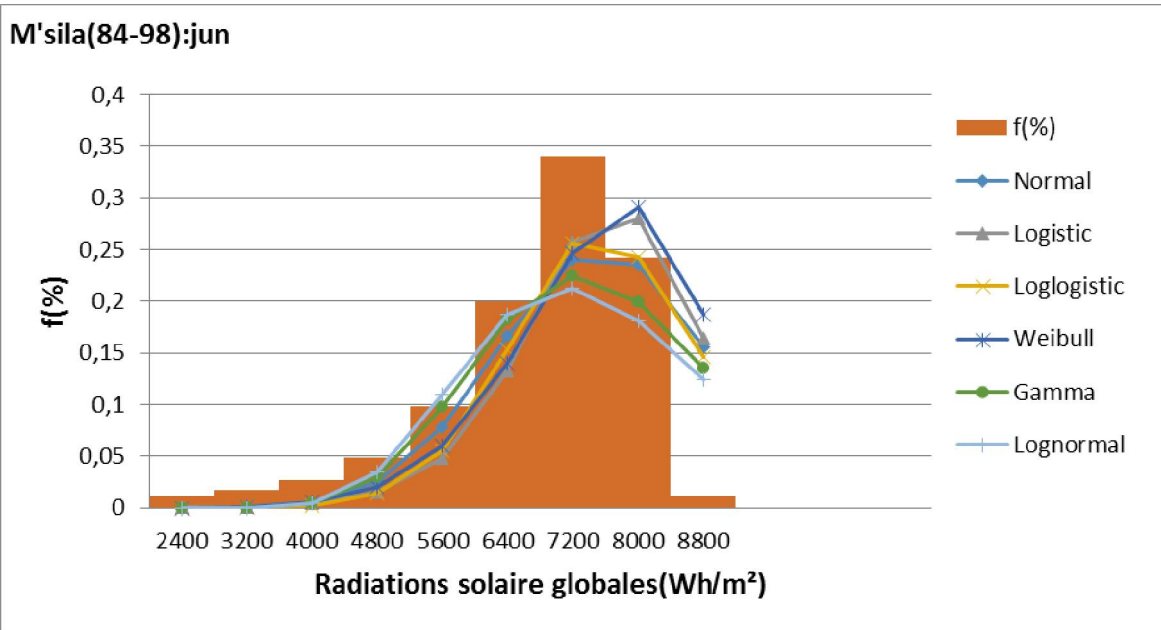
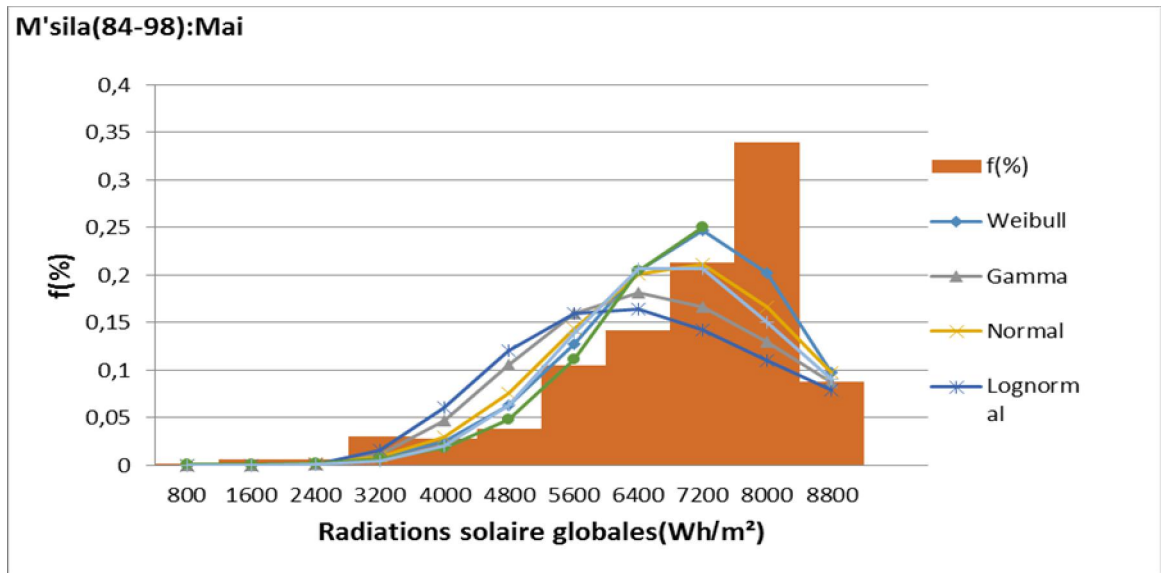
Pour la dernière fonction de distribution Logistique, μ varie entre 7.67588 (décembre) et 8.90281 (juillet) et σ entre 0.05999(juillet) et 0.19185(janvier).

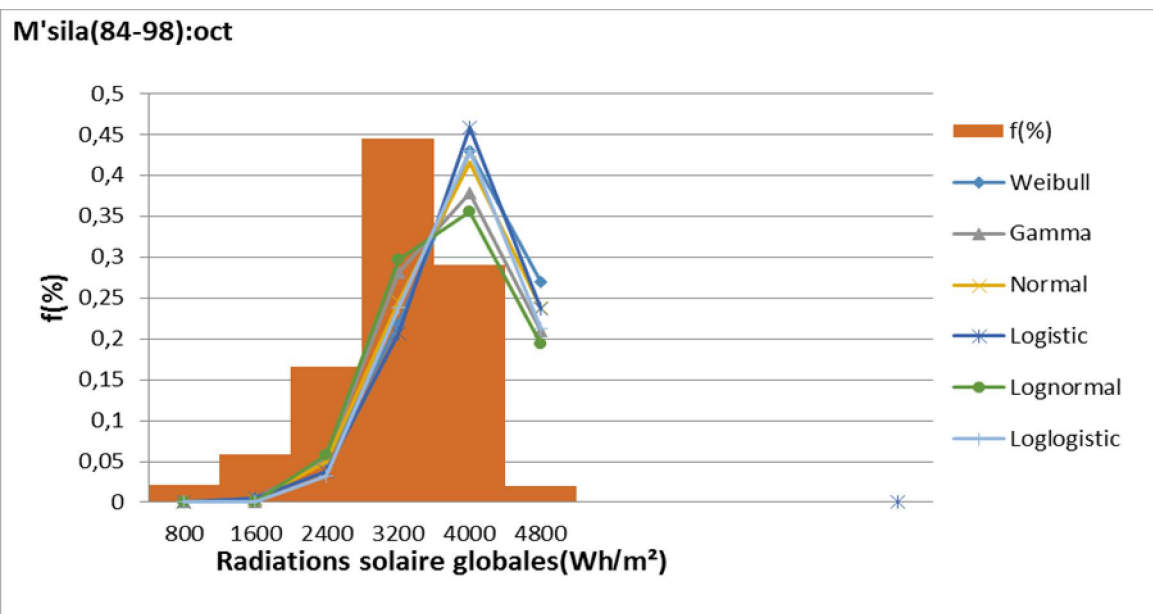
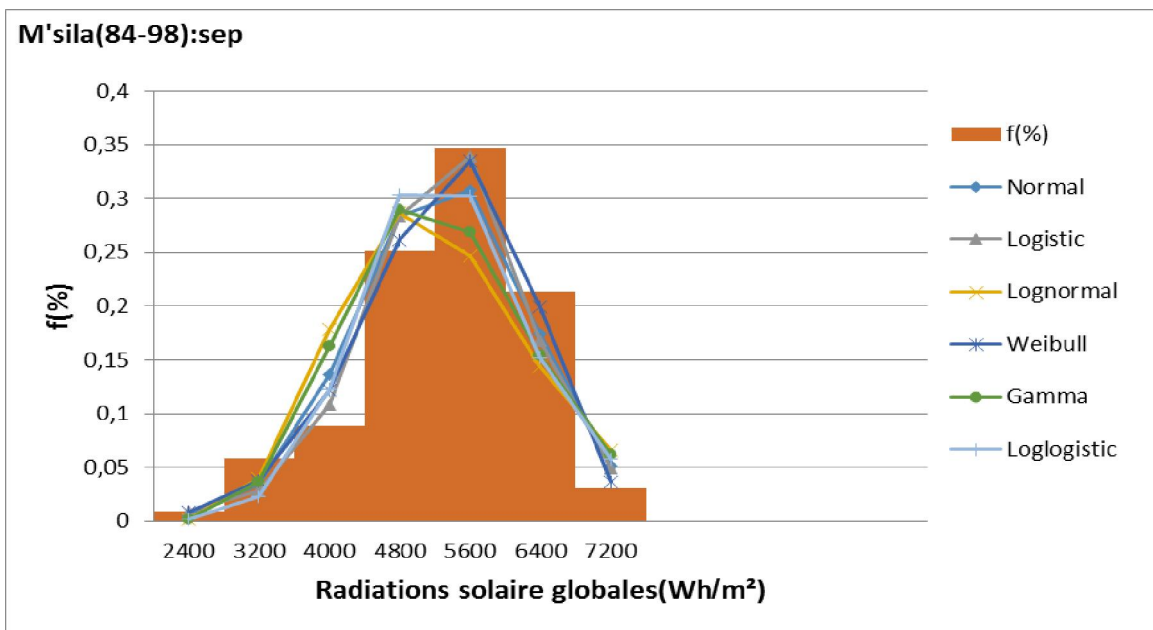
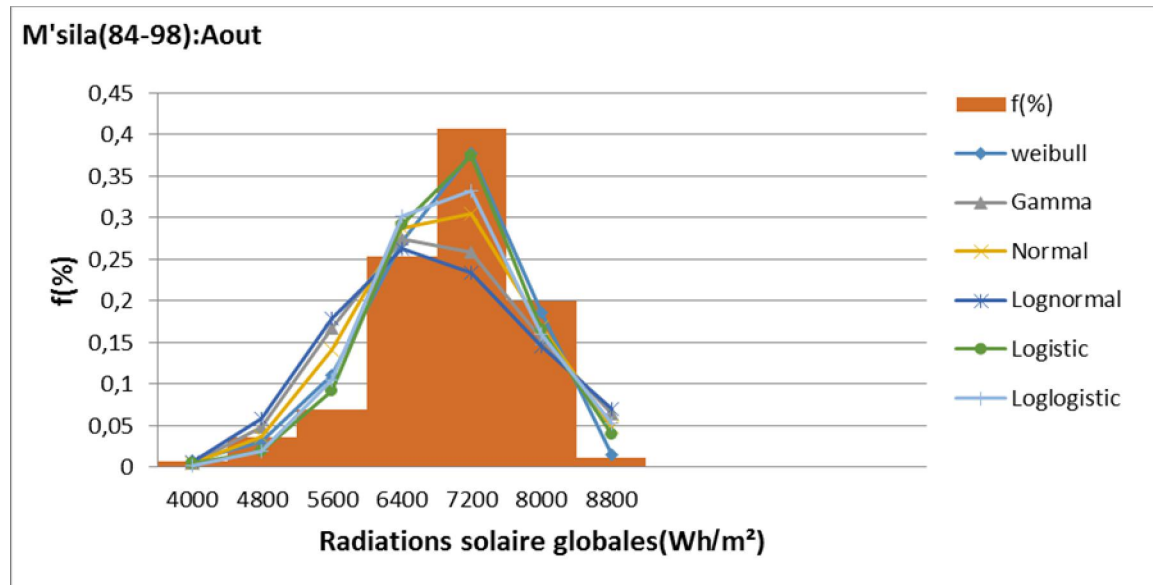
Après avoir déterminé les paramètres de toute les fonctions de distribution, on a présente les distributions observées mensuelles et celles calculées suivant ces distributions (Weibull, normale, gamma, lognormal, logistique et loglogistique) pour le site de M'sila sur une période de quinze ans comme illustré sur la Figure III.1

Une première interprétation visuelle sur ces évolutions nous permis de constater que la distribution de Weibull est la plus proche des histogrammes de fréquence que les autres distributions de fréquence pour tous les mois. De même, la distribution de fréquence loglogistique est la plus écartée des distributions de fréquence des histogrammes de fréquences pour tous les mois.









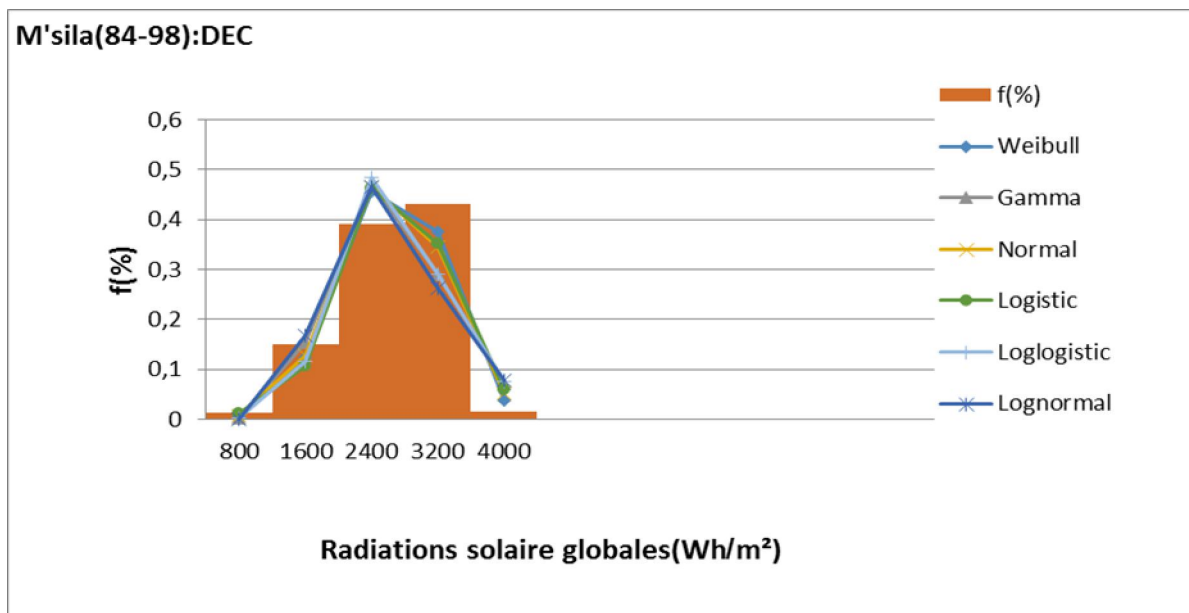
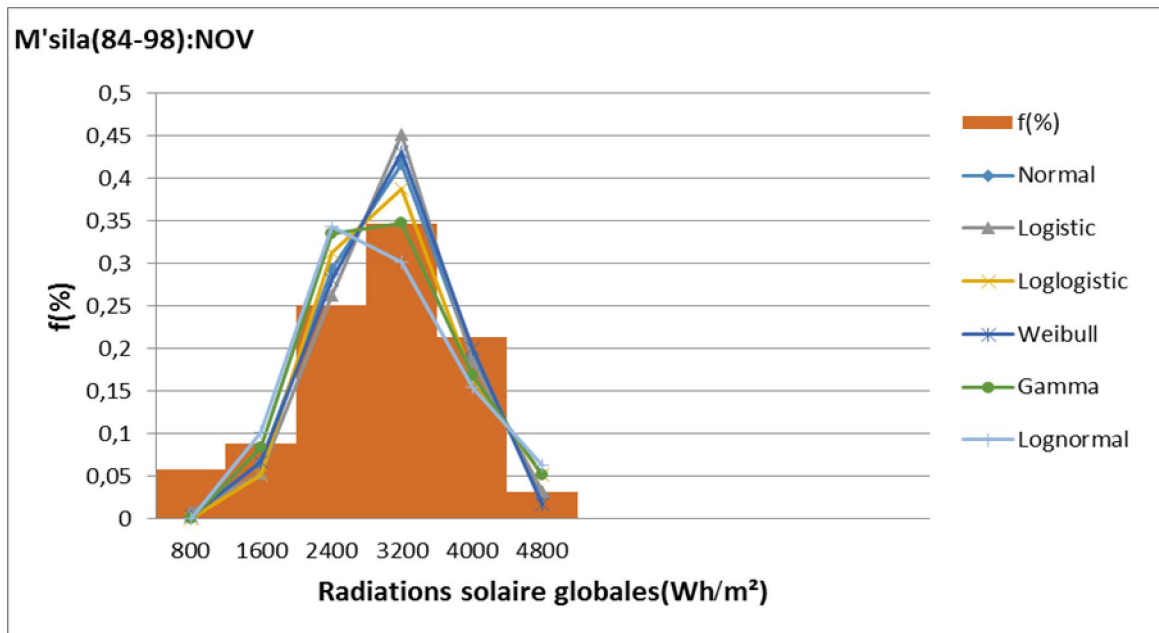


Figure III.1: Distributions des fréquences mensuelles des radiations solaires globales mesurées et calculées de M'sila (84-98).

III.2 Méthodes de comparaison des différences distributions

Cependant, on ne peut pas faire la comparaison uniquement à partir des constatations visuelles des courbes de distribution pour déterminer la meilleure distribution de fréquence pour l'estimation des radiations solaires globales de la région de M'sila. Pour atteindre ce but, nous avons appliqués des méthodes statistiques de comparaison telle que le coefficient

de détermination R^2 , l'erreur quadratique moyenne RMSE, l'erreur systématique moyenne MBE et l'erreur systématique absolue moyenne MABE.

III.2.1 Le coefficient de détermination R^2

Le coefficient de détermination R^2 ou bien COD présente une valeur comprise entre 0 et 1, il est défini mathématiquement suivant la relation [16, 17] :

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \quad (\text{III.1})$$

Ou:

\bar{y} présente la valeur moyenne des valeurs des radiations solaires globales mesurées y_i .

y_i : la $i^{\text{ème}}$ fréquence de distribution des radiations solaires globales mesurées ;

x_i : la $i^{\text{ème}}$ fréquence de distribution des radiations solaires globales calculées par les différentes fonctions de distribution.

N : le nombre des données des radiations solaires globales.

III.2.2 Erreur quadratique moyenne (RMSE)

L'erreur quadratique moyenne RMSE est utilisée pour comparer la déviation actuelle entre les valeurs prédits et les valeurs mesurées. Elle est donnée par l'équation suivante [16, 17] :

$$\text{RMSE} = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2 \right]^{1/2} \quad (\text{III.2})$$

Avec :

N : le nombre des données des radiations solaires globales ;

y_i : la $i^{\text{ème}}$ fréquence de distribution des radiations solaires globales mesurées ;

x_i : la $i^{\text{ème}}$ fréquence de distribution des radiations solaires globales calculées par les différentes fonctions de distribution.

III.3. L' erreur systématique moyenne MBE

L'erreur systématique moyenne MBE est un indicateur de l'écart moyen des valeurs estimées à partir des données observées. Des valeurs positives de MBE indiquent une surestimation et des valeurs négatives une sous-estimation du modèle, l'erreur systématique moyenne est défini par l'équation suivante [16, 17] :

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (xi - yi) \quad (III.3)$$

Ou y_i, x_i sont définis dans l'équation (III.3).

III.4. L'erreur systématique absolue moyenne MABE

L'erreur systématique absolue moyenne MABE présente la valeur moyenne des valeurs absolues des erreurs relatives, il est donné par l'équation suivante [16, 17] :

$$MABE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |xi - yi| \quad (III.4)$$

Ou y_i, x_i sont définis dans l'équation(III.4).

Remarque :

La meilleur méthode est caractérisée par une grande valeur de R^2 et une petite valeur de RMSE [16, 17].

III.5 Comparaison des six fonctions de distribution

Les tableaux III.2a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k et l regroupe les résultats de calcul des coefficients de comparaison des distributions de fréquences mesurées et calculées par les différentes fonctions de distribution (Weibull, normale, gamma, lognormal, logistique et loglogistique) pour chaque mois respectivement. Pour avoir plus de précision on a pris quatre chiffres après la virgule lors des calculs des coefficients R^2 , RMSE, MBE et MABE.

On note que les coefficients de détermination R^2 pour la distribution de Weibull présentent les valeurs les plus élevées comparées avec les autres distributions ; 0.9505 (janvier), 0.9269 (Février), 0.9238 (Mars), 0.9158 (Avril), 0.7859 (Mai), 0.8919 (Juin), 0.9879 (Juillet), 0.9806 (Aout), 0.9831 (Septembre), 0.9740 (Octobre), 0.9852 (Novembre) et 0.9506 (Décembre). Ce coefficient de détermination présente la valeur la plus élevée durant le mois de Juillet et la plus petite valeur durant le mois de Mai.

De même, les coefficients R^2 pour la distribution de Lognormale présentent les valeurs les plus faibles comparées avec les autres distributions ; 0.6862 (janvier), 0.6509 (Février), 0.6032 (Mars), 0.5879 (Avril), 0.4389 (Mai), 0.5813 (Juin), 0.8472 (Juillet), 0.6906 (Aout), 0.7819 (Septembre), 0.7476 (Octobre), 0.7416 (Novembre) et 0.7655 (Décembre). La plus grande valeur du coefficient de détermination est enregistrée durant le mois de Juillet et la plus faible valeur durant le mois de Mai.

Pour le mois de Janvier, les valeurs des coefficients de détermination R^2 pour les différentes fonctions de distribution varient entre 0.682 notée pour la fonction de distribution Lognormale et 0.9505 pour la fonction de distribution Weibull. Pour les autres fonctions de distribution, elles présentent des valeurs comprises entre celle de la fonction Lognormale et la fonction de Weibull comme indiqué sur le Tableau III.2a.

On remarque également que la valeur de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) varie dans le sens inverse que le coefficient de détermination (R^2), elle présente une valeur plus élevée de 0.0798 pour la fonction de distribution Lognormal et la valeur plus faible de 0.0321 dans le cas de la distribution Weibull.

On note également que l'erreur quadratique moyenne (MBE) pour les fonctions de distributions ; Normale, Gamma, Logistique, loglogistique et Lognormale présente des valeurs négatives ce qui indique une sous-estimation des radiations solaires globales par ces fonctions. Par contre la fonction de distribution Weibull présente une valeur positive indiquant une surestimation des radiations solaires globales.

Durant le mois de Janvier, la meilleure fonction de distribution qui décrit les radiations solaires globales dans la région de M'sila est la distribution de Weibull suivie par la distribution Logistique, la distribution Normale, la distribution Loglogistique, la distribution Gamma et la distribution lognormale.

Tableau III.2.a : L'analyse statistique des distributions (Weibull, normale, gamma, lognormal, logistique et loglogistique) pour le mois de Janvier de la région de M'sila (1984-1998).

janv	R^2	RMSE	MBE	MABE
weibull	0.9505	0.0321	0.031	0.0267
Gamma	0.7839	0.0655	-0.0099	0.0502
Normal	0.9284	0.0377	-0.0046	0.0314
Lognormal	0.6862	0.0798	-0.0140	0.0609
Logistic	0.9418	0.0353	-0.0069	0.0308
Log-logistic	0.8026	0.0649	-0.0153	0.0563

Pour le mois de Février, les valeurs des coefficients de détermination R^2 pour les différentes fonctions de distribution varient entre 0.6318 notée pour la fonction de distribution Lognormale et 0.9174 pour la fonction de distribution Weibull. Pour les autres fonctions de distribution, elles présentent des valeurs comprises entre celle de la fonction Lognormale et la fonction de Weibull comme indiqué sur le Tableau III.2b.

La valeur de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) présente une valeur plus élevée de 0.0729 pour la fonction de distribution Lognormal et la valeur plus faible de 0.0349 dans le cas de la distribution Weibull.

On note également que l'erreur quadratique moyenne (MBE) pour la fonction de distribution Weibull présente une valeur négative ce qui indique une sous-estimation des radiations solaires globales par cette fonction. Pour le reste des fonctions elles indiquent une surestimation des radiations solaires globales.

Durant le mois de Février, la meilleure fonction de distribution qui décrit les radiations solaires globales dans la région de M'sila est la distribution de Weibull suivie par la distribution Logistique, la distribution Normale, la distribution Loglogistique, la distribution Gamma et la distribution lognormale.

Tableau III.2.b : L'analyse statistique des distributions (Weibull, normale, gamma, lognormal, logistique et loglogistique) pour le mois de Février de la région de M'sila (1984-1998).

Fev	R^2	RMSE	MBE	MABE
weibull	0.9174	0.0349	-0.00192	0.029226
Gamma	0.7399	0.0610	0.0101565	0.051708
Normal	0.8873	0.0403	0.0048381	0.028973
Lognormal	0.6318	0.0729	0.0142779	0.062812
Logistic	0.8889	0.0398	0.0071784	0.032888
Log-logistic	0.7665	0.0577	0.0155556	0.043825

Pour le mois de Mars, les valeurs des coefficients de détermination R^2 pour les différentes fonctions de distribution varient entre 0.5888 notée pour la fonction de distribution Lognormale et 0.9218 pour la fonction de distribution Weibull. Pour les autres fonctions de distribution, elles présentent des valeurs comprises entre celle de la fonction Lognormale et la fonction de Weibull comme indiqué sur le Tableau III.2c.

La valeur de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) présente une valeur plus élevée de 0.0560 pour la fonction de distribution Lognormal et la valeur plus faible de 0.0244 dans le cas de la distribution Weibull.

On note également que l'erreur quadratique moyenne (MBE) pour toutes les fonctions de distribution présente des valeurs négatives ce qui indique une sous-estimation des radiations solaires globales par ces fonctions.

Durant le mois de Mars, la meilleure fonction de distribution qui décrit les radiations solaires globales dans la région de M'sila est la distribution de Weibull suivie par la distribution Logistique, la distribution Normale, la distribution Loglogistique, la distribution Gamma et la distribution lognormale.

Tableau III.2.c : L'analyse statistique des distributions (Weibull, normale, gamma, lognormal, logistique et loglogistique) pour le mois de Mars de la région de M'sila (1984-1998).

Mar	R^2	RMSE	MBE	MABE
weibull	0.9218	0.0244	-0.000892	0.015901
Gamma	0.7255	0.0458	-0.005165	0.03839
Normal	0.8968	0.0280	-0.001751	0.019605
Lognormal	0.5888	0.0560	-0.008347	0.04781
Logistic	0.9059	0.0268	-0.00289	0.018704
Log-logistic	0.7669	0.04219	-0.007694	0.032409

Pour le mois d'Avril, les valeurs des coefficients de détermination R^2 pour les différentes fonctions de distribution varient entre 0.5879 notée pour la fonction de distribution Lognormale et 0.9154 pour la fonction de distribution Weibull. Pour les autres fonctions de distribution, elles présentent des valeurs comprises entre celle de la fonction Lognormale et la fonction de Weibull comme indiqué sur le Tableau III.2d.

La valeur de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) présente une valeur plus élevée de 0.0583 pour la fonction de distribution Lognormal et la valeur plus faible de 0.0263 dans le cas de la distribution Weibull.

On note également que l'erreur quadratique moyenne (MBE) pour toutes les fonctions de distribution présente des valeurs positives ce qui indique une surestimation des radiations solaires globales par ces fonctions.

Durant le mois d'avril, la meilleure fonction de distribution qui décrit les radiations solaires globales dans la région de M'sila est la distribution de Weibull suivie par la distribution Logistique, la distribution Normale, la distribution Loglogistique, la distribution Gamma et la distribution lognormale.

Tableau III.2.d : L'analyse statistique des distributions (Weibull, normale, gamma, lognormal, logistique et loglogistique) pour le mois d'Avril de la région de M'sila (1984-1998).

Avri	R^2	RMSE	MBE	MABE
weibull	0.9154	0.0263	0.017488	0.045595
Gamma	0.6875	0.0506	0.01229	0.047761
Normal	0.8432	0.0358	0.015491	0.044822
Lognormal	0.5879	0.0583	0.009973	0.051025
Logistic	0.8776	0.0316	0.014466	0.043649
Log-logistic	0.7559	0.0447	0.010506	0.045273

Pour le mois de Mai, les valeurs des coefficients de détermination R^2 pour les différentes fonctions de distribution varient entre 0.3844 notée pour la fonction de distribution Lognormale et 0.7710 pour la fonction de distribution Weibull. Pour les autres fonctions de distribution, elles présentent des valeurs comprises entre celle de la fonction Lognormale et la fonction de Weibull comme indiqué sur le Tableau III.2e.

La valeur de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) présente une valeur plus élevée de 0.0792 pour la fonction de distribution Lognormal et la valeur plus faible de 0.0483 dans le cas de la distribution Weibull.

On note également que l'erreur quadratique moyenne (MBE) pour toutes les fonctions de distribution présente des valeurs positives ce qui indique une surestimation des radiations solaires globales par ces fonctions.

Durant le mois de Mai, la meilleure fonction de distribution qui décrit les radiations solaires globales dans la région de M'sila est la distribution de Weibull suivie par la distribution Logistique, la distribution Normale, la distribution Loglogistique, la distribution Gamma et la distribution lognormale.

Tableau III.2.e : L'analyse statistique des distributions (Weibull, normale, gamma, lognormal, logistique et loglogistique) pour le mois de Mai de la région de M'sila (1984-1998).

Mai	R^2	RMSE	MBE	MABE
weibull	0.7710	0.0483	0.001499	0.029081
Gamma	0.4999	0.071413086	0.009262	0.041781
Normal	0.6699	0.058011096	0.004834	0.031537
Lognormal	0.3844	0.0792	0.012538	0.047145
Logistic	0.7445	0.051037502	0.005364	0.028498
Log-logistic	0.6212	0.062150113	0.009857	0.032664

Pour le mois de Juin, les valeurs des coefficients de détermination R^2 pour les différentes fonctions de distribution varient entre 0.5660 notée pour la fonction de distribution Lognormale et 0.9146 pour la fonction de distribution Weibull. Pour les autres fonctions de distribution, elles présentent des valeurs comprises entre celle de la fonction Lognormale et la fonction de Weibull comme indiqué sur le Tableau III.2f.

La valeur de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) présente une valeur plus élevée de 0.0728 pour la fonction de distribution Lognormal et la valeur plus faible de 0.0373 dans le cas de la distribution Weibull.

On note également que l'erreur quadratique moyenne (MBE) pour toutes les fonctions de distribution présente des valeurs positives ce qui indique une surestimation des radiations solaires globales par ces fonctions.

Durant le mois de Juin, la meilleure fonction de distribution qui décrit les radiations solaires globales dans la région de M'sila est la distribution de Weibull suivie par la distribution Logistique, la distribution Loglogistique, la distribution Normale, la distribution Gamma et la distribution lognormale.

Tableau III.2.f : L'analyse statistique des distributions (Weibull, normale, gamma, lognormal, logistique et loglogistique) pour le mois de Juin de la région de M'sila (1984-1998).

Jun	R^2	RMSE	MBE	MABE
weibull	0.9146	0.0373	0.004924	0.054961
Gamma	0.6410	0.0657	0.013547	0.04109
Normal	0.7690	0.0527	0.010047	0.042046
Lognormal	0.5660	0.0728	0.015722	0.04342
Logistic	0.8642	0.0408	0.010028	0.052603
Log-logistic	0.7727	0.0528	0.013901	0.044009

Pour le mois de Juillet, les valeurs des coefficients de détermination R^2 pour les différentes fonctions de distribution varient entre 0.8346 notée pour la fonction de distribution Lognormale et 0.9871 pour la fonction de distribution Weibull. Pour les autres

fonctions de distribution, elles présentent des valeurs comprises entre celle de la fonction Lognormale et la fonction de Weibull comme indiqué sur le Tableau III.2g.

La valeur de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) présente une valeur plus élevée de 0.0629 pour la fonction de distribution Lognormal et la valeur plus faible de 0.0175 dans le cas de la distribution Weibull.

On note également que l'erreur quadratique moyenne (MBE) pour toutes les fonctions de distribution présente des valeurs positives ce qui indique une surestimation des radiations solaires globales par ces fonctions.

Durant le mois de Juillet, la meilleure fonction de distribution qui décrit les radiations solaires globales dans la région de M'sila est la distribution de Weibull suivie par la distribution Logistique, la distribution Loglogistique, la distribution Normale, la distribution Gamma et la distribution lognormale.

Tableau III.2.g : L'analyse statistique des distributions (Weibull, normale, gamma, lognormal, logistique et loglogistique) pour le mois de Juillet de la région de M'sila (1984-1998).

Juill	R ²	RMSE	MBE	MABE
weibull	0.9871	0.0175	0.00068	0.00068
Gamma	0.8688	0.0560	0.00701	0.00701
Normal	0.9015	0.0431	0.00462	0.00462
Lognormal	0.8346	0.0629	0.00859	0.00859
Logistic	0.9800	0.0218	0.00460	0.00460
Log-logistic	0.9611	0.0305	0.00680	0.00680

Pour le mois d'Aout, les valeurs des coefficients de détermination R² pour les différentes fonctions de distribution varient entre 0.7007 notée pour la fonction de distribution Lognormale et 0.9700 pour la fonction de distribution Weibull. Pour les autres fonctions de distribution, elles présentent des valeurs comprises entre celle de la fonction Lognormale et la fonction de Weibull comme indiqué sur le Tableau III.2h.

La valeur de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) présente une valeur plus élevée de 0.0771 pour la fonction de distribution Lognormal et la valeur plus faible de 0.0192 dans le cas de la distribution Weibull.

On note également que l'erreur quadratique moyenne (MBE) pour les fonctions de distribution Gamma, Lognormal, Loglogistique présentent des valeurs positives ce qui indique une surestimation des radiations solaires globales par ces fonctions.

Durant le mois de Aout, la meilleure fonction de distribution qui décrit les radiations solaires globales dans la région de M'sila est la distribution de Weibull suivie par la distribution Logistique, la distribution Loglogistique, la distribution Normale, la distribution Gamma et la distribution lognormale.

Tableau III.2.h : L'analyse statistique des distributions (Weibull, normale, gamma, lognormal, logistique et loglogistique) pour le mois de Aout de la région de M'sila (1984-1998).

Aout	R ²	RMSE	MBE	MABE
weibull	0.9700	0.0192	-0.00245	0.00245
Gamma	0.7732	0.0666	0.00125	0.00125
Normal	0.8892	0.0469	-0.00133	0.00133
Lognormal	0.7007	0.0771	0.00371	0.00371
Logistic	0.9668	0.0259	-0.00102	0.00102
Log-logistic	0.9182	0.0404	0.00123	0.00123

Pour le mois de Septembre, les valeurs des coefficients de détermination R² pour les différentes fonctions de distribution varient entre 0.7413 notée pour la fonction de distribution Lognormale et 0.9802 pour la fonction de distribution Weibull. Pour les autres fonctions de distribution, elles présentent des valeurs comprises entre celle de la fonction Lognormale et la fonction de Weibull comme indiqué sur le Tableau III.2i

La valeur de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) présente une valeur plus élevée de 0.04077 pour la fonction de distribution Lognormal et la valeur plus faible de 0.0156 dans le cas de la distribution Weibull.

On note également que l'erreur quadratique moyenne (MBE) pour toutes les fonctions de distribution sauf la fonction Weibull présentent des valeurs positives ce qui indique une surestimation des radiations solaires globales par ces fonctions.

Durant le mois de Septembre, la meilleure fonction de distribution qui décrit les radiations solaires globales dans la région de M'sila est la distribution de Weibull suivie par la distribution Logistique, la distribution Normale, la distribution Loglogistique, la distribution Gamma et la distribution lognormale.

Tableau III.2.i : L'analyse statistique des distributions (Weibull, normale, gamma, lognormal, logistique et loglogistique) pour le mois de Septembre de la région de M'sila (1984-1998).

Sept	R ²	RMSE	MBE	MABE
weibull	0.9802	0.0156	-0.00015	0.0137
Gamma	0.8184	0.0474	0.003095	0.004364
Normal	0.9251	0.0304	0.000891	0.029518
Lognormal	0.7413	0.04077	0.005179	0.05059
Logistic	0.9528	0.0242	0.001876	0.02158
loglogistic	0.8826	0.0381	0.004982	0.037176

Pour le mois d'Octobre, les valeurs des coefficients de détermination R² pour les différentes fonctions de distribution varient entre 0.7458 notée pour la fonction de distribution Lognormale et 0.9739 pour la fonction de distribution Weibull. Pour les autres fonctions de distribution, elles présentent des valeurs comprises entre celle de la fonction Lognormale et la fonction de Weibull comme indiqué sur le Tableau III.2j.

La valeur de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) présente une valeur plus élevée de 0.0790 pour la fonction de distribution Lognormal et la valeur plus faible de 0.0253 dans le cas de la distribution Weibull.

On note également que l'erreur quadratique moyenne (MBE) pour toutes les fonctions de distribution présentent des valeurs positives ce qui indique une surestimation des radiations solaires globales par ces fonctions.

Durant le mois d'Octobre, la meilleure fonction de distribution qui décrit les radiations solaires globales dans la région de M'sila est la distribution de Weibull suivie par la distribution Logistique, la distribution Normale, la distribution Loglogistique, la distribution Gamma et la distribution lognormale.

Tableau III.2.j : L'analyse statistique des distributions (Weibull, normale, gamma, lognormal, logistique et loglogistique) pour le mois d'Octobre de la région de M'sila (1984-1998).

Octo	R ²	RMSE	MBE	MABE
weibull	0.9739	0.0253	0.004497	0.134226
Gamma	0.8198	0.0474	0.0127056	0.105433
Normal	0.9243	0.0431	0.008174	0.122653
Lognormal	0.7458	0.0790	0.0157672	0.095713
Logistic	0.95	0.0316	0.0089043	0.137401
loglogistic	0.9024	0.0431	0.0144023	0.125154

Pour le mois Novembre, les valeurs des coefficients de détermination R² pour les différentes fonctions de distribution varient entre 0.7368 notée pour la fonction de distribution Lognormale et 0.9851 pour la fonction de distribution Weibull. Pour les autres fonctions de distribution, elles présentent des valeurs comprises entre celle de la fonction Lognormale et la fonction de Weibull comme indiqué sur le Tableau III.2k.

La valeur de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) présente une valeur plus élevée de 0.0791 pour la fonction de distribution Lognormal et la valeur plus faible de 0.0188 dans le cas de la distribution Weibull.

On note également que l'erreur quadratique moyenne (MBE) pour des fonctions de distribution ; Gamma, Lognormal, Loglogistique présentent des valeurs positives ce qui indique une surestimation des radiations solaires globales par ces fonctions.

Durant le mois de Novembre, la meilleure fonction de distribution qui décrit les radiations solaires globales dans la région de M'sila est la distribution de Weibull suivie par la distribution Logistique, la distribution Normale, la distribution Loglogistique, la distribution Gamma et la distribution lognormale.

Tableau III.2.k : L'analyse statistique des distributions (Weibull, normale, gamma, lognormal, logistique et loglogistique) pour le mois de Novembre de la région de M'sila (1984-1998).

Nov	R ²	RMSE	MBE	MABE
weibull	0.9851	0.0188	-0.00183	0.036226
Gamma	0.8466	0.0604	0.000428	0.035207
Normal	0.9688	0.0271	-0.00164	0.035812
Lognormal	0.7368	0.0791	0.004124	0.049617
Logistic	0.9820	0.0207	-0.00093	0.038305
Log-logistic	0.9057	0.0473	0.003264	0.044376

Pour le mois de Décembre, les valeurs des coefficients de détermination R² pour les différentes fonctions de distribution varient entre 0.7642 notée pour la fonction de distribution Lognormale et 0.9486 pour la fonction de distribution Weibull. Pour les autres fonctions de distribution, elles présentent des valeurs comprises entre celle de la fonction Lognormale et la fonction de Weibull comme indiqué sur le Tableau III.2l.

La valeur de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) présente une valeur plus élevée de 0.0872 pour la fonction de distribution Lognormal et la valeur plus faible de 0.0407 dans le cas de la distribution Weibull.

On note également que l'erreur quadratique moyenne (MBE) pour toutes les fonctions de distribution présentent des valeurs positives ce qui indique une surestimation des radiations solaires globales par ces fonctions.

Durant le mois de Décembre, la meilleure fonction de distribution qui décrit les radiations solaires globales dans la région de M'sila est la distribution de Weibull suivie par la distribution Normale, la distribution Logistique, la distribution Gamma, la distribution Loglogistique et la distribution lognormale.

Tableau III.2.1 : L'analyse statistique des distributions (Weibull, normale, gamma, lognormal, logistique et loglogistique) pour le mois de Décembre de la région de M'sila (1984-1998).

Déc	R ²	RMSE	MBE	MABE
Weibull	0.9486	0.0407	2.49E-05	0.034926
Gamma	0.8194	0.0763	0.002196	0.058029
Normal	0.9106	0.0537	0.000306	0.04452
Lognormal	0.7642	0.0872	0.004687	0.067042
Logistic	0.9065	0.0551	0.001354	0.047454
Log-logistic	0.7979	0.0807	0.006074	0.067191

On constate que la meilleure distribution qui s'adapte pour les radiations solaires globales de la région de M'sila pour tous les mois est la distribution de Weibull et la mauvaise distribution est celle de Lognormal.

Conclusion

La modélisation des radiations solaires globales sur une surface horizontale dans la région de M'sila sur une période de 15 ans (de 1984 jusqu'à 1998) en utilisant les fonctions de distribution des fréquences suivantes ; Weibull, Normale, Gamma, Lognormal, Logistique et Loglogistique nous a permis de retenir les points suivant :

- La distribution Weibull présente la meilleur distribution qui décrit la distribution de fréquence des radiations solaires globales dans la région de M'sila pour tous les mois de l'année.
- La distribution Lognormal présente la mauvaise distribution qui décrit la distribution de fréquence des radiations solaires globales dans la région de M'sila pour tous les mois de l'année.
- L'ordre des fonctions de distribution des radiations solaires globales (de la meilleure à la mauvaise) est le suivant ; Weibull, Logistique, Normale, Loglogistique, Gamma et Lognormale pour les mois de janvier, février, mars, avril, mai, juin, septembre, octobre et Novembre. Pour les mois de juillet et aout la fonction de distribution Loglogistique dépasse la fonction de distribution Normale. Pour le mois de décembre en plus de la fonction de distribution Loglogistique qui dépasse la fonction de distribution Normale, la fonction de Gamma dépasse la fonction loglogistique.



CONCLUSION

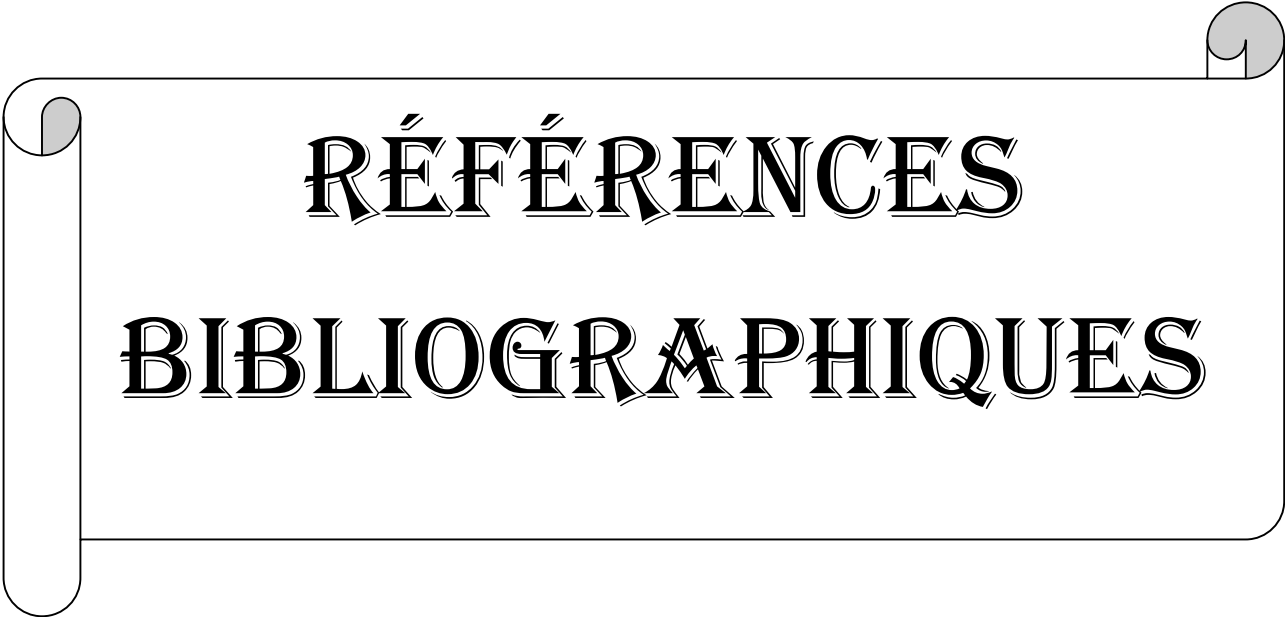
GENERALE

Conclusion générale

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. L'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus importants du 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.

Dans cette étude on a essayé d'étudier les radiations solaires globales dans la région de M'sila pour une durée de 20 ans allant de 1984 jusqu'à 2003 en utilisant les données satellites (du site NASA, USA (National Aeronautics and Space Administration)). On se fixant comme objectifs ; l'estimation du nombre optimal d'année d'étude et la validation de plusieurs modèles (Weibull, Gamma, Normale, Logistique, Lognormal, Loglogistique et Lognormal) pour l'estimation mensuelle des radiations solaires globales de cette région dans la but d'établir le meilleur modèle. On peut retenir les points suivants :

- L'étude de l'influence du nombre des années sur les radiations solaires moyennes nous permis de limiter notre étude à 15 ans au lieu de 20ans.
- La distribution des fréquences des radiations solaires globales durant les 15 ans d'étude dans la région de M'sila varie d'un mois à un autre.
- La distribution Weibull présente la meilleur distribution qui décrit la distribution de fréquence des radiations solaires globales dans la région de M'sila pour tous les mois de l'année.
- La distribution Lognormal présente la mauvaise distribution qui décrit la distribution de fréquence des radiations solaires globales dans la région de M'sila pour tous les mois de l'année.
- L'ordre des fonctions de distribution des radiations solaires globales (de la meilleure à la mauvaise) est le suivant ; Weibull, Logistique, Normale, Loglogistique, Gamma et Lognormale pour les mois de janvier, février, mars, avril, mai, juin, septembre, octobre et Novembre. Pour les mois de juillet et aout la fonction de distribution Loglogistique dépasse la fonction de distribution Normale. Pour le mois de décembre en plus de la fonction de distribution Loglogistique qui dépasse la fonction de distribution Normale, la fonction de Gamma dépasse la fonction loglogistique.

A decorative border resembling a scroll, with rounded corners and a slight shadow effect, framing the text.

RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- [1] M, Capderou. Atlas solaire de l'Algérie, O.P.U, Alger. (1985).
- [2] M. R. Yaich, A.Bouhanik, S. M. A. Bekkouche, A. Malek, and T. Benouaz," Revised Solar maps of Algeria based on sunshine duration", Energy conversion and management, Vol.82, 2014,pp. 114-123.
- [3] Michel Capderou , Atlas solaire de l'Algérie, tome 1,2 ;O.P.U. 1986.
- [4] R. Kollu, S. R. Raypudi, SVL. Narasimharm, M. Pakkurthi" Mixture probability distribution functions to model wind speed distributions", International Journal of Energy and Environmental Engineering, Vol. 3(27), 2012.
- [5] Said .Bentouba, Aek.Slimani , Med.Seghir.Boucherit, Messaoud Hamouda: « L' énergie renouvelable en Algérie et l impact sur l'environnement », Journal of Scientific Research N° 0 vol. 1 (2010), pp.50-54.
- [6] Sahra Mouhamed et Djedai Lazhari Mémoire de fin d'étude « Optimisation d'un Système poursuit solaire appliquée au champ photovoltaïque» Université de Ouargla,, 2011
- [7] T. P. Chang, “ Investigation on frequency distribution of global radiation using different probability density functions”, International Journal of Science and Engineering Vol. 8(2),2011, pp. 99-107.
- [8] Zekai ,Sen. Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques, Springer, 2008.

Webographies

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

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

[Web 03] <http://perso.uclouvain.be/ernest.matagne/SOLAIRE/SEM08/S08P16.HT>

[web4]<http://www.dtmsiladz.com/lang/fr/latourismeaumsila/pr%C3%A9sentationdelawilaya>

[web5]http://www.uved.fr/fileadmin/user_upload/modules_introductifs/module2/site/html/m2c2_m2c2p1_m2c2p1sp2_2.html

[Web 6] <http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16759>

[Web 7]<http://www.ecolebizu.org/G/mouvement-terre-soleil.jpg>

[Web 8] http://www.astrosurf.com/orion/France/Astro_Encyclopedie/definition

[Web 9] <http://www.cm2dolomieu.fr/planete-terre/>

Résumé :

L'étude des radiations solaires est indispensable pour tout projet utilisant de l'énergie solaire. Dans notre étude, nous avons les données des radiations solaires de la région de M'sila pour 20 ans (1984-2003) obtenues par le site de la NASA. L'étude de l'influence du nombre des années sur les radiations solaires moyennes nous permis de limiter notre étude à 15 ans au lieu de 20ans. L'étude de la validation de plusieurs modelés (Weibull, Gamma, Normale, Logistique, Lognormal, Loglogistique et Lognormal) pour l'estimation mensuelle des radiations solaires globales de celle région montre que la distribution Weibull présente la meilleur distribution et la distribution Lognormal la mauvaise distribution.

الخلاصة

في هذه المذكرة قمنا بإحضار بعض الاحصائيات 20 سنة (1984-2003) من موقع النازا هي للإشعاعات الشمسية التي تصل إلى الأرض منها من يرد من الغلاف الجوي وأخرى تمر وأخرى تنعكس بفعل العوامل الموجودة على الأرض .

الإحصائية متعلقة بموقع ولاية المسيلة ووجدنا أن 15 سنة هي الأحسن لي الدراسات , وبعد

تطبيق برنامج ال MATLAB بعض التوزيعات (, Normal , Gamma , Weibull)

(logistic , Log-Normal, log-logistic) وبعض التطبيقات (MBE, MABE, R²

(RMSA) ووصلنا الى ان التوزيع الاحسن للإشعاعات الشمسية العامة هو التوزيع Weibull

هو التوزيع الاقرب والتوزيع Log-Normal هو الابعد .