

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

UNIVERSITE AHMED DRAIA

-ADRAR-



جامعة أحمد دراية- أدرار

Année / 2022

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département des Sciences de la Matière

Mémoire de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme de Master en

**Physique**

**Option** : Physique Energétique et Energies Renouvelables

**Thème**

Modélisation de gisement solaire par lois  
paramétrique dans la zone d'Adrar

**Présenté par :**

CHENTOUF Elbatoul

BENBRIK Safai

**Encadreur :**

Dr. Mohammed Boussaid – MCA, Université d'Adrar

Dr.Kada Bouchouicha – MRA, URER/MS Adrar

**Évalué le : 09 juin 2022**

**Devant le jury composé de:**

<b>Dr. Mansouri Smail</b>	Président	MAA	Université Ahmed Draia-Adrar
<b>Pr. Djarfour Nouredine</b>	Examineur	MCB	Université Ahmed Draia –Adrar
<b>Mr. Boussaid Mohammed</b>	Promoteur	MCA	Université Ahmed Draia –Adrar
<b>Mr. Bouchouicha Kada</b>	Co-Promoteur	MRA	URER/MS, Adrar

**Année Universitaire 2021/2022**



## شهادة الترخيص بالإيداع

انا الأستاذ(ة): يوسعيد محمد

المشرف مذكرة الماستر الموسومة بـ : Modélisation de gisement solaire par lois paramétrique dans la zone d'Adrar

من إنجاز الطالب(ة): شنتوف البتول

و الطالب(ة): بن بريك صافية

كلية : العلوم و التكنولوجيا

القسم : علوم المادة

التخصص: فيزياء طاقوية و طاقات متجددة

تاريخ تقييم / مناقشة: 09 جوان 2022

أشهد ان الطلبة قد قاموا بالتعدلات والتصحيحات المطلوبة من طرف لجنة التقييم / المناقشة، وان المطابقة بين  
النسخة الورقية والإلكترونية استوفت جميع شروطها.  
ويمكنهم إيداع النسخ الورقية (02) والالكترونية (PDF).

- امضاء المشرف:

مساعد رئيس القسم:



## **Modélisation de gisement solaire par lois paramétrique dans la zone d'Adrar**

### **Résumé :**

Le champ solaire dans un lieu sur Terre est le flux d'énergie émise par le Soleil qui est reçu directement ou indirectement du lieu au cours d'une période donnée, mesurée par l'échelle du pyranomètre. Dans cette étude, nous recueillerons un ensemble de données et de valeurs différentes sur le flux solaire qui ont été mesurées dans quatre régions du désert d'Adrar et qui seront utilisées pour modéliser le rayonnement solaire à l'aide de modèles métriques ou para-para-métriques de Barra à partir des modèles adoptés dans cette recherche. (de Capderou et de Liu Jordan et de Perrin Brichambeaut ) Calculer les trois composantes du rayonnement solaire : rayonnement direct, rayonnement diffus et rayonnement global.

**Mots clés :** Modélisation, Rayonnement, Flux d'énergie, Modèles de barres métriques

## نمذجة الرواسب الشمسية حسب قوانين بارامترية في منطقة ادرار

### ملخص

المجال الشمسي في مكان على الارض هو تدفق الطاقة المنبعثة من الشمس والتي يتم استلامها من المكان بشكل مباشر او غير مباشر خلال فترة معينة ، مع قياسها بمقياس البيرومتر وفي هذه الدراسة سوف نجمع مجموعة من البيانات والقيم المختلفة لتدفق الطاقة الشمسية ، التي تم قياسها في اربعة مناطق من بيئة صحراء ادرار لاستخدامها لنمذجة الاشعاع الشمسي بنماذج بارامترية او شبه بارامترية . من النماذج المعتمدة في هذا البحث نماذج ( de Capderou et de Liu Jordan et de Perrin Brichambeaut ) لحساب المكونات الثلاثة للإشعاع الشمسي : الاشعاع المباشر ، الاشعاع المنتشر والاشعاع العالمي.

**كلمات مفتاحية :** النمذجة ، الاشعاع ، تدفق الطاقة ، نماذج بارامترية

## Modeling of solar deposits by parametric laws in the Adrar area

### **Abstract :**

The solar field in a place on Earth is the flow of energy emitted from the Sun that is received directly or indirectly from the place during a given period, measured by the pyranometer scale. In this study, we will collect a set of different solar flow data and values that have been measured in four regions of the Adrar desert environment to be used to model solar radiation with Parametric or Para-parametric models from the models adopted in this research. (de Capderou et de Liu Jordan et de Perrin Bricambeaut ) To calculate the three components of solar radiation : direct radiation, diffuse radiation and global radiation .

**Keywords :** Modeling, Radiation, Energy flow, Parametric models .

# TABLE DES MATIERES

RESUME

TABLE DES MATIERES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

NOMENCLATURE

REMERCIEMENTS

DEDICACE

INTRODUCTION GENERALE

<b>CHAPITRE I LE GISEMENT SOLAIRE .....</b>	<b>3</b>
<b>I.1 INTRODUCTION .....</b>	<b>4</b>
<b>I.2 LE SOLEIL .....</b>	<b>4</b>
<b>I.3 RAYONNEMENT SOLAIRE A LA TRAVERSEE DE L'ATMOSPHERE .....</b>	<b>5</b>
I.3.1 L'atmosphère.....	5
I.3.2 Masse d'air .....	7
I.3.3 Le mouvement de la terre.....	8
I.3.4 La variation annuelle du rayonnement direct extraterrestre .....	9
<b>I.4 NOTIONS SUR L'ASTRONOMIE.....</b>	<b>10</b>
I.4.1 L'écliptique <i>Ec</i> .....	10
I.4.2 L'équateur <i>Eq</i> .....	11
<b>I.5 SYSTEMES DE COORDONNEES CELESTES.....</b>	<b>11</b>
I.5.1 Coordonnées géographiques.....	11
I.5.2 Les coordonnées du soleil .....	11
I.5.3 Coordonnées équatoriales .....	12
I.5.4 Les coordonnées horizontales .....	13
<b>I.6 DEFINITION DES DIFFERENTS TEMPS .....</b>	<b>14</b>
I.6.1 Temps Universel (TU).....	14
I.6.2 Le temps solaire moyen (TSM) .....	14
I.6.3 Le temps solaire vrai (TSV) .....	14
I.6.4 Equation du temps.....	15
<b>I.7 CONCLUSION .....</b>	<b>16</b>

<b>CHAPITRE II</b>	<b>LE RAYONNEMENT SOLAIRE .....</b>	<b>17</b>
II.1	INTRODUCTION .....	18
II.2	COMPOSITION DE RAYONNEMENT SOLAIRE .....	18
II.3	Rayonnement direct ( S ) .....	19
II.4	Rayonnement diffus (dl).....	19
II.5	L'albédo ou Réfléchi (Alb).....	19
II.6	Rayonnement global G .....	19
II.7	APPAREILS DE MESURE.....	19
II.7.1	Rayonnement direct .....	20
II.7.2	Rayonnement diffus.....	20
II.7.3	Albédo du sol.....	20
II.7.4	Rayonnement global .....	21
II.7.5	Mesure de la Durée d'insolation.....	21
II.7.6	Mesure de la température solaire .....	22
II.8	CONCLUSION .....	23
<b>CHAPITRE III</b>	<b>ESTIMATION DU RAYONNEMENT SOLAIRE .....</b>	<b>24</b>
III.1	INTRODUCTION .....	25
III.2	PRESENTATION DU MODELE DE CAPEROU .....	25
III.2.1	Le facteur de trouble de linke .....	25
III.2.2	Rayonnement direct S.....	26
III.2.3	Rayonnement diffus .....	27
III.2.4	Rayonnement global .....	27
III.3	PRESENTATION DU MODELE DE LIU JORDAN.....	28
III.4	MODELE DE BERRIN BRICHAMBEAUT .....	29
III.5	CONCLUSION .....	30
<b>CHAPITRE IV</b>	<b>RESULTATS ET INTERPRETATIONS.....</b>	<b>31</b>
IV.1	INTRODUCTION .....	32
IV.2	APPLICATION ET VERIFICATION DES MODELE RAYONNEMENT SOLAIRE.....	32
IV.2.1	Application des différents modèles .....	32
IV.2.2	Durée du jour .....	32
IV.2.3	Influence de la latitude sur la durée du jour .....	33
IV.2.4	Rayonnement hors atmosphère.....	33
IV.2.5	Variation de l'énergie hors atmosphère en fonction de la latitude.....	34

<b>IV.3</b>	<b>CARACTERISTIQUE GEOGRAPHIQUE DE SITE ADRAR .....</b>	<b>34</b>
<b>IV.4</b>	<b>PUISSANCE DU RAYONNEMENT SOLAIRE AU SOL UN PLAN HORIZONTAL ET UN PLAN INCLINE35</b>	
<b>IV.5</b>	<b>TECHNIQUES DE COMPARAISON DE LA MODELISATION .....</b>	<b>37</b>
IV.5.1	Erreur moyenne (MBE) .....	37
IV.5.2	Erreur quadratique moyenne (RMSE) .....	37
IV.5.3	Coefficient de corrélation .....	38
<b>IV.6</b>	<b>RESULTATS OBTENUS .....</b>	<b>38</b>
IV.6.1	Les résultats obtenus par le modèle Perrin de Brichambeaut sur quatre sites .....	38
IV.6.2	Validions des modèles .....	41
	Tableau IV-2 : Simulation des résultats statistiques dans la région d'Adrar .....	44
<b>IV.7</b>	<b>Conclusion .....</b>	<b>54</b>
	<b>REFERENCES.....</b>	<b>57</b>



## **LISTE DES TABLEAUX**

### **CHAPITRE I LE GISEMENT SOLAIRE**

TABLEAU I-1 : COMPOSITION PHOTOSPHÉRIQUE [1].....	4
TABLEAU I-2 : CARACTÉRISTIQUE PHYSIQUE [1].....	5

### **CHAPITRE III ESTIMATION DU RAYONNEMENT SOLAIRE**

Tableau III-1 : Paramètres décrivant l'état de l'atmosphère.....	30
--	----

### **CHAPITRE IV RESULTATS ET INTERPRETATIONS**

TABLEAU IV-1 : SPECIFICATIONS DU SITE DE ADRAR .....	35
TABLEAU IV-2 : SIMULATION DES RESULTATS STATISTIQUES DANS LA REGION D'ADRAR.....	44
TABLEAU IV-3 : SIMULATION DES RESULTATS STATISTIQUES DANS LA REGION D'ADRAR SITE DE REGGANE .....	47
TABLEAU IV-4 : SIMULATION DES RESULTATS STATISTIQUES DANS LA REGION D'ADRAR SITE DE OULEF. ....	50
TABLEAU IV-5 : SIMULATION DES RESULTATS STATISTIQUES DANS LA REGION D'ADRAR SITE DE TSABIT .....	53

# LISTE DES FIGURES

## CHAPITRE I LE GISEMENT SOLAIRE

FIGURE I-1 : LA SOLEIL [1].....	4
FIGURE I-2: STRUCTURE DE L' ATMOSPHERE [4].....	6
FIGURE I-3: DEFINITION DE L' AIR MASS [7].....	7
FIGURE I-4 : DEFINITION DU NOMBRE D' AIR MASSE (AM) ET SPECTRE D' EMISSION DU RAYONNEMENT SOLAIRE HOMOLOGUE PAR LA SOCIETE AMERICAINE DE TESTS ET MATERIAUX (ASTM G173-03) [6].....	8
FIGURE I-5 : MOUVEMENT DE LA TERRE AUTOUR DU SOLEIL [7].....	9
FIGURE I-6 : VARIATION ANNUELLE DU RAYONNEMENT SOLAIRE EXTRATERRESTRE ..	10
FIGURE I-7 : L' ECLIPTIQUE ET SA RELATION AVEC L' EQUATEUR CELESTE ET L' AXE DE ROTATION DE LA TERRE [12]. .....	10
FIGURE I-8 : LATITUDE ET LONGITUDE D' UN POINT [14].....	11
FIGURE I-9 : VARIATION ANNUELLE DE LA DECLINAISON SOLAIRE. ....	12
FIGURE I-10: SYSTEME DE COORDONNEES EQUATORIALES [15].....	12
FIGURE I-11: SYSTEME DE COORDONNEES HORIZONTALES [15].....	13
FIGURE I-12 : ZENITH DE SOLEIL [17].....	13
FIGURE I-13 : VARIATION ANNUELLES DE L' EQUATION DU TEMPS. ....	15

## CHAPITRE II LE RAYONNEMENT SOLAIRE

FIGURE II-1 REPRESENTATION DES DIFFERENTS RAYONNEMENTS SOLAIRES TERRESTRES REÇUS SUR UNE INSTALLATION DONNEE [19].....	18
FIGURE II-2 : LES DIFFERENTS TYPES DU RAYONNEMENT SOLAIRE [21].....	19
FIGURE II-3 : APPAREIL DE MESURE DES RAYONS DIRECTS(PYRHELIOMETRE) [22].....	20
FIGURE II-4 : APPAREIL DE MESURE DES RAYONS DIFFUS(PYRANOMETRE) [21]. ....	20
FIGURE II-5 : L' ALBEDOMETRE [7].....	21
FIGURE II-6 : PYRANOMETRE: APPAREIL DE MESURE DES RAYONS DIFFUS [22]. ....	21
FIGURE II-7 : APPAREIL DE MESURE DE LA DUREE D' INSOLATION (HELIOGRAPHE) [22].22	22
FIGURE II-8 : APPAREIL DE MESURE DE LA TEMPERATURE (THERMOCOUPLE) [21]. ....	22

## CHAPITRE IV RESULTATS ET INTERPRETATIONS

FIGURE IV-1 : VARIATION DE LA DUREE EN FONCTION DE RANG DU JOUR DANS L' ANNEE POUR LA REGION DE ADRAR.....	32
FIGURE IV-2 : VARIATION DE LA DUREE DU JOUR DURANT L' ANNEE POUR DIFFERENTES LATITUDES . ....	33
FIGURE IV-3 : VARIATION DE L' ENERGIE HORS ATMOSPHERE DURANT L' ANNEE.....	34
FIGURE IV-4 : VARIATION DE L' ENERGIE HORS ATMOSPHERE EN FONCTION DE LA LATITUDE.....	34
FIGURE IV-5 : VARIATION DE LA PUISSANCE GLOBALE, DIRECTE ET DIFFUSEE AU COUR DU JOUR POUR UN JOUR CLAIR (25 JUIN) SUR UN PLAN HORIZONTAL. ....	36
FIGURE IV-6 : VARIATION DE LA PUISSANCE GLOBALE, DIRECTE ET DIFFUSEE AU COUR DU JOUR POUR UN JOUR CLAIR (25 JUIN) SUR UN PLAN INCLINE.....	36

FIGURE IV-7 : COMPARAISON DES COMPOSANTES EXPERIMENTALES ET SIMULEES DU RAYONNEMENT SOLAIRE AU NIVEAU HORIZONTAL.....	36
FIGURE IV-8 : RAYONNEMENT INCIDENT SUR UN PLAN ORIENTE VERS LE SUD ET INCLINE DE 0 .....	38
FIGURE IV-9: RAYONNEMENT INCIDENT SUR UN PLAN ORIENTE VERS LE SUD ET INCLINE DE 45° .....	38
FIGURE IV-10 : RAYONNEMENT INCIDENT SUR UN PLAN ORIENTE VERS LE SUD ET INCLINE DE 90° .....	39
FIGURE IV-11: RAYONNEMENT INCIDENT SUR UN PLAN ORIENTE VERS LE SUD ET INCLINE DE 0 .....	39
FIGURE IV-12 : RAYONNEMENT INCIDENT SUR UN PLAN ORIENTE VERS LE SUD ET INCLINE DE 45° .....	39
FIGURE IV-13: RAYONNEMENT INCIDENT SUR UN PLAN ORIENTE VERS LE SUD ET INCLINE DE 90° .....	39
FIGURE IV-14: RAYONNEMENT INCIDENT SUR UN PLAN ORIENTE VERS LE SUD ET INCLINE DE 0 .....	40
FIGURE IV-15: RAYONNEMENT INCIDENT SUR UN PLAN ORIENTE VERS LE SUD ET INCLINE DE 45° .....	40
FIGURE IV-16: RAYONNEMENT INCIDENT SUR UN PLAN ORIENTE VERS LE SUD ET INCLINE DE 90° .....	40
FIGURE IV-17: RAYONNEMENT INCIDENT SUR UN PLAN ORIENTE VERS LE SUD ET INCLINE DE 0 .....	40
FIGURE IV-18: RAYONNEMENT INCIDENT SUR UN PLAN ORIENTE VERS LE SUD ET INCLINE DE 45° .....	40
FIGURE IV-19 : RAYONNEMENT INCIDENT SUR UN PLAN ORIENTE VERS LE SUD ET INCLINE DE 90° .....	41
FIGURE IV-20 : ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALE MESURES ET ESTIMES, 13/01/2018 .....	42
FIGURE IV-21 : ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALE MESURES ET ESTIMES, 18/02/2018 .....	42
FIGURE IV-22: ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALE MESURES ET ESTIMES, 15/04/2018 .....	42
FIGURE IV-23 ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALE MESURES ET ESTIMES, 12/03/2018 .....	42
FIGURE IV-24: ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALE MESURES ET ESTIMES, 25/06/2018 .....	42
FIGURE IV-25 : ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALE MESURES ET ESTIMES, 18/05/2018 .....	42
FIGURE IV-26 : ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALE MESURES ET ESTIMES, 19/07/2018 .....	43
FIGURE IV-27 : ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALE MESURES ET ESTIMES, 26/08/2018 .....	43
FIGURE IV-28 : ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALE MESURES ET ESTIMES, 29/09/2018 .....	43

FIGURE IV-29 : ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALA MESURES ET ESTIMES, 14/10/2018 .....	43
FIGURE IV-30: ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALA MESURES ET ESTIMES, 16/12/2018 .....	43
FIGURE IV-31: ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALA MESURES ET ESTIMES, 11/11/2018 .....	43
FIGURE IV-32ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALA MESURES ET ESTIMES, 18/02/2018 .....	45
FIGURE IV-33: ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALA MESURES ET ESTIMES, 13/01/2018 .....	45
FIGURE IV-34 : ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALA MESURES ET ESTIMES, 15/04/2018 .....	45
FIGURE IV-35 :ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALA MESURES ET ESTIMES, 12/03/2018 .....	45
FIGURE IV-36 : ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALA MESURES ET ESTIMES, 25/06/2018 .....	45
FIGURE IV-37 : ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALA MESURES ET ESTIMES, 18/05/2018 .....	45
FIGURE IV-38 :ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALA MESURES ET ESTIMES, 26/08/2018 .....	46
FIGURE IV-39 :ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALA MESURES ET ESTIMES, 19/07/2018 .....	46
FIGURE IV-40 : ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALA MESURES ET ESTIMES, 14/10/2018 .....	46
FIGURE IV-41 : ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALA MESURES ET ESTIMES, 29/09/2018 .....	46
FIGURE IV-42 ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALA MESURES ET ESTIMES, 16/12/2018 .....	46
FIGURE IV-43 : ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALA MESURES ET ESTIMES, 11/11/2018 .....	46
FIGURE IV-44 : ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALA MESURES ET ESTIMES, 18/02/2018 .....	48
FIGURE IV-45 : ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALA MESURES ET ESTIMES, 13/01/2018 .....	48
FIGURE IV-46 : ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALA MESURES ET ESTIMES, 15/04/2018 .....	48
FIGURE IV-47 : ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALA MESURES ET ESTIMES, 12/03/2018 .....	48
FIGURE IV-48 : ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALA MESURES ET ESTIMES, 25/06/2018 .....	48
FIGURE IV-49 : ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALA MESURES ET ESTIMES, 18/05/2018 .....	48
FIGURE IV-50 : ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALA MESURES ET ESTIMES, 26/08/2018 .....	49

FIGURE IV-51 : ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALE MESURES ET ESTIMES, 19/07/2018 .....	49
FIGURE IV-52 : ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALE MESURES ET ESTIMES, 14/10/2018 .....	49
FIGURE IV-53 : ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALE MESURES ET ESTIMES, 29/09/2018 .....	49
FIGURE IV-54 : ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALE MESURES ET ESTIMES, 11/11/2018 .....	49
FIGURE IV-55 : ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALE MESURES ET ESTIMES, 16/12/2018 .....	49
FIGURE IV-56 : ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALE MESURES ET ESTIMES, 18/02/2018 .....	51
FIGURE IV-57 : ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALE MESURES ET ESTIMES, 13/01/2018 .....	51
FIGURE IV-58 : ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALE MESURES ET ESTIMES, 15/04/2018 .....	51
FIGURE IV-59 : ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALE MESURES ET ESTIMES, 12/03/2018 .....	51
FIGURE IV-60 : ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALE MESURES ET ESTIMES, 25/06/2018 .....	51
FIGURE IV-61 : ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALE MESURES ET ESTIMES, 18/05/2018 .....	51
FIGURE IV-62 : ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALE MESURES ET ESTIMES, 26/08/2018 .....	52
FIGURE IV-63 : ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALE MESURES ET ESTIMES, 19/07/2018 .....	52
FIGURE IV-64 : ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALE MESURES ET ESTIMES, 14/10/2018 .....	52
FIGURE IV-65 : ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALE MESURES ET ESTIMES, 29/09/2018 .....	52
FIGURE IV-66 : ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALE MESURES ET ESTIMES, 11/11/2018 .....	52
FIGURE IV-67 : ECLAIREMENTS GLOBAL HORIZONTALE MESURES ET ESTIMES, 16/12/2018 .....	52

# NOMECLATURE

## Liste Des Symboles

A :	Altitude	[m]
AM :	Masse d'air	[Kg]
CL :	Représente la correction de la longitude	[-]
C <sub>t-s</sub> :	Facteur de correction de la terre-soleil	[m]
d <sub>i</sub> :	Rayonnement diffus	[w/m <sup>2</sup> ]
D :	Rayonnement du diffuse sur un plan horizontal	[w/m <sup>2</sup> ]
D <sub>H</sub> :	Éclairement diffus reçu par une surface horizontale	[w/m <sup>2</sup> ]
d <sub>1</sub> :	Rayonnement diffus de la part du ciel	[w/m <sup>2</sup> ]
d <sub>sol</sub> :	Le diffuse du sol	[-]
d <sub>ciel</sub> :	Le diffuse du ciel est l'éclairement diffus incident en provenance du ciel	
E <sub>0</sub> :	Facteur de correction de l'excentricité de l'orbite terrestre	[-]
E <sub>c</sub> :	L'écliptique	[-]
E <sub>q</sub> :	L'équateur	[-]
ET :	Equation du temps	[minute]
G :	L'éclairement global horizontal .	[m]
G :	Rayonnement global	[w/m <sup>2</sup> ]
G <sub>H</sub> :	Éclairement global reçu par une surface horizontale	[w/m <sup>2</sup> ]
h :	La Hauteur solaire	[Degré]
i :	Angle d'incidence	[Degré]
I <sub>sc</sub> :	Constante solaire	[w/m <sup>2</sup> ]
I <sub>0</sub> :	Eclairement solaire au sommet de l'atmosphère	[w/m <sup>2</sup> ]
I <sub>on</sub> :	La variation annuelle du rayonnement direct extraterrestre	[w/m <sup>2</sup> ]

$I_b$ :	L'éclairement direct par ciel clair obtenu sur un plan horizontal	$[w/m^2]$
$I_{bi}$ :	L'éclairement direct est la projection de la composante normale sur un plan incliné	$[w/m^2]$
$I_d$ :	L'éclairement diffus incident sur un plan horizontale.	$[w/m^2]$
$I_{di}$ :	L'éclairement diffus est la projection de la composante normale sur un plan incliné	$[w/m^2]$
$I_G$ :	L'éclairement global reçu sur un plan horizontal	$[w/m^2]$
$I_{Gi}$ :	L'éclairement global incident.	$[w/m^2]$
$I_{\beta}$ :	L'éclairement direct sur un plan incliné	$[w/m^2]$
$J$ :	Numéro du jour de l'année	$[-]$
$L$ :	Longitude	$[Degré]$
$m$ :	Masse atmosphérique	$[Kg]$
$n$ :	Indice de réfraction	$[-]$
$p^0$ :	La pression atmosphérique normale	$[-]$
$r_e$ :	Rayon de la terre .	$[-]$
$R_b$ :	Facteur d'inclinaison du rayonnement direct	$[-]$
$S$ :	Rayonnement direct	$[w/m^2]$
$T_L$ :	Facteur trouble de linke	$[-]$
$T_0$ :	Le trouble dû à l'absorption gazeuse tant par les constituants fixes de l'atmosphère	$[-]$
$T_1$ :	Facteur de trouble correspondant à l'absorption par les gaz de l'atmosphère	
$T_2$ :	Facteur de trouble relatif à la diffusion par les aérosols couplés à une légère absorption	$[-]$
$T_L^*$ :	Le facteur de trouble atmosphérique de linke	$[-]$
$TL$ :	Temps local	$[heure]$
$TSM$ :	Temps Solaire moyen	$[heure]$
$TSV$ :	Temps solaire vrai	$[heure]$
$T_L$ :	Trouble de Linke	$[-]$

$T_u$ :	Temps universel	[heure]
$z_0$ :	Hauteur de l'atmosphère homogène	[–]
$Z$ :	L'altitude de lieu	[Degré]
$\varepsilon$ :	Coefficient de correction du à la variation de la distance terre-soleil	[–]
$\varphi$ :	Latitude	[Degré]
$\omega$ :	Angle horaire	[Degré]
$\theta_s$ :	Azimut soleil	[Degré]
$\lambda$ :	La longitude du lieu	[Degré]
$\rho$ :	Albédo du sol	[–]
$p$ :	Masse volumique	[kg/m <sup>2</sup> ]
$\delta$ :	Déclinaison	[Degré]
$\delta_d$ :	Composante direct	[–]
$\delta_i$ :	Composante isotrope	[–]
$\delta_R$ :	Composante rétrodiffuse	[–]
$\delta_h$ :	Correspond au cercle de l'horizon	[–]
$\delta'_i$ :	Le diffuse rétrodiffusé, le diffus du sol est rétrodiffusé. Sel on le raisonnement de Capderou	[–]
$\beta$ :	Angle d'inclinaison du plan par rapport à l'horizontal	[Degré]
$\Delta T_c(N)$ :	Représente la partie de l'équation due à l'influence de l'ellipticité de l'orbite de la terre autour du soleil	[–]
$\Delta T_R(N)$ :	Représente celle due à l'obliquité de la terre	[–]

### ***Liste Des Abréviations***

GMT :	Le Temps Moyen de Greenwich
MLJ :	Modèle de Liu Jordan
MPB :	Modèle de Perrin Brichambeaut
OMM :	Organisation Météorologique Mondiale



# Remerciements

*Nous remercions et rendons grâce à Dieu de nous avoir permis d'accomplir ce modeste travail. Dieu soit loué avant et après. Prières et paix soient sur le Messager d'Allah et sur Dieu et ses compagnons tous .*

*Nous adressons nos remerciements sincères et sincères à notre honorable professeur, « Boussaid Mohammed », qui a fourni de précieux conseils et orientations tout au long de la période de recherche, et nous lui souhaitons du succès dans son travail.*

*Nous adressons également nos sincères remerciements au Professeur « Boucguicha Nada » pour la cotutelle et pour sa belle patience, qui nous a apporté son aide tout au long de la période de préparation de cette lettre et nous a donné un ensemble de données de base pour mener à bien ce travail*

*Un salut d'appréciation, de respect et de remerciements particuliers à chacun des professeurs respectés du Département des sciences des matériaux, dirigé par le professeur « El-Fahem El-Hashemi Sakhir » .*

*Nous tenons à remercier sincèrement tous ceux qui ont contribué d'une manière ou d'une autre de près ou de loin à la réalisation de ce message.*

Elbatoul // safia

# Dédicace

*Je dédie les fruits de cet humble effort à mes chers parents, qui m'ont apporté aide et assistance, et ont été mon meilleur soutien.*

*Je dédie à celui qui supervisait mes soins et mon éducation. « Père maman »  
A celui qui a pris soin de moi et qui a été le meilleur sponsor : « Mon père a la miséricorde de Dieu. »*

*Pour le plus grand cadeau de Dieu Tout-Puissant mes sœurs.*

*Pour la famille, les proches, tous les amis et copines.*

*Et tous ceux qui ont travaillé avec moi pendant les années de mon développement scientifique et cognitif. À tous les collègues et confrères du Collège des sciences et de la technologie. Qui m'a accompagné dans la recherche*

*. Et tous ceux qui m'aiment.*

**Elbatoul**

# Dédicace

*loué soit Dieu qui nous a permis de mener à bien cet humble travail*

*Quis*

*A qui nous espérons l'honneur de son amour et de son intercession, « Muhammad », que la  
paix soit sur lui.*

*A celle qui m'a porté à toi, ma tendre mère.*

*A celui qui a travaillé dur pour ma réussite, à toi, « cher père »*

*Au capitaine du voyage scientifique à vous « mes professeurs »*

*A mes partenaires dans l'utérus « pour toi est le meilleur de mes frères et sœurs »*

*A qui j'ai partagé les épreuves et les peines de ce travail, à toi « Ghentouf Elbatoul »*

*A vous et à tous mes collègues et à l'âme de chaque cœur qui porte les graines de l'amour et de la  
fraternité .*

*safia*



**INTRODUCTION GENERALE**

## **INTRODUCTION GENERAL :**

Dans les stations météorologiques, le rayonnement solaire global est généralement mesuré sur une surface horizontale. Cependant, afin de profiter pleinement du rayonnement solaire sur la surface du capteur, les systèmes solaires fixes conventionnels, y compris les panneaux solaires photovoltaïques et les capteurs solaires à panneaux plats, sont installés sur des surfaces inclinées. Le rayonnement solaire global horaire sur les surfaces inclinées peut être estimé à partir du rayonnement solaire global sur les surfaces horizontales à l'aide de plusieurs modèles. Ces modèles permettent d'estimer la composante horaire du rayonnement solaire global sur les surfaces horizontales (rayonnement direct et diffus) et les surfaces inclinées (rayonnement direct, diffus et réfléchi par le sol). Étant donné que le modèle estimé est fortement influencé par la latitude de localisation, il est impératif de trouver le modèle le plus précis pour chaque région. Un modèle précis peut être trouvé en comparant les valeurs mesurées avec les valeurs estimées par différents indicateurs statistiques . En raison du grand nombre de modèles estimés, les chercheurs choisissent généralement quelques modèles trouvés dans des études précédentes comme modèles précis à différentes latitudes proches de la latitude de leur région. Le manque d'études approfondies basées sur l'identification des modèles les plus précis à différents endroits a été la motivation de cette étude.

De plus, étant donné que la quantité de rayonnement solaire incident sur un capteur solaire ou un panneau PV est fortement influencée par son angle d'installation et son orientation , trouver l'angle d'inclinaison optimal pour recevoir le maximum de rayonnement solaire sur un module PV est le moins cher. et la méthode la plus efficace.

Bien que de nombreux modèles d'estimation du rayonnement diffus sur les surfaces horizontales et inclinées aient été développés au cours des deux dernières décennies, il existe un manque flagrant d'études classant les modèles employés qui prennent en compte la latitude et les paramètres d'influence maximale tels que l'angle d'inclinaison optimal.



**CHAPITRE I**    **LE GISEMENT SOLAIRE**

## CHAPITRE I LE GISEMENT SOLAIRE

### I.1 INTRODUCTION

L'énergie solaire est l'une des énergies renouvelables les plus complexes dans de nombreux domaines différents et elle est la plus répandue en raison de sa facilité d'utilisation et du fait que différents besoins humains sont satisfaits. Pour étudier l'énergie solaire, il est nécessaire de connaître la position du Soleil dans le ciel à un moment et un endroit précis, car la quantité de rayonnement solaire reçue par un seul endroit varie d'un endroit à l'autre à la surface de la Terre.

### I.2 LE SOLEIL

Le soleil, la principale source d'énergie du monde, fournit chaleur et lumière à la Terre. Le Soleil, c'est une particule coréenne autogravitationnelle dont la structure est une boule massive de matière gazeuse, dans laquelle la réaction de la fusion nucléaire dans le noyau intérieur du Soleil crée une force de gravité, créant une fusion nucléaire qui convertit les atomes d'hydrogène en atomes d'hélium. Les rayons solaires se propagent dans l'espace et la durée des rayons électromagnétiques sur la Terre est estimée à 8 minutes [1].

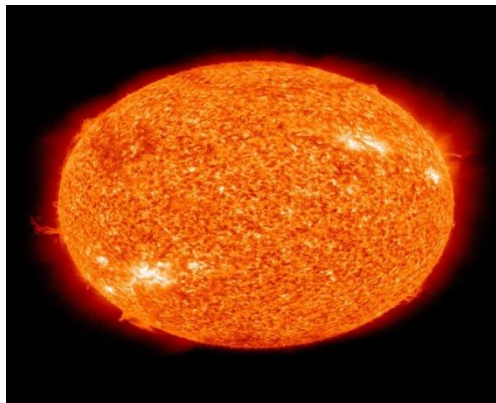


Figure I-1 : la soleil [1].

#### ❖ Composants du soleil

Hydrogène	Hélium	Oxygène	Carbone	Fer
73,46%	24,85%	0,77%	0,29%	0,16%
Néon	Azote	Silicium	Magnésium	Soufre
0,12%	0,09%	0,07%	0,05%	0,04%

Tableau I-1 : Composition photosphérique [1].

## CHAPITRE I LE GISEMENT SOLAIRE

### ❖ Les propriétés physiques du soleil physiques

Diamètre moyen [km]	Rayon équatorial [km]	Circonférence équatoriale [km]	Surface [km <sup>2</sup> ]	Volume [km <sup>3</sup> ]
1392684	696342	$4,379 \times 10^6$	$6,0877 \times 10^{12}$	$1,412 \times 10^{18}$
Mass [kg]	Gravité à la surface [ms <sup>-2</sup> ]	Vitesse de libération [km/s]	Couronne °C	Flux énergétique w
$1,9891 \times 10^{30}$	273,95	617,54	1000000	$3,826 \times 10^{26}$

Tableau I-2 : caractéristique physique [1].

### ❖ Le constante solaire

C'est l'énergie totale que la Terre reçoit du Soleil par rapport au temps. Il est situé perpendiculairement sur les rayons du soleil dans la couche externe de l'atmosphère terrestre. La constant solaire exprime l'éclairage annuel du flux solaire.

Des études récentes de l'OMM ont montré que la valeur approximative de la constante solaire est de  $I_{sc} = 1367 \text{ w/m}^2$ . La constante solaire n'est pas une constante physique. Il s'agit de la valeur variable moyenne utilisée pour calculer l'intensité de la lumière dans la partie supérieure de l'atmosphère, l'intensité de la lumière dans la partie supérieure de l'atmosphère  $I_0$  est donnée en fonction du facteur de correction de la distance entre la Terre et le Soleil et est donnée comme suit [2] :

$$I_0(j) = I_{sc} \varepsilon(j) \quad (\text{I—1})$$

$\varepsilon$  est le coefficient de correction dû à la distance différente entre la Terre et le Soleil et varie également en fonction du nombre de jours de l'année J [2].

$$\varepsilon(j) = 1 + 0,0344 \times \cos\left(\frac{2\pi}{365,25} J\right) \quad (\text{I—2})$$

## I.3 RAYONNEMENT SOLAIRE A LA TRAVERSEE DE L'ATMOSPHERE

### I.3.1 L'atmosphère

La Terre est entourée d'un groupe de gaz accumulés qui forment une couche appelée atmosphère, installée autour d'elle par l'effet de la gravité, qui contribue à la protection de la Terre et au chauffage de la surface. L'atmosphère est composée de gaz, de corps solides et de vapeur d'eau, l'azote représentant 78% de l'air sec, l'oxygène formant 21% de l'air sec, les gaz restants consistant en 0.93% d'argon, 0.04% de dioxyde de carbone, de vapeur d'eau hydrogène, d'hélium, de néon et de xénon [3].

Chaque composante de l'atmosphère a un rôle important et une source clé. L'air contient divers gaz qui se déplacent entre eux qui dispersent les rayons solaires à tous égards et mettre en évidence les gaz d'azote que les bactéries fonctionnent en se transformant en engrais chimique de la plante et aussi l'oxygène qui est nécessaire pour respirer. Les corps solides et la poussière sont des particules aérosols à petite



## CHAPITRE I LE GISEMENT SOLAIRE

échelle libérées par les flammes et les météorites lorsqu'elles brûlent avant d'atteindre la Terre et proviennent également de polluants humains tels que la fumée des voitures, les usines et les cendres des volcans en éruption. Pour la vapeur d'eau, elle se condense autour de molécules solides lorsque la température de l'air baisse, ou la condensation est la première étape dans la formation des nuages [3].

Chaque zone de l'atmosphère se comporte très différemment de l'autre couche alors que nous élevons au-dessus de la surface de la Terre, l'atmosphère s'amincit et s'estompe dans l'espace.

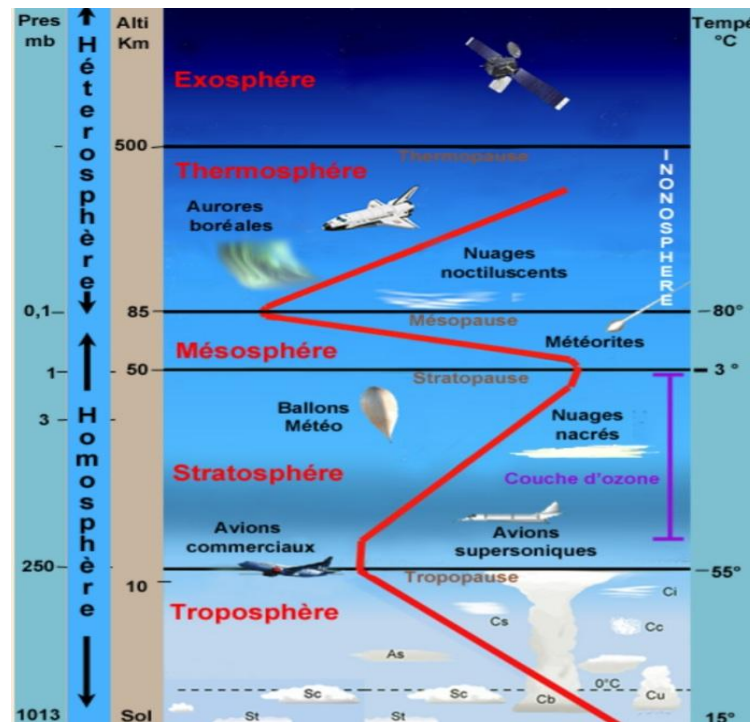


Figure I-2: Structure de l'atmosphère [4].

- Troposphère : il s'étend à 10 km de la surface de la Terre, la couche la plus dense de l'atmosphère est adjacente à la surface de la terre, les météorologues prédisent les conditions météorologiques en étudiant cette couche, ou différents phénomènes et changements météorologiques se produisent [3].
- Stratosphère : il s'étend du tropopause à 10 km au-dessus de la surface de la terre. Il contient de l'ozone qui réchauffe l'air en absorbant les rayons ultraviolets, formant ainsi une couche qui contribue à protéger la Terre contre les rayonnements nocifs [3].
- Mésosphère : elle s'étend des stratopause des jusqu'à 80 km au-dessus de la surface de la Terre, cette couche a une température basse et brûle les flammes et les météorites avant d'atteindre la surface de la Terre [3].
- Thermosphère : sa hauteur varie de 500km au moment de l'activité solaire à 1000km au moment où le soleil est calme, cette couche est caractérisée par une température élevée et de faibles gaz [3].

- .Exosphère : cette couche est ouverte à l'espace. Il y a de d'hélium et de l'hydrogène dans cette couche et les satellites tournent dans cette couche [3].

### I.3.2 Masse d'air

Les masses d'air sont une énorme quantité d'air formée sur des zones spécifiques de la surface de la Terre qui sont homogènes dans leur caractéristiques de température et d'humidité, couvrant de longues distances jusqu'à 1000 kilomètres horizontalement, les masses d'air se déplacent d'un endroit à l'autre en fonction de la vitesse du vent et des systèmes étanches [5].

Lorsque le champ solaire traverse l'atmosphère, le rayonnement solaire subit une atténuation et modifie son spectre. La couche d'ozone absorbe donc la plupart des rayons ultraviolets, tandis que la vapeur d'eau absorbe les rayon infrarouges. Ainsi, le rayonnement solaire sur terre dépend de l'épaisseur de lumière, et n'est donc pas homogène sur toute la surface de la Terre. Pour tenir compte de ces différences, nous proposons un facteur  $M$  appelé masse atmosphérique ou numéro de masse atmosphérique ou (OM) dont l'expression est [6] :

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

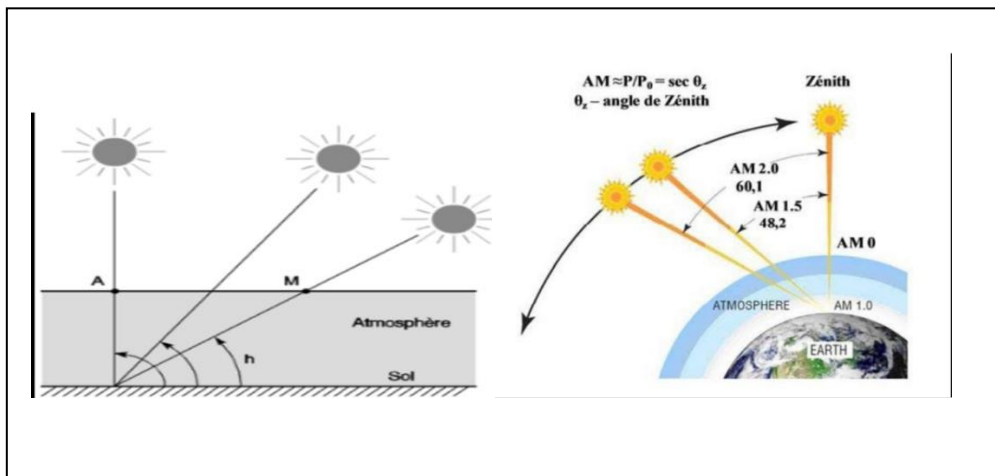


Figure I-3: définition de l'air mass [7].

Kastan a trouvé une formule dérivée de l'équation [8]:

$$m = \frac{1}{p_0 z_0} \int_0^\infty \left[ 1 - \left( \frac{r_e}{r_e + z_0} \right)^2 \left( \frac{n_0}{n} \right)^2 \sin h \right]^{-\frac{1}{2}} \rho dz \quad (I-4)$$

$h$  : Hauteur de soleil

$p$  : Masse volumique,  $p = p(z)$  et  $p_0 = p(0)$

$n$  : Indice de réfraction,  $n = n(z)$  et  $n_0 = n(0)$

$z_0$  : Hauteur de l'atmosphère homogène

$r_e$  : Rayon de la terre .

La figure suivante,  $\theta_s$  représente le hauteur du soleil à l'horizon (90 au zénith ). Le soleil ou sommet correspond aux conditions AM1 car les rayons lumineux traversent une unité d'épaisseur atmosphérique (7,8 km).

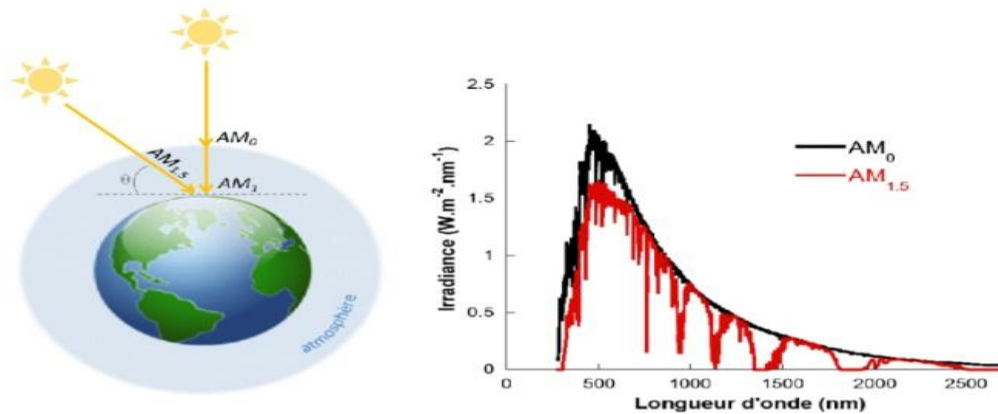


Figure I-4 : Définition du nombre d'air masse (AM) et spectre d'émission du rayonnement solaire homologué par la Société Américaine de Tests et Matériaux (ASTM G173-03) [6].

-AM0 correspond à une masse d'air nulle pour lumière arrivant au dessus de notre atmosphère à incidence normale [3].

-AM1représente le spectre solaire à la surface de la terre quand le soleil est u zénith [3].

-AM1.5 désigne la masse d'air rencontrée par la lumière arrivant à  $48,2^\circ$  (par rapport à la verticale au sol) sur la terre, soit la lumière plus faible du fait que l'épaisseur de la couche atmosphérique traversée est plus grande [3].

-AM2 désigne la masse d'air rencontrée par la lumière arrivant à  $60,1^\circ$ (par rapport à la verticale au sol) sur la terre [3].

Les rendement des cellules sont déterminés par rapport à AM1.5 à la température de  $25^\circ$  [3] .

### I.3.3 Le mouvement de la terre

La terre tourne autour de son axe formant la nuit et le jour , la durée de ce mouvement est de 24 heures et la terre tourne autour du soleil , formant les quatre saisons . Ce processus prend 365,25 jours, ce mouvement s'appelle l'écliptique Pendant ce mouvement , l'axe de rotation de la Terre reste parallèle à lui-même , mais il est incliné de  $23.5^\circ$  par rapport au plan normal , la longueur de l'orbite terrestre est d'environ 940.7 millions de kilomètre es, puisque la Terre tourne sur cette orbite en une année tropicale, soit 365 jours , 5 heures, 48 minutes et 45 secondes (12mois) . Sa valeur augmente lorsqu'il s'approche du soleil et ralentit lorsqu'il s'en éloigne, avec

## CHAPITRE I LE GISEMENT SOLAIRE

une vitesse moyenne de 107,314 kilomètres par heure ou 29,8 kilomètres par seconde entraînant à chaque année un parcours d'environ un milliard de kilomètres. De point de vue du pôle nord de la Terre, cette dernière parcourt son orbite dans le sens antihoraire. Cette direction correspond, à midi, à l'ouest d'un observateur situé sur l'équateur terrestre [9].

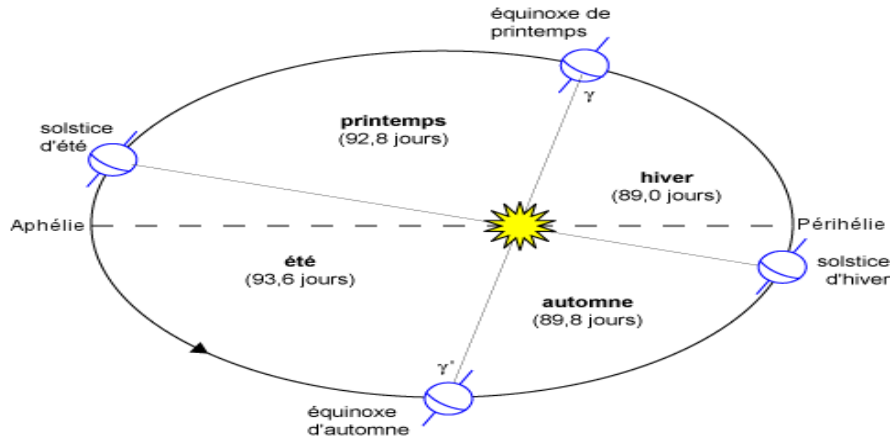


Figure I-5 : Mouvement de la terre autour du soleil [7].

légende [10] :

- équinoxe de printemps : 21 mars ( $\delta = 0^\circ$ )
- solstice d'été : 22 juin ( $\delta = + 23^\circ 27'$ )
- équinoxe d'automne : 23 septembre ( $\delta = 0^\circ$ )
- solstice d'hiver : 22 décembre ( $\delta = - 23^\circ 27'$ )
- approche maximal ( périhélie ) : 2 janvier
- éloignement maximal ( aphélie ) : 2 juillet

### I.3.4 La variation annuelle du rayonnement direct extraterrestre

L'émission de rayonnement électromagnétique du Soleil à une capacité moyenne de  $1367 \text{ } \boldsymbol{w m}^{-2}$  à un niveau compatible avec le rayonnement, qui varie d'environ  $\pm 3,4\%$  au cours de l'année [8].

Le rayonnement ionique direct est la lumière reçue par un plan d'incidence normale. Le rayon solaire par unité de surface dans la haute atmosphère de l'atmosphère, donné par en watts par unité mètre carré [11]:

$$I_{on} = I_{sc} \left( 1 + 0,033 \cos \left( \frac{366}{365} \cdot J \right) \right) [w m^{-2}] \quad (\text{I—5})$$

$$E_0 = 1 + 0,033 \cos \left( \frac{366}{365} \cdot J \right) \quad (\text{I—6})$$

$E_0$  : Facteur de correction de l'excentricité de l'orbite terrestre.

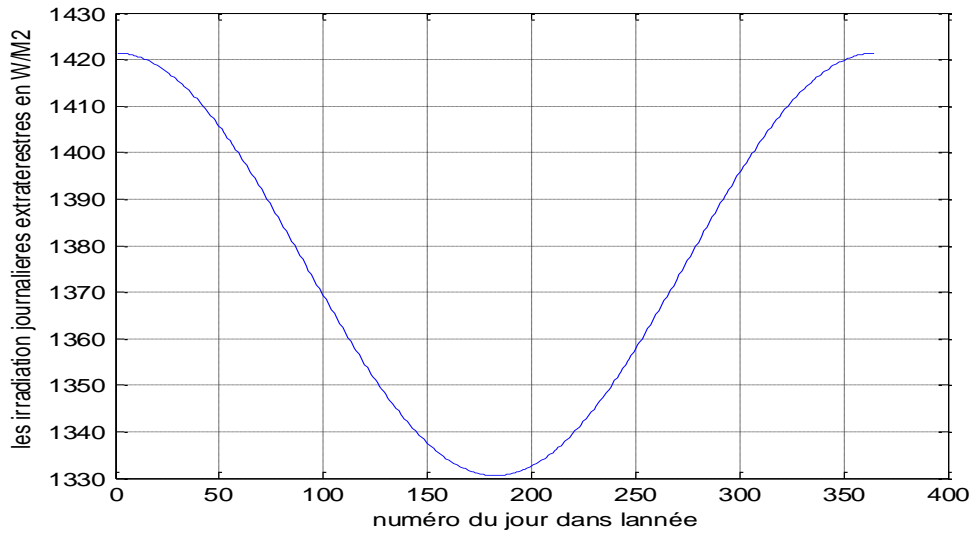


Figure I-6 : Variation annuelle du rayonnement solaire extraterrestre .

## I.4 NOTIONS SUR L'ASTRONOMIE

### I.4.1 L'écliptique $E_c$ :

Le plan de l'écliptique est certainement le plan géométrique qui contient l'orbite de la Terre autour du Soleil [12] .

D'un point de vue géocentrique, l'écliptique est le grand cercle qui représente la projection de la trajectoire apparente de l'année solaire sur la sphère céleste visible depuis la Terre. D'un point de vue héliocentrique, c'est l'intersection de la sphère céleste avec le plan de l'écliptique [12] .

Le plan de l'écliptique, et donc aussi le plan de l'écliptique défini ci-dessus est le plan de référence du repère céleste, dit repère de l'écliptique [12].

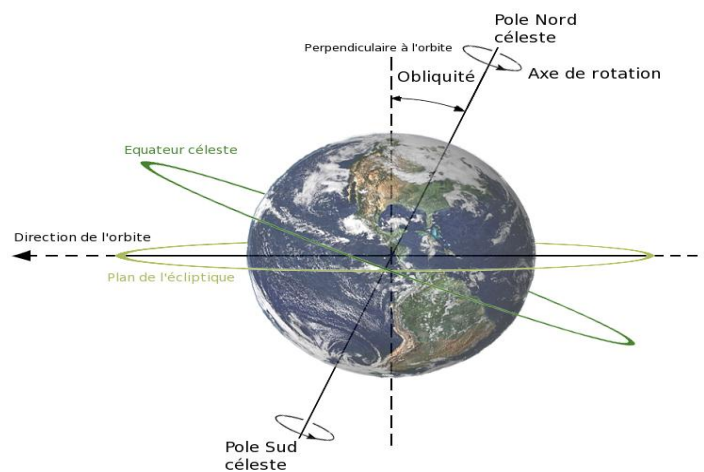


Figure I-7 : l'écliptique et sa relation avec l'équateur céleste et l'axe de rotation de la Terre [12].

## I.4.2 L'équateur $E_q$ :

L'équateur terrestre est une ligne imaginaire parallèle tracée autour de la Terre, entre les pôles de la Terre. Il marque la séparation des hémisphère nord et sud. Par définition, la latitude à l'équateur terrestre est de zéro degré (angle). Dans le cas de la simulation d'un globe avec une sphère, l'équateur est à la fois un cercle parfait et un grand cercle [13].

Elle est également définie comme l'intersection de la surface de la Terre avec un plan perpendiculaire à son axe de rotation et contenant son centre de gravité [13].

## I.5 SYSTEMES DE COORDONNEES CELESTES

### I.5.1 Coordonnées géographiques

- ❖ **La latitude  $\varphi$**  : c'est la distance angulaire de n'importe quel point de la surface de la terre par rapport à l'équateur . Cette distance est exprimée en degrés cette distance varie de  $0^\circ$  à l'équateur à  $90^\circ$  au pôle nord [10].
- ❖ **La longitude  $L$**  : c'est la mesure de l'angle entre le méridien local d'une région avec le premier méridien de Greenwich , exprimé en degrés [8].
- ❖ **Altitude  $A$**  : la hauteur d'un point par rapport à la surface terrestre correspond à la distance verticale entre ce point et la surface de référence . le niveau de la mer peut être considéré comme un niveau de référence , cette distance est exprimée en mètres [7].

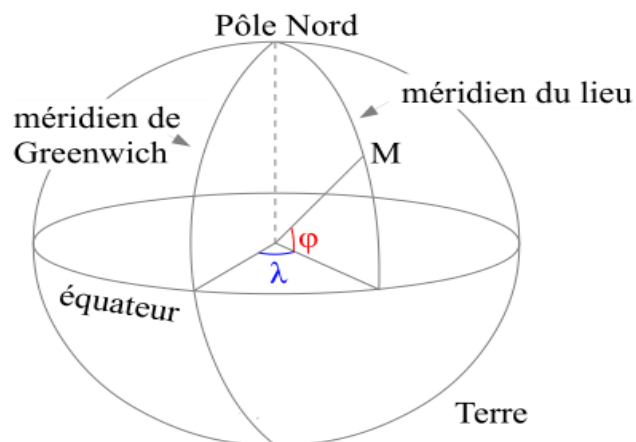


Figure I-8 : latitude et longitude d'un point [14].

### I.5.2 Les coordonnées du soleil

Savoir où se trouve le soleil dans le ciel est essentiel à la bonne conception d'un système solaire. Parce que la position du soleil dans le ciel est fonction du temps et de la position géographique du moniteur à la surface de la Terre. La rotation de la Terre autour du Soleil tout au long de l'année s'accompagne de la révolution du Soleil dans un plan appelé l'écliptique. La donnée géométrique la plus importante pour obtenir la position du soleil à un endroit donné et à un instant donné est de calculer le delta de déclinaison, l'angle horaire  $\omega$ , l'altitude du soleil.

**I.5.3 Coordonnées équatoriales**

❖ **La déclinaison  $\delta$**  : la déclinaison solaire  $\delta$  est l'angle formé par la direction du soleil et le plan équatorial terrestre. Elle varie au cours de l'année entre  $-23,27^\circ$  et  $+23,27^\circ$  la valeur de  $\delta$  est calculée par [15]:

$$\delta = 23,45^\circ \sin \left[ \frac{360}{365} (J + 284) \right] \quad (I-7)$$

où J est le nombre du jour de l'année. Ce qui représente le 1 janvier .

cette formule peut également être représentée par le graphiquement dans la figure suivante par des séries de Fourier [8]:

$$\delta = (0,006918 - 0,399912 \cos \beta + 0,070257 \sin \beta - 0,006758 \cos 2\beta + 0,000907 \sin 2\beta - 0,002697 \cos 3\beta + 0,00148 \sin 3\beta) 180^\circ \pi \quad (I-8)$$

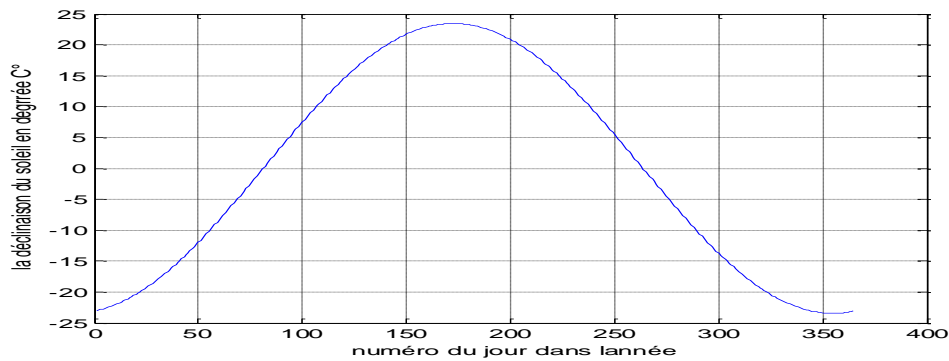


Figure I-9 : Variation annuelle de la déclinaison solaire.

❖ **l'angle horaire  $\omega$**  : c'est la mesure de l'arc de trajectoire solaire compris entre le soleil et le plan méridien du lieu . Elle est déterminée par la rotation journalière de la Terre sur son axe . Il est donné par la relation suivante [16] :

$$\cos \delta \sin \omega = \cos h \sin z \quad (I-9)$$

d'où :

$$d = \frac{2}{15} \arccos(-tg \varphi . tg \delta) \quad (I-10)$$

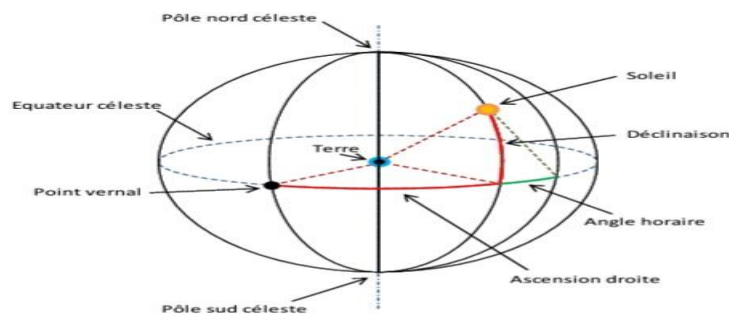


Figure I-10: Système de coordonnées équatoriales [15]

**I.5.4 Les coordonnées horizontales**

❖ **La Hauteur solaire  $h$**  : Cet angle est exprimé en degrés, il est compris entre  $0^\circ$  et  $90^\circ$  ( zénith), il est compté positivement du plan horizontal vers le zénith . Elle est donnée par la formule suivante ( voir Systèmes de coordonnées célestes ) [10]:

$$h = \arcsin (\cos\lambda\cos\delta\cos\omega + \sin\lambda\sin\delta) \quad (I-11)$$

$$\sinh = \sin\varphi\sin\delta + \cos\varphi\cos\delta\cos\omega \quad (I-12)$$

ou  $\lambda$  est la latitude astronomique du lieu d'observation, les autres paramètres sont déjà définis.

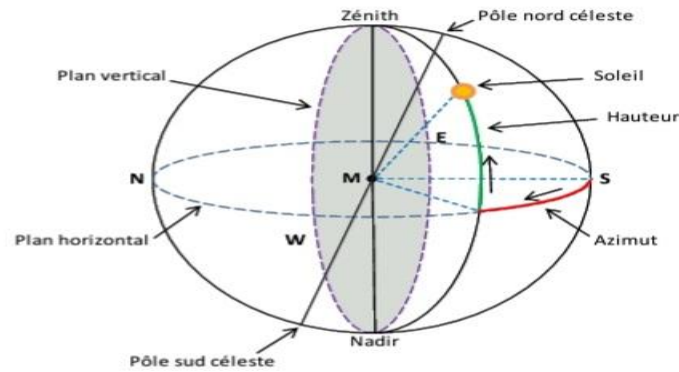


Figure I-11: Système de coordonnées horizontales [15].

❖ **L'azimut du soleil  $\theta_s$** :C'est l'angle entre le véhicule horizontal du rayon solaire et l'axe sud. Cet angle change à mesure que les jours changent au cours de l'année et aussi à mesure que le soleil change de position au fil du temps. La toxicité est calculée de façon positive de  $0^\circ$  à  $360^\circ$  dans l'horlogerie du Sud . Obtenue comme suit [15] :

$$\theta_s = \arcsin \left( \frac{\cos\delta\sin w}{\cosh} \right) \quad (I-13)$$

Ou  $w$  est l'angles horaire,  $h$  la hauteur du soleil et  $\delta$  la déclinaison.

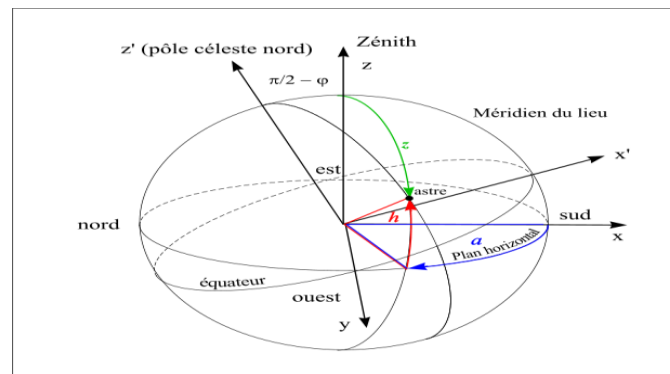


Figure I-12 : Zénith de soleil [17].



## I.6 DEFINITION DES DIFFERENTS TEMPS

Le moment dépend de la rotation de la terre autour d'elle-même et autour de soleil .la terre se déplace à moine de degrés autour du soleil pendant le temps qu'il faut pour compléter un cycle autour de son axe .puisque chaque heure correspond à une différence de temps de 15 degrés qui caractérise le temps solaire mesuré de midi le lendemain ,c'est le passage du soleil de la fin céleste à la hauteur maximale du ciel. Le premier facteur est que le vrai chemin du soleil n'est pas le long de la ligne céleste sure laquelle le temps est mesuré ,et le second facteur est la vitesse à laquelle la terre tourne autour de son axe.

### I.6.1 Temps Universel (TU)

Est l'heure solaire moyenne de GMT. Elle est calculée par le jour solaire moyen qui commence à minuit et dure une journée solaire complète. L'heure mondiale est essentielle pour l'heure locale d'une région [15] .

$$T_u = TL - 1 \quad (I-14)$$

TL : est le temps local ou légal.

### I.6.2 Le temps solaire moyen (TSM)

Le temps solaire moyen est défini comme un objet qui se déplace toute l'année sur l'équateur et à une vitesse constante . La journée solaire moyenne dure exactement 24 heures [15].

### I.6.3 Le temps solaire vrai (TSV)

Le temps solaire réel dépend du mouvement apparent du Soleil. Le temps est mesure en fonction de l'apparence réelle du Soleil .Cela dépend aussi du jour solaire, qui est l'intervalle entre deux retours consécutifs du Soleil à la ligne locale de la mort. La première est due à la déviation du centre orbital de la Terre , car la Terre se déplace rapidement quand elle est plus proche du Soleil et plus proche du soleil et plus lentement quand elle s'éloigne de lui La deuxièmes raison est l'inclinaison axiale de la Terre. Le temps solaire vrai peut être donné, en heures, par la formule suivante [15] :

$$TSV = T_u + E + CL \quad (I-15)$$

Où :

$T_u$  est le temps universel.

$E$  est l'équation du temps.

$CL$  représente la correction de la longitude, avec :

$$CL = -4\lambda \quad (I-16)$$

$\lambda$  est la longitude du lieu, Par conséquent dans le cas d'Adrar, nous avons la formule suivante utilisée, par la suite, dans nos calculs d'estimation du rayonnement solaire [15]:

$$TSV = T_L + E - 4\lambda \quad (\text{I—17})$$

### 1.6.4 Equation du temps

L'équation du temps, à un instant donnée, est la différence entre le temps solaire moyen et le temps solaire vrai ; autrement dit [15] :

$$E = TSV - TSM \quad (\text{I—18})$$

Par ailleurs, elle est donnée par la formule suivante :

$$\Delta T(N) = \Delta T_c(N) + \Delta T_R(N) \quad (\text{I—19})$$

Où

$\Delta T_c(N)$  : représente la partie de l'équation due à l'influence de l'ellipticité de l'orbite de la terre autour du soleil.

$\Delta T_R(N)$  : représente celle due à l'obliquité de la terre.

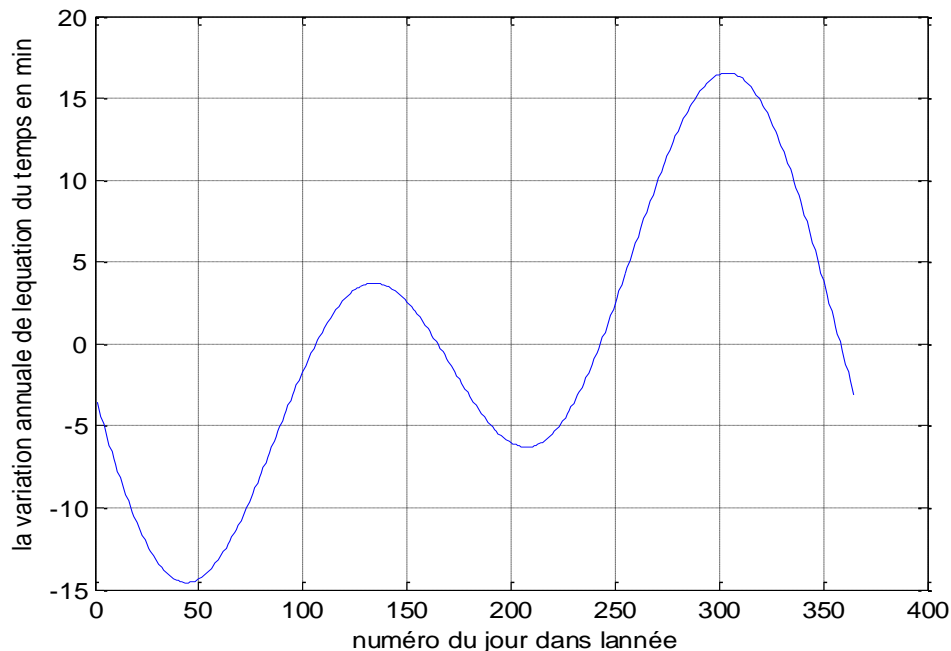


Figure I-13 : Variation annuelles de l'équation du temps.

### I.7 CONCLUSION :

Dans ce chapitre, nous avons discuté d'une série de concepts liés au champ solaire, basés sur les coordonnées du Soleil, le mouvement du Soleil, l'effet de l'atmosphère sur le rayonnement solaire, divers composants du rayonnement solaire etc. Le rayonnement solaire qui atteint la Terre est influencé par plusieurs facteurs comme la luminosité du Soleil, la température, l'emplacement géographique, l'heure du jour étudiée, la nature de la couverture nuageuse et l'angle d'inclinaison entre la Terre et le Soleil.



**CHAPITRE II**    LE Rayonnement solaire

CHAPITRE II LE Rayonnement solaire

II.1 INTRODUCTION :

Le rayonnement solaire est affecté lorsqu'il traverse l'atmosphère de plusieurs façons, et dans ce chapitre, nous fournissons différentes définitions du rayonnement solaire en dehors de l'atmosphère et différents changements au rayonnement lorsqu'il traverse l'atmosphère. En plus de divers appareils standard pour les composants de rayonnement solaire.

II.2 COMPOSITION DE RAYONNEMENT SOLAIRE :

Les rayons solaires sont des longueurs d'onde. Il se compose de nombreux spectres, y compris les spectres visibles, qui représentent environ 45% de tous les rayons solaires. Le rayonnement solaire invisible représente environ 9 % du rayonnement solaire total, comme le rayonnement ultraviolet. Il y a le rayonnement thermique, qui est infrarouge, qui représente 46 % du rayonnement solaire total [18].

Les rayons solaire en voyage vers la surface de la Terre sont affectés par l'atmosphère, selon les mesures satellitaires climatiques, environ 49% du rayonnement solaire est absorbé par les raids, les nouages et les matériaux coincés dans l'atmosphère , la proportion de rayonnement solaire arrivant sur Terre est estimée à 51 % du rayonnement total. L'un des composants les plus importants et actifs de l'atmosphère est le rayonnement solaire. Rayonnement global qui combine le rayonnement direct avec le rayonnement diffus qui est exporté directement du Soleil dans le cas de la réflexion de rayon, le rapport entre la quantité de rayon réfléchi à partir d'une surface et les rayons totaux reliés à l'albédo d'expression est appelé [18].

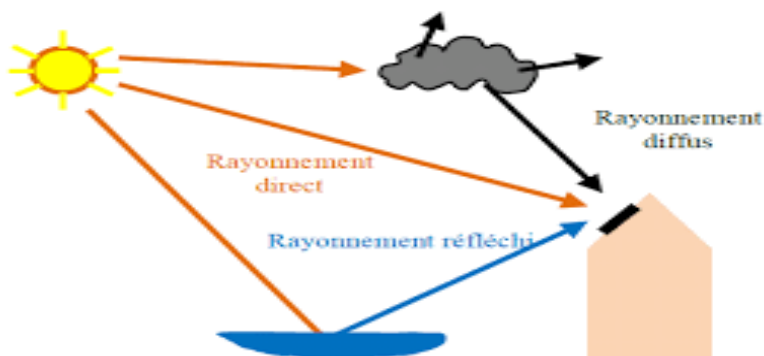


Figure II-1 Représentation des différents rayonnements solaires terrestres reçus sur une installation donnée [19].

### II.3 Rayonnement direct ( S )

Le rayonnement direct est un rayon de lumineux qui provient directement du Soleil sous la forme d'un flux uniforme de rayons parallèles les uns aux autres. Le rayonnement direct dépend fortement de la hauteur du soleil et de l'angle de chute. Si aujourd'hui est clair, l'énergie solaire directe atteint la Terre sans changer de direction, si aujourd'hui est plein de nuages, les rayons directs entrent en collision avec les nuages et s'étendent dans toutes les direction [2].

### II.4 Rayonnement diffus (dI)

Le rayonnement diffus est le rayonne ment solaire qui circule dans toutes les directions. Le rayonnement évident lorsque le ciel est nuageux est le rayonnement diffus et est causé par des molécules d'air et des particules en suspension dans l'atmosphère. Le rayonnement diffus est mesuré au moyen d'un thermomètre muni d'un dispositif semblable à celui du Soleil [2].

### II.5 L'albédo ou Réfléchi (Alb)

Albédo c'est la partie qui est réfléchié par le sol. Cela dépend de l'environnement du site et se trouve dans deux direction, soit de manière diffuse ou dans une direction préférée ( soi-disant réflexion miroir). L'importance de la surface réfléchié réside dans le cas où la surface est diagonale [20].

### II.6 Rayonnement global G

Le rayonnement globale est l'énergie radioactive totale du Soleil en fonction de la saison et collecteur de radiations directes et diffuses [2].

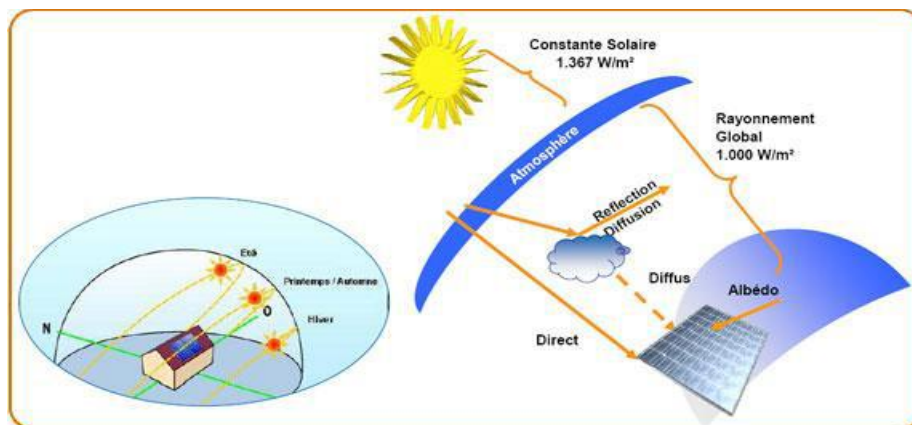


Figure II-2 : Les différents types du rayonnement solaire [21].

### II.7 APPAREILS DE MESURE

L'intensité du rayonnement solaire est mesurée en watt par mètre carré ( $w/m^2$ ), dont l'intensité varie selon la longueur de sa luminosité temporelle et spatiale, selon

l'angle de chute des rayons solaires à la longueur différente de la journée tout au long de l'année en raison de la position différente de la Terre par rapport au soleil pendant le cycle annuel de la Terre autour du soleil. Pour illustrer la distribution géographique de l'intensité du rayonnement solaire et de la longueur de sa luminosité, chacun est mesuré dans les stations météorologiques par le microscope paramétrique suivant [18].

### II.7.1 Rayonnement direct :

Le rayonnement solaire direct est mesuré au moyen du pyrhéliomètre, un capteur de rayonnement solaire direct utilisé pour surveiller la performance du système solaire photovoltaïque. Afin de mesurer le rayonnement direct, le pyrhéliomètre est équipé d'un moteur électrique pour suivre automatiquement le disque du Soleil [22].



Figure II-3 : Appareil de mesure des rayons directs (pyrhéliomètre) [22].

### II.7.2 Rayonnement diffus :

Ce type de rayonnement est mesuré par un appareil appelé "péranomètre", qui est muni d'un ruban adhésif solaire (un anneau métallique qui masque le disque solaire). Ce rayonnement vient du ciel, à l'exception du disque solaire. Quantité de rayonnement solaire émise par des particules solides ou liquides en suspension dans l'atmosphère [7].



Figure II-4 : Appareil de mesure des rayons diffus (pyranomètre) [21].

### II.7.3 Albédo du sol

Ce type de rayons solaires réfléchis est mesuré par un Albedomètre, deux mesures pyramidales sont projetées en opposition, l'une regardant vers la Terre et l'autre vers le ciel [7].



Figure II-5 : l'Albédomètre [7].

### II.7.4 Rayonnement global :

C'est l'un des types de mesures utilisées en météorologie pour mesurer la quantité totale de rayonnement qui atteint la surface de la Terre directement ou indirectement. Il n'a pas besoin d'électricité pour le faire fonctionner, il contient deux boules de verre photovoltaïque transparent défilant la moitié centrale intérieure bloquant le rayonnement infrarouge provenant de la moitié extérieure, dans la moitié de l'appareil, il y a un certain nombre de doubles thermiques attachés respectivement à la formation d'une colonne thermique et contient un disque de protection blanc vif pour empêcher l'effet de duplication thermique avec une source autre que le rayonnement solaire à mesurer. Le peranometer ne peut être utilisé que pour mesurer le rayonnement dispersé en induisant en erreur la surface de réception du rayonnement de l'appareil pour empêcher l'arrivée directe du rayonnement et de cette façon, le rayonnement direct et dispersé peut être identifié [22].



Figure II-6 : Pyranomètre: appareil de mesure des rayons diffus [22].

### II.7.5 Mesure de la Durée d'insolation

Afin de mesurer la longueur de la lumière du soleil, nous utilisons un dispositif d'imagerie solaire, qui est une boule de cristal de verre monté sur un support. Dix centimètres de diamètre, le carton est installé derrière la boule de verre avec un certain nombre d'heures aujourd'hui, les mesures sont enregistrées tous les soirs après le coucher du soleil. Enlever le carton qui brûlera lorsque la lumière du soleil pénètre



dans le cristal de verre. le papier ne brûle pas tant que la saturation n'est pas atteinte. Notez la date du jour d'observation. La longueur de la lumière du soleil est calculée en calculant la longueur des marques de brûlure des feuilles sur le gradient temporel sur la feuille. Les distances non brûlées font référence à la période nuageuse qui a prévalu pendant la journée. La graduation des boutons permet d'ajuster le mile de support en fonction de la latitude du point de stabilisation de la carte héliographique. La ceinture est valide à différents moments de l'année [23].



Figure II-7 : appareil de mesure de la durée d'insolation (héliographe) [22].

### II.7.6 Mesure de la température solaire :

La température en dessous de l'ombre est mesurée par le thermomètre. Mettre dans un bunker privé. Il couvre le soleil et n'empêche pas le passage de l'air.



Figure II-8 : Appareil de mesure de la température (thermocouple) [21].

### II.8 CONCLUSION :

Lorsque le rayonnement solaire traverse l'atmosphère, il subit deux types d'atténuation : l'absorption et la diffusion. Le rayonnement global est la somme du rayonnement direct provenant directement du soleil et du rayonnement diffus provenant de la voûte céleste.

Ce rayonnement est mesuré par différents appareils de mesure dédiés à la mesure des composants du rayonnement solaire, qui correspondent à différentes fluctuations des conditions climatiques.



**CHAPITRE III ESTIMATION DU RAYONNEMENT**  
**SOLAIRE**

**CHAPITRE III ESTIMATION DU RAYONNEMENT SOLAIRE**

**III.1 INTRODUCTION**

La meilleure approche de la connaissance du champ solaire dans la région d'Adrar est la disponibilité d'une gamme de mesures de l'éclairage au sol, bien qu'il existe des stations pour mesurer les composantes globales et généralisées du rayonnement solaire de la lumière solaire. Le nombre de ces stations n'est pas suffisant. Nous présentons donc dans ce chapitre une description des modèles physiques qui contribuent à la connaissance et au calcul des différents composants du rayonnement solaire. Ces modèles ont été proposés par un éventail d'études et de recherches scientifiques pour faciliter le traitement et l'analyse des événements atmosphériques et géographiques.

**III.2 PRESENTATION DU MODELE DE CAPEROU**

Capderou a introduit un modèle mathématique pour calculer le rayonnement de projection directe et la propagation à un niveau horizontal. Il reste le modèle le plus utilisé en Algérie. Selon ce modèle le rayonnement global conçu par Capderou est la somme du rayonnement direct et diffus : Pour le rayonnement direct, Capderou a utilisé un ensemble de formules permettant le calcul du rayonnement direct tombant au niveau horizontal, selon le facteur de linke [24].

**III.2.1 Le facteur de trouble de linke :**

L'agent de brouillard de liaison exprime l'absorption et la propagation du rayonnement solaire à travers les couches de l'atmosphère. Le facteur de brouillard est obtenu par la formule créée par dogniaux [2]:

$$T_L = \frac{5.6\sqrt{m+5}-3.7}{m} \ln\left(\frac{I_0}{I}\right) \quad (\text{III-1})$$

$I_0$  et  $I$  sont les éclaircissement solaires directs extra-terrestre et au sol.

$m$  : c'est la masse de l'atmosphère, à peu près proportionnelle à la pression, c'est évalué par l'équation :

$$m = \frac{p}{p^0 \cdot \sin(h)} \quad (\text{III-2})$$

$p^0$  est la pression atmosphérique normale au niveau de la mer,  $h$  est la hauteur du Soleil .

III.2.2 Rayonnement direct S

❖ L'éclairement direct par ciel clair obtenu sur un plan horizontal est donné [25]:

$$I_b = I_{sc} C_{t-s} \sin(h) \exp\left(-T_L^* \left(0.9 + \frac{9.4}{0.89^z} \sin(h)\right)^{-1}\right) \quad (\text{III-3})$$

$I_{sc}$  est le constant solaire égal 1367 w/m<sup>2</sup>.

$$C_{t-s} = 1 + 0.034 \cos\left(\frac{360}{365}(j - 2)\right) \quad (\text{III-4})$$

$T_L^*$  : est le facteur de trouble atmosphérique de linke [26].

$$T_L^* = T_0 + T_1 + T_2 \quad (\text{III-5})$$

$T_0$  : est le trouble dû à l'absorption gazeuse tant par les constituants fixes de l'atmosphère que par l'ozone et surtout par la vapeur d'eau. Une modélisation de ce facteur en fonction des seuls paramètres géo-astronomiques a permis à Capderou de proposer l'expression suivante [26] :

$$T_0 = 2.4 - 0.9 \sin(\varphi) + 0.1(2 + \sin(\varphi))A_{th} - 0.2 Z - (1.22 + 0.14A_{th})(1 - \sin(h)) \quad (\text{III-6})$$

$Z$  : l'altitude de lieu.

$$A_{th} = \sin\left(\frac{360}{365}(j - 121)\right) \quad (\text{III-7})$$

$T_1$  est le trouble correspondant à l'absorption par les gaz de l'atmosphère (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> et O<sub>3</sub>) et à la diffusion moléculaire de Rayleigh donné par l'approche [26]:

$$T_1 = 0.89^Z \quad (\text{III-8})$$

$T_2$  est le trouble relatif à la diffusion par les aérosols couplés à une légère absorption (il dépend à la fois de la nature et de la quantité des aérosols). En fonction du coefficient de trouble d'Angstrom, est donné par [26]:

$$T_2 = (0.9 + 0.4A_{th})(0.63^Z) \quad (\text{III-9})$$

❖ L'éclairement direct est la projection de la composante normale sur un plan incliné [25] :

$$I_{bi} = I_0 C_{t-s} \cos(i) \exp\left(-T_L^* \left(0.9 + \frac{9.4}{0.89^z} \sin(h)\right)\right) \quad (\text{III-10})$$

$i$  : L'angle d'incidence.

### III.2.3 Rayonnement diffus :

❖ L'éclairement diffus incident sur un plan horizontale donné par [25].

$$I_d = I_0 \exp(-1 + 1.06 \log(\sinh)) + a - \sqrt{a^2 + b^2} \quad (\text{III-11})$$

$$a = 1.1$$

$$b = \log(T_L^* - T_0) - 2.8 + 1.02(1 - \sin(h))^2 \quad (\text{III-12})$$

❖ L'éclairement diffus est la projection de la composante normale sur un plan incliné [27].

$$I_{di} = d_{ciel} + d_{sol} + \delta'_i \frac{1 + \sin(\gamma)}{2} \quad (\text{III-13})$$

$d_{ciel}$  : le diffus du ciel est l'éclairement diffus incident en provenance du ciel [27].

$$d_{ciel} = \delta \frac{1 + \sin(\gamma)}{2} \quad (\text{III-14})$$

$$\delta = \rho G \quad (\text{III-15})$$

$G$  : L'éclairement global horizontal.

$\rho$  : Albédo du sol.

$d_{sol}$  : Le diffuse du sol, L'albédo du sol  $\rho$  caractérise la réflexion de la lumière incidente, pour un plan quelconque  $(\alpha, \gamma)$  [27].

$$d_{sol} = \delta \frac{1 - \sin(\gamma)}{2} \quad (\text{III-16})$$

$\delta'_i$  : Le diffuse rétrodiffusé, le diffuse du sol est rétrodiffusé. Selon le raisonnement de Capderou. Cette composante a la forme suivante [27].

$$\delta'_i = 0.9(\rho - 0.2)G \exp\left(-\frac{4}{\sqrt{T_L^*}}\right) \quad (\text{III-17})$$

### III.2.4 Rayonnement global :

❖ L'éclairement global reçu sur un plan horizontal est donné par [25].

$$I_G = I_b + I_d \quad (\text{III-18})$$

❖ L'éclairement global incident, à un instant donné sur un plan  $(\alpha, \gamma)$  [25]:

$$I_{Gi} = I_{bi} + I_{di} \quad (\text{III-19})$$

III.3 PRESENTATION DU MODELE DE LIU JORDAN

Le modèle Lin Jordan suppose que le rayonnement diffusé dans le ciel est caractéristique. Sa relation générale avec le calcul du rayonnement global est donnée à un niveau graphique par [27] :

$$G = S_h \cdot R_b + d_h \cdot \left( \frac{1+\cos(\beta)}{2} \right) + \rho \cdot \left( \frac{1-\cos(\beta)}{2} \right) \quad (\text{III-20})$$

$I_\beta$  : L'éclairement direct sur un plan incliné est exprimé par la relation suivante [27].

$$S_h = I_b$$

$R_b$  : Le facteur d'inclinaison du rayonnement direct est donné par la relation suivante [27] .

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

$\varphi$  : latitude.

$\beta$  : inclinaison du plan.

$\delta$  : déclinaison du soleil.

$\omega$  : angle horaire.

$d_h$  : Le rayonnement diffus est compose de trois parties [27].

$$d_h = d_1 + d_{ciel} + d_{sol} \quad (\text{III-22})$$

$d_1$  Rayonnement diffus de la part du ciel [27].

$$d_1 = \delta_d \cdot \cos i + \delta_i \frac{1+\sin i}{2} + \delta_h \cdot \cos \gamma \quad (\text{III-23})$$

$\delta_d$  : La composante directe, est exprimée par [27].

$$\delta_d = I_0 \cdot C_{t-s} \cdot \exp[-2.48 + \sin(h) + a - \sqrt{4b^2 + a^2}] \quad (\text{III-24})$$

$$a = 3.1 - 0.4b \quad (\text{III-25})$$

$$b = \log(T_L^* - T_0) - 2.28 - 0.5 \log(\sin(h)) \quad (\text{III-26})$$

$\delta_i$  : La composante isotrope qui correspond à un ciel de luminance uniforme est donnée par [27].

$$\delta_i = D - \delta_d \sin h \quad (\text{III-27})$$

$D$  : est le diffus sur un plan horizontal.

$$D = I_0 \cdot C_{t-s} \exp \left( \left( -1 + 1.06 \log(\sin(h)) \right) + a - \sqrt{a^2 + b^2} \right) \quad (\text{III-28})$$

$\delta_h$  : correspond au cercle de l'horizon est donnée par l'expression :

$$\delta_h = I_0 \cdot C_{t-s} \frac{-0,02 \cdot a}{a^2 + a \cdot b + 1,8} \cdot \exp(\sin(h)) \quad (\text{III-29})$$

$$a = \log T' - 3,1 \cdot \log(\sin(h)) \quad (\text{III-30})$$

$$b = \exp[0,2 + 1,75 \cdot \log(\sin h)] \quad (\text{III-31})$$

### III.4 MODELE DE BERRIN BRICHAMBEAUT

La lumière provenant du rayonnement ( direct, diffus, global ) est exprimée à un niveau horizontal dans un ciel clair à l'aide d'un capteur , à travers les relations suivantes :

❖ Rayonnement direct [28] :

$$E_S = A \cos(i) \exp \left( - \frac{1}{B \sin(h+2)} \right) \quad (\text{III-32})$$

❖ Rayonnement diffus [28]:

$$E_D = \left( \frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right) D_H + \left( \frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right) a^* G_H \quad (\text{III-33})$$

$D_H$  : Éclairement diffus reçu par une surface horizontale.

$$D_H = A' (\sin(h))^{0,4} \quad (\text{III-34})$$

$G_H$  : Éclairement global reçu par une surface horizontale.

$$G_H = A'' (\sin(h))^{B''} \quad (\text{III-35})$$

$a^*$  L'albédo du sol donnée par :

$$a^* \begin{cases} 0,9 \text{ à } 0,8 \text{ neige} \\ 0,8 \text{ à } 0,4 \text{ sol clair} \\ 0,4 \text{ à } 0,2 \text{ verdure} \end{cases}$$

❖ Rayonnement global :

$$E_G = E_S + E_D \quad (\text{III-36})$$



## CHAPITRE III ESTIMATION DU RAYONNEMENT SOLAIRE

---

$A$ ,  $B$ ,  $A'$ ,  $A''$ ,  $B''$  : sont des constantes qui dépendent de l'état de l'atmosphère qui défini dans un tableau en référence [29]:

Etat de l'atmosphère	$A$	$B$	$A'$	$A''$	$B''$
Ciel bleu foncé	1300	6	87	1150	1.15
Ciel bleu clair	12300	4	125	1080	1.22
Ciel bleu laiteux	1200	2.5	187	990	1.25

Tableau III-1 : Paramètres décrivant l'état de l'atmosphère.

### III.5 CONCLUSION :

Dans ce chapitre, nous avons étudié divers modèles expérimentaux de rayonnement direct, de rayonnement diffus et de rayonnement global à un niveau horizontal et incliné. Ces modèles contribuent à l'estimation du rayonnement solaire sur Terre dans des conditions standard. Dans le prochain chapitre, nous étudierons les résultats obtenus en simulant ces modèles à l'aide du logiciel.



**CHAPITRE IV    RESULTATS ET**  
**INTERPRETATIONS**

## CHAPITRE IV RESULTATS ET INTERPRETATIONS

### IV.1 INTRODUCTION

Pour estimer le rayonnement solaire tombé, des modèles théoriques sont utilisés et simulés à l'aide du programme Matlab, afin de connaître la densité du rayonnement solaire sur Terre, une comparaison est faite sur les modèles de rayonnement solaire à un niveau horizontal et incliné. A cette fin, plusieurs jours ont été identifiés pour comparer les valeurs calculées en utilisant les trois modèles et ceux fournis par la centrale solaire Adrar.

### IV.2 APPLICATION ET VERIFICATION DES MODELE RAYONNEMENT SOLAIRE

#### IV.2.1 Application des différents modèles

Nous avons appliqué les formules sur différents standards et principes généraux de la physique et de l'ingénierie sur différents composants du rayonnement solaire et les avons appliquées au site de la région d'Adrar pour décrire le rayonnement solaire tombé [30].

#### IV.2.2 Durée du jour

On reprend l'équation (I-10) vue au chapitre (I).

On trace la durée du jour en fonction du jour de l'année pour la région de Adrar:

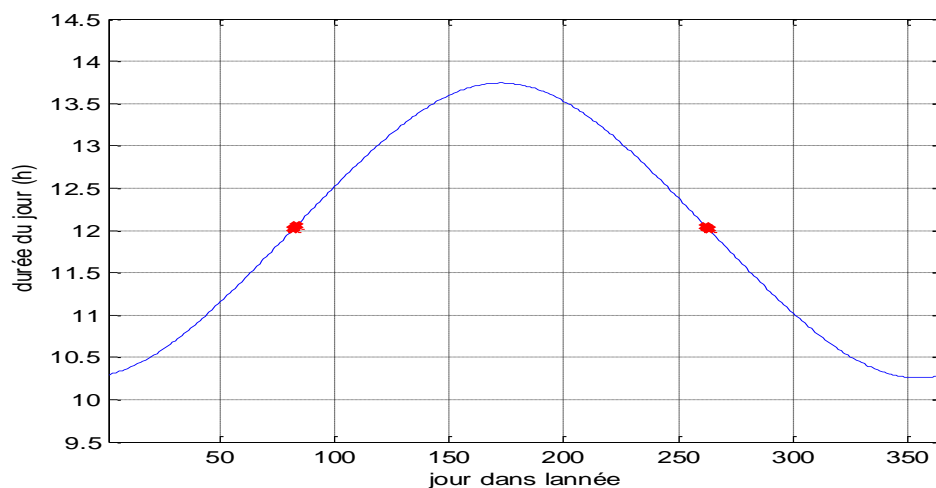


Figure IV-1 : Variation de la durée en fonction de rang du jour dans l'année pour la région de Adrar.

La durée du jour au solstice d'été est : 13 :70 heures.

La durée du jour au solstice d'hiver est : 10:33 heures.

Au équinoxe du printemps et de l'automne la durée du jour est égale à celle de la nuit c'est : 12 heures.

### IV.2.3 Influence de la latitude sur la durée du jour :

Nous tirons la variation de la durée de la journée au cours de l'année pour les latitudes variant selon la forme que la longueur du jour augmente avec la latitude pour la période estivale et diminue avec la latitude pour période hivernale. A l'équateur de la latitude zéro, les jours sont égaux à 12 heures, toute l'année.

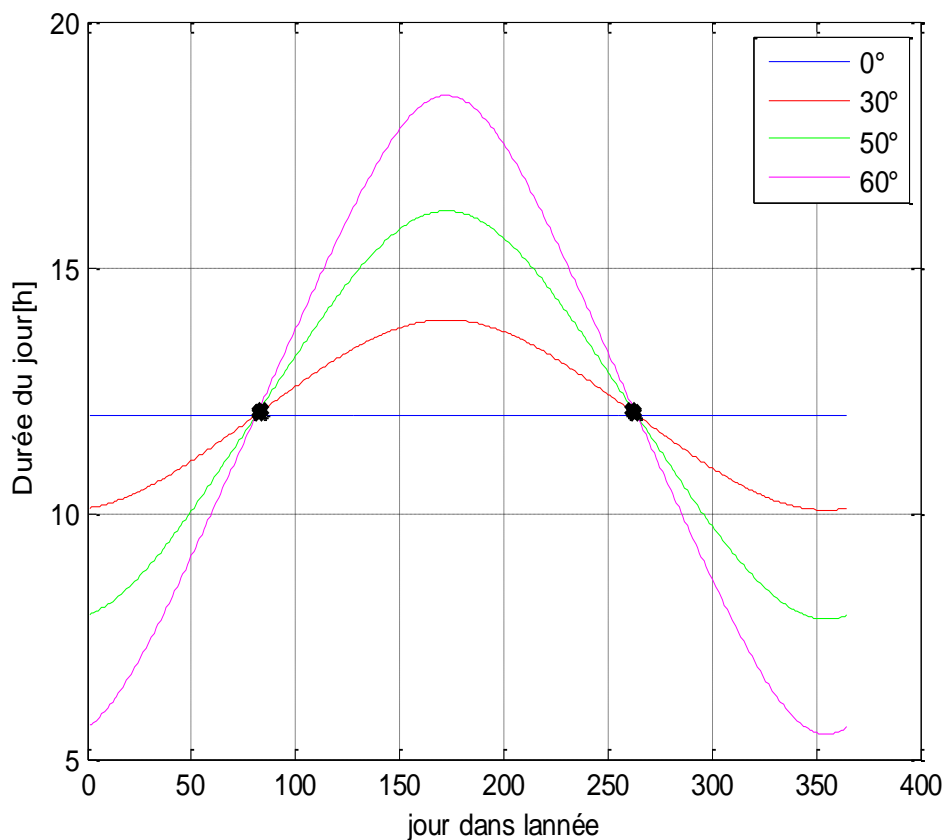


Figure IV-2 : Variation de la durée du jour durant l'année pour différentes latitudes .

### IV.2.4 Rayonnement hors atmosphère

Le rayonnement en dehors de l'atmosphère est donné l'équation suivante [2] :

$$GO = \frac{24}{\pi} I_{sc} [\cos(\varphi) \cos(\delta) \cdot \sin(d) + \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta) \cdot d] \quad (IV-1)$$

La figure montre que la quantité d'énergie à l'extérieur de l'atmosphère peut dépasser 13 000 Wh/m<sup>2</sup> période estivale .

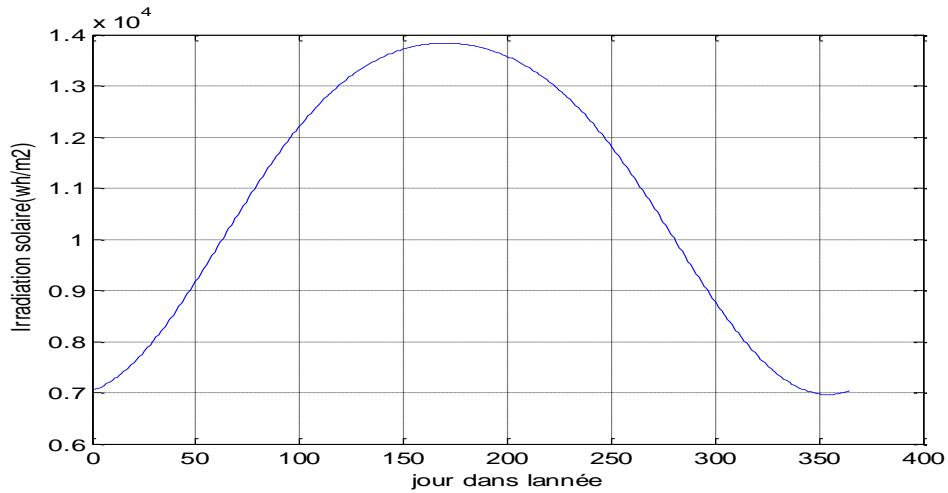


Figure IV-3 : Variation de l'énergie hors atmosphère durant l'année.

**IV.2.5 Variation de l'énergie hors atmosphère en fonction de la latitude**

Nous avons dessiné la variation d'énergie en dehors de l'atmosphère de différentes latitudes, on observe selon la forme des latitudes proches de l'équateur L'énergie en dehors de l'atmosphère est constante en moyenne et varie autour de 10000 W/m2 Plus l'énergie solaire est éloignée de l'équateur l'atmosphère est en baisse.

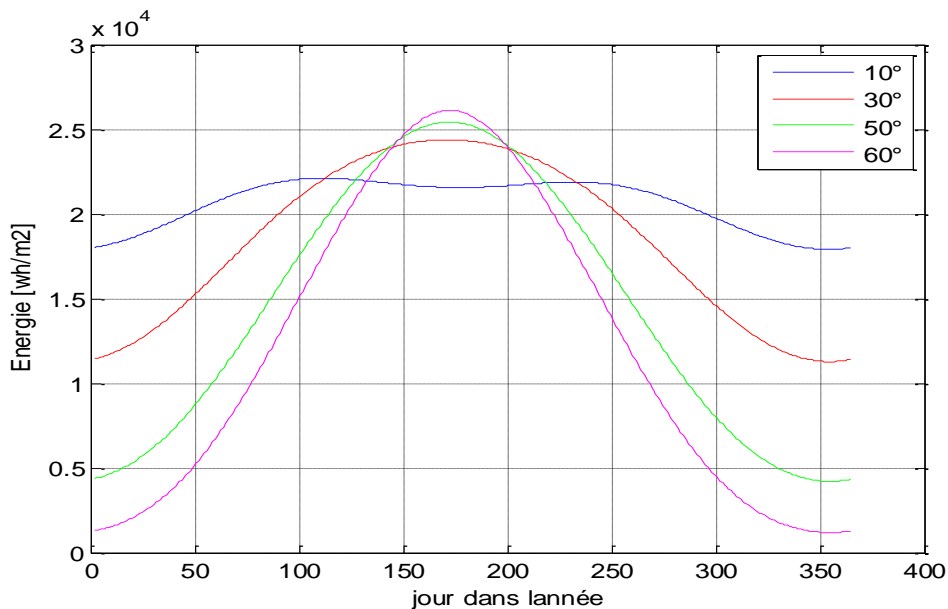


Figure IV-4 : Variation de l'énergie hors atmosphère en fonction de la latitude

**IV.3 CARACTERISTIQUE GEOGRAPHIQUE DE SITE ADRAR**

La ville d'Adrar est située en Algérie subsaharienne. Il couvre une superficie de 633 km (244 m2) et comprend plusieurs municipalités, y compris Reggane, Oulef et

## CHAPITRE IV ESTIMATION DU RAYONNEMENT SOLAIRE

Tsabit. Caractéristiques géographiques de chaque zone qui interfère avec les données de la Station Radiométrique URER / MS :

	Latitude ( N )	Longitude ( W )	Altitude ( m )
Adrar	27°88'	0°28'	269
Reggane,	26°42'00''	0°10'00''	217
Oulef	26°58'25''	1°04'52''	288
Tsabit	28°18'20''	0°14'30''	257

Tableau IV-1 : Spécifications du site de Adrar .

### IV.4 PUISSANCE DU RAYONNEMENT SOLAIRE AU SOL UN PLAN HORIZONTAL ET UN PLAN INCLINE

La forme représente l'évolution des composants du rayonnement solaire (diffusion mondiale directe) en juin 2018 enregistrée Perrin Brichambeaut dans l'URERMS dans la région d'Adrar, qui ont été modélisés à l'aide du modèle de concernant la force de rayonnement solaire que nous avons vu dans le chapitre précédent. on a obtenu les résultats suivants :

- ❖ Composantes de la puissance du rayonnement solaire global, direct et diffus sur un plan horizontal pour un jour clair.
- ❖ Composantes de la puissance du rayonnement solaire global, direct et diffus sur un plan incliné pour un jour clair .

On remarque que la composante diffusée est plus importante sur le plan horizontal que celle sur le plan incliné alors que la composante direct est plus importante sur le plan incliné que celle sur le plan horizontal.

La composante du global qui est la somme du direct et du diffus est meilleure sur le plan incliné que celle sur le plan horizontal.

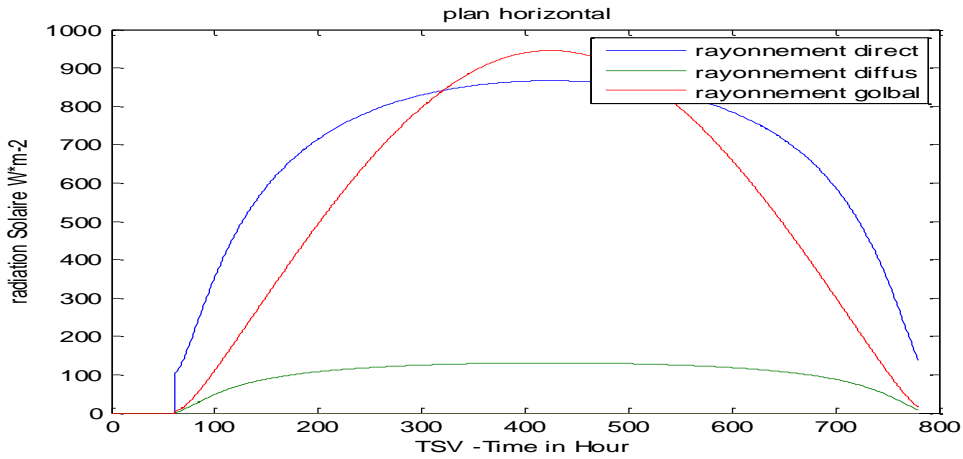


Figure IV-5 : Variation de la puissance globale, directe et diffusée au cour du jour pour un jour clair (25 juin) sur un plan horizontal.

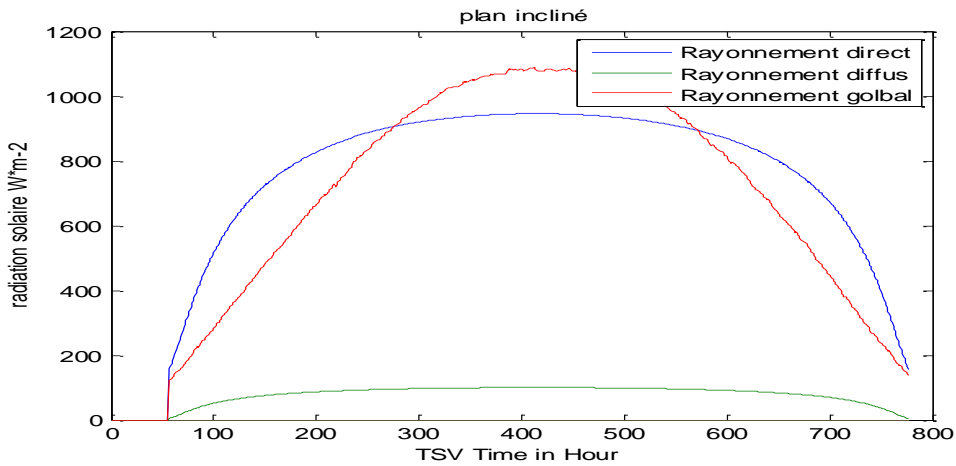


Figure IV-6 : Variation de la puissance globale, directe et diffusée au cour du jour pour un jour clair (25 juin) sur un plan incliné

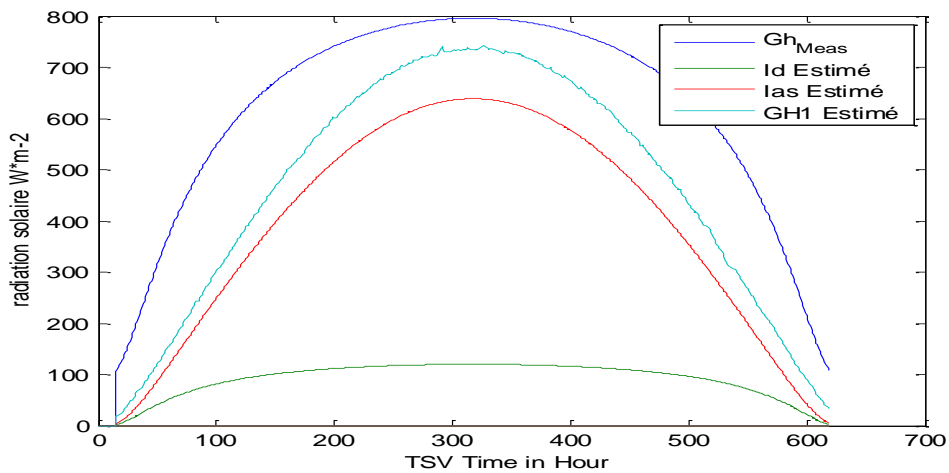


Figure IV-7 : comparaison des composantes expérimentales et simulées du rayonnement solaire au niveau horizontal

Nous remarquons sur la courbe que le rayonnement prédominant est le rayonnement global, parce que sa valeur est supérieure au rayonnement direct.

Les courbes témoignent de l'évolution de l'intensité totale du rayonnement, de la diffusion et du rayonnement direct en utilisant les résultats de simulation et les résultats expérimentaux du faisceau tombé à un niveau horizontal. Ceci afin d'obtenir une évaluation rapide de l'énergie solaire allant à la Terre et c'est à un niveau horizontal en cas de jour net.

### IV.5 TECHNIQUES DE COMPARAISON DE LA MODELISATION

Il existe de nombreuses techniques pour comparer les modèles de rayonnement solaire, comme le dessin d'erreur relative en fonction du temps ou l'utilisation de formules statistiques, comme l'erreur moyenne, la racine d'erreur carrée moyenne, l'erreur relative moyenne [25].

#### IV.5.1 Erreur moyenne (MBE) :

MBE est un indicateur de l'écart moyen des valeurs attendues par rapport aux données mesurées correspondantes et peut fournir des informations sur le rendement à long terme des modèles, et plus le MBE est faible, plus le modèle à long terme est attendu. La valeur MBE positive indique le degré de surestimation du rayonnement solaire direct attendu et vice versa [7]. Pour ce faire, nous avons utilisé l'erreur moyenne pour chaque jour déterminé comme suit [22]:

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^N (X_{Sim,i} - X_{Mes,i})}{N} \quad (IV-2)$$

$X_{Sim,i}$ ,  $X_{Mes,i}$  : sont les éclaircissements calculé et mesurée dans le moment  $i$  respectivement.

$N$  : représente le nombre des moments qui fait la mesure.

#### IV.5.2 Erreur quadratique moyenne (RMSE)

L'EMSR fournit une gamme d'informations sur le rendement à court terme et est une mesure de l'évolution des valeurs prédictives autour des données mesurées [7]. Est donnée comme suit [22]:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_{Sim,i} - X_{Mes,i})^2}{N}} \quad (IV-3)$$



**IV.5.3 Coefficient de corrélation :**

Le coefficient de corrélation mesure à quel point les valeurs sont proches des valeurs [7]. Il est donné par la relation suivante [22]:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (X_{Sim,i} - \bar{X}_{Sim})(X_{Mes,i} - \bar{X}_{Mes})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_{Sim,i} - \bar{X}_{Sim})^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^N (X_{Mes,i} - \bar{X}_{Mes})^2}} \quad (IV-4)$$

$\bar{X}_{Sim}$  ,  $\bar{X}_{Mes}$  La valeur moyenne de l’irradiation solaire estimée. La valeur moyenne de l’irradiation solaire mesurée [7] .

Le MBE relatif (rMBE) et RMSE relatif (rRMSE), peut être calculé par les équations suivantes [7]:

$$rMBE = 100 \times \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{X_{Sim,i} - X_{Mes,i}}{X_{Mes,i}} \right) \right) \quad (IV-5)$$

$$rRMSE = 100 \times \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{X_{Sim,i} - X_{Mes,i}}{X_{Mes,i}} \right)^2 \right)^{1/2} \quad (IV-6)$$

**IV.6 RESULTATS OBTENUS**

**IV.6.1 Les résultats obtenus par le modèle Perrin de Brichambeaut sur quatre sites**

Dans cette partie, nous fournissons quelques cartes relatives aux emplacements d’Adrar ( latitude: 27,53° ), Reggane ( latitude : 26,42° ), Oulef (latitude: 26,58°) et Tsabit( latitude: 32,48°) obtenu en appliquant le modèle Perrin de Brichambeaut selon différentes valeurs de direction  $\alpha$ ,  $\gamma$  et  $\beta$  inclination au niveau horizontal , les combinaisons ( $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\beta$ ) sont sélectionnées pour les avions exquis, et la simulation est effectuée à l’aide de Matlab).

- Plan horizontal : ( $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\beta$ ) = (0, 45°, 90°)
- ❖ La région d'Adrar

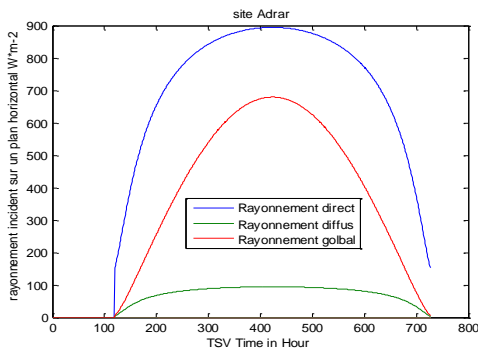


Figure IV-8: Rayonnement incident sur un plan orienté vers le Sud et incliné de 0°

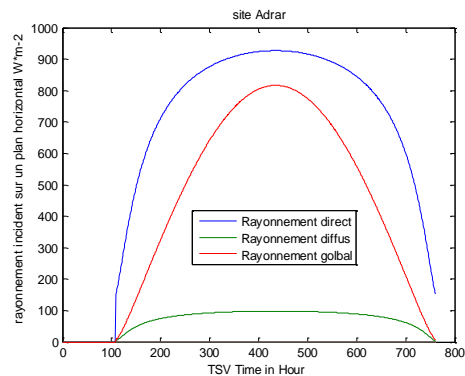


Figure IV-9 : Rayonnement incident sur un plan orienté vers le Sud et incliné de 45° .

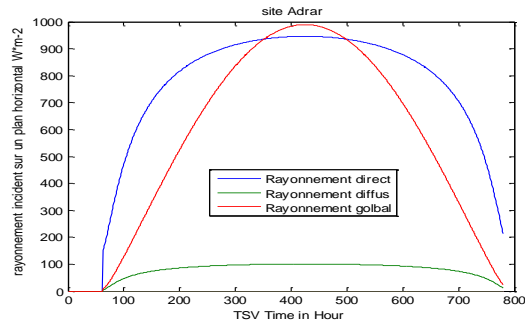


Figure IV-8 : Rayonnement incident sur un plan orienté vers le Sud et incliné de  $90^\circ$

❖ La région de Reggane :

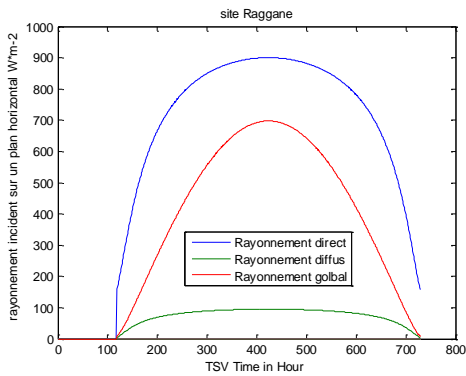


Figure IV-11: Rayonnement incident sur un plan orienté vers le Sud et incliné de  $0^\circ$

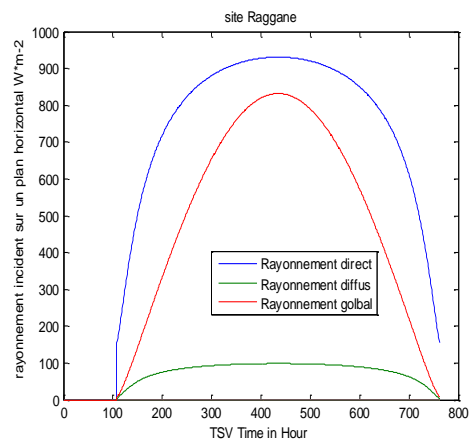


Figure IV-12: Rayonnement incident sur un plan orienté vers le Sud et incliné de  $45^\circ$

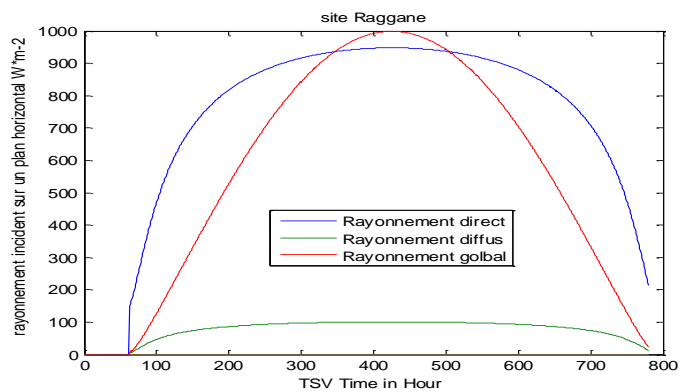


Figure IV-13: Rayonnement incident sur un plan orienté vers le Sud et incliné de  $90^\circ$

## CHAPITRE IV ESTIMATION DU RAYONNEMENT SOLAIRE

### ❖ La région des Oulef :

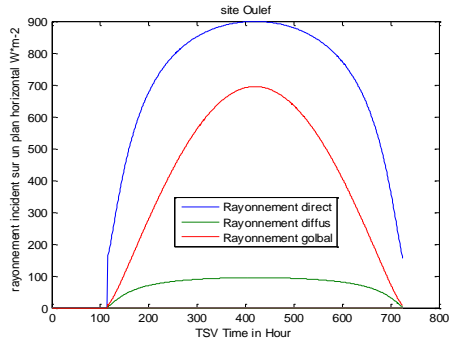


Figure IV-14: Rayonnement incident sur un plan orienté vers le Sud et incliné de 0°

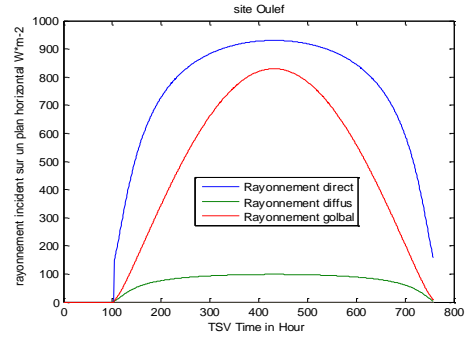


Figure IV-15: Rayonnement incident sur un plan orienté vers le Sud et incliné de 45°

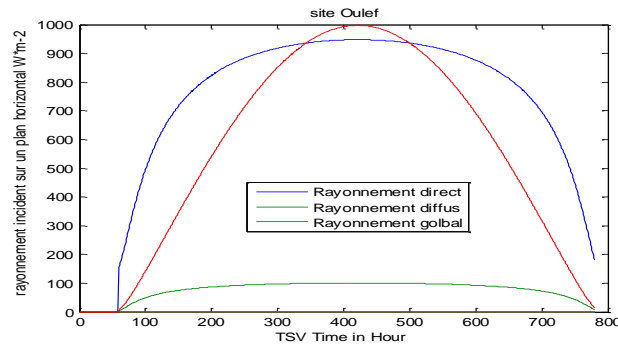


Figure IV-9: Rayonnement incident sur un plan orienté vers le Sud et incliné de 90°

### ❖ La région des Tsabit

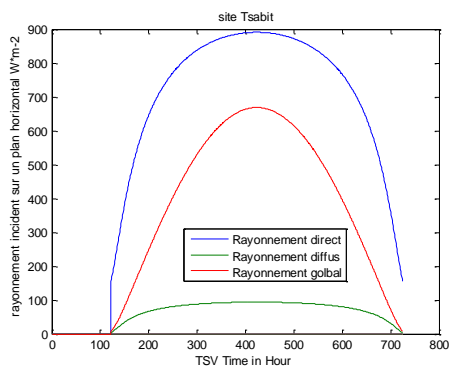


Figure IV-17: Rayonnement incident sur un plan orienté vers le Sud et incliné de 0°

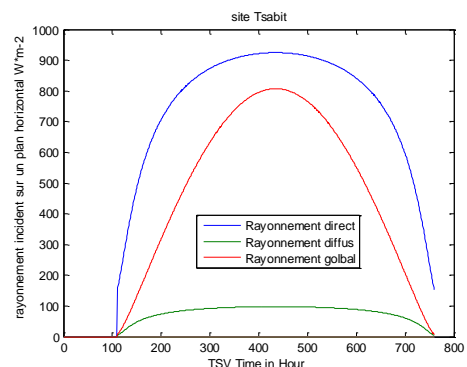


Figure IV-18: Rayonnement incident sur un plan orienté vers le Sud et incliné de 45°

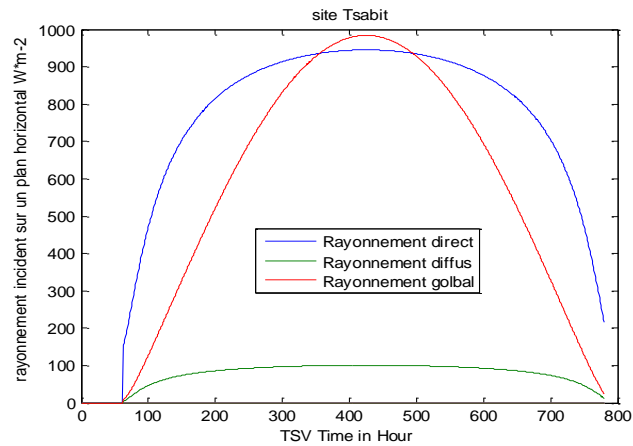


Figure IV-10 : Rayonnement incident sur un plan orienté vers le Sud et incliné de  $90^\circ$

### IV.6.2 Validions des modèles

Pour obtenir la vérification du rayonnement solaire, nous allons comparer certaines valeurs à ciel clair, Rayonnement solaire fourni par les stations radiométriques d'Adrar avec des valeurs, Les données expérimentales de rayonnement solaire horizontal et incliné à un niveau horizontal dans le ciel clair et les différents jours de l'année au site d'Adrar, Reggane Oulef et Tsabit représentés dans les formes suivantes. sous forme de graphiques et de comparaisons. Avec des données tirées du modèle Perrin de Brichambeaut.

étudiées tandis que des mesures statistiques relatives sont présentées dans des tableaux.

❖ Site Adrar :

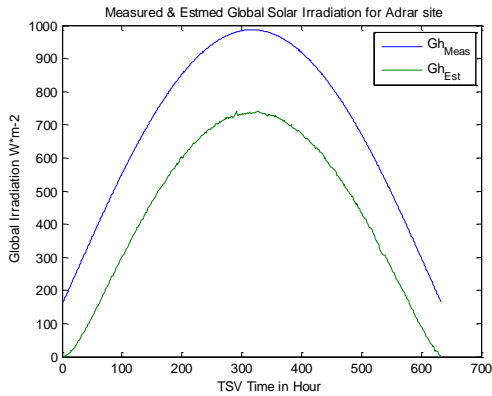


Figure IV-11 : Eclairments global horizontale mesures et estimés, 13/01/2018

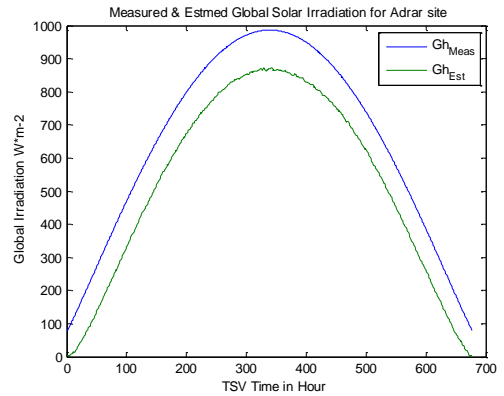


Figure IV-12 : Eclairments global horizontale mesures et estimés, 18/02/2018

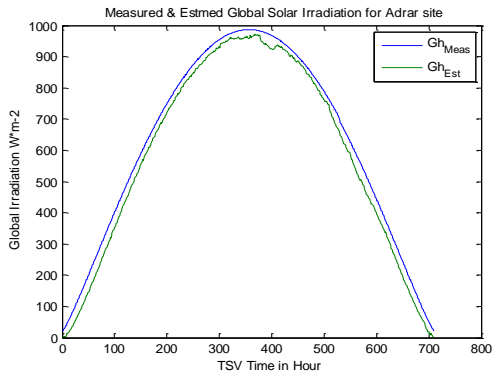


Figure IV-22: Eclairments global horizontale mesures et estimés, 12/03/2018

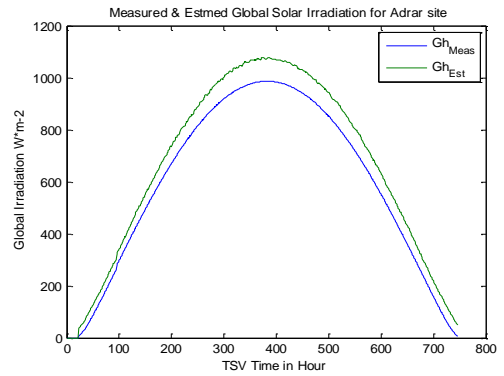


Figure IV-23: Eclairments global horizontale mesures et estimés, 15/04/2018

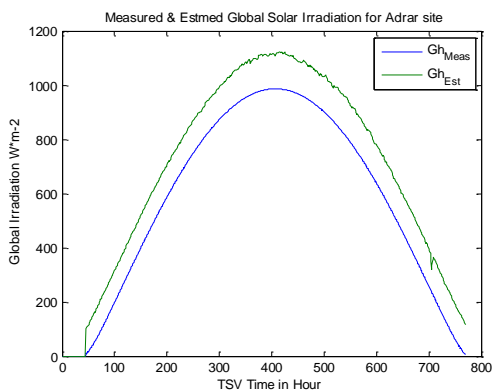


Figure IV-24 : Eclairments global horizontale mesures et estimés, 18/05/2018

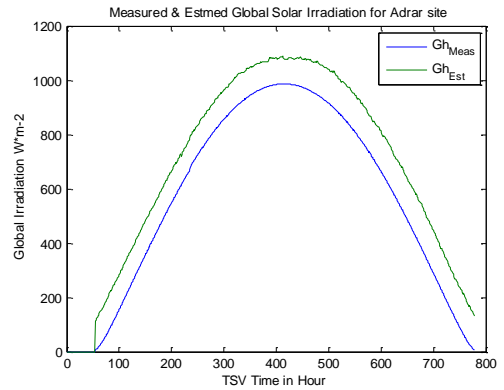
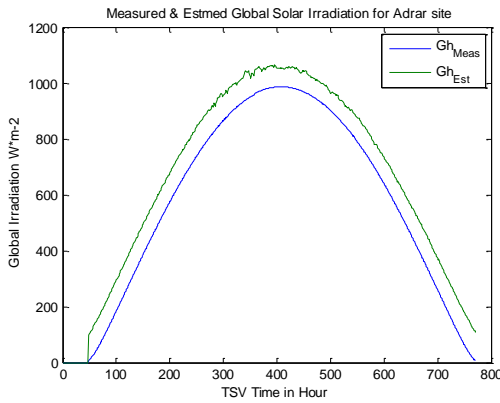
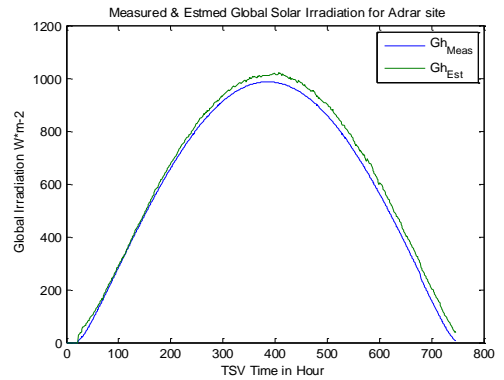


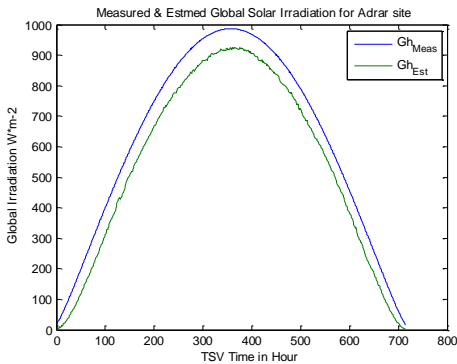
Figure IV-25: Eclairments global horizontale mesures et estimés, 25/06/2018



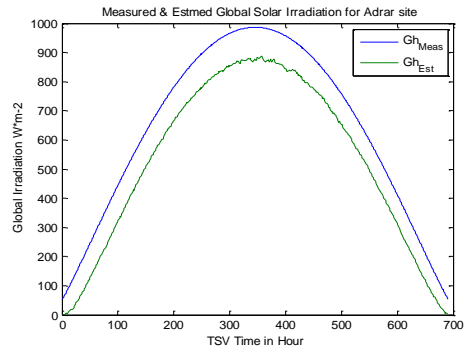
**Figure IV-13 : Eclairements global horizontale mesures et estimés, 19/07/2018**



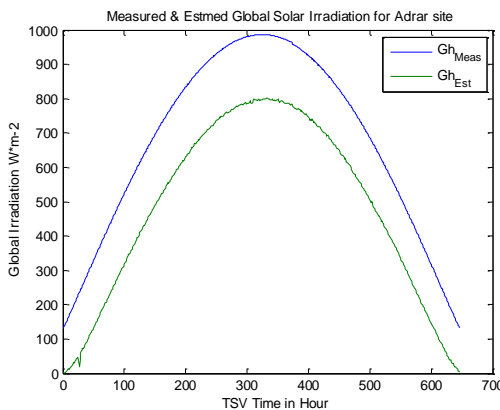
**Figure IV-14 : Eclairements global horizontale mesures et estimés, 26/08/2018**



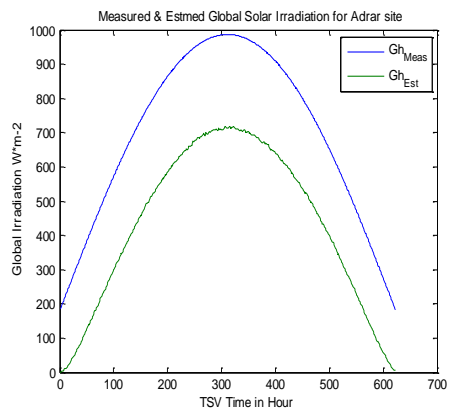
**Figure IV-15 : Eclairements global horizontale mesures et estimés, 29/09/2018**



**Figure IV-16 : Eclairements global horizontale mesures et estimés, 14/10/2018**



**Figure IV-30: Eclairements global horizontale mesures et estimés, 11/11/2018**



**Figure IV-31: Eclairements global horizontale mesures et estimés, 16/12/2018**

## CHAPITRE V ESTIMATION DU RAYONNEMENT SOLAIRE

---

Tableau IV-2 : Simulation des résultats statistiques dans la région d'Adrar

Jour	Modèle : Perrin Brichambeaut				
	MBE	RMSE	rMBE%	rRMSE %	R
13 Janvier	- 238.9231	239.6431	- 53.3120	53.4727	0.9987
02 Février	- 121.8643	122.2812	- 23.0684	23.1473	0.9994
12 Mars	-34.9077	36.9680	-5.9730	6.3255	0.9996
15 Avril	69.5658	72.5391	10.5252	10.9750	0.9995
18 Mai	119.9654	123.9875	17.2868	17.8664	0.9968
25 Juin	116.4995	122.1489	17.0820	17.9103	0.9945
19 Juillet	89.0571	93.1260	13.5224	14.1402	0.9967
26 Aout	27.6166	30.6584	4.4608	4.9521	0.9992
29 Septembre	-71.7655	72.9378	- 13.1386	13.3533	0.9991
14 Octobre	- 107.4512	108.1511	- 20.2424	20.3743	0.9992
11 Novembre	- 186.5541	187.2183	- 38.3978	38.5345	0.9985
16 décembre	- 260.7020	261.5289	- 59.9792	60.1694	0.9985

❖ Site de Reggane :

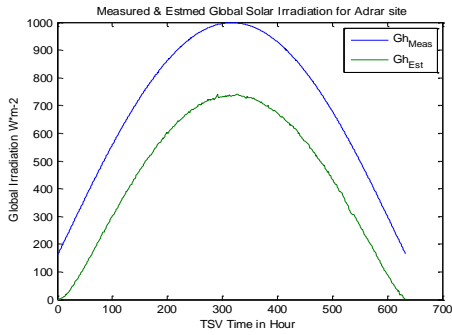


Figure IV-32: Eclairments global horizontale mesures et estimés, 13/01/2018

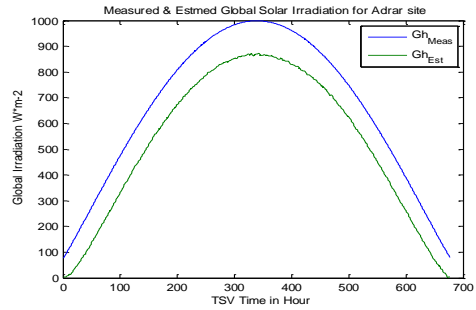


Figure IV-33 : Eclairments global horizontale mesures et estimés, 18/02/2018

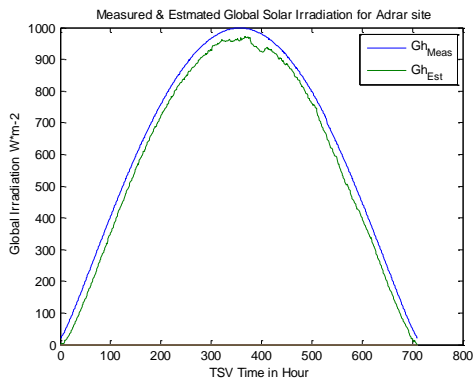


Figure IV-34 :Eclairments global horizontale mesures et estimés, 12/03/2018

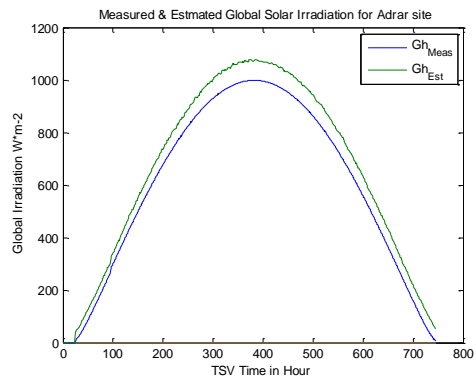


Figure IV-35 : Eclairments global horizontale mesures et estimés, 15/04/2018

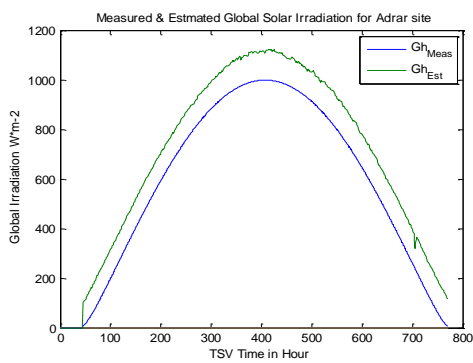


Figure IV-36 : Eclairments global horizontale mesures et estimés, 18/05/2018

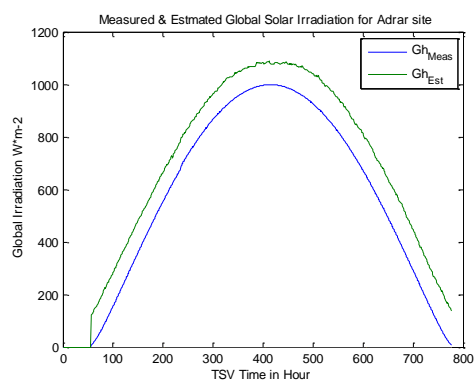
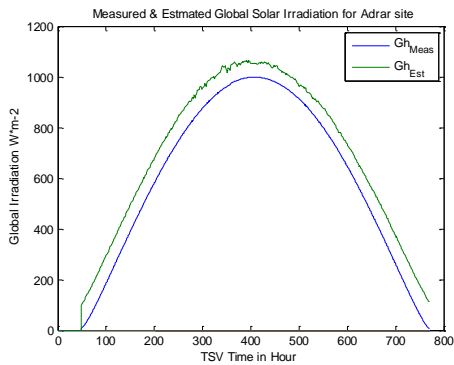
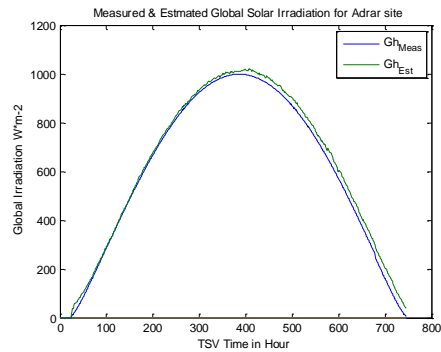


Figure IV-37 : Eclairments global horizontale mesures et estimés, 25/06/2018

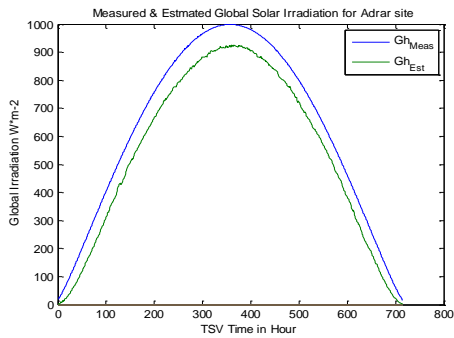




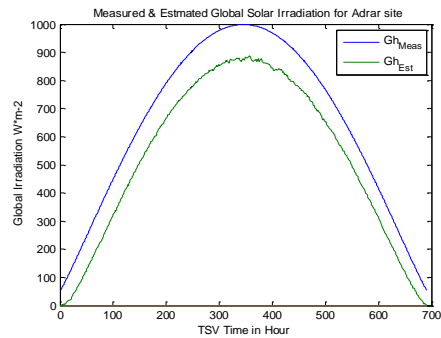
**Figure IV-38** :Eclairements global horizontale mesures et estimés, 19/07/2018



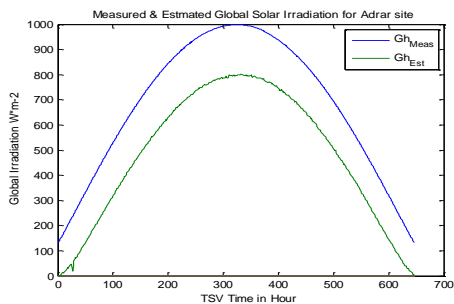
**Figure IV-39** :Eclairements global horizontale mesures et estimés, 26/08/2018



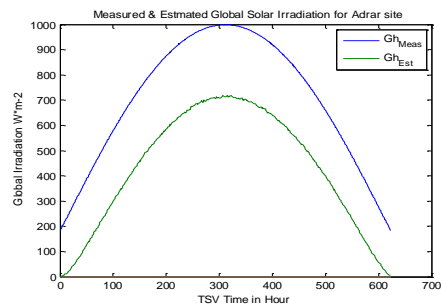
**Figure IV-40** : Eclairements global horizontale mesures et estimés, 29/09/2018



**Figure IV-41** : Eclairements global horizontale mesures et estimés, 14/10/2018



**Figure IV-42** : Eclairements global horizontale mesures et estimés, 11/11/2018



**Figure IV-43** :Eclairements global horizontale mesures et estimés, 16/12/2018

## CHAPITRE V ESTIMATION DU RAYONNEMENT SOLAIRE

Tableau IV-3 : Simulation des résultats statistiques dans la région d'Adrar site de Reggane .

Jour	Modèle : Perrin Brichambeaut				
	MBE	RMSE	rMBE%	rRMSE %	R
13 Janvier	- 247.0122	247.9338	- 55.1170	55.3226	0.9987
02 Février	- 129.4434	129.8765	- 24.5031	24.5851	0.9994
12 Mars	-42.0682	43.1721	-7.1982	7.3871	0.9996
15 Avril	62.7217	65.0223	9.4787	9.8263	0.9995
18 Mai	113.3432	117.2062	16.3325	16.8892	0.9967
25 Juin	109.8161	115.8655	16.0887	16.9750	0.9943
19 Juillet	82.3473	87.0614	12.4924	13.2075	0.9966
26 Aout	20.7408	24.7906	3.3462	3.9995	0.9992
29 Septembre	-78.9084	80.2259	- 14.4463	14.6876	0.9991
14 Octobre	- 114.8675	115.7604	- 21.6396	21.8078	0.9992
11 Novembre	- 194.4403	195.2338	- 40.0210	40.1843	0.9985
16 décembre	- 268.9056	269.9398	- 61.8666	62.1045	0.9985

❖ Site de Oulef :

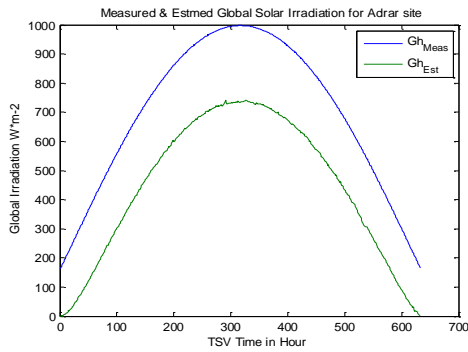


Figure IV-44 : Eclairments global horizontale mesures et estimés, 13/01/2018

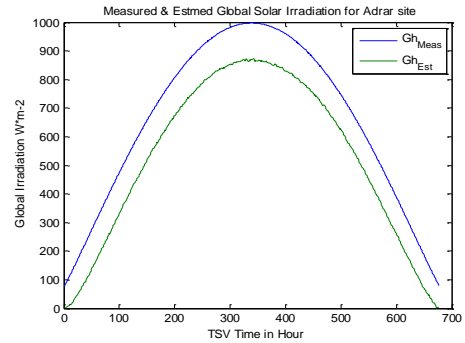


Figure IV-45 : Eclairments global horizontale mesures et estimés, 18/02/2018

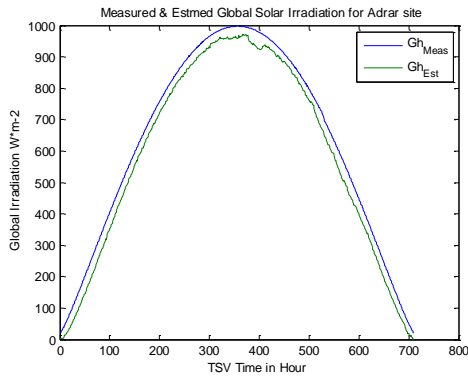


Figure IV-46 : Eclairments global horizontale mesures et estimés, 12/03/2018

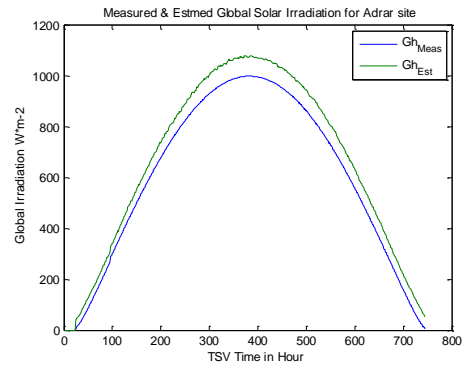


Figure IV-47 : Eclairments global horizontale mesures et estimés, 15/04/2018

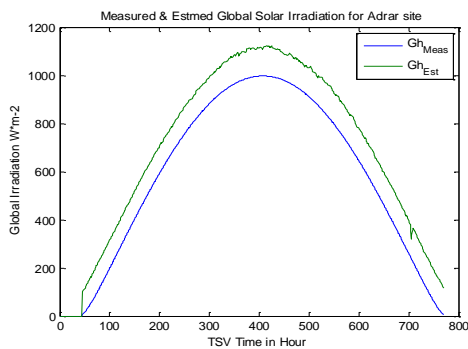


Figure IV-48 : Eclairments global horizontale mesures et estimés, 18/05/2018

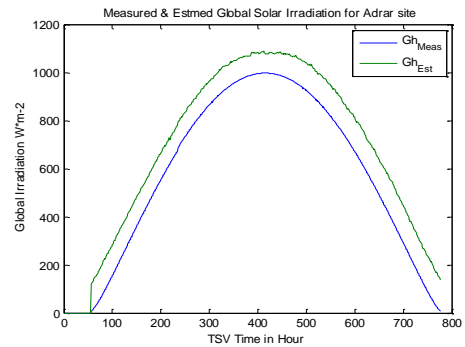
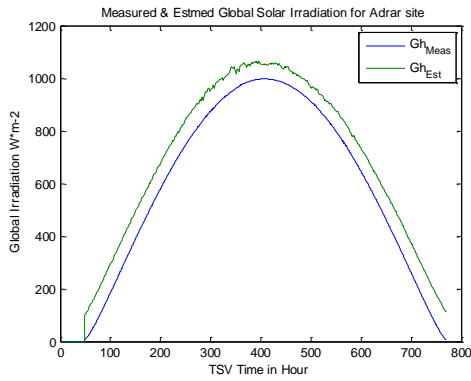
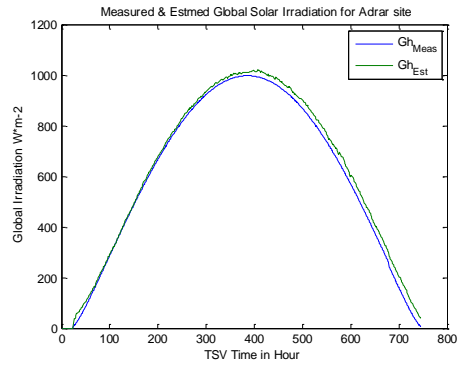


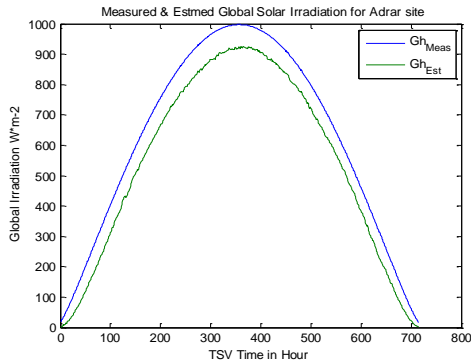
Figure IV-49 : Eclairments global horizontale mesures et estimés, 25/06/2018



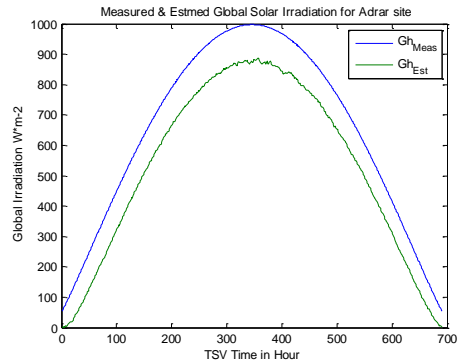
**Figure IV-50 : Eclairments global horizontale mesures et estimés, 19/07/2018**



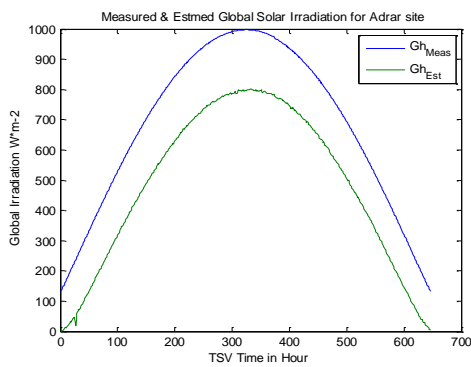
**Figure IV-51 : Eclairments global horizontale mesures et estimés, 26/08/2018**



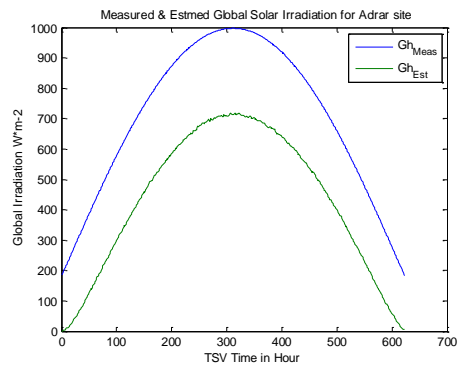
**Figure IV-52 :Eclairments global horizontale mesures et estimés, 29/09/2018**



**Figure IV-53 : Eclairments global horizontale mesures et estimés, 14/10/2018**



**Figure IV-17 : Eclairments global horizontale mesures et estimés, 11/11/2018**



**Figure IV-18 : Eclairments global horizontale mesures et estimés, 16/12/2018**

## CHAPITRE V ESTIMATION DU RAYONNEMENT SOLAIRE

**Tableau IV-4 :** Simulation des résultats statistiques dans la région d'Adrar site de Oulef.

Jour	Modèle : Perrin Brichambeaut				
	MBE	RMSE	rMBE%	rRMSE %	R
13 Janvier	- 246.1423	247.0405	- 54.9229	55.1233	0.9987
18 Février	- 128.6283	129.0541	- 24.5031	24.3488	0.9994
12 Mars	-41.2982	42.4703	-7.0665	7.2670	0.9996
15 Avril	63.4568	65.8262	9.5897	9.9478	0.9995
18 Mai	114.0553	117.9281	16.4352	16.9932	0.9968
25 Juin	110.5186	116.5240	16.1917	17.0715	0.9943
19 Juillet	83.0545	87.6912	12.5996	13.3030	0.9966
26 Aout	21.4760	25.3597	3.4648	4.0913	0.9992
29 Septembre	-78.1403	79.4326	- 14.3057	14.5423	0.9991
14 Octobre	- 114.0700	114.9365	- 21.4893	21.6526	0.9992
11 Novembre	- 193.5922	194.3690	- 39.8464	40.0063	0.9985
16 décembre	- 268.0234	269.0338	- 61.6636	61.8961	0.9985

❖ Site de Tsabit :

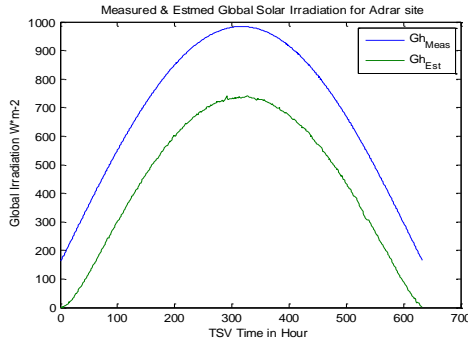


Figure IV-56 : Eclairments global horizontale mesures et estimés, 13/01/2018

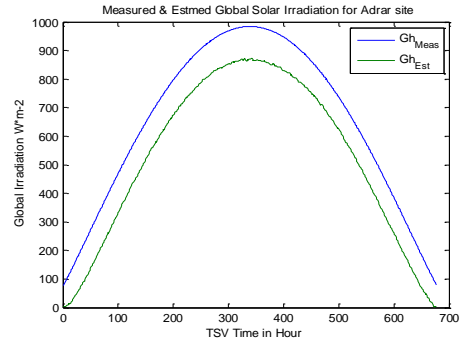


Figure IV-57 : Eclairments global horizontale mesures et estimés, 18/02/2018

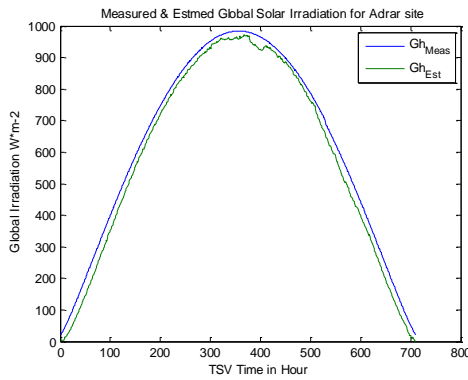


Figure IV-58 : Eclairments global horizontale mesures et estimés, 12/03/2018

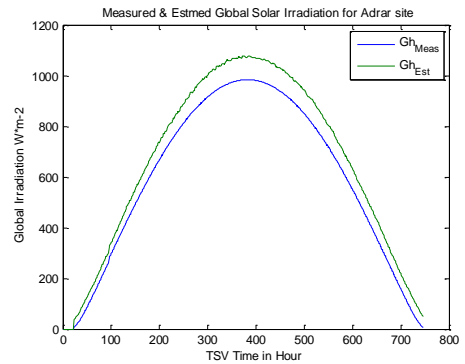


Figure IV-59 : Eclairments global horizontale mesures et estimés, 15/04/2018

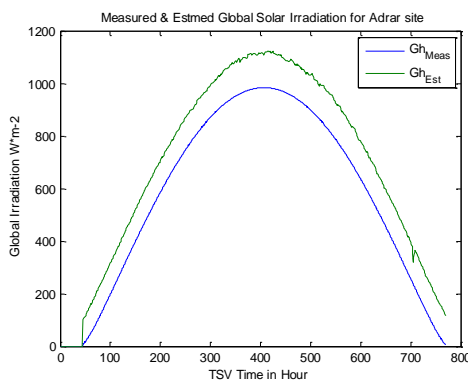


Figure IV-60 : Eclairments global horizontale mesures et estimés, 18/05/2018

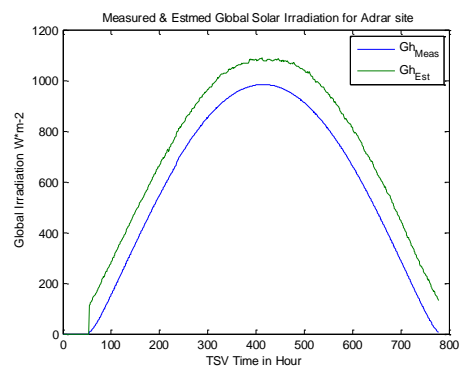


Figure IV-61 : Eclairments global horizontale mesures et estimés, 25/06/2018

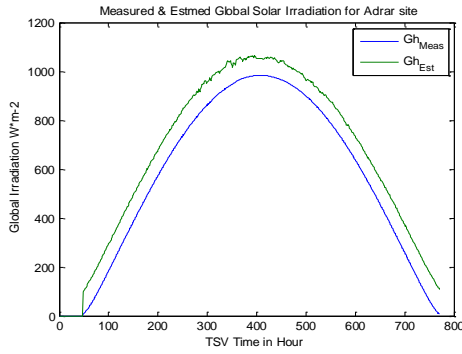


Figure IV-62 : Eclairments global horizontale mesures et estimés, 19/07/2018

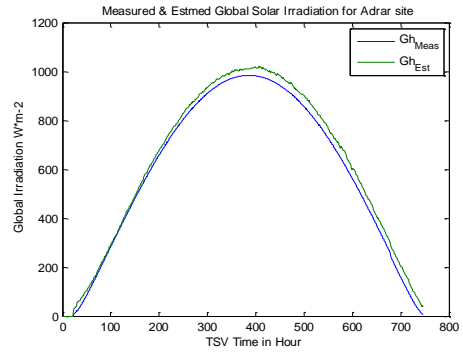


Figure IV-63 : Eclairments global horizontale mesures et estimés, 26/08/2018

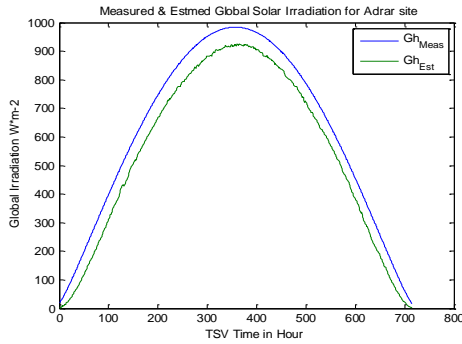


Figure IV-64 : Eclairments global horizontale mesures et estimés, 29/09/2018

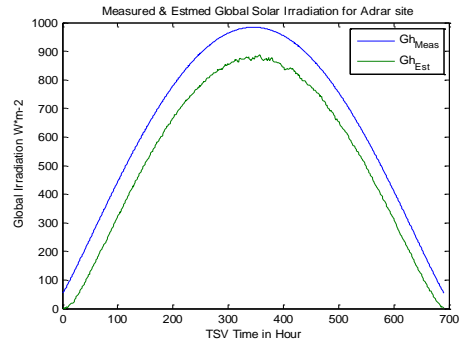


Figure IV-65 : Eclairments global horizontale mesures et estimés, 14/10/2018

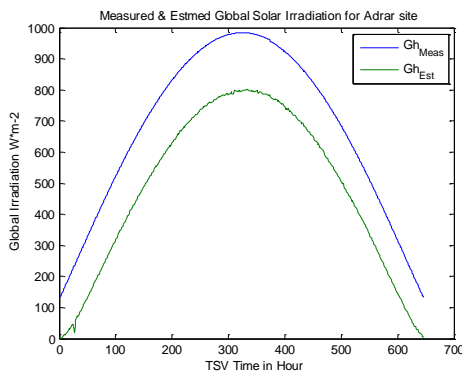


Figure IV-19 : Eclairments global horizontale mesures et estimés, 11/11/2018

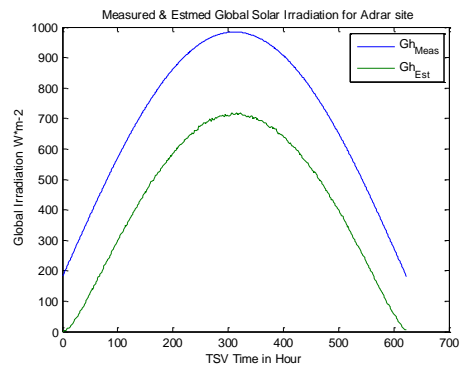


Figure IV-20 : Eclairments global horizontale mesures et estimés, 16/12/2018

## CHAPITRE V ESTIMATION DU RAYONNEMENT SOLAIRE

Tableau IV-5 : Simulation des résultats statistiques dans la région d'Adrar site de Tsabit .

Jour	Modèle : Perrin Brichambeaut				
	MBE	RMSE	rMBE%	rRMSE %	R
13 Janvier	- 237.2019	237.8842	- 52.9279	53.0802	0.9987
02 Février	- 120.2510	120.6805	- 22.7630	22.8443	0.9994
12 Mars	-33.3831	35.7562	-5.7121	6.1182	0.9996
15 Avril	71.0190	74.1573	10.7450	11.2199	0.9995
18 Mai	121.3754	125.4498	17.4900	18.0771	0.9968
25 Juin	117.8884	123.4960	17.2856	18.1078	0.9945
19 Juillet	90.4554	94.4382	13.7347	14.3394	0.9968
26 Aout	29.0701	32.0304	4.6956	5.1737	0.9992
29 Septembre	-70.2447	71.4146	- 12.8602	13.0744	0.9991
14 Octobre	- 105.8723	106.5476	- 19.9450	20.0722	0.9992
11 Novembre	- 184.8758	185.5206	- 38.0524	38.1851	0.9985
16 décembre	- 258.9566	259.7438	- 59.5776	59.7587	0.9985

### ❖ Discussion sur les courbes

On note dans les courbes des régions d'Adrar, d'Ulf et de Tsapet que le solstice d'été est en avril, et le solstice d'hiver est en septembre. Presque toutes les zones sont similaires au lever et au coucher du soleil. Il y a une divergence dans les courbes des premiers mois de l'année ainsi que des derniers mois de l'année, ce qui indique que la proportion de rayonnement qui atteint la Terre varie tout au long de l'année, de sorte que les meilleurs mois où le soleil est plus fort sont mai, Juillet. Au cours de ces mois, vous pouvez profiter de la plus grande quantité de rayonnement solaire.

### ❖ Tables de discussion

Facteurs de corrélation reliant les estimations l e rayonnement solaire en temps réel pour les mesures au sol est satisfaisant car il varie de 95% à 100%. La



comparaison des valeurs estimées avec différents modèles avec des valeurs montre que : du modèle au site Adrar on trouve que le modèle

de Perrin Brichambeaut est pleinement représentatif de l'éclairage solaire en donnant les transactions d'identification les plus élevées et les RMSE les plus faibles par rapport au modèle Kasten, en particulier pour l'hiver représentant toutes sortes d'éclairage : IGh, IBh, IN et IGi.

En termes de MBE et RMSE, le modèle de Perrin Brichambeaut atteint les valeurs maximales en juin et les valeurs minimales ViscannonI (décembre), avec une estimation surestimée en été et une estimation plus faible de la réalité hivernale que les forces horizontales, appelée étiquette MBE. Le taux de RMSE est d'environ  $44\text{W/m}^2$  en hiver et  $31.7\text{W/m}^2$  en été, RMSE atteint un maximum de  $196\text{W/m}^2$  pour l'éclairage direct régulier A le minimum de  $52,6\text{ W/m}^2$  pour le RMSE de latitude mondiale est très fortement influencé par les valeurs extrêmes dans les tropiques de sorte que les distances entre les emplacements sont très grandes car nous constatons que le ratio de J approche un et ceci est un excellent rapport.

### IV.7 Conclusion

Ce chapitre, l'éclairage solaire tombé a été modélisé à un niveau horizontal en programmant un modèle semi-expérimental : le modèle Perrin Brichambeaut de Matlab. Les valeurs en temps réel de l'IBh direct et de l'IGh horizontal global, de l'IN direct régulier et de l'éclairage IGi incliné global ont été estimées à l'aide du modèle. Les essais effectués pour vérifier le bon fonctionnement et la fiabilité des programmes mis en œuvre montrent que le programme de travail initialement identifié a été mis en œuvre dans son ensemble et que les résultats obtenus sont satisfaisants.

L'analyse statistique est effectuée à l'aide de l'erreur moyenne (MBE) et de la racine de l'erreur carrée moyenne (RMSE). Ainsi, une bonne compatibilité entre les valeurs mesurées et les valeurs estimées par le modèle est grande avec un coefficient d'association supérieur à 95%, ce qui nous ramène à dire que ce modèle peut être utilisé pour estimer la lumière solaire avec ciel clair. Site Adrar. Cependant, les meilleurs résultats sont obtenus par le modèle de Perrin Brichambeaut.



**CONCLUSION GENERALE**

# CONCLUSION GENERALE

Dans ce travail, nous essayons d'étudier le rayonnement solaire en utilisant deux des ingénierie et énergie. L'ingénierie comprend le mouvement au sol, mouvement de rotation et mouvement autour de l'axe polaire traduction autour du soleil, ces mouvements font le sol. L'énergie solaire est reçue en permanence tout au long de l'année, cette énergie est variable pendant la journée et tout au long de l'année la position du Soleil dans le ciel est affectée et est différente, du lever au coucher du soleil par saison, toute l'année, énergie solaire l'atmosphère de la Terre est également affectée par son entrée dans la Terre le rayonnement solaire est soulagé par absorption et dispersion composants de l'atmosphère.

La recherche sur l'énergie solaire a les caractéristiques suivantes: Modélisation du flux solaire déchu à partir d'un modèle semi-expérimental Perrine de Brichambeaut et Liu Jordan et Capderou. Utilisez ces modèles Matlab nous permet d'estimer l'énergie solaire radioactive d'une journée une année et des conditions climatiques précises.

Une partie de ce travail est consacrée à l'application du modèle Rayonnement solaire dans la région d'Adrar (27,53 ° N, 0,17 ° E). Evolution le rayonnement global a été exprimé aux niveaux horizontal et oblique comme suit :

Jours typiques de l'année où nous essayons de déterminer le meilleur angle du mile mensuelle et saisonnière, permettant un maximum d'énergie pour ce zone. Donne une idée de l'utilisation du système de suivi augmente l'efficacité des installations solaires jusqu'à 40%, par rapport au montage, il a une présentation. Il a été découvert à partir de l'application fournie au site Adrar que la zone. Il y a de nombreux dépôts solaires plus de 2000 heures d'exposition au soleil annuel. Énergie gagnée à 1 par jour peut dépasser m2 en été environ 7kWh/m 21000 kWh/m2 au niveau horizontal, peuvent dépasser 2000 kWh/m2 au niveau horizontal Meilleures tendances mensuelles ou saisonnières.

Ces résultats indiquent que le climat dans la région de l'Adrar est très approprié utilisez l'énergie solaire, qui peut promouvoir cette utilisation énergie, en particulier dans les régions éloignées des villes.

## REFERENCES

---

### REFERENCES

- [1] wikipédia, «Soleil Etoile, Sourc Principale de Lumière et de Chaleur sur Terre,» <https://ar.wikipedia.org/wiki/>, 21 02 2022. [En ligne]. Available: <https://www.google.com>. [Accès le 08 03 2022].
- [2] B. Kada, «MODELISATION MULTISPECTRALE DES IMAGES SATELLITAIRE - Application : Quantification du bilan d'énergie Sol-Atmosphère,» Université des Sciences et Techniques d'Oran Mohamed Boudiaf , 2017.
- [3] wikipédia, «Atmosphère terrestre couche gazeuse de la Terre,» [https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Atmosphère\\_terrestre](https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Atmosphère_terrestre), 15 02 2022. [En ligne]. Available: <https://www.google.com>. [Accès le 05 03 2022].
- [4] D. B. faiza, «La pollution Atmospherique,» 2020. [En ligne]. Available: <https://www.fotosearch.com>. [Accès le 11 03 2022].
- [5] R. Silawi, «Les masse d'air leurs types et comment se forment-elles,» <https://www.arabiaweather.com.cdn.ampproject.org>, 07 02 2021. [En ligne]. Available: <https://www.google.com>. [Accès le 20 03 2022].
- [6] D. M. Trung, «Elaboration de Cellules Solaires Photovoltaiques a Base de Polymeres Conjugues, Etudes des Systemes Reticulables,» BORDEAUX 1, 2009.
- [7] B. Djelloul, «Détermination du Gisement Solaire par Imagerie Satellitaire avec Intégration dans un Système D'information Géographique pour le Sud D'Algérie,» UNIVERSITE AFRICANE AHMED DRAIA ADRAR, 2019.
- [8] H. KHALED, «Conception et Realisation d'un Concentre Spherique,» Universite Mentouri Constantine, 2008.
- [9] «Révolution de la Terre autour du Soleil,» [https://fr.wikidia.org/wiki/Discussion:R%C3%A9volution\\_de\\_la\\_Terre\\_autour\\_du\\_Soleil](https://fr.wikidia.org/wiki/Discussion:R%C3%A9volution_de_la_Terre_autour_du_Soleil), 27 03 2016. [En ligne]. [Accès le 10 01 2022].
- [10] A. Ricaud, «Gisement Solaire et Transferts Energétiques,» Université de CERGY-PONTOISE, Jan 2011.
- [11] B. Amina, «Optimisation d'un nouveau système de séchage solaire modulaire pour plantes aromatiques et médicinales,» Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen Algérie, Février 2010.

## REFERENCES

---

- [12] wikipédia, «Ecliptique projection, sur la sphère céleste, de la trajectoire annuelle apparente du Soleil,» <https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Ecliptique>, 01 10 2021. [En ligne]. Available: <https://www.google.com>. [Accès le 19 03 2022].
- [13] wikipédia, «Equateur Terrestre ligne terrestre située a équidistance des deux poles,» [https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Equateur\\_terrestre](https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Equateur_terrestre), 10 03 2022. [En ligne]. Available: <https://www.google.com>. [Accès le 20 03 2022].
- [14] chaunut, «Latitude et longitude d'un point,» <https://www.geogebra.org/resource/bkrV2T5u/LHNTnNWKOKCxeWOY/material-bkrV2T5u.png>, 01 09 2020. [En ligne]. Available: <https://www.google.com>. [Accès le 21 03 2022].
- [15] B. K. a. O. B, «La chaine de mesure radiométrique à l'Unité de Recherche en Energie Renouvelable en Milieu Saharien d'Adrar,» International Conference on Energy and Sustainable Development d'13, Adrar - Algeria 19-20 February 2013., (2013).
- [16] G. A. e. R. Benaissa, «Modélisation et validation de la performance de modèle à quatre paramètres de circuits équivalents de la cellule photovoltaïque.,» UNIVERSITE d'ADRAR, Ghardaïa – Algeria, 2013.
- [17] P. Rocher, «[https://media4.obspm.fr/public/ressources\\_lu/pages\\_defrepere/repere\\_local](https://media4.obspm.fr/public/ressources_lu/pages_defrepere/repere_local),» [En ligne]. [Accès le 19 03 2022].
- [18] c. géographique, «Rayonnement solaire et méthodes de mesure,» <https://www.geographyknowledge.com>, 05 2017. [En ligne]. Available: <https://www.google.com>. [Accès le 23 03 2022].
- [19] MichaëlBressan., «Estimation de production des installations PV pour différentes inclinaisons basée sur un modèle d'ensoleillement. La Revue 3 E . I ,S ociété de l'électricité, de l'électronique et des technologies de l'information et de la communication,,» <https://www.see.asso.fr/en/node/11096.hal-01077761>, 2014, 3EI2014-77,.
- [20] B. Siham, «Simulation par Excel d'une cellule solaire conventionnelle en Silicium,» Université Abdel Hamid Ibn Badis de Mostaganem, 2015.
- [21] N. Houcine, «Etude de gestion d'une mini-centrale solaire et mise au point d'un dispositif automatique de mesures, contrôles et régulation de l'énergie électrique,» 2016.
- [22] وحدة «تأثير العوامل المناخية على الإشعاع الشمسي دراسة مقارنة بين منطقة الهقار ومنطقة أدرار» ,إيمان ق. ,البحث في الطاقات المتجددة في الوسط الصحراوي 2016 - 2017 ,أدرار .

## REFERENCES

---

- [23] B. K. e. A. Zeyneb, «Modélisation et analyse du rayonnement solaire sur un plan incliné sur site d'Adrar,» Université d'Adrar, 2013.
- [24] A. M. M. H. e. A. G. F. Yettou1\*, «Etude comparative de deux modèles de calcul du rayonnement solaire par ciel clair en Algérie,» Revue des Energies Renouvelables Vol. 12 N°2 (2009) 331 – 346, 2009.
- [25] F. B. S. A. Bensaha, «Estimation du rayonnement solaire en ciel clair par des modèles empiriques: Application au site de Ghardaïa (Algérie),» 1st International Seminar On The Apport Of The Simulation In Technological Innovation, Ghardaïa (Algeria),, March 2017.
- [26] A. G. K. B. H. B. H. D. F. Yettou, «Estimation de l'Ensoleillement par Deux Modèles Semi-Empiriques dans la Région de Ghardaïa,» Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,, Ghardaïa – Algeria, 24 - 25 Octobre 2018.
- [27] N. ., N. e. Z. A.MOUMMI, «ESTIMATION DU RAYONNEMENT SOLAIRE PAR DEUX APPROCHES SEMI EMPIRIQUES DANS LE SITE DE BISKRA,» Centre Universitaire de Béchar–Algérie,, 11 et 12 Novembre 2006.
- [28] S. B. T. B. E. M. C. M. HAMDANI, «Etude et Modelisation du Potentiel Solaire Adequat pour L'estimatipn des Eclairments Incidents a GHARDAIA,» Revue internattonale d'héliotechnique ( 43), 2011.
- [29] H. Maamar, «Etude et Effet de l'Orientation de deux Pièces d'un Habitat en Pierre Situé à Ghardaïa,» ABOU-BAKR BELKAÏD, TLEMCEN, 2011.
- [30] B. Naima, «Etude du rayonnement solaire dans la région de Batna,» Université de Batna, 2008.
- [31] B. Ali, «cours Gisement solaire,» Université d'Adrar.
- [32] A. M. M. H. e. A. G. F. Yettou, «Etude comparative de deux modèles de calcul du rayonnement solaire par ciel clair en Algérie,» Revue des Energies Renouvelables Vol. 12 N°2 (2009) 331 – 346.
- [33] A. M. M. H. e. A. G. F. Yettou1, «Etude comparative de deux modèles de calcul du rayonnement solaire par ciel clair en Algérie,» Ghardaïa, Algérie1, Alger, Algérie2, Alger, Algérie3 ., 2009.

## Résumé :

Le champ solaire dans un lieu sur Terre est le flux d'énergie émise par le Soleil qui est reçu directement ou indirectement du lieu au cours d'une période donnée, mesurée par l'échelle du pyranomètre. Dans cette étude, nous recueillerons un ensemble de données et de valeurs différentes sur le flux solaire qui ont été mesurées dans quatre régions du désert d'Adrar et qui seront utilisées pour modéliser le rayonnement solaire à l'aide de modèles métriques ou para-para-métriques de Barra à partir des modèles adoptés dans cette recherche. (de Capderou et de Liu Jordan et de Perrin Brichambeaut ) Calculer les trois composantes du rayonnement solaire : rayonnement direct, rayonnement diffus et rayonnement global.

**Mots clés :** Modélisation, Rayonnement, Flux d'énergie, Modèles de barres métriques.

## ملخص

المجال الشمسي في مكان على الارض هو تدفق الطاقة المنبعثة من الشمس والتي يتم استلامها من المكان بشكل مباشر او غير مباشر خلال فترة معينة ، مع قياسها بمقياس البيرانومتر وفي هذه الدراسة سوف نجمع مجموعة من البيانات والقيم المختلفة لتدفق الطاقة الشمسية ، التي تم قياسها في اربعة مناطق من بيئة صحراء ادرار لاستخدامها لنمذجة الاشعاع الشمسي بنماذج بارا مترية او شبه بارا مترية . من النماذج المعتمدة في هذا البحث نماذج ( de Capderou et de Liu Jordan et de Perrin Brichambeaut ) لحساب المكونات الثلاثة للإشعاع الشمسي : الاشعاع المباشر ، الاشعاع المنتشر والاشعاع العالمي.

**كلمات افتتاحية :** النمذجة ، الاشعاع ، تدفق الطاقة ، نماذج بارا مترية

## Abstract :

The solar field in a place on Earth is the flow of energy emitted from the Sun that is received directly or indirectly from the place during a given period, measured by the pyranometer scale. In this study, we will collect a set of different solar flow data and values that have been measured in four regions of the Adrar desert environment to be used to model solar radiation with Barra metric or Para-para metric models from the models adopted in this research. (de Capderou et de Liu Jordan et de Perrin Brichambeaut ) To calculate the three components of solar radiation : direct radiation, diffuse radiation and global radiation .

**Keywords :** Modeling, Radiation, Energy flow, Para metric models .

