

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi – Bordj Bou Arreridj

جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريريج

Faculté des Sciences et de la Technologies

كلية العلوم والتكنولوجيا

Département Sciences de la Matière

قسم علوم المادة



Mémoire de fin d'études

PRESENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLOME DE : Master

Filière : Physique

Option : Physique énergétique et Energie renouvelable.

THÈME : OPTIMISATION DU RAYONNEMENT SOLAIRE SUR QUELQUES SITES ALGERIENS

Préparé par : Laouicha Djamel

Soutenu le : 23 /06/2024

Devant le jury :

Président : Regaigui Elgasmi	MAA	Université de BBA
Rapporteur : Yassine Sahnoune	MCA	Université de BBA
Examineur 1: Imakhlaf Anis	MCB	Université de BBA
Examineur 2: Lamri Sarra	MAB	Université de BBA

Année Universitaire 2023-2024

Remerciement

À ma famille

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

Je tiens en premier à exprimer ma grande gratitude envers mon encadreur Dr. Yassine Sahnoune, qui m'a apporté son aide et ses valeureux conseils pour l'accomplissement et le suivi de ce travail.

Je dédie ce mémoire à mes parents

Je dédie ce travail de recherche à ma femme Wided qui m'a aidée.

Mes enfants : Haithem, Adem, Inesse, Dhyaa Eddine , Amir

Je dédie ce mémoire à mes parents. À tous les membres de ma famille, grands et petits.

À tous mes amis.

Dédicace

J'aimerais, à remercier monsieur le professeur Yassine Sahnoune, pour tous les efforts qu'il a déployés avec moi et tous les précieux conseils qu'il m'a donnés en chemin.

Je tiens aussi à remercier les membres de jury Regaïgui , Imakhlaf et Lamri qui acceptent de discuter et évaluer mon travail de recherche.

. Je voudrais remercier tous les professeurs et enseignants de ma vie académique.

Sommaire

Listes des figures

Chapitre I

Figure I:3coupe schématique du soleil .	5
Figure I:2coupe schématique du soleil .	7
Figure I:3 Spectre du rayonnement solaire.	11
Figure I:4 la structure verticale de l'atmosphère.	13
Figure I:5 Masse d'air.	14
Figure I-6 : Réfraction atmosphérique.	17
Figure I-7composantes de rayonnement solaire reçus au sol.	19
Figure I-8 Carte de l'insolation mondiale montrant la quantité d'énergie solaire (en heures d'éclairement) reçue chaque jour par une surface présentant l'inclinaison optimale pendant le mois le moins ensoleillé de l'année.	20

Chapitre II

Figure II:1 Schématisation des mouvements de la terre autour du sol.	26
Figure II:2 Déclinaison solaire en fonction du jour de l'année formule II.1.	28
Figure II:3 Déclinaison solaire en fonction du jour de l'année formule II.2	29
Figure II:4 Variation de la déclinaison court de l'année avec les deux formule et la valeur moyenne de delta de chaque mois .	30
Figure II:5Angle horaire ω du soleil.	31
Figure II:6 Hauteur et azimut pour un observateur dans l'hémisphère Nord.	32
Figure II:7 Pyrhéliomètre :Appareil de mesure le rayonnement direct.	39
Figure II:8Le pyranomètre.	40

Chapitre III

Figure III.1 : Variation de l'irradiation globale hors atmosphère.	49
Figure III.2 : L'irradiation solaire mesurée et estimée pour Alger par le modèle de type d'Agstrom –prescott.	51
figure III. 3 la variation de l'irradiation global pour Oran.	53
Figure III.4 : L'irradiation solaire mesurée et estimée pour Tamanrasset par le modèle de type d'Agstrom –prescott.	55

Listes de tableaux

Chapitre I

Tableau I.2. indique les valeurs de la constante solaire en fonction du nombre d'air masse	15
Tableau I.3. Le gisement solaire en Algérie	19

Chapitre II

Tableau II:1 les valeurs de la déclinaison de la moyenne de chaque mois.....	25
Tableau II:3 Liste des jours types par mois proposés par Klein.....	30
Tableau II:4 Emplacement géographique des trois sites.	31

Chapitre III

Tableau III.1 : Irradiation solaire globale hors atmosphère (MJ/m ² jour).	38
Tableau III.2. La fraction d'insolation pour les trois sites en Algérie est indiquée dans le Tableau.....	40
Tableau III. 3 : latitude en (deg) pour les Différents sites.	40
Tableau III. 4: les résultats de calcule la déclinaison = delta , Ho, H calculer, W(rad).....	41
Tableau III. 5 : les résultats de calcule la déclinaison = delta , Ho, H calculer, W(rad).....	42
Tableau III. 6 : les résultats de calcule la déclinaison = delta , Ho, H calculer, W(rad).....	44
Tableau (III. 4) les paramètres statistiques pour le modèle de type d'Angstrom Prescott. .	46

Tableaux des matières :

Remerciement

Dédicace

Introduction 2

Chapitre I

I-1- Introduction : 5

I.2. Le Soleil 5

I-2-1. Définition 5

I-2-2 Carte d'identité du Soleil : 5

I-2-3 La composition interne du soleil : 7

I-2-4. La constante solaire : 8

I-3. Le rayonnement solaire 8

I.3.1. Origine et nature de rayonnement solaire : 8

I.3.2 Le cycle Proton –Proton 9

I.3.3 Le cycle du carbone : 10

I.3.4 Le spectre du rayonnement extraterrestre : 11

I.4. Influence de l'atmosphère terrestre sur le rayonnement solaire..... 11

I.4.1. Structure de l'atmosphère 11

I.4.1.1. La composition de l'atmosphère terrestre : 11

I.4.1.2 Régions atmosphériques : 11

1-La troposphère 12

2-la stratosphère 12

3-la mésosphère..... 12

4-la thermosphère 13

I-4-2. La masse d'air 13

I-4.3-absorption de Le rayonnement solaire : 15

Tableaux des matières

a) L'absorption atmosphérique	15
b) La diffusion :	15
I-4-4- Réfraction atmosphérique	16
I-5 Les composantes de rayonnement solaire reçus au sol :	17
I.5.1. Le rayonnement direct	17
I.5.2. Le rayonnement diffus	17
I.6 Rayonnement réfléchi (Albédo)	18
I.7 Rayonnement global	18
I-8 Gisement solaire en Algérie :	18
I.9. Conclusion	19

Chapitre II

II-1. Introduction :	22
II-2. Mouvement de la terre :	22
II.2.1. Rotation de la terre autour de son axe	22
II-2-2. Mouvement de la terre au tour du soleil	22
II.3. Repérage d'un site à la surface de la terre (coordonnées géographiques)	23
II.4. Modélisation des paramètres géométriques et atmosphériques	23
II-4-1-La déclinaison (δ)	23
II.4.2 : L'angle horaire w :	26
II.4.3 Repérage du soleil :	27
II. 4.4 : Relations de repérage du soleil	28
II.4.4.1 Formules liant la position du soleil, latitude et l'angle horaire	28
II.4.5 La durée du jour	28
II-5- Calcul de l'irradiation solaire globale sur une surface horizontale	29
II-5-1- L'irradiation solaire globale à la limite de l'atmosphère	29
II.5.2 L'irradiation journalière moyenne mensuelle hors atmosphère	30
II.5.3 Taux d'ensoleillement :	30

Tableaux des matières

II. 6 Evaluation de l'irradiation globale.....	30
II.6.1. Procédures de calcul.....	31
II.6.2-Relations linéaires.....	31
II.6.2.1 Modèle du type d'Angstrom-Prescott	31
II.7 Diffusion à travers les couches supérieures de l'atmosphère	32
II.7.1 Définition du crépuscule	32
II.7.2 Le crépuscule civil	33
II.7.3 Le crépuscule nautique.....	33
II.7.4 Le crépuscule astronomique.....	33
II.8. Statistique et évaluation	33
II.9. Appareils des mesures :	34
a- Les pyréliomètres	34
b-Héliographe.....	35
c -Le pyranomètre	35
II.10. Conclusion :	38

Chapitre III

III.1. Introduction :	38
III.2 Calcul de l'irradiation solaire globale hors atmosphère	38
III.3. Application de modèle aux différents sites	39
III.2. 1. Application du modèle du type d'Angstrom-Prescott	40
III-5 Discussion :	46
III.6 Conclusion :	47
Conclusion générale	48

Résumé

Introduction générale

Introduction générale

La production d'énergie est un défi de grande importance pour les années à venir. La totalité de production mondiale d'énergie provient de sources fossiles.

La consommation de ces sources donne lieu à des émissions de gaz à effet de serre et donc une augmentation de la pollution.

En plus la consommation excessive de stock de ressources naturelles réduit les réserves de ce type d'énergie de façon dangereuse pour les générations futures. Les énergies renouvelables telles que l'énergie éolienne, l'énergie solaire, l'énergie biomasse et l'énergie hydroélectrique, sont des solutions prometteuses pour concurrencer les sources d'énergies de masse telle que l'énergie fossile et nucléaire.

On entend par énergie renouvelable, des énergies issues du soleil, du vent, de la chaleur de la terre, de l'eau ou encore de la biomasse. A la différence des énergies fossiles, les énergies renouvelables sont des énergies propres, inépuisables et à ressources illimitées.

En Algérie, c'est l'énergie solaire qui offre le potentiel le plus important. En effet, l'Algérie possède une vaste superficie et un très fort ensoleillement qui permettront l'épanouissement de cette énergie avec des possibilités de son exploitation aussi bien au Sud que dans le Nord de l'Algérie. L'exploitation de l'énergie solaire à grande échelle permet la production de l'électricité et le développement des télécommunications. [1].

Le premier chapitre a abordé plusieurs aspects importants du rayonnement solaire. Nous avons exploré Origine et nature de rayonnement solaire et comment il est influencé par l'atmosphère terrestre. Nous avons également examiné les différents types de rayonnement solaire qui sont reçus au sol. En outre, nous avons discuté des applications énergétiques du rayonnement solaire, mettant en évidence son potentiel dans ce domaine.

Au second chapitre, nous exposons les relations liant la position du soleil, la latitude et l'angle horaire. Nous mettons en évidence les différentes procédures de calcul de l'irradiation globale sur une surface horizontale hors atmosphère et sol pour quelques sites algériens. Nous avons proposé le modèle de type d'Angstrom-Prescott pour l'évaluation de l'irradiation au sol.

Introduction.

Le troisième chapitre est consacré aux résultats obtenus en utilisant le modèle proposé et une comparaison entre les résultats trouvés et ceux mesurés.

Chapitre I
***Généralités sur le rayonnement
solaire***

I-1- Introduction

Dans ce chapitre on parlera de certaines notions fondamentales sur notre étoile (le soleil), ses dimensions, ses couches, l'origine de l'énergie qu'elle rayonne, la nature de cette énergie et sa répartition à la limite extérieure de l'atmosphère terrestre, ainsi on verra l'histoire de formation de notre globe (la terre). Son atmosphère, sa composition, ses zones, son effet sur le rayonnement solaire et les phénomènes optiques qui en résultent ainsi que la distribution de ce rayonnement au sol. [2]

I.2. Le Soleil

I-2-1. Définition

Le Soleil est une étoile, la seule du système solaire, et la plus proche de nous. La plus proche après elle est Proxima du Centaure, située à 4,2 années lumières du Soleil. Le soleil reste jusqu'à présente la plus importante source d'énergie malgré la distance considérable qui le sépare de la terre (149.6×10^6 de kilomètres). Il s'agit d'une immense sphère lumineuse composée principalement de gaz ionisé, et du plus grand corps céleste du système solaire. Il est si grand qu'il pourrait contenir plus d'un million de planètes Terre. [3]

I-2-2 Carte d'identité du Soleil

Le soleil est une étoile de type spectral (couleur jaunâtre, correspondant à une température de surface légèrement inférieure à 6000 K), située à environ 150 millions kilomètres de la terre, il se présente sous la forme d'un disque assez homogène et apparaît sous un angle d'un peu plus d'un demi degré.

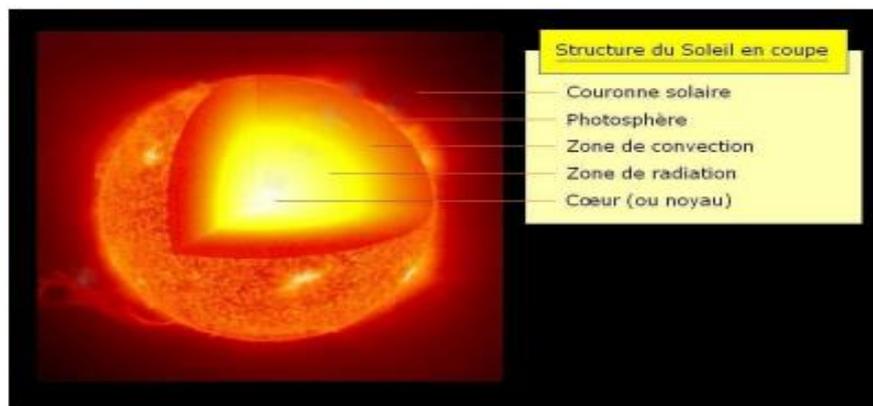


Figure I.1 coupe schématique du soleil . [5]

- **Composition** : Le soleil est composé (en masse) de 75 % d'hydrogène, de 25 % d'hélium et de presque 0,1 % d'éléments plus lourds que l'hélium (ou métaux). En nombre d'atomes, cela correspond à 92,1 % d'hydrogène et 7,8 % d'hélium. Les proportions sont différentes selon la région considérée : en surface les proportions sont (en masse) 70 % d'hydrogène, 28 % d'hélium et 2 % de métaux. Mais dans les régions centrales, les calculs montrent que 35 % seulement d'hydrogène et de 63 % d'hélium. Une différence qui provient de ce que depuis sa formation, il y a 4,57 milliards d'années, le soleil a consommé à peu près la moitié des réserves d'hydrogène présentes dans son noyau ; ce qui le place donc à peu près à la moitié de sa vie.

- **Diamètre** : Le soleil a un diamètre de 1,392 millions de kilomètres. Il atteint les 109 diamètres terrestres (ce qui correspond à une surface 12 000 fois plus importante que celle de notre planète, et à un volume 1,3 millions de fois supérieur). Ajoutons que notre étoile, masse fluide en rotation, n'est pas exactement sphérique.

- **Masse** : La masse de notre étoile est de 330 432 fois celles de la terre, soit quelque chose de l'ordre de $1,99 \times 10^{30}$ kg. A lui seul, le soleil représente 99,8 % de la masse du système solaire. Cette masse diminue progressivement au cours de l'évolution de l'étoile : dans une petite proportion (perte de 4 millions de tonnes par seconde), cela est dû à la conversion de masse en énergie responsable du rayonnement solaire.

- **Densité** : La connaissance de la masse et des dimensions du soleil permet de déduire la densité. Celle-ci est d'environ 1,41 kg/litre. Ce qui signifie qu'un litre de soleil a une masse de 1,41 kg. Comparée à celle de la terre, la densité du soleil est de 0,256.

Température : La température du soleil est variable selon la région considérée. Au centre elle dépasse les 15 millions de kelvins. En surface (photosphère), la température effective vaut 5785 K. Mais la couronne correspond à des températures pouvant dépasser le million de degrés.

- **Rotation** : Le soleil tourne sur lui-même autour d'un axe incliné de $7,5^\circ$ par rapport à la perpendiculaire de l'écliptique. La période de rotation de cette masse fluide qu'il représente varie en fonction de la latitude. Les régions équatoriales font un tour en 25,6 jours ; à la latitude de 60° , la rotation dure 30,9 jours ; et elle est de 36 jours au voisinage des pôles. Le soleil n'est pas une sphère homogène. [4]

I-2-3 La composition interne du soleil

-Le noyau : c'est le cœur du soleil, sa température est très élevée (15×10^6 K) ainsi que sa pression (2×10^{11} bars) et sa densité ($\sim 105 \text{ Kg m}^{-3}$), on note que cette dernière diminue avec l'éloignement au centre. L'énergie produite au sein du noyau se propage par diffusion radiative puis par convection turbulente jusqu'à la photosphère d'où elle s'échappe sous forme de rayonnement électromagnétique vers l'espace. [5]

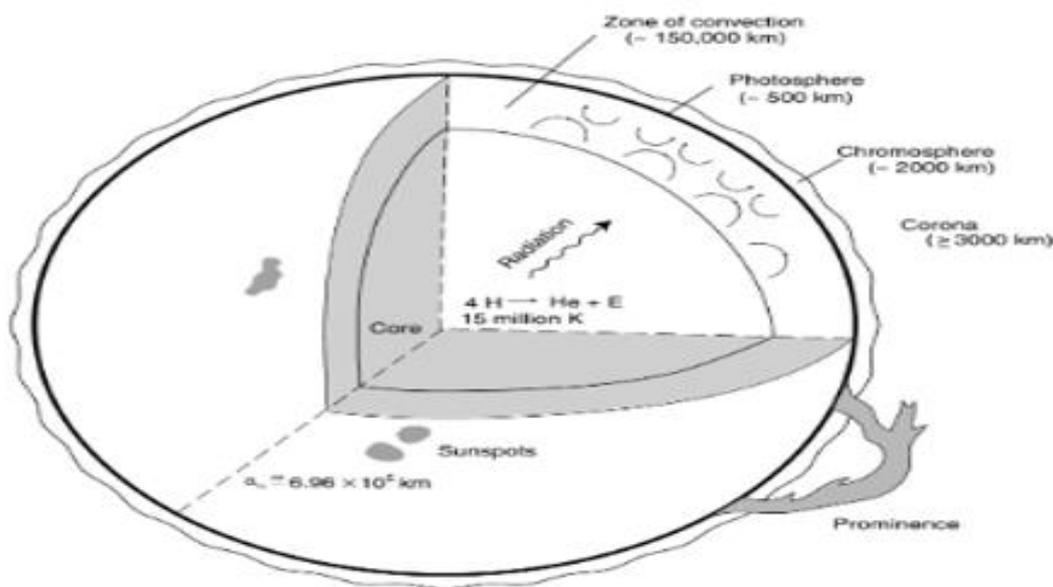


Figure I.2 coupe schématique du soleil . [5]

La photosphère : est une couche d'environ 300 Km d'épaisseur avec une température de 5770 K. Elle donne l'image visible du soleil.

- La chromosphère : est l'atmosphère du soleil. Elle a une épaisseur d'environ 8 000 Km et une température de 20 000 K environ.
- La couronne : est le prolongement de la photosphère. Sans limite précise, elle est formée de gaz peu denses et ionisés. Invisible depuis la terre, car son éclat (brillance) se confond avec celui du ciel bleu. Elle ne peut être observée que pendant une éclipse solaire. Sa température est très élevée puisqu'elle dépasse le million de degrés.

Le soleil est composé chimiquement de 70 % d'hydrogène et d'environ 28 % d'hélium et le 2 % restant étant mélange de plus de 100 éléments, soit pratiquement tous les éléments chimiques connues. [5]

I-2-4. La constante solaire

La constante solaire est le flux énergétique reçu par une surface unité. Dans notre cas, la valeur qui a été retenue est : $I_0 = 1367 \text{ W/m}^2$ et qui correspond au spectre de l'Air-Masse 0. I_0 est variable autour de l'année puisque la distance Terre/Soleil est elle-même variable (Trajectoire elliptique). La correction terre-soleil est donnée par [6]:

$$C_{t-s} = 1 + 0.034 \cos \left(\frac{360}{365} (n - 2) \right) \quad (I. 1)$$

n : numéro du jour à partir du 1^{er} Janvier.

La constante solaire corrigée est :

$$I = I_0 C_{t-s} \quad (I. 2)$$

I-3. Le rayonnement solaire

Le soleil émet en permanence, dans toutes les directions de l'espace, des rayonnements électromagnétiques composés de « grains » de lumière appelés photons. Ces rayonnements se propagent à la vitesse de la lumière C ; il lui faut donc, en moyenne, 499 secondes, soit 8 minutes et 19 secondes, pour atteindre notre atmosphère.

La terre capte dans sa haute atmosphère une énergie d'environ 1367 w/m^2 , relativement indépendante du lieu où l'on est sur la terre. Ces 1367 w/m^2 vont être absorbés partiellement par l'atmosphère. Pour que la terre capter cette énergie, les rayons lumineux doivent être perpendiculaire à la surface de l'atmosphère et ne dépend pas pratiquement que de l'épaisseur de l'atmosphère traversée (de l'ozone, de la vapeur d'eau, du CO_2 .), et donc essentiellement de l'altitude et du lieu où l'on est. [5]

I.3.1. Origine et nature de rayonnement solaire

Energie « humainement » inépuisable C'est une gigantesque bombe thermonucléaire dont la puissance, émise sous forme de photons, représente un chiffre considérable : $3,82.10^{26}$ Watts.

C'est le résultat de la combustion de 596 millions de tonnes par seconde d'hydrogène convertis en 592 millions de tonnes par seconde d'hélium.

La perte, 4 millions de tonnes/seconde, se traduit sous forme de rayonnement gamma. Chaque cm² de sa surface émet une énergie de 6 kilowatts.

Mais il n'arrive sur Terre que 5 milliardièmes (5.10⁻⁹) de cette puissance. Cette pile thermonucléaire fonctionne grâce à la transformation de 4 noyaux d'atomes d'hydrogène qui fusionnent pour fournir 1 noyau d'atome d'hélium avec la libération d'une énergie de 25 000 mégawatts par gramme et par seconde (100 milliards de bombes à hydrogène de 1 mégatonne).

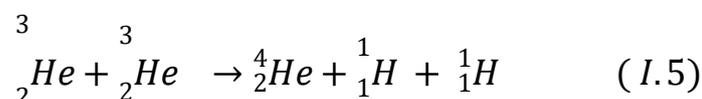
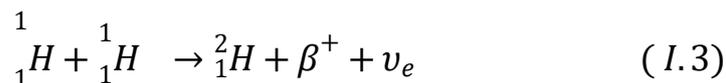
Cette énergie provient du centre. La pression comprime les noyaux d'hydrogène et permet ainsi la fusion. Il ne faut pas confondre la fusion avec la fission, qui casse les noyaux dans une bombe atomique. La fusion d'un gramme d'hydrogène libère 140 milliards de calories, la calorie étant la quantité de chaleur nécessaire pour faire passer un gramme d'eau de 15°C à 16°C. Cela correspond à 0,14 W/cm².

Le transfert d'énergie du centre vers la surface s'effectue par rayonnement et par convection. La zone de convection est limitée par la photosphère, épaisse de 200 km, et appelée ainsi parce que presque la totalité du rayonnement visible provient d'elle. Elle a une apparence granuleuse, provoquée par la turbulence de la partie supérieure de la zone de convection. La taille d'une granule peut dépasser celle de la France et la durée de vie peut aller de 10 minutes à plus de 10 heures, selon la taille. [7]

Deux cycles ont été imaginés par les astrophysiciens pour décrire les étapes conduisant à cette fusion.

I.3.2 Le cycle Proton –Proton

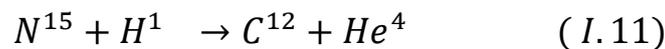
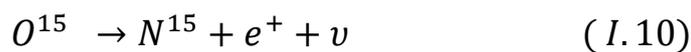
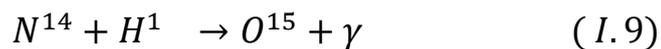
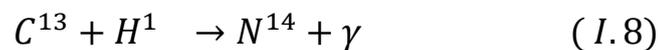
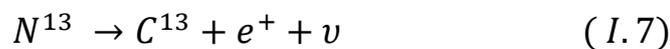
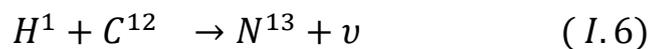
Le cycle proton -proton fournit 90% de l'énergie solaire. Les réactions nucléaires régissant ce cycle sont données par les équations suivantes :



La notation 1_1H représente le noyau de l'atome d'hydrogène 1, c'est-à-dire un proton. Il y a émission de positrons β^+ (rayonnement bêta), de neutrinos ν_e et de photons γ (rayonnement électromagnétique). [8]

I.3.3 Le cycle du carbone -azote-oxygène:

Le cycle de Carbone fournit les 10% restants de l'énergie solaire a été découvert par Hans Bethe et Carl von en 1938. Les réactions faisant intervenir le carbone et l'azote forment un cycle; celui-ci reste répétitif tant que subsiste la présence de l'hydrogène : la série de transformations est représentée par les réactions ci-dessous :



Ce cycle peut être schématisé par le diagramme ci-dessous.

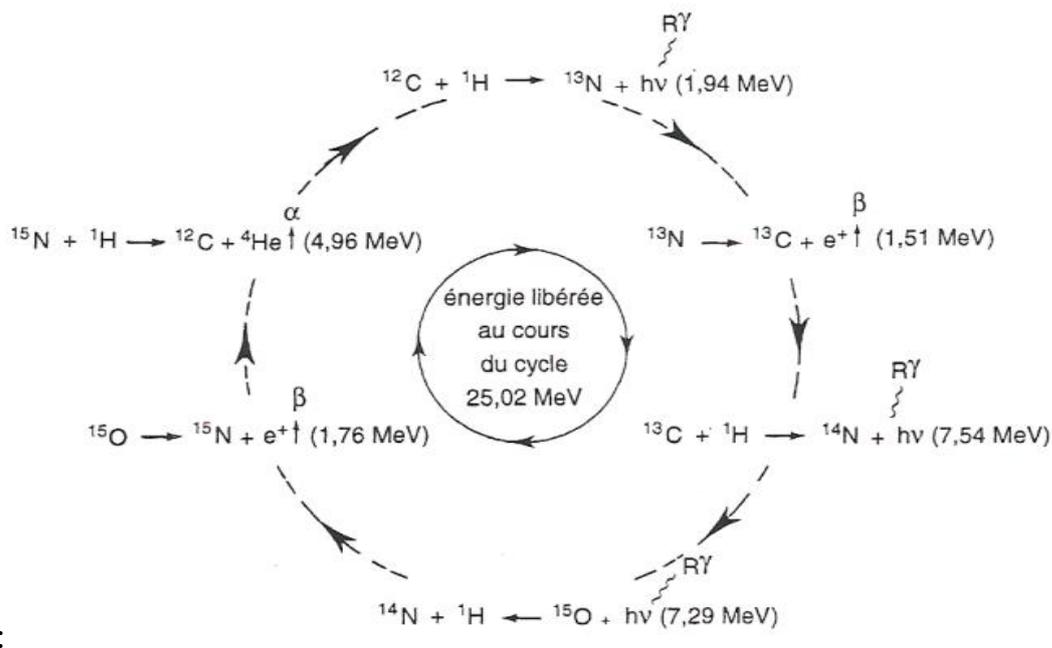


Figure I.3 Diagramme de cycle du carbone. [8]

I.3.4 Le spectre du rayonnement extraterrestre

Le spectre de rayonnement solaire peut être divisé en trois régions principales : l'ultraviolet (UV), le visible et l'infrarouge (IR). L'UV est subdivisé en trois bandes : l'UVC (100-280 nm), l'UV-B (280-315 nm) et l'UV-A (315-400 nm). Le visible est la région du spectre qui peut être perçue par l'œil humain et se situe entre 400 et 700 nm. L'IR est subdivisé en deux bandes : l'IR à ondes courtes (700-2500 nm) et l'IR à ondes longues (2500-4000 nm). La connaissance du spectre de rayonnement solaire est importante pour la conception et l'optimisation des systèmes solaires thermiques et photovoltaïques, ainsi que pour l'évaluation des risques liés à l'exposition aux UV. [5]

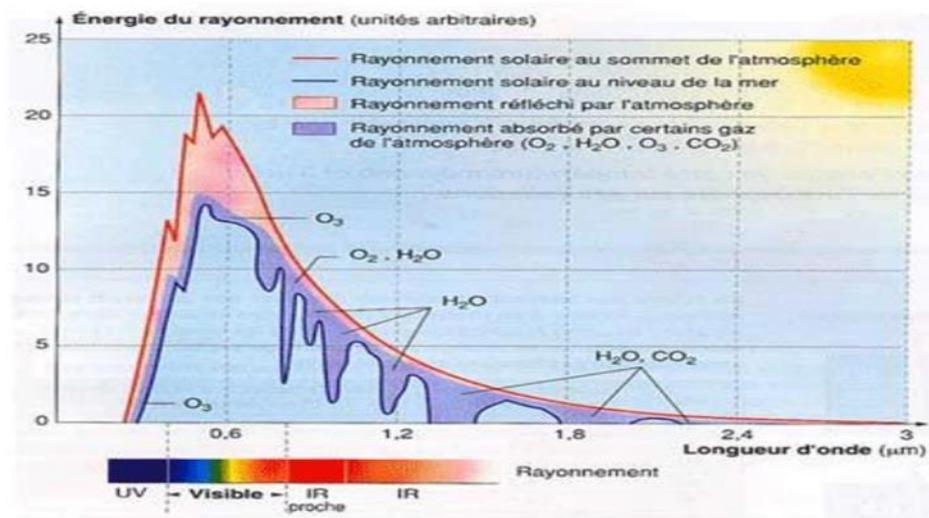


Figure I.4 Spectre du rayonnement solaire. [9]

I.4. Influence de l'atmosphère terrestre sur le rayonnement solaire

I.4.1. Structure de l'atmosphère

I.4.1.1. La composition de l'atmosphère terrestre

La composition de l'atmosphère est à peu près la même pour les trois premiers couches : 78% d'azote, 21% d'oxygène, 0,9% d'argon, 0,03% de CO₂ et des traces d'autres 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 dure. [9]

I.4.1.2 Régions atmosphériques

L'atmosphère terrestre est divisée en plusieurs couches caractérisées entre autres par leur profil thermique vertical (ou profil vertical de température), c'est-à-dire par la façon dont la

température de l'air y croît, décroît ou reste constante lorsqu'on s'élève en altitude. On distingue, à partir de la surface :

1-La troposphère

S'étendant jusqu'à une altitude d'environ 10 km (7 km aux pôles et 15 km dans la zone équatoriale), la troposphère constitue la couche atmosphérique qui renferme 80% de la masse totale de l'atmosphère. C'est dans cette région que se déroulent la plupart des processus météorologiques et chimiques.

La température diminue en moyenne de 6,5°C par kilomètre, en raison d'un phénomène physique connu sous le nom de détente adiabatique, qui se produit jusqu'à la tropopause. Cette détente adiabatique favorise un mélange efficace de l'air grâce à des cellules de convection actives.

Le temps de dilution de l'air dans la troposphère est d'environ 3 ans.

2-la stratosphère

La stratosphère s'étend jusqu'à environ 50 km d'altitude. Elle renferme la majeure partie de l'ozone. La formation de l'ozone dans cette région est exothermique, ce qui engendre une inversion de température avec une augmentation constante jusqu'à atteindre un maximum à la stratopause. Cette structure thermique verticale extrêmement stable limite considérablement les mouvements verticaux de l'air, expliquant ainsi pourquoi la stratosphère est organisée en couches horizontales, conformément à son nom.

Les mouvements atmosphériques y sont principalement horizontaux. En raison de l'absence de nuages et de précipitations, les particules résident dans la stratosphère pendant une durée très longue.

3-la mésosphère

Elle se trouve juste au-dessus de la stratosphère. Dans cette couche, la température recommence à décroître avec l'altitude pour atteindre un minimum de -80 degrés Celsius à une altitude d'environ 80 kilomètres. Les poussières et particules qui proviennent de l'espace (les météores) s'enflamment lorsqu'elles entrent dans la mésosphère à cause de la friction de l'air. [10]

4-la thermosphère

Située au sommet a sa température contrôlée par l'absorption du rayonnement solaire ultraviolet dur et X, et varie beaucoup suivant l'activité solaire et l'alternance jour-nuit. Cette dernière couche peut également être appelée ionosphère ou exosphère. [11]

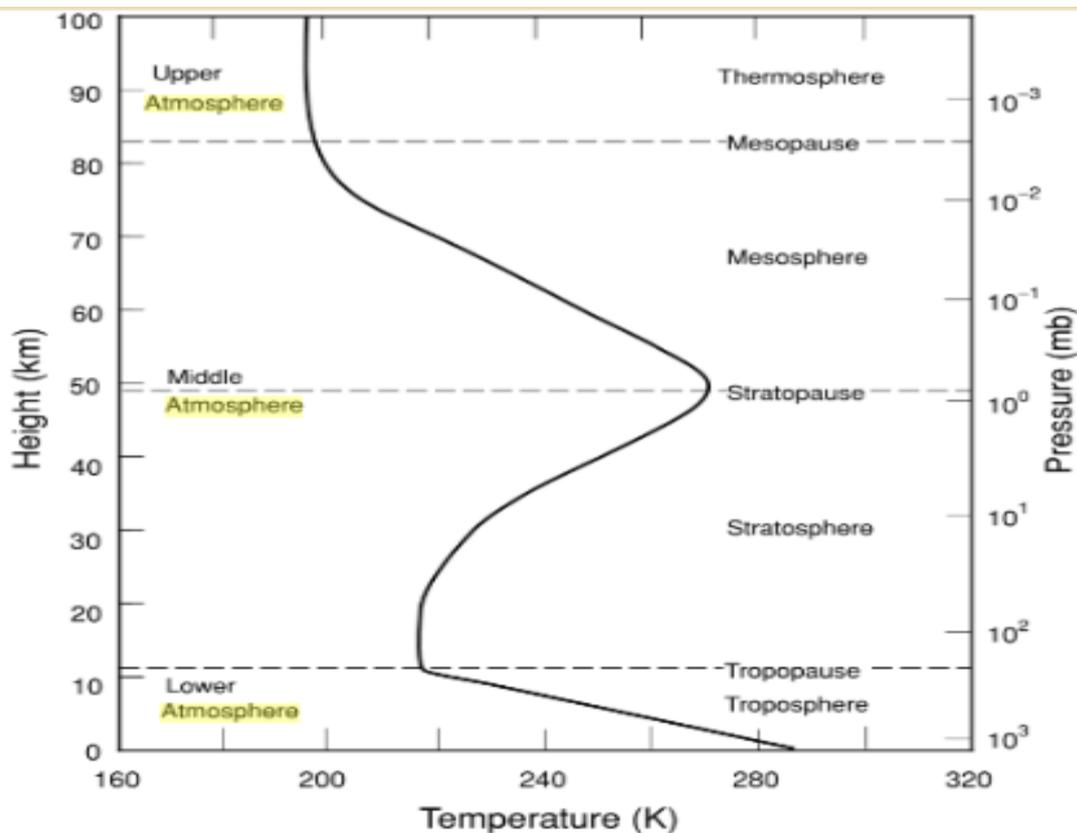


Figure I.5 la structure verticale de l'atmosphère. [5]

I-4-2. La masse d'air

La masse gazeuse totale traversée est de 10 tonnes/m^2 , elle équivaut à 7,8 km d'atmosphère ramenée aux conditions de température et de pression dites normales : $T=0 \text{ C}^\circ$; $P=1013 \text{ mbar}$. Si ces gaz étaient tous ramenés aux conditions normales, en aurait 6,2 km d'azote, 1,7 km d'oxygène, 74 m d'argon, 30 m de vapeur d'eau, 24 m de CO_2 , 14 cm de Néon, 4 cm d'Hélium, quelque mm de Krypton, de méthane de NO et de NO_2 et seulement 5 mm d'ozone.

Prenant pour référence unitaire, l'épaisseur verticale de l'atmosphère moyenne réduite à 7,8 km (conditions dites normales), supposant cette couche plane et stratifiée horizontalement, la

longueur du trajet rectiligne d'un rayon lumineux incliné d'un angle h par rapport à l'horizontale sera donnée par la forme :

$$OM = \frac{OA}{\sin h} \quad (I.3)$$

La longueur du rayon qui traversée l'atmosphère, pour tenir compte de la position relative du soleil qui modifie l'épaisseur d'atmosphère traversée, on introduit le nombre d'air masse défini par :

$$m = \frac{p}{1013} \frac{1}{\sin h} * \exp\left(\frac{-z}{7.8}\right) \quad (I.4)$$

Avec :

p (hPa ou mbar) : pression,

h (degré) : élévation du soleil sur l'horizon (90° au zénith),

z (Km) : altitude. Dans les conditions normales et au niveau de la mer (ou $z=0$ Km, $p=1013$ hPa ou mbar), on obtient l'expression suivante :

$$m = \frac{1}{\sin h} \quad (I.5)$$

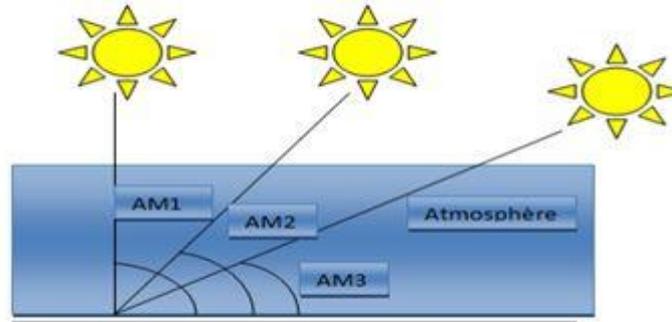


Figure 1.6 Masse d'air. [8]

On cite autres conditions tel que :

AM0 : Hors atmosphère à haute altitude, on définit les conditions AM0.

AM1 : Lorsque le soleil est au zénith, on dit que l'on a les conditions AM1 car les rayons lumineux traversent une épaisseur d'atmosphère unité (7.8 Km).

AM1,5 : Le nombre 1,5 indique que le parcours de la lumière dans l'atmosphère est 1,5 fois supérieur au parcours le plus court du soleil, c'est-à-dire lorsqu'il est au zénith. AM2 : On obtient les conditions AM2 lorsque le soleil est

situé à 30° sur l'horizon. Le groupe de physique du Solide du CNRS a établi des modèles d'irradiance spectrale pour n'importe quelles conditions. [3]

Tableau 1.2. indique les valeurs de la constante solaire en fonction du nombre d'air masse

M	0	1	1.5	2	3	4
E (W/m²)	1367	931	834	755	610	530

I-4.3-absorption de Le rayonnement solaire

L'atmosphère modifie le spectre du rayonnement solaire à travers les processus d'absorption par les différents gaz, la diffusion par les molécules d'air, les aérosols et les nuages.

a- L'absorption atmosphérique

L'absorption par les gaz atmosphériques est dite sélective, car elle n'affecte que des radiations de longueurs bien précises. Elle est due essentiellement à la vapeur d'eau (H₂O), à l'ozone (O₃), à l'oxygène (O₂) et au gaz carbonique (CO₂).

La vapeur d'eau qui est le constituant le plus important après l'air, présente plusieurs bandes d'absorption situées à des longueurs d'ondes supérieures à 0,65 µm. La bande allant de 2,4 à 2,8 µm est la plus large. De plus, à ce niveau, l'absorption est la plus forte. L'absorption propre à la vapeur d'eau est d'environ 10% .

L'ozone est le principal absorbant dans l'ultraviolet. Il est caractérisé par une forte bande absorption à des longueurs d'ondes inférieures à 0,3 µm et une faible absorption entre 0,45 et 0,7 µm.

L'oxygène a deux bandes étroites de faible atténuation dans le visible à 0,69 et 0,76 µm. Le gaz carbonique absorbe le rayonnement dans cinq bandes se trouvant respectivement à 1,46 ; 1,60 ; 2,04 ; 2,75 et 4,27 µm. [12]

b) La diffusion

La diffusion est une redistribution du rayonnement solaire qui interagit avec les molécules gazeuses, les gouttelettes et les aérosols dans toutes les directions sans changement de longueur d'onde. Selon la taille des particules diffusantes par rapport à la longueur d'onde du rayonnement incident, on distingue deux types de diffusion : la diffusion de Rayleigh et la diffusion de Mie.

La diffusion de Rayleigh affecte surtout les molécules d'air pur et sec comme l'azote et l'oxygène. C'est une diffusion sélective causée par les particules dont le diamètre est très inférieur à la longueur d'onde incidente. En moyenne, en prenant en compte la course du soleil et les différentes longueurs d'onde, environ 13% de rayonnement solaire incident subissent la diffusion de Rayleigh. Le coefficient d'extinction caractérisant ce type de diffusion est donné par la relation suivante :

$$k_r(\lambda) = 0.008735 * \lambda^{-4} \quad (I.6)$$

La diffusion de Mie désigne la diffusion par les particules dont la taille est de même ordre de grandeur que les longueurs d'onde, comme pour la vapeur d'eau et les aérosols. Le coefficient d'extinction s'écrit :

$$k_a(\lambda) = \beta * \lambda^{-\alpha} \quad (I.7)$$

Où α est lié à la taille des particules et varie entre 0 (pour les grosses particules) et 4 (pour les petites particules). La valeur moyenne pour les aérosols étant $\alpha = 1,3$.

Et β , le coefficient de trouble atmosphérique établi par Angström. Il représente la quantité aérosols présente dans l'atmosphère. Il vaut 0.02 pour un ciel très pur (bleu profond) et 0.2 pour un ciel pollué.

Les phénomènes d'absorption et de diffusion par les nuages réduisent considérablement le rayonnement reçu au sol surtout pour les longueurs d'ondes supérieures à 1 μm . Les nuages sont constitués des particules dont les dimensions sont notablement supérieures aux longueurs d'ondes ultraviolets et visibles. C'est ainsi que dans ce domaine du spectre solaire, la diffusion par les nuages est indépendante de la longueur d'ondes. Le taux d'atténuation par les nuages dépend essentiellement de leur épaisseur, leur nature et leur distribution dans le ciel. Une couche de nuages, aussi mince que possible peut renvoyer le rayonnement incident vers l'atmosphère. Quant à l'absorption du rayonnement par les nuages, elle est moins marquée. Les nuages les plus épais n'absorbent qu'environ 8 % de l'énergie incidente. [1]

I-4-4- Réfraction atmosphérique

La masse volumique de l'air diminue avec l'altitude, cette diminution entraîne une variation de l'indice de réfraction de l'air, qui engendre à son tour une déviation progressive des rayons lumineux qui suivent par la suite une trajectoire à concavité tournée vers le bas. C'est à cause de cette réfraction que la hauteur apparente du soleil est supérieure à sa hauteur

réelle (figure I-7). La durée du jour est influencée par les deux phénomènes de crépuscule et de réfraction atmosphérique [2].

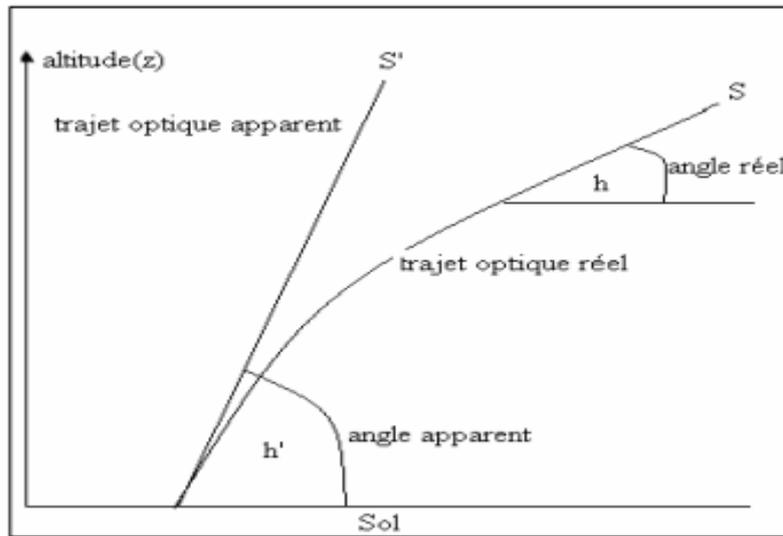


Figure I.7 Réfraction atmosphérique. [1]

I-5 Les composantes de rayonnement solaire reçus au sol

Le rayonnement solaire appelé également rayonnement électromagnétique émis par le soleil est grandement perturbé par l'atmosphère. Ce qui ne permet que la réception au sol des composants les plus importants et les plus actifs du rayonnement solaire total qui sont le rayonnement direct et le rayonnement diffus. La partie réfléchi (l'albédo) par le sol du rayonnement solaire global.

I.5.1. Le rayonnement direct

C'est le rayonnement solaire reçu directement du soleil, sans diffusion par l'atmosphère.

I.5.2. Le rayonnement diffus

C'est le rayonnement solaire diffusé par les différents gaz constituant l'atmosphère. Ce rayonnement est dû à l'absorption et à la diffusion d'une partie du rayonnement solaire par l'atmosphère et sa réflexion par les nuages, molécules d'air et poussières.

I.6 Rayonnement réfléchi (Albédo)

Il est défini comme la partie réfléchi par le sol. L'albédo du système Terre atmosphère est défini comme la fraction de l'énergie solaire qui est réfléchi vers l'espace. Sa valeur est comprise entre 0 et 1. Plus une surface est réfléchissante, plus son albédo est élevé. Les éléments qui contribuent le plus à l'albédo de la Terre sont les nuages, les surfaces de neige et de glace.

On peut citer par exemple l'albédo de la neige fraîche qui est de 0,87, ce qui signifie 87% de l'énergie solaire est réfléchi par ce type de neige. Un corps noir parfait, qui absorberait toutes les longueurs d'onde sans n'en réfléchir aucune, aurait un albédo nul, tandis qu'un miroir parfait, qui réfléchirait toutes les longueurs d'onde, sans en absorber une seule, aurait un albédo égal à 1.

I.7 Rayonnement global

Il est la somme du rayonnement direct et du rayonnement diffus ; la Figure 1.8 illustre les différents composants du rayonnement solaire au niveau du sol. [1]

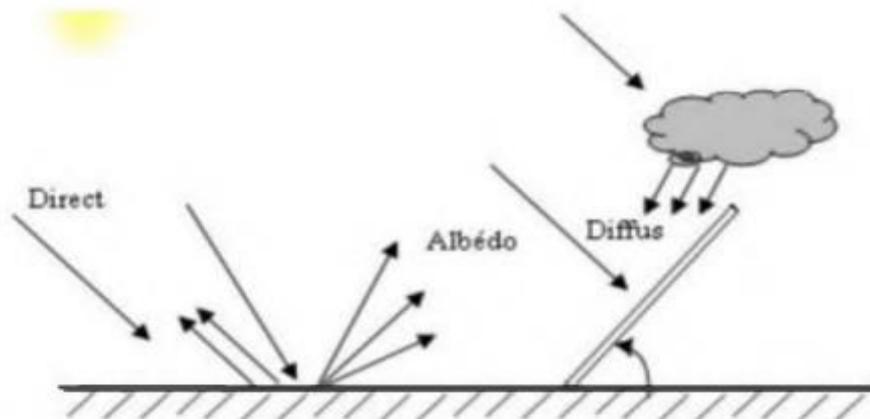


Figure I.8 composantes de rayonnement solaire reçus au sol. [13]

I-8Gisement 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. Il est utilisé dans des domaines aussi variés que l'agriculture, la météorologie, les applications énergétiques et la sécurité publique. De

par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde comme le montre la figure I-9. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara).

L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m² est de l'ordre de 5 KW h sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700 KWh/m² /an au Nord et 2263 kw h/m² /an au Sud du pays, Ce gisement solaire dépasse les 5 milliards de GWh.

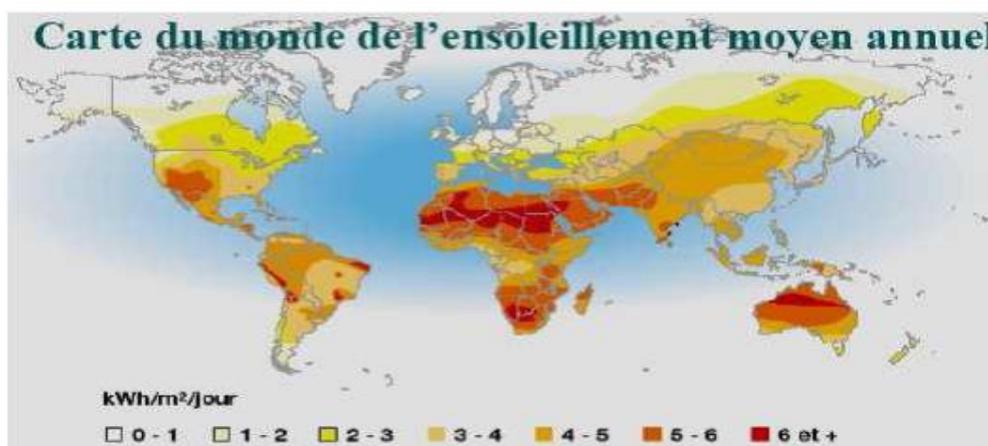


Figure I. 9 Carte de l'insolation mondiale montrant la quantité d'énergie solaire (en heures d'éclairage) reçue chaque jour par une surface présentant l'inclinaison optimale pendant le mois le moins ensoleillé de l'année. [13]

Suite à une évaluation par satellites, l'Agence Spatiale Allemande (ASA) a conclu, que l'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen, soit 169.000 TWh/an pour le solaire thermique, 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque. Le potentiel solaire Algérien est l'équivalent de 10 grands gisements de gaz naturel qui auraient été découverts à Hassi R'Mel. La répartition du potentiel solaire par région climatique au niveau du territoire Algérien est représentée dans le Tableau I.2 selon l'ensoleillement reçu annuellement. [12]

Tableau I.3. Le gisement solaire en Algérie

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

I.9. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté des notions importantes sur le gisement solaire, absorption de Le rayonnement solaire, la structure verticale de l'atmosphère, les coordonnées terrestres et horaires, les temps de base et le mouvement de la terre autour de soleil.

Ensuite, nous avons présenté les différents types de rayonnements et une vue générale sur l'irradiation en Algérie.

Chapitre II

Procédure de calcul de l'irradiation globale sur une surface horizontale

II-1. Introduction

Dans ce chapitre, nous avons donné quelques notions sur le mouvement de la terre et du soleil, et le repérage de la position du soleil, la latitude et l'angle horaire. En fin du chapitre on donnera la procédure de calcul de l'irradiation solaire globale sur une surface horizontale hors atmosphère et au sol pour quelques sites algériens.

II-2. Mouvement de la terre

II.2.1. Rotation de la terre autour de son axe

Rotation autour de l'axe des pôles (Pôle Nord, Pôle Sud) dans le sens trigonométrique. Ce mouvement est responsable de l'alternance entre le jour et la nuit. Le jour solaire est défini comme la durée moyenne entre deux passages consécutifs du soleil au méridien d'un lieu donné. Ce jour est divisé en 24 intervalles égaux appelés heures. La Terre effectue une rotation complète en environ 24 heures. [14]

II-2-2. Mouvement de la terre au tour du soleil

La trajectoire de la terre autour du soleil est une ellipse dont le soleil est l'un des foyers. Le plan de cette ellipse est appelé l'écliptique.

Le mouvement de la terre sur sa trajectoire est uniforme, la terre se déplace à v constante (une vitesse moyenne de 29.8 km/s soit 107280 km/h) avec une durée du parcours est d'une année, le déplacement de la terre sur sa trajectoire circulaire est donc d'environ 1° par jour ($360^\circ / 365 \text{ jours}$) le plan qui contient la trajectoire de la terre autour du soleil fait un angle de $23^\circ 27'$ avec le plan de l'équateur.

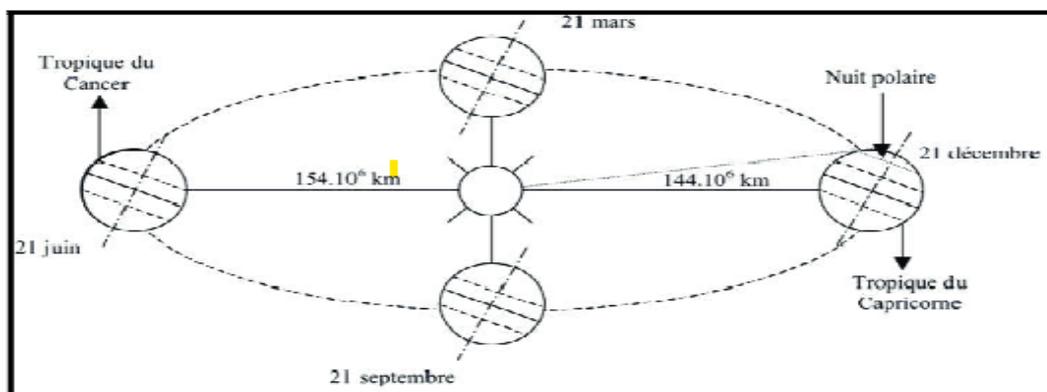


Figure II.1 Schématisation des mouvements de la terre autour du sol. [17]

Lors de son déplacement, l'axe des pôles de la terre reste parallèle à lui mouvement annuel de la terre autour du soleil s'apparente ainsi à un mouvement géométrique translation s'effectue sur une trajectoire circulaire.

Au solstice d'hiver (21 décembre): les rayons solaires frappent la terre avec un Angle de déclinaison de $-23^{\circ} 27'$, c'est la valeur minimum de la déclinaison.

Aux équinoxes de printemps :(21 mars) et d'automne (22 septembre)

le rayon solaire est dans le plan de l'équateur et la déclinaison vaut alors 0° , cette position traduit l'égalité des jours et des nuits.

Au solstice d'été (23 juin) : la position de la terre est opposée a celle du 21 décembre et le soleil frappe l'hémisphère Nord avec l'angle maximum de déclinaison de $23^{\circ} 27'$. [15]

II.3. Repérage d'un site à la surface de la terre (coordonnées géographiques)

Tout point de la surface de la terre est repéré par ses coordonnées géographiques

- La longitude (λ) est l'angle entre le plan méridien passant par ce lieu avec la méridienne origine de Greenwich, elle varie de -180° à $+180^{\circ}$ de l'ouest à l'est.
- La latitude (L) est l'angle avec le plan équatorial que fait le rayon joignant le centre de la terre à ce lieu, elle varie entre $+90^{\circ}$ au pôle Nord et -90° au pôle Sud.
- L'altitude (Z) correspond à la distance verticale entre ce point et une surface de référence, le géoïde, figurant le niveau moyen de la mer. [16]

II.4. Modélisation des paramètres géométriques et atmosphériques

II-4-1-La déclinaison (δ)

La déclinaison est l'angle que forme la direction du soleil et le plan équatorial, la déclinaison varie de façon sinusoïdale au cours de l'année (Figure II.1). [12]

- a- Plusieurs expressions ont été développées pour évaluer la déclinaison, la plus simple est :

$$\delta = 23.45 \times \sin(0.980(j + 284)) \quad (\text{II.1})$$

Où j est le numéro du jour de l'année de 1 à 365.

La figure suivante montre le changement de la déclinaison solaire en fonction du jour de l'année.

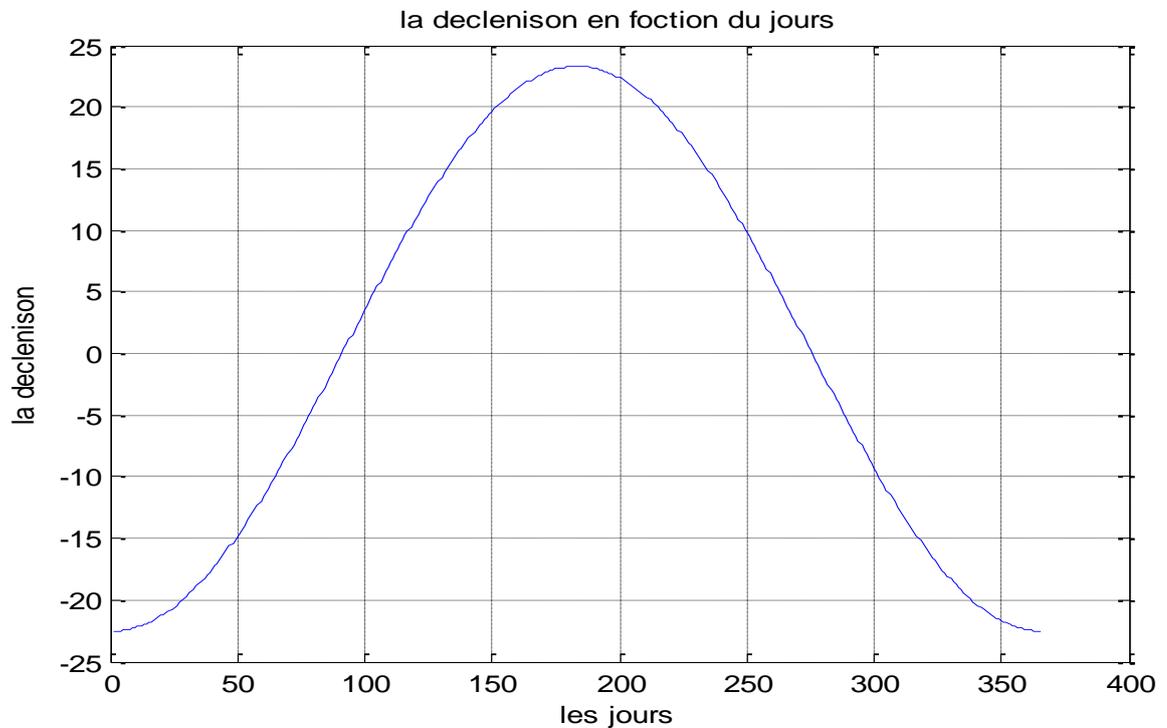


Figure II.2 Déclinaison solaire en fonction du jour de l'année formule II.1.

Expressions des différents paramètres intervenant dans le calcul et l'optimisation du rayonnement solaire :

b- La déclinaison journalière : par la formule (2) :

$$\begin{aligned} \delta = & \left(\frac{180}{\pi}\right) \times \left(0.006918 - 0.399912 \times \cos\left(\frac{2\pi(j-1)}{365}\right) + 0.070257 \times \right. \\ & \sin\left(\frac{2\pi(j-1)}{365}\right) - 0.006758 \times \cos\left(2 \times 2 \times \frac{\pi(j-1)}{365}\right) + 0.000907 \times \\ & \sin\left(2 \times 2 \times \frac{\pi(j-1)}{365}\right) - 0.002697 \times \cos\left(3 \times 2 \times \frac{\pi(j-1)}{365}\right) + 0.00148 \times \\ & \left. \sin\left(3 \times 2 \times \frac{\pi(j-1)}{365}\right) \right) \quad (\text{II.2}) \end{aligned}$$

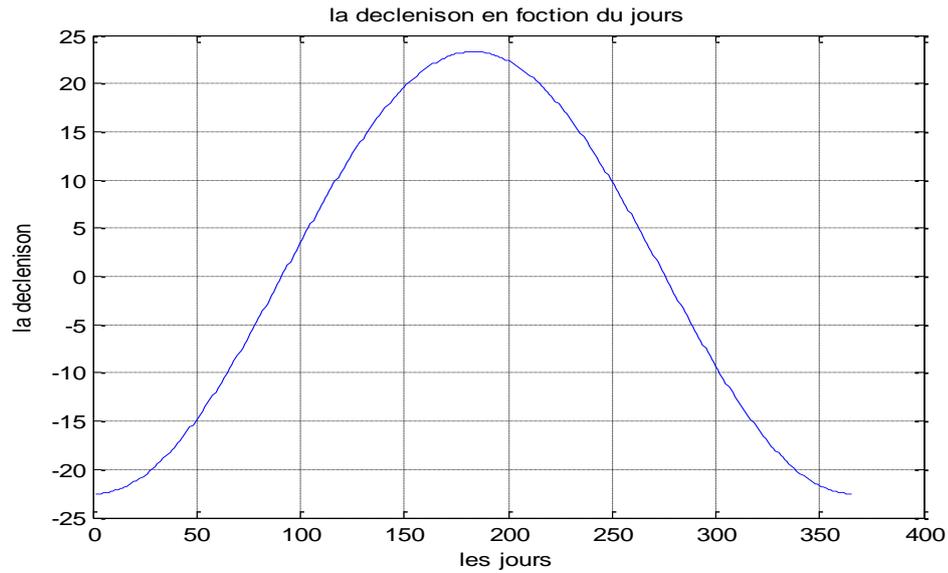


Figure II.3 Déclinaison solaire en fonction du jour de l'année formule II.2

c-Les valeurs de la déclinaison peut être calculée avec une précision en utilisons les deux formule et la moyenne des valeurs de la déclinaison.

Tableau II:1 les valeurs de la déclinaison de la moyenne de chaque mois.

Ville	jour de l'année	Delta avec la formule 2	Delta avec la formule 1	Delta moyenne
Jan	15	-21.2727	-21.5826	-21.4839
fév.	46	-12.9523	-13.9815	-15.9058
mar.	74	-2.4368	-3.7331	-6.15
Avre	105	9.4808	8.4877	5.59
May	135	18.6736	18.1258	15.9313
Juin	166	23.2859	23.1613	22,1095
juil.	196	21.6639	21.9793	22,41
aout	227	14.3005	14.8274	16,644
Sep	258	3.3430	3.6037	6,5909
oct.	288	-8.2177	-8.2354	-5,1619
nov.	319	-18.3031	-18.2086	-15,433
déc.	349	-23.2194	-23.1175	-21,42

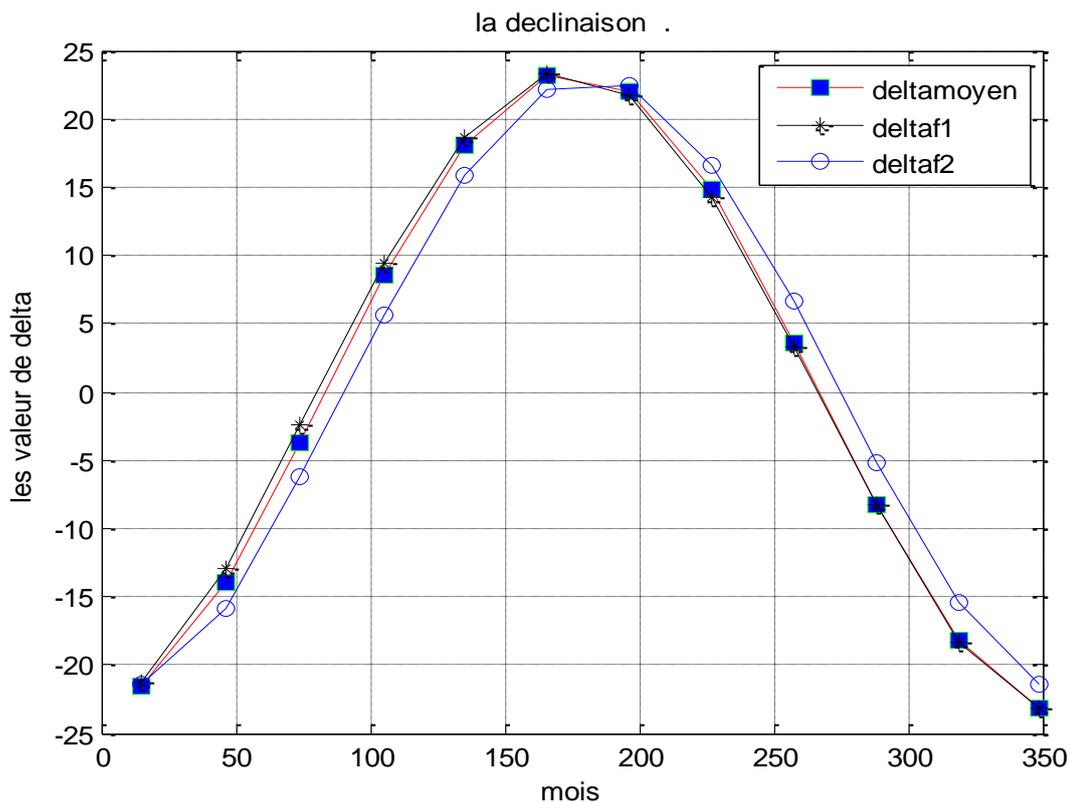


Figure II.4 Variation de la déclinaison court de l'année avec les deux formule et la valeur moyenne de delta de chaque mois .

II.4.2 : L'angle horaire w

L'angle horaire (encore note A_h) du soleil est l'angle formé par le plan méridien du lieu et celui qui passe par la direction du soleil si l'on prend comme origine le méridien de Greenwich, l'angle horaire est compris entre 0° et 360° . La valeur de l'angle horaire est nulle à midi solaire, négative le matin, positive dans l'après-midi et augmente de 15° par heure.

[14]

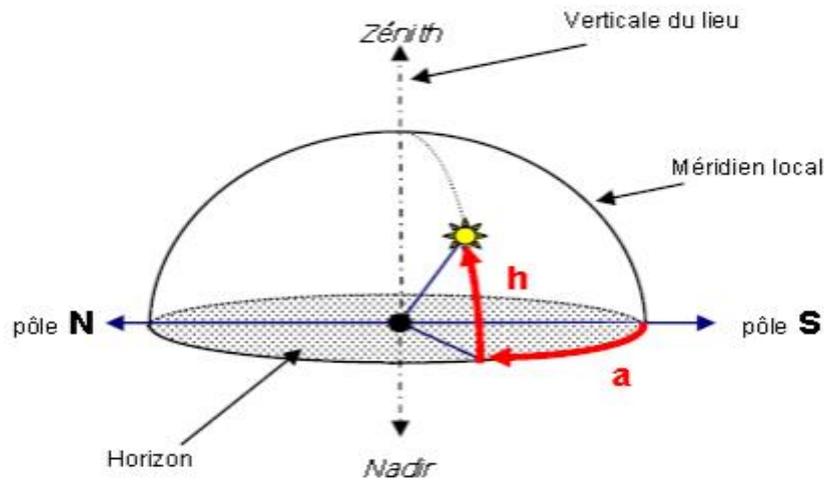


Figure II.6 Hauteur et azimut pour un observateur dans l'hémisphère Nord.

II. 4.4 : Relations de repérage du soleil

II.4.4.1 Formules liant la position du soleil, latitude et l'angle horaire

La position du soleil peut être connue (calculer) à l'aide de deux expressions, ce sont des fonctions de la déclinaison, la latitude, la hauteur et l'angle horaire ; ils ont les formules suivantes :

$$\sin(h) = \sin(l) \sin(w) + \cos(l) \cos(\delta) \cos(w) \quad (II. 3)$$

$$\sin(a) = \frac{\cos(\delta) \cos(w)}{\cos(h)} \quad (II. 4)$$

Avec :

l : latitude

δ : déclinaison du soleil

w : angle horaire

h : hauteur du soleil

a : azimut du soleil

II.4.5 La durée du jour

Lever et coucher du soleil : On s'intéresse ici à deux instants particuliers de la journée, le « lever » et le « coucher » du soleil donné par les équations (II.5) et (II.6). [18]

$$(TSV)_{\text{lever}} = 12 - \frac{w_s}{15} \quad (II. 5)$$

$$(TSV)_{\text{Coucher}} = 12 + \frac{w_s}{15} \quad (II.6)$$

L'angle solaire au lever ($-w_s$) et au coucher (w_s) est donné par l'équation suivante : ($\sin h = 0$ dans la relation (II.2))

$$\cos(w_s) = -\tan(\delta) \tan(l) \quad (II.7)$$

$$w_s = -\arccos(-\tan(\delta) \tan(l)) \quad (II.8)$$

La durée du jour (d) est donnée par l'expression suivante [II.5] :

$$d = \frac{2}{15} \arccos(-\tan(\delta) * \tan(l)) \quad (II.9)$$

II-5- Calcul de l'irradiation solaire globale sur une surface horizontale

II-5-1- L'irradiation solaire globale à la limite de l'atmosphère

En dehors de l'atmosphère le rayonnement solaire incident se réduit à sa composante directe. Pour un lieu donné le flux reçu par une surface horizontale est donné par :

$$I_{oh} = I_{CS} \sin(h) \quad (II.10)$$

I_{oh} = Flux sur une surface horizontale et pour une hauteur (h).

I_{CS} = La constante solaire.

Pour avoir l'irradiation solaire globale (H_0 : MJ/m². Jour) sur une surface horizontale à la limite supérieure de l'atmosphère on intègre l'expression précédente sur l'intervalle d'un jour (du lever au coucher du soleil). Ce qui donne le résultat suivant : [14]

$$H_0 = \left(\frac{1}{\pi}\right) \times C_s \times \left(1 + 0.033 \times \cos\left(360 \times \frac{j}{365}\right)\right) \times \left(\cos(La) \times \cos(\delta) \times \sin(\omega) + \frac{\pi}{180} \times \sin(La) \times \sin(\delta) \times \omega\right) \quad (II.11)$$

$$H_0 = \left(\frac{24I_0}{\pi}\right) * \left(1 + 0.033 * \cos\left(\frac{360J}{365}\right)\right) * Z \quad (II.12)$$

Le paramètre (Z) est donné par.

$$Z = (\cos l \cos \delta \sin w + 2\pi w * \sin l / 360) \quad (II.13)$$

J : est le jour de l'année (c.-à-d. J =1 pour le 1 er janvier).

II.5.2 L'irradiation journalière moyenne mensuelle hors atmosphère

Le jour type du mois : pour une grandeur donnée, le jour type du mois est le jour du mois qui se rapprochant de la moyenne mensuelle de cette grandeur.

La liste des jours types proposés par Klein est représentée sur le tableau suivant et les 15 jours de chaque mois :

Tableau II:3 Liste des jours types par mois proposés par Klein

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Jour type	17	16	16	15	15	11	17	16	15	15	14	10
15 jours	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
N° de jour	17	47	75	105	135	162	198	228	258	288	318	344

Pour calculer l'irradiation journalière moyenne mensuelle, on utilise l'équation (formule II.11)

Avec J : Le numéro de jour type du mois.

II.5.3 Taux d'ensoleillement

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'ensoleillement SS_0 . On appelle taux d'ensoleillement ou taux d'insolation le rapport entre la durée effective et la durée maximale d'ensoleillement. [19]

$$\sigma = SS/SS_0 \quad (II.14)$$

SS: La durée effective d'ensoleillement.

SS_0 : La durée maximale d'ensoleillement.

II. 6 Evaluation de l'irradiation globale

II.6.1. Procédures de calcul

Dans ce travail, les valeurs mesurées de l'irradiation solaire et de la durée d'insolation pour les sites algériens « Alger Oran et Tamanrasset » sont utilisées. Les coordonnées géographiques des sites sont présentées dans le Tableau :

Tableau II:4 Emplacement géographique des trois sites.

Site	Latitude (deg) (N)	Altitude (m)	Longitude (deg)
Alger	36,43	25	3,15E
Oran	35,63	109	0°38' O
Tamanrasset	22,47	1378	5,31 E

II.6.2-Relations linéaires

Les relations linéaires entre le rayonnement solaire quotidien ou mensuel et l'insolation sont les modèles les plus simples et les meilleurs pour estimer le rayonnement solaire à un niveau horizontal aux endroits où des stations de mesure sont disponibles, ils peuvent être appliqués dans des endroits avec le même climat et les valeurs mesurées ne sont pas disponibles. Les constantes de ces relations mathématiques sont des coefficients basés sur le climat de la région étudiée, et sont bien représentées par le modèle d'Angström, qui a été présenté dans la relation. Généralement c'est la relation d'Angstrom qui est préférée car la valeur de (H_0) est liée seulement au numéro du jour et la latitude. [11]

II.6.2.1 Modèle du type d'Angstrom-Prescott

Différents modèles ont été testé pour évaluer l'irradiation solaire sur une surface horizontale au sol. Dans ce travail on a utilisé le modèle du type d'Angstrom-Prescott .

La formule d'Angstrom a été employée dans des applications pratiques pendant plusieurs années pour estimer l'irradiation solaire globale quotidienne, mensuelle et annuelle à partir des mesures de la durée d'insolation. Cette formule, relie l'énergie globale moyenne sur un plan horizontal pour un jour quelconque avec nuage à l'énergie globale pour un jour clair selon la relation suivante : [20]

$$\frac{H}{H_0} = a_1 + b_1 \left(\frac{SS}{SS_0} \right) \quad (II. 15)$$

$$\frac{H}{H_0} = a_1 + b_1 \sigma \quad (II.16)$$

Tel que: a et b : sont des paramètres du modèle qui vont être déterminés par la méthode des moindres carrés à partir d'une base de donnée.

H_0 : L'irradiation solaire globale mensuelle hors atmosphère (MJ/m² .jour).

H : L'irradiation solaire mensuelle au sol (MJ/m² .jour).

Fraction d'insolation.

$$\sigma = (SS/SS_0) \quad (II.17)$$

$$SS_0 = \left(\frac{2}{15}\right) * w_C \quad (II.18)$$

w_C : :L'angle horaire.

L'expression de l'angle horaire peut être modifiée si on introduit les différentes définitions de la durée du jour :

$$w_C = \cos^{-1} \left(\frac{\sin(h_0) - \sin(l) \sin(\sigma)}{\cos(l) \cos(\sigma)} \right) \quad (II.19)$$

Ou h_0 : La hauteur du soleil à son coucher (ou lever).

II.7 Diffusion à travers les couches supérieures de l'atmosphère

II.7.1 Définition du crépuscule [4]

Le crépuscule correspond en premier lieu à une lueur dans le ciel qui suit le coucher du soleil ou qui précède son lever. Celle-ci est causée par l'éclairement des couches supérieures de l'atmosphère par le soleil déjà (ou encore) sous l'horizon. Le crépuscule du matin est appelé aurore ou aube. Par extension, le crépuscule est également un intervalle de temps qui précède ou suit immédiatement la traversée du plan de l'horizon par le soleil. Selon la latitude du lieu et le moment de l'année, le crépuscule peuvent également entièrement supplanter la nuit. Ainsi, dans les régions polaires, y a-t-il de longues nuits de plusieurs mois, qui sont aussi la plupart du temps de longs crépuscules. Bien sûr ces durées sont variables au fil de l'année parce que la course du soleil n'est pas toujours inclinée de la même façon.

Dans la pratique trois définitions du crépuscule sont couramment adoptées :

II.7.2 Le crépuscule civil

a été introduit pour définir le moment où la clarté a suffisamment baissé pour qu'il soit nécessaire de recourir à l'éclairage urbain. On a convenu ainsi qu'il dure tant que le soleil est situé à moins de 6° sous l'horizon, en tenant compte de la réfraction atmosphérique, qui élève celui-ci d'une hauteur approximative de $36''$, lorsqu'il est à l'horizon. Aux latitudes supérieures à environ 58° , il existe une période de l'année où le crépuscule civil du soir se termine exactement quand commence le crépuscule civil du matin, et pendant laquelle, il ne fait jamais complètement nuit. Ce moment si particulier nourrit l'imaginaire des pays nordiques sous le nom de *nuits blanches*.

II.7.3 Le crépuscule nautique

Dur tant que la position du soleil, corrigée de la réfraction atmosphérique, est supérieure à 12° sous l'horizon. On estime que c'est la condition pour que les formes générales des objets situés à terre (ou sur mer) puissent encore être distinguées par beau temps.

II.7.4 Le crépuscule astronomique

Dont la définition repose sur le besoin de situer le moment à partir duquel la nuit sera suffisamment noir pour offrir des conditions d'observation des astres optimales, dure tant que le soleil est situé à moins de 18° sous l'horizon, en tenant compte ici encore de la réfraction. Aux latitudes supérieures à environ 49° , il existe une période de l'année où le crépuscule astronomique du soir se termine exactement quand commence le crépuscule astronomique du matin, et pendant laquelle, il fait nuit, mais la nuit n'est pas totale, et l'on ne peut pas voir les étoiles les plus faibles. Le phénomène du crépuscule astronomique est sensible au solstice d'été.

II.8. Statistique et évaluation

La performance du modèle de rayonnement solaire étudié est également évaluée sur la base des scores statistiques et du coefficient de corrélation proposé par tels que l'erreur de biais moyen (MBE), la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (RMSE), le coefficient de corrélation (R) et moyenne des erreurs absolues (MAPE). Les expressions pour les paramètres statistiques susmentionnés c'est les plus populaire et plus utilisés qui sont :

RMSE : (Root Mean Square Error), la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne, RMSE fournit des informations sur la performance à court terme qui est une mesure de la variation des valeurs prédictives autour des données mesurées. Plus le RMSE est bas, plus l'estimation est précise elle est toujours positive :

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^N (H_{im} - H_{ical})^2 * 100 / H_{im}} \quad (II.20)$$

-MBE (MeanBiasError), erreur de biais moyen, MBE est une indication de l'écart moyen des valeurs prédites à partir des données mesurées correspondantes et peut fournir des informations sur la performance à long terme des modèles, plus la MBE est basse, meilleure est la prédiction du modèle à long terme. Une valeur MBE positive indique la quantité de surestimation dans l'irradiation solaire directe prédiquée et vice versa.

$$MBE = \sum_{i=1}^N (H_{im} - H_{ical}) / N \quad (II.21)$$

-MAE (Mean Absolute Error) : mesure l'ampleur moyenne des erreurs dans une série de prévisions, sans tenir compte de leur direction. Il mesure de précision pour les variables continues, son expression est donnée par : [8]

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |H_{im} - H_{ical}| * 100 / H_{im} \quad (II.22)$$

II.9. Appareils des mesures

Le pyrhéliomètre

a- Les pyrhéliomètres

mesurent le rayonnement direct. Ils comportent une ouverture réduite et une surface réceptrice qui doit être maintenue normale au rayonnement pas un système de poursuite automatiques. La surface sensible est un disque d'argent noirci placé à la base d'un tube muni d'un obturateur et d'un diaphragme limitant l'angle d'ouverture à 5.7° (le diamètre apparent du soleil et de 0.5°). Le tube est fixé sur une monture équatoriale. On mesure la température du disque d'argent à intervalles réguliers en ouvrant et en occultant alternativement l'entrée de l'appareil. [6]

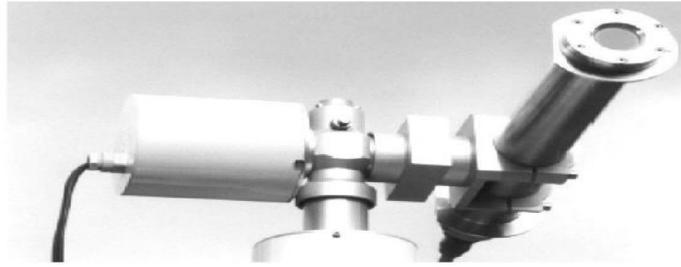


Figure II.7 Pyrhéliomètre :Appareil de mesure le rayonnement direct. [22]

b-Héliographe

L'héliographe est un instrument qui permet de mesurer la durée de l'insolation en un point de la surface de la planète .cet instrument est composé d'un boule de verre qui concentre le rayonnement solaire en un point d'un papier thermosensible. Au fil du temps une trace apparaît. La longueur de cette trace donne la durée d'ensoleillement.

c -Le pyranomètre

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 ($0.3 - 2.5\mu m$). L'appareil placé horizontalement grâce à un niveau à bulle, donne valeur de l'éclairement globale G. [21]



Figure II.8 Le pyranomètre. [11]

II.10. Conclusion

Nous avons présenté dans ce présent chapitre les notions essentielles sur le gisement solaire à savoir les coordonnées terrestres, le mouvement du soleil, différentes composantes du rayonnement solaire et autres.

L'irradiation solaire dépend de plusieurs facteurs tels que l'ensoleillement, la température, le lieu géographique, l'instant considéré dans la journée, et la nature des couches nuageuses. De nombreux travaux de recherche ont été développés sur l'estimation de l'irradiation solaire au sol pour faire le dimensionnement d'une installation solaire et prédire le rayonnement solaire, la connaissance du potentiel solaire pour faire des installations solaires thermiques du chauffage ou pour la production l'électricité oblige la meilleure mesurée des différents paramètres de l'irradiation, les divers appareils et instruments nécessaires pour réaliser les différentes mesures.

Chapitre III
Résultats et discussions

III.1. Introduction

Ce chapitre, est réservé pour les résultats obtenus par notre méthode de calcul de s valeurs de l'irradiation globale sur une Surface horizontale pour les trois sites (Alger ,Oran et Tamanrasset) ou nous avons utilisé le modèle d'Angstrom-Prescott puis on a comparé ces résultats avec d'autre mesurées.

III. 2. Calcul de l'irradiation solaire globale hors atmosphère

Les valeurs de l'irradiation solaire globale hors atmosphère (extraterrestre) peuvent être calculées en utilisant l'équation (II.2) pour les trois sites algériens.

Les résultats sont présentés sur ce tableau :

Tableau III.1 : Irradiation solaire globale hors atmosphère (MJ/m² jour).

Mois	Alger	Tamanrasset	oran
1	16.4801	24.4526	17.1202
2	21.9060	28.8308	22.4879
3	28.6432	33.6850	29.0986
4	35.7943	38.0626	36.0443
5	40.7910	40.5147	40.8415
6	43.1031	41.4248	43.0401
7	42.3051	41.1294	42.2831
8	38.4770	39.4530	38.6268
9	32.1942	35.9692	32.5577
10	24.9720	31.1204	25.5037
11	18.4142	26.0620	19.0382
12	15.2191	23.3728	15.8668

La figure (III.1) montre la variation de l'irradiation solaire globale hors Atmosphère pour Alger .

Elle atteint un maximum autour de 43 MJ/m²Jour , Pendant les mois d'été, et atteint un minimum autour de (15-16) MJ/m² Jour pendant les mois d'hiver.

Oran a un minimum autour de 16 MJ/ m² Jour pendant l'hiver, mais possède un maximum un peut inférieur 43 MJ/m² Jour.

Tamanrasset a un minimum autour de 23 MJ/Jour pendant l'hiver, mais possède un maximum un peut inférieur par rapport aux autres sites.

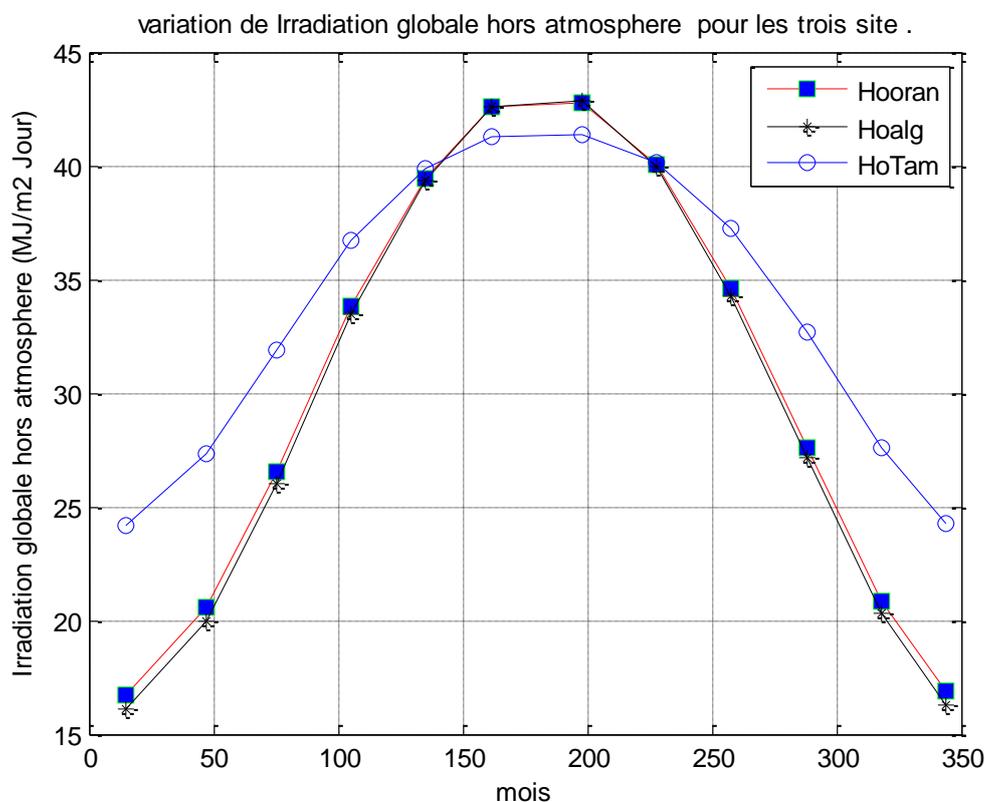


Figure III.1 Variation de l'irradiation globale hors atmosphère.

III.3. Application de modèle aux différents sites

Dans le cadre de cette étude, nous utilisons les valeurs moyennes mensuelles mesurées de l'irradiation solaire globale quotidienne et de la durée d'insolation quotidienne sur trois sites en Algérie, (Alger, Oran et Tamanrasset).

La durée d'enregistrement de la durée d'insolation est de 25 ans, tandis que celle de l'irradiation solaire globale est d'au moins 10 ans. Les mesures de l'irradiation solaire globale ont été réalisées à l'aide des pyranomètres de Robitzsh et Kipp-Zonen, tandisque les héliographes de Campbell-Stokes ont été utilisés pour mesurer la durée d'insolation.

Les mesures de la durée d'insolation nous permettent de calculer la fraction d'insolation en divisant la durée d'insolation par la durée astronomique du jour.

Tableau III.2. La fraction d'insolation pour les trois sites en Algérie est indiquée dans le Tableau

Station \ mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
Alger	0.48	0.56	0.60	0.61	0.71	0.71	0.80	0.74	0.74	0.62	0.51	0.49
Tamanrasset	0.78	0.81	0.84	0.77	0.76	0.69	0.75	0.77	0.73	0.77	0.81	0.79
Oran	0.53	0.53	0.64	0.63	0.69	0.69	0.80	0.79	0.72	0.66	0.53	0.53

III-2. 1. Application du modèle du type d'Angstrom-Prescott

Le tableau (III. 2) présente les coefficients des corrélations du modèle d'Angstrom Prescott (les a_1 et b_1) déterminées par la méthode des moindres carrés pour les Différentes définitions de la durée du jour.

Tableau III. 3 : latitude en (deg) pour les Différents sites.

Cite	L'atitude
Alger	$la=36^{\circ},71$
Oran	$la=35^{\circ},63$
Tamanrasset	$la=22^{\circ},78$

- Nous avons appliqué les relations précédentes pour faire notre calcul qui été résumé dans ces graphes :

➤ Pour Alger

La figure III.2 présent la variation de l'irradiation global hors atmosphère en fonction des mois pour H mesurée.

Tableau III. 4: les résultats de calcule la déclinaison = delta , Ho, H calculer, W(rad).

Mois	Delta	Ho	H calculer	W(rad)
JAN	-21.2727	16.4801	7.8942	1.2762
FEV	-12.9523	21.9060	11.0357	1.3985
MAR	-2.4368	28.6432	14.7843	1.5391
AVR	9.4808	35.7943	18.5861	1.6956
MAI	18.6736	40.7910	22.4431	1.8255
JUI	23.2859	43.1031	23.7152	1.8975
JUIL	21.6639	42.3051	24.1926	1.8715
AOU	14.3005	38.4770	22.2416	1.7620
SEP	3.3430	32.1942	18.0120	1.6144
OCT	-8.2177	24.9720	13.0440	1.4629
NOV	-18.3031	18.4142	8.9917	1.3216
DEC	-23.2194	15.2191	7.3373	1.2452

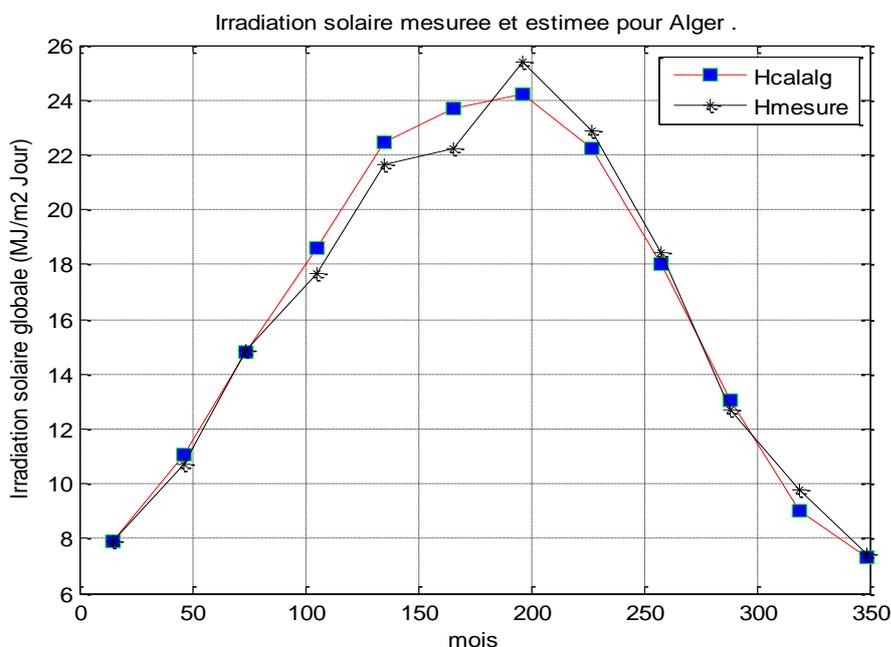


Figure III.2 L'irradiation solaire mesurée et estimée pour Alger par le modèle de type d'Angström –Prescott

Les résultats de calcul de (H_{calcul}) l'irradiation solaire globale pour ALGER qui présenté dans les figures (III.2) est très proche à ($H_{mesuré}$) pour la période de janvier jusqu'au moi de mai ainsi que pour le période d'aout à décembre.

un écarte remarquable dans ces mois " juin , juillet ".

➤ Pour Oran

La figure III.3 présent la variation de l'irradiation global hors atmosphère en fonction des mois pour H mesurée.

Tableau III. 5 : les résultats de calcule la déclinaison = delta , Ho, H calculer, W(rad).

mois	Delta	Ho	H calculer	W(rad)
JAN	-21.2727	17.1202	9.4263	1.2880
FEV	-12.9523	22.4879	12.3818	1.4052
MAR	-2.4368	29.0986	16.1074	1.5403
AVR	9.4808	36.0443	20.9088	1.6908
MAI	18.6736	40.8415	24.4143	1.8155
JUI	23.2859	43.0401	25.7286	1.8844
JUIL	21.6639	42.2831	26.6476	1.8595
AOU	14.3005	38.6268	24.2295	1.7545
SEP	3.3430	32.5577	19.7504	1.6127
OCT	-8.2177	25.5037	15.0200	1.4671
NOV	-18.3031	19.0382	10.4824	1.3314
DEC	-23.2194	15.8668	8.7362	1.2583

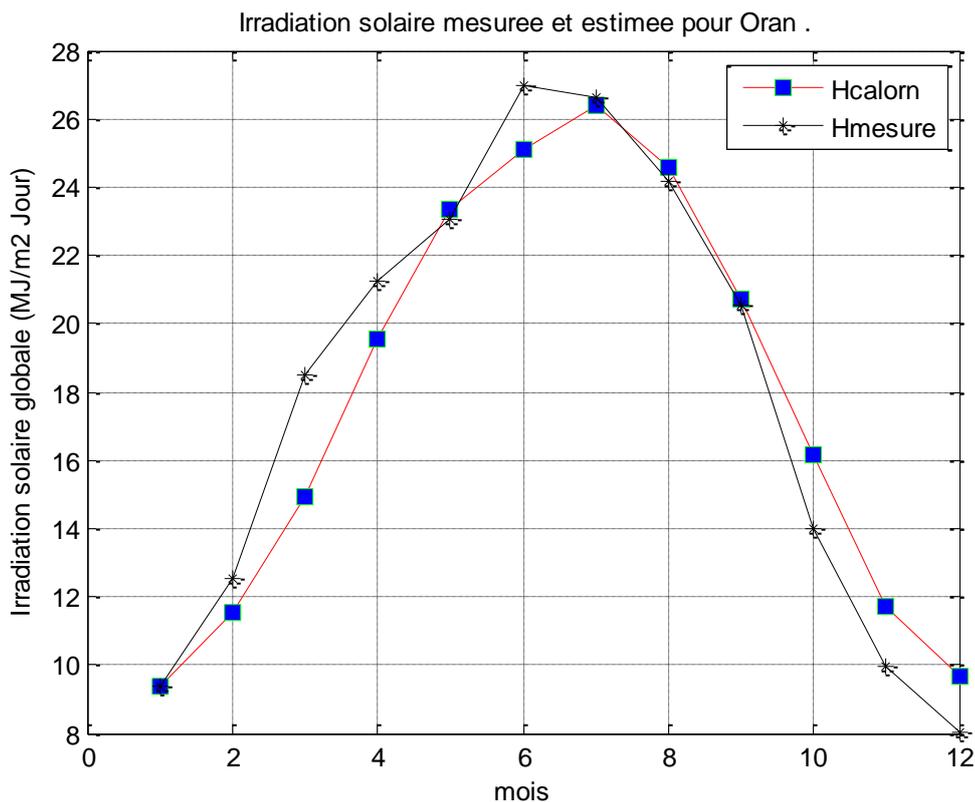


Figure III.3 la variation de l'irradiation global pour Oran

Les résultats de calcul de (H_{calcul}) l'irradiation solaire globale pour **Oran** qui présenté dans les figures (III.3) est très proche à ($H_{mesuré}$) pour janvier . mai ainsi pour les période de juillet aout à septembre .

un écarte remarquable dans ces mois "mares avril. Juin. octobre novembre et décembre .

➤ Pour Tamanrasset

La figure III.4 présente la variation de l'irradiation globale hors atmosphère en fonction de mois pour H mesurée.

Tableau III. 6 : les résultats de calcul de la déclinaison = delta , Ho, H calculer, W(rad).

Mois	Delta	Ho	H calculer	W(rad)
JAN	-21.2727	24.4526	16.9775	1.4066
FEV	-12.9523	28.8308	20.5463	1.4741
MAR	-2.4368	33.6850	24.6239	1.5529
AVR	9.4808	38.0626	26.1941	1.6410
MAI	18.6736	40.5147	27.6337	1.7132
JUI	23.2859	41.4248	26.4805	1.7525
JUIL	21.6639	41.1294	27.8014	1.7384
AOU	14.3005	39.4530	27.1509	1.6780
SEP	3.3430	35.9692	23.8732	1.5953
OCT	-8.2177	31.1204	21.4165	1.5101
NOV	-18.3031	26.0620	18.5732	1.4314
DEC	-23.2194	23.3728	16.3707	1.3896

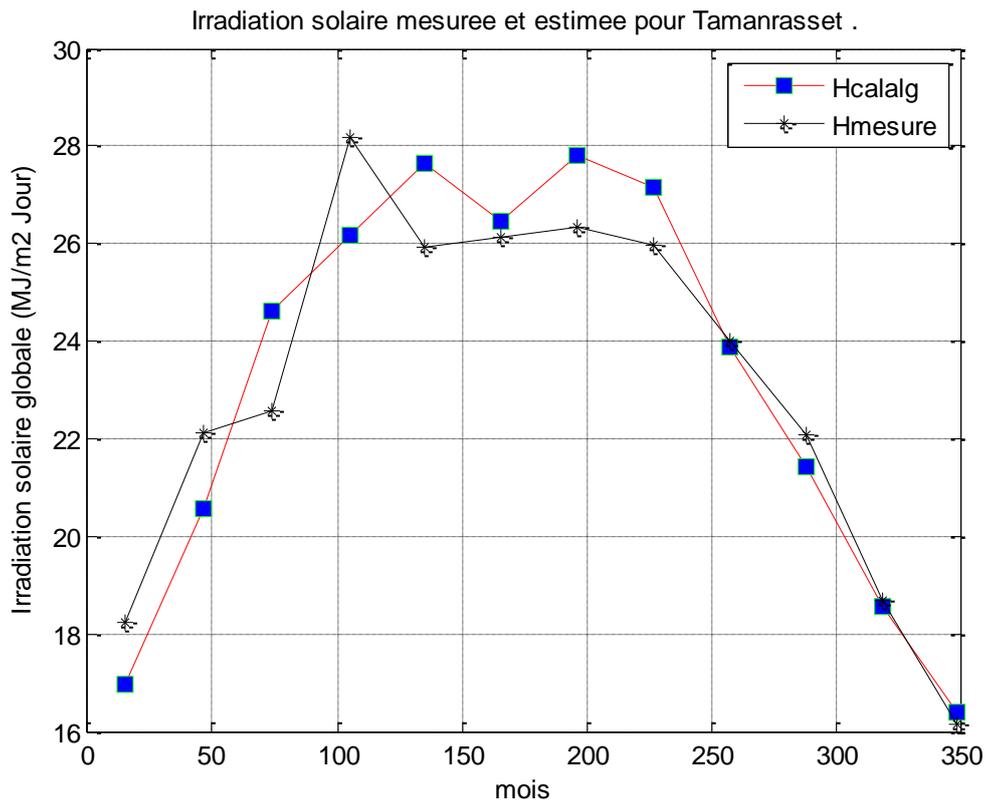


Figure III.4 L'irradiation solaire mesurée et estimée pour Tamanrasset par le modèle de type d'Angström –Prescott.

Les résultats de calcul de (H_{calcul}) l'irradiation solaire globale pour *Tamanrasset* qui présenté dans les figures (III.4)

un léger décalage pour la période allant de janvier jusqu'au mois de fevrier, mais sont presque conformes pour la période de septembre à décembre. Cet écart est acceptable pour les résultats des mois mares, avril, mai, juillet et août.

On présente dans le Tableau (III. 4) les valeurs des constantes a_0, b_0 . avec les valeurs des paramètres statistiques (MBE, MAE et RMSE statistique) pour le modèle d'Angstrom-Prescott afin d'évaluer sa Performance d'estimation de l'irradiation solaire sur les trois sites considérés.

Tableau (III. 7) les paramètres statistiques pour le modèle de type d'Angstrom Prescott.

Cite	a_0	b_0	MBE(%)	MAE(%)	RMSE(%)
Alger	0.3095	0.3305	-0.1657	3.4435	4.1506
Oran	0.2949	0.3943	-0.3476	4.4012	5.7951
Tamanrasset	0.6117	0.2171	-0.2739	4.4818	5.3173

III-5 – Discussion

Le tableau (III.7) présente les coefficients des corrélations du modèle d'Angstrom Prescott (les a_0 et b_0), pour Alger avec hauteur du soleil ($h=0$), on peut voir que les paramètres : $a_0=0.3095$ et $b_0=0.3305$

pour Oran avec hauteur du soleil ($h=0$), on peut voir que les paramètres :

$a_0=0.2949$ et $b_0=0.3943$.

pour Tamanrasset avec hauteur du soleil ($h=0$), on peut voir que les paramètres :

$a_0=0.6117$ et $b_0=0.2171$.

Le tableau (III.7) présente les valeurs des paramètres statistiques (MBE, MAE et RMSE statistique). Pour Alger, Oran et Tamanrasset, on peut dire facilement que les valeurs de MBE, MAE, RMSE, sont bonnes. Puisqu'elles sont variées entre

(-0.1657, -0.3476, -0.2739), (3.4435, 4.4012, 4.4818), (4.1506, 5.7951, 5.3173).

Les meilleurs résultats sont obtenus (avec un minimum d'erreur) tel que pour Alger : **RMSE=4.1506%** .ET Tamanrasset **RMSE=5.3173%** .et Oran **RMSE=5.7951%**

III.6 Conclusion

Nous avons un modèle pour estimer la quantité du rayonnement solaire global reçu sur un plan horizontal situé sur les régions de Alger. Oran, Tamanrasset.

A partir de l'étude du rayonnement en fonction de l'ensoleillement où on a utilisé modèle d'Angstrom Prescott. Nous avons trouvé une concordance remarquable entre les valeurs estimées où les valeurs maximale de MBE, MAE et RMSE ne dépassent pas : **-0.3476**, **4.4818** et **5.7951** respectivement ce qui représente pour nous un bon résultat .

Conclusion Générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Le rayonnement solaire joue un rôle crucial dans de nombreux domaines tels que l'énergie solaire, l'agriculture et la météorologie. La modélisation précise du rayonnement solaire crépuscule revêt une importance particulière, car cette période marque la transition entre le jour et la nuit, et elle influence divers processus naturels et activités humaines.

La région de Tamanrasset, Oran et Alger en Algérie est caractérisée par un ensoleillement intense tout au long de l'année. Comprendre et modéliser le rayonnement solaire crépuscule dans ces régions spécifiques est d'une grande importance pour plusieurs raisons. Premièrement, cela permettra d'optimiser la planification de l'utilisation de l'énergie solaire et de concevoir des systèmes énergétiques plus efficaces. Deuxièmement, cela aura un impact sur les activités agricoles, en fournissant des informations précieuses sur les conditions de lumière disponibles pour les plantes. Enfin, cela contribuera à améliorer les prévisions météorologiques et les modèles climatiques.

Cependant, la modélisation du rayonnement solaire crépuscule présente des défis en raison de la complexité des processus physiques impliqués. Des facteurs tels que la variation de l'angle d'incidence du soleil, l'absorption et la diffusion de la lumière par l'atmosphère, ainsi que la présence éventuelle de nuages, doivent être pris en compte pour obtenir des estimations précises du rayonnement solaire.

Dans ce mémoire de fin d'études, nous nous proposons de réaliser une modélisation du rayonnement solaire à Tamanrasset, Oran et Alger, en Algérie. Nous utiliserons des mesures du rayonnement solaires pour l'utilisation du modèle d'Angstrom-Prescott un modèle fiable. Notre objectif est d'estimer le rayonnement solaire disponible.

Les résultats de cette étude fourniront des informations importantes sur le rayonnement solaire à Tamanrasset, Oran et Alger, permettant ainsi d'optimiser l'utilisation de l'énergie solaire, d'améliorer les prévisions météorologiques et de mieux comprendre les conditions environnementales locales. De plus, ces connaissances pourront servir de base pour d'autres études dans le domaine de l'énergie solaire, de l'agriculture et de la climatologie.

En conclusion, ce mémoire de fin d'études se concentrera sur la modélisation du rayonnement solaire à Tamanrasset, Oran et Alger, en Algérie.

Conclusion générale

L'objectif principal est de fournir des estimations précises du rayonnement solaire pendant cette période de la journée, en utilisant des données météorologiques et des paramètres atmosphériques appropriés.

Les résultats de cette recherche contribueront à l'amélioration de l'utilisation de l'énergie solaire, de la prévision météorologique et de la compréhension des conditions environnementales locales.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] S. BELAIDI, «Etude et optimisation d'une installation photovoltaïque autonome.,» 2016, p. 7. Mémoire master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
- [2] N. Mouhamed, «etude comparative des méthodes d'estimation du rayonnement solaire.,» 2010, p. 21. Magister ,Université Ferhat Abbas - SÉTIF.
- [3] M. Hanène, «Modélisation et simulation du panneau solaire sous différents rayonnement.,» 2021. p. 7, Mémoire master ,Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi –Bordj Bou Arreridj.
- [4] Y. Sahnoune, «modilisation du rayonnement solaire sue quelque sites algerienne.,» 2007, pp. 5-6. Magister,Université Ferhat Abbas-Setif.
- [5] B. Amani, «Modélisation du rayonnement solaire en fonction du crépuscule en quelques sites algériens.,» 2023, p. 4. Mémoire master, Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi –Bordj Bou Arreridj.
- [6] M. Faiza, «Conception d'un programme de calcul du rayonnement solaire, cas particulier de la région de Mostaganem.,» Magister en Physique, 2013, p. 15. Mémoire Magister, Université Abdel Hamid Ibn Badis de Mostaganem
- [7] B. Brousse, «Réalisation et caractérisation de cellules photovoltaïques organiques obtenues par dépôt physique.,» 2004, p. 35. *Diplôme de Doctorat* ,Université de Limoges.
- [8] s. mouhamed, «Contribution à la quantification de l'irradiation solaire globale en Algérie et applications aux générateurs photovoltaïques.,», 2012, p. 14. Magister ,Université Ferhat Abbas - SÉTIF.
- [9] r. djelloul, analyse d'un systeme de concentration solaire pour la production d'hydrogene (cas de algerie), 2012, p. 17. Magister, Université Hassiba Benbouali - CHLEF.
- [10] H. ABDELHAKIM et S. HAMMADOU, «Etude de corrélation entre l'irradiation solaire et factures météorologiques.,» Mémoire Master, 2013, p. 37. UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA DE BEJAÏA,

Bibliographie

- [11] T. Khaoula, «Modélisation du rayonnement solaire global pour différentes définitions de la durée du jour.», 2023, p. 32. Mémoire master ,Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi –Bordj Bou Arreridj.
- [12] D. BENATIALLAH, "Détermination du gisement solaire par imagerie satellitaire," 2019, p. 16.
- [13] D. BENATIALLAH, «Détermination du gisement solaire par imagerie satellitaire » *Diplôme de Doctorat en science*, 2019, p. 17. UNIVERSITE AFRICANE AHMED DRAIA ADRAR.
- [14] T. Khaoula, «Modélisation du rayonnement solaire global pour différentes définitions de la durée du jour.», 2023, p. 22. Mémoire master ,Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi –Bordj Bou Arreridj.
- [15] S. Abdelmouniem et Ouamen Youcef, «Etude du rayonnement solaire global (Willaya de Biskra) pour la gestion de la production d'énergie photovoltaïque,» 2020, p. 23. Mémoire master ,UNIVERSITE MOHAMED KHIDER BISKRA .
- [16] N. NEDJEMEDDINE, «Étude des performances d'un capteur solaire plan à conversion thermique,» 2018. Mémoire master ,UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA
- [17] M. B. S. M. E. Amine, «Modélisation du Comportement Thermique de Quelques Dispositifs Solaires,», Éd., 2009 . Doctorat en Physique, UNIVERSITE ABOU-BAKR BELKAÏD – TLEMCEN.
- [18] H. Nadjette, «Modélisation du flux solaire incident et de la température de sortie dans un capteur solaire à eau avec effet de concentration du rayonnement solaire incident.,» Magister , 2005, p. 10. Université Mohamed Khider-Biskra,
- [19] b. dounia et C. ZOUAGHI , «Estimation du rayonnement solaire incident sur un plan incliné par le modèle de Liu-Jordan: région d'Adrar,» Mila, 2022, pp. 11-12. Mémoire master ,Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf - Mila
- [20] G. SAIDA et . S. BEKKA, «estimation du rayonnement solaire recue par un capteur solaire,» MASTER, 2021, p. 11. Universite Ahmed Draia - Adrar.

Bibliographie

- [21] K. Ismail, «Etude d'un système de poursuite solaire pour les panneaux photovoltaïques,» 2014. Mémoire master, UNIVERSITE KASDI MERBAH - OUARGLA .

ملخص

يهدف هذا البحث إلى تقييم الإشعاع الشمسي في الجزائر لدعم تطوير تقنيات تحويل الطاقة الشمسية. الطاقة الشمسية، كمصدر للطاقة نظيفة ومتجددة، متاحة للجميع بغض النظر عن الظروف المناخية. على الرغم من وجود تشمس وفير في الجزائر، إلا أن التوزيع الدقيق للإشعاع الشمسي لا يزال غير معروف. قمنا بنمذجة لتقييم الإشعاع الشمسي في الجزائر، حيث استخدمنا برنامج Matlab. تركزت دراستنا على مناطق الجزائر، وهي الجزائر، وهران، وتمنراست. أظهرت النتائج المحصلة أن هذا النموذج موثوق لنمذجة الإشعاع الشمسي العالمي في الجزائر.

الكلمات المفتاحية : الإشعاع الشمسي، الإشعاع الشمسي، خارج الغلاف الجوي، كسر الإشعاع.

abstract

This memorandum aims to evaluate solar irradiation in Algeria with a view to supporting the development of solar energy conversion technologies. Solar energy, as a clean and renewable energy source, is accessible to everyone, regardless of climatic conditions. Despite the abundant sunshine in Algeria, the precise distribution of solar radiation remains somewhat familiar. We have implemented a model to evaluate solar radiation in Algeria using Matlab software. Our study is focused on the regions of Alger, Oran and Tamanrasset. The results obtained have demonstrated that this model is viable for modeling global solar radiation in Algeria.

Keywords : Solar radiation, Solar irradiation, outside the atmosphere, Insolation fraction.

Résumé

Ce mémoire vise à évaluer l'irradiation solaire en Algérie afin de soutenir le développement des technologies de conversion d'énergie solaire. L'énergie solaire, en tant que source d'énergie propre et renouvelable, est accessible à tous, indépendamment des conditions climatiques. Malgré l'ensoleillement abondant en Algérie, la répartition précise de l'irradiation solaire reste peu connue.

Nous avons réalisé une modélisation pour évaluer le rayonnement solaire en Algérie, où on a utilisé le logiciel Matlab. Notre étude s'est concentrée sur les régions de Alger, Oran et Tamanrasset. Les résultats obtenus ont démontré que ce modèle est fiable pour modéliser le rayonnement solaire global en Algérie.

Mot clés : Le rayonnement solaire, Irradiation solaire, hors atmosphère, fraction d'insolation.