

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Mémoire

Présenté à

L'Université Abdel Hamid Ibn Badis de Mostaganem
Faculté des Sciences Exactes et Informatique
Département de Physique

Pour obtenir le Diplôme de
Magister en Physique

Option : Conversions Photovoltaïques.

Par

MERAD Faiza

Sujet

**Conception d'un programme de calcul du rayonnement
solaire, cas particulier de la région de Mostaganem.**

Soutenu le 03 /07 /2013

Devant le jury composé de

Dr. BENOTSMANE Ahmed	M.C.A, Université de Mostaganem	Président
Dr. BENTOUNES Adda	M.C.A, Université de Mostaganem	Examineur
Dr. BOUNOUA Abdelkader	M.C.A, Université de Mostaganem	Examineur
Dr. BEGHADAD Mohammed	M.C.A, Université de Mostaganem	Encadreur
Dr. BELHOUARI Aissa	M.C.B, Université de Mostaganem	Co-encadreur

Remerciements

Je remercie Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage, et la volonté de mener à terme ce travail.

Ce travail a été effectué à la faculté des Sciences Exactes et de l'Informatique de Université Abdel Hamid Ibn Badis de Mostaganem.

Je souhaite remercier très vivement Monsieur M.Beghdad ainsi que Monsieur A.Belhouari qui ont encadré ce travail. J'ai beaucoup profité de leur savoir et de leur rigueur scientifique. Leur expérience respective dans le domaine de l'énergie renouvelable et de l'informatique, m'a permis de m'investir avec détermination dans ce travail de mémoire. Leur compétence m'a été indispensable à son bon déroulement.

Je remercie également Monsieur A.Benotsmane, Monsieur A.Bentounes et Monsieur A.Bounoua d'avoir accepté de faire partie du jury.

Je remercie aussi monsieur G.Abdellaoui qui ma fait profité de ses connaissances dans le domaine de la programmation.

Enfin, j'adresse mes remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail en premier lieu À mes très chers parents en reconnaissance de leur soutien dans mes études.

A ma défunte sœur NISRINE.

A ma très chère sœur SARAH et à son époux LOTFI.

A ma petit sœur MANAL.

A tous ceux qui portent le nom MERAD.

A mon fiancé Monsieur Kanoun Ahmed -Ali.

A la famille Kanoun.

A tous mes professeurs.

A mes amis(es).

A toutes la promotion de magister conversion photovoltaïque.

Sommaire

Nomenclature	5
Liste des figures	7
Liste des tableaux	10
Introduction générale	14
Références	13
Chapitre I: Gisement solaire.	
I.1.Introduction	15
I.2. Relations géométriques entre la terre et le soleil	16
I.3. Calcul de la position du soleil	16
I.3.1. Paramètres de position.....	16
I.3.1.1. Coordonnées terrestres	16
I.3.1.2.Coordonnées équatoriales	17
I.3.1.3.Coordonnées horizontales	19
I.3.2. Paramètres du temps.....	20
I.3.2.1. Temps Universel (TU)	20
I.3.2.2. Temps Solaire Moyen (TSM)	20
I.3.2.3. Equation du Temps (ET).....	21
I.3.2.4. Temps Solaire Vrai (TSV)	22
I.3.2.5. Heures du lever et du coucher du soleil	22
I.3.2.6. Durée et taux d'ensoleillement	22
I.4. Orientation d'un capteur	23
I.4.1. La hauteur du capteur γ :	23
I.4.2. Azimut du capteur α :	23
I.5. Angle d'incidence	24
I.6. Rôle de l'atmosphère	25
I.6.1. Le spectre de la radiation solaire	25
I.6.2. Structure de l'atmosphère.....	26
I.6.3. Composition de l'atmosphère.....	27

I.6.4. Rôle de l'eau.....	27
I.6.5. Rôle de l'ozone.....	28
I.7. Masse d'Air	28
I.8. L'irradiation ou rayonnement solaire au sol	29
I.8.1. Le rayonnement direct (I).....	30
I.8.2. Le rayonnement diffus (D).....	30
I.8.3. Le rayonnement global (G)	30
I.9. L'albédo	30
I.10. Mesure et calcul des rayonnements solaires.....	31
I.10.1. La mesure directe	31
I.10.2. Le calcul analytique.....	32
I.10.2.1. Constante solaire	32
I.10.2.2. Modèle Capderou	32
I.11. Masques solaires	38
I.12. Appareils de mesure du rayonnement solaire	40
I.12.1. L'héliographe	40
I.12.2. Le pyranomètre.....	41
I.12.3. Le pyréliomètre	42
I.13. Énergie solaire.....	42
I.13.1. Énergie solaire thermique.....	43
I.13.2. Énergie solaire photovoltaïque	44
I.13.2.1. Cellules solaires	44
I.13.2.2. Effet photovoltaïque.....	44
I.13.2.3. Différents types de cellules solaires.....	45
I.13.2.4. Module photovoltaïque	47
I.13.2.5. Caractéristiques d'un module.....	47
I.13.2.6. Panneau photovoltaïque	48
I.13.2.7. Avantages, inconvénients et limites	48
I.14. Conclusion	50
Références	52
Chapitre II: Aperçu sur la wilaya de Mostaganem.	
II.1. Introduction	55

II.2. Géographie et géomorphologie de MOSTAGANEM	56
II.2.1. Géographie régionale	56
II.2.2. Géomorphologie.....	56
II.2.3. Orographie	58
II.2.4. Topographie	59
II.3. Climatologie	59
II.3.1. Précipitations.....	60
II.3.2. Températures.....	62
II.3.3. Ensoleillement.....	63
II.4. Coordonnées spatiales des départements de MOSTAGANEM	66
II.4.1. Communes du PLATEAU DE MOSTAGANEM	66
II.4.2. Communes du MONT DAHRA	67
II.4.3. Communes de la VALLÉE DE L'EST.....	68
II.5. Conclusion.....	68
Références	69
 Chapitre III: Description et modélisation d'un logiciel pour le calcul de l'ensoleillemnt.	
III.1. Introduction	71
III.2. Présentation du langage de programmation	71
III.2.1. Langage C++	71
III.2.2. C++ Builder : un environnement RAD basé sur C++	71
III.2.2.1. Environnement RAD.....	72
III.3. Interface de l'application	72
III.4. Résultats et comparaisons.....	74
III.4.1. Déclinaison et Equation du temps	74
III.4.2. Positions du soleil	75
III.4.3. Lever et coucher du soleil.....	79
III.4.4. Puissance de rayonnement global hors-atmosphère à incidence normale ...	85
III.4.5. Rayonnement solaire au sol :.....	86
III.4.5.1. Effet de l'inclinaison du capteur sur le rayonnement global	86
III.4.5.2. Effet de la nature du ciel.....	88
III.4.6. Variation de la longueur de l'ombre d'un objet.....	92

III.5. Exemple de la wilaya de Mostaganem	94
III.6. Conclusion	95
Références	96
Conclusion générale.....	99
Annexe	100
Résumé	101
Abstract.....	101

Nomenclature

φ	Latitude.	°
L	Longitude.	°
δ	Déclinaison.	°
n	Numéro du jour de l'année.	
ω	Angle horaire.	°
TSV	Temps solaire vrai.	Heures
TU	Temps universel.	Heures
TSM	Temps solaire moyen.	Heures
ET	Equation du temps.	minutes
h	Hauteur angulaire (hauteur du soleil).	°
ω_0	Angle horaire correspondent au lever et coucher du soleil.	°
D₀	Durée du jour.	Heures
SS	Insolation	Heures
SS₀	Durée maximale d'ensoleillement (Durée du jour).	Heures
F	Taux d'ensoleillement ou taux d'insolation.	
a	Azimut.	°
z	Altitude.	Km
I₀	Constante solaire.	W/m ²
C_{t-s}	Correction de la distance Terre-Soleil.	
A_{he}	alternance hiver-été.	
T_L*	Facteur de trouble de Linke.	
I	Irradiation directe sur plan horizontal.	W/m ²
D	Irradiation diffuse sur plan horizontal.	W/m ²
G	Irradiation globale sur plan horizontal.	W/m ²
I_n	Irradiation directe normale.	W/m ²
I_i	Irradiation directe sur plan incliné.	W/m ²
D_i	Irradiation diffuse sur plan incliné.	W/m ²
G_i	Irradiation globale sur plan incliné.	W/m ²
i	Angle d'incidence du rayonnement.	°
γ	Hauteur du capteur.	°
β	Inclinaison du capteur.	°
α	Azimut du capteur.	°

γ_{opt}	Hauteur optimale du capteur.	◦
β_{opt}	Inclinaison optimale du capteur.	◦
ρ	Albédo.	
m_A	Masse atmosphérique.	
δ_R	Epaisseur optique de l'atmosphère.	
β_A	Coefficient d'Angström.	
W	Hauteur d'eau condensable.	cm

Liste des figures

Chapitre I

- Fig. I.1** Structure du soleil.
- Fig. I.2** Trajectoire de la Terre et plan écliptique.
- Fig. I.3.** Longitudes et latitudes sur le globe.
- Fig. I.4.** Déclinaison du soleil en fonction du numéro du jour de l'année n.
- Fig. I.5.** Système de coordonnées horaires.
- Fig. I.6.** Hauteur et azimut pour un observateur dans l'hémisphère Nord.
- Fig. I.7.** Définition des angles pour un plan incliné: inclinaison β , azimut α et angle d'incidence i .
- Fig. I.8.** La structure de l'atmosphère.
- Fig. I.9.** Le rayonnement solaire et le nombre d'air masse.
- Fig. I.10.** Normes de mesures du spectre d'énergie lumineuse émis par le soleil, notion de la convention AM.
- Fig. I.11.** Composantes du rayonnement solaire: extraterrestre, global = direct + diffus + albédo.
- Fig. I.12.** Composantes du rayonnement diffus.
- Fig. I.13.** Masque solaire.
- Fig. I.14.** Définition de l'angle d'azimut et hauteur de l'obstacle. Utilisation d'un point de référence librement choisi.
- Fig. I.15.** Héliographe de Campbell.
- Fig. I.16.** Pyranomètre d'Eppley.
- Fig. I.17.** Pyranomètre muni d'un cache.
- Fig. I.18.** Pyrhéliomètre.
- Fig. I.19.** Un capteur plan vitré.
- Fig. I.20.** Diagrammes de bandes d'énergie au voisinage de la jonction
- Fig. I.21.** Cellule photovoltaïque (monocristalline).
- Fig. I.22.** Caractéristiques courant-tension d'une cellule photovoltaïque dans l'obscurité et sous éclairage.
- Fig. I.23.** Evolution du coût de l'énergie.

Chapitre II

- Fig. II.1.** Représentation de l'énergie solaire reçue au sol.
- Fig. II.2.** Localisation de la Wilaya de MOSTAGANEM.
- Fig. II.3.** Topographie de la région de Mostaganem.
- Fig. II.4.** Carte pluviométrique du nord algérien.
- Fig. II.5.** Courbe des moyennes des précipitations annuelles et mensuelles de Mostaganem.
- Fig. II.6.** Courbe des moyennes mensuelles des températures sur la période 1999-2010.
- Fig. II.7.** (a), (b) Courbe de l'influence des phénomènes atmosphérique au cours de l'année sur le rayonnement du sol.
- Fig. II.8.** Courbe des moyennes mensuelles d'insolation pour la wilaya de Mostaganem.

Chapitre III

- Fig. III.1.** Interface de l'application.
- Fig. III.2.** Exemple de fenêtre de graphe.
- Fig. III.3.** Déclinaison et Equation du temps.
- Fig. III.4.** Hauteur et azimut pour un observateur dans l'hémisphère Nord.
- Fig. III.5.** Diagramme solaire pour une latitude de 40° .
- Fig. III.6.** Diagramme solaire d'autre référence pour une latitude de 40° .
- Fig. III.7.** Diagramme solaire pour une latitude de 50° .
- Fig. III.8.** Diagramme solaire d'autre référence pour une latitude de 50° .
- Fig. III.9.** Diagramme solaire pour une latitude de 60° .
- Fig. III.10.** Diagramme solaire d'autre référence pour une latitude de 60° .
- Fig. III.11.** Heure du lever et coucher du soleil pour le mois de janvier.
- Fig. III.12.** Heure du lever et coucher du soleil pour le mois de février.
- Fig. III.13.** Heure du lever et coucher du soleil pour le mois mars.
- Fig. III.14.** Heure du lever et coucher du soleil pour le mois d'avril.
- Fig. III.15.** Heure du lever et coucher du soleil pour le mois de mai.
- Fig. III.16.** Heure du lever et coucher du soleil pour le mois de juin.
- Fig. III.17.** Heure du lever et coucher du soleil pour le mois de juillet.
- Fig. III.18.** Heure du lever et coucher du soleil pour le mois d'août.
- Fig. III.19.** Heure du lever et coucher du soleil pour le mois de septembre.
- Fig. III.20.** Heure du lever et coucher du soleil pour le mois d'octobre.
- Fig. III.21.** Heure du lever et coucher du soleil pour le mois de novembre.

- Fig. III.22.** Heure du lever et coucher du soleil pour le mois de décembre.
- Fig.III.23.** Puissance du rayonnement global hors-atmosphère à incidence normale.
- Fig.III.24.** Variation du rayonnement global durant l'année pour un capteur d'inclinaison quelconque.
- Fig.III.25.** Evaluation de l'intensité du rayonnement global journalier pour un capteur d'orientation quelconque.
- Fig.III.26.** Le rayonnement solaire global absorbé pour différentes inclinaisons.
- Fig. III.27.** Evaluation de l'intensité des rayonnements (D, S, G) relatifs à un ciel clair pour une surface horizontale et incliné.
- Fig. III.28.** Evaluation de l'intensité des rayonnements (D, S, G) relatifs à un ciel voilé pour une surface horizontale et inclinée.
- Fig. III.29.** Evaluation de l'intensité des rayonnements (D, S, G) relatifs à un ciel laiteux pour une surface horizontale et inclinée.
- Fig. III.30.** Evaluation de l'intensité des rayonnements (D, S, G) relatifs au ciel pur pour une surface horizontale.
- Fig. III.31.** Evaluation de l'intensité des rayonnements (D, S, G) relatifs au ciel moyen pour une surface horizontale.
- Fig. III.32.** Evaluation de l'intensité des rayonnements (D, S, G) relatifs au ciel dégradé pour une surface horizontale.
- Fig. III.33.** Représentation de la longueur de l'ombre durant la journée du 21 juin.
- Fig. III.34.** Variation de la longueur de l'ombre durant la journée.
- Fig.III.35.** Rayonnement incident sur plan horizontal et incliné sur le site de Achâacha.
- Fig.III.36.** Rayonnement incident sur plan horizontal et incliné sur le site de Stidia.
- Fig.III.37.** Rayonnement incident sur plan horizontal et incliné sur le site de Mostaganem.

Liste des Tableaux

Chapitre I

- Tableau. I.1.** Spectre électromagnétique.
Tableau. I.2. Coefficients d'albédo usuels.

Chapitre II

- Tableau. II.1.** Moyennes des précipitations annuelles et mensuelles de Mostaganem.
Tableau. II.2. Moyennes mensuelles des températures sur la période 1999-2010..
Tableau. II.3. Les différents phénomènes agissant sur l'ensoleillement (en nombre de jour).
Tableau. II.4. Moyenne mensuelles des nébulosités totales (en OCTA).
Tableau. II.5. Moyennes pentadaires des insolation totales (en Heure).
Tableau. II.6. Coordonnées des communes du plateau de Mostaganem.
Tableau. II.7. Coordonnées des communes du Mont Dahra.
Tableau. II.8. Coordonnées des communes de la Vallée de l'Est.

Chapitre III

- Tableau. III.1.** Déclinaison et Equation du temps pour quelques dates.

INTRODUCTION GENERALE

L'augmentation de la consommation mondiale d'énergie et plus encore des pays en voie de développement rend le fait de la production d'énergie un défi très important. Actuellement, la plus grande source d'énergie est fossile (pétrole, gaz,.....), son utilisation conduit à l'émission de gaz polluant à effet de serre. Par ailleurs, les réserves de ce type d'énergie pour les générations à venir tendent à s'épuiser à cause d'une consommation excessive. La politique mondiale qui vise à diminuer les émissions de CO₂, et afin de ralentir le réchauffement climatique, on cherche des sources d'énergie nouvelles et propres, d'où l'apparition des énergies dite renouvelables et durables.

Les énergies renouvelables regroupent différentes sources comme le soleil, le vent, la chaleur de la terre (géothermie) ; de l'eau mais également celles de la biomasse. Contrairement aux sources fossiles, ces sources d'énergie sont inépuisables et non nocives pour l'environnement.

De part sa position géographique, l'Algérie est l'un des pays de la méditerranée qui dispose d'un énorme potentiel solaire. Selon l'Atlas de l'ensoleillement, l'Algérie est comptée parmi les meilleurs pays les plus ensoleillés dans le monde [1]. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures sur les Hauts Plateaux et au Sahara [2].

L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m² est de l'ordre de 5 kWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700 kWh/m²/an au Nord et 2263 kWh/m²/an au Sud du pays. Le potentiel en ressources solaires de l'Algérie est donc optimal pour l'exécution des projets solaires [3] comme celui du fameux Desertec.

Ce présent travail a pour objectif la conception d'une application sous forme de logiciel pour calculer dans un premier temps l'ensoleillement et dans un second temps évaluer le rayonnement solaire, nous prendrons le cas particulier de la région de Mostaganem. Il fera l'objet de trois chapitres :

Le premier chapitre sera consacré dans sa partie initiale à la définition de quelques notions élémentaires pour une meilleure compréhension des relations qui lient notre planète au soleil. Ensuite, nous citerons le modèle utilisé ainsi que les différents capteurs pouvant servir à la conversion de l'énergie solaire soit en chaleur (capteur thermique) ou en électricité (capteur photovoltaïque).

Le second chapitre portera sur la région de Mostaganem. Nous évoquerons sa situation géographique ainsi que ses différentes caractéristiques climatiques et son potentiel énergétique.

Le troisième chapitre fera l'objet d'une présentation du logiciel avec ses différentes étapes d'utilisation, la définition du langage de programmation utilisé pour sa réalisation, par la suite, nous présenterons quelques résultats sur quelques sites choisis de la Wilaya de Mostaganem. Enfin, pour valider le programme élaboré, nous ferons une comparaison avec des résultats trouvés dans la littérature.

Références

- [1] M. Geyer, «Report on the SolarPACES, Start Mission to Algeria», IEA SolarPACES, USA, 34p. 2003.
- [2] F. Yettou, A. Gama, A. Malek, B. Azoui et C. Larbès, « Etude et conception d'un logiciel de calcul de l'éclairement solaire en Algérie destiné aux systèmes à concentrations solaires », Revue des Energies Renouvelables Vol. 14 N°1 (2011) 27 – 46
- [3] Document, 'Bilan Energétique National de l'Année 2005', Ministère de l'Energie et des Mines, Direction des Energies Nouvelles et Renouvelables, 2006.

CHAPITRE I : GISEMENT SOLAIRE

I.1.Introduction

Le soleil est une étoile dont l'énergie provient des réactions thermonucléaires de fusion de l'hydrogène en se transformant en hélium. Sa température superficielle moyenne est estimée à 5800 °K. La surface lumineuse habituellement visible, ou photosphère, présente l'aspect d'un réseau à mailles irrégulières, formée par une multitude de cellules de convection, appelées granules, en perpétuelle évolution. Cette couche, d'environ 100 km d'épaisseur, est le siège de taches sombres de très grande diversité de forme et d'étendue, qui correspondent à des zones plus froides associées à un champ magnétique intense. On y observe également des facules brillantes qui sont les traces sur la photosphère de structures situées dans une couche plus élevée, la chromosphère, siège des protubérances. Au-delà de la chromosphère, épaisse d'environ 5 000 km, l'atmosphère solaire se prolonge par la couronne, qui s'étend dans l'espace jusqu'à des millions de kilomètres. Le globe solaire limité par la photosphère a un rayon égal à 696 000 km, soit environ 109 fois le rayon équatorial de la Terre. Sa densité moyenne est de 1,41, de sorte que sa masse est seulement 333 000 fois celle de la Terre, pour un volume 1 300 000 fois plus important. Le rayonnement solaire met environ 8 minutes pour nous parvenir [1].

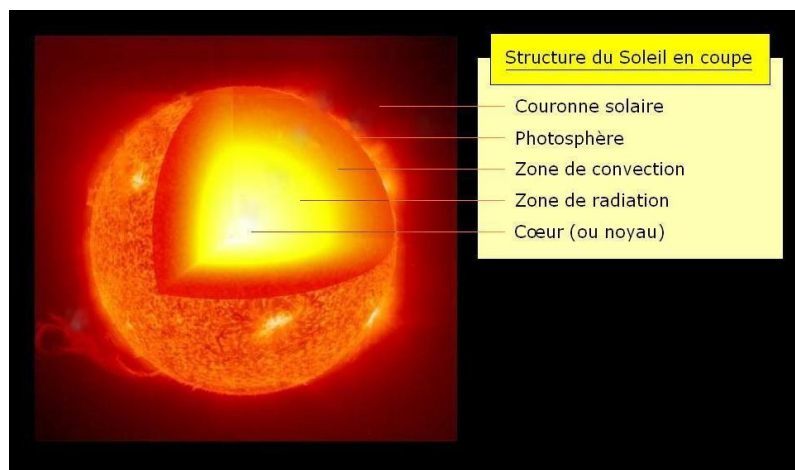


Fig. I.1. Structure du soleil.

A chaque seconde, 564 millions de tonnes d'hydrogène se transforment en 560 millions de tonnes d'hélium à travers les réactions thermonucléaires qui se produisent au sein du soleil, les 4 millions de tonnes restant sont dissipées sous forme d'énergie. Cette énergie a une valeur totale de 36.10^{22} kW, dont la terre en reçoit $1,8.10^{17}$ kW de cette énergie pendant une seconde [2].

I.2. Relations géométriques entre la terre et le soleil

Le mouvement de la terre autour du soleil est sous forme d'ellipse dont le plan est appelé plan écliptique.

L'excentricité de cette ellipse est faible, ce qui fait que la distance Terre/soleil ne varie que de $\pm 1,7\%$ par rapport à la distance moyenne [2].

La terre tourne également sur elle-même autour d'un axe appelé l'axe des pôles. L'axe qui passe par le centre de la terre et qui est perpendiculaire à l'axe des pôles est appelé l'équateur.

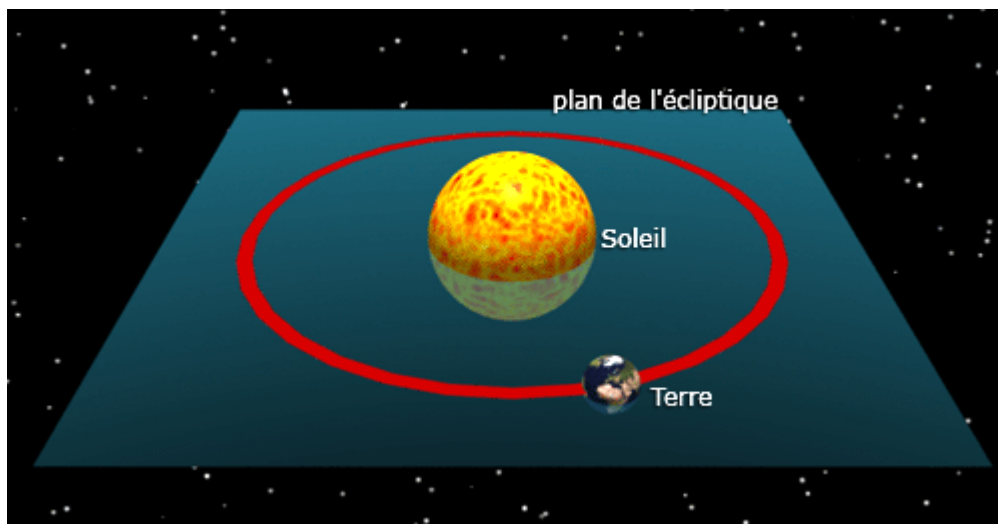


Fig. I.2. Trajectoire de la terre et plan écliptique.

I.3. Calcul de la position du soleil

I.3.1. Paramètres de position

I.3.1.1. Coordonnées terrestres

Tous les points sur la surface de la terre peuvent être repérés par deux coordonnées, appelées coordonnées terrestres, à savoir : la latitude φ et la longitude L [3].

I.3.1.1.1. Longitude L (ou λ)

C'est l'angle entre le méridien du lieu et le méridien origine des longitudes (Greenwich en Angleterre), positive à l'Est et négative à l'Ouest.

Il y a 23 méridiens séparés donc de 15° donnant naissance aux 24 fuseaux horaires.

I.3.1.1.2. Latitude(φ)

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

I.3.1.1.3. L'altitude (z):

L'altitude d'un point correspond à la distance verticale entre ce point et une surface de référence théorique (niveau moyen de la mer).

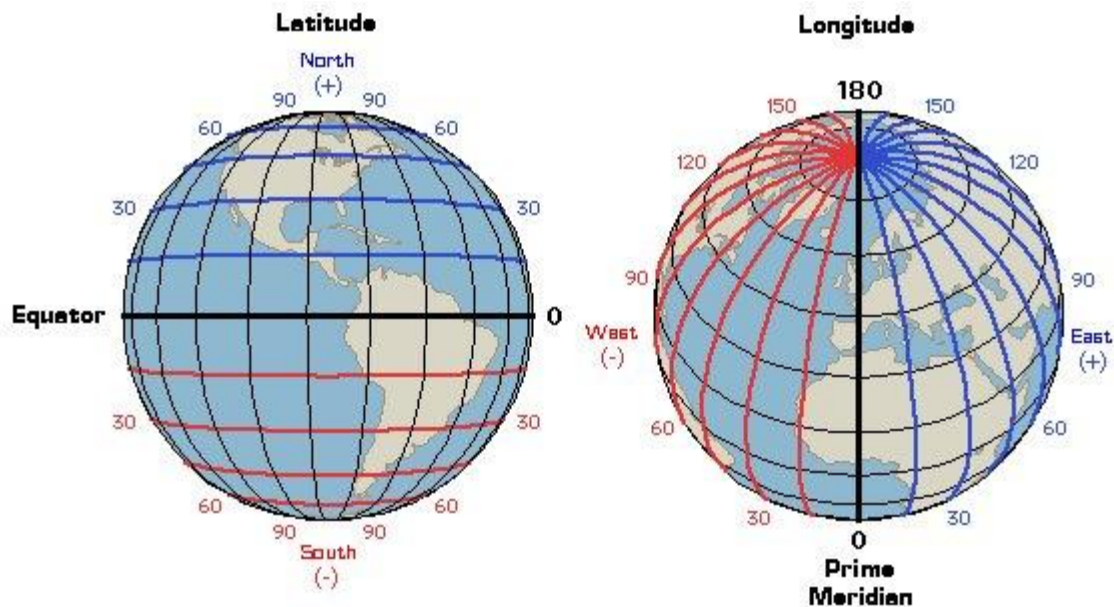


Fig. I.3. Longitudes et latitudes sur le globe [8].

I.3.1.2.Coordonnées équatoriales

I.3.1.2.1.La déclinaison (δ)

La déclinaison solaire δ est l'angle formé par la direction du soleil et le plan équatorial terrestre. Cet angle varie en fonction des saisons de $-23,45^\circ$ à $+23,45^\circ$.

Equinoxe de printemps :	21 Mars	$\delta= 0^\circ$
Solstice d'été :	22 Juin	$\delta= +23,45^\circ$
Equinoxe d'automne :	23 Septembre	$\delta= 0^\circ$
Solstice d'hiver :	22 Décembre	$\delta= -23,45^\circ$

Entre ces 4 points remarquables, δ prend toutes les valeurs intermédiaires qui peuvent se calculer par les relations [4] :

$$\delta = 23,45 \sin\left[\frac{360}{365} (284 + n)\right] \quad (\text{I.1})$$

Ou bien

$$\delta = 23,45 \sin\left[\frac{360}{365} (n - 81)\right] \quad (\text{I.2})$$

n : numéro du jour de l'année compté à partir du 1^{er} janvier.

La variation de la déclinaison du soleil au cours de l'année est représentée par la figure (I-4) [10]

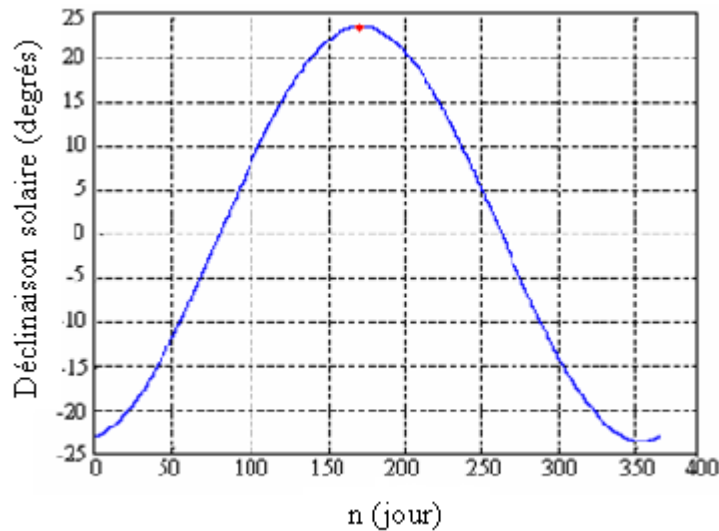


Fig. I.4. Déclinaison du soleil en fonction du numéro du jour de l'année n.

I.3.1.2.2.L'angle horaire ω (ou AH)

C'est l'angle formé par le plan du méridien céleste et la trajectoire de la direction Terre/Soleil sur le plan de l'équateur céleste, ou encore c'est le déplacement angulaire du soleil autour de l'axe polaire dans sa course d'Est en Ouest par rapport au méridien local. Il est nul à midi solaire, négatif le matin et positif l'après midi. Il est donné par [3] :

$$\omega = 15 * (TSV - 12) \quad (\text{I.3})$$

ω : en degrés.

TSV : temps solaire vrai en heures.

Un angle horaire de 15° est donc l'équivalent d'une heure en TSV.

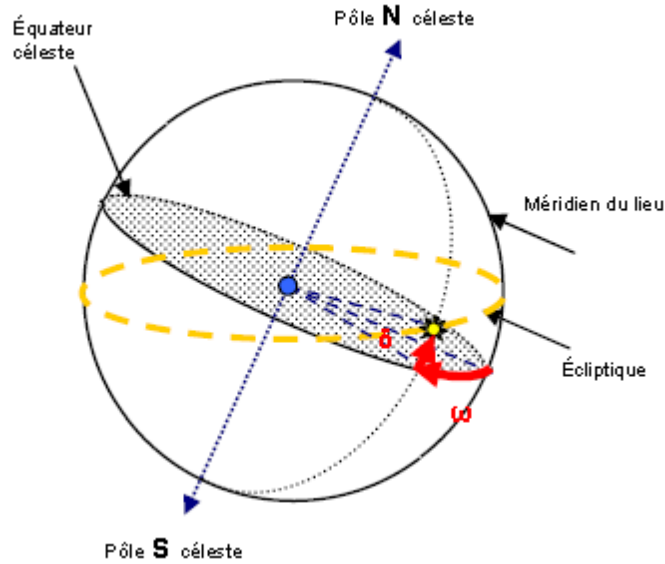


Fig. I.5. Système de coordonnées horaires [8].

I.3.1.3.Coordonnées horizontales

La position d'un astre dans l'espace peut être repérée par ses coordonnées horizontales définies dans la sphère céleste. La sphère céleste est la sphère ayant pour centre la Terre et pour rayon la distance entre la Terre et l'astre étudié (le Soleil dans notre cas).

Ces coordonnées dépendent du lieu d'observation. Elles sont aussi appelées coordonnées locales [3].

I.3.1.3.1.La Hauteur angulaire (h)

La hauteur angulaire ou encore hauteur du soleil est l'angle formé par le plan horizontal du lieu d'observation et la direction de l'astre (voir Fig.1.6). Il est donné par la relation trigonométrique [4]:

$$\sin h = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega \quad (I.4)$$

I.3.1.3.2.L'Azimut (a)

C'est l'angle compris entre le méridien du lieu et le plan vertical passant par le soleil. Il est compté positivement vers l'Ouest.

L'azimut est relié à l'angle horaire, la hauteur, la déclinaison par la relation [4]:

$$\sin a = \sin \omega \cos \delta / \cos h \quad (\text{I.5})$$

Et si l'on souhaite exprimer l'azimut indépendamment de la hauteur h , on peut utiliser la formule :

$$\tan a = \sin \omega / (\sin \varphi \cos \omega - \cos \varphi \tan \delta) \quad (\text{I.6})$$

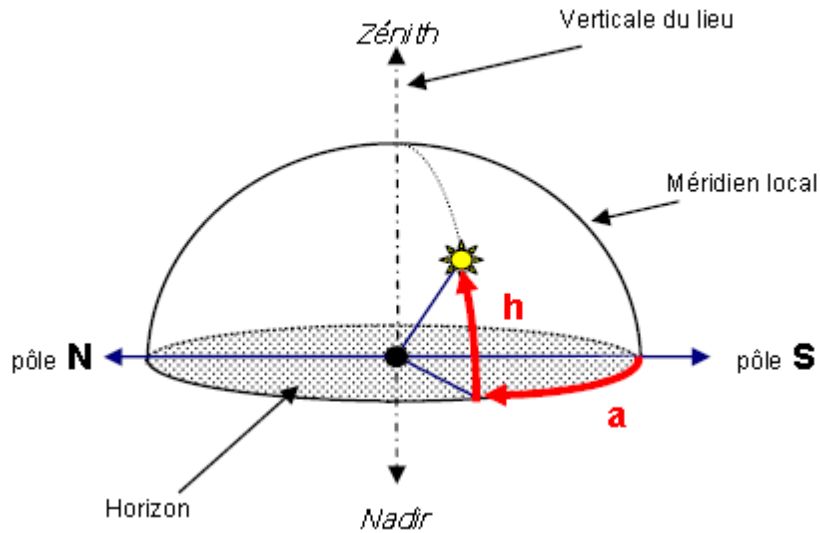


Fig. I.6. Hauteur et azimut pour un observateur dans l'hémisphère Nord [8].

I.3.2. Paramètres du temps

I.3.2.1. Temps universel (TU)

Le Temps Universel (TU) est défini par le temps de passage du soleil au méridien d'origine ou encore appelé GMT (Greenwich Meridian Time) [3].

I.3.2.2. Temps Solaire Moyen (TSM)

La rotation de la terre autour des pôles, introduit la notion de « Temps Solaire Moyen (TSM) ». La journée solaire moyenne est le temps qui sépare, en moyenne, deux passages successifs du Soleil au méridien d'un lieu. Par définition, la journée solaire moyenne a une durée d'1 jour=24h 00mn 00s [5].

On définit le Temps Solaire Moyen (TSM) par la différence entre le temps universel et la correction de longitude, il est donné par [3] :

$$TSM = TU + \frac{L}{15} \quad (\text{I.7})$$

L : La longitude en degrés (+ à l'Est et - à l'Ouest).

TU : en heures.

I.3.2.3. Equation du Temps (ET)

Jusqu'en 1964, la mesure du temps était basée sur la rotation de la terre : le jour était défini comme l'intervalle de temps entre deux passages du soleil par le même méridien. Toutefois, les jours solaires ne sont pas égaux, car l'angle ω que fait le soleil avec le méridien du lieu ne correspond pas exactement au temps solaire moyen bien que la terre tourne régulièrement sur elle-même ; en effet, l'expérience montre que les passages du soleil dans le plan méridien d'un lieu donné ne succèdent pas avec exactement 24 h d'intervalles et le midi vrai peut atteindre une avance de 16 mn ou un retard de 14 mn par rapport à 12 h.

Selon l'époque de l'année, deux facteurs interviennent dans cette variation :

- De l'excentricité de l'ellipse qui décrit la course de la terre autour du soleil, il résulte, d'après la loi de Kepler (loi des aires) que la vitesse orbitale au périhélie (Décembre) est plus grande qu'à l'aphélie (Juin). La Terre a donc une variation saisonnière de sa vitesse orbitale qui affecte l'heure de passage du soleil au méridien.
- D'autre part, l'inclinaison de l'axe de rotation de la terre par rapport au plan de l'écliptique introduit une oscillation supplémentaire de la durée du jour solaire, un jour de Novembre étant plus long d'une demi-minute qu'un jour de Mars.

Cet écart entre le Temps Solaire Moyen (TSM) et le Temps Solaire Vrai (TSV) est désigné sous le terme équation du temps (ET) [4].

Elle s'exprime par la relation suivante [3], dans laquelle ET est donnée en minutes:

$$ET = -0.0002 + 0.4197 \cos(\beta) - 7.3509 \sin(\beta) - 3.2265 \cos(2\beta) - 9.3912 \sin(2\beta) - 0.0903 \cos(3\beta) - 0.3361 \sin(3\beta) \quad (\text{I.8})$$

Dans laquelle β (en degrés) vaut : $\beta = 360 \frac{n}{366}$ avec et n le numéro du jour de l'année.

Il faut rajouter que cette équation n'est pas unique et qu'il en existe plusieurs autres expressions.

I.3.2.4. Temps Solaire Vrai (TSV)

C'est le temps solaire moyen (TSM) corrigé de l'équation du temps, donnée astronomique universelle liée donc à l'excentricité de l'orbite de la terre autour du soleil [4]:

$$TSV = TSM + \frac{ET}{60} \quad (\text{I.9})$$

I.3.2.5. Heures du lever et du coucher du soleil

À partir de la hauteur h , on peut déduire les heures du lever et du coucher du soleil, en faisant $h=0$ [4].

On trouve :

$$\cos \omega_0 = -\tan \varphi \tan \delta \quad (\text{I.10})$$

La durée astronomique du jour s'obtient en faisant :

$$D_0 = \frac{2}{15} \arccos(-\tan \varphi \tan \delta) \quad (\text{I.11})$$

I.3.2.6. Durée et taux d'ensoleillement

I.3.2.6.1. Durée d'ensoleillement

Selon les conditions atmosphériques, le ciel peut être plus ou moins couvert de nuages au cours d'une journée. Ceux-ci occultent totalement ou partiellement le soleil, empêchant ainsi le rayonnement d'atteindre directement le sol. On dit que la nébulosité est plus ou moins importante selon qu'il y a respectivement beaucoup ou peu de nuages.

On appelle **durée effective d'ensoleillement** ou **insolation SS** le temps pendant lequel, au cours d'une journée, le rayonnement solaire direct a atteint le sol du lieu considéré. On appelle rayonnement direct le rayonnement qui atteint la surface terrestre sans avoir subi de déviation depuis son émission par le soleil [2].

I.3.2.6.2. Taux d'ensoleillement

Par ciel clair sans nuages, le sol reçoit le rayonnement solaire direct pendant toute la durée du jour, ou plus précisément pendant la **durée maximale d'ensoleillement SS₀**.

On appelle taux d'ensoleillement ou taux d'insolation le rapport entre la durée effective et la durée maximale d'ensoleillement [2]:

$$F = \frac{SS}{SS_0} \quad (\text{I.12})$$

SS_0 peut être prise, pour un site dégagé, égale à D_0 calculée plus haut.

I.4. Orientation d'un capteur

L'orientation d'un module photovoltaïque doit être dirigée vers le sud pour les sites situés dans l'hémisphère nord et vers le nord pour les sites situés dans l'hémisphère sud. Pour la ville de Mostaganem, l'orientation plein sud permet la meilleure captation du rayonnement. Une plus grande surface de captage permet de compenser une orientation qui ne serait pas optimale.

Un capteur quelconque est défini par deux angles (γ , α) :

I.4.1. La hauteur du capteur γ :

C'est l'angle que fait la normale du capteur et sa projection sur le plan horizontal [6].

$$\gamma \text{ varie entre } -90^\circ \text{ et } +90^\circ : \begin{cases} \gamma > 0 & \text{plan tourné vers le haut.} \\ \gamma < 0 & \text{plan tourné vers le bas.} \\ \gamma = +90^\circ & \text{plan horizontal tourné vers le haut.} \\ \gamma = -90^\circ & \text{plan horizontal tourné vers le bas.} \\ \gamma = 0 & \text{plan vertical.} \end{cases}$$

I.4.2. Azimut du capteur α :

C'est l'angle que fait la projection de la normale sur le plan horizontal et la direction du sud [6].

$$\alpha \text{ varie entre } -90^\circ \text{ et } +90^\circ : \begin{cases} \alpha > 0 & \text{vers l'Ouest.} \\ \alpha < 0 & \text{vers l'Est.} \\ \alpha = 0 & \text{plan Sud.} \\ \alpha = -90^\circ & \text{plan Est orienté vers le Nord.} \\ \alpha = +90^\circ & \text{plan Ouest orienté vers le Ouest.} \\ \alpha = 180^\circ & \text{plan Nord orienté vers le Nord.} \end{cases}$$

L'inclinaison β du capteur par rapport au plan horizontal est donnée par : $\beta = 90^\circ - \gamma$

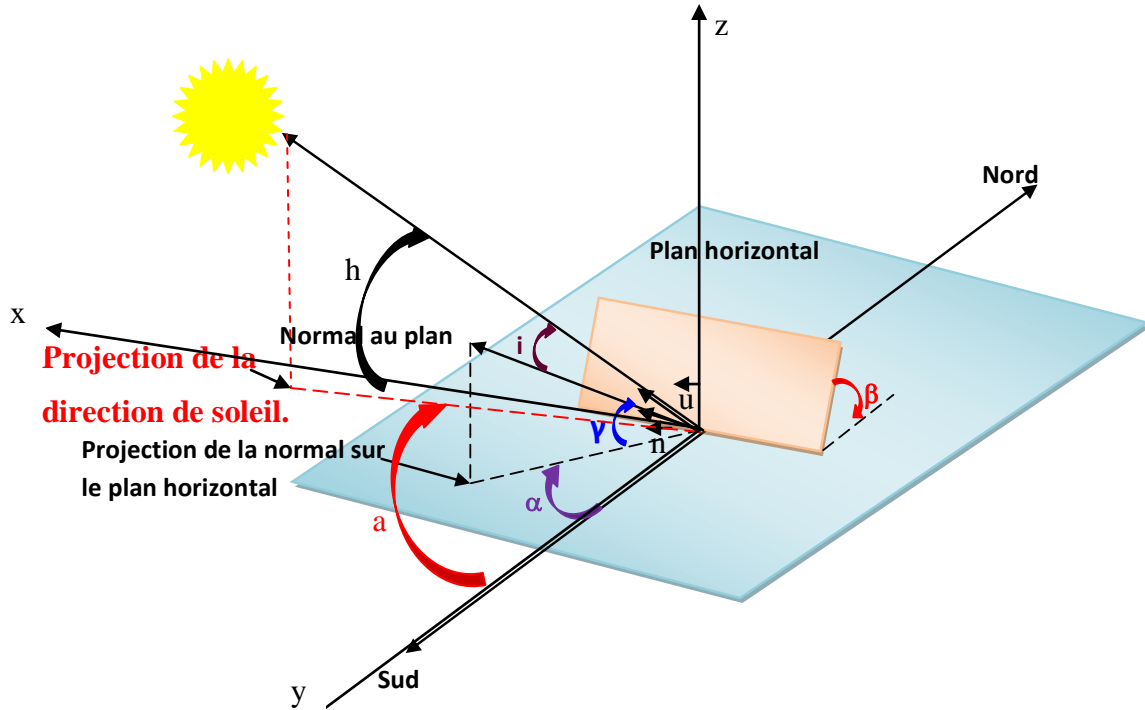


Fig. I.7. Définition des angles pour un plan incliné: inclinaison β , azimut α et angle d'incidence i .

I.5. Angle d'incidence

L'angle d'incidence i , c'est l'angle entre la direction du soleil et la normale au plan. Cet angle peut être déterminé par la connaissance des cosinus directeurs du rayon incident (\vec{u}) et la normale (\vec{n}) en coordonnées horizontales [15].

$$(\vec{n}) \begin{cases} \cos(\gamma) \sin(\alpha) \\ \cos(\gamma) \cos(\alpha) \\ \sin(\gamma) \end{cases} \quad (\vec{u}) \begin{cases} \cos(h) \sin(a) \\ \cos(h) \cos(a) \\ \sin(h) \end{cases}$$

Le produit scalaire de (\vec{u}) et (\vec{n}) détermine l'angle d'incidence i :

$$\cos(i) = \vec{u} \cdot \vec{n} = \begin{pmatrix} \cos(h) \sin(a) \\ \cos(h) \cos(a) \\ \sin(h) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos(\gamma) \sin(\alpha) \\ \cos(\gamma) \cos(\alpha) \\ \sin(\gamma) \end{pmatrix}$$

$$\cos(i) = \cos(\alpha - a) \cos(\gamma) \cos(h) + \sin(\gamma) \sin(h) \quad \text{(I.13)}$$

Cette équation peut être écrite d'une autre manière, à l'aide de l'équation des passages d'un système de coordonnées à un autre. On peut écrire l'angle d'incidence en coordonnées horaires :

$$\begin{cases} \sin h = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega \\ \sin a = \sin \omega \cos \delta / \cos h \end{cases}$$

En coordonnées horaires, l'angle d'incidence est donné par :

$$\begin{aligned} \cos(i) = & \sin(\alpha) \cos(\gamma) \sin(\omega) \cos(\delta) + \\ & \cos(\alpha) \cos(\gamma) [\cos(\omega) \cos(\delta) \sin(\varphi) - \sin(\delta) \cos(\varphi)] + \sin(\gamma) [\cos(\omega) \cos(\delta) \cos(\varphi) + \\ & \sin(\delta) \sin(\varphi)] \end{aligned} \tag{I.14}$$

I.6. Rôle de l'atmosphère

I.6.1. Le spectre de la radiation solaire

Le spectre de la radiation solaire peut approximativement se diviser en ultraviolet (UV), lumière visible, infrarouge (IR) et de grandes longueurs d'ondes (chaleur) [7].

Les rayons		Gamme de longueur d'onde
Rayons X		0.01 à 1 Å
UltraViolet	UV extrême	1 à 100 Å
	UV éloigné	10 à 100 nm
	UV moyen	100 à 200 nm
	UV proche	200 à 300 nm
Rayons Gamma		300 à 400 nm
Lumière visible		400 à 770 nm
Infrarouge	IR proche	770 à 2500 nm
	IR moyen	2,5 à 30 µm
	IR éloigné	30 à 300 µm

Tableau I.1. Spectre électromagnétique.

Le Soleil émet un rayonnement électromagnétique compris dans une bande de longueur d'onde variant de 0,22 à 10 µm.

I.6.2. Structure de l'atmosphère

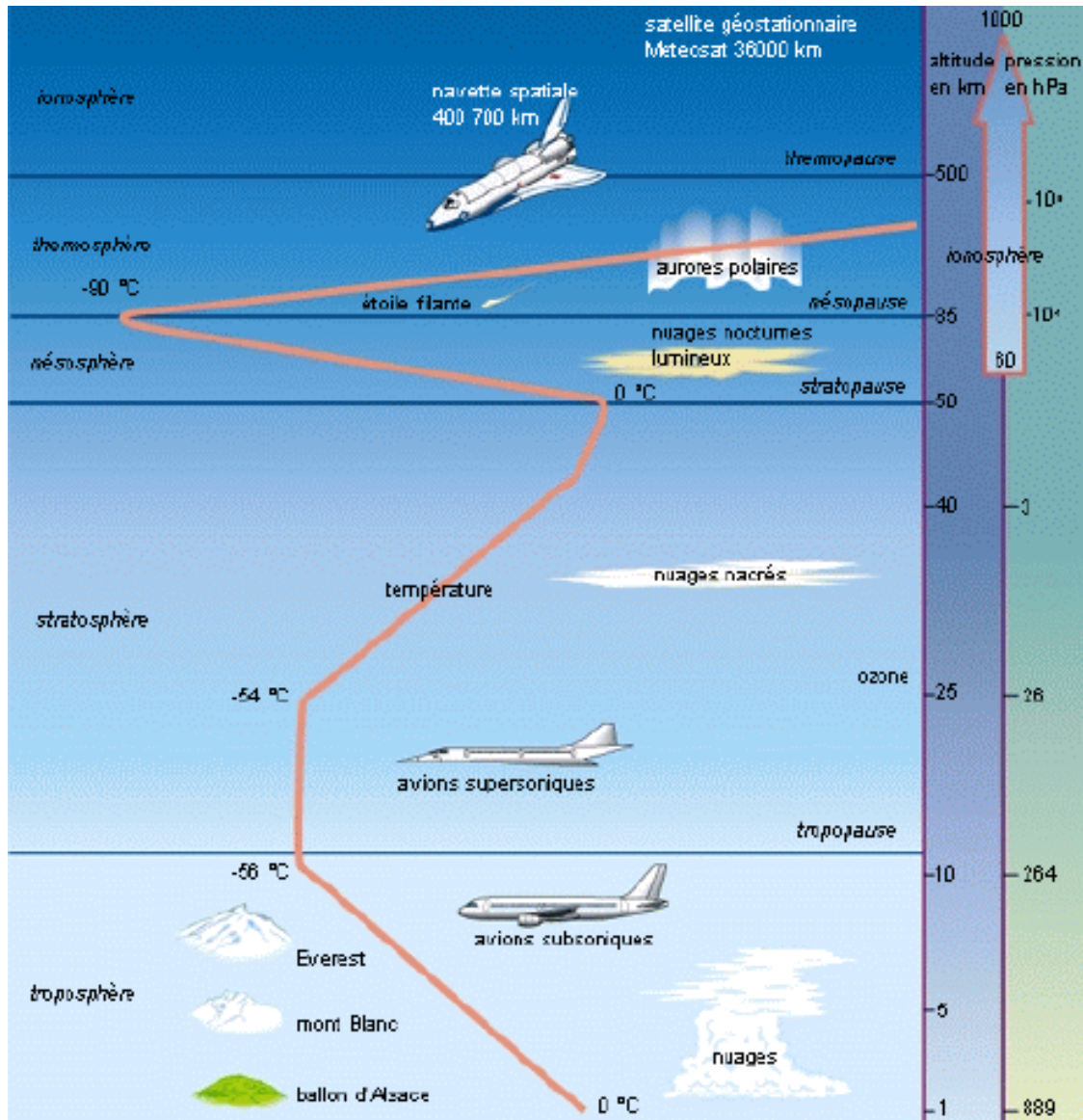


Fig. I.8. La structure de l'atmosphère [4].

L'atmosphère se compose comme suit :

- la troposphère qui s'étend jusqu'à 10 à 12 km d'altitude et où la température décroît de 6.5°C par km, pour atteindre - 56 °C à la base de la couche suivante.
- la stratosphère de 12 à 55 km où la température croît de -56 °C à 0 °C jusqu'à la stratopause. C'est elle qui contient une mince couche d'ozone.
- la mésosphère de 50 à 85 km où la température décroît à nouveau de 0°C à -90 °C.

- l'ionosphère (confondue avec la thermosphère) et où la température croît régulièrement pour atteindre 1500 °C. C'est elle qui contient les couches réfléchissantes pour les ondes radio (couches d'Heavyside); elle s'étend jusqu'à 700 km d'altitude.
- l'exosphère au delà de 700 km qui s'ouvre sans frontière sur l'espace intersidéral [4].

I.6.3. Composition de l'atmosphère

La composition de l'atmosphère est à peu près la même pour les trois premières couches: 78 % d'azote, 21 % d'oxygène, 0,9 % d'argon, 0,03 % de CO₂ et des traces d'autres gaz, avec de la vapeur d'eau dans la troposphère et une mince couche d'ozone dans la stratosphère dont le rôle est si important dans l'absorption des rayons ultraviolets les plus durs. L'essentiel des modifications subies par le rayonnement solaire se fait dans la troposphère par diffusion, diffraction, absorption, réfraction par des gaz de température et de densité croissante.

La masse gazeuse totale traversée est de 10 tonnes/m²; elle équivaut à 7,8 km d'atmosphère ramenée aux conditions de température et de pression dites normales: T=0°C; p=1 013 mbar. Si ces gaz étaient tous ramenés aux conditions normales, on aurait 6,2 km d'azote, 1,7 km d'oxygène, 74 m d'argon, 30 m de vapeur d'eau, 24 m de CO₂, 14 cm de Néon, 4 cm d'Hélium, quelques mm de Krypton, de méthane de NO et de NO₂ et seulement 5 mm d'ozone [4].

I.6.4. Rôle de l'eau

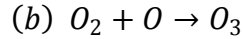
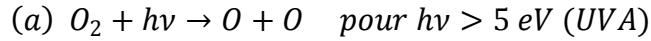
La troposphère contient la quasi-totalité de la vapeur d'eau. La couche qui s'élève jusqu'à 2000 m d'altitude contient déjà 50 % de la quantité totale de vapeur d'eau. On appelle hauteur d'eau condensable, la hauteur d'eau liquide qui serait recueillie par cm² si toute la vapeur était condensée. On l'exprime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

$$W(cm) = 0.17 t \quad (\text{I.15})$$

Où t (mbar) représente la tension de vapeur d'eau au sol. La hauteur d'eau condensable varie assez fortement suivant la latitude, la saison et bien sûr l'humidité; elle reste normalement comprise entre 0,5 et 6 cm. Une humidité relative de 50 % au sol à une température de 20 °C correspond à t=11 mbar et W= 2cm [4].

I.6.5. Rôle de l’ozone

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



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

(c) $O_3 + hv \rightarrow O_2 + O$, c’est cette dernière réaction qui filtre les rayonnements solaires dangereux pour les micro-organismes et les végétaux.

Arrivant au sol, le rayonnement filtré produit de l’oxygène O_2 par photosynthèse sur les végétaux. Le CO_2 est absorbé le jour par les végétaux et restitué la nuit. Les mêmes végétaux, en se dégradant, restituent à l’atmosphère du méthane CH_4 et de l’hémioxyde d’azote N_2O qui eux-mêmes entrent dans le fragile équilibre de l’ozone stratosphérique [4].

I.7. Masse d’Air (ou Air Masse)

Plus le soleil est bas sur l’horizon, plus il va traverser une épaisseur importante d’atmosphère et plus son rayonnement est modifié.

On appelle « Masse d’Air », m , la masse d’atmosphère traversée par le rayonnement direct pour atteindre le sol (par ciel clair), par rapport à une traversée verticale au niveau de la mer (voir figure (I.9)).

Cela dépend de la hauteur angulaire du soleil (h). à l’aide des points O, A et M, on écrit la longueur du trajet du soleil travers l’atmosphère : $OM = OA / \sin h$

On appelle m le rapport OM / OA , soit $1/\sin h$.

A une pression P différente de 1013 mbar et à une altitude z (en km), on désignera par masse atmosphérique ou nombre d’air masse, le nombre [10] :

$$m = \frac{P}{1013 \sin(h)} \exp\left(-\frac{z}{7.8}\right) \quad (I.16)$$

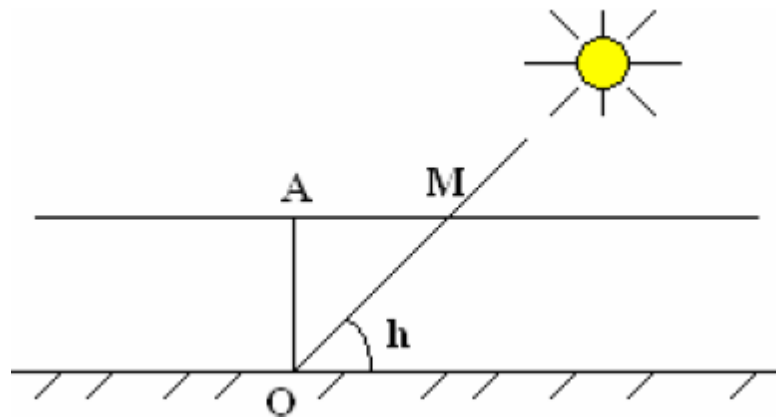


Fig. I.9. Le rayonnement solaire et le nombre d'air masse [10].

Exemple [4]:

- Rayonnement hors atmosphère : AM 0
- Soleil au zénith, niveau de la mer : AM 1
- Soleil à 42° sur l'horizon : AM 1.5
- Soleil à 30° sur l'horizon : AM 2

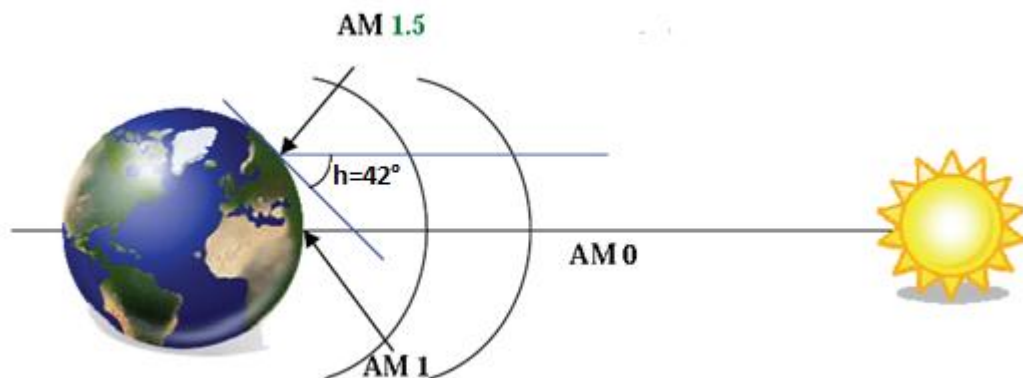


Fig. I.10. Normes de mesures du spectre d'énergie lumineuse émis par le soleil, notion de la convention AM [13].

I.8. L'irradiation ou rayonnement solaire au sol

C'est l'énergie reçue pendant une certaine durée. On distingue plusieurs composantes qui sont principalement :

I.8.1. Le rayonnement direct (I)

C'est le rayonnement qui traverse l'atmosphère sans subir de modifications, il est reçu directement du soleil, sans diffusion par l'atmosphère, ses rayons sont parallèles entre eux.

I.8.2. Le rayonnement diffus (D)

C'est la part du rayonnement solaire diffusé par les particules solides ou liquides en suspension dans l'atmosphère (air, nébulosité, aérosols,...). Il n'a pas de direction privilégiée.

I.8.3. Le rayonnement global (G)

C'est la somme des rayonnements direct et diffus [7].

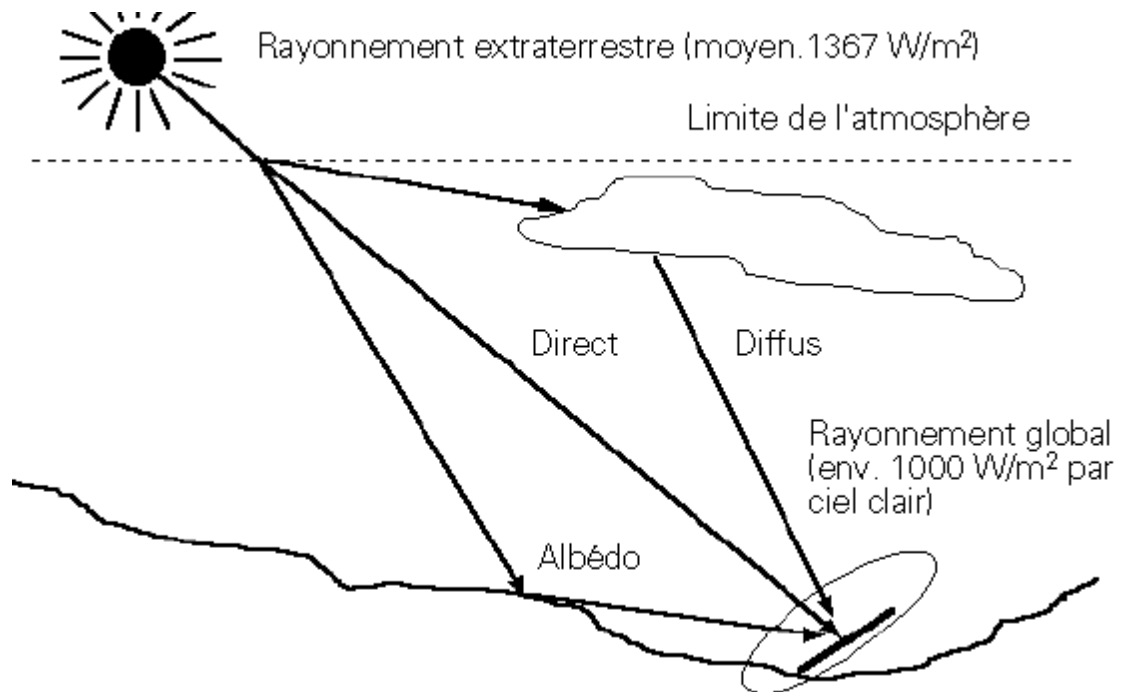


Fig. I.11. Composantes du rayonnement solaire: extraterrestre, global = direct + diffus + albédo [9].

I.9. L'albédo

En réalité, la terre n'est pas un corps noir, une partie du rayonnement solaire incident est réfléchi par l'atmosphère (principalement par les nuages) et par le sol

terrestre. Cette quantité est appelée le flux d'albédo. On définit généralement l'albédo comme étant le rapport de l'énergie solaire réfléchie par une surface sur l'énergie solaire incidente. On utilise une échelle graduée de 0 à 1, correspondant respectivement au noir, pour un corps avec aucune réflexion, et au miroir parfait, pour un corps qui diffuse dans toutes les directions et sans absorption de tout le rayonnement visible qu'il reçoit. Le tableau I.2 regroupe les valeurs d'albédo pour différentes surfaces [7]:

Type de surface	Albédo
Surface de lac	0,02 à 0,04
Forêt de conifères	0,05 à 0,15
Forêt tropicale	0,12
Herbe verte	0,25
Sable léger et sec	0,25 à 0,45
Sol sombre	0,05 à 0,15
Glace	0,30 à 0,40
Mer chaude	0,05
Mer froide	0,15
Neige tassée	0,60
Neige fraîche	0,85
Nuage	0,86
Verre à vitres	0.10

Tableau I.2. Coefficients d'albédo usuels [9].

I.10.Mesure et calcul des rayonnements solaires

Le rayonnement solaire peut être déterminé de plusieurs manières en fonction de données disponibles, on distingue notamment :

I.10.1. La mesure directe

Elle se fait à l'aide d'un instrument, le rayonnement direct est mesuré par un pyréliomètre et le rayonnement global par un pyranomètre [7]. (Plus de détails de ces appareils seront donnés plus loin).

I.10.2. Le calcul analytique

I.10.2.1. Constante solaire

La constante solaire est le flux énergétique reçu par une surface unité. Dans notre cas, la valeur qui a été retenue est: $I_0 = 1367 \text{ W/m}^2$ et qui correspond au spectre de l'Air-Masse 0.

I_0 est variable autour de l'année puisque la distance Terre/Soleil est elle-même variable (Trajectoire elliptique). La correction terre-soleil est donnée par [5] :

$$C_{t-s} = 1 + 0.034 \cos\left(\frac{360}{365} (n - 2)\right) \quad (\text{I.17})$$

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

La constante solaire corrigée est : $I = I_0 C_{t-s}$

I.10.2.2. Modèle Capderou [5]

La méthodologie adoptée par Capderou est basée sur l'utilisation du trouble atmosphérique pour calculer les composantes directe et diffuse de l'irradiation reçue sur un plan d'inclinaison et d'orientation variables, à partir d'un modèle de l'atmosphère. Dans ce modèle, on peut déterminer les irradiances directe et diffuse.

I.10.2.2.1. Rayonnement reçu sur un plan horizontal

Dans ce cas, la connaissance du facteur de trouble atmosphérique est nécessaire pour déterminer les éclaircissements. Ce facteur est le rapport entre l'extinction du rayonnement direct traversant une atmosphère de référence constituée uniquement d'air pur et sec sous la même incidence. Dans ce modèle, le facteur de trouble atmosphérique de Linke est donné par:

$$T_L^* = T_0 + T_1 + T_2 \quad (\text{I.18})$$

- 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:

$$T_0 = 2.4 - 0.9 \sin(\varphi) + 0.1(2 + \sin(\varphi))A_{he} - 0.2 z - (1.22 + 0.14 A_{he})(1 - \sin(h)) \quad (\text{I.19})$$

$$A_{he} = \sin \left[\frac{360}{365} (n - 121) \right] \quad (\text{I.20})$$

z: l'altitude de lieu (Km).

φ : la latitude du lieu.

h : la hauteur du soleil.

A_{he} : l'alternance hiver-été

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

$$T_1 = 0.89^z \quad (\text{I.21})$$

- T_2 : est le trouble relatif à la diffusion par les aérosols couplée à une légère absorption (dépendant à la fois de la nature et de la quantité des aérosols). T_2 est donné par:

$$T_2 = (0.9 + 0.4 A_{he})(0.63)^z \quad (\text{I.22})$$

En fonction du coefficient d'Angström β_A , T_2 s'écrit :

$$T_2 = 16 \beta_A$$

Type de ciel	β_A	W (cm)
Ciel pur (clair)	0.05	1
Ciel moyen	0.1	2
Ciel laiteux	0.2	3

W : hauteur d'eau condensable.

D'où l'expression de

$$T_L^* = 2.5 + 16\beta_A + 0.5 \ln(W)$$

L'irradiation directe par obtenu sur un plan horizontal est donnée par :

$$I = I_0 C_{t-s} \sin(h) \exp \left[-T_L^* / (0.9 + ((9.4/0.89^z) \sin(h))) \right] \quad (\text{I.23})$$

L'irradiation diffuse sur un plan horizontal est donnée par la formule (I.24)

$$D = I_0 C_{t-s} \exp[-1 + 1.06 \log(\sin(h)) + a - \sqrt{a^2 + b^2}] \quad (\text{I.24})$$

Avec $a = 1.1$

et $b = \log(T_L^* - T_0) - 2.80 + 1.02 (1 - \sin(h))^2$

L'irradiation globale reçue sur un plan horizontal est donnée par :

$$G = I + D \quad (\text{I.25})$$

I.10.2.2.2. Rayonnement reçu sur un plan incliné

I.10.2.2.2.1. le rayonnement Direct

C'est la projection de la composante normale sur un plan incliné :

$$I_n = I_0 C_{t-s} \exp[-T_L^*/(0.9 + ((9.4/0.89^z) \sin(h)))] \quad (\text{I.26})$$

$$I_i = I_n \cos(i) \quad (\text{I.27})$$

I_n : le rayonnement Direct normal.

I_i : le rayonnement Direct incliné.

i : l'angle d'incidence.

I.10.2.2.2.2. Le rayonnement Diffus

a) rayonnement diffus du ciel

Il est composé de trois parties :

- La composante directe ou circumsolaire

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

$$\delta_d = I_0 C_{t-s} \exp[-2.48 + \sin(h) + a - \sqrt{a^2 + 4b^2}] \quad (\text{I.28})$$

Avec $b = \log(T_L^* - T_0) - 2.28 - 0.50 \log(\sin(h))$

Et $a = 3.1 - 0.4 b$

- La composante isotrope

Elle correspond à un ciel de luminance uniforme.

$$\delta_i = D - \delta_d \sin^2(h) \quad (\text{I.29})$$

D : diffus sur un plan horizontal

- La composante du cercle de l'horizon

Elle provient d'une bande d'horizon d'une hauteur de 6°. Elle semble associée à une accumulation d'aérosols dans les basses couches atmosphériques.

$$\delta_h = I_0 C_{t-s} \frac{-0.02*a}{a^2 + ab + 1.8} \exp(\sin(h)) \quad (\text{I.30})$$

$$a = \log(T_L^* - T_0) - 3.1 - \log(\sin(h))$$

$$b = \exp(0.2 + 1.75 \log(\sin(h)))$$

Le diffus du ciel représente le rayonnement diffus incident en provenance du ciel.

$$d_{ciel} = \delta_d \cos(i) + \delta_i \frac{1 + \sin(\gamma)}{2} + \delta_h \cos(\gamma) \quad (\text{I.31})$$

Avec $\gamma = 90^\circ - \beta$

Et β : Inclinaison du plan par rapport à l'horizontal.

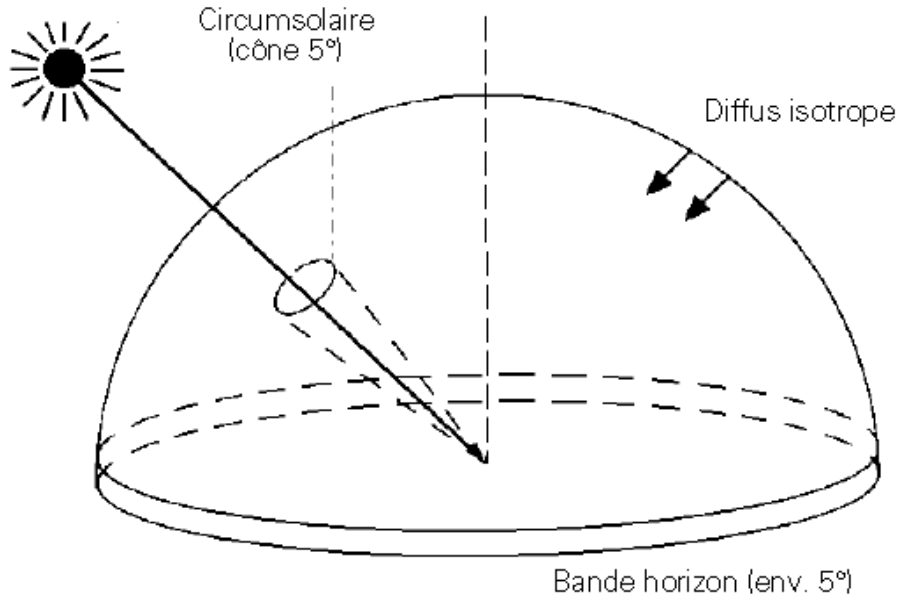


Fig. I.12. Composantes du rayonnement diffus [9].

b) Le rayonnement diffus du sol

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

$$d_{sol} = \delta_a \frac{1 - \sin(\gamma)}{2} \quad (\text{I.32})$$

$$\delta_a = \rho G$$

ρ : Albédo du sol.

c) Le rayonnement diffus rétrodiffusé

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

$$\delta'_i = 0.9 (\rho - 0.2) G \exp\left[-4/\sqrt{T_L^* - T_0}\right] \quad (\text{I.33})$$

Ce rayonnement s'annule donc pour un albédo égal à 0,2.

Le rayonnement Diffus incident sur un plan incliné est donné par :

$$D_i = d_{ciel} + d_{sol} + \delta'_i ((1 + \sin(\gamma))/2) \quad (\text{I.34})$$

D'où l'éclairement global incident, à un instant donné sur un plan (α, γ) est :

$$G_i = I_i + D_i \quad (\text{I.35})$$

I.10.2.2.3. L'angle optimum d'un plan incliné

On calcule l'angle d'inclinaison pour que l'énergie du rayonnement global hors atmosphère G_e reçu sur un plan soit maximum :

$$G_e = C_{t-s} I_0 \int_{\omega_L}^{\omega_c} \cos(i) d\omega \quad (\text{I.36})$$

ω_L : Angle horaire du lever du soleil.

ω_c : Angle horaire du coucher du soleil.

Il est clair que le maximum d'énergie sera reçu sur un plan sud « $\alpha = 0$ ». C'est un plan mobile autour d'un axe horizontal Est-Ouest. L'angle d'incidence sera :

$$\cos(i) = \sin(\gamma + \varphi) \cos(\omega) \cos(\delta) - \sin(\delta) \cos(\gamma + \varphi) \quad (\text{I.37})$$

$$G_e = 2 C_{t-s} I_0 [\sin(\gamma + \varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_c) + \omega_c \sin(\delta) \sin(\gamma + \varphi)] \quad (\text{I.38})$$

Avec $\omega_L = -\omega_c$ ($\alpha = 0$)

La détermination du maximum d'énergie revient à résoudre l'équation $\frac{dG_e}{d\gamma} = 0$, on

trouve que :

$$\gamma_{opt} = -\varphi + \arctan\left(\frac{-\sin(\omega_c) / (\omega_c \tan(\delta))}{1}\right) \quad (\text{I.39})$$

$$\beta_{opt} = 90^\circ - \gamma_{opt} \quad (\text{I.40})$$

I.10.2.2.3. Masse atmosphérique (masse d'air)

Dans l'Atlas Solaire de l'Algérie, Capderou a utilisé la formule suivante [11] :

$$m_A = [\sin(h) + 9.40 * 10^{-4} * (\sin(h) + 0.0678)^{-1.253}]^{-1} \approx [(0.89)^z / \sin(h)] \quad (\text{I.41})$$

I.10.2.2.4. Epaisseur optique de l'atmosphère

En 1922, Linke définit l'épaisseur optique de Rayleigh δ_R comme étant l'épaisseur optique totale d'une atmosphère sans nuages, vapeur d'eau et aérosols. Kasten, en 1980 utilisa les données spectrales publiées par Feussner et al. , en 1930 et proposa l'expression (I.42) pour δ_R , connue sous le nom de formule pyrhéliométrique de Kasten, où la diffusion moléculaire et l'absorption de la couche d'ozone stratosphérique sont prises en compte [11].

$$(\delta_R)^{-1} = 9.4 + (0.9 * m_A) \quad \text{(I.42)}$$

Dans cette formule, l'absorption par les gaz atmosphériques permanents tels que : CO₂, O₂, NO₂ et le CO n'est pas prise en compte.

I.11. Masques solaires

Les masques solaires sont les ombres portées par les obstacles environnants (arbres, montagnes, bâtiments, etc...) sur un point donné (ici des capteurs solaires). Lors de la conception d'un projet, il est très important de prêter attention aux masques solaires et d'en mesurer l'incidence sur les capteurs solaires. La mesure des masques n'est pas chose aisée pour les capteurs solaires car ils se trouvent généralement sur le toit et la position n'est pas des plus confortables pour effectuer des mesures. Afin de connaître l'impact des masques sur les capteurs solaires, il est possible d'utiliser plusieurs instruments pouvant mesurer des angles (rapporteurs avec fil à plomb par exemple) mais une façon simple est d'utiliser un clinomètre. Cet instrument permet d'effectuer un relevé angulaire de hauteur et azimutal des différents masques.

Méthode de mesure

Matériel nécessaire : un clinomètre, une boussole et un niveau. Afin d'effectuer un relevé des angles des masques, se positionner au plus près de l'emplacement prévu pour les capteurs solaires, à l'aide de la boussole installer le clinomètre avec le degré azimutal 0° direction Sud et positionner le clinomètre de niveau dans les deux sens puis commencer le balayage du paysage de la gauche vers la droite en effectuant une visée de chaque obstacle pouvant porter ombrage aux capteurs solaires. Pour ce faire, viser les uns après les autres les points de l'obstacle à l'aide du régle et

relever le couple d'angles (azimut et hauteur) de chaque point puis reporter ces relevés sur le diagramme solaire du lieu considéré (fonction de la latitude) [17].

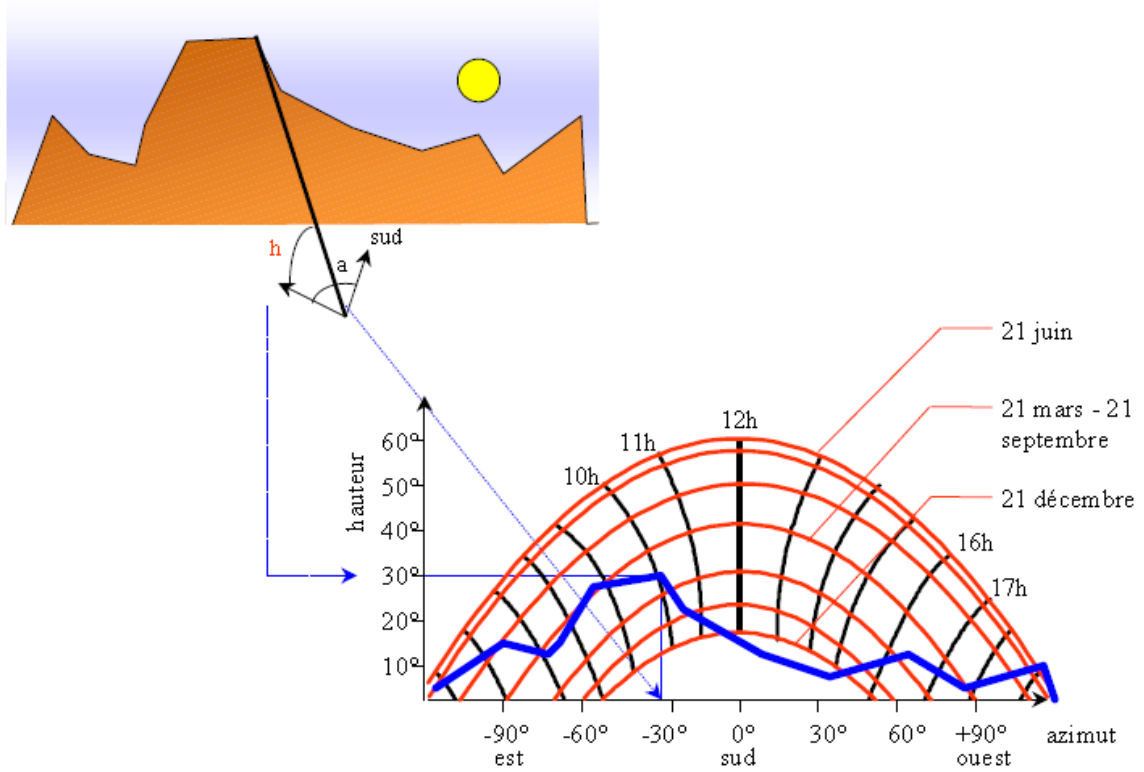


Fig. I.13. Masque solaire [18].

La hauteur angulaire de l'obstacle peut être calculée par la formule suivante :

$$\gamma = \arctan\left(\frac{h_2 - h_1}{d}\right) = \arctan\left(\frac{\Delta h}{d}\right)$$

h_1 , h_2 , d , Δh sont représenté dans la figure I.14 pour le cas d'un arbre.

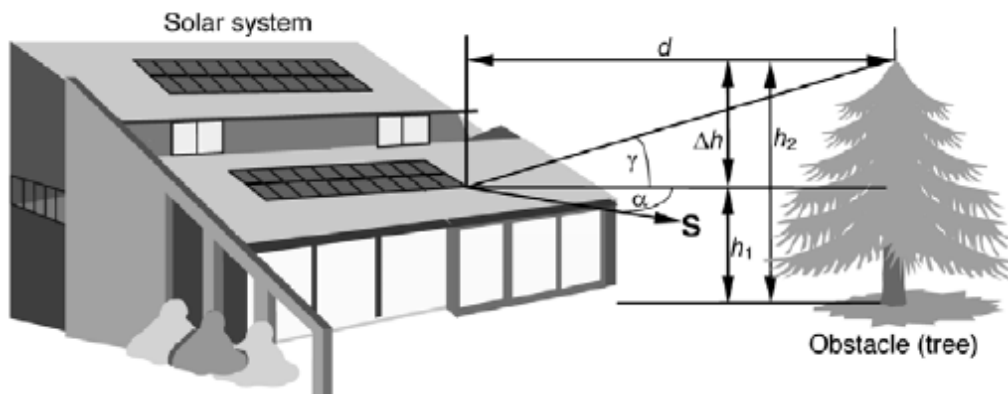


Fig. I.14. Définition de l'angle d'azimut et hauteur de l'obstacle Obstacle.

Utilisation d'un point de référence librement choisi.

L'azimut de l'obstacle peut être mesuré à l'aide d'une boussole [19].

En connaissant la hauteur du soleil ainsi que celle de l'objet considéré (bâtiment par exemple), on peut déterminer la longueur de son ombre sur le plan horizontal par l'expression suivante [20]:

$$\text{la longueur de l'ombre} = \frac{\text{hauteur de l'objet}}{\tan(\text{hauteur du soleil})}$$

I.12. Appareils de mesure du rayonnement solaire

Le principe classique des mesures d'éclairements est l'effet thermoélectrique : un corps noir reçoit le rayonnement solaire, l'augmentation de sa température est mesurée par une série de couples thermoélectriques ; on enregistre donc une force électromotrice. Une mesure précise est toujours délicate d'autant plus que l'appareil est situé à l'extérieur [4].

I.12.1. L'héliographe

L'héliographe mesure les périodes de la journée pendant lesquelles l'intensité du rayonnement direct a dépassé un certain seuil. Tant que l'on peut observer des ombres sur le sol ($E > 120 \text{ W/m}^2$), les météorologistes parlent de radiation directe à laquelle est sensible l'héliographe. La somme de ces périodes représente la durée d'insolation journalière permettant de définir la fraction d'insolation. Dans l'héliographe de Campbell-Stokes, une sphère de verre concentre le rayonnement direct en un point qui brûle un papier spécial. En se déplaçant, le point brûlé décrit le mouvement apparent du soleil en traçant une courbe dont la longueur est proportionnelle à la durée d'insolation. L'héliographe de Jordan utilise du papier photographique. On utilise maintenant des héliographes automatiques constitués de cellules photovoltaïques disposées sur une bande cylindrique dont l'axe est perpendiculaire au plan de la trajectoire apparente du soleil. Un dispositif électronique totalise les intervalles de temps d'ensoleillement ; il faut veiller à ce que chaque héliographe ait le même seuil, c'est-à-dire l'éclairement direct minimal enregistré [4].

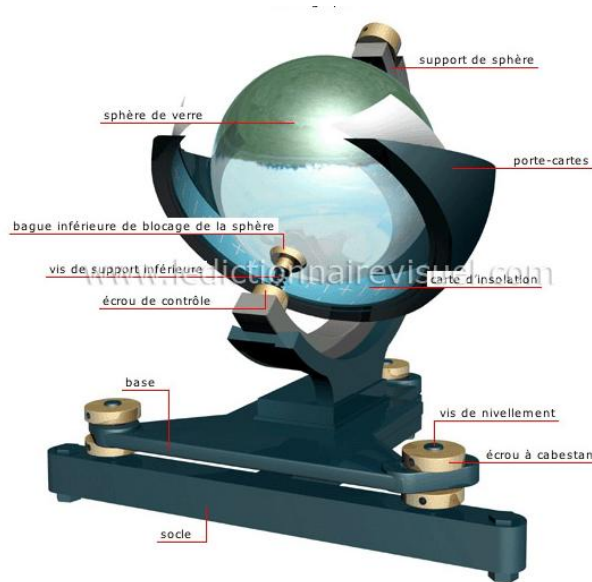


Fig. I.15. Héliographe de Campbell [21].

I.12.2. Le pyranomètre

Les pyranomètres mesurent le rayonnement global (direct + diffus) de tout l'hémisphère céleste dans la bande de longueur d'onde 0,3 à 3 μm . Le pyranomètre d'Eppley est une thermopile adaptée à cet usage. La surface réceptrice comporte deux anneaux concentriques en argent ; l'anneau extérieur recouvert de blanc. La différence de température mesurée entre les deux anneaux par des thermocouples en contact thermique avec les surfaces intérieures des anneaux mais isolés électriquement, peut être enregistrée à raison d'une lecture par heure sous forme d'une tension de sortie de l'ordre du mV (en fait 10 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$) [4].



Fig. I.16. Pyranomètre d'Eppley [22].

Pour éliminer le rayonnement direct, certains pyranomètres sont munis d'un cache à orienter suivant la saison pour suivre la déclinaison [4].

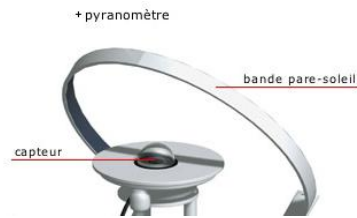


Fig. I.17. Pyranomètre muni d'un cache [21].

I.12.3. Le pyrhéliomètre

Les pyrhéliomètres mesurent le rayonnement direct. Ils comportent une ouverture réduite et une surface réceptrice qui doit être maintenue normale au rayonnement par un système de poursuite automatiques. La surface sensible est un disque d'argent noirci placé à la base d'un tube muni d'un obturateur et d'un diaphragme limitant l'angle d'ouverture à 5.7° (le diamètre apparent du soleil et de 0.5°). Le tube est fixé sur une monture équatoriale. On mesure la température du disque d'argent à intervalles réguliers en ouvrant et en occultant alternativement l'entrée de l'appareil [4].



Fig. I.18. Pyrhéliomètre [22].

I.13. Énergie solaire

L'énergie solaire se divise en deux grandes parties : l'énergie solaire thermique et l'énergie solaire photovoltaïque.

I.13.1. Énergie solaire thermique

Le principe consiste à capter le rayonnement solaire et à le stocker dans le cas des systèmes passifs (véranda, serre, façade vitrée) ou, s'il s'agit de système actif, à redistribuer cette énergie par le biais d'un fluide caloporteur qui peut être de l'eau, un liquide antigel ou même de l'air.

L'énergie solaire thermique trouve de nombreuses applications :

- la production d'eau chaude,
- le chauffage des maisons,
- le chauffage de l'eau des piscines,
- le séchage des récoltes,
- la réfrigération par absorption pour les bâtiments,
- la production de très haute température.

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Les capteurs solaires de type plan sont le plus couramment utilisés. Ils se composent d'un absorbeur situé dans un coffrage isolé en face arrière et constitué d'un vitrage en face avant. Cet absorbeur possède une couche sélective qui augmente la captation de l'énergie solaire tout en limitant les pertes par rayonnement. Le vitrage quant à lui évite le refroidissement de l'absorbeur par le vent et crée un effet de serre qui augmente le rendement du capteur. L'isolation à l'arrière du capteur diminue les pertes de chaleur.

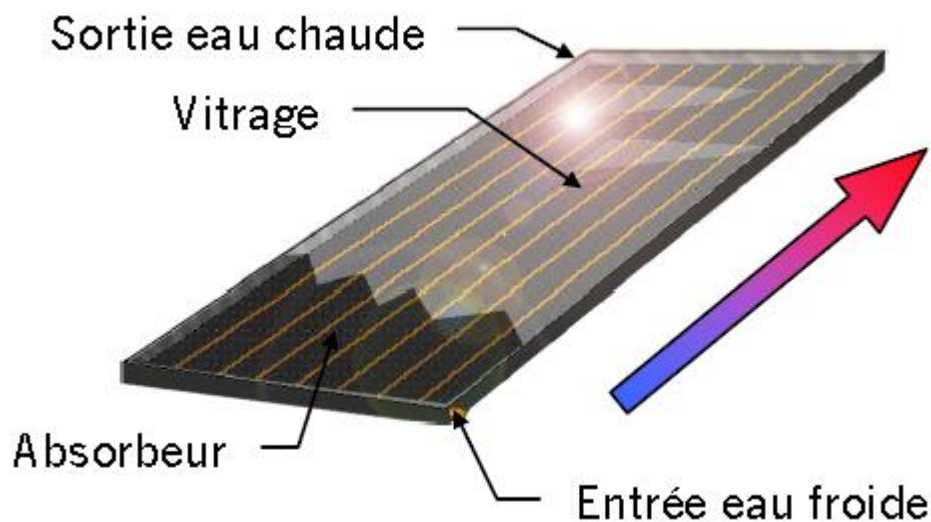


Fig. I.19. Un capteur plan vitré.

C'est à la surface de l'absorbeur que le rayonnement solaire est converti en chaleur. Un liquide caloporteur circule dans l'absorbeur et vient transmettre sa chaleur via un échangeur à l'eau sanitaire. De ce fait, le circuit solaire est totalement indépendant du circuit consommateur [12].

I.13.2. Énergie solaire photovoltaïque

I.13.2.1. Cellules solaires

La cellule solaire est un moyen de conversion de la lumière en énergie électrique par un processus appelé « effet photovoltaïque ».

La structure la plus simple d'une cellule solaire comporte une jonction entre deux zones dopées différemment, un semi conducteur de type N (où les électrons sont majoritaires et les trous minoritaires) et un semi conducteur de type P (où les trous sont majoritaires et les électrons sont minoritaires) séparées par une zone de charge d'espace (ou zone de transition) d'un même matériau (homo-jonction P-N) ou entre deux matériaux différents (hétérojonction) [6].

Les cellules sont présentées sous forme circulaire (diamètre jusqu'à 10cm) ou carrée jusqu'à actuellement à 15,6 cm en 2013.

I.13.2.2. Effet photovoltaïque

L'effet photovoltaïque est la transformation directe de la lumière en électricité (courant continu CC (à ne pas confondre avec courant de court-circuit)). Son principe réside en une interaction des photons incidents (flux lumineux) avec les électrons libres et les électrons de valence en leur communiquant une énergie ($h\nu$), si cette énergie est supérieure ou égale à l'énergie de gap de ce semi-conducteur ($E_g = E_C - E_V$), l'électron passe de la bande de valence à la bande de conduction en laissant un trou derrière lui, d'où l'apparition des paires électron- trou libres.

Donc toute particule minoritaire près de la jonction a une probabilité très forte pour la traverser et la jonction s'oppose uniquement au passage des porteurs majoritaires.

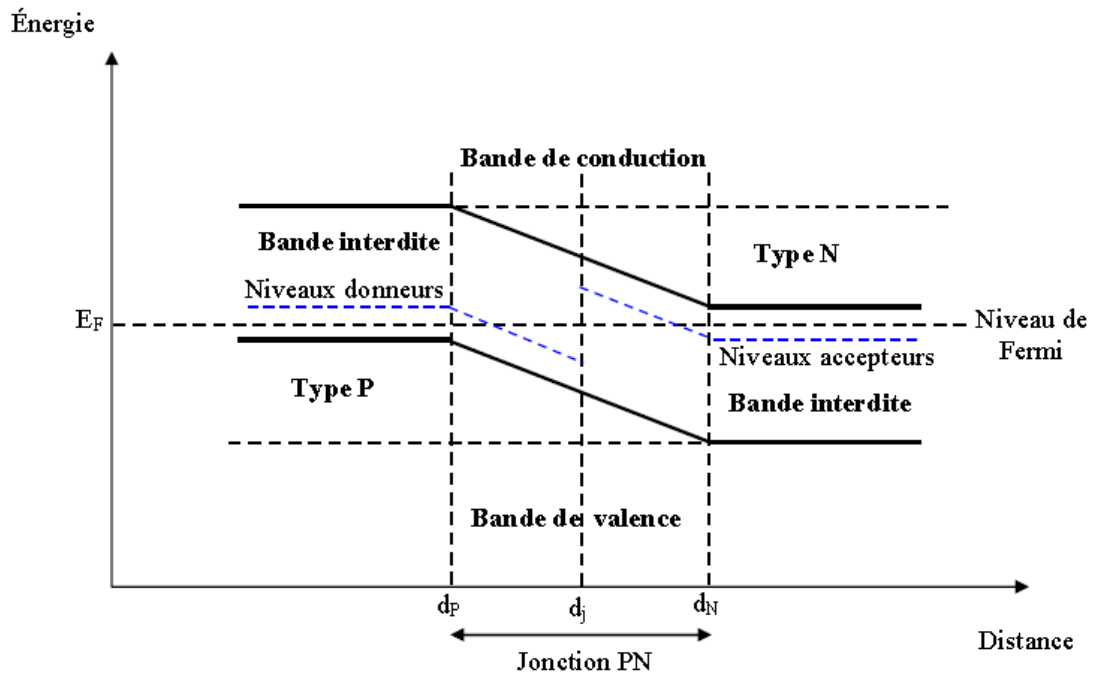


Fig. I. 20. Diagrammes de bandes d'énergie au voisinage de la jonction.

Si les photons ont une énergie très supérieure à E_g , ils passent de la bande de valence à un niveau instable de la bande de conduction. L'excès d'énergie sera transmis sous forme de phonons au réseau cristallin puis perdu en chaleur et l'électron prendra un niveau stable dans la bande de conduction.

Si les photons ont une énergie inférieure E_g , ils ne seront pas absorbés et leurs énergies ne contribuent donc pas à la conversion photovoltaïque.

I.12.2.3. Différents types de cellules solaires

Il existe trois types principaux de cellules :

I.13.2.3. 1. Cellules mono- cristallines

La cellule monocristalline qui s'approche le plus du modèle théorique: cette cellule est effectivement composée d'un seul cristal divisé en deux couches de dopages opposés [6]. Les cellules monocristallines permettent d'obtenir de hauts rendements, de l'ordre de $25.0 \pm 0.5 \%$ (UNSW PERL) [14].

Ces cellules souffrent néanmoins des inconvénients suivants:

- Méthode de production laborieuse et difficile, et donc, très onéreuse.
- Il faut fournir une grande quantité d'énergie pour obtenir un cristal pur.

- Une durée élevée d'amortissement de l'investissement en énergie (jusqu'à 7 ans) [6].



Fig. I.21. Cellule photovoltaïque (monocristalline).

I.13.2.3. 2. Cellules poly-cristallines

Les cellules poly-cristallines sont composées d'un agglomérat de cristaux. Elles aussi proviennent du sciage de blocs de cristaux, mais ces blocs sont coulés et sont dès lors hétérogènes. Les cellules poly-cristallines sont caractérisées par :

- Un coût de production moins élevé. · Nécessite moins d'énergie [6].
- Un rendement de $20.4 \pm 0.5\%$ (Fh-ISE) [14].

I.13.2.3. 3. Cellules amorphes

Le silicium amorphe, apparu en 1976. Sa structure atomique est désordonnée, non cristallisée, mais il possède un coefficient d'absorption supérieur à celui du silicium cristallin. Cependant, ce qu'il gagne en pouvoir d'absorption, il le perd en mobilité des charges électriques (rendement de conversion faible). Il est caractérisé par :

- Un coût de production bien plus bas.
- Un Rendement de seulement $10.1 \pm 0.3\%$ (Oerlikon Solar Lab, Neuchatel) [14].
- Un fonctionnement sous très faible éclairement.

Grâce à la technologie des nouveaux matériaux comme le tellure de cadmium (CdTe), l'arséniure de gallium (GaAs) ainsi que le diséléniure de cuivre et d'indium (CIS) ont permis d'obtenir des photopiles ayant des rendements de $27.6 \pm 0.8\%$ [14].

I.13.2.4. Module photovoltaïque

Pour produire plus de puissance, les cellules sont assemblées pour former un module. Les connections en séries de plusieurs cellules augmentent la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle accroît le courant en conservant la même tension.

Un module photovoltaïque classique se compose généralement d'un circuit de 36 cellules en série, protégées de l'humidité par un capsulage de verre et de plastique. L'ensemble est ensuite muni d'un cadre et d'une boîte de jonction électrique.

Les modules en silicium mono cristallin avec 30% [15] du marché dont une efficacité de conversion (énergie électrique produite / énergie solaire incidente) de l'ordre de 15 à 18%), polycristallin, 57% [15] du marché avec une efficacité de conversion de l'ordre de 13 à 15 %) ou silicium amorphe (3% [15] du marché avec une efficacité de conversion de l'ordre de 5 à 12 %) délivrent des tensions normalisées (12, 24, 48V) et des puissances comprises entre 10 et 100 Wc (Watt-crête : puissance obtenue pour l'ensoleillement maximal).

I.13.2.5. Caractéristiques d'un module

Voici la description des paramètres d'un module :

La puissance crête P_c

Puissance électrique maximum que peut fournir le module dans les conditions standards (une température de 25°C et un éclairement de 1000 W/m² ~ AM1.5).

La caractéristique I (V)

Courbe représentant le courant I débité par le module en fonction de la tension aux bornes de celui-ci.

Tension à vide V_{co}

Tension aux bornes du module en l'absence de tout courant, pour un éclairement " plein soleil ".

Courant de court-circuit I_{cc}

Courant débité par un module en court-circuit pour un éclairement " plein soleil ".

Point de fonctionnement optimum (V_m, I_m)

Lorsque la puissance de crête est maximum en plein soleil, $P_m = U_m \cdot I_m$

Rendement

Rapport de la puissance électrique optimale (maximal) à la puissance de radiation incidente.

Facteur de forme

Rapport entre la puissance optimale P_m et la puissance maximale que peut avoir la cellule : V_{oc} . I_{cc} .

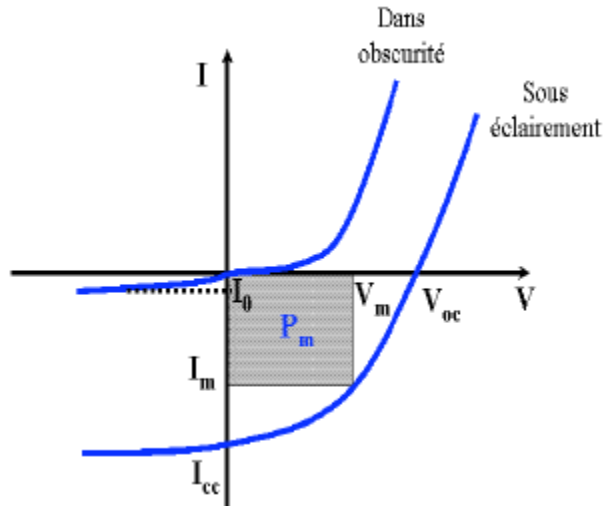


Fig. I.22. Caractéristiques courant-tension d'une cellule photovoltaïque dans l'obscurité et sous éclairage [16].

I.13.2.6. Panneau photovoltaïque

Afin d'obtenir des puissances de quelques KW à quelques MW, sous une tension convenable, il est nécessaire d'associer les modules en séries (en augmentant la tension) et en parallèle (en accroissant le courant) pour former un panneau (ou champ PV).

La quantité d'électricité dans l'ensemble des composants du panneau PV dépend :

- Des besoins en électricité.
- De la taille du panneau.
- De l'ensoleillement du lieu d'utilisation.
- De la saison d'utilisation.

I.13.2.7. Avantages, inconvénients et limites

I.13.2.7.1. Avantages

Le système photovoltaïque présente de nombreux avantages :

- Une haute fiabilité. L'installation ne comporte pas de pièces mobiles qui la rendent particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.

- Le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du Milliwatt au Mégawatt.

- Le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits et il ne nécessite ni combustible, ni son transport, ni personnel hautement spécialisé.

- La technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant (électricité propre), silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions.

- Ils fonctionnent de façon rentable dans les régions éloignées et dans de nombreuses applications résidentielles et commerciales.

- Ils sont flexibles et peuvent être élargis à n'importe quel moment pour répondre aux besoins en matière d'électricité.

- Temps minimum de réalisation d'une centrale PV.

- Ils ont une longue durée de vie.

- On élimine les frais et les risques de transport associés aux énergies fossiles.

I.13.2.7.2. Inconvénients

Les cellules solaires ont cependant des inconvénients :

- La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements à coût élevé.

- Le rendement réel de conversion d'un module est faible, de l'ordre de 10-15 % avec une limite théorique pour une cellule à 28%.

- Les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport aux générateurs diesel que pour des faibles demandes d'énergie en régions isolées.

- Tributaire des conditions météorologiques.

- Beaucoup d'appareils vendus dans le marché fonctionnent en 220 à 230V alternatif. Or, l'énergie issue du générateur PV est unidirectionnelle et de faible voltage (< 30V), elle doit donc être transformée par l'intermédiaire d'un onduleur.

- Le stockage de l'énergie électrique dans des accumulateurs qui sont les plus souvent des batteries au Plomb. Sachant que les batteries ne doivent pas se décharger à plus de 60%

(70% maximum) de leur capacité maximale. En outre, les batteries ont une faible durée de vie (3 à 5ans), ce qui entraîne un surcoût au fonctionnement.

I.13.2.7.3. Limites

Malgré ces avantages et en dépit des inconvénients, le système photovoltaïque présente toutefois certaines limites :

- Ils ne conviennent pas aux utilisations à forte consommation d'énergie telle que le chauffage. Si vous souhaitez utiliser l'énergie solaire à cette fin, considérez d'autres solutions de recharge comme un chauffe-eau solaire, qui produit de la chaleur beaucoup plus efficacement.

- Les systèmes raccordés au réseau sont rarement économiques, surtout parce que le coût actuel de la technologie PV est beaucoup plus élevé que celui de l'énergie traditionnelle [6].

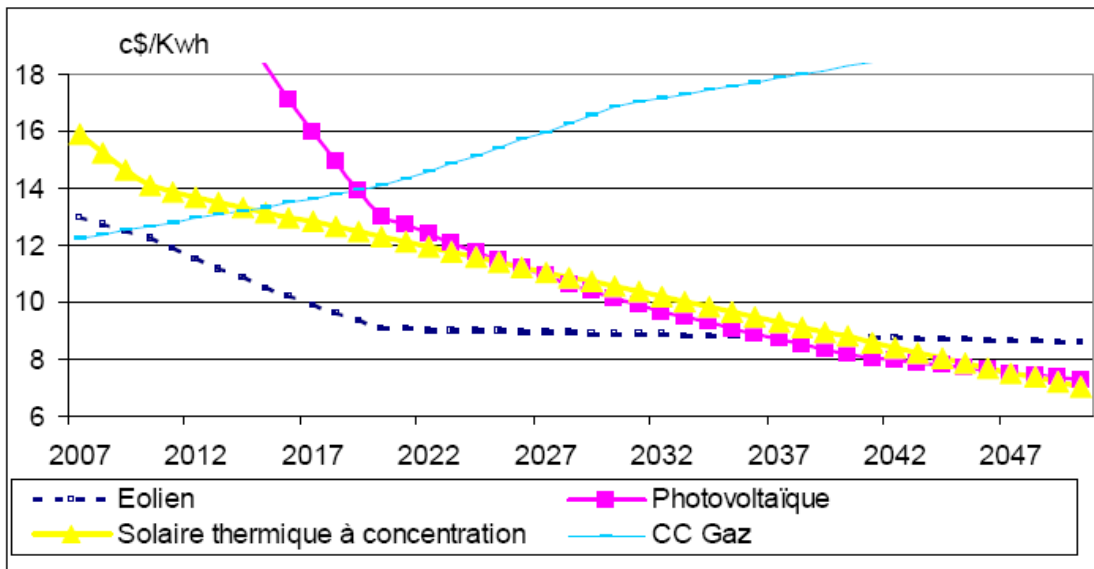


Fig. I.23. Evolution du coût de l'énergie [23].

I.14. Conclusion

Nous avons décrit dans un premier temps les relations géométriques entre la Terre et le Soleil à tout moment de la journée et de l'année, et pour quel site donné sur la surface du globe. Ces paramètres nous seront très utiles pour connaître la meilleure orientation possible d'un capteur.

Chapitre I : Gisement solaire

Ensuite nous avons donné brièvement quelques définitions pour différencier les types de rayonnement que peut recevoir un capteur, ainsi que le rôle de l'atmosphère dans l'atténuation du rayonnement avant son arrivée au sol.

Nous avons présenté aussi un modèle dont nous nous sommes par la suite inspirés pour notre programme.

Enfin nous avons donné quelques notions sur les différents types de capteurs solaires pour distinguer le solaire thermique de celui du photovoltaïque.

Références

- [1] LAROUSSE, « Le Petit LAROUSSE Illustré », Edition 2007.
- [2] Yves JANNOT, « Solaire thermique », Octobre 2003.
- [3] Jaque BERNARD, « Energie solaire : Calculs et optimisation », Edition ellipses, 2004.
- [4] Alain RICAUD, « Gisement solaire », Sept-2009, éditeur : Alain Ricaud, publiés par CYTHELIA sarl.
- [5] M. Capderou, « Atlas Solaire de l'Algérie », Tome 1, Vol 1et 2, Modèles Théoriques et Expérimentaux, Office des Publications Universitaires, Algérie, 1987.
- [6] Rachid MAOUEDJ, « Application de l'énergie photovoltaïque au pompage hydraulique sur les sites de TLEMCEN et BOUZAREAH », mémoire Magister, Université de TLEMCEN, 2005.
- [7] Salima KARROUT, « Etude théoriques et numériques des systèmes couples : distillateur plan-capteur et distillateur HOT BOX – capteur », mémoire Magister, Université de CONSTANTINE, 2009.
- [8] Jean-Christophe PAYET, « Etude bibliographique sur le gisement solaire et éolien de la Réunion : analyses et méthodes de mesures », 8 juin 2007;
http://personnel.univ-reunion.fr/lanson/typosite/fileadmin/documents/pdf/RapportM12006-2007/Rapport_Payet_J_Christophe.pdf. (Consulté le 03/04/2013 à 19 :15).
- [9] « Centrales photovoltaïques : Guide pour le dimensionnement et la réalisation de projets. A l'usage des bureaux d'ingénieur », Energies renouvelables, PACER, 724.243, 1996.
http://www.pvsyst.com/images/papers/Pacer_CentralesPV_243F.pdf. (Consulté le 03/04/2013 à 19 :18).
- [10] Abdelmalek BOUDEN, « Analyse optimisée de système de pompage photovoltaïque », mémoire de Magister, Université de CONSTANTINE, 2008.
- [11] F. Yettou, A. Malek, M. Haddadi et A. Gama, « Etude comparative de deux modèles de calcul du rayonnement solaire par ciel clair en Algérie », Revue des Energies Renouvelables Vol. 12 N°2, pp. 331-346,2009.
- [12] « L'énergie solaire thermique », Usage résidentiel et collectif, Conseil général des

LANDES.

- [13] PETIBON Stéphane, « Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques », thèse de doctorat, Université Toulouse III - Paul Sabatier, Janvier 2009.
- [14] Martin A. Green, Keith Emery, Yoshihiro Hishikawa and Wilhelm Warta, « Solar cell efficiency tables (version 37) », 2010.
<http://www.eecs.berkeley.edu/news/SCefficiencytablesV37.pdf>. (Consulté le 05/04/2013 à 22 :00).
- [16] Hani KANAAN, « Spectroscopie d'électro-absorption appliquée aux diodes électroluminescentes (OLEDs) et aux cellules photovoltaïques (OPVs) », thèse de doctorat, Université Toulouse III - Paul Sabatier, février 2009.
- [18] Noémie Poize, « Le gisement solaire », Rhônealpiénergie-Environnement, CNFPT – 21-23 février 2007.
http://www.raee.org/docs/FORMATION_SOLAIRE_CNFPT/RAEE_gisement.pdf. (Consulté le 03/04/2013 à 19 :22).
- [19] Volker Quaschnig, « Understanding Renewable Energy Systems », 1^{er} édition, 2005.
- [22] Berrichon Jean-Damien, « Installation et mise en service d'un instrument de mesure du rayonnement solaire diffus », Master 1 de Physique et Ingénierie, Faculté des Sciences et Technologies, Université de la Réunion.
- [23] Mohammed BEGHADAD, Chapitre 6, « Aspect technologique et économique », cours conversion photovoltaïque, cours de Magister, Université de Mostaganem 2010.

Sites web

- [15] « <http://www.photovoltaique.info/Les-types-de-modules.html#Lesfiliresausilicium> », (consulté le 31/10/2012, à 21 :51).
- [17] « <http://herve.silve.pagesperso-orange.fr/solaire.htm> », (consulté le 09/11/2012, à 20 :30).
- [20] « http://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=fr#txtSun_8 », (consulté le 09/11/2012, à 21 :04).
- [21] « <http://www.ikonet.com/fr/ledictionnairevisuel/terre/meteorologie/symboles-meteorologiques-internationaux/meteores.php> », (consulté le 12/01/2013, à 12 :30).

CHAPITRE II : APERÇU SUR LA WILAYA DE MOSTAGANEM

II.1. Introduction

Le rayonnement solaire a une représentation non uniforme sur la Terre comme le représente l'image ci-dessous, il change d'un jour à l'autre et d'un lieu à un autre mais sa variation annuelle reste relativement constante pour une même position.

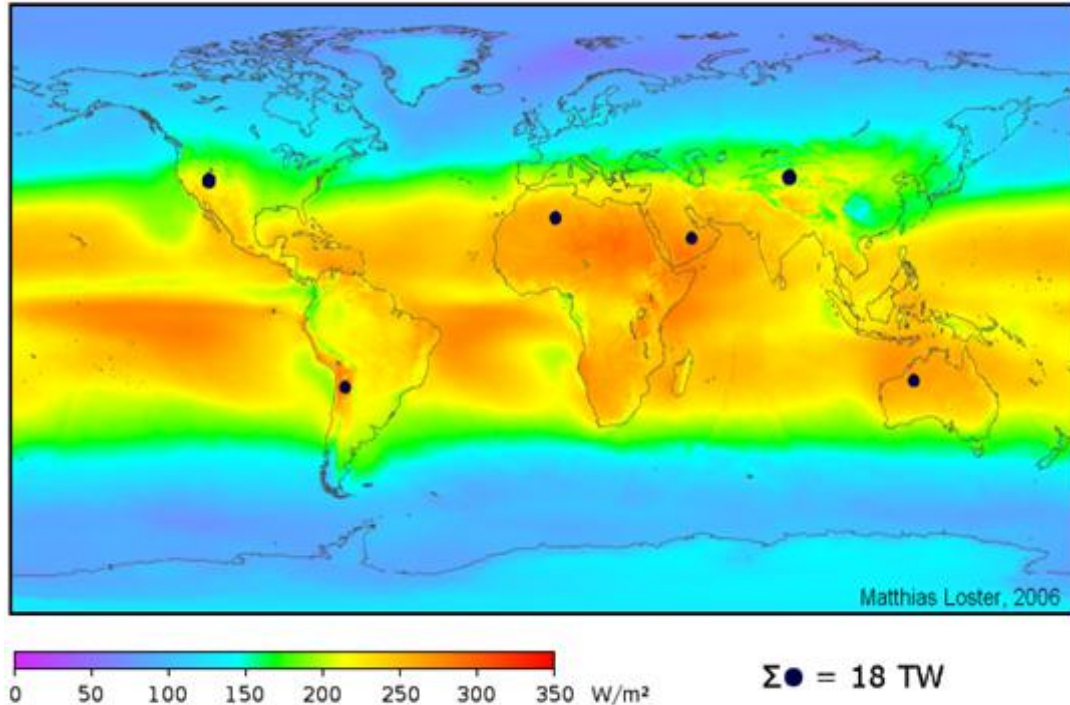


Fig. II.1. Représentation de l'énergie solaire reçue au sol [1].

L'emplacement d'une installation solaire est essentiel pour avoir un bon rendement. En effet, l'ensoleillement varie d'un endroit à un autre selon les saisons et le climat. Pour une même consommation, la production d'énergie par m² change, le nombre de panneaux sera plus important si on se trouve au Nord de L'Europe qu'au Sud ou en Afrique du Nord.

Nous allons donner dans ce chapitre un aperçu géographique et climatique sur la wilaya de Mostaganem afin de déterminer la meilleure position et orientation des installations solaires dans les différentes communes de cette wilaya.

II.2. Géographie et géomorphologie de MOSTAGANEM

II.2.1. Géographie régionale

Mostaganem s'étend sur 2269 Km² pour une population de 807.518 d'habitants. Dotée d'un littoral de 124 km, ses plages sont des plus belles d'Algérie offrant un contraste rarement retrouvé dans une même région : rocheuses, sablonneuses, forestières : elles sont chaque été convoitées par des milliers d'estivants leur offrant un menu à choix multiples [2].



Fig. II.2. Localisation de la Wilaya de MOSTAGANEM [3].

II.2.2. Géomorphologie

La wilaya de Mostaganem apparait sous une morphologie plate, formée par un relief calme ; divisé en quatre unités :

- Les vallées basses de l'ouest appartenant à la plaine d'El Habra, et La vallée de l'est ;
- Le plateau de Mostaganem ;
- Les monts de Dahra.

Chapitre II : Aperçu de la wilaya de Mostaganem

La vallée de l'est comprend les communes suivantes : Ben A/ Ramdane, Hadjadj, Sidi Lakhdar, Khadra, Achâacha, Ouled Boughalem.

Les communes appartenant aux monts de Dahra sont : Aïn-Boudinar, Sidi Belatar, Sidi Ali, Ouled El Kheir, Saf-Saf, Ouled-Maalah, Tazgait, Nekmaria.

Le plateau de Mostaganem est représenté par les communes suivantes : Mostaganem, Sayada, Kheir Eddine, Aïn-Tedeles, Mansourah, Mesra, Sour, Soualfia, Ain Sidi Chérif, Touahria, Sirat et Bouguirat.

Les communes des vallées basses de l'ouest sont respectivement d'est à l'ouest : Mazagran, Hassi Mameche, Stidia, Ain-Nouissy, El –Hassiane et Fornaka.

Géo-morphologiquement parlant, la feuille de Mostaganem représente une tranche du littoral algérien, situé à la limite Est d'Oran, représentée au centre par la plaine d'El Habra, bordée à l'Ouest par le plateau de Boufatis (ex-Saint Louis) et les monts d'Arzew, à l'Est par une parcelle de la plaine de la Mina, au Sud par les monts de Béni-Chougrane, au Nord-Est par le plateau de Mostaganem.

Les Monts de Dahra :

Les monts de Dahra font partie de la chaîne tellienne (altitude maximale 1000 m), sa partie moyenne qui commence de la rive droite du Cheliff jusqu'au confluent de la Mina, occupe une grande portion du territoire de Mostaganem, englobant les communes déjà citées, caractérisée par une topographie accidentée sur 700 m d'altitude, fortement confrontée à l'érosion hydrique accentuée par l'absence du couvert végétal.

Ce large plateau ondulé, remarquable par sa nudité, s'étale au sud pour former le plateau de Mostaganem, et au nord celui d'Ouillis près des Achâacha [2].

Le plateau de Mostaganem :

Le plateau de Mostaganem est situé à une centaine de Kilomètres à la limite Nord-Est du littoral Oranais, et au Sud de la tranche côtière et de la daïra de Mostaganem, il s'étend :

- Depuis la vallée du Cheliff au nord ; jusqu'à la dépression de la Macta au sud ;
- A l'Est, il est limité par la vallée de la Mina et les monts de Bel-Hacel ;
- A l'Ouest par la Méditerranée.

S'étendant sur une superficie de 750Km² et englobant 13 communes, le plateau se présente comme une aire tabulaire, qui sous l'effet de l'érosion éolienne qui

Chapitre II : Aperçu de la wilaya de Mostaganem

s'est exercée sur ses sols sableux, a donné naissance à une grande extension de dunes continentales, sur une vaste région gréseuse, d'un aspect uniforme et triste, constituée par une série de chaînes de collines à structures plissées et complexes, sous une altitude moyenne avoisinant les 200 m ; qui s'abaissent régulièrement pour descendre à 100 m au niveau de la plaine d'El-Habra et près de la dépression de la Macta.

Ce plateau est bordé au nord-est par Djebel Diss des monts de Dahra, et au Sud-Est. Il est séparé de la plaine de Relizane par les forêts d'Ennarou et l'Akboube.

La morphologie du plateau se divise en deux secteurs :

- Une frange littorale : représentée par une côte ardue très élevée sur 242 m d'altitude, qui apparaît sous la forme d'un arc formé par des structures ondulatoires, résultant de l'action des vents dominants, formant ainsi des dunes littorales.
- Le plateau proprement dit : Il est formé par des dunes continentales, et nous distinguons ainsi une partie plus basse et peu accidentée marquée par de faibles sinuosités, séparées par des vallées en forme de rochet, qui s'étale jusqu'à la dépression de la Macta [2].

Les vallées :

Les vallées basses de l'ouest se situent à l'ouest du plateau de Mostaganem, appartenant au domaine de la plaine d'El Habra sur environ 100 m d'altitude.

La vallée de l'est se situe au nord de la région des monts de Dahra, complètement dénudée et fortement ouverte sur la mer, sous une altitude moins de 200 m [2].

II.2.3. Orographie

Au nord du plateau, s'érige Djebel Diss qui marque l'extrémité occidentale des monts du Dahra, atteignant 350 m ; encerclant ainsi la commune de Sidi Ali.

Dans la région des monts du Dahra, dans la vallée de l'Oued Chélif sur sa rive droite, se localise Djebel Chott, sur une altitude estimée à environ 350 m.

Djebel Bel Hacer, ceinture la commune de Bel Hacer à l'est du plateau, sur 501 m d'altitude appartenant à la région des monts de Dahra. Et à l'ouest de Bel Hacer, s'érige Djebel Djazzar sur 350 m d'altitude.

Au centre du plateau et sur une altitude moyenne atteignant les 312 m d'altitude, s'érige Djebel Tarek El-Touires aux alentours de la commune de Ain Sidi Chérif.

Au sud-est du plateau, près de la commune de Sirat qui s'étale sur 250 m d'altitude, on aperçoit les monts de Djebel Mouzaïa.

Chapitre II : Aperçu de la wilaya de Mostaganem

A l'extrême sud-est du plateau, on trouve djebel Mehariga aux environs de Bouguirat qui se situe sur 100 m d'altitude [4].

II.2.4. Topographie

Sur ce plan, la carte des pentes est basée sur une classification à quatre niveaux de la zone à faible pente à une pente supérieure à 10 % (Fig. II. 3).



Fig. II.3. Topographie de la région de Mostaganem [4].

II.3. Climatologie

Le climat d'Algérie a fait l'objet de nombreuses études analytiques et synthétiques, notamment par SELTZER (1946) ; BAGNOULS & GAUSSEN (1953) ; EMBERGER (1954); CHAUMONT & PAQUIN (1971); STEWART (1975); BOTTFNER (1981) ; LE HOUEROU (1995). Tous ces auteurs s'accordent à reconnaître l'intégration du climat algérien au climat méditerranéen, caractérisé par une saison sèche et chaude coïncidant avec la saison estivale, et une saison froide et pluvieuse en coïncidence avec la saison hivernale. En Algérie, cette pluviométrie peut être soumise à l'orographie et aux influences maritimes. En effet, tous les auteurs qui ont étudié la pluviométrie en Algérie ont montré que la répartition de la pluie subit trois influences. Il s'agit de l'altitude, les conditions de topographie, de la longitude et enfin celle de l'éloignement à la mer.

D'après la carte pluviométrique de l'Algérie du Nord (Fig. II. 4.) des cinq dernières années établie par l'ANRH on constate qu'en Algérie :

Chapitre II : Aperçu de la wilaya de Mostaganem

- La pluviométrie est supérieure dans la partie Nord-est,
- La pluviométrie est moins importante dans la partie Nord- ouest,
- La pluviométrie est faible dans la partie Sud.

Compte tenu des données disponibles, nous analyserons les caractéristiques des principales variables climatiques (précipitation, températures) sur une période allant de 1999 jusqu'à 2010 [4].

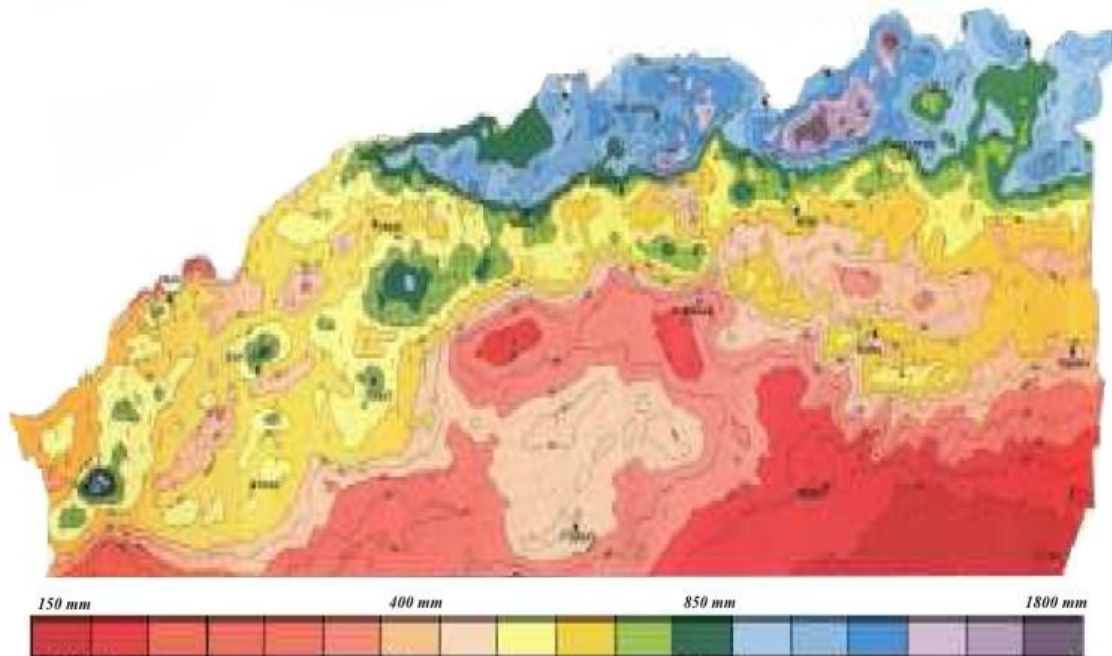


Fig. II. 4. Carte pluviométrique du nord algérien [5].

II.3.1. Précipitations

L'origine des précipitations reste double :

- Les pluies dues aux vents humides de secteur nord, durant la saison froide, dont l'influence diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la mer.
- Les pluies orageuses liées aux perturbations atmosphériques engendrées par les dépressions en provenance du Sud. Il est à souligner que dans le périmètre d'étude les précipitations sont soumises à l'influence de l'altitude. Le gradient est compris entre 5% et 10% d'accroissement pour 100 mètres d'élévation en altitude.

Les massifs engendrent un déficit pluviométrique sur les régions situées en piémont sud-est et sur les versants des massifs eux-mêmes à égale altitude.

Il existe une variation importante au sud, de l'ordre de 10% à 15% entre les versants exposés aux pluies et ceux qui sont localisés en situation « d'ombre pluviale ».

Chapitre II : Aperçu de la wilaya de Mostaganem

Régimes pluviométriques 1999-2010 :

Nous relevons donc que la variabilité annuelle est relativement plus importante au sud de la zone. Le secteur nord bénéficiant comme il a été cité plus haut de précipitations d'origine orographique.

Mois	J	f	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Total
P (mm)	92	72	60	42	35	15	2	3	16	36	76	75	524

Tableau. II.1. Moyennes des précipitations annuelles et mensuelles de Mostaganem [6].

Le tableau II.1 projeté sur la figure II.5 ci-dessous présentant ainsi la courbe des précipitations, révèle un maximum en Novembre, Décembre et Janvier. Le minimum correspond aux mois de Juin, Juillet et Août avec des moyennes mensuelles respectives de 9, 2 et 3 mm. C'est une caractéristique de l'étage bioclimatique semi-aride.

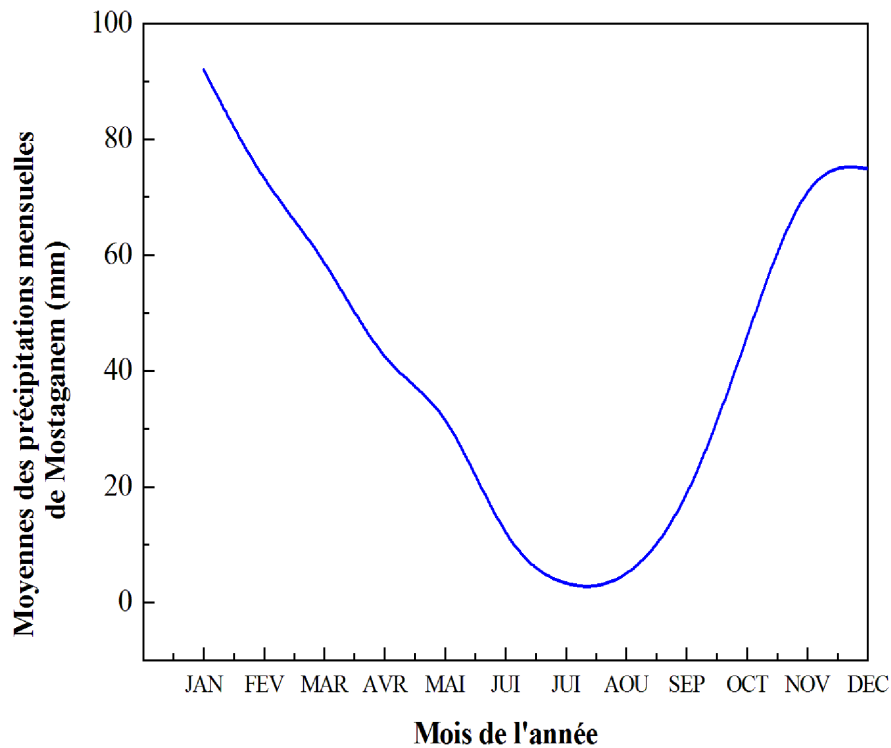


Fig. II.5. Courbe des moyennes des précipitations annuelles et mensuelles de Mostaganem.

II.3.2. Températures

Les températures moyennes mensuelles sont comprises entre 3.4°C et 27.9°C (tableau. II. 2). En hiver, les températures minimales connaissent des moyennes relativement basses.

Les valeurs prises en considération sont celles ayant une signification biologique (Emberger, 1955), et sont :

- La moyenne des « minima » du mois le plus froid « m »,
- La moyenne des « maxima » du mois le plus chaud « M ».

Ces valeurs sont considérées comme les paramètres les plus importants pour la vie végétale.

Pour la station de Mostaganem, la valeur minimale moyenne de température enregistrée est de 11 °C.

Pour la station de Mostaganem, la valeur maximale moyenne de température enregistrée est de 27 °C.

Mois Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne (°C)
1999-2010	11	12	14	17	19	21	24	27	23	20	16	13	18,08

Tableau. II.2. Moyennes mensuelles des températures sur la période 1999-2010[6].

Ainsi les moyennes mensuelles et annuelles des températures de la station de Mostaganem sont représentées dans la figure II.6 ci-dessous :

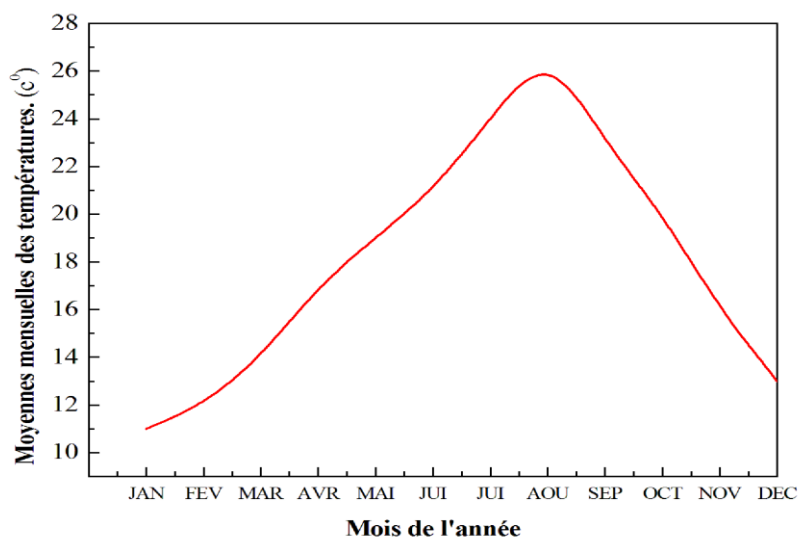


Fig. II. 6. Courbe des moyennes mensuelles des températures sur la période 1999-2010.

Chapitre II : Aperçu de la wilaya de Mostaganem

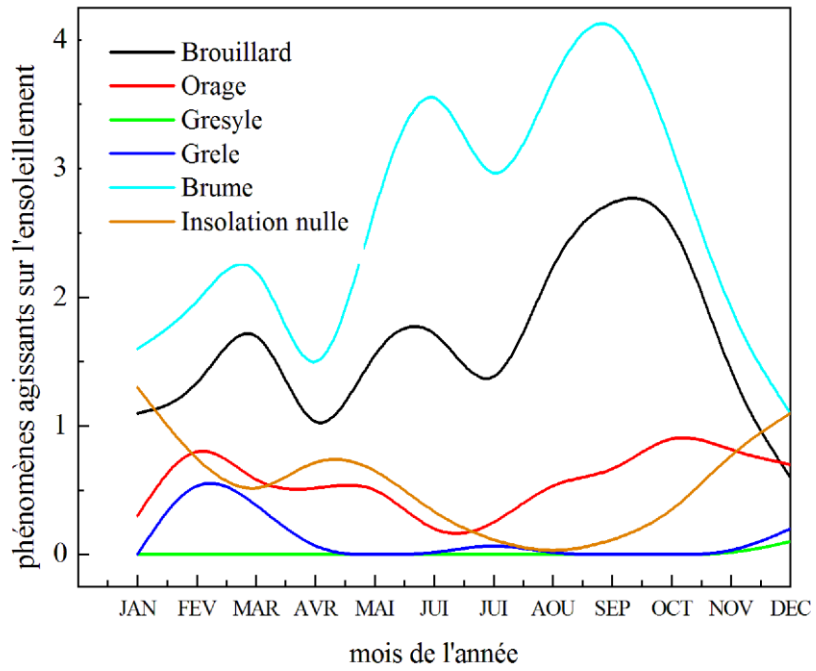
II.3.3. Ensoleillement

Selon les conditions atmosphériques, le ciel peut être plus ou moins couvert de nuages au cours d'une journée. Ceux-ci occultent le soleil, totalement ou partiellement, empêchant ainsi le rayonnement d'atteindre directement le sol [Tab II.3]. On dit que la nébulosité est plus ou moins importante selon qu'il y a beaucoup ou peu de nuages [Tab II.4].

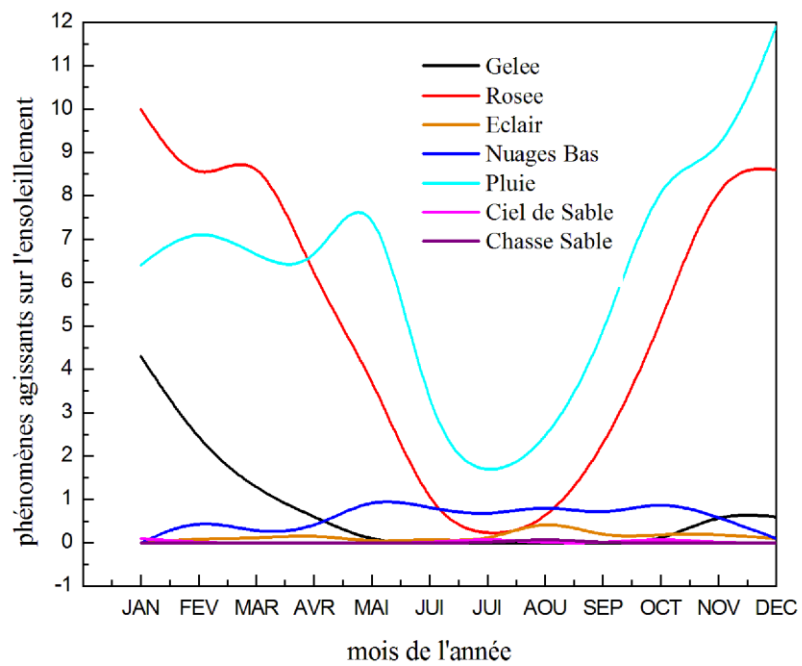
Phénomène	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	Annuel
Brouillard	1.1	1.2	2.1	0.6	1.7	1.9	1.0	2.4	2.8	2.8	1.3	0.6	19.5
Orage	0.3	1.0	0.5	0.5	0.6	0.1	0.2	0.6	0.6	1.0	0.8	0.7	6.7
Gresyl	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2
Grêle	0.0	0.7	0.4	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4
Brume	1.6	1.9	2.6	0.9	2.8	4.0	2.5	3.8	4.4	3.2	1.8	1.1	30.5
Insolation Nulle	1.3	0.7	0.4	0.8	0.7	0.3	0.1	0.0	0.1	0.3	0.8	1.1	6.4
Rosée	10.0	8.0	9.4	6.0	3.9	0.6	0.1	0.4	2.1	5.0	8.7	8.6	62.8
Eclair	0.0	0.1	0.1	0.2	0.0	0.1	0.0	0.6	0.1	0.2	0.2	0.1	1.8
Nuages Bas	0.0	0.6	0.2	0.3	1.1	0.8	0.6	0.9	0.6	1.0	0.6	0.1	6.7
Pluie	6.4	7.4	6.6	6.1	9.0	2.4	1.4	2.2	4.6	8.8	8.6	11.9	75.4
Ciel de Sable	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.3
Chasse Sable	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1

Tableau. II.3. Les différents phénomènes agissants sur l'ensoleillement pour la wilaya de Mostaganem (Nombre moyen de jours) [6].

Chapitre II : Aperçu de la wilaya de Mostaganem



(a)



(b)

Fig. II.7. (a), (b) Courbe l'influence des phénomènes atmosphériques (nombre de jours) au cours de l'année sur le rayonnement du sol.

Chapitre II : Aperçu de la wilaya de Mostaganem

MOIS	HEURES SYNOPTIQUES T-U								Moyenne
	0H	3H	6H	9H	12H	15H	18H	21H	
JANVIER	1.3	1.3	3.1	4.2	4.1	4.2	3.7	1.5	2.9
FEVRIER	-100.0	-100.0	3.7	4.7	4.7	4.6	4.1	-100.0	4.3
MARS	2.7	2.3	3.4	4.0	3.7	3.6	3.4	3.3	3.3
AVRIL	3.5	3.6	4.3	4.3	4.2	3.9	3.9	4.0	4.0
MAI	2.7	3.0	4.0	4.1	3.7	3.5	3.5	3.1	3.4
JUIN	1.1	1.8	3.4	2.8	2.3	2.3	2.5	1.7	2.2
JUILLET	0.9	1.2	3.0	1.8	1.1	1.2	1.6	1.2	1.5
AOUT	-100.0	-100.0	3.1	2.2	1.7	1.7	1.9	-100.0	2.1
SEPTEMBRE	-100.0	-100.0	3.2	2.4	2.2	2.2	2.5	-100.0	2.5
OCTOBRE	1.5	1.7	3.6	3.6	3.5	3.4	3.3	1.8	2.8
NOVEMBRE	2.6	2.9	3.2	3.8	3.6	3.8	3.3	2.8	3.3
DECEMBRE	3.1	3.2	3.3	4.4	4.2	4.2	3.8	3.2	3.7
ANNUEL	-100.0	-100.0	3.4	3.5	3.2	3.2	3.1	-100.0	3.0

Tableau. II.4. Moyenne mensuelles des nébulosités totales (en OCTA) [6].

La moyenne d'ensoleillement est donnée par le tableau II.5.

Pentade	Jan	Feb	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
01 au 05	6.9	8.3	7.3	8.1	8.5	9.8	9.0	8.8	9.4	8.2	7.4	6.1
06 au 10	5.2	5.8	8.6	8.1	7.2	10.3	10.8	10.5	8.9	8.2	6.1	6.2
11 au 15	5.5	5.7	7.0	6.6	10.0	10.1	10.9	10.4	8.6	8.0	5.6	6.0
16 au 20	5.9	5.7	7.1	8.7	9.9	9.1	11.1	10.3	8.2	6.1	7.3	4.4
21 au 25	6.1	4.5	8.0	8.6	10.3	9.1	11.4	9.9	8.7	7.2	7.2	5.0
26 au 31	6.7	6.4	7.9	8.1	8.9	9.8	10.6	8.6	8.1	8.2	6.2	6.2
MOYENNE	6.1	6.1	7.6	8.0	9.1	9.7	10.6	9.8	8.6	7.7	6.6	5.7

Tableau. II.5. Moyennes pentadaires des insolationes totales (en Heures) [6].

Chapitre II : Aperçu de la wilaya de Mostaganem

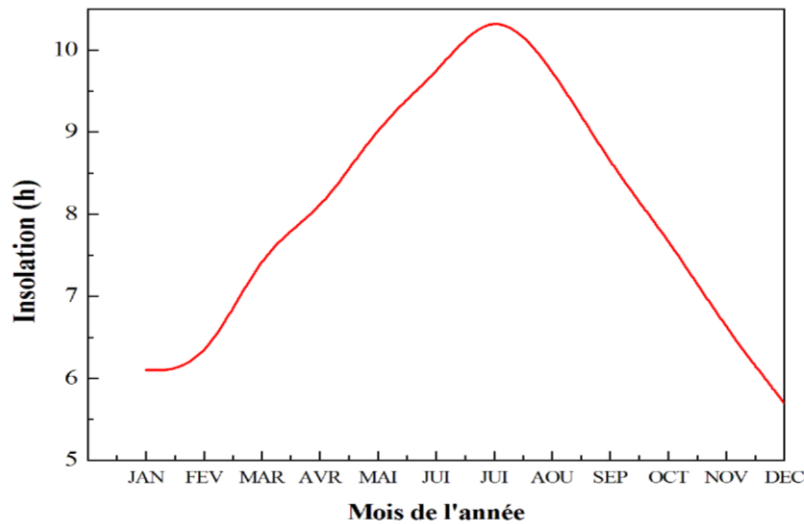


Fig. II. 8. Courbe des moyennes mensuelles d'insolation pour la wilaya de Mostaganem.

II.4. Coordonnées spatiales des départements de MOSTAGANEM

II.4.1. Communes du PLATEAU DE MOSTAGANEM

Le plateau de Mostaganem compte 18 communes représentées dans le tableau II.6.

Commune	Latitude	Longitude	Élévation (Altitude)
Mostaganem	35°55' 50, 59" N	0°05' 28, 34"E	112 m
Sayada	35°57'05, 03" N	0°07' 45, 70"E	146 m
Kheir Eddine	35°58'51, 64" N	0°10' 07, 56"E	186 m
Ain Tedeles	35°59'51, 38" N	0°17' 41, 42"E	199 m
Sour	35°59'59, 33" N	0°20' 23, 09"E	193 m
Bougirat	35°45'03, 08" N	0°15' 16, 24"E	75 m
Mesra	35°50'12, 63" N	0°10' 04, 17"E	82 m

Chapitre II : Aperçu de la wilaya de Mostaganem

Sirat	35°46'45, 54" N	0°11' 23, 13"E	49 m
Touahria	35°48'36, 75" N	0°12' 36, 45"E	72 m
Souaflia	35°51'41, 17" N	0°19' 57, 12"E	279 m
Mansourah	35°53'46, 95" N	0°15' 32, 80"E	224 m
Ain Sidi Cherif	35°46'57, 93" N	0°07' 31, 68"E	113 m
Mazagran	35°53'07, 19" N	0°04' 06, 05"E	171 m
Hassi Mameche	35°51'37, 20" N	0°04' 23, 55"E	137 m
Stidia	35°49'51, 15" N	0°00' 25, 09"E	28 m
Ain Nouissy	35°48'13, 85" N	0°02' 43, 27"E	95 m
Fornaka	35°45'10, 86" N	0°01' 01, 25"E	23 m
Hassiane	35°46'05, 88" N	0°02' 01, 88"E	10 m

Tableau. II.6. Coordonnées des communes du plateau de Mostaganem [3].

Ce plateau est traversé par le méridien de Greenwich au niveau de la commune de Stidia.

II.4.2. Communes du MONT DAHRA

Le Mont Dahra regroupe les 8 communes suivantes :

Commune	Latitude	Longitude	Élévation(Altitude)
Oued El Kheir	35°56'57, 67" N	0°22' 56, 35"E	231 m
Saf Saf	35°50'42, 05" N	0°22' 46, 17"E	377 m
Ouled Maalah	35°59'55, 81" N	0°33' 04, 51"E	57 m
Ain Boudiran	36°00'28, 03" N	0°11' 12, 14"E	252 m
Nekmaria	36°12'32, 82" N	0°36' 34, 33"E	292 m

Chapitre II : Aperçu de la wilaya de Mostaganem

Sidi Ali	36°05'51, 12" N	0°25' 02, 12"E	297 m
Tazgait	36°08'36, 28" N	0°27' 42, 42"E	319 m
Sidi Bel Atar	36°01'34, 23" N	0°16' 05, 79"E	17 m

Tableau. II.7. Coordonnées des communes du Mont Dahra [3].

II.4.3. Communes de la VALLEE DE L'EST

La Vallée de l'Est est divisé en 6 communes énoncées dans le tableau II.8.

Commune	Latitude	Longitude	Élévation(Altitude)
Ben Abdelmalek Ramdane	36°06'11, 81" N	0°16' 35, 50"E	252 m
Hadjadj	36°05'45, 56" N	0°19' 30, 27"E	283 m
Sidi Lakhdar	36°09'54, 14" N	0°26' 32, 27"E	156 m
Khadra	36°15'13, 37" N	0°34' 25, 47"E	150 m
Achaacha	36°14'43, 26" N	0°38' 04, 97"E	233 m
Oueld Boughalem	36°19'08, 02" N	0°40' 09, 30"E	77 m

Tableau. II.8. Coordonnées des communes de la Vallée de l'Est [3].

II.5. Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre une description de la wilaya de Mostaganem. Après avoir donné une description générale de cette wilaya, ensuite nous nous sommes intéressés à sa géomorphologie, sa topographie ainsi que son climat. Enfin, nous avons situé géographiquement ces différentes communes en donnant leur longitude, latitude et altitude.

Références

- [3] Logiciel Google Earth.
- [4] Melle FERKA ZAZOU NESRINE, Impact de l'occupation Spacio-Temporelle des Espace sur la Conservation de l'Ecosysteme Forestier. Cas de la Commune de Tessala, wilaya de Sidi Bel Abbes, Algerie.
- [5] CHAUMONT M., & PAQUIN C., 1971 : Carte pluviométrique de l'Algérie. Bul. Soc.Hist. Nat. Afr. Nord.
- [6] ATLAS Climatique National, Station Mostaganem, Partie 1, Recueil de données.

Site web

- [1] « http://fr.wikipedia.org/wiki/Energie_solaire», (consulté le 02/08/ 2012,10h48).
- [2] Monographie de Mostaganem, www.anvedet.org.dz/Mostaganem.pdf

CHAPITRE III : DESCRIPTION ET MODELISATION D'UN LOGICIEL POUR LE CALCUL D'ENSOLEILLEMENT

III.1. Introduction

Notre travail consiste tout d'abord en la prise en main du logiciel de programmation avec lequel nous avons premièrement conçu un programme sous forme d'applications permettant de déterminer les différents paramètres du calcul de l'ensoleillement en différents lieux de la wilaya de Mostaganem. En seconde phase de ce travail ; nous avons calculé le rayonnement global reçu sur un plan incliné à l'aide du modèle de Capderou. Enfin, une comparaison avec d'autres résultats permettra de valider notre programme.

III.2. Présentation du langage de programmation

Dans la perspective de pouvoir contrôler la position d'un capteur solaire (orientation, et inclinaison) nous avons utilisé le langage de programmation C++ qui en plus de ses interfaces conviviales, permet un réglage adapté à partir d'un ordinateur.

III.2.1. Langage C++

Le langage C++ est un langage de programmation créé par Bjarne Stroustrup vers 1983 et normalisé en 1998, le ++ est l'opérateur d'incrément (qui fait +1) : le C++ est donc une amélioration du langage C.

Il apporte notamment la programmation orientée objet (qui est l'apport majeur), la gestion des exceptions, la gestion des références (remplaçant les pointeurs), la surcharge des opérateurs et les *templates* (liste non exhaustive) [1].

III.2.2. C++ Builder : un environnement RAD basé sur C++

C++ Builder est le nouvel environnement de développement basé sur C++ proposé par Borland. Fort du succès de Delphi, Borland a repris la philosophie, l'interface et la bibliothèque de composants visuels de ce dernier pour l'adapter depuis le langage Pascal Orienté Objet vers C++ répondant ainsi à une large fraction de programmeurs peu enclins à l'utilisation du Pascal qu'ils jugent quelque peu démodé.

III.2.2.1. Environnement RAD

Le C++ est un outil RAD, c'est-à-dire tourné vers le développement rapide d'applications (Rapid Application Development) sous Windows. En un mot, C++ Builder permet de réaliser de façon très simple l'interface des applications et de relier aisément le code utilisateur aux événements Windows, quelle que soit leur origine (souris, clavier, événement système, etc.)

Pour ce faire, C++ Builder repose sur un ensemble très complet de composants visuels prêts à l'emploi. La quasi totalité des contrôles de Windows (boutons, boîtes de saisies, listes déroulantes, menus et autres barres d'outils) y sont représentés, regroupés par famille. Leurs caractéristiques sont éditables directement dans une fenêtre spéciale intitulée éditeur d'objets. L'autre volet de cette même fenêtre permet d'associer du code au contrôle sélectionné.

Il est possible d'ajouter à l'environnement de base des composants fournis par des sociétés tierces et même d'en créer soit même.

Un outil RAD c'est également un ensemble de squelettes de projets qui permettent de créer plus facilement une application SDI ou MDI, une DLL, des objets OLE, etc. A chacune de ces squelettes est habituellement associé un expert qui par une série de boîtes de dialogues permet de fixer une partie des options essentielles à la réalisation du projet associé [2].

III.3. Interface de l'application

A l'ouverture de l'application, on a l'apparition d'une interface (Fig. III.1.). Elle contient une première partie de données qui permet d'introduire les paramètres souhaités (date, lieu, heure). Une seconde partie pour l'albédo et une troisième pour l'orientation du capteur.

Les résultats en rapport avec l'ensoleillement (déclinaison, équation du temps, hauteur du soleil, azimut.....) sont visibles dans la partie « Ensoleillement », une autre partie permet de visualiser les valeurs de l'éclairement (flux) normal (hors-atmosphère).

La longueur de l'ombre est obtenue dans la partie « ombrage ». Pour cela, il faut introduire la hauteur de l'objet considéré.

Le flux reçu au sol par un plan horizontal et incliné est visible dans la zone « Eclairement au sol ».

Chapitre III : DESCRIPTION ET MODELISATION D'UN LOGICIEL POUR LE CALCUL D'ENSOLEILLEMENT

La représentation graphique de certains résultats est obtenue en cliquant sur le rectangle contenant le nom de ce que l'on souhaite visualiser, une autre fenêtre apparaît alors comme indiqué dans la figure Fig. III.2.

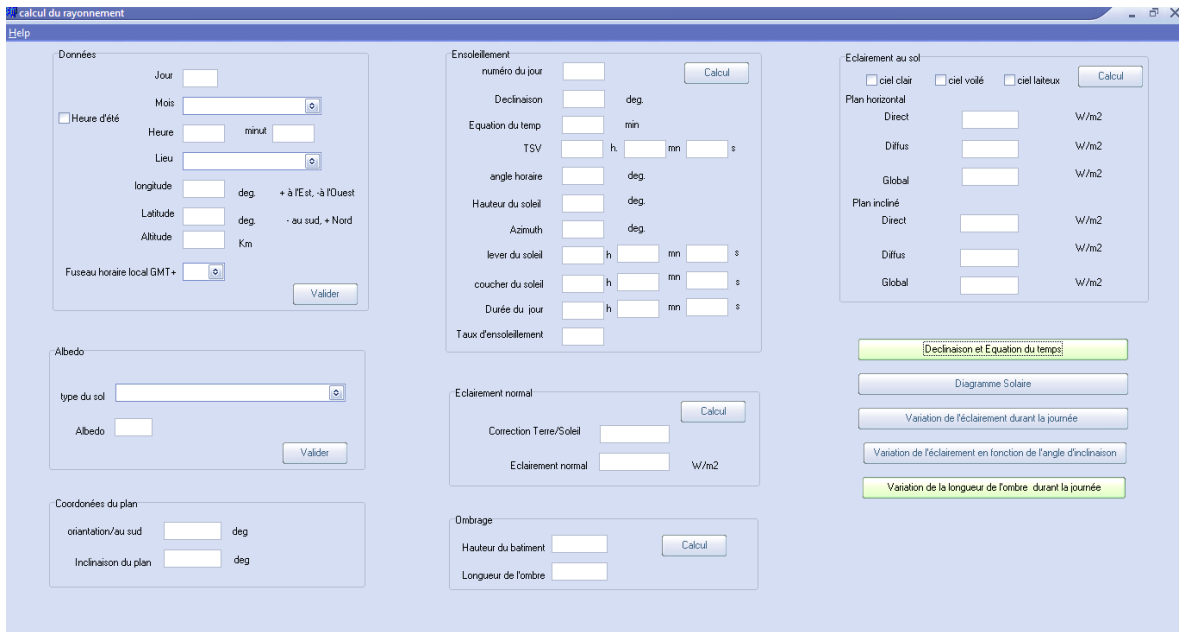


Fig. III.1. Interface de l'application.

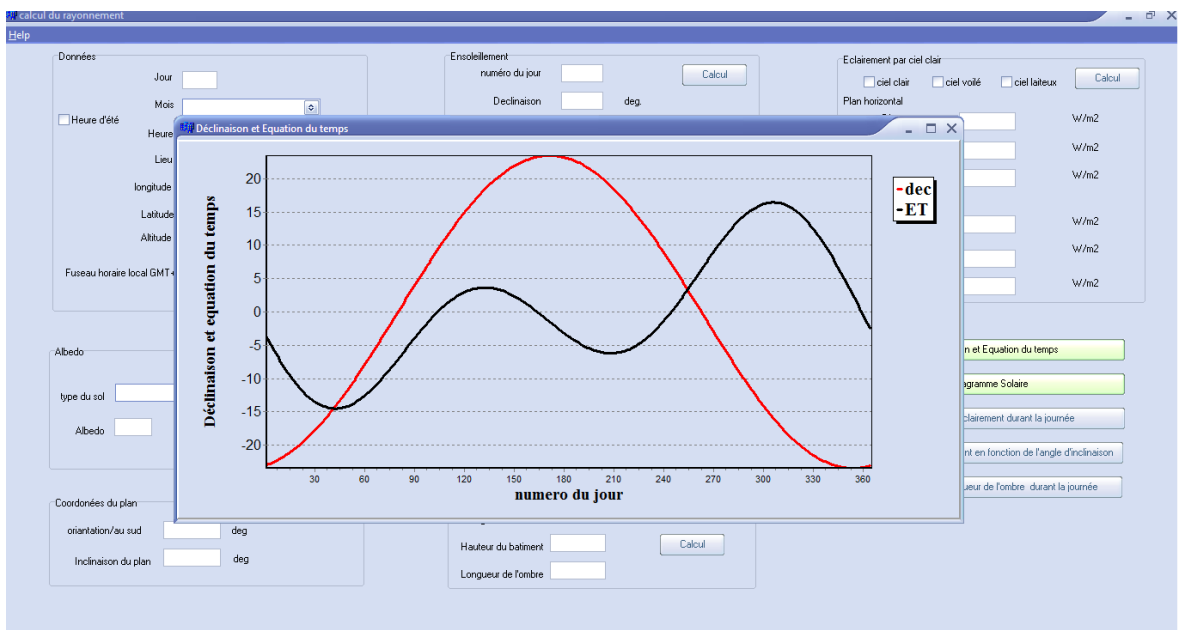


Fig. III.2. Exemple de fenêtre de graphe.

III.4. Résultats et comparaison

Afin de voir si nos résultats sont valables, nous les comparons avec ceux issus de la littérature.

III.4.1. Déclinaison et Equation du temps

Nous prenons pour exemple les dates des équinoxes et solstices pour illustrer nos résultats.

Dates	Déclinaison (°)	Equation du temps (min)
Equinoxe du printemps	0,00	-7,12
Solstice d'été	23,45	-1,63
Equinoxe d'automne	0,20	6,16
Solstice d'hiver	-23,45	2,84

Tableau. III.1. Déclinaison et Equation du temps pour quelques dates.

Ces résultats concordent avec ceux qu'on trouve dans les différents ouvrages en références [4] et [10] avec des variations de l'ordre du degré et de la minute qui sont dues à l'existence de formules différentes pour la détermination de ces deux paramètres.

La figure III.3 représente d'une part la variation de la déclinaison, et d'autre part l'équation du temps durant toute l'année. On constate nettement un maximum de déclinaison au mois de juin et un minimum en janvier et décembre. Par ailleurs, nous pouvons facilement distinguer l'équation du temps qui varie entre -14 minutes et + 16 minutes.

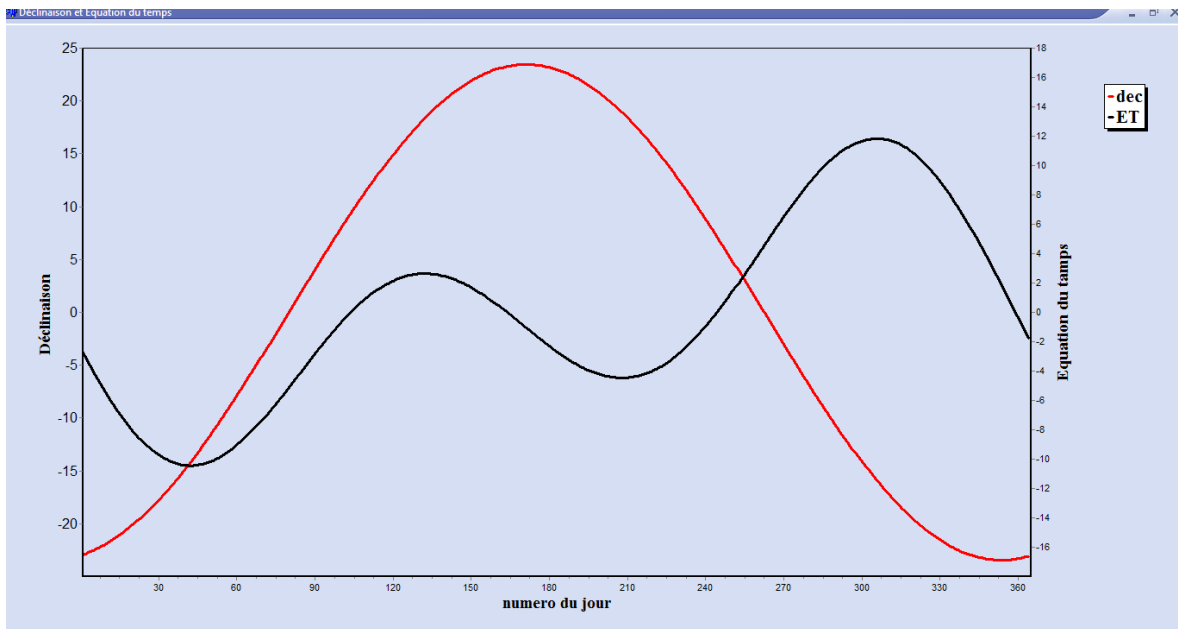


Fig. III.3. Déclinaison et Equation du temps.

III.4.2. Position du soleil

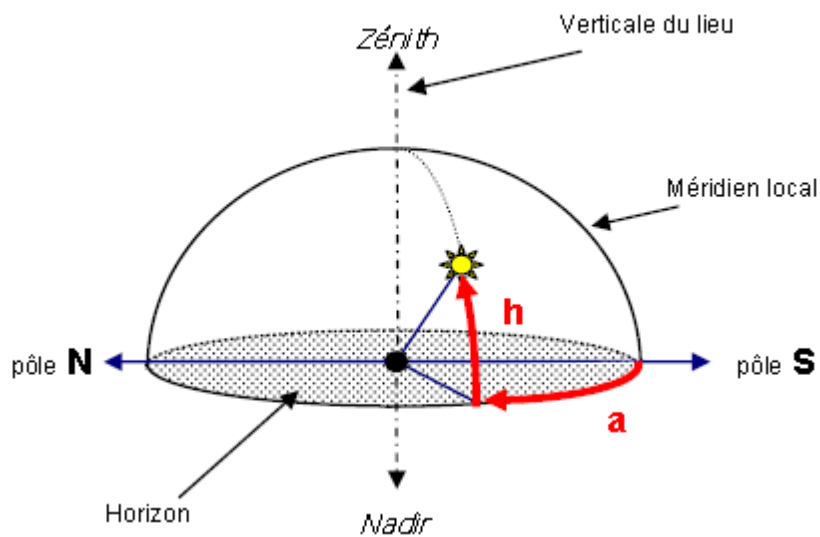


Fig. III.4. Hauteur et azimut pour un observateur dans l'hémisphère Nord [8].

Les figures suivantes représentent la trajectoire du soleil en fonction de son azimut et de sa hauteur sur le diagramme solaire appelé aussi diagramme « frontal » et ceux pour différentes latitudes des lieux et à quelques jours de l'année.

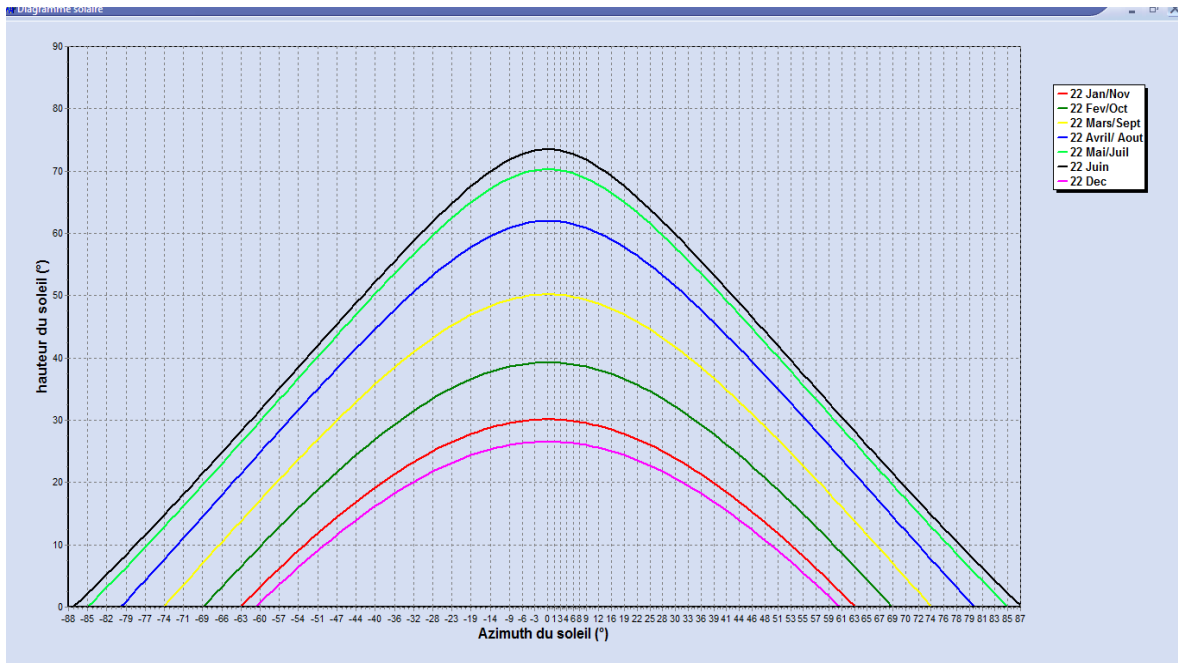


Fig. III.5. Diagramme solaire pour une latitude de 40°.

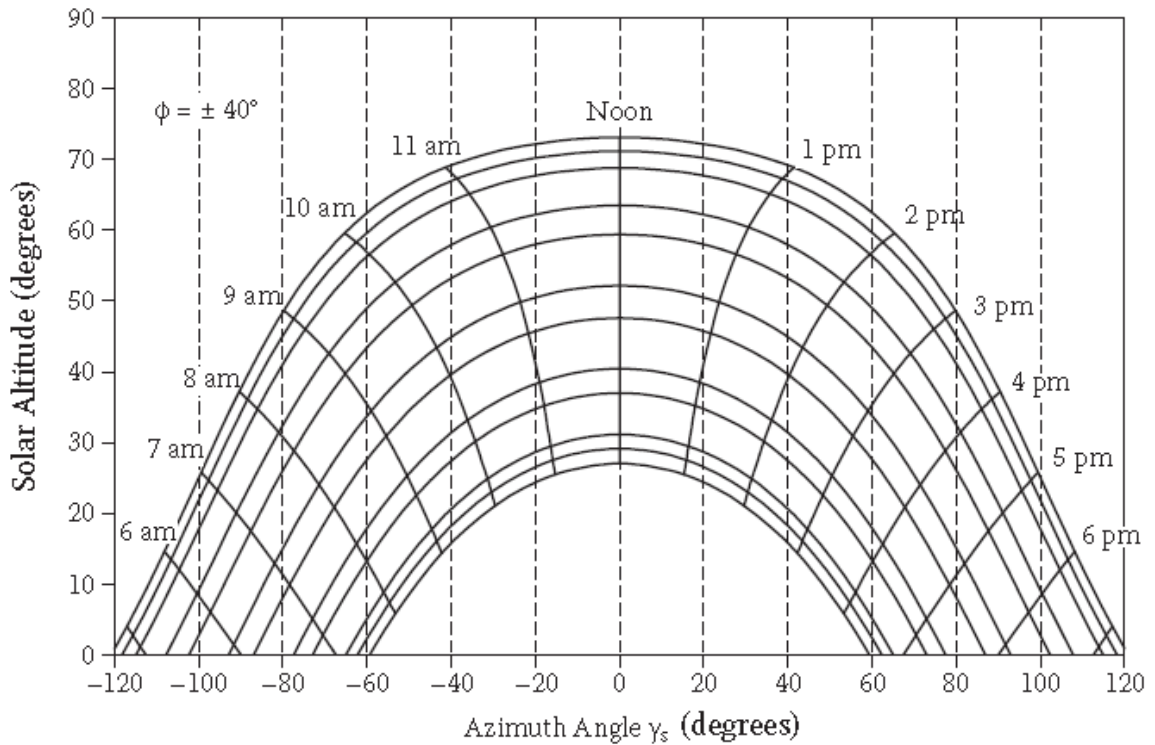


Fig. III.6. Diagramme solaire d'autres références pour une latitude de 40° [4].

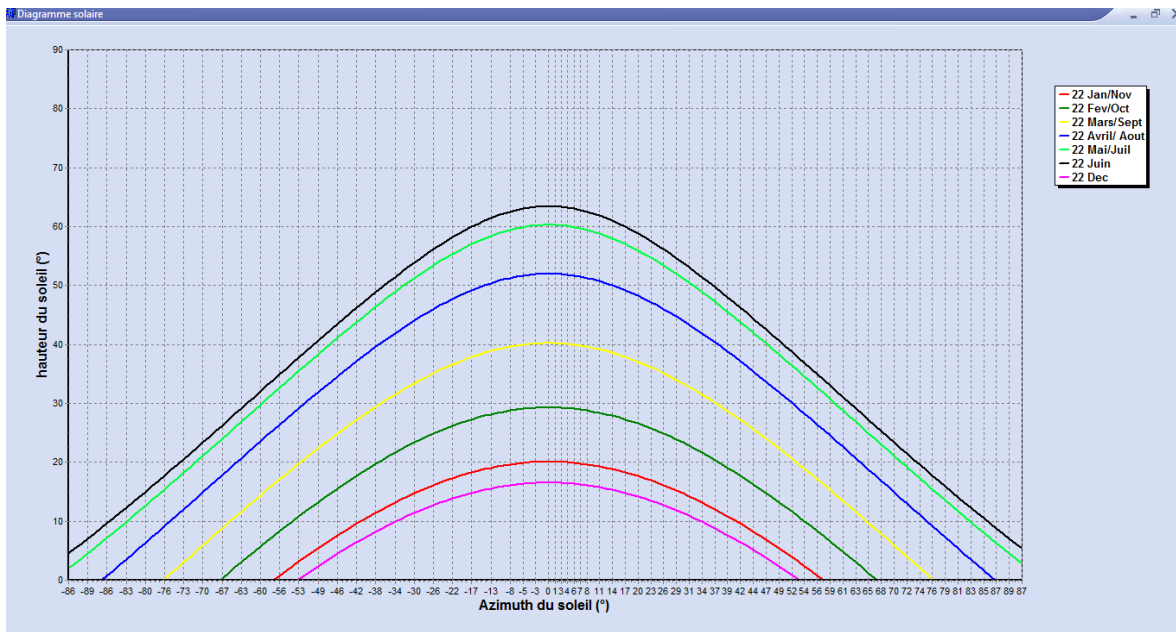


Fig. III.7. Diagramme solaire pour une latitude de 50°.

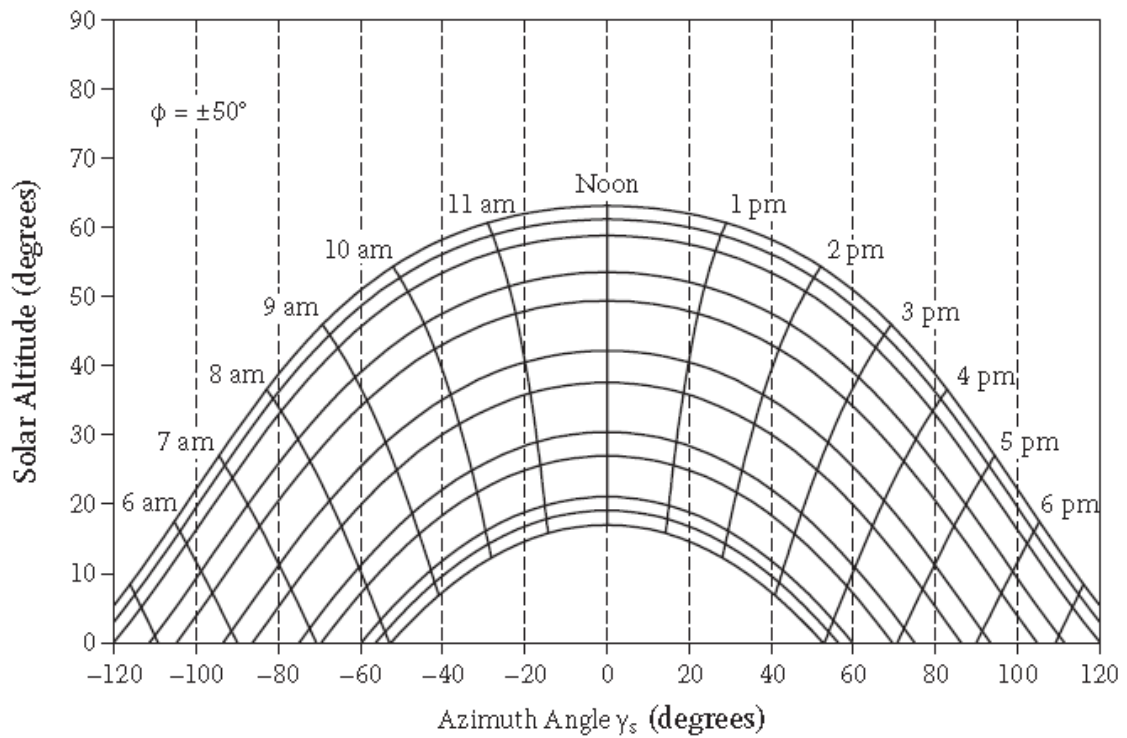


Fig. III.8. Diagramme solaire d'autres références pour une latitude de 50° [4].

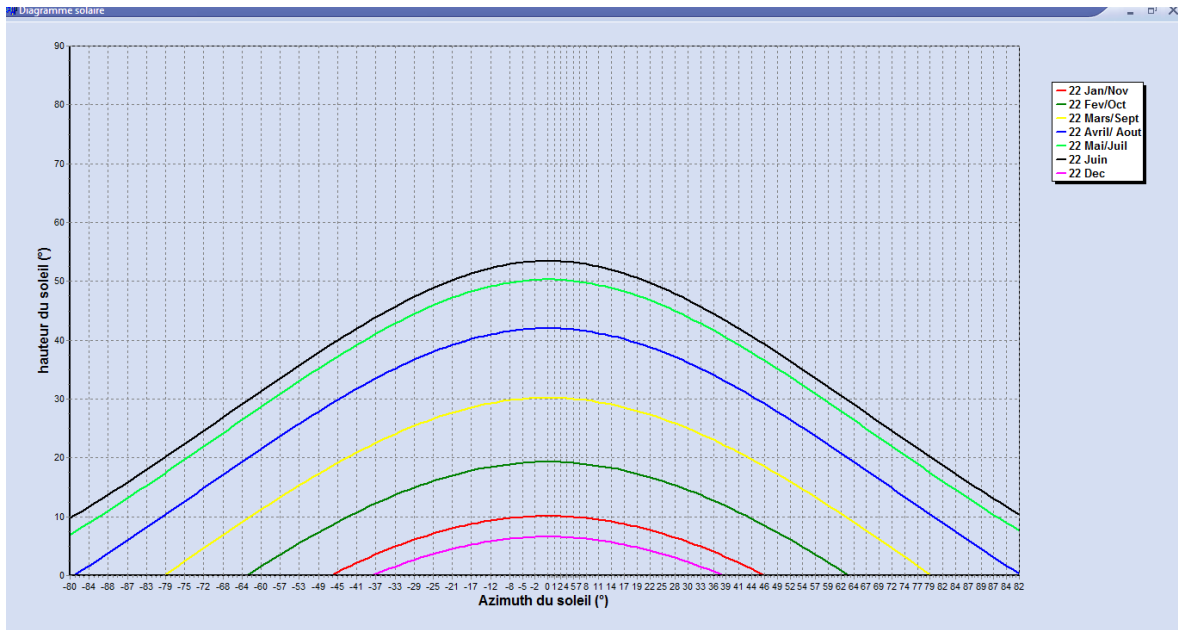


Fig. III.9. Diagramme solaire pour une latitude de 60°.

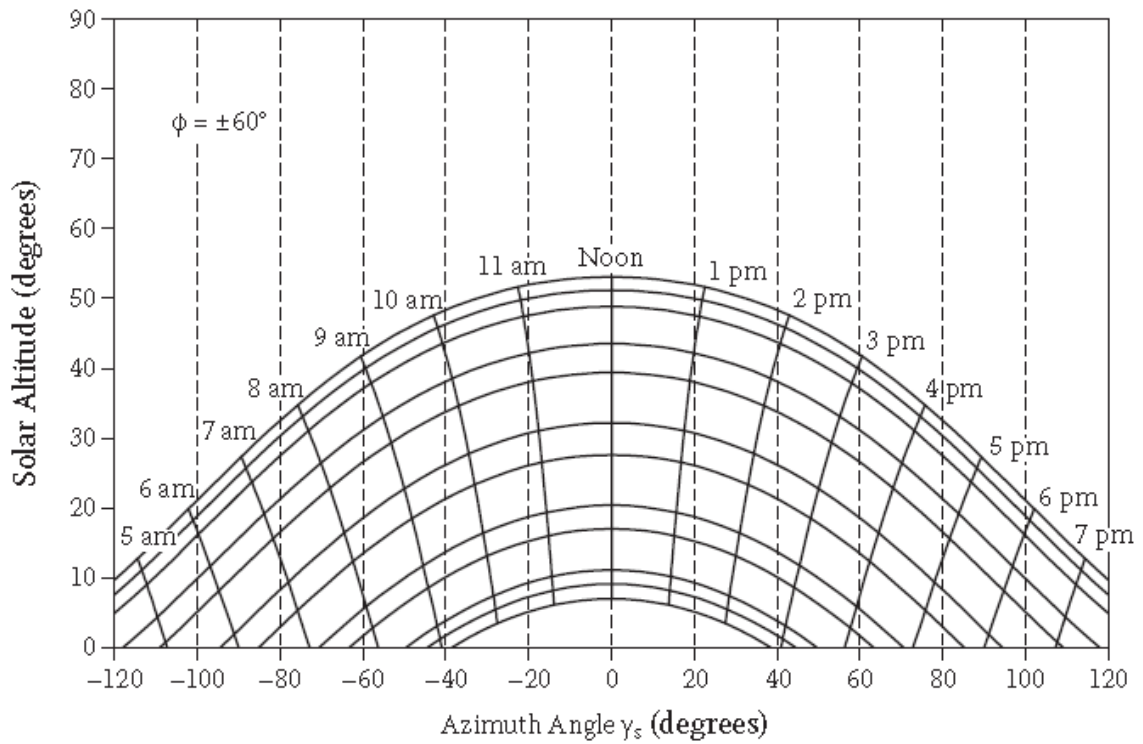


Fig. III.10. Diagramme solaire d'autres références pour une latitude de 60° [4].

Chapitre III : DESCRIPTION ET MODELISATION D'UN LOGICIEL POUR LE CALCUL D'ENSOLEILLEMENT

Les figures III.5, III.7 et III.9 représentent les trajectoires du soleil à différentes latitudes obtenus par notre application, les figures III.6, III.8 et III.10 sont ceux extraits de la littérature dans le document [Solar ressource 2010] [4]. On remarque bien que les allures des courbes sont similaires et que la hauteur du soleil diminue avec l'augmentation de la latitude.

III.4.3. Lever et coucher du soleil

Dans cette partie, nous allons comparer nos résultats avec ceux de la station météorologique de Mostaganem qui se trouve à une longitude de $0,12^\circ$ E et une latitude de $35,81^\circ$ N (Vallée des Jardins, route de Relizane (N23)). Afin de faire cette comparaison, nous allons se contenter de choisir quelques dates de chaque mois.

Sur les figures suivantes, HL et HC représente respectivement le lever et coucher du soleil déterminés par la station météo, HL' et HC' sont ceux calculés par notre application.

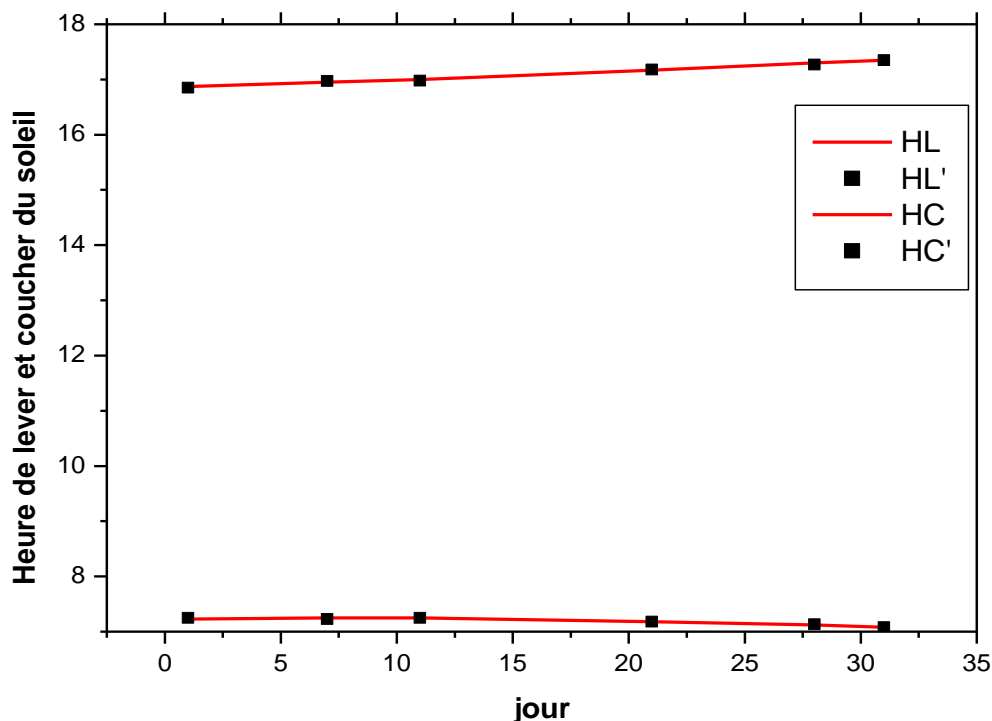


Fig. III.11. Heure du lever et coucher du soleil pour le mois de janvier.

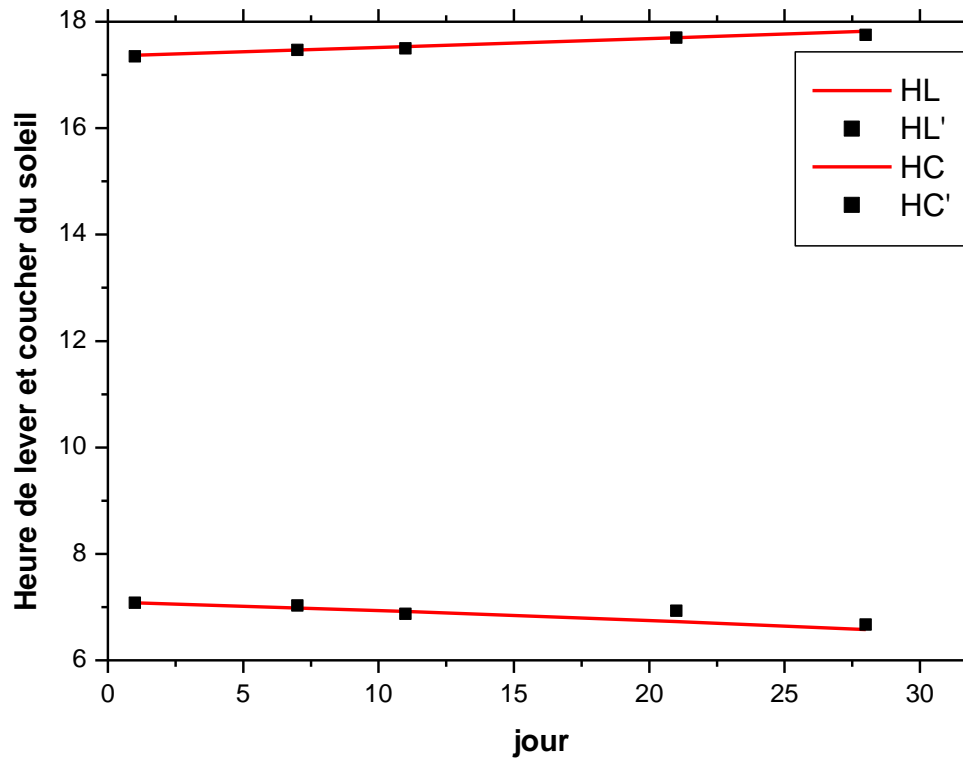


Fig. III.12. Heure du lever et coucher du soleil pour le mois de février.

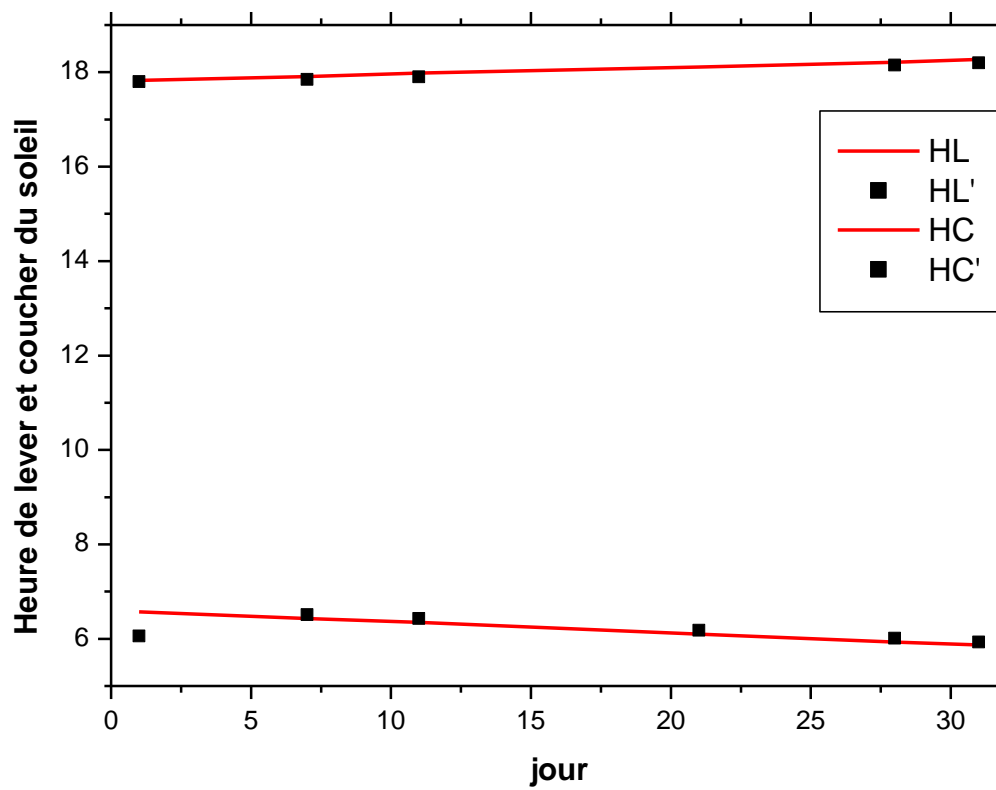


Fig. III.13. Heure du lever et coucher du soleil pour le mois de mars.

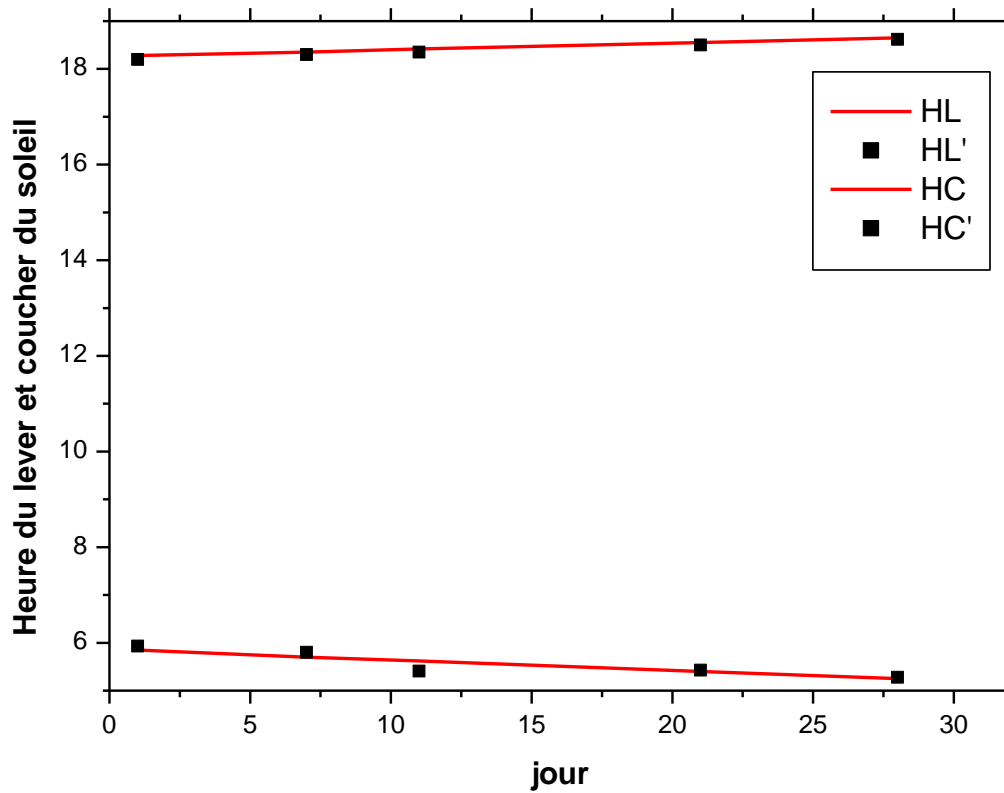


Fig. III.14. Heure du lever et coucher du soleil pour le mois d'avril.

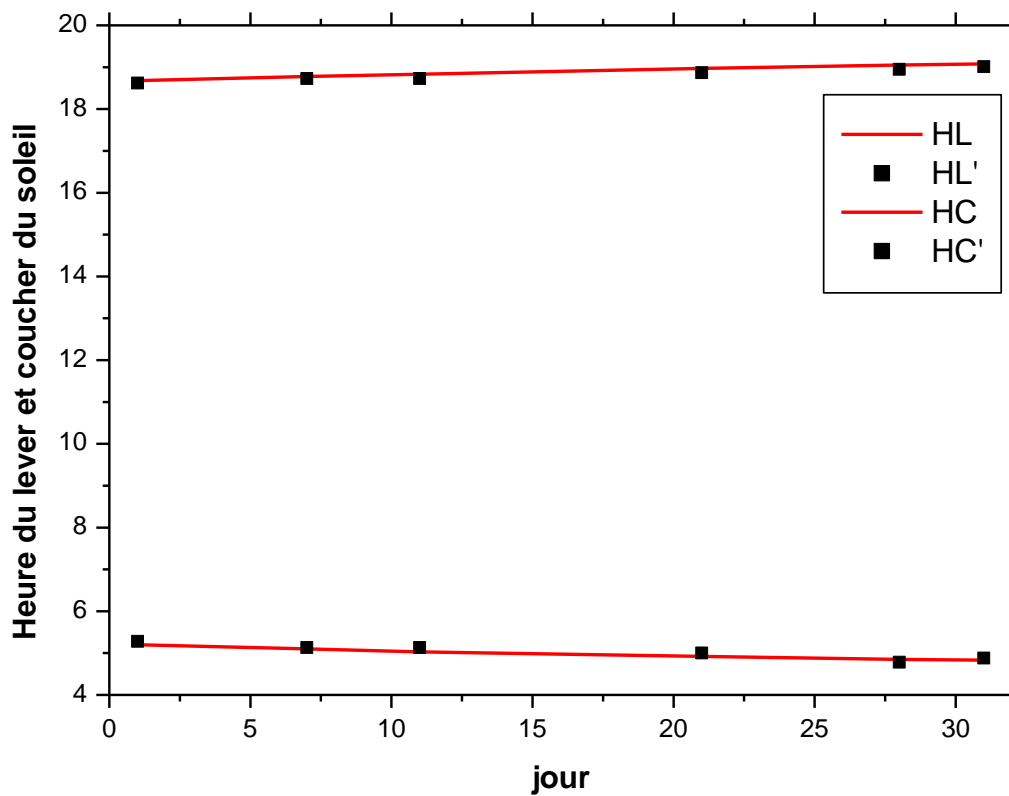


Fig. III.15. Heure du lever et coucher du soleil pour le mois de mai.

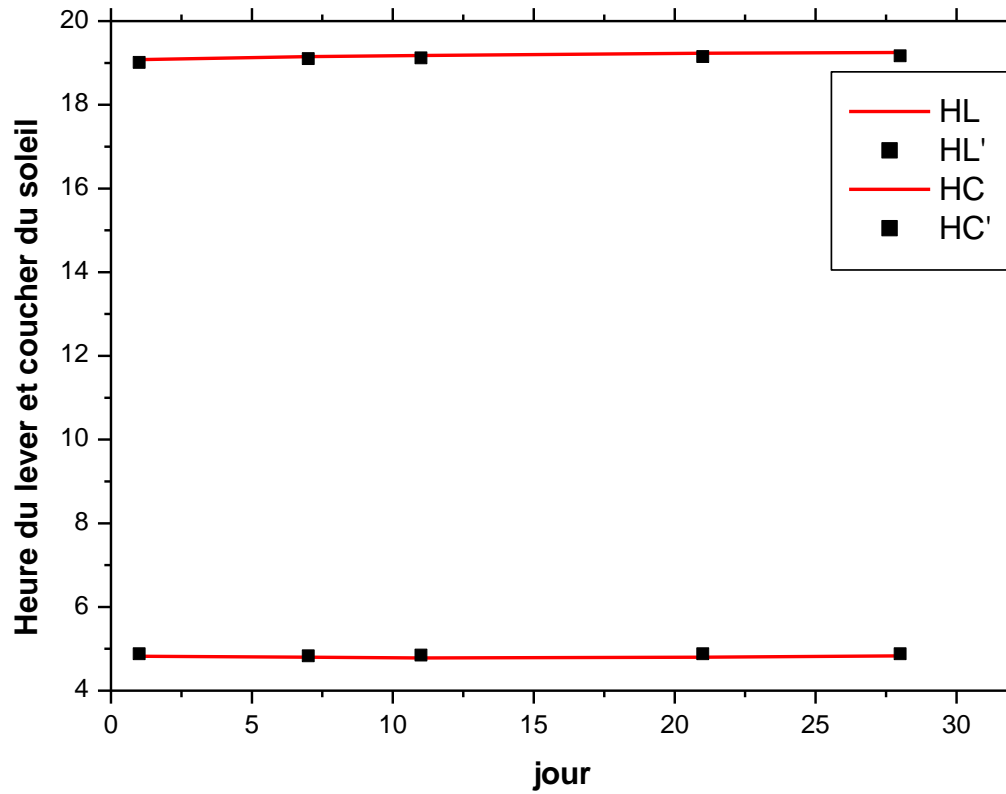


Fig. III.16. Heure du lever et coucher du soleil pour le mois de juin.

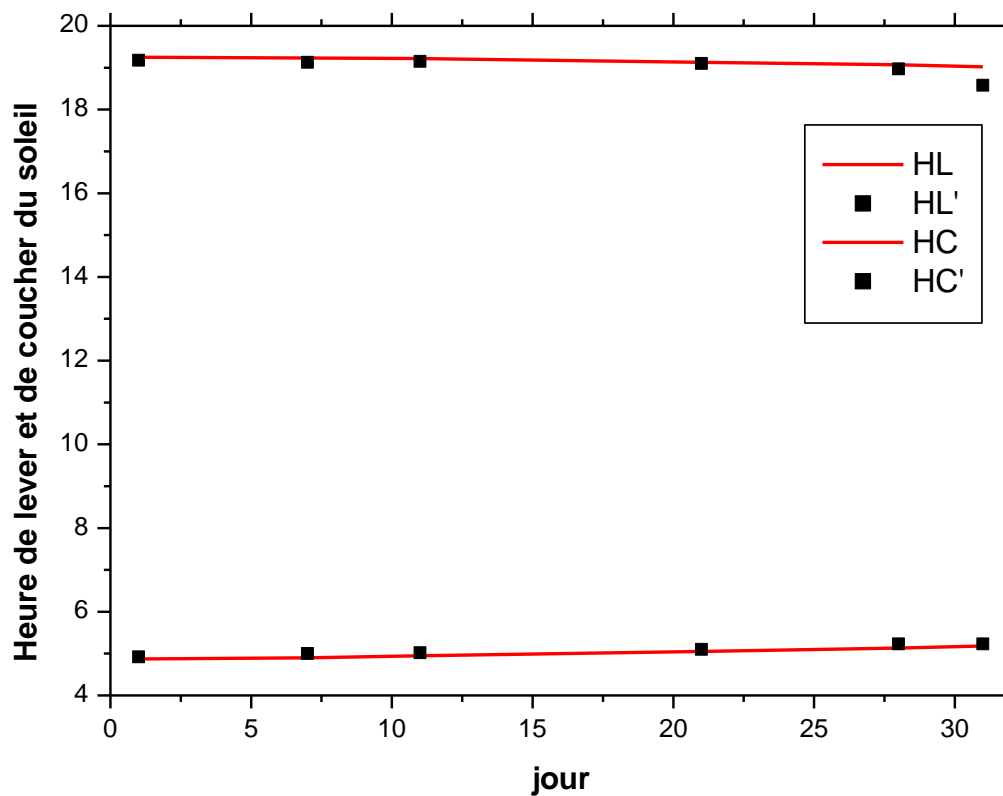


Fig. III.17. Heure du lever et coucher du soleil pour le mois de juillet.

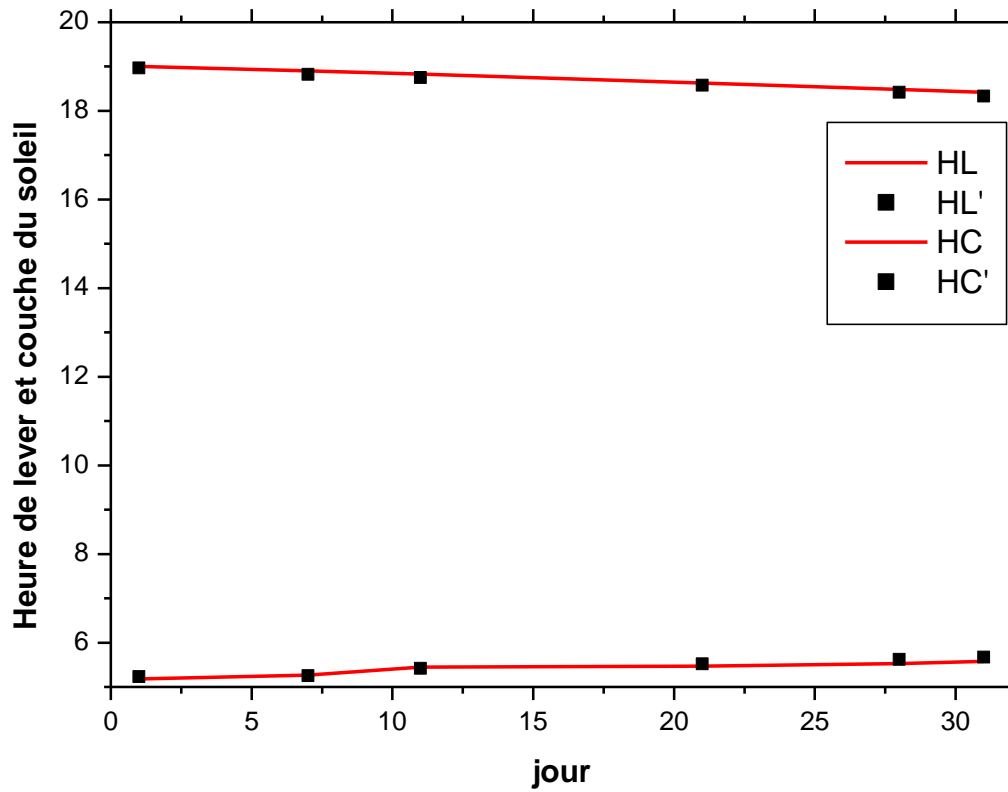


Fig. III.18. Heure du lever et coucher du soleil pour le mois d'août.

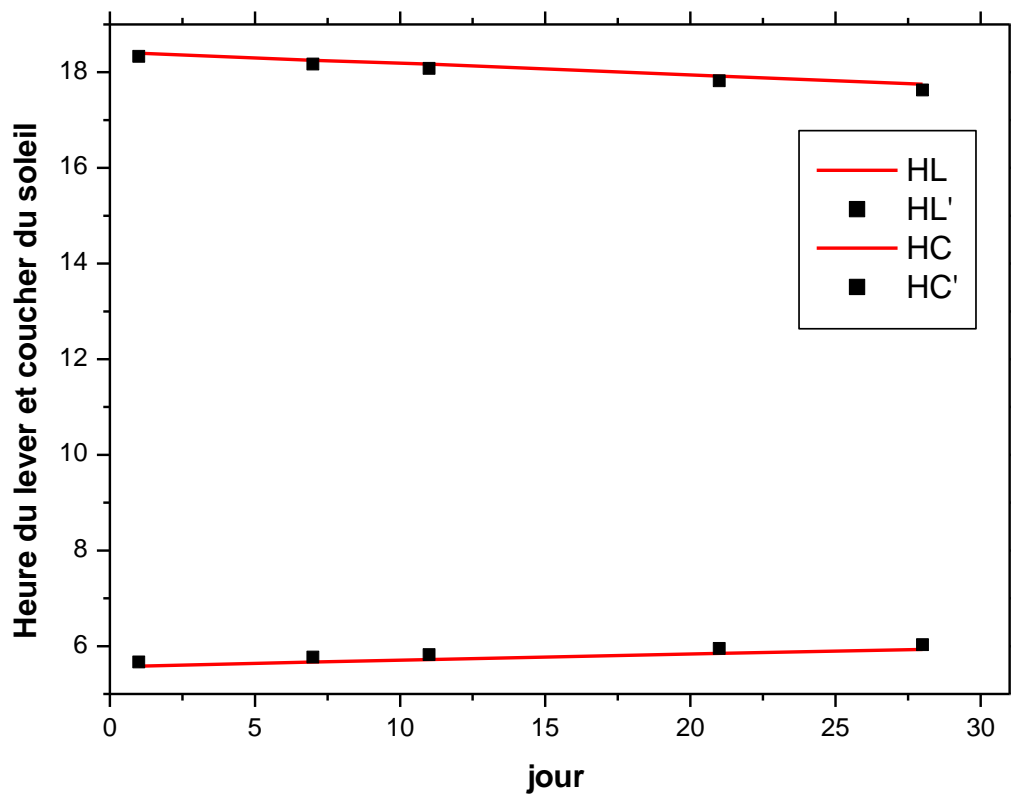


Fig. III.19. Heure du lever et coucher du soleil pour le mois de septembre.

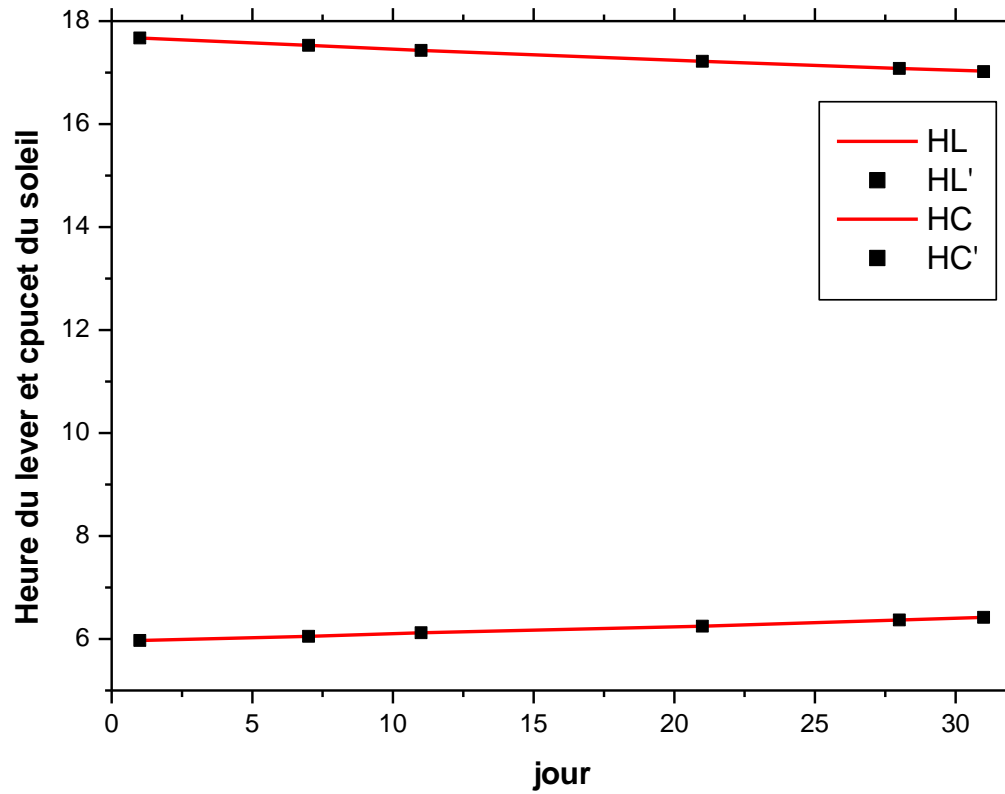


Fig. III.20. Heure du lever et coucher du soleil pour le mois d'octobre.

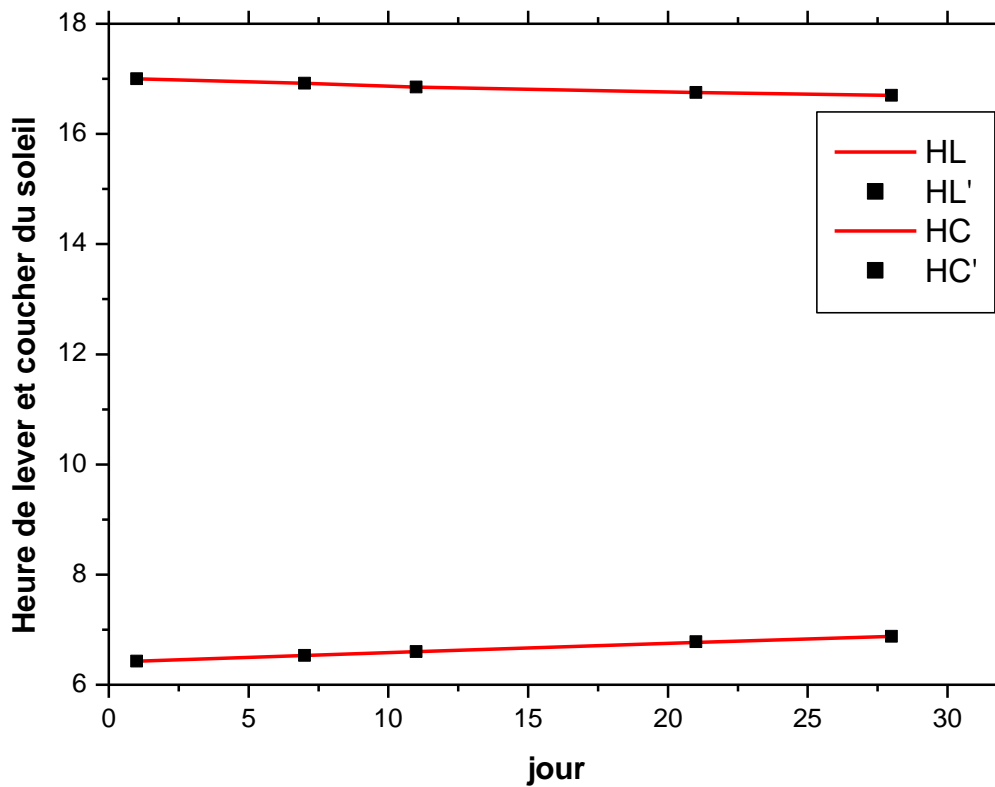


Fig. III.21. Heure du lever et coucher du soleil pour le mois de novembre.

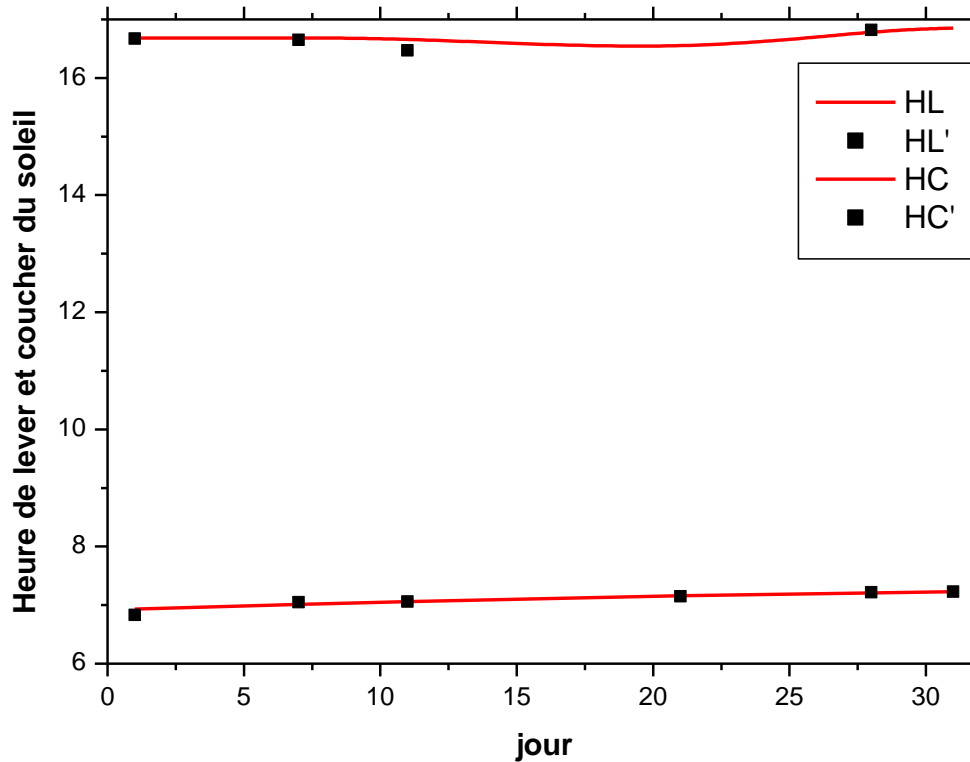


Fig. III.22. Heure du lever et coucher du soleil pour le mois de décembre.

Nous constatons une différence variable entre 0 et 6 minutes de nos résultats et ceux fournis par la station météorologique.

Cette différence peut être attribuée à l'existence de différentes formules permettant de calculer l'équation du temps qui est prise en considération lors du calcul des heures du lever et du coucher du soleil. Elle peut être aussi attribuée aux différentes approximations mathématiques faites dans les calculs.

III.4.4. Puissance de rayonnement global hors-atmosphère à incidence normale

Dans le but de faire une comparaison graphique entre nos résultats et ceux de Capderou [6], nous avons regroupé les résultats numériques dans un tableau puis tracer des courbes. Le résultat est représenté dans la figure suivante.

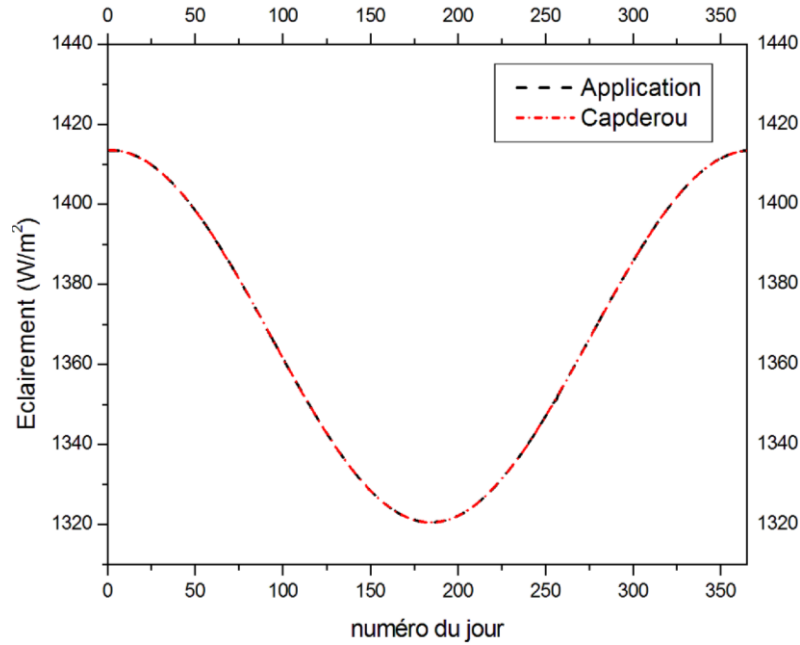


Fig.III.23. Puissance du rayonnement global hors-atmosphère à incidence normale.

La figure III.23 représente le rayonnement global hors-atmosphère calculé par notre application et celui obtenu par Capderou [6]. Les deux courbes se superposent, ce qui indique la cohérence de nos résultats.

III.4.5. Rayonnement solaire au sol :

Nous allons étudier ici l'influence de certains paramètres (orientation du capteur, climat) sur le rayonnement solaire.

III.4.5.1. Effet de l'inclinaison du capteur sur le rayonnement global

La figure III.11 représente la variation du rayonnement global durant l'année pour différents angles d'inclinaison du capteur de 0° à 90° à midi TSV pour le site de Constantine.

Comme nous n'avons trouvé aucune étude faite préalablement sur la ville de Mostaganem et afin de valider notre application nous avons opté pour la ville de Constantine pour laquelle plusieurs études (citer en référence) ont été faites dans les domaines similaires:

Latitude = 36°17' N

Longitude = 6°37' E

Altitude = 687 m

Chapitre III : DESCRIPTION ET MODELISATION D'UN LOGICIEL POUR LE CALCUL D'ENSOLEILLEMENT

Albédo=0,2

On remarque nettement que la variation de l'angle d'inclinaison influe sur le rayonnement global principalement entre l'hiver et l'été.

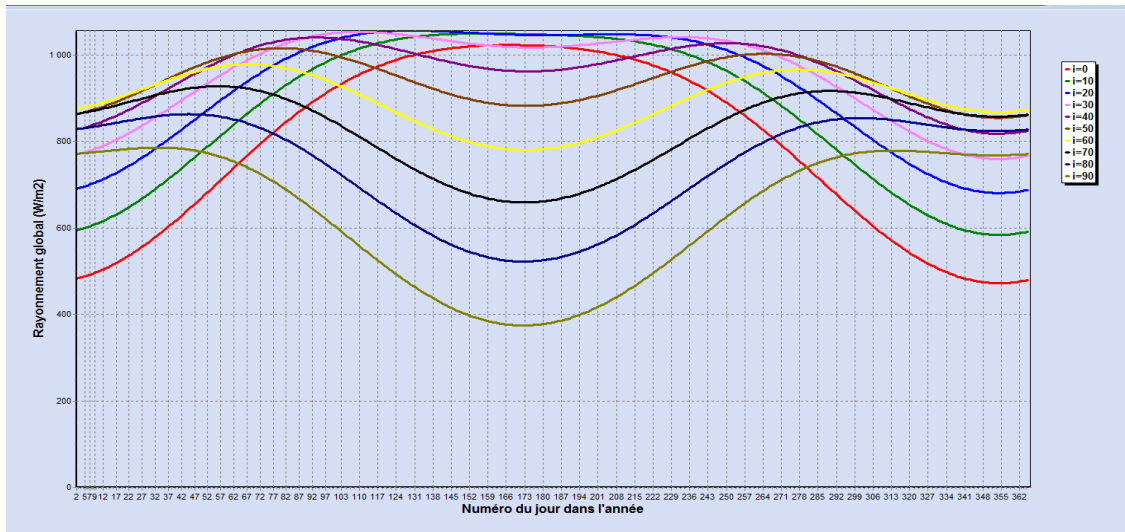


Fig.III.24. Variation du rayonnement global durant l'année pour un capteur d'inclinaison quelconque.

La comparaison entre la figure III.24 et les figures III.25 et III.26 nous montre que nos résultats sont acceptables et nous fait remarquer que l'inclinaison optimale annuelle est d'environ 30° et plus précisément celle égale à la latitude du lieu considéré (figure III.26).

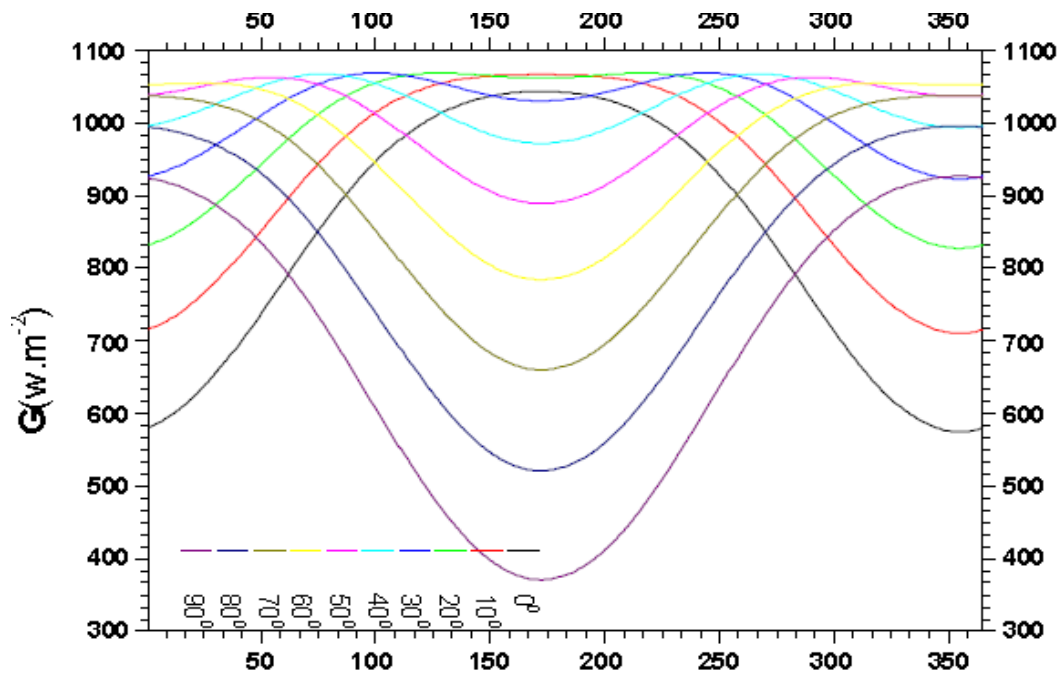


Fig.III.25. Evaluation de l'intensité du rayonnement global journalier pour un capteur d'orientation quelconque [7].

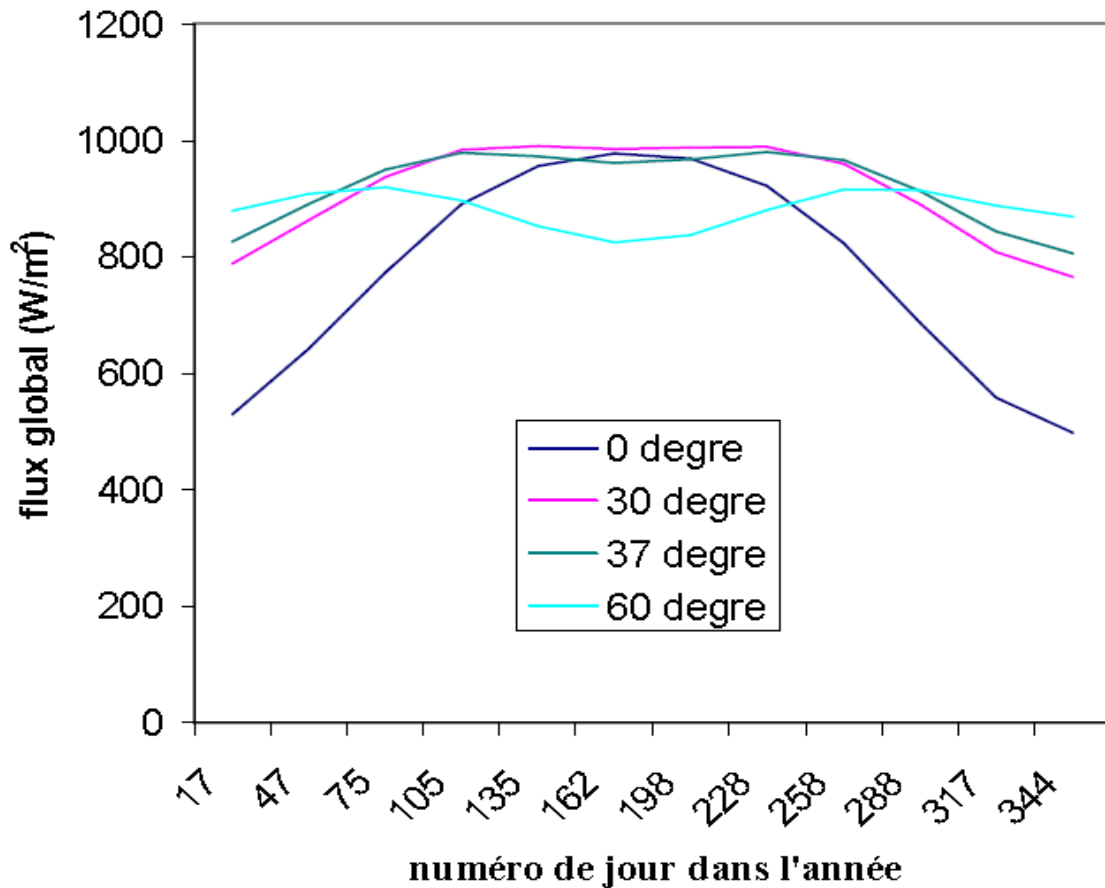


Fig.III.26. le rayonnement solaire (flux) global absorbé pour différentes inclinaisons [8].

III.4.5.2. Effet de la nature du ciel

Les figures suivantes représentent la variation des rayonnements globaux, directs et diffus sur plan horizontal et incliné, à l'équinoxe de printemps.

Comme nous l'avons vu précédemment ; l'angle d'inclinaison du capteur est égal à la latitude du lieu considéré. Il représente l'angle optimal pour disposer du maximum d'énergie durant l'année.

IH, DH, GH : rayonnement direct, diffus et global sur plan horizontal.

I, D, G : rayonnement direct, diffus et global sur plan incliné.

- Par ciel clair

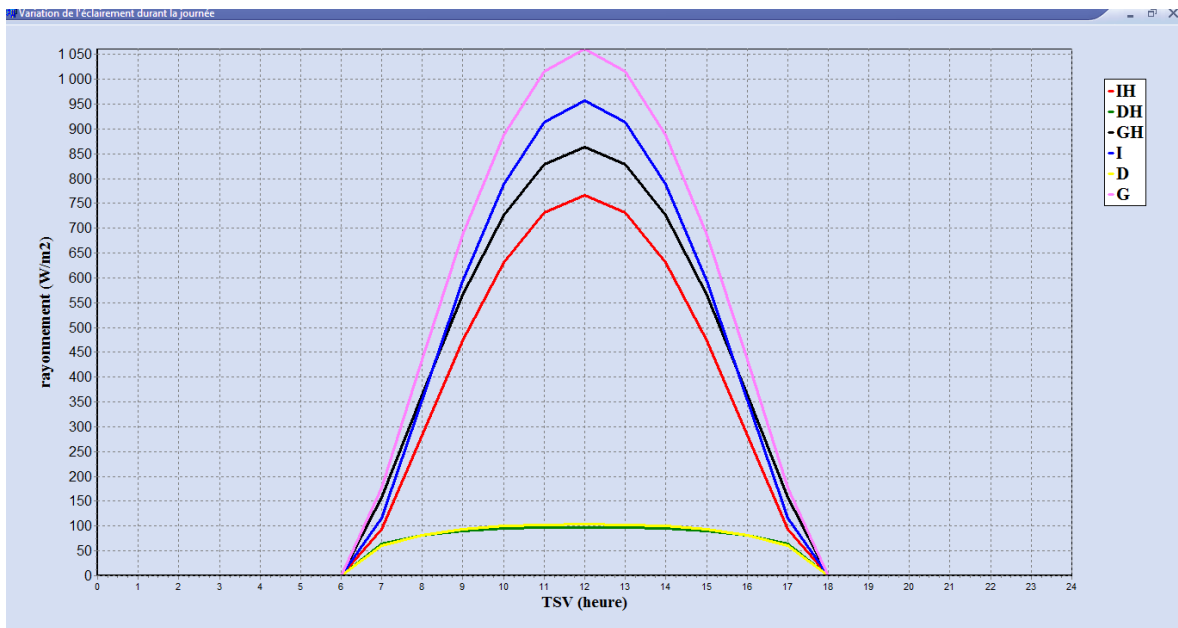


Fig. III.27. Evaluation de l'intensité des rayonnements ((diffus), (direct), (global)) relatifs à un ciel clair pour une surface horizontale et incliné.

- Par ciel voilé

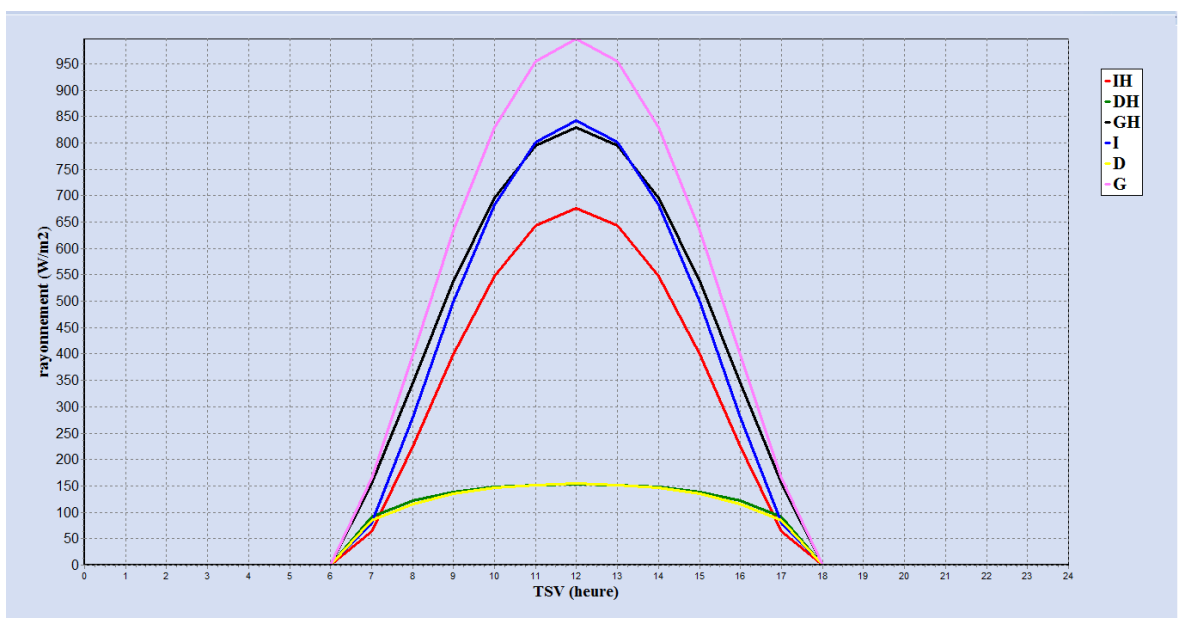


Fig. III.28. Evaluation de l'intensité des rayonnements ((diffus), (direct), (global)) relatifs à un ciel voilé pour une surface horizontale et inclinée.

- Par ciel laiteux

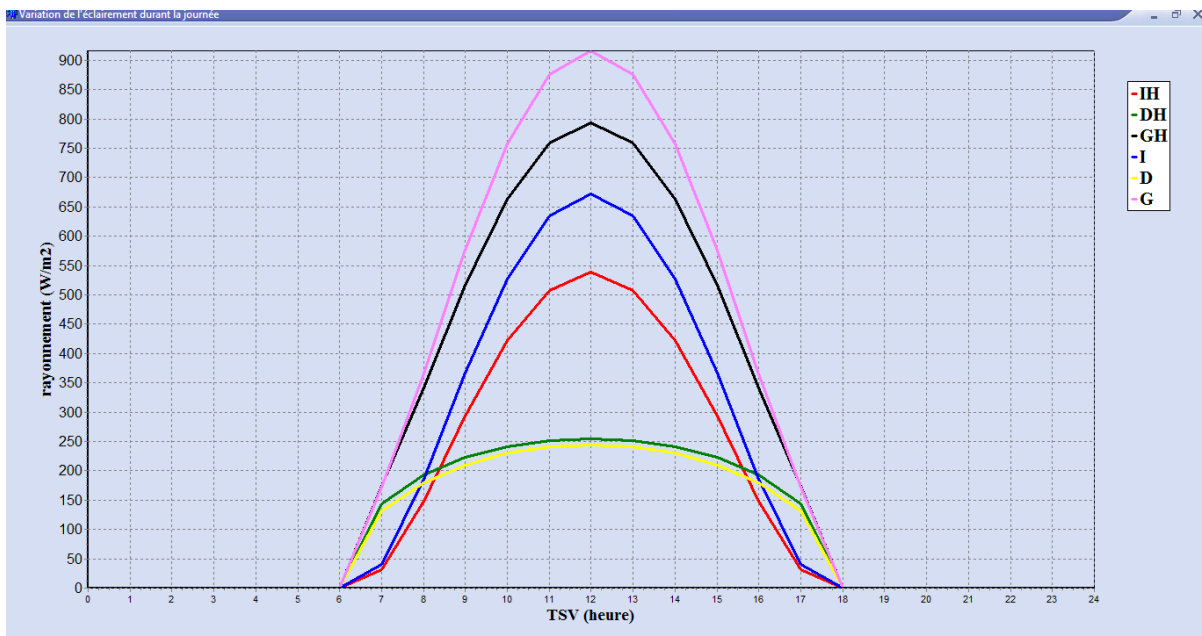


Fig. III.29. Evaluation de l'intensité des rayonnements ((diffus), (direct), (global)) relatifs à un ciel laiteux pour une surface horizontale et inclinée.

Nous remarquons dans les trois cas que les rayonnements atteignent leurs maximums à midi solaire, les flux global et direct sont plus importants sur une surface inclinée que sur un plan horizontal. Le rayonnement global varie de 1050 W/m^2 pour un ciel clair à 900 W/m^2 pour un ciel laiteux, pour le rayonnement direct, la variation est de 950 W/m^2 (ciel clair) à 675 W/m^2 (ciel laiteux).

En ce qui concerne le rayonnement diffus, il varie faiblement entre le plan horizontal et incliné. Il atteint son maximum de 250 W/m^2 pour un ciel laiteux.

Afin de vérifier ces résultats, nous allons les confondre aux résultats des figures III.30, III.31 et III.32 dans le cas d'un capteur horizontal.

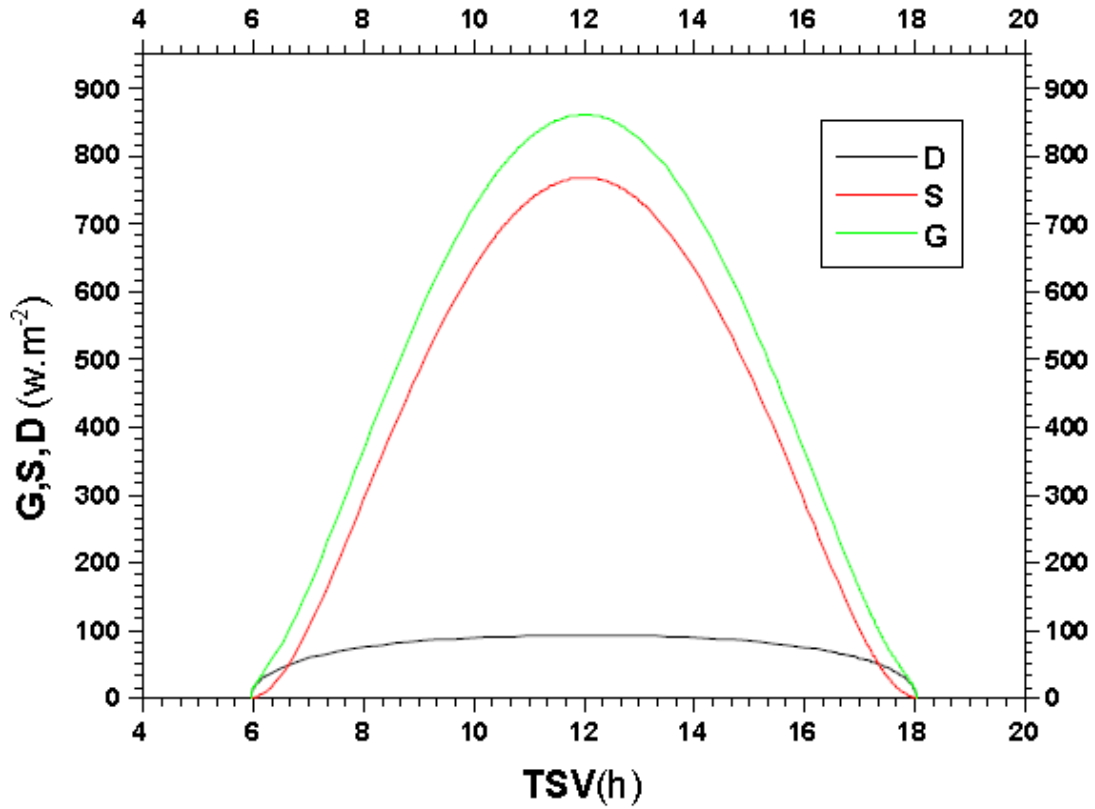


Fig. III.30. Evaluation de l'intensité des rayonnements (D (diffus), S (direct), G (global)) relatifs à un ciel pur pour une surface horizontale [7].

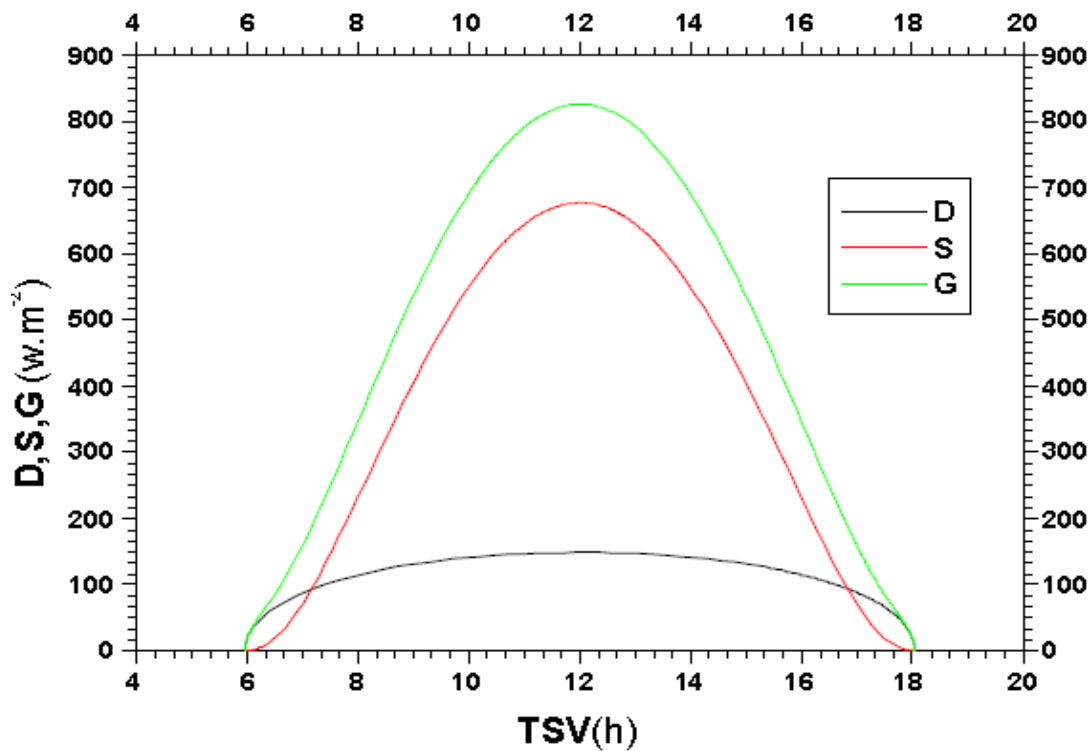


Fig. III.31. Evaluation de l'intensité des rayonnements (D (diffus), S (direct), G (global)) relatifs au ciel moyen pour une surface horizontale [7].

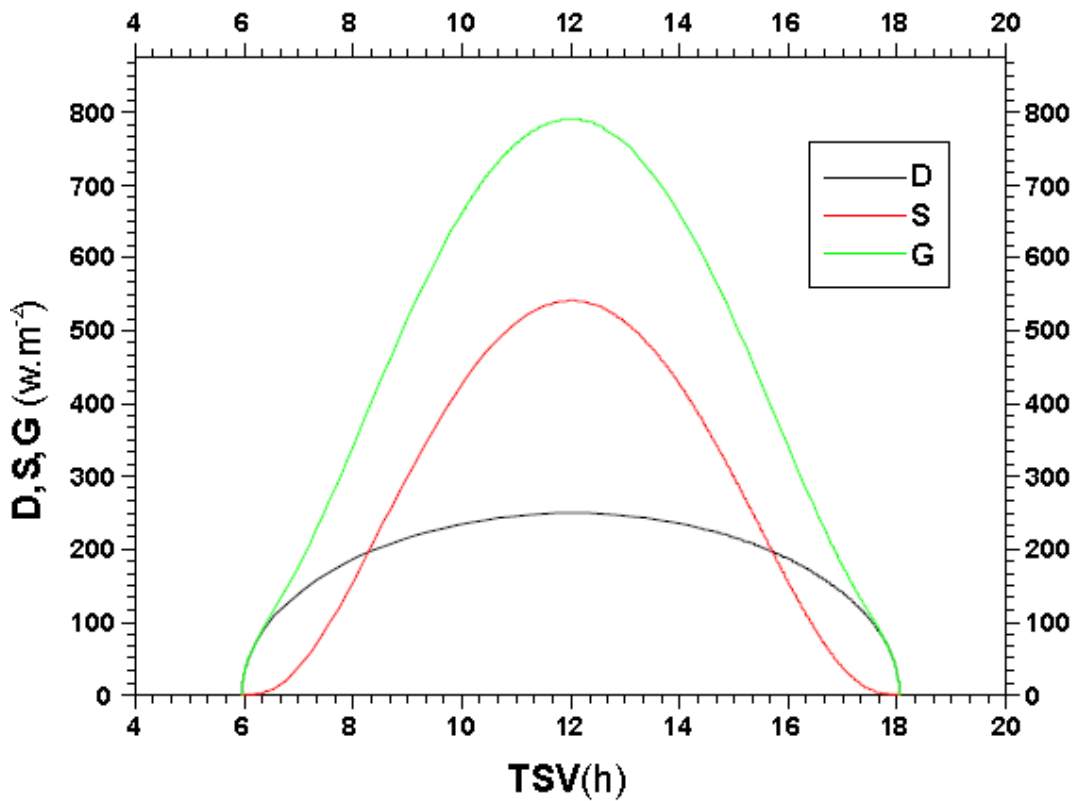


Fig. III.32. Evaluation de l'intensité des rayonnements (D (diffus), S (direct), G (global)) relatifs à un ciel dégradé (laiteux) pour une surface horizontale [7].

La comparaison entre les figures III.27, III.28, III.29 (plan horizontal) et les figures III.30, III.31 et III.32 nous fait paraître que l'allure des courbes est suffisamment semblable, ces dernières présentent un maximum de rayonnement global à midi solaire qui varie de $850 W/m^2$ dans le cas d'un ciel clair à $790 W/m^2$ pour un ciel laiteux.

III.4.6. Variation de la longueur de l'ombre d'un objet

La figure III.33 représente une vue satellite de la région de Mostaganem, les lignes noir représentent la longueur de l'ombre d'un objet (immeuble) de 15 mètres de hauteur au cours de la journée du 21 juin. Les numéros en jaune représentent les heures durant cette journée.

On remarque que la direction de l'ombre est inverse à l'azimut du soleil.



Fig. III.33. Représentation de la longueur de l'ombre durant la journée du 21 juin [3].

La figure III.34 représente la variation de la longueur de l'ombre, la comparaison entre les deux faits laisse apparaitre une bonne concordance.

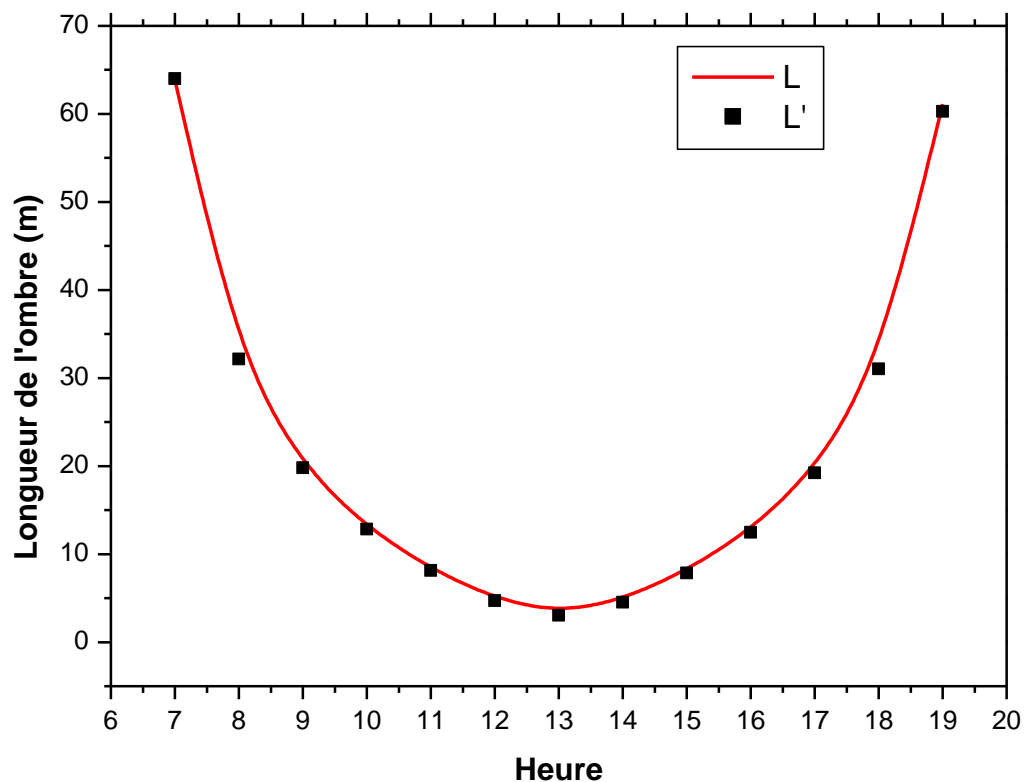


Fig. III.34. Variation de la longueur de l'ombre durant la journée.

L : longueur de l'ombre calculé par SunEarthTools [3].

L' : longueur de l'ombre calculé par l'application développée.

III.5. Exemple de la wilaya de Mostaganem

Après avoir comparé nos résultats à ceux trouvés dans la littérature, nous allons étudier quelques exemples sur la wilaya de Mostaganem. Pour cela, nous représenterons les rayonnements reçus par les sites de Achâacha, Stidia et Mostaganem durant la journée du 21 Mars par ciel clair respectivement sur un capteur horizontal et incliné (inclinaison= latitude) orienté plein sud.

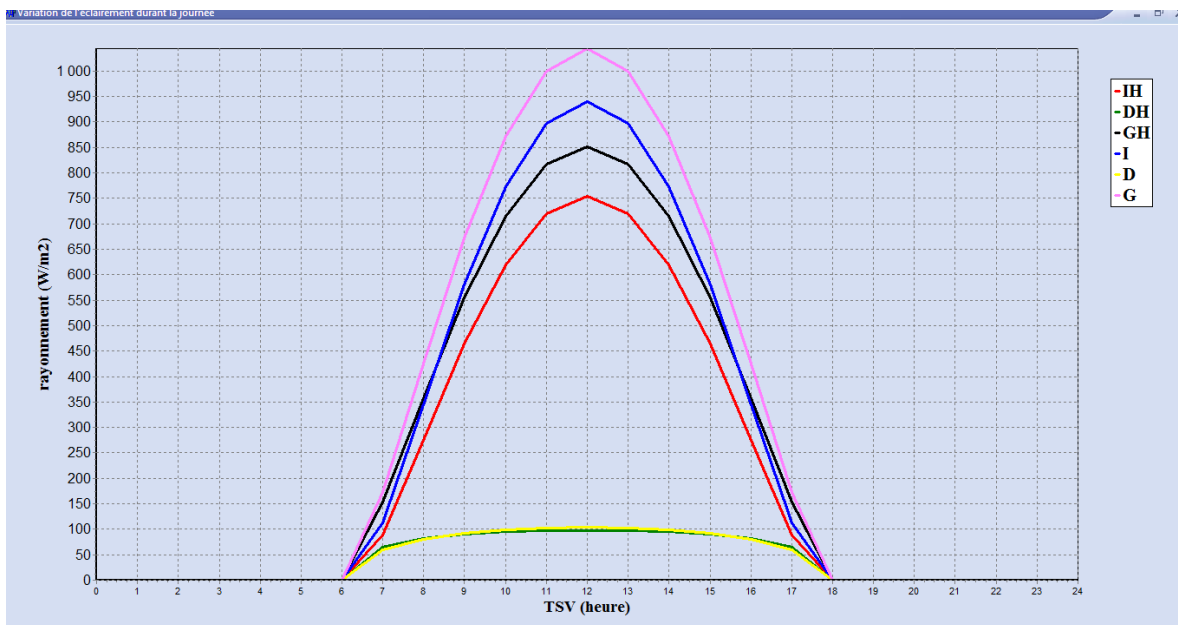


Fig.III.35. Rayonnement incident sur plan horizontal et inclinée sur le site de Achâacha.

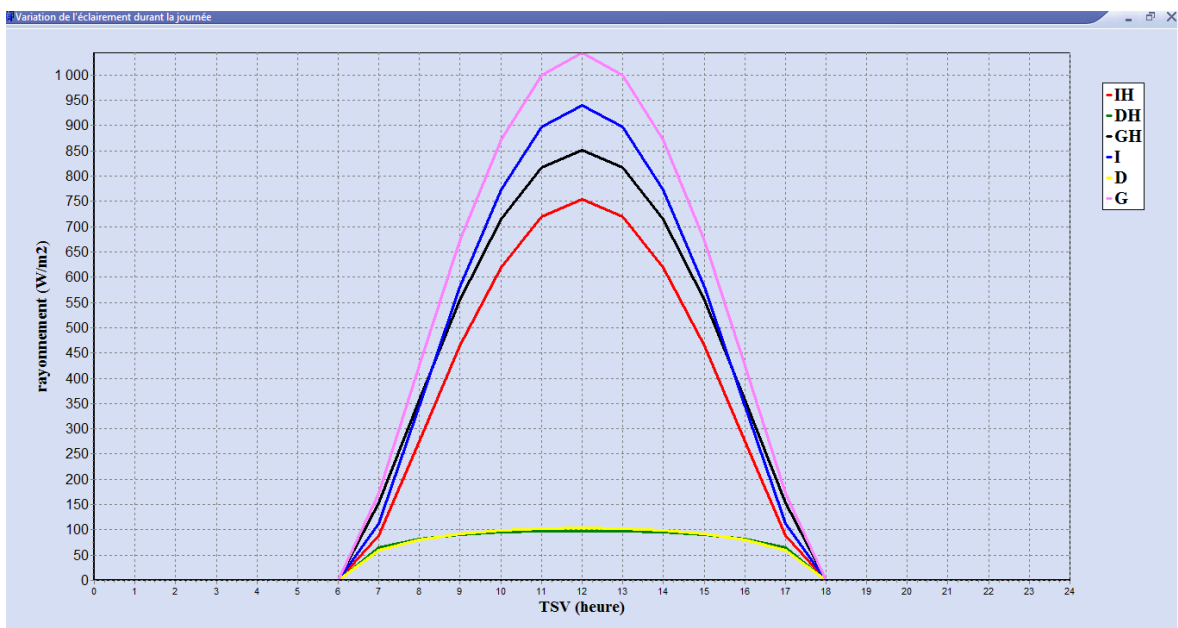


Fig.III.36. Rayonnement incident sur plan horizontal et inclinée sur le site de Stidia.

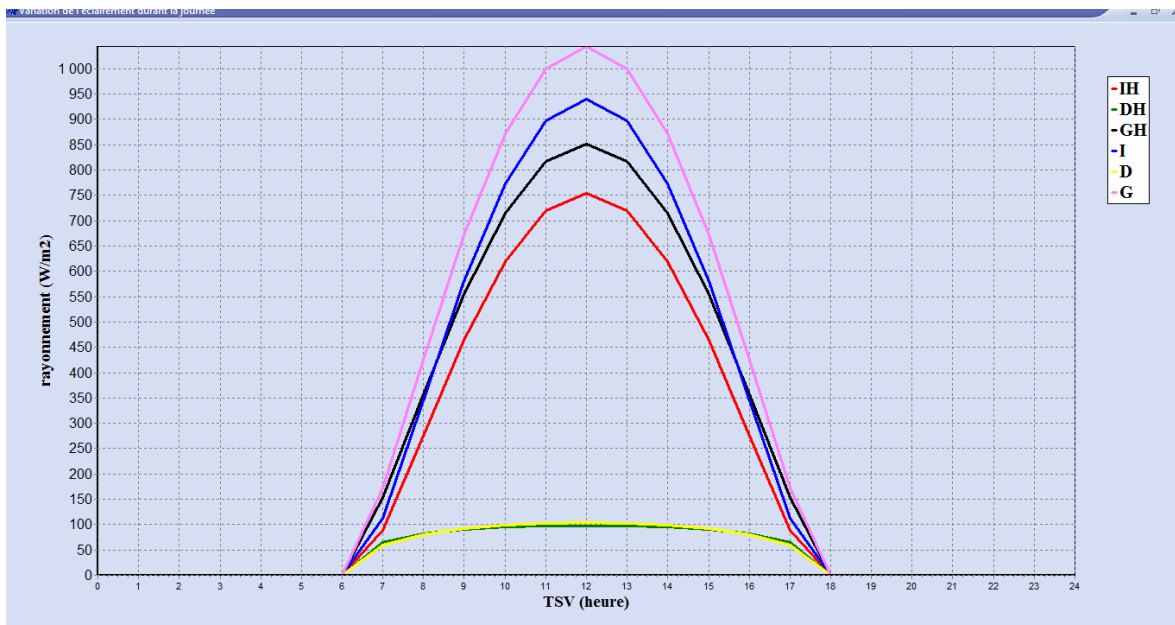


Fig.III.24. Rayonnement incident sur plan horizontal et incliné sur le site de Mostaganem.

Les figures III.35, III.36 et III.37 ne présentent pas une grande variation du rayonnement global, il varie de 1038,08 W/m² (Stidia) à 1041,63 W/m² (Achâacha) pour un plan incliné et de 851 W/m² (Achâacha) à 858 W/m² (Stidia) pour un plan horizontal. Cette faible variation est due aux latitudes des sites qui sont très proches.

III.6. Conclusion

Nous avons en premier lieu défini le langage de programmation utilisé dans notre application, ainsi que son interface. Ensuite, nous avons comparé quelques résultats à ceux de la littérature que nous avons estimés assez correctes.

A la fin, nous avons donné quelques exemples relatifs sur quelques sites de la région de Mostaganem.

Références

- [2] OURS BLANC DES CARPATHES, « Introduction à C++ Builder », Isima 1988-1999, http://eric.univ-lyon2.fr/~ricco/cours/cours/intro_cpp_builder.pdf, (consulté le 20/012/2012 a 15h54).
- [4] M. Ghassemi, Solar Ressource from « Solar Energy: Renewable Energy and the Environment », page 20 et 21, 2010.
- [5] ATLAS Climatique National, Station Mostaganem, Partie 1, Recueil de données.
- [6] M. Capderou, « Atlas Solaire de l'Algérie », Tome 1, Vol 1et 2, Modèles Théoriques et Expérimentaux, Office des Publications Universitaires, Algérie, 1987.
- [7] M. Boubekri, A. Chaker et I. Zeghib, «Contribution numérique à l'étude du rayonnement solaire incident sur un capteur plan pour le site de Constantine », Laboratoire de Physique Energétique, Université Mentouri, Constantine.
- [8] A. Bouras, « Etude et conception d'un convertisseur solaire pour la production d'eau chaude sanitaire », mémoire de magister Université Mentouri, Constantine, 2007.

Sites web

- [1] « [http:// www.depannetonpc.net/lexique/lire_74_langage-c.html](http://www.depannetonpc.net/lexique/lire_74_langage-c.html) », (consulté le 04/08/2012 à 13h11).
- [3] « http://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php », (consulté le 10/12/2012 à 17h15).

CONCLUSION GENERALE

Afin d'obtenir un rendement maximal d'un capteur solaire, il est nécessaire de bien l'orienter par rapport au lieu où on souhaite le positionner. Pour cela, il est indispensable de connaître l'ensoleillement et l'éclairement en cet endroit.

Ce travail est une contribution numérique au calcul de l'ensoleillement ainsi que celle du rayonnement solaire pour lesquels nous avons choisi le cas particulier de la région de Mostaganem.

Nous avons réalisé un programme sous C++ Builder qui utilise le langage de programmation C++ permettant, d'autre part, d'obtenir une interface simple et interactive.

Nous avons passé en revue les différentes relations astronomiques qui existent entre la terre et le soleil, tant par le déplacement de la terre autour du soleil qui se fait selon une trajectoire elliptique et avec une inclinaison par rapport à l'écliptique, que par la relation entre le temps solaire et le temps local. Nous avons cité aussi le rôle de l'atmosphère dans l'atténuation de la puissance de rayonnement. Par la suite, nous avons fait la distinction entre les divers types de rayonnement (Direct, Diffus et Global) sur un plan horizontal et incliné et ce en adoptant le modèle de 'Capderou'. Nous avons également évoqué les deux types de capteur solaire.

Nous avons aussi donné un aperçu de la région de Mostaganem avec une description générale de sa géomorphologie, topographique et climatique, puis une autre un peu plus détaillée qui fait état de quelques communes choisies dans cette région.

Finalement, nous avons présenté brièvement le programme élaboré dans ce travail ainsi que quelques uns des résultats obtenus par cette application, que nous avons comparé avec ceux trouvés dans la littérature ou ceux de la station météorologique de Mostaganem dans le but de valider les résultats obtenus. Cette comparaison nous a permis de montrer une concordance satisfaisante avec nos calculs.

En dernier lieu, nous avons décrit quelques exemples de rayonnement solaire pour certaines régions de la wilaya de Mostaganem et qui atteignent des valeurs de $1041,63\text{W/m}^2$ à Achâacha et de $1038,08\text{W/m}^2$ à Stidia, ainsi que la variation de la longueur de l'ombre d'un objet de hauteur donné au cours d'une journée pour la daïra de Mostaganem.

Notons aussi que ce travail nous a permis d'approfondir les connaissances acquises tous au long de notre formation que ce soit dans le domaine de l'énergie solaire notamment en ce qui concerne le gisement solaire en particulier dans la wilaya de Mostaganem.

En conclusion, nous espérons que ce travail serait bénéfique pour tous ceux qui s'intéressent à l'énergie solaire et qui souhaitent aborder des recherches dans ce domaine.

ANNEXE

Définition des différents phénomènes météorologiques

Brouillard	Présence de gouttelettes d'eau dans l'atmosphère qui abaissent la visibilité horizontale à moins de 1 kilomètre.
Orage	Décharges brusques d'électricité atmosphérique se manifestant par une lueur brève et intense (éclair) et par un bruit sec ou roulement sourd (tonnerre).
Neige	Précipitation de cristaux de glaces isolés ou soudés qui tombent d'un nuage.
Gresyl	Précipitation de particules de glaces sphériques et présentant parfois des pointes coniques.
Grêle	Précipitation de particules de glaces (grêlons) de forme sphéroïdale, ou irrégulières.
Brume	Présence de gouttelettes d'eau dans l'atmosphère qui abaissent la visibilité horizontale entre 1 et 5 kilomètres.
Insolation nulle	Journée durant laquelle le soleil a été masqué soit par les nuages soit par autre phénomène.
Gelee	Dépôt de glace d'aspect cristallin provenant de la sublimation directe de la vapeur d'eau contenue dans l'air ambiant.
Rosee	Dépôt sur les objets de gouttes d'eau provenant de la condensation directe de la vapeur d'eau contenue dans l'air ambiant.
Eclair	Manifestation lumineuse qui accompagne une décharge brusque d'électricité atmosphérique.
Nuages bas	Nuages dont la hauteur est inférieure ou égale à 300 mètres et dont la quantité est supérieure à 4 OCTAS.
Pluie	Précipitation de gouttes d'eau qui tombent d'un nuage.
Ciel de sable	Suspension dans l'atmosphère de poussières ou de petites particules de sable, qui provoquent un trouble de la visibilité. soulevées du sol à des hauteurs faibles ou
Chasse de sable	Ensembles de particules, de poussières ou de sable, soulevées du sol à des hauteurs faibles ou modérées, par un vent suffisamment fort et turbulent.
Tempête de sable	Ensembles de particules, de poussières ou de sable puissamment soulevées du sol par un vent fort et turbulent jusqu'à de grandes hauteurs.

Résumé

L'objectif de ce manuscrit consiste en l'élaboration d'un logiciel de calcul de l'éclairage solaire destiné aux systèmes thermiques et photovoltaïque en Algérie. Le logiciel réalisé permet une visualisation de l'énergie solaire numériquement et graphiquement pour les différents cas appliqués aux systèmes d'énergie solaire.

Pour une meilleure exploitation du logiciel, nous avons réalisé une interface graphique claire et maniable avec le langage de programmation C++ qui est le plus répondu actuellement dans la programmation des dispositifs électroniques ce qui permet de l'intégrer facilement dans des systèmes mobiles, les calculs ont été effectués à l'aide du modèle de 'Capderou'.

La comparaison des résultats obtenues par notre application et ceux qui se trouvent dans la littérature permettent de dire que nos résultats sont acceptables.

Mots clés : Rayonnement solaire, Ensoleillement, Capderou, Logiciel de calcul, Air masse, Energie solaire.

Abstract

The main purpose of this manuscript is to develop computational code to estimate solar irradiance for photovoltaic and thermal systems in Algeria. Computational code developed allows a numerical and graphical visualization of the solar irradiation for different case applied to solar energy systems.

For a better use of software, we performed a graphical interface clear and handy with the programming language C++ as the most used now in programming electronic devices that can be easily integrated into mobile systems, the calculations were made by using the model of 'Capderou'.

Comparison of the results obtained by our application and those found in the literature used to say that our results are acceptable.

Keywords: Solar radiation, Sunshine, Capderou, Calculation software, Air mass, Solar energy.

ملخص

الغرض الأساسي من هذه المذكرة هي تطوير برنامجا لحساب الإشعاع الشمسي لأنظمة الضوئية والحرارية في الجزائر. والبرنامج المنجز يسمح بتقديم نتائج حساب الإشعاع الشمسي رقميا وفي مخطط لحالات مختلفة لتطبيق هذا النظام للطاقة الشمسية.

لأفضل استخدام البرمجيات، أجرينا واجهة رسومية واضحة وسهلة الاستخدام بفضل لغة البرمجة C++ وهو الأكثر استخداما الآن في برمجة الأجهزة الإلكترونية التي يمكن دمجها بسهولة في الأنظمة المتنقلة، أدلى الحسابات باستخدام نموذج 'Capderou'.

المقارنة بين النتائج التي حصلنا عليها ببرنامجنا والنتائج الموجودة في الأدب يمكننا القول بان نتائجنا مقبولة.

الكلمات المفتاح : الطاقة الشمسية ، الإشعاع الشمسي، برامج حساب، الهواء الشامل، Capderou، الشمس المشرقة،