



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
People's Democratic Republic of Algeria
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministry of Higher Education and Scientific Research
جامعة عبد الحميد بن باديس - مستغانم
University Abdelhamid Ibn Badis - Mostaganem
كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculty of Sciences and Technology
قسم الهندسة المدنية والمعمارية
Civil engineering & architecture department



N° d'ordre : M/GCP/2020

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE DE MASTER PROFESSIONNALISANT

Filière : Génie civil.

Spécialité : Efficacité Energétique des Bâtiments.

Thème

**Evaluation de l'apport thermique du rayonnement solaire direct sur des
panneaux solaires**

Présenté par : OTMANE Zaza

Soutenu le .. / .. / 2020 devant le jury composé de :

Président : Mme. LAREDJ Nadia

Examineur: Mr. MALIKi Mustapha

Encadrant : Mr. MISSOUM Hanifi.

Année Universitaire : 2019 / 2020








REMERCIEMENTS


A chaque début une fin et à chaque création un créateur. Personne n'est parfait et une main ne puisse jouer toute seule .et avant de présenter ce travail tout d'abord je tiens pour exprimer toutes mes reconnaissances à ceux qui m'ont accompagné durant ces longues années d'études.

Mes remerciements vont donc :

 *A **Dieu** de m'avoir accordé de son vaste pouvoir la possibilité et l'aptitude d'arriver jusqu'ici.*

 *A Mr. MISSOUM HANIFI d'être encadreur .je le remercie, pour ce fait, pour tout son soutien moral et physique qu'il m'a offert durant cette année, sans qui ce présent travail n'aurait pas pu être mené à son terme.*

 *Je tiens aussi à exprimer mes profonds remerciements à tous mes enseignants de l'efficacité énergétique des bâtiments. Les honorables membres du jury qui vont évaluer et examiner ce modeste travail sans oublier ceux qui m'ont formé pendant toutes mes années d'études.*

 *A tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire de près ou de loin.*

«« Merci » »

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail à ceux qui ont depuis toujours portés un grand intérêt pour mes études, mes très chers parents. Que dieu vous protège et vous accorde une longue vie.

Et

A mes chères sœurs Badra, Djamila, Fatima

A mon cher frère : Abdenour

A toute ma famille OTMANE

A mon fiancé Mr Farid

A mon Encadreur Mr MISSOUM Hanifi .

A tous mes amis et à tous ceux qui me sont chers

A toutes les enseignantes et tous les enseignants de

L'efficacité énergétique des bâtiments

*A la fin je dédie tout ce qu'ils ont m'aider dans mon parcours scolaire de
proche ou de loin.*

RESUME

L'énergie solaire occupe une place très importante parmi les différentes sources d'énergies renouvelables. Une connaissance précise de la distribution du rayonnement solaire sur un site géographique particulier est d'une grande importance pour le développement des systèmes photo thermiques ou photovoltaïques.

Ce travail est une contribution à l'évaluation de l'apport thermique du rayonnement solaire direct sur des panneaux solaires à Mostaganem

En effet, nous avons développé un algorithme d'optimisation du rayonnement solaire et un programme de calcul de la trajectoire solaire et de repérer la hauteur et l'azimut du soleil, le flux solaire et ses différents composants à l'aide d'un logiciel Excel.

Dans cette optique, notre étude consiste alors à mettre en évidence l'importance de l'énergie solaire dans la construction, en essayant d'étudier les différents dispositifs conceptuels des panneaux solaires à mettre en œuvre dans le processus de la conception architecturale écologique pour assurer un avenir énergétique sain et durable.

Mots clés : Energie solaire, rayonnement solaire, panneaux solaire, systèmes photo thermiques, photovoltaïques,

الملخص:

تحتل الطاقة الشمسية مكانة بالغة الأهمية بين مختلف مصادر الطاقة المتجددة. تعتبر المعرفة الدقيقة لتوزيع الإشعاع الشمسي على موقع جغرافي معين ذات أهمية كبيرة لتطوير أنظمة الصور الحرارية أو الضوئية.

هذا العمل هو مساهمة في تقييم المدخلات الحرارية للإشعاع الشمسي المباشر على الألواح الشمسية في مستغانم في الواقع، لقد قمنا بتطوير خوارزمية لتحسين الإشعاع الشمسي وبرنامج لحساب مسار الشمس وتحديد ارتفاع وسمت الشمس وتدفق الطاقة الشمسية ومكوناتها المختلفة باستخدام البرنامج اكسل.

مع وضع هذا في الاعتبار، تتمثل دراستنا بعد ذلك في إبراز أهمية الطاقة الشمسية في البناء، ومحاولة دراسة الأجهزة المفاهيم المختلفة للألواح الشمسية التي سيتم تنفيذها في عملية التصميم المعماري البيئي لضمان مستقبل طاقة صحي ومستدام.

الكلمات المفتاحية : الطاقة الشمسية، الإشعاع الشمسي، الألواح الشمسية، أنظمة الصور الحرارية، الخلايا الكهروضوئية.

ABSTRACT :

Solar energy is very important among the various renewable energy sources. Precise knowledge of the distribution of solar radiation on a particular geographical site is of great importance for the development of photo thermal or photovoltaic systems.

This work is a contribution to the evaluation of the thermal contribution of direct solar radiation on solar panels at Mostaganem

Indeed, we have developed an algorithm to optimize solar radiation and a program to calculate the solar trajectory and to locate the height and azimuth of the sun, the solar flux and its various components using an Excel software. In this perspective, our study consists in highlighting the importance of solar energy in construction, by trying to study the different conceptual devices of Solar panels to be implemented in the process of ecological architectural design to ensure a healthy and sustainable energy future.

Keywords : Solar energy, Solar radiation, Solar panel, photo thermal systems, photovoltaics.

TABLE DES MATIERES

RESUME	i
NOMENCLATURE	vi
LISTE DES FIGURES	viii
LISTE DES TABLEAUX	x
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : L'ENERGIE SOLAIRE : UN AVENIR ENERGETIQUE DURABLE	
I.1.introduction :	4
I.2. Mouvement de la terre autour du soleil :	5
I.4. Role de l'atmosphere :	6
I.4.1. Le spectre de la radiation solaire :	6
I.4.2. Structure de l'atmosphère :	7
I.4.3. Composition de l'atmosphère :	8
I.5. Qu'est-ce que l'energie solaire ?	9
I .5.1. un peu d'histoire :	9
I .5.2. Les bases de l'énergie solaire :	10
1.6. Capteurs solaire :	11
1.6.1. Types de capteurs solaires	11
I.6.2 Orientation et inclinaison des capteurs solaires.....	11
I.6.3 Pourquoi orienter un panneau solaire ?.....	11
I.6.4 Comment orienter et incliner les capteurs solaires ?	12
I .7. Le potentiel solaire en Algérie. :	13
I.8. Avantages et les inconvénients de l'énergie solaire :.....	14
I.9.conclusion :	15
CHAPITRE II : RAYONNEMENT SOLAIRE	
II .1. Introduction :	17
II .2. Energie solaire :	17
II.3. Capter l'énergie solaire :	17
II .3.1. ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE :	17
II .3.2. Energie solaire thermique :	18
II .3.3. ENERGIE SOLAIRE THERMODYNAMIQUE :	18
II.4. Rayonnement solaire hors atmosphère :	18
II.5. Durée d'insolation :	19
II 6. Rayonnement solaire au niveau du sol :	19
II.6.1. Rayonnement direct	19

II.6.2. Rayonnement diffus	19
II.6.3. Rayonnement réfléchi ou l'albédo du sol :	19
II.7. Paramètres de position du soleil :	20
II.7.1. Coordonnées équatoriales :	20
a) Déclinaison(δ) :	20
b) Angle horaire du soleil :	20
c) Angle horaire au lever et au coucher du soleil :	21
II.7.2 Coordonnées horizontales :	21
d) Hauteur du soleil :	21
e) Zénith.....	22
f) Azimut du soleil.....	22
II.7.3 Paramètres de temps :	23
g) équation du temps :	23
h) Temps solaire vrai	23
II.7.4. Coordonnées géographiques :	23
i) Latitude du lieu Φ :	23
j) Longitude λ :	23
k) L'altitude (Z) :	24
II.8. Diagramme solaire :	24
II.9. La hauteur du capteur γ :	25
II.10. Angle d'incidence (θ_i) :	26
II.11. Calcul du rayonnement solaire direct sur un plan récepteur perpendiculaire, sur un plan incliné fixe et sur un plan horizontal :	26
II.11.1. Rayonnement solaire direct sur un plan horizontal	26
II.11.2. Calcul du rayonnement diffus sur un plan horizontal :	27
II.11.3. Rayonnement solaire direct sur un plan incliné :	27
II.11.4. Calcul du rayonnement diffus sur un plan incliné :	28
II.12. Conclusion :	28
CHAPITRE III : ARCHITECTURE SOLAIRE	
III.1. Introduction :	30
III .2. L'architecture solaire :	30
III .2.1. Définition de l'architecture solaire :	30
III.2.2. Le principe de l'architecture solaire :	31
III .3. Les formes de l'énergie solaire :	31
III.3.1. La lumière naturelle :	31
III.3.2. Energie solaire passive :	31

III.3.3. Energie solaire active :	32
III.4. Les systèmes solaires actifs :	32
III.4.1. Système solaire thermique :	32
III.4.1.1. Définition du système thermique :	32
III.4.1.2. Principe de fonctionnement :	33
III.4.1.3. Les types de capteurs solaires thermiques :	35
III .4.2. Système solaire photovoltaïque :	36
III.4.2.1. Définition du système photovoltaïque :	36
III.4.2.4. Le principe de fonctionnement :	37
III.5. La conception de l'architecture solaire :	37
III.5.1. Types de conception des panneaux solaires :	37
III.5.2. Démarche d'intégration :	38
III.5.3. Intégration des capteurs solaire dans le bâtiment :	38
III.5.3.1. Les capteurs en toiture inclinée Capteur suivant la pente de la toiture :	39
III.5.3.2. Les capteurs en toiture terrasse :	39
III.5.3.3. Les capteurs en façades :	40
III.5.3.4. Les capteurs sur paroi verticale :	40
III.5.4. Conditions d'efficacité énergétique :	41
III.5.4.1. Besoin en capteurs :	41
III.5.4.2. Influence de l'orientation, de l'inclinaison sur la quantité d'énergie captée :	41
III.5.4.3. Course et masque solaire :	42
III.5.4.4. Conditions de performance :	45
III.6. Exemple de réalisation :	46
III.7. Conclusion :	47
CHAPITRE IV : CALCUL DU RAYONNEMENT SOLAIRE A MOSTAGANEM	
IV.1. Introduction :	49
IV.2. Géographie de Mostaganem :	50
IV.2.1. Géographie régionale :	50
IV.3. Climatologie :	50
IV.3.1. Précipitations	50
IV.3.2. Températures :	51
IV.3.3. Ensoleillement :	52
IV .4. Données expérimentales :	52
IV.5. Organigramme de calcul du rayonnement solaire :	54
IV.5.1. Déclinaison du soleil :	55

IV.5.2 Equation du temps	56
IV.5.3. Durée d'insolation :.....	56
IV.5.4. Angle horaire au Lever et coucher du soleil :.....	57
IV.5.7. L'inclinaison du panneau β	58
IV.5.8. Azimut α	58
IV.5.9. Angle d'incidence	58
IV.5.10. Calcul du rayonnement solaire direct sur un plan récepteur perpendiculaire, sur un plan incliné fixe et sur un plan horizontal :.....	60
IV.5.10.1. Rayonnement solaire direct sur un plan horizontal :	60
IV.5.10.2. Calcul du rayonnement diffus sur un plan horizontal :.....	61
IV.5.10.3. Rayonnement solaire direct sur un plan incliné :	61
IV.5.10.4. Calcul du rayonnement diffus sur un plan incliné :.....	62
CONCLUSION GENERALE :	66
REFERENCE :	67

NOMENCLATURE

Symbole	Définition	Unité
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).	[°]
W _{ss} , w _{sr}	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
G	Éclairement global	[W/m ²]
θ	Angle d'orientation de capteur	[°]
β	Angle d'inclinaison de capteur	[°]
IO	Constante solaire.	[W/m ²]
TL	Facteur de trouble de Linke.	

S	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]
Si	Irradiation directe sur plan incliné.	[W/m ²]
Di	Irradiation diffuse sur plan incliné.	[W/m ²]
Gi	Irradiation globale sur plan incliné.	[W/m ²]
i	Angle d'incident	[°]
γ	Hauteur du capteur.	[°]
α	Inclinaison du capteur.	[°]
a	Azimut du capteur.	[°]

LISTE DES FIGURES

Chapitre I

Figure.I.1: Etoile du soleil	4
Figure.I.2 : Mouvement de la terre autour du Soleil.....	5
Figure.I.3 : Trajectoire du soleil pour chaque mois.....	6
Figure.I.4 : Normes de mesures du spectre d'énergie lumineuse émis par le soleil, notion de la convention AM	7
Figure.I.5 : La structure de l'atmosphère.....	8
Figure.I.6 : énergie solaire.....	9
Figure.I.7: Différents modes d'exploitation de l'énergie solaire.....	10
Figure.I.8 : Rayonnements solaires sur un panneau horizontal et un panneau incliné.	12
Figure.I.9 : Définition de l'orientation et de l'inclinaison d'un panneau.....	13
Figure.I.10 : Les différentes zones énergétiques dans l'Algérie.	14

Chapitre II

Figure.II.1: Les trois différents types de rayonnement solaire.....	19
Figure.II.2: Définition des coordonnées horizontales.....	22
Figure.II.3: Définition des coordonnées terrestres.....	24
Figure.II.4: organigramme simplifié permettant le traçage du diagramme solaire pour une latitude donnée.....	24
Figure.II.5: Définition des angles pour un plan incliné : inclinaison β , azimut α et angle d'incidence.....	25

Chapitre III

Figure.III.1: Schéma du système solaire thermique	33
Figure.III.2: Schéma représentant les composants de la production d'eau chaude sanitaire	33
Figure.III.3: Schéma représentant le circuit de fonctionnement du système solaire thermique	34
Figure.III.4: Schéma de la technologie solaire.....	34
Figure.III.5: Schéma représentant le fonctionnement du capteur solaire à air.....	35
Figure.III.6: Schéma montrant l'effet photovoltaïque.....	36
Figure.III.7: Schéma d'installation photovoltaïque raccordé au réseau	37
Figure.III.8: intégration des capteurs en toiture incliné.....	39
Figure.III.9: intégration des capteurs en toiture terrasse.....	39
Figure.III.10 Intégrations des capteurs en façade.....	40

Figure.III.11: Les capteurs solaires en garde-corps.....	40
Figure.III.12: Définition de l'angle d'azimut et hauteur de l'obstacle Obstacle.	42
Figure.III.13: Héliographe de Campbell	44
Figure.III.14: Pyranomètre d'Eppley	45
Figure.III.15: le rendement des capteurs solaires en référence de l'échelle de performance énergétique.	45
Figure.III.16: Vue du côté Sud et du coté Est de la maison.....	46
Figure.III.17: Schéma du système photovoltaïque connecté au réseau électrique BT installé.....	47

Chapitre IV

Figure. IV.1: Représentation de l'énergie solaire reçue au sol.....	49
Figure. IV.2: Localisation de la Wilaya de MOSTAGANEM.....	50
Figure. IV.3: Courbe des moyennes mensuelles des températures sur la période 1999-2010.	51
Figure. IV.4: Organigramme de calcul le rayonnement solaire sur les panneaux	54
Figure. IV.5: montre l'évolution de la déclinaison solaire au cours de l'année.	55
Figure IV.6: montre l'évolution de la déclinaison solaire au cours de l'année	56
Figure IV.7: Durée d'insolation	56
Figure IV.8: Moyenne mensuelle de l'insolation en heures.....	57
Figure IV.9: variation de la Hauteur du soleil (h)au cours de l'année.	58
Figure IV.10: variation de l'Azimut du soleil (a) au cours de l'année.....	59
Figure IV.11: variation de l'Inclinaison du panneau (β).....	59
Figure IV.12: l'angle horaire au cour d'année.	59
Figure IV.13: variation le rayonnement solaire direct sur plan horizontal au cours de l'année	62
Figure. IV.14: variation le rayonnement solaire diffus sur un plan incliné au cours de l'année	63

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I

Tableau. I.1: Spectre électromagnétique.	6
Tableau. I. 2: La durée d'ensoleillement par région en Algérie.	14

Chapitre IV

Tableau. IV.1: Caractéristiques géographiques de la Wilaya de Mostaganem.	50
Tableau. IV.2: Moyennes mensuelles des températures sur la période 1999-2010.	51
Tableau. IV.3: Les différents phénomènes agissants sur l'ensoleillement pour la wilaya de Mostaganem (Nombre moyen de jours)	52
Tableau. IV.4: Résultats des calculs	55
Tableau. IV.5: Moyenne mensuelle de l'insolation en heures.	56
Tableau. IV.6: Angle horaire au Lever et coucher du soleil au cours de l'année à Mostaganem.	57
Tableau. IV.7: Hauteur du soleil, Azimut, Inclinaison β , Angle horaire, Angle d'incidence au cours de l'année à Mostaganem.	58
Tableau IV.8: Le rayonnement solaire direct sur un plan récepteur perpendiculaire, sur un plan incliné fixe et sur un plan horizontal.	62

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE :

Les réglementations thermiques successives poussent les bâtiments à consommer de moins en moins d'énergie. Les performances énergétiques accrues des bâtiments passent notamment par une bonne utilisation du rayonnement solaire en tant que source de chaleur (en évitant les surchauffes), de lumière ou d'énergie pour les panneaux solaires. Si les principes de conception permettant de bien profiter de ce rayonnement sont connus à l'échelle d'un bâtiment, les travaux portant sur la recherche des bonnes configurations de bâtiments à l'échelle du quartier sont en plein développement.

L'énergie solaire occupe une place très importante parmi les différentes sources d'énergies renouvelables. Un effort accru existe depuis ces dernières décennies pour développer l'utilisation directe de cette forme d'énergie afin de la transformer en chaleur, en électricité ou en une forme d'énergie chimique plus facilement stockable. Le soleil décharge continuellement une énorme quantité d'énergie radiante dans l'espace. Une moyenne de 1367 Watts atteint chaque mètre carré du bord externe de l'atmosphère terrestre. La part d'énergie reçue sur la surface de la terre dépend de l'épaisseur de l'atmosphère à traverser.

Une connaissance précise de la distribution de l'irradiation solaire sur un site géographique particulier est d'une grande importance pour le développement des systèmes photo thermiques ou photovoltaïques, Le manque de moyens de mesure et le non disponibilité de stations météorologiques à grande échelle, représentent des difficultés qui ont permis aux chercheurs d'établir des méthodes d'estimation du rayonnement solaire en se basant sur les données météorologiques.

Afin produire un niveau élevé de l'énergie un module photovoltaïque ou un capteur solaire thermique doit être incliné de façon perpendiculaire aux rayons du soleil. Ceci est très généralement impossible et cela est dû au changement de position du soleil au long de la journée en termes d'heures de lumière du jour et aussi la position change en fonction des saisons de l'orientation optimale de l'angle d'inclinaison des panneaux, s'avère la méthode idéale pour optimiser la production d'énergie.

Le présent travail est reparti en quatre chapitres :

➤ Dans le premier chapitre nous donnerons quelques connaissances de l'énergie solaire, et aussi des rappels sur les aspects physiques du rayonnement solaire (caractéristique, nature...),

les différents phénomènes physiques qui seront sujettes à ce rayonnement, la structure de l'atmosphère et ces effets sur le rayonnement solaire.

➤ Au second chapitre, nous présenterons les paramètres et les relations essentiels liant la position du soleil, la latitude et l'angle horaire pour l'estimation des énergies captées par les systèmes solaires.

➤ Le troisième chapitre, rassemble des généralités sur l'architecture solaire et son intégration dans le projet architecturale, l'efficacité énergétique des panneaux solaires dans les équipements de haute consommation énergétique.

➤ Quatrième chapitre portera sur la région de Mostaganem. Nous évoquerons sa situation géographique ainsi que ses différentes caractéristiques climatiques et son potentiel énergétique. Nous mettrons en évidence les différentes procédures de calcul et les résultats du rayonnement solaire direct et diffus sur un plan horizontale et inclinée.

Et on termine avec une conclusion regroupant les différents aspects étudiés

**CHAPITRE I : L'ENERGIE
SOLAIRE : UN AVENIR
ENERGETIQUE DURABLE**

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].



Figure. I. 1: Etoile 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 36.1022 kW, dont la terre en reçoit 1,8.1017 kW de cette énergie pendant une seconde.

I.2. MOUVEMENT DE LA TERRE AROUND DU SOLEIL :

La terre décrit du autour du soleil une orbite elliptique quasi-circulaire avec une période de 365.25 jours (figure I.10). Le plan de cette orbite est appelé plan de l'écliptique. C'est au solstice d'hiver (21 décembre) que la terre est la plus près du soleil : 147millions de km et au solstice d'été qu'elle en est la plus éloignée : 152 millions de km, la distance moyenne étant de 149.5 million de km. La terre coupe le petit axe de son orbite aux équinoxes de printemps (21 mars) et d'automne (21 septembre). Elle tourne sur elle-même avec une période de 24 heures. Son axe de rotation (l'axe des pôles) a une orientation fixe dans l'espace, il fait un angle δ avec la normale du plan de l'écliptique [1].

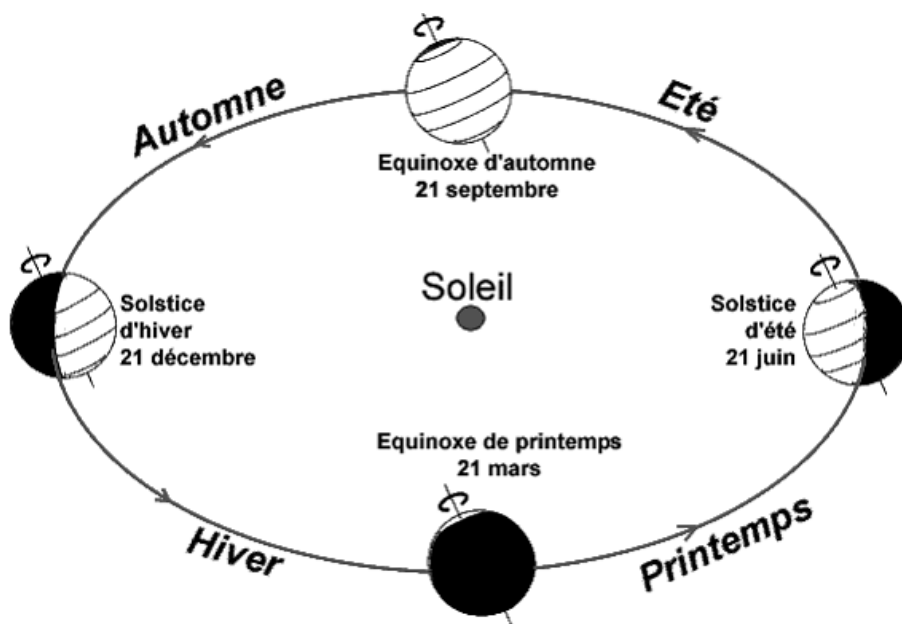


Figure. I.2: Mouvement de la terre autour du Soleil.

I.3.TRAJECTOIRE DU SOLEIL

Pour un observateur situé sur la surface de la terre, le soleil décrit une trajectoire apparente qui dépend de la latitude et la longitude du lieu où il se trouve. Rappelons que la latitude est la distance angulaire d'un point quelconque du globe par rapport à l'équateur (de 0 à 90° dans l'hémisphère nord). Quant à la longitude, c'est également un angle, donné par rapport au méridien de Greenwich (arc de cercle passant par les deux pôles et la ville de Greenwich en Angleterre) en se déplaçant vers l'Est. retrace les trajectoires décrites par le soleil pour un lieu donné. On peut y lire la hauteur et l'azimut du soleil pour un instant quelconque de l'année.

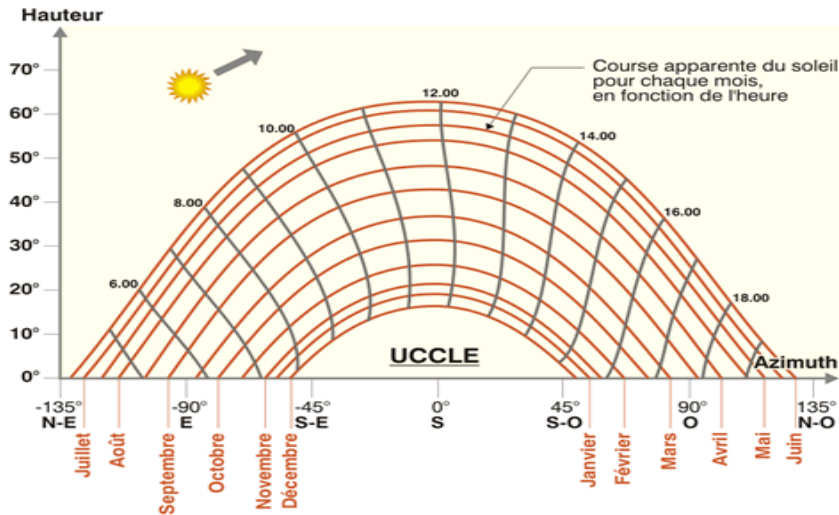


Figure. I .3: Trajectoire du soleil pour chaque mois .

I.4. ROLE DE L'ATMOSPHERE :

I.4.1. 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) [3]

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.

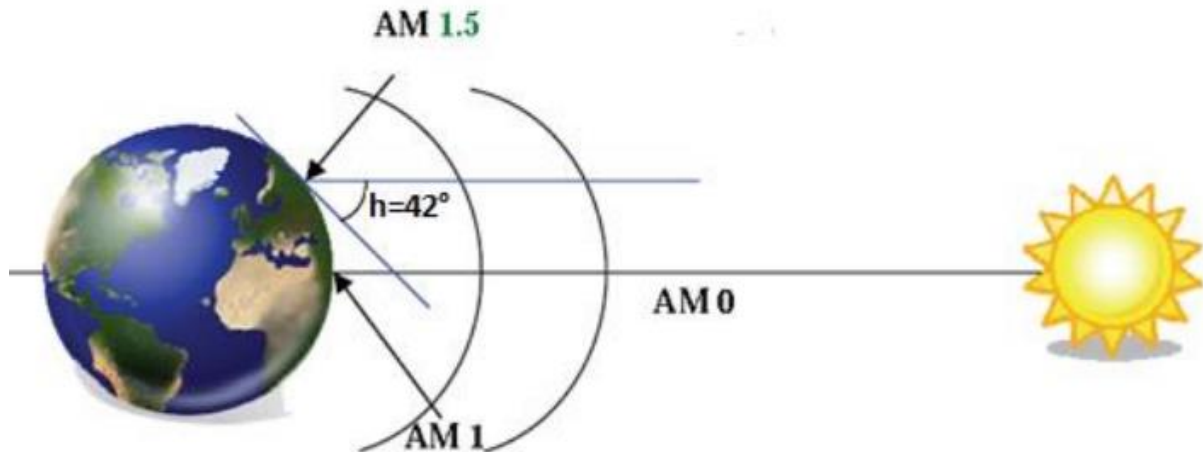


Figure. I .4 :Normes de mesures du spectre d'énergie lumineuse émis par le soleil, notion de la convention AM .

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

I.4.2. Structure de l'atmosphère :

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'Heaviside); 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].

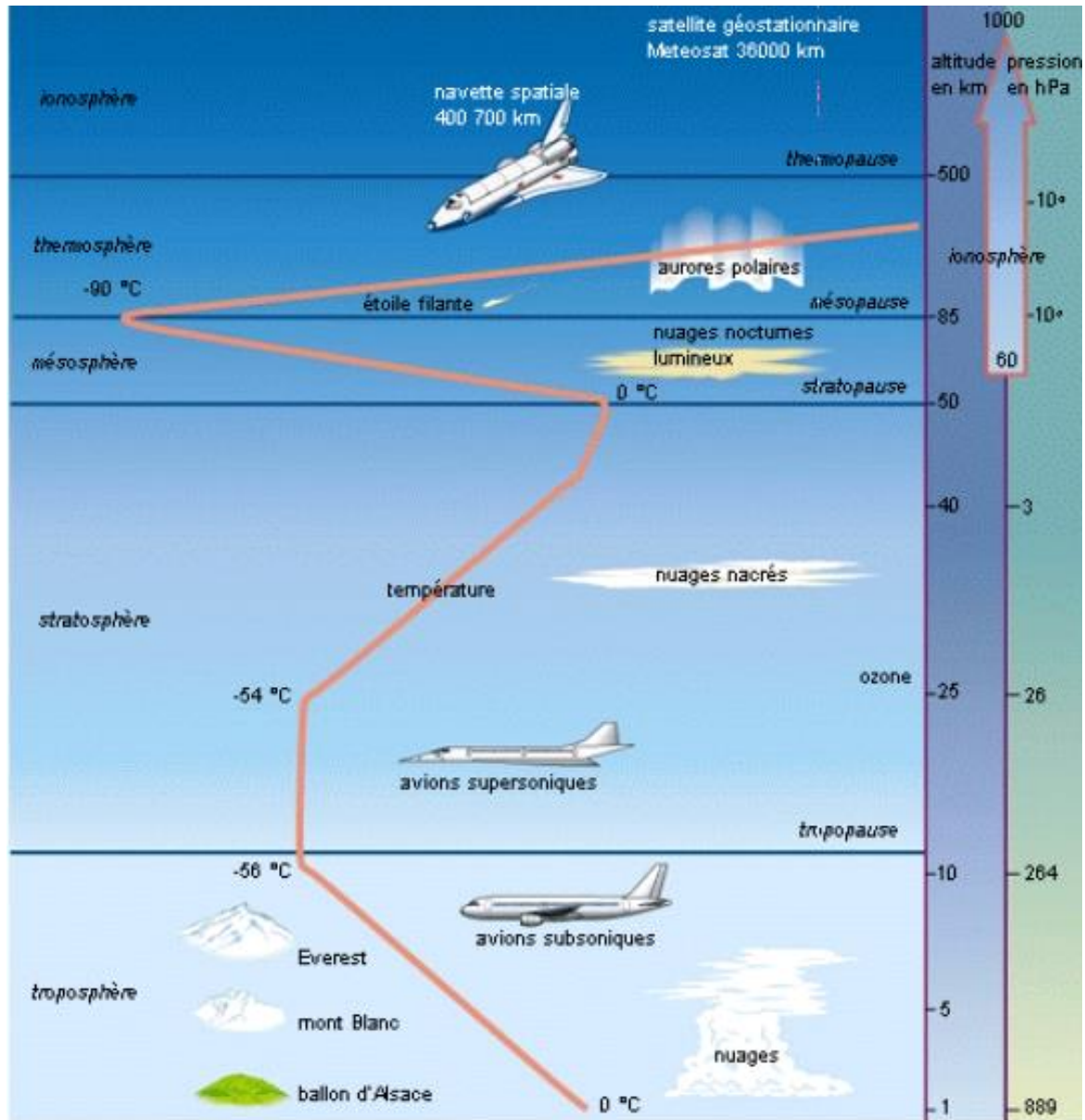


Figure I.5 : La structure de l'atmosphère.

I.4.3. 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

I.5. QU'EST-CE QUE L'ENERGIE SOLAIRE ?

L'énergie solaire est une source d'énergie qui dépend du soleil. Cette énergie permet de fabriquer de l'électricité à partir de panneaux photovoltaïques (figure1.1) ou des centrales solaires thermiques, grâce à la lumière du soleil captée par des panneaux solaires.[5]



Figure I.6.: énergie solaire.

I .5.1. Un peu d'histoire :

Augustin Mouchot commence à s'intéresser à l'énergie solaire en En 1873, une subvention du conseil général de Tours lui permet de construire un four solaire de 4 m² qu'il présente à l'Académie des sciences en octobre En 1877, une subvention du conseil général d'Alger lui permet de construire sur le même principe un « grand appareil de 20 m² » qui reçoit une Médaille d'Or à l'Exposition universelle de En août 1882, lors de la Fête de l'Union française de la jeunesse, Abel Pifre utilise un récepteur solaire d'Augustin Mouchot pour actionner une machine à vapeur qui lui permet de tirer un journal.En 1860 Augustin Mouchot a fonctionné une presse d'imprimerie en chauffant l'eau de la machine à vapeur qui l'entraînait par un miroir concave axé sur le soleil [5]

I.5.2. Les bases de l'énergie solaire :

Le Soleil est à l'origine de nombreuses énergies renouvelables. Ainsi peut-on considérer l'énergie solaire comme une ressource énergétique renouvelable fondamentale dans le monde. Il y a cependant différentes sortes d'énergie solaire :

- ✚ L'énergie solaire historique : les combustibles fossiles (non renouvelables) ;
- ✚ La conversion directe de l'énergie solaire en électricité : le photovoltaïque ;
- ✚ La conversion directe de l'énergie solaire en chaleur : le solaire thermique ;
- ✚ L'énergie solaire indirecte par la photosynthèse : la biomasse.

Dans cette section, nous allons nous préoccuper seulement des formes dites 'classiques' de l'énergie solaire, c'est-à-dire le solaire thermique et le solaire électrique (photovoltaïque) [6]

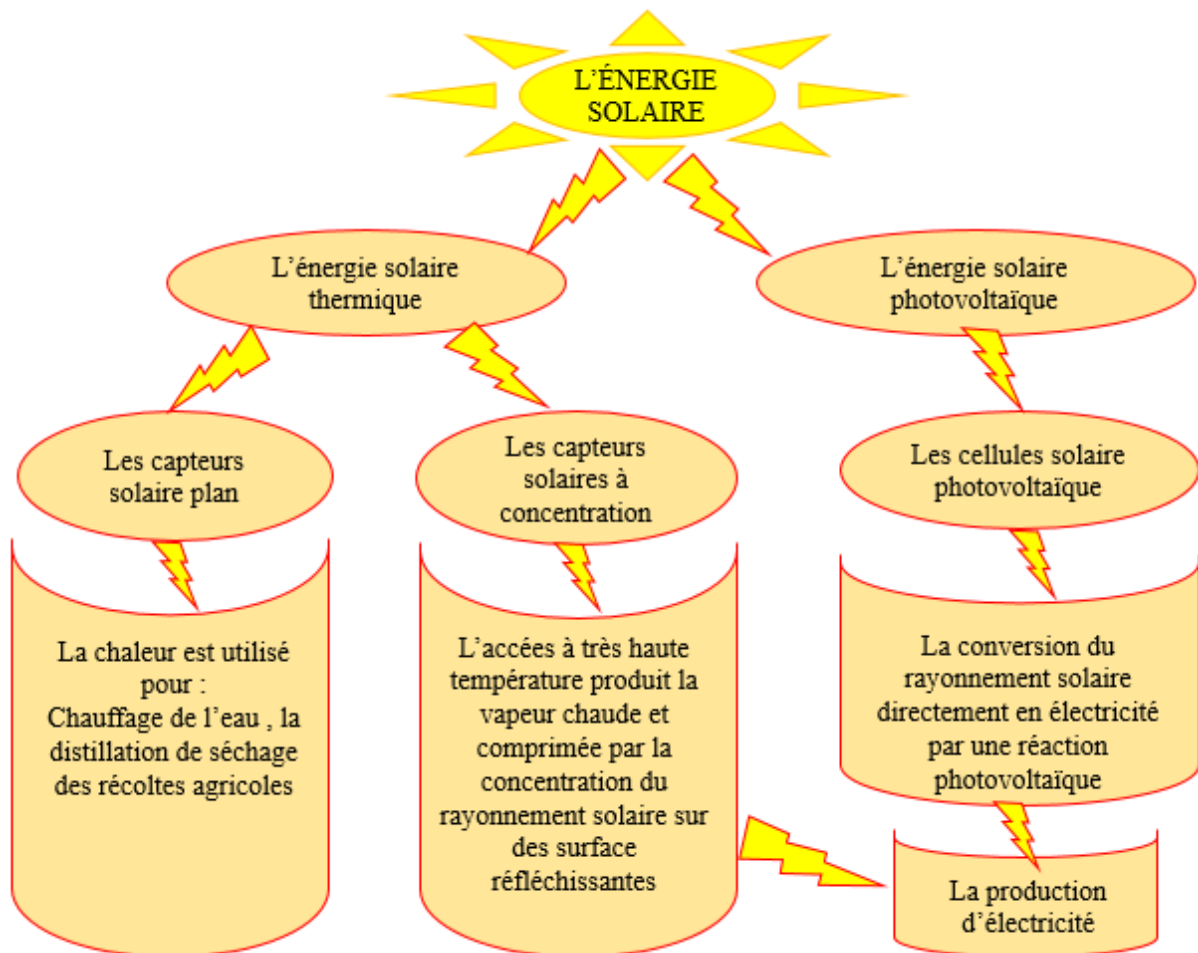


Figure I.7 : Différents modes d'exploitation de l'énergie solaire

1.6. CAPTEURS SOLAIRE :

-Définition

Un capteur solaire est défini comme tout système recevant l'énergie solaire est la transformant en une énergie utile.

1.6.1. Types de capteurs solaires

Il existe des différentes méthodes pour capter l'énergie solaire provenant d'un rayonnement incident. Principalement il y a deux types de capteurs solaires :

- Les capteurs solaires photovoltaïques : qui transforment l'énergie lumineuse en énergie électrique. L'effet photovoltaïque constitue la conversion directe de l'énergie du rayonnement solaire en énergie électrique.
- Les capteurs solaires thermiques : qui transforment l'énergie lumineuse en énergie thermique. Un capteur solaire thermique est un dispositif destiné à absorber le rayonnement solaire et à transmettre la chaleur ainsi produite à un fluide caloporteur[7]

I.6.2 Orientation et inclinaison des capteurs solaires :

La position des modules photovoltaïques (ou capteurs thermiques) par rapport au soleil influe directement sur leur production énergétique. Il est très important de bien les placer pour les utiliser au maximum de leurs possibilités. On appelle orientation le point cardinal vers lequel est tournée la face active du panneau (sud, nord, sud-ouest...) quant à l'inclinaison, elle indique l'angle que fait le panneau avec le plan horizontal, elle se compte donc en degrés (figure I.8).

I.6.3 Pourquoi orienter un panneau solaire ?

Un panneau solaire transforme l'énergie du soleil en énergie électrique : Le panneau est constitué de couches de silicium chargées positivement et négativement. Quand les rayons du soleil entre en contact avec le panneau, il fournit de l'énergie qui permet de réaliser une réaction entre les couches : Cela crée une différence de potentiel électrique et donc crée un courant électrique qui peut charger des batteries. De plus, plus le panneau reçoit d'énergie solaire, plus il produit d'électricité. Cela a amené les chercheurs à réfléchir comment optimiser la réception d'énergie. Après quelques recherches, ils ont découvert que le panneau reçoit mieux les rayons du soleil si ceux-ci arrivent perpendiculairement au plan formé par le panneau (comme sur l'image de à gauche de la figure I.9). Il y a plusieurs raisons à cette position :

- La réflexion est quasi nulle quand le panneau est de face
- , -Comme nous montre la figure à gauche, la surface sur laquelle les rayons tapent est réduite quand le panneau n'est pas perpendiculaire aux rayons.

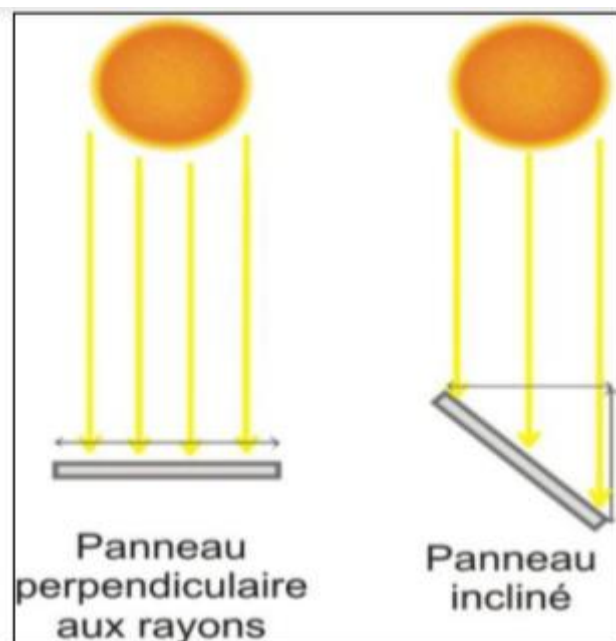


Figure I.8 : Rayonnements solaires sur un panneau horizontal et un panneau incliné.

I.6.4 Comment orienter et incliner les capteurs solaires ?

Quand on a le choix, l'orientation idéale d'un capteur solaire obéit à une règle très simple à retenir : vers l'Equateur, ce qui donne : - Orientation vers le Sud dans l'hémisphère nord, - Orientation vers le Nord dans l'hémisphère sud. En ce qui concerne l'inclinaison, c'est un peu plus compliqué. Prenons d'abord le cas d'une application autonome qui consomme une énergie quasi constante tout au long l'année. L'hiver étant la période la moins ensoleillée, c'est à cette période qu'il faut optimiser la production.

Les capteurs doivent donc pouvoir récupérer l'énergie d'un soleil dont la hauteur est faible. Il en résulte qu'en Europe, pour une utilisation annuelle, l'inclinaison idéale est environ égale à la latitude du lieu + 10° (pour une orientation sud). [8]

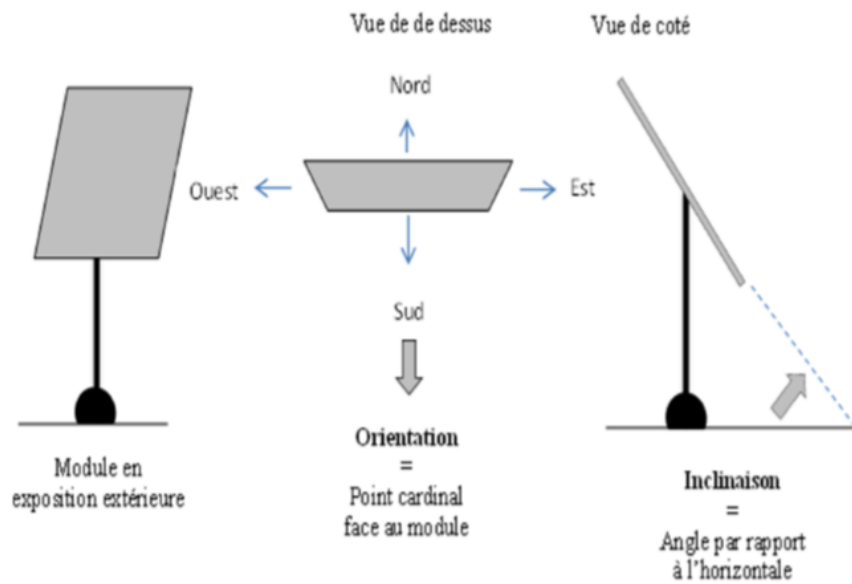


Figure I.9 : Définition de l'orientation et de l'inclinaison d'un panneau.

Cette orientation Sud n'est pas toujours possible sur une habitation à cause de son implantation par rapport aux points cardinaux. Si on exclut généralement les orientations Nord, Nord-Est et Nord-Ouest qui sont vraiment trop défavorables il est par contre envisageable de placer des capteurs vers l'Est et l'Ouest. En effet, par rapport à un emplacement idéal à 30° Sud, on ne perdra pas plus de 15% en production annuelle, pour les orientations Est, Ouest, Sud-Ouest et Sud-Est si l'inclinaison ne dépasse pas 30° par rapport à l'horizontale [12].

Il est nécessaire de connaître les coordonnées du soleil par rapport à l'endroit où on va placer les capteurs pour mieux les orienter vers lui et maximiser ainsi l'énergie interceptée par ces derniers. Dans ce qui suit on va présenter des notions concernant le mouvement et de la terre et du soleil.

I.7. LE POTENTIEL SOLAIRE EN ALGERIE. :

L'Algérie possède un gisement solaire parmi les gisements plus élevés dans le monde. La durée moyenne d'ensoleillement dans le Sahara algérien est de 3500 heures. Ce potentiel peut constituer un facteur important de développement durable dans cette région s'il est exploité de manière économique. Le tableau dessous indique le taux d'ensoleillement pour chaque région de l'Algérie. Le volet de l'énergie solaire le plus utilisé dans notre pays est le solaire photovoltaïque mais les autres volets solaires thermiques et thermodynamiques restent toujours au stade d'expériences. [10]

Régions	Région côtière	Hauts plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (heures/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (KWh/m ² /an)	1700	1900	2650

Tableau. I 2:La durée d'ensoleillement par région en Algérie.

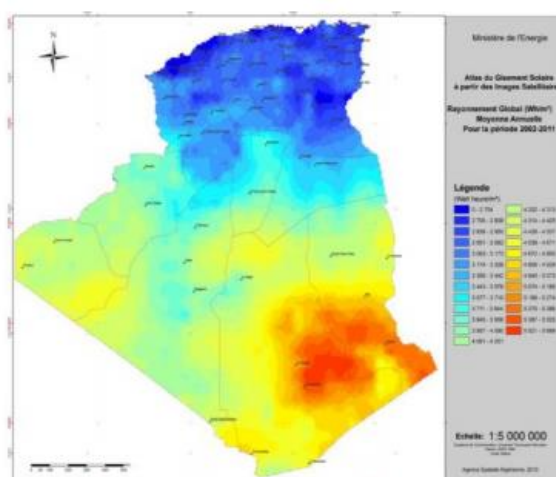


Figure I.10 :Les différentes zones énergétiques dans l'Algérie.

I.8. AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS DE L'ENERGIE SOLAIRE :

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • La source d'énergie solaire (soleil) est une source naturelle, gratuite 	<ul style="list-style-type: none"> • Les prix de fabrication et d'installation des panneaux sont assez élevés,
<ul style="list-style-type: none"> • Le système d'exploitation de l'énergie solaire est silencieux et sans danger pour les humains, 	<ul style="list-style-type: none"> • Un panneau solaire a une durée de vie de 25 ans environ au-delà , les rendements diminuent rapidement.
<ul style="list-style-type: none"> • Utilisable immédiatement et par tous 	<ul style="list-style-type: none"> • La taille des installation :il faut en effet de grandes superficies de panneaux solaire pour produire de l'énergie
<ul style="list-style-type: none"> • Rendement très bon ,surtout lorsque son utilisation est axée sur la transformation en chaleur qui concerne le chauffage solaire 	<ul style="list-style-type: none"> • Une production d'énergie irrégulière a cause du temps les panneaux produisent beaucoup l'été mais les besoins en hiver est plus faible alors que les besoins sont élevés
<ul style="list-style-type: none"> • Très bien rependue , et on l'utilise sur place 	

I.9.CONCLUSION :

L'énergie solaire est l'une des ressources renouvelables les plus abondantes sur terre, le flux d'énergie solaire reçu annuellement sur la surface de la terre représente environ 15000 fois la consommation d'énergie. Dans ce chapitre nous avons décrit en générale les différents moyens d'interception de l'énergie solaire. En effet, l'énergie solaire est actuellement exploitée selon deux techniques : La conversion du rayonnement solaire en chaleur par des capteurs thermiques c'est le solaire thermique. La conversion directe du rayonnement lumineux en électricité par des capteurs (Cellule photovoltaïque) c'est le solaire photovoltaïque. La production d'énergie à partir du soleil est liée à son intensité, à la durée d'ensoleillement et à l'orientation du capteur par rapport au soleil.

CHAPITRE II :

RAYONNEMENT SOLAIRE

II .1. INTRODUCTION :

Plusieurs paramètres peuvent influencer l'énergie captée par un système photovoltaïque. le mouvement apparent de la terre et son influence sur la définition du jour et du temps, la position du soleil, l'orientation et l'inclinaison du capteur, la situation géographique, quelques grandeurs qui sont en relation avec l'évaluation de l'irradiation solaire. Dans ce chapitre on va parler sur L'énergie solaire et présenter le rayonnement solaire hors atmosphère et le rayonnement solaire au niveau du sol

II .2. ENERGIE SOLAIRE :

Il existe deux types d'énergie solaire : le solaire photovoltaïque et le solaire thermique. Décrit par le physicien français Antoine Becquerel (le grand-père du découvreur de la radioactivité), l'effet photovoltaïque est simple dans son principe. Les modules photovoltaïques se composent de cellules constituées de matériau semi-conducteur tel que le silicium, qui abrite donc des électrons. Excités par les rayons du soleil, les électrons entrent en mouvement et produisent de l'électricité. L'énergie solaire photovoltaïque est surtout utilisée pour la fourniture d'électricité dans les sites isolés : électrification rurale et pompage de l'eau (50%), télécommunications et signalisation (40%), applications domestiques (10%). À la différence du solaire photovoltaïque, le solaire thermique ne produit pas d'électricité mais de la chaleur. Grâce à de grands panneaux sombres dans lesquels circulent de l'eau, on récupère la chaleur du soleil pour chauffer l'eau. Cela permet notamment d'alimenter des chauffe-eau solaires. [15]

II .3. CAPTER L'ENERGIE SOLAIRE :

Pour capter directement une partie de cette énergie sont disponibles et sont constamment améliorées. On peut distinguer le solaire passif, le solaire photovoltaïque et le solaire thermique.

II .3.1. ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE :

L'énergie solaire photovoltaïque est l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire avec une cellule photovoltaïque. Plusieurs cellules sont reliées entre elles sur un module solaire photovoltaïque. Plusieurs modules sont regroupés pour former une installation solaire chez un particulier ou dans une centrale solaire photovoltaïque. L'installation solaire peut alimenter un besoin sur place (en association avec un moyen de stockage) ou être injectée, après transformation en courant alternatif, dans un réseau de distribution électrique .[15]

II .3.2. Energie solaire thermique :

Le solaire thermique consiste à utiliser la chaleur du rayonnement solaire. Il se décline de différentes façons :

- ✓ En usage direct de la chaleur : chauffe-eau et chauffages solaires, cuisinières et sécheuses solaires.
- ✓ En usage indirect, la chaleur servant pour un autre usage : rafraichissement solaire, centrales solaires thermodynamiques.[15]

II .3.3. ENERGIE SOLAIRE THERMODYNAMIQUE :

L'énergie solaire thermodynamique est une technique solaire qui utilise le solaire thermique pour produire de l'électricité, ou éventuellement directement du travail mécanique (le terme solaire mécanique est alors employé), sur le même principe qu'une centrale électrique classique (production de vapeur à haute pression qui est ensuite turbinée). .[15]

II.4. RAYONNEMENT SOLAIRE HORS ATMOSPHERE :

Le rayonnement extraterrestre est le rayonnement solaire hors atmosphère. Pour un point donné, il est caractérisé par une donnée fondamentale appelée constante solaire. Le rayonnement extraterrestre sur une surface horizontale peut être calculé pour un jour précis N_j de l'année par l'équation suivante :

$$H_o = C_s / \pi [\cos(\phi)\sin(\omega) + \omega s \sin(\delta)\sin(\phi)]$$

Où

N_j : Nombre de jours dans l'année.

C_{S0} : Constante solaire. (Elle est égale à 1367W/m²).

ϕ : Latitude.

δ : Déclinaison solaire.

Le rayonnement hors atmosphère de la terre est représenté et les paramètres géométriques du soleil et du collecteur sont déterminés ; puis la proportion du rayonnement atteignant le dispositif, qui dépend de plusieurs facteurs géométriques (latitude, azimut, etc..) et environnementaux (absorption par vapeur d'eau, gaz, etc.)

II.5. DUREE D'INSOLATION :

La durée d'insolation correspond au nombre d'heures dans la journée, entre le lever et coucher du soleil, où celui-ci est bien visible. Le relevé est fait au moyen de l'héliographe de Campbell-Stokes dans lequel une sphère de cristal concentre les rayons du soleil sur un papier qu'il brûle en se déplaçant. Ainsi, seuls les moments où le soleil est bien visible sont enregistrés ; on parle alors de durée d'insolation réelle ou effective et dépend du fait que le soleil levé soit visible du point d'observation ou caché par les nuages. Au défaut de l'héliographe, il est possible à partir du calcul du mouvement astronomique relatif du soleil et de la terre d'évaluer la durée théorique du jour ; c'est-à-dire, celle qu'il y aurait si les nuages ne cachaient pas le soleil. Cette durée est calculée en fonction de la latitude du site et de la déclinaison apparente qu'elle-même dépend de la période de l'année considérée. .[17]

II.6. RAYONNEMENT SOLAIRE AU NIVEAU DU SOL :

Au sol le rayonnement global reçu par une surface plane d'inclinaison quelconque est constitué de plusieurs composantes principales :

II.6.1. Rayonnement direct : Il est directement du soleil, sans diffusion par l'atmosphère. Ses rayons sont parallèles entre eux. Il forme donc des ombres et peut être concentré par des miroirs.

II.6.2. Rayonnement diffus : Il est constitué par la lumière diffusée par l'atmosphère (air, nébulosité). Il est le rayonnement qui arrive au niveau au sol après avoir subi des collisions avec les constituants atmosphériques.

II.6.3. Rayonnement réfléchi ou l'albédo du sol : C'est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface. Cet albédo peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige, etc....). .[19]



Figure. II 1: Les trois différents types de rayonnement solaire.

II.7. PARAMETRES DE POSITION DU SOLEIL :

Pour un lieu donné le soleil est repéré à chaque instant de la journée et de l'année par deux systèmes de coordonnées différents :

- Par rapport au plan équatorial de la terre (repère équatorial).
- Par rapport au plan horizontal du lieu (repère horizontal)

II.7.1. Coordonnées équatoriales :[16]

L'équateur est une ligne fictive de séparation entre l'hémisphère nord et l'hémisphère sud, définie par un plan perpendiculaire à l'axe des pôles. Le méridien est le plan du lieu passant par l'axe des pôles. Le mouvement du soleil est repéré par rapport au plan équatorial de la terre à l'aide de deux angles (δ , ω).

a) Déclinaison(δ) :

C'est l'angle entre la direction terre-soleil et le plan équatorial. La déclinaison varie de (-23°45') au solstice d'hiver à (+23°45') au solstice d'été et elle est nulle aux équinoxes. Elle est bien représentée par la formule suivante :

$$\delta(^{\circ}) = 23.45.\sin((2\pi /365).(284 + N_j))$$

δ varie entre deux valeurs extrêmes : $-23.45^{\circ} \leq \delta \leq +23.45^{\circ}$ Les équinoxes sont les deux dates de l'année où le soleil traverse le plan équatorial : sa déclinaison est alors nulle et les durées du jour et de la nuit sont égales. L'équinoxe d'automne intervient vers le 22 septembre et l'équinoxe de printemps vers le 22 mars, dans l'hémisphère Nord. Dans l'hémisphère nord, le solstice d'été (vers le 21 juin) est la période au cours de laquelle la durée qui sépare le lever et le coucher du soleil cesse de croître. Le solstice d'hiver (vers le 21 décembre) est la période au cours de laquelle cette durée cesse de décroître. Les saisons sont inversées dans l'hémisphère sud.

b) Angle horaire du soleil :

L'angle horaire (ω) (encore noté AH) du soleil étant l'angle formé par le plan méridien passant par le centre du soleil et le plan vertical du lieu (méridien) définit le temps solaire vrai TSV. C'est la mesure de l'arc de trajectoire solaire compris entre le soleil et le plan méridien du lieu. Exprimé en degrés.

L'angle horaire est donné par l'équation suivante:

$$\omega = 15 (TSV - 12)$$

L'angle horaire ω varie de -180° à 180° .

TSV : est le temps solaire vrai (TSV en heures et ω en degrés), tel que le soleil se trouve au zénith à midi. A chaque heure qui s'écoule correspond une augmentation de l'angle horaire de 15° .

c) Angle horaire au lever et au coucher du soleil :

L'angle horaire du soleil à son coucher ou lever est l'angle horaire solaire correspondant à l'heure où le soleil se couche ou bien le soleil se lève ; il est donné par l'équation suivante

$$\cos \omega_s = -\cos \Phi \tan \delta = \cos^{-1}(-\tan(\Phi) \times \tan(\delta))$$

Où

δ : est la déclinaison

Φ : est la latitude du lieu

II.7.2 Coordonnées horizontales :

Le mouvement du soleil est repéré par rapport au plan horizontal du lieu de latitude ϕ par deux angles azimut (α) et hauteur (h).

d) Hauteur du soleil :

C'est l'angle formé par la direction du soleil et sa projection sur le plan horizontal. $h = 0$: correspond au lever et au coucher du soleil, la hauteur du soleil varie entre $+90^\circ$ et -90° . Il est donné par la relation suivante :

$$\sin(h) = \sin(\Phi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) \cdot \cos(\Phi)$$

Où: ϕ , est la latitude du lieu en degré décimales, δ : la déclinaison soleil en degré et ω , est l'angle horaire du soleil en degré. De la hauteur (h), on peut déduire les heures de lever et de coucher du soleil. On trouve, en faisant $h = 0$, :

$$\cos(\omega_0) = -\tan(\phi) \times \tan(\delta)$$

Et la durée astronomique du jour s'obtient tout aussi facilement en faisant

$$D_0 = 2/15 \times \text{Arc cos} (-\tan(\phi) \times \tan(\delta))$$

e) Zénith

C'est le point le plus élevé de l'hémisphère céleste, se trouvant directement à la verticale de l'observateur. Il est donné par l'équation suivante :

$$\sin(\theta z) = \sin(\Phi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) \cdot \cos(\Phi)$$

Alors

$$\sin(\theta z) = \sin(h)$$

f) Azimut du soleil

C'est l'angle que fait sur le plan horizontal et la projection de la direction du soleil avec la direction du sud. L'azimut du soleil varie à chaque instant de la journée. α : varie entre -180 et +180. On prend : $\alpha > 0$ vers l'ouest.

$\alpha < 0$ vers l'est.

$\alpha = 0$ vers le sud

Il est donné par la relation suivante :

$$\sin(\alpha) = \cos(\delta) \cdot \sin(\omega) / \cos(h)$$

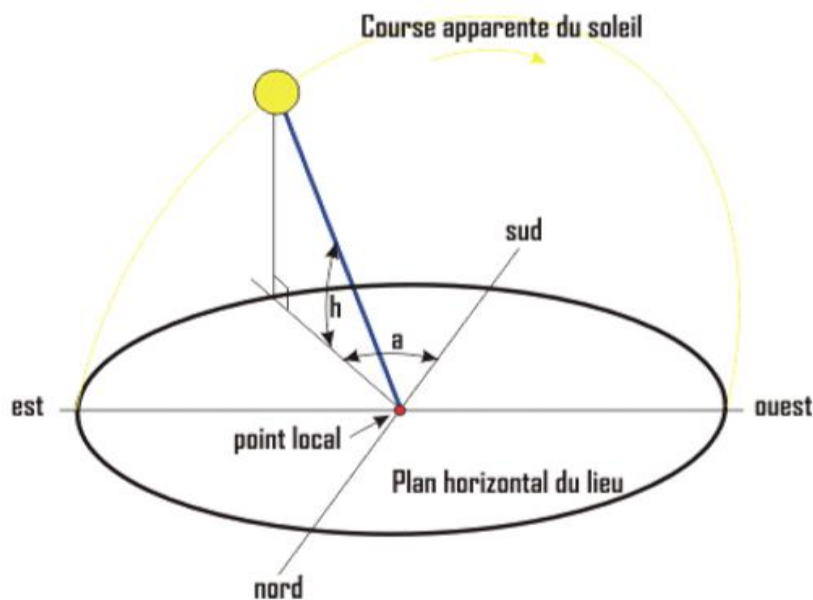


Figure. II .2 :: Définition des coordonnées horizontales.

II.7.3 Paramètres de temps :[16]**g) équation du temps :**

POUR CALCULER LA HAUTEUR DU SOLEIL ET SON AZIMUT, l'équation du temps est nécessaire. Le midi solaire est le moment où le soleil est à sa hauteur maximale. A ce moment-là, il se positionne dans la direction Sud ou Nord, selon qu'on se trouve dans l'hémisphère Nord ou Sud. Le midi solaire diffère du midi local.

Cette différence est appelée équation du temps, elle varie en fonction du jour et de la longitude et est donnée par l'expression suivante :

$$Et = 9.87 \times \sin(720 \times (J - 81/365)) - 7.53 \times \cos(720 \times (J - 81/365)) - 1.5 \times \sin(360 \times (J - 81/365))$$

h) Temps solaire vrai

C'est le temps solaire local corrigé de l'équation du temps, donnée astronomique universelle liée à l'excentricité de l'orbite de la terre autour du soleil :

$$TSV = TLG - DEH + (Et / 60) + (\lambda / 15)$$

Avec, DEH, le décalage horaire, égale à 1 h pour l'Algérie TLG, le temps local en heures.

II.7.4. Coordonnées géographiques :

Les coordonnées géométriques utilisées pour déterminer la localisation d'un point sur la surface terrestre sont : La latitude et la longitude, qui s'expriment en degrés, minutes et secondes d'angle.

i) Latitude du lieu Φ :

L'angle de latitude est l'angle entre une ligne tracée d'un point sur la surface de la terre avec le centre de cette dernière, et le cercle équatorial de la terre. L'intersection du cercle équatorial avec la surface de la terre forme l'équateur, est indiquée en tant que latitude de 0° , le pôle nord par latitude $+90^\circ$ et le pôle sud par la latitude -90° . Φ varie de -90° à $+90^\circ$, tel que : $\Phi > 0$ vers le nord et $\Phi < 0$ vers le sud

j) Longitude λ :

Permet de localiser un point à l'Est ou à l'Ouest d'une ligne Nord- Sud de référence appelée le méridien Greenwich.

λ varie de -180° à $+180^\circ$. tel que : $\lambda > 0$ à l'est du méridien de Greenwich et $\lambda < 0$ à l'ouest du méridien de Greenwich.

k) L'altitude (Z) :

C'est l'altitude d'un point correspondant à la distance verticale entre ce point et une surface de référence théorique (le niveau de la mer = 0), elle est exprimée en mètre.

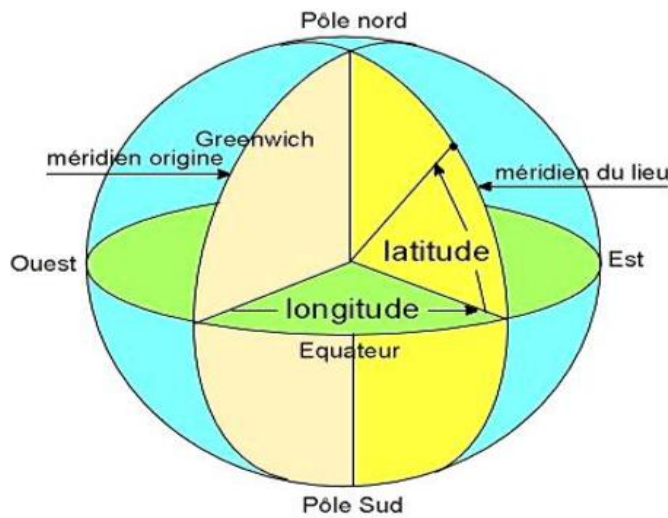


Figure. II 3: Définition des coordonnées terrestres.

II.8. DIAGRAMME SOLAIRE :

L'énergie solaire reçue par un capteur dépend de l'orientation que fait celui-ci avec le soleil ; et pour connaître rapidement les coordonnées horizontales de l'astre du jour en fonction de la journée choisie et de l'heure désirée, on trace un diagramme circulaire appelé diagramme solaire.

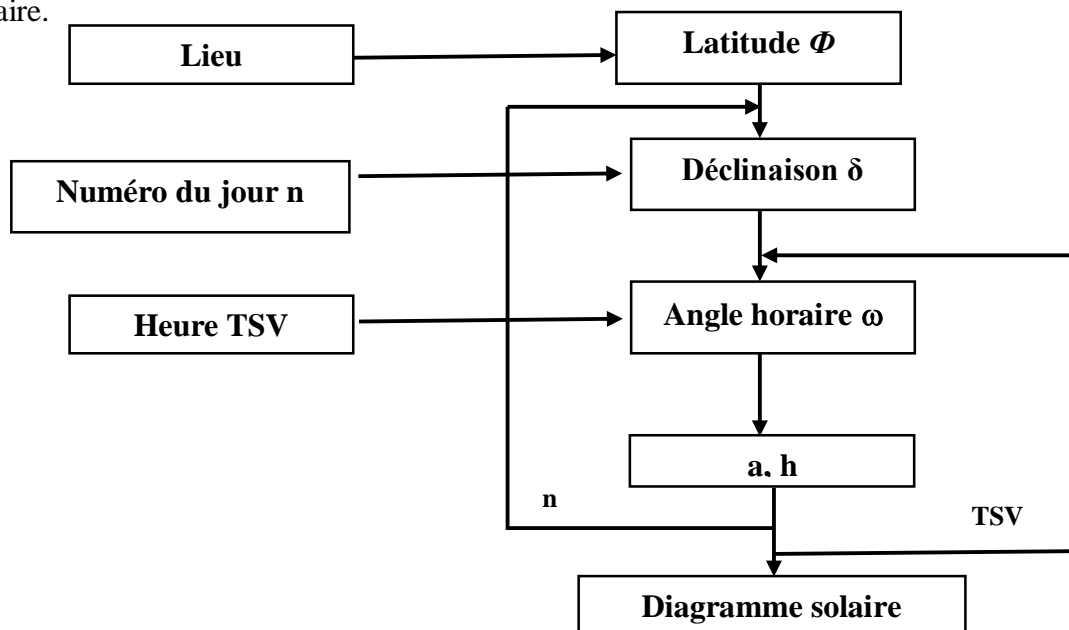


Figure. II. 4 : organigramme simplifié permettant le traçage du diagramme solaire pour une latitude donnée.

II.9. LA HAUTEUR DU CAPTEUR γ :

C'est l'angle que fait la normale du capteur et sa projection sur le plan horizontal [6]. γ varie entre -90° et $+90^\circ$:

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

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 :

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

$\alpha = 180^\circ$ plan Nord orienté vers le Nord. L'inclinaison β du capteur par rapport au plan horizontal est donnée par : $\beta = 90^\circ - \gamma$

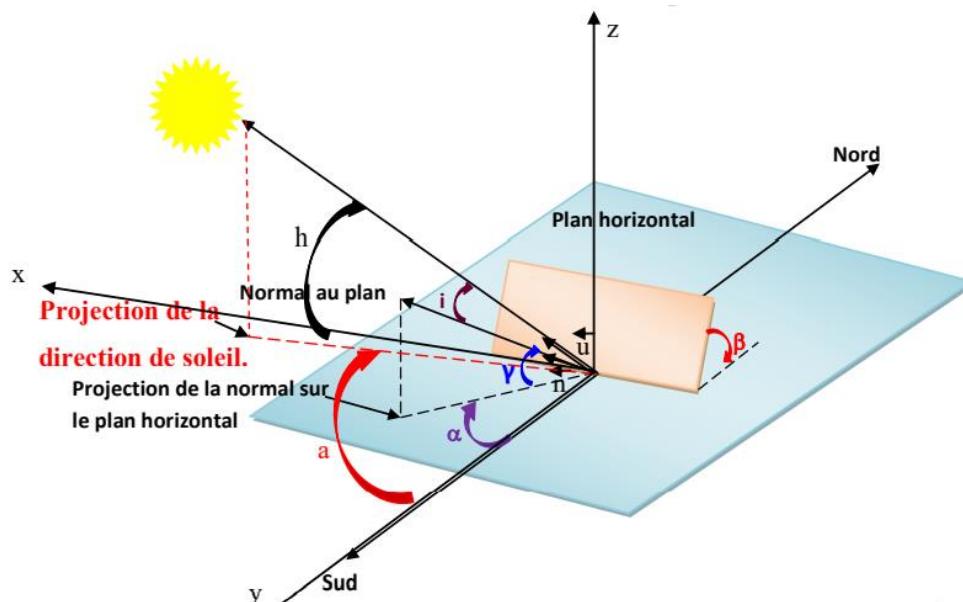


Figure. II.5 :: Définition des angles pour un plan incliné : inclinaison β , azimut α et angle d'incidence i

II.10. ANGLE D'INCIDENCE (θ) :

L'angle entre le rayon incident et la normale au plan considéré. Pour une surface orientée vers le sud et inclinée d'un angle (β) sur l'horizontale. Cet angle peut être déterminé par la connaissance des cosinus directeurs du rayonnement incident et la normale du plan incliné

en coordonnées horizontale du lieu, cet angle dépend des paramètres de la position du soleil et de l'angle d'inclinaison du capteur. Il est défini par :

$$\cos(\theta) = \sin(\delta).\sin(\Phi)\sin(\beta) - \sin(\delta)\cos(\Phi)\sin(\beta)\cos(\alpha)\cos(\Phi)\cos(\beta)\cos(\omega) + \cos(\delta)\sin(\Phi)\sin(\beta)\cos(\alpha)\cos(\omega) + \cos(\delta)\sin(\alpha)\sin(\beta)\sin(\omega)$$

II.11. Calcul du rayonnement solaire direct sur un plan récepteur perpendiculaire, sur un plan incliné fixe et sur un plan horizontal : [20]

Dans cette partie nous avons présenté les rayonnements solaires sur différents plans (horizontale, incliné, et plan tracking), ainsi pour différents temps (journalière, mensuel, Et annuelle). Pour résoudre ce problème, il existe plusieurs formules simplificatrices pour mesurer l'éclairement solaire. La formule précédente définis que le rayonnement global G est la somme des deux composants (directe et diffus) c'est-à-dire :

Le rayonnement global sur un plan horizontal est la somme du rayonnement direct et diffus donné par :

$$G = S + D$$

Où S : le rayonnement direct reçu par une surface horizontale.

D : le rayonnement diffus provenant du ciel, reçu par une surface horizontale.

G: le rayonnement global reçu par une surface horizontale.

II.11.1. Rayonnement solaire direct sur un plan horizontal

Le rayonnement solaire direct reçu sur un plan horizontal peut être déterminé par :

$$S = F*\sin(h)$$

Avec $\sin(h)$ évalué par : $\sin(h) = \sin(\Phi).\sin(\delta) + \cos(\delta).\cos(\omega).\cos(\Phi)$

Où F est le flux incident reçu sur une surface face aux rayons solaires et peut être évalué par :

$$F = ESOL * \exp (TL / (0.9 + 9.4\sin(h))) \text{ [w/m}^2 \text{]}$$

Avec $Esol = 1370 \text{ w/m}^2$ et TL le facteur de trouble de Linke défini comme suit :

$$TL = 2.4 + 14.6B + 0.4(1+2B)\ln(Pv)$$

Où B est le coefficient de trouble atmosphérique qui prend une des valeurs :

B = 0.02 pour un lieu situé en montagne

B = 0.05 pour un lieu rural

B = 0.10 pour un lieu urbain

B = 0.20 pour un lieu industriel (atmosphère polluée)

Pv est la pression partielle de vapeur d'eau , qui se calcule par : $Pv = Pvs \cdot HR$

avec Pvs la pression de vapeur saturante, HR le taux moyen d'humidité relative et

$Pvs = 2.165 \cdot (1.098 + T/100)^{8.02}$ où T est la température de l'air en °C.

II.11.2. Calcul du rayonnement diffus sur un plan horizontal :

Le rayonnement solaire diffus sur un plan horizontal peut être déterminé par :

$$D = 54.8 \sqrt{\sin(h)} \cdot (T - 0.5 - \sqrt{\sin(h)})$$

Où TL est le facteur de trouble de Linke calculé par la formule.

II.11.3. Rayonnement solaire direct sur un plan incliné :

Le rayonnement direct est celui qui traverse l'atmosphère sans subir de modifications, il est possible de l'estimer par la formule suivante :

$$S = F \cdot CI$$

Où F est le flux incident reçu sur une surface face aux rayons solaires.

CI étant le coefficient d'orientation, c'est l'angle formé par le rayonnement solaire avec la perpendiculaire d'une surface. Ce coefficient est défini d'une part par la hauteur du soleil (h) et son azimut (a) et d'autre part par l'orientation (o) figure et l'inclinaison (β) du plan récepteur. L'orientation (o) est négative vers l'Est, positive vers l'Ouest et nulle vers le sud. Le calcul du coefficient d'incidence CI est obtenu par la formule suivante :

$$CI = (\sin(\beta)\cos(h) \cos(o - a) \cos(\beta)\sin(h))$$

II.11.4. Calcul du rayonnement diffus sur un plan incliné :

Le rayonnement solaire diffus D arrive sur le plan récepteur incliné après avoir été diffusé par les particules solides ou liquides en suspension dans l'atmosphère, il n'a pas de direction privilégiée, de ce fait, l'orientation du plan (l'azimut) n'a pas d'importance, seule son inclinaison en α .

Ainsi sur un plan récepteur d'inclinaison (β), D se calcule

$$D = 125 \cdot \sin(h) \cdot 0.4 \left(\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right) + 211.86 \sin(h) \cdot 1.22 \left(\frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right) \text{ [W/m}^2\text{]}$$

Le rayonnement diffus pour un plan incliné fixe est un cas particulier du rayonnement diffus pour un plan incliné mobile, l'inclinaison (β) doit être prédéfinie

II .12. CONCLUSION :

L'étude du rayonnement solaire s'avère nécessaire pour le choix du meilleur site en vue d'une installation d'un système de captation solaire.

Le rayonnement reçu par un capteur solaire dépend également du niveau d'ensoleillement du site considéré et de son orientation par rapport au soleil. Un capteur solaire fixe reçoit le maximum d'énergie lorsqu'il est orienté vers le sud et est incliné selon un angle pratiquement égal à la latitude du lieu. Par exemple les capteurs installés à Mostaganem sont inclinés de (30°).

Pour que le rayonnement solaire soit perpendiculaire au panneau solaire, et afin d'optimiser tout le système de captation, il est nécessaire de recourir à la technique de poursuite du soleil.

CHAPITRE III :
ARCHITECTURE SOLAIRE

III.1. INTRODUCTION :

Notre planète reçoit une énorme quantité d'énergie solaire, cette dernière représente une géante source d'énergie, la quantité reçue par la terre est l'équivalent de 10000 fois ce que l'homme d'aujourd'hui installe. Cette énergie est connue comme une source inépuisable, saine et non polluante. Pour un bâtiment dit bioclimatique, cette source d'énergie peut offrir à ses occupants un confort adéquat et souhaitable. Ce chapitre sera donc consacré à un développement théorique des notions et des concepts liés à la démarche solaire. L'approche écologique, la démarche bioclimatique et les dispositifs solaires dans le processus de conception architecturale seront recherchés.

III .2. L'ARCHITECTURE SOLAIRE : .[22]

Notions et concepts L'architecture solaire, climatique, bioclimatique... autant de vocabulaires différents pour une même vision, procurent chacun une partie intégrante d'une économie de l'énergie renouvelable. D'autres termes insistent plutôt sur l'utilisation de l'énergie solaire, comme la maison solaire, l'architecture solaire, l'habitat solaire, l'habitat solarisé.... En se référant à la démarche traditionnelle, en général le principe essentiel de tous ces vocabulaires est de « bâtir avec le climat ou avec ses éléments comme le soleil » dans l'optique de la conservation d'énergie.

III .2.1. Définition de l'architecture solaire :

L'architecture solaire est une architecture qui intègre au mieux l'exploitation de l'énergie solaire dans le bâtiment afin d'y accroître le confort des occupants ainsi que les performances environnementales (énergétiques, etc.), économique, social et des ambiances physiques architecturales (thermiques, visuelles, etc.)⁵⁸ La qualité d'intégration architecturale dépend, entre autres, du contrôle et de la cohérence des systèmes solaires des points de vue fonctionnels, constructif et formel (esthétique) (Munari Probst et al. 2012).

III.2.2. Le principe de l'architecture solaire :

L'architecture solaire a pour but de réduire au maximum la consommation énergétique d'un bâtiment. Elle repose sur l'exploitation judicieuse des phénomènes naturels comme le climat et le rayonnement solaire.

III .3. LES FORMES DE L'ENERGIE SOLAIRE : [22]**III.3.1. La lumière naturelle :**

Contrairement à l'éclairage électrique, la lumière provenant naturellement du soleil ne consomme pas d'électricité et est gratuite. Elle est indissociable des gains thermiques passifs puisque l'éclairage naturel est évidemment possible que lorsque le rayonnement solaire et lumineux traverse l'enveloppe par les ouvertures. Son utilisation est donc une forme d'exploitation directe du rayonnement solaire. Alors l'éclairage naturel permet de réduire considérablement la consommation d'électricité destinée à l'éclairage. En effet, il est maintenant reconnu que le rythme circadien, le rythme biologique régularisant notre état de veille et de sommeil, repose sur la durée, l'intensité et la distribution spectrale de la lumière en provenance du soleil et du ciel. Certaines études ont même démontré que l'utilisation de la lumière naturelle dans les bâtiments augmentait, par exemple, la productivité des travailleurs. Le potentiel solaire, et par conséquent le spectre lumineux, varie considérablement en fonction du couvert nuageux, de la localisation du site et du moment du jour et de l'année. La lumière directe est très franche, mais elle varie constamment. Elle est très concentrée lorsqu'elle est perpendiculaire à une surface, mais son intensité diminue lorsqu'elle se déplace. De plus, elle procure d'importants gains thermiques qui ne sont pas toujours souhaités. D'autre part, le rayonnement solaire, en traversant l'atmosphère et les nuages, procure au ciel une grande luminosité. Cette lumière, qu'il est possible de capter tout au long de l'année en ayant une vue sur le ciel ou par des ouvertures au nord, est plus douce et constante

III.3.2. Energie solaire passive :

La plus ancienne utilisation de l'énergie solaire consiste à bénéficier de l'apport direct du rayonnement solaire, c'est-à-dire l'énergie solaire passive. Pour qu'un bâtiment bénéficie au mieux des rayons du Soleil, on doit tenir compte de l'énergie solaire lors de la conception architecturale (façades doubles, orientation vers le sud, surfaces vitrées, etc.). Dans un bâtiment solaire passif, l'apport solaire passif permet de faire des économies d'énergie importantes. Dans les bâtiments dont la conception est dite bioclimatique, l'énergie solaire passive permet aussi de chauffer tout ou partie d'un bâtiment pour un coût proportionnel quasiment nul .

Ce type d'exploitation de l'énergie solaire ne nécessite pas de système mécanique ni de conversion d'énergie supplémentaire. Les gains solaires obtenus contribuent ainsi au chauffage des espaces. Bien que les gains thermiques soient recherchés en saison froide, il faut aussi que le bâtiment soit en mesure de les minimiser en saison chaude par des techniques d'ombrage (stores, rideaux, toit saillant, plantation d'arbres à des endroits stratégiques, etc.) ou par circulation d'air frais à l'intérieur des bâtiments, sans avoir recours aux systèmes mécaniques du bâtiment.

III.3.3. Energie solaire active :

Les systèmes solaires actifs captent le rayonnement solaire et le transforment pour l'utiliser sous une autre forme ou dans un autre endroit. On compte deux types d'utilisation de l'énergie solaire :

- le solaire thermique : des collecteurs transforment le rayonnement en chaleur.
- le solaire photovoltaïque : D'autres utilisent le rayonnement pour générer de l'électricité. Tout comme pour l'utilisation directe, l'efficacité des systèmes actifs varie considérablement en fonction de la localisation du site ainsi que de leur orientation et inclinaison propres. L'utilisation de systèmes solaires actifs permet d'améliorer le bilan énergétique de l'édifice et ainsi réduire la dépendance aux sources d'énergie non renouvelable.

III.4. LES SYSTEMES SOLAIRES ACTIFS : [22]

III.4.1. Système solaire thermique :

III.4.1.1. Définition du système thermique :

Un système solaire thermique exploite le rayonnement du soleil afin de le transformer directement en chaleur (énergie calorifique). Les systèmes thermiques actifs utilisent la chaleur du rayonnement solaire pour préchauffer l'air ou chauffer l'eau. L'air est utilisé pour le chauffage des espaces intérieurs et permet ainsi de réduire la consommation énergétique des systèmes de ventilation de l'édifice. L'eau est quant à elle utilisée pour le chauffage de l'eau chaude domestique.

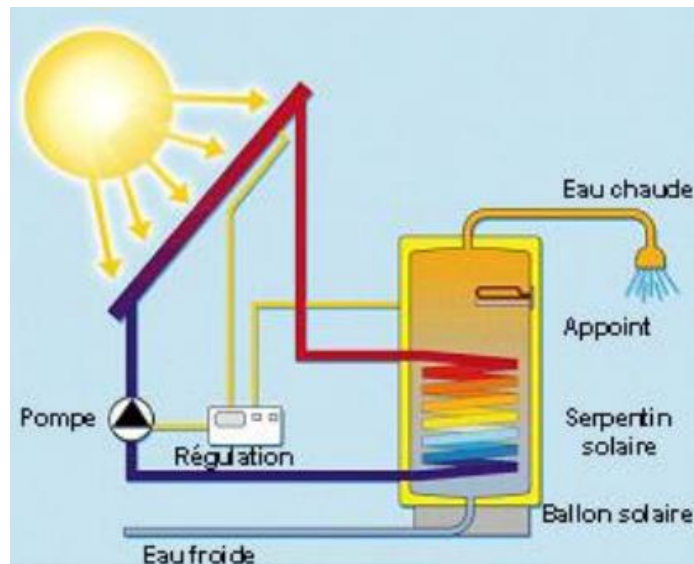


Figure III.1 : Schéma du système solaire thermique

III.4.1.2. Principe de fonctionnement :

Un système solaire thermique actif est « un dispositif destiné à intercepter le rayonnement solaire en vue de sa conversion thermique et à transmettre la chaleur ainsi produite à un fluide caloporteur ». Pour un système solaire de production d'eau chaude, le système est composé du capteur, d'un échangeur de chaleur, d'un ballon de stockage, de tuyauteries et de pompes

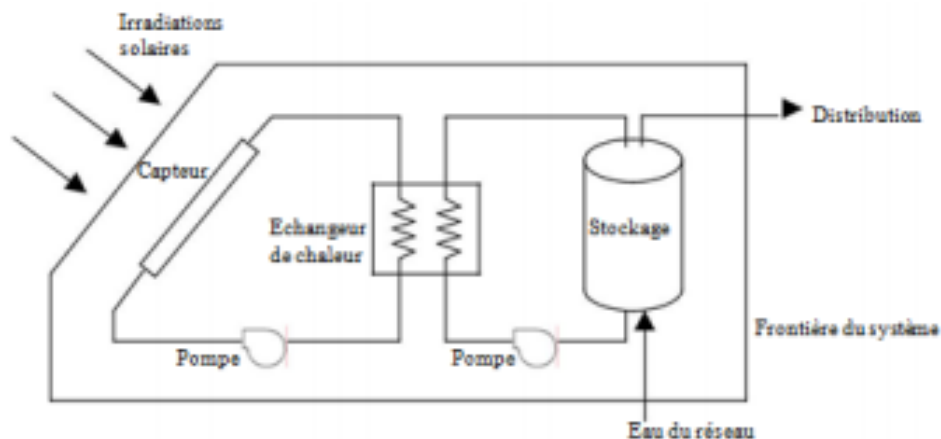


Figure III.2 : Schéma représentant les composants de la production d'eau chaude sanitaire

Les composants, processus et effets qui font partie du système sont désagrégés en sous-systèmes et en interactions entre ces sous-systèmes. Les sous-systèmes sont définis par les entrées, les sorties, les caractéristiques du modèle et les contrôles. Par exemple, le ballon de stockage peut être considéré comme un sous-système défini par sa forme, sa dimension, et les débits entrants et sortants. L'interaction entre ces composants, en réponse aux variations climatiques et des besoins en énergie, déterminent la quantité d'énergie utile qui sera livrée par le système.

Du point de vue fonctionnel, le système solaire actif pourra être représenté de la façon suivante :

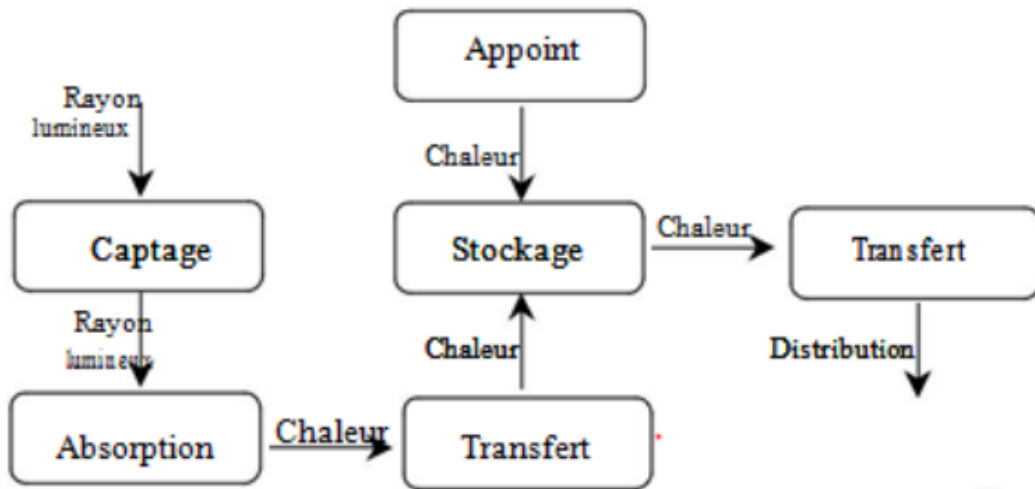


Figure III.3 :Schéma représentant le circuit de fonctionnement du système solaire thermique

On distingue deux types de technologies permettant d'exploiter l'énergie solaire thermique :

a-La technologie solaire thermique à basse température :

La technologie solaire «active» :

traditionnellement, ce terme désigne les applications à basse et moyenne température. Les rayons du soleil, piégés par des capteurs thermiques vitrés, transmettent leur énergie (énergie solaire) à des absorbeurs métalliques - lesquels réchauffent un réseau de tuyaux de cuivre où circule un fluide caloporteur.

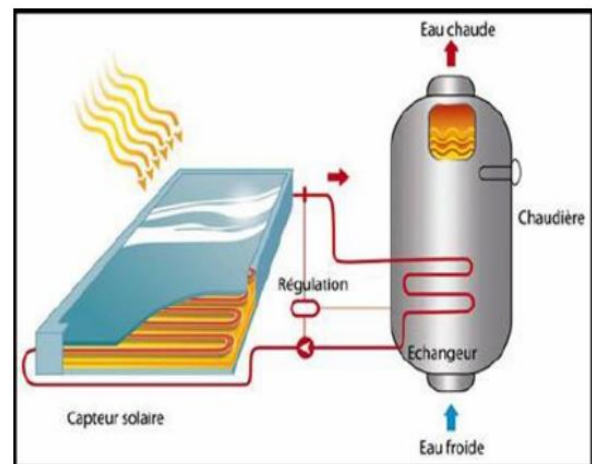


Figure III.4 : Schéma de la technologie solaire

Cet échangeur chauffe à son tour l'eau stockée dans un cumulus. Un chauffe-eau solaire produit de l'eau chaude sanitaire ou du chauffage généralement diffusé par un «plancher solaire direct".

b - La technologie solaire thermique haute température :

La technologie solaire concentrée ou « thermodynamique » : ce procédé fournit de la chaleur haute température (de 250 à 1 000°C) par concentration du rayonnement solaire. Ce pouvoir calorifique est utilisé pour actionner des turbines à gaz ou à vapeur afin de produire de l'électricité.

III.4.1.3. Les types de capteurs solaires thermiques :

III.4.1.3.1. Capteurs solaires plans :

Il existe différents types de capteurs solaires thermiques. Leur choix de mise en application dépend du type d'utilisation, de la nature de l'élément caloporteur utilisé et du niveau de température qu'ils permettent d'atteindre. On distingue généralement les capteurs à air et des capteurs à eau :

a- Les capteurs à air :

Permettent, par l'apport d'air réchauffé, d'augmenter la température de l'air ambiant interne de quelques degrés. D'un fonctionnement simple, ils sont pourtant peu employés.

b- Les capteurs à eau : fonctionnent à l'aide d'un fluide caloporteur. Ils se répartissent en trois familles :

- Les capteurs plans non vitrés : leur structure est assez simple, puisque composée d'un réseau de tubes plastiques noirs où circule le fluide caloporteur. Ils sont utilisés essentiellement pour le chauffage de l'eau des piscines en été.
- les capteurs plans vitrés : le fluide caloporteur, très souvent de l'eau mélangée à un antigel, passe dans un circuit en serpentin placé derrière une vitre
- . les capteurs à tubes sous vides : le fluide caloporteur circule à l'intérieur d'un double tube sous vide. Le principe est le même que pour les capteurs plans vitrés, l'isolation étant simplement assurée par l'absence de molécules d'air (sous vide).

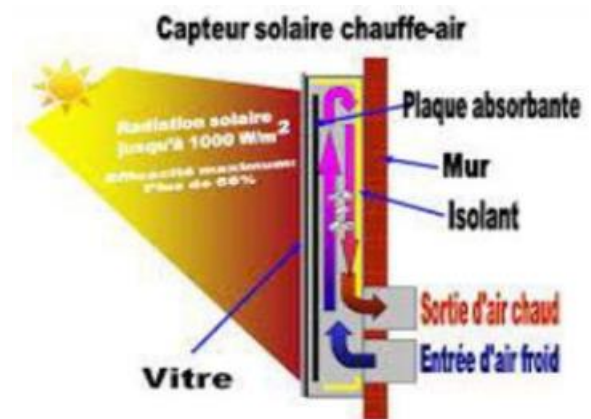


Figure III.5 : Schéma représentant le fonctionnement du capteur solaire à air

III .4.2. Système solaire photovoltaïque :

III.4.2.1. Définition du système photovoltaïque :

Les systèmes solaires pour produire de l'électricité peuvent être intégrés aux bâtiments en ayant recours à des systèmes actifs (mécaniques), qui convertissent l'énergie solaire en énergie électrique par l'effet photovoltaïque. Le système photovoltaïque

III.4.2.2. La technologie des capteurs photovoltaïques :

Les systèmes solaires photovoltaïques qui existent sur le marché se distinguent selon trois catégories, soit :

- 1) Les cellules en silicium cristallin,
- 2) Les cellules en silicium amorphe (première technologie à couche mince).
- 3) Les nanotechnologies, dont les systèmes à base de cellules organiques, polymères ou de fullerènes.

III.4.2.3. L'effet photovoltaïque :

Un système photovoltaïque transforme directement le rayonnement solaire en électricité. Ce processus s'effectue à l'intérieur d'une cellule photoélectrique composée d'un matériau semi-conducteur. Ce dernier absorbe les photons du rayonnement solaire, ce qui libère des électrons qui circulent maintenant dans la matière. À ce jour, l'efficacité des cellules

Photovoltaïques est d'environ 20 %. Cela signifie que 20 % de l'énergie du soleil absorbée par les cellules est transformée en électricité et 80 % en chaleur qui est

dégagée par le système. 80 L'énergie solaire

Photovoltaïque provient de la conversion de la lumière du soleil en électricité au sein de matériaux semi-conducteurs comme le silicium ou recouverts d'une mince couche métallique. Ces matériaux photosensibles ont la propriété de libérer leurs électrons sous l'influence d'une énergie extérieure. C'est l'effet photovoltaïque.

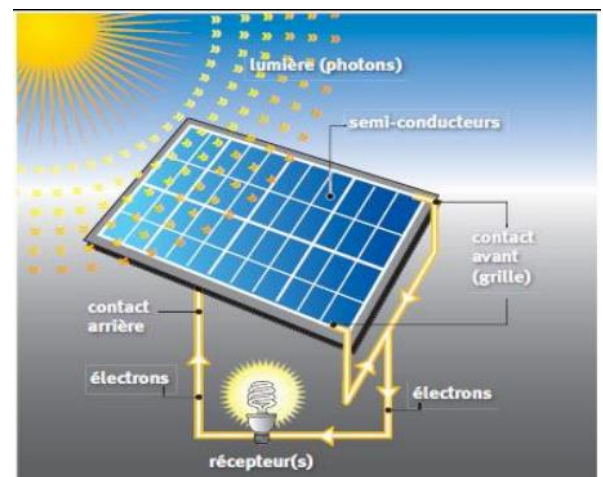


Figure III.6 : Schéma montrant l'effet photovoltaïque.

III.4.2.4. Le principe de fonctionnement :

Une installation photovoltaïque est un système de production d'énergie électrique fonctionnant grâce à la lumière naturelle. Le principe physique mis en jeu, l'effet photovoltaïque, repose sur la capacité de certains matériaux à transformer l'énergie lumineuse en énergie électrique. Au sein du système, cette fonction est assurée par les modules ou panneaux photovoltaïques qui, d'un point de vue électrique, sont des générateurs de courant continu. Un ou plusieurs onduleurs, placés en sortie des modules, vont convertir ce courant continu en courant alternatif synchronisé sur la tension du réseau public.

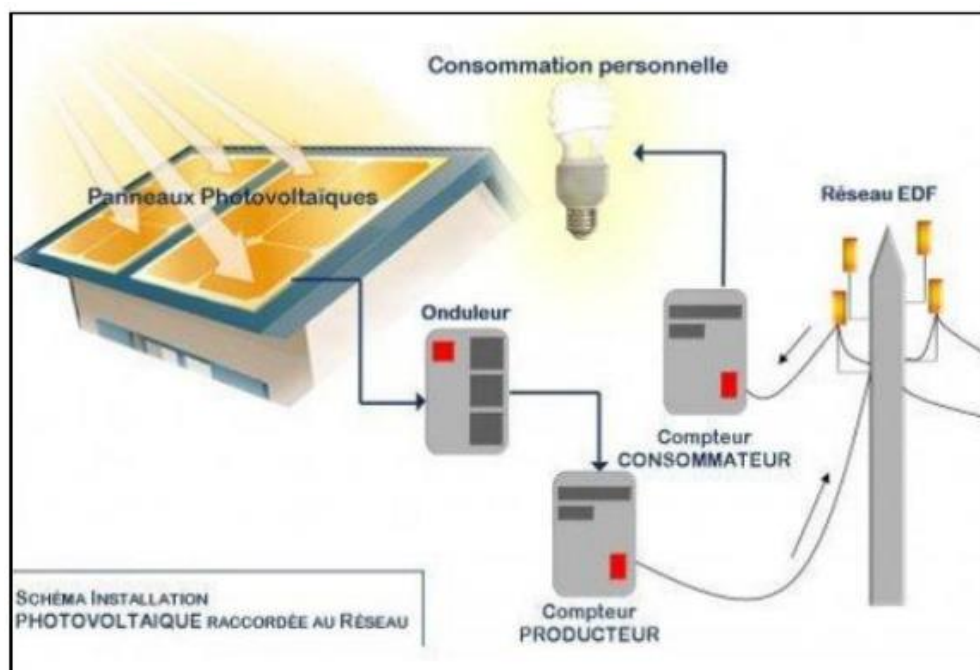


Figure III.7: Schéma d'installation photovoltaïque raccordé au réseau

III.5. LA CONCEPTION DE L'ARCHITECTURE SOLAIRE : [21]

III.5.1. Types de conception des panneaux solaires :

Le concept de l'architecture bioclimatique, ou la conception passive n'est pas l'objet de notre recherche, mais il est préférable de noter que n'en peut pas arriver à concrétiser une bonne intégration des éléments actifs, et calculer leur performance pour le bilan énergétique dans le bâtiment, sans passer par une architecture purement bioclimatique en utilisant tous ses éléments passifs connus. Alors, des modules solaires sont déployés principalement dans et sur des bâtiments. Pour cette raison, des modules solaires devraient être considérés non seulement en tant que composants techniques pour produire de l'électricité, mais comme matériaux de

Construction souple qui s'harmonise avec le bâtiment et, tout en se conformant aux règlements, peut être intégré dans son enveloppe. Si l'architecture dite solaire a été en majorité en réelle symbiose avec la mouvante géométrie du système solaire 84 et avec les lois de la chaleur sensible, elle n'en pas moins soulevé des problèmes inhérents à l'intégration des techniques solaire et leur rapport au concept global qu'est l'architecture.

III.5.2. Démarche d'intégration :

La réussite d'une intégration solaire dépend de la conjugaison optimale des critères suivants qu'on considère primordiaux :

- Minimiser l'impact Visual des capteurs dans leur environnement proche et lointain
- . Adapter la forme, la proportion et la position du champs de capteur à la physionomie générale du bâtiment.
- Privilégier le capteur double fonction : Fonction couverture, brise soleil, allège, garde-corps, fenêtre, verrière, bardage, mur-rideau...
- Marier performance et intégration : Une bonne intégration architecturale ne nuit pas aux performances globales du système.
- Choisir le matériel adapté : Le marché du solaire s'est développé ces dernières années, après la standardisation du matériel, on commence à proposer des types et accessoires facilitant l'intégration du solaire dans le bâtiment, et offrant ainsi de diverses solutions pour l'usage recherché

III.5.3. Intégration des capteurs solaire dans le bâtiment :

L'harmonie architecturale est un élément important de la réussite de l'intégration des éléments solaires dans la construction. Le problème d'intégration du système solaire dans la construction repose surtout sur l'intégration des capteurs dans le bâtiment car ce composant du système est le plus visible et indique aux observateurs que le bâtiment est solarisé. La tendance actuelle d'intégration des capteurs solaires ainsi que d'autres éléments du système solaire tend à les inclure dès la phase de conception des bâtiments. Ces éléments doivent donc être considérés comme des composants du bâtiment au même titre qu'un mur ou une toiture. À ce titre, l'architecte ou le concepteur se doit de l'intégrer dans l'ordonnement d'une façade, d'une toiture ou d'un volume, en veillant conserver ses spécificités formelles et fonctionnelles : éléments vitrés de quelques mètres carrés, de couleur noire, orientés au sud dans une zone dégagée de toute ombre.

III.5.3.1. Les capteurs en toiture inclinée Capteur suivant la pente de la toiture :

- ❖ Pente faible favorise les gains entre Mars et Octobre. Solution idéale pour le photovoltaïque.
- ❖ Pente forte optimise les gains énergétiques durant toute l'année. Solution idéale pour le chauffage.
- ❖ Capteurs en couverture de porche ou véranda. Une intégration naturelle dans le volume d'un élément architectural.



Figure III.8 : Intégration des capteurs en toiture inclinée.

Afin de réussir une intégration, on veille à respecter quelques bases :

- Aligner le champ de capteurs avec les éléments constitutifs du bâtiment (baies vitrées, arches, etc..).
- Privilégier une incorporation des capteurs dans la toiture.
- Intégrer soigneusement les passages des câbles ou tuyauteries.

Pour une construction neuve, si on a besoin de grandes surfaces de capteurs pour chauffage, eau chaude collective ou photovoltaïque, il est possible d'adapter le plus possible la taille du champ de capteurs pour couvrir l'intégralité d'un plan de toiture. Si la surface de la toiture dépasse celle des capteurs, on pourrait compléter la différence restante par l'ajout d'un bac en acier, d'un complexe d'étanchéité, d'un vitrage sans absorbeur, dans l'objectif d'éviter un contraste trop marqué entre une grande surface vitrée foncée et une petite surface de tuiles

III.5.3.2. Les capteurs en toiture terrasse :

Solution consistant à fixer des capteurs solaires au-dessus d'un toit terrasse par l'intermédiaire d'un bac lesté ou d'un châssis support permettant d'orienter et d'incliner les modules selon les contraintes du projet.



Figure III.9 : intégration des capteurs en toiture terrasse

Ces toitures sont des emplacements privilégiés pour capter l'énergie solaire, cependant la plupart de ces toits sont pourvus d'une étanchéité multicouche très délicate Avec ce type de

toiture il est nécessaire de poser des structures dont la stabilité est assurée par leur propre poids. Ces structures sont en général fixes mais adaptées à l'angle de captage optimum. Une structure secondaire légère est composée de profilés rigides qui permettent d'adapter l'angle de captage au moment du montage

III.5.3.3. Les capteurs en façades :

Un capteur solaire intégré en façade sert non seulement comme capteur, mais également en tant qu'isolation thermique et d'élément formel de la façade. Ces capteurs intégrés offrent une irradiation solaire répartie d'une façon plutôt stable au cours de toute l'année. Le fait que les capteurs inclinés puissent être couverts de neige en hiver.



Figure III.10 :Intégrations des capteurs en façade.

Les bâtiments à façades en verre, sont réfléchissants vus de l'extérieur et légèrement opaques vus de l'intérieur. Il est donc intéressant de réaliser, pour un tel bâtiment, une façade de capteurs qui laisserait passer suffisamment de lumière et fournirait l'énergie nécessaire à l'électricité, à l'eau chaude sanitaire, au chauffage et à la climatisation des locaux

III.5.3.4. Les capteurs sur paroi verticale :

a- Capteurs en allèges, auvent, garde-corps, brise soleil :

En allège on peut intégrer le capteur sous une fenêtre, en auvent pour protéger le porche de la maison, ou en garde-corps pour un balcon, comme il peut avoir le rôle de brise soleil qui permet d'éviter au soleil d'été de pénétrer dans le bâtiment et de surchauffer les locaux.



Figure III.11 :Les capteurs solaires en garde-corps.

III.5.4. Conditions d'efficacité énergétique :**III.5.4.1. Besoin en capteurs :**

Pour le solaire thermique :

- ✓ Pour l'eau chaude sanitaire on aura besoin de 2 à 8 m² par habitation, lui assurant entre 60 à 80 de ses besoins.
- ✓ Pour l'eau chaude sanitaire et le chauffage, 10 à 20m² de capteurs peuvent couvrir 25 à 50 des besoins domestiques de chauffage, en utilisant un plancher chauffant ou des radiateurs à basse températures. Ce sont les systèmes solaires combinés (SSC).

Pour le solaire photovoltaïque :

- ✓ Si on est raccordé au réseau : on injecte sur le réseau de distribution via onduleur, la totalité ou le surplus de la production photovoltaïque. Une surface de capteurs comprise entre 25 et 30m² fournit jusqu'à 3000 WC.
- ✓ En site isolé : pour les bâtiments non raccordés au réseau, la production d'électricité est stockée dans les batteries garantissant localement les besoins de l'occupant.
- ✓ Donc de 8 à 10 m² de capteurs en conditions optimales d'orientation et inclinaison, fournit jusqu'à 1200kWh/an. Une famille de quatre personnes consomme entre 2000 et 3000 kWh d'électricité spécifique (hors chauffage et eau chaude sanitaire). Donc cette surface pourra leur couvrir entre 40 à 60% de leur consommation.

III.5.4.2. Influence de l'orientation, de l'inclinaison sur la quantité d'énergie captée :

L'orientation sud et une inclinaison de 30 à 45° environ par rapport à l'horizontale assurent les meilleurs rendements pour une installation solaire à nos latitudes. Mais même avec des écarts importants (orientation sud-ouest à sud-est, inclinaison de 25 à 70°), une installation solaire reste rentable. Une inclinaison plus faible est conseillée si les capteurs ne peuvent pas être orientés vers le sud. Des capteurs solaires inclinés à 30° et orientés à 45° sud-ouest présentent encore 95% de la puissance optimale. Et même en cas d'orientation est ou ouest, il est possible d'espérer encore 85 % si le toit est incliné de 25 à 40°. Une inclinaison plus forte du capteur offre l'avantage d'une fourniture d'énergie lissée sur l'année. Une inclinaison inférieure à 20° est à déconseiller pour éviter tout encrassement excessif des capteurs.

III.5.4.3. Course et masque solaire :

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)

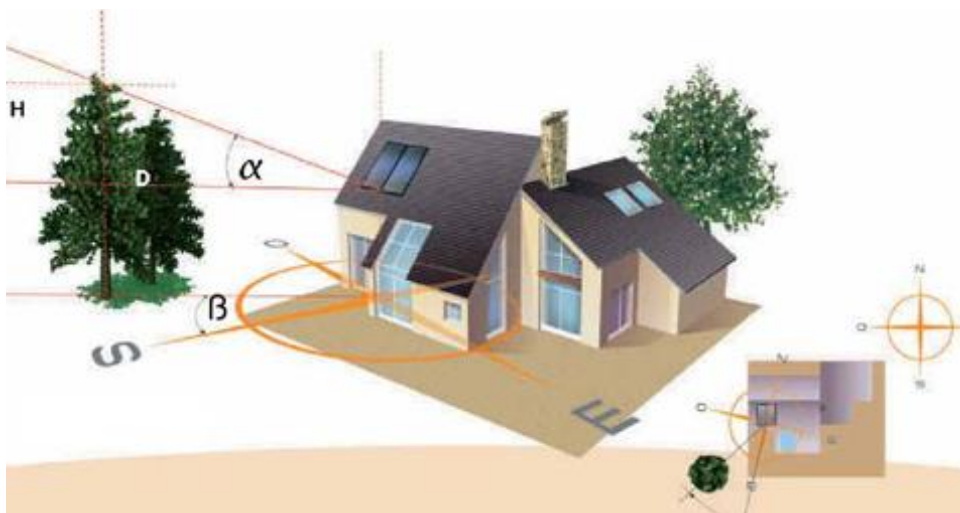


Figure III.12 : Définition de l'angle d'azimut et hauteur de l'obstacle .

III.5.4.3.1. Les étapes pour la détermination du masque d'une installation solaire : .[24]

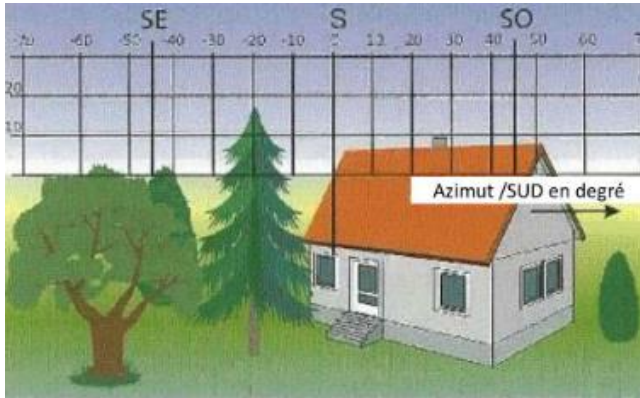


Figure. III. 13. Etape N°1 : repérage de la présence d'obstacles limitant l'enseulement

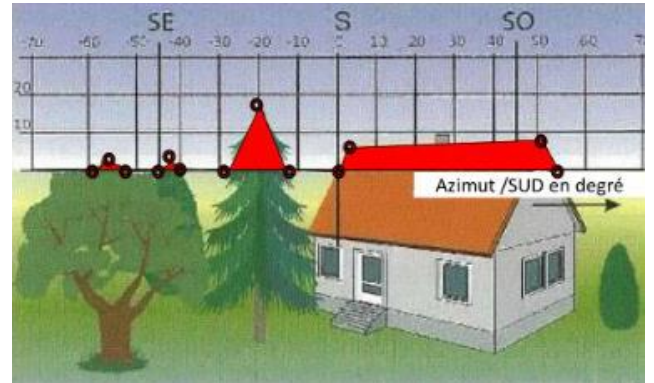


Figure. III. 14. Etape N°2 : Identification de points clefs devant représenter la globalité des obstacles



Figure.III.17. Indicateur de trajectoire du soleil

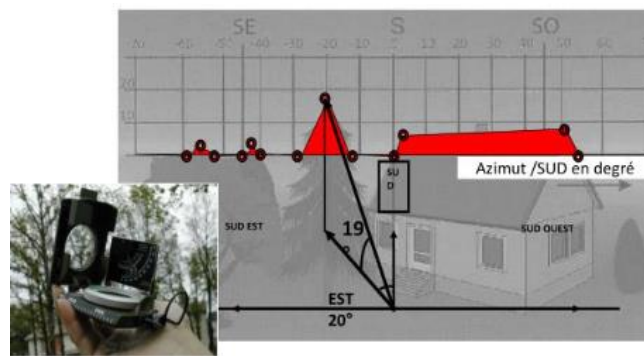


Figure. III. 15. Etape N°3 : Mesure des angles (azimut et hauteur angulaire) de chacun ces points



Figure. III. 16. Boussoles avec clinomètre

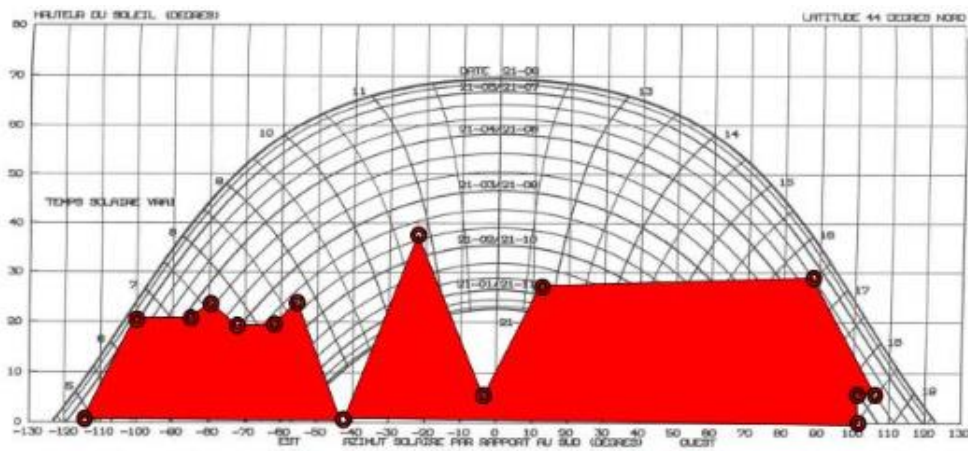


Figure. III.18. Etape N°4 : Report des mesures dans le diagramme solaire correspondant au lieu

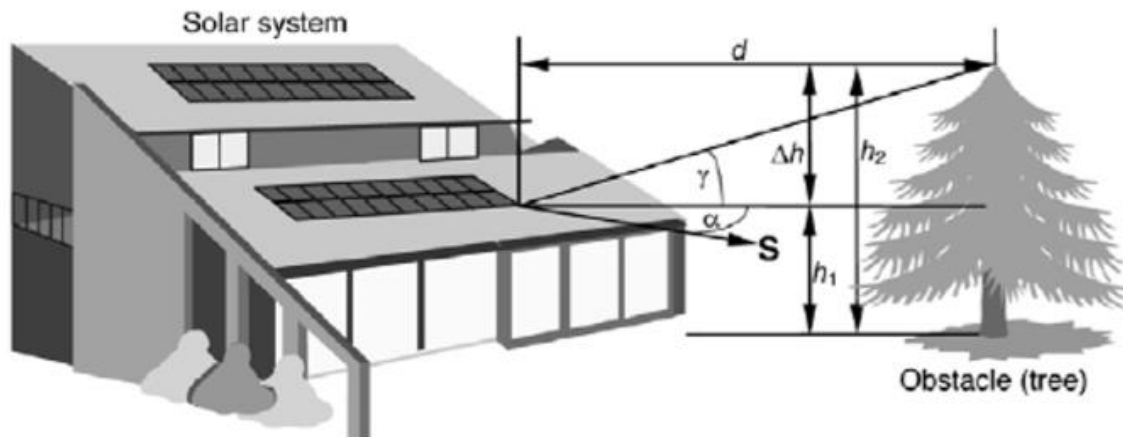


Figure. III.19. L'angle d'azimut et hauteur de l'obstacle Obstacle.

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

$$\gamma = \arctan((h_2-h_1)/d) = \arctan(\Delta h/d)$$

$h_1, h_2, d, \Delta h$ sont représentés dans la figure I.14 pour le cas d'un arbre.

Figure : Masque solaire

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 :

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

III.5.4.3.2. Appareils de mesure du rayonnement solaire :

a) 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



Figure III.20 : Héliographe de Campbell

b)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.

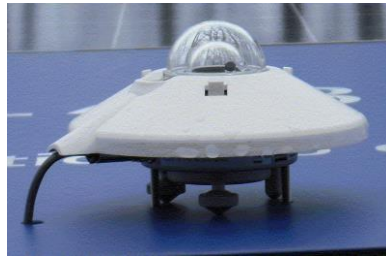


Figure III.21 :Pyranomètre d'Eppley

c)Le pyréliomètre

Les pyréliomètres mesurent le rayonnement direct. Ils comportent une ouverture réduite et une surface réceptrice qui doit être maintenue normale au rayonnement pas un système de poursuite automatiques.



Figure. III. 22 : Pyréliomètre

III.5.4.4. Conditions de performance :

Pour assurer un meilleur rendement des panneaux solaires il est nécessaire d'opter pour une démarche passive visant à la réduction la consommation énergétique du bâtiment en augmentant sa performance énergétique en adéquation avec les différents labels et normes énergétiques.



Figure III.23:le rendement des capteurs solaires en référence de l'échelle de performance énergétique.

III.6. EXEMPLE DE REALISATION :

-Fiche technique d'une Maison prototype – CNERIB :

Type de projet	Construction Neuve
Type de bâtiment	Habitat individuelle
Année de construction	2007
Zone climatique	Littoral Méditerranéen - Tempéré, été frais et sec
Surface nette	80 m ²
Coût de construction	30000 €



Figure III.24 : Vue du côté Sud et du côté Est de la maison

-Description générale de la maison étudiée :

La maison étudiée possède une surface de 90 m², elle est implantée dans la région d'Alger, plus précisément dans le village de Souidania. Cette région fait partie de la zone climatique A (Latitude 36,70 N, Longitude 03,20 E) qui est caractérisée par un hiver frais et un été chaud et humide.

La maison possède deux chambres, la chambre 1 est positionnée du côté Sud-Ouest et la chambre 2 est positionnée du côté Nord-Ouest. La salle de séjour a une grande fenêtre orientée vers le Sud pour bien profiter de l'éclairage naturel en laissant pénétrer le maximum de lumière et une porte-fenêtre orientée vers l'Est. La cuisine est du côté Est, et enfin la salle de bain et les toilettes sont orientées vers le Nord

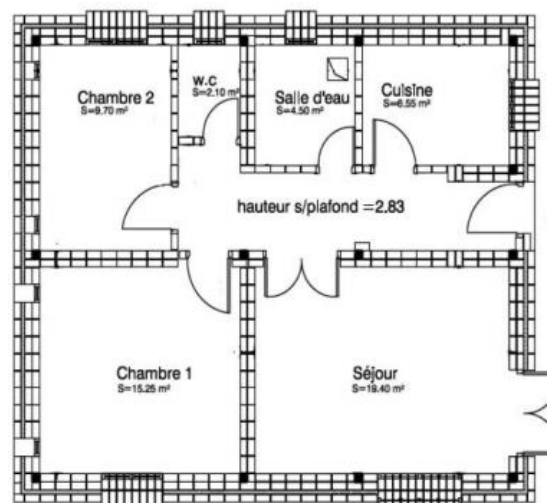


Figure. III .25.facade de la maison et le plan architectural

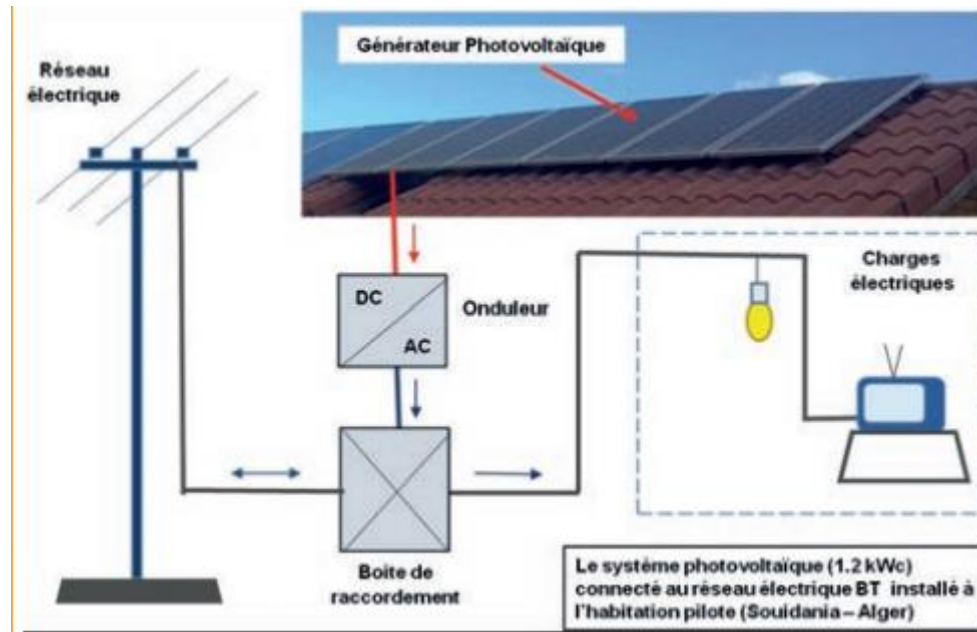


Figure III.26 : Schéma du système photovoltaïque connecté au réseau électrique BT installé

Il est installé sur le toit de l'habitation pilote et il est composé de 06 modules photovoltaïques de fabrication Condor Algérie. La puissance crête du générateur photovoltaïque est 1200 Wc et une surface totale de 7.66 m². L'onduleur est de fabrication SMA (Allemagne) d'une puissance de 1200 W. L'armoire de raccordement assure le contrôle et abrite les commandes et les protections électriques (disjoncteurs, parafoudres, etc.) de l'installation électrique de l'habitat.

III.7. CONCLUSION :

À travers ce chapitre on peut conclure qu'il est nécessaire d'intégrer les panneaux solaires en amont dans la phase conception. Plusieurs solutions peuvent être envisagées avec différents dispositifs. Ainsi que cette source peut générer les deux types de besoins énergétiques : la chaleur à travers le système thermique et l'électricité par le système photovoltaïque. Au final, on a vu que ce choix doit être accompagné par une démarche passive pour assurer un meilleur rendement énergétique.

CHAPITRE IV : CALCUL DU RAYONNEMENT SOLAIRE A MOSTAGANEM

IV.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.

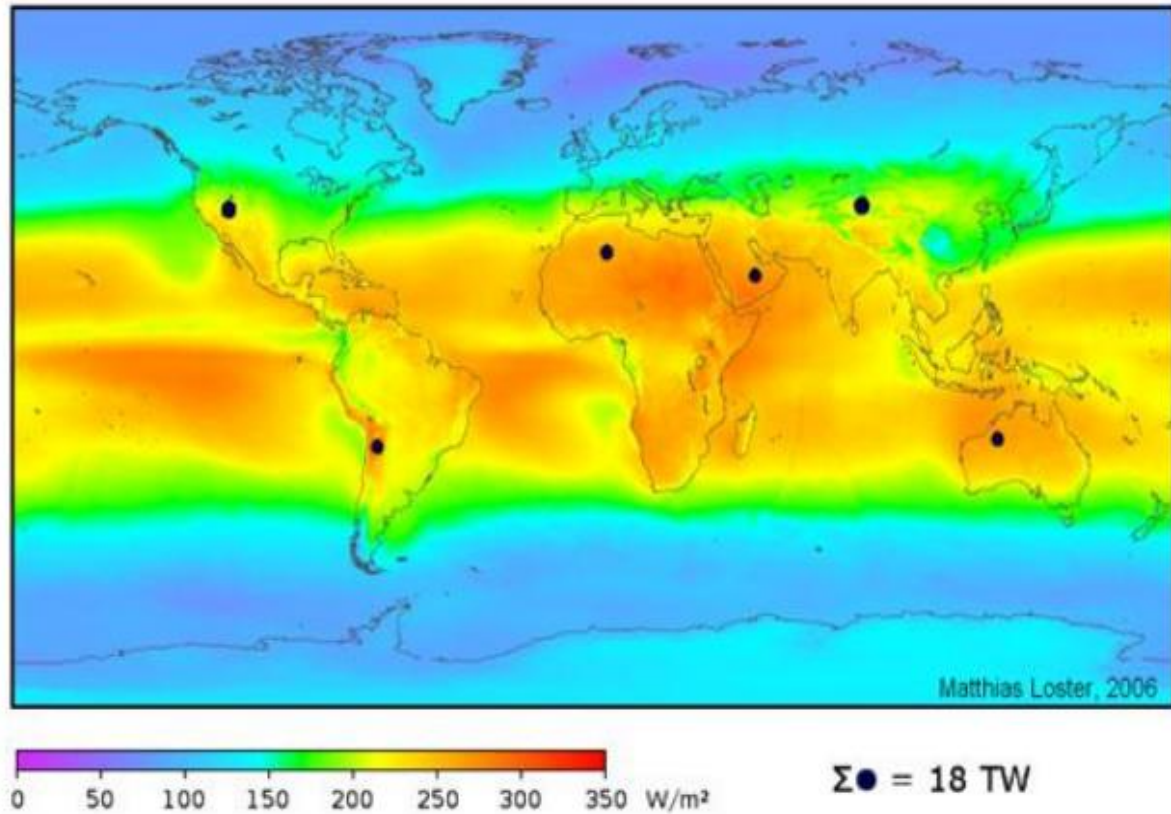


Figure IV.1: Représentation de l'énergie solaire reçue au sol.

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.

IV.2. GEOGRAPHIE DE MOSTAGANEM : .[14]

IV.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

Latitude	35 88°
Longitude	0 12°
Altitude	137 m

Tableau IV 3: Caractéristiques géographiques de la Wilaya de Mostaganem.



Figure IV.2 :: Localisation de la Wilaya de MOSTAGANEM.

IV.3. CLIMATOLOGIE :

IV.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 ».

IV.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 IV 4: Moyennes mensuelles des températures sur la période 1999-2010

Ainsi les moyennes mensuelles et annuelles des températures de la station de Mostaganem sont représentées dans la figure. **IV. 3.** ci-dessous :

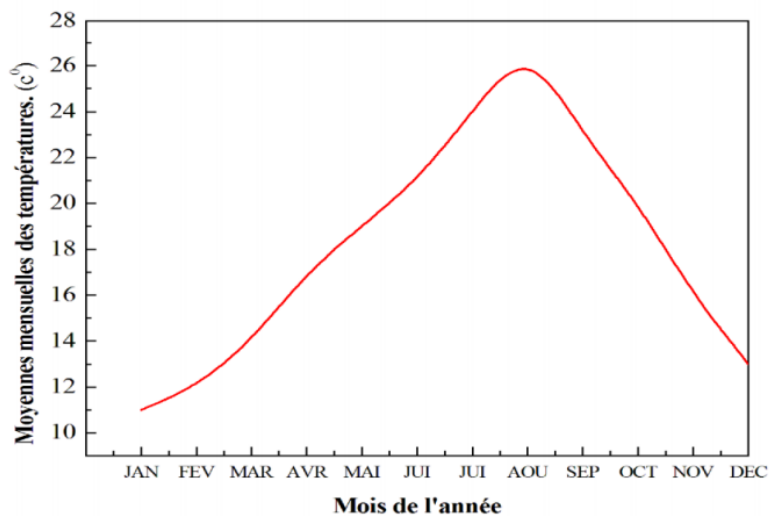


Figure IV.3 : Courbe des moyennes mensuelles des températures sur la période 1999-2010.

IV.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].

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 IV 5: Les différents phénomènes agissant sur l'ensoleillement pour la wilaya de Mostaganem (Nombre moyen de jours)

IV .4. DONNEES EXPERIMENTALES :

Actuellement, en Algérie, la mesure des données du rayonnement solaire est effectuée d'une manière instantanée et sur certains sites de l'Algérie. Nous avons choisi le site de mostaganem ($\phi = 35^{\circ}99N$ et $\lambda = 0,27^{\circ}E$) pour cette étude .

nous avons choisi cette région afin de mettre au point un bâtiment d'une installation solaire avec un rendement maximale en jouant sur les conditions climatiques.

Dans une première phase, nous avons calculé pour un jour j donné de base relative à la position du soleil. Ces données de base sont :

- La déclinaison solaire δ à partir de la relation :

$$\delta = 23,45. \sin(0,986 .(j + 284))$$

- L'angle horaire du coucher du soleil sur l'horizontale ω_0 calculé à partir de la relation

$$\omega \cos(-tg \phi) - 1 = \sin \delta$$

- La hauteur h du soleil à partir de la relation :

$$\sin(h) = \sin(\delta) \cdot \sin(\phi) + \cos(\delta) \cdot \cos(\phi) \cdot \cos(\omega)$$

- l'angle d'incidence θ des rayons du soleil sur la surface inclinée calculé à partir de la relation : $\cos(\theta) = \sin(\delta) \cdot \sin(\Phi) \sin(\beta) - \sin(\delta) \cos(\Phi) \sin(\beta) \cos(\alpha) \cos(\Phi) \cos(\beta) \cos(\omega) + \cos(\delta) \sin(\Phi) \sin(\beta) \cos(\alpha) \cos(\omega) + \cos(\delta) \sin(\alpha) \sin(\beta) \sin(\omega)$
- les angles horaires ω_{sr} et ω_{ss} du lever et du coucher du soleil sur la surface inclinée
- L'azimut az du soleil calculé à partir des relations : $\sin(a) = \cos(h) \cos(\delta) \cdot \cos(\omega)$
- Le rayonnement solaire sur un plan horizontal et incliné

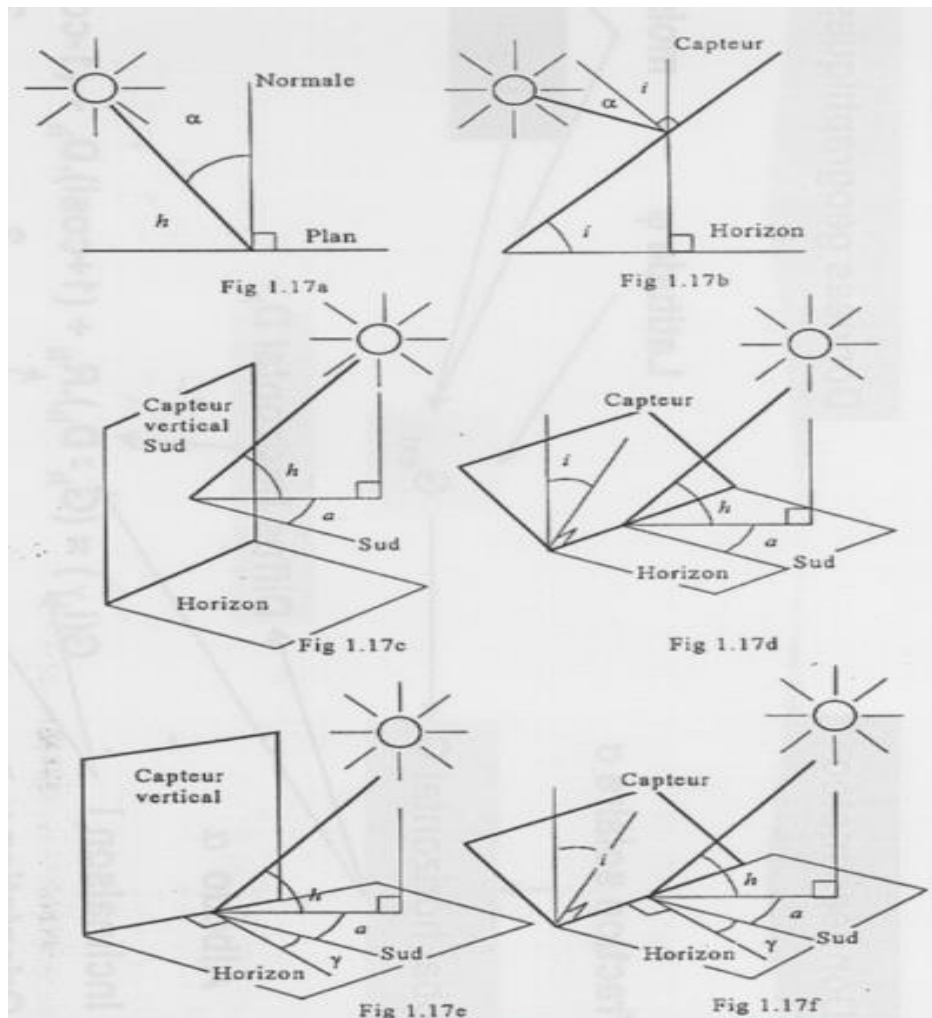


Figure. IV.4 : expressions du rayonnement direct sur un plan quelconque : a) repérage des angles par rapport à la normale au plan horizontal ; b) capteurs inclinés d'un angle i sur l'horizon ; c) plan vertical orienté sud et azimut a quelconque ; d) plan incliné sur l'horizontale e) plan vertical d'orientation quelconque ; f) plan d'orientation et inclinaison quelconque.

IV .5. ORGANIGRAMME DE CALCUL DU RAYONNEMENT SOLAIRE :

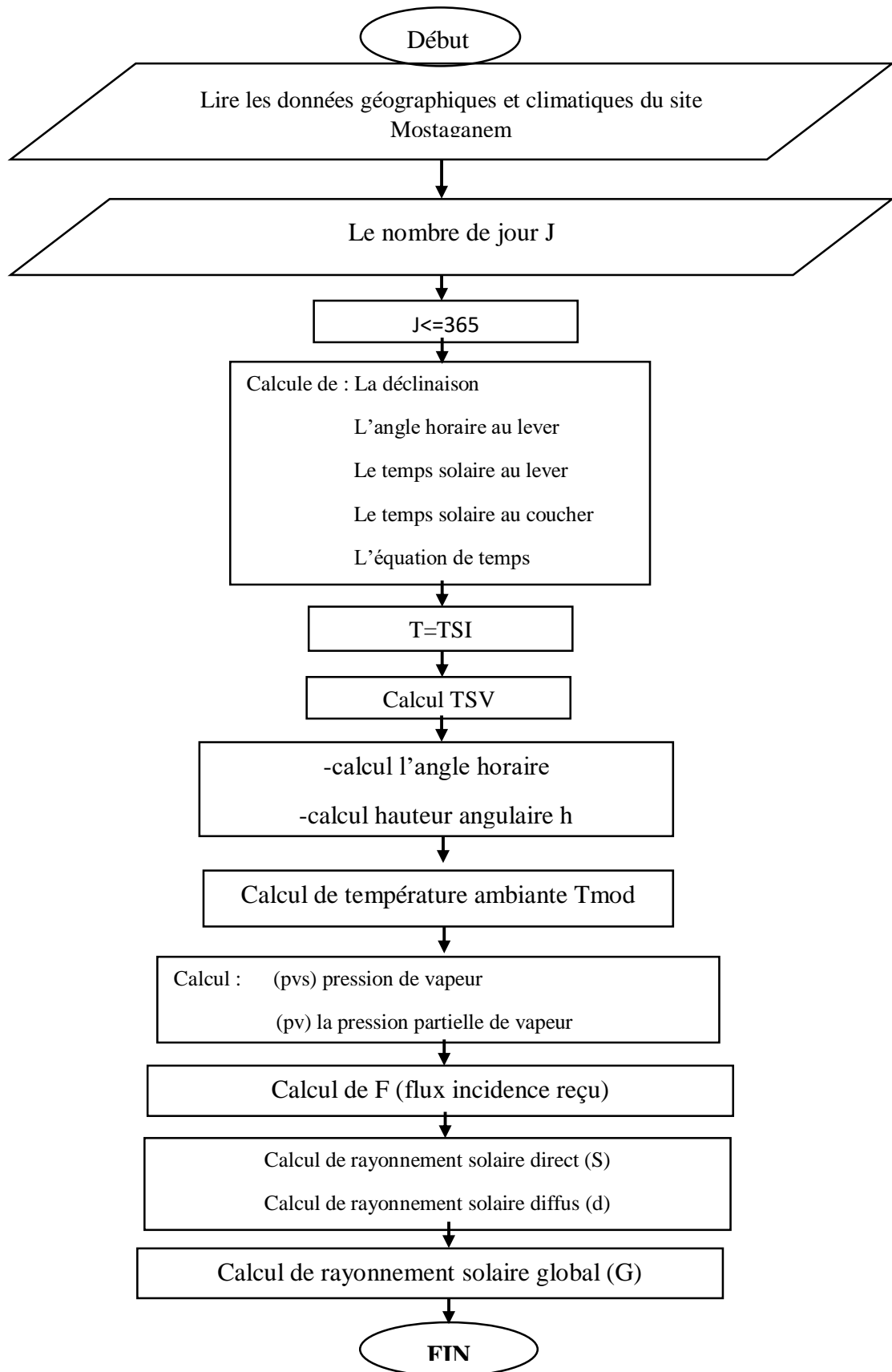


Figure IV.5: Organigramme de calcul le rayonnement solaire sur les panneaux

IV.5.1. Déclinaison du soleil :

Nous présentons le premier tableau de calculs qui récapitule pour chaque jour de saison : Le numéro du jour par rapport aux jours de l'année, la déclinaison de la terre et l'équation du temps. (Chapitre 2)

Jour/moi	21 Mars	19 juin	13 juillet	16 septembre	21 décembre
Jour /année	80	169	193	258	355
δ° (dgr)	-0.8078	23.433	21.98	2.21	-23.46
δ (rd)	-0.0141	0.408	0.38	0.03	-0.40
ET (mn)	-8.1568	7.586	-1.7144	-9.34	8.44

Tableau IV 6:Résultats des calculs

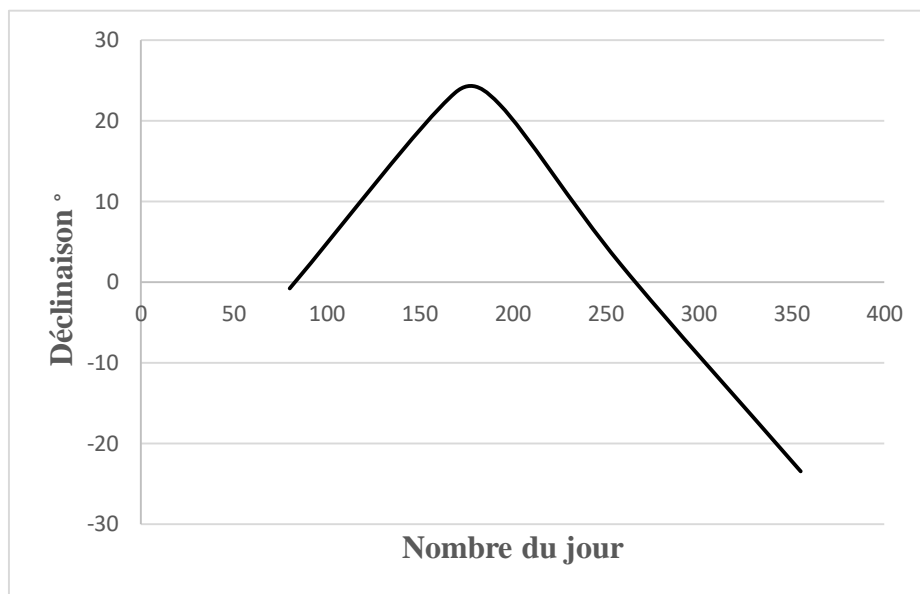


Figure IV.6 : montre l'évolution de la déclinaison solaire au cours de l'année.

Sur la figure IV.2 on voit que la déclinaison est égale à zéro aux équinoxes et varie de $+23,45^\circ$ (21 juin) à $-23,45^\circ$ (21 décembre). Les équinoxes sont les deux dates de l'année où le soleil est exactement dans le plan de l'équateur : sa déclinaison est alors nulle et les durées du jour et de la nuit sont égales. L'équinoxe d'automne intervient vers le 21 septembre et l'équinoxe de printemps vers le 22 mars, dans l'hémisphère Nord. Dans l'hémisphère Nord, le solstice d'été (vers le 21 juin) est la date où le Soleil est au-dessus de l'équateur, sa déclinaison est alors, maximale et la durée qui sépare le lever et le coucher du soleil cesse de croître. Le solstice d'hiver (vers le 21 décembre) est la date où le Soleil est en dessous de l'équateur, sa déclinaison est alors minimale et la durée du jour cesse de décroître. Les saisons sont inversées dans l'hémisphère Sud.

IV.5.2 Equation du temps

Le temps E_t varie de -14,5 minutes (du 10 au 15 Février) à +16,5 minutes (du 25 au 30 Octobre). Une bonne approximation du temps E_t est donnée par l'équation suivante :

$$E_t = -9.9 \sin[2(0.986j + 100)] - 7.7 \sin(0.986j - 2)$$

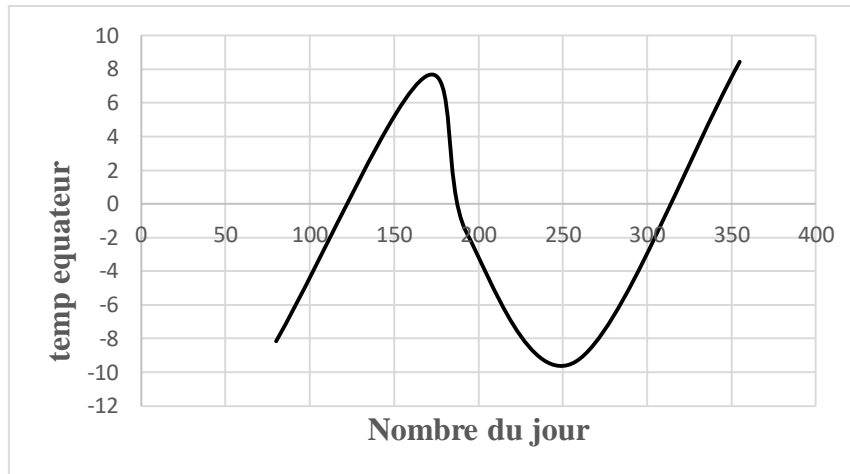


Figure IV.7 : montre l'évolution de la déclinaison solaire au cours de l'année

IV.5.3. Durée d'insolation :

La durée d'insolation correspond au nombre d'heures dans la journée, entre le lever et le coucher du soleil, où celui-ci est bien visible. Cette durée est calculée en fonction de la latitude du site et de la déclinaison apparente qu'elle-même dépend de la période de l'année considérée.

mois	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	aout	septembre	octobre	novembre	décembre
Durée d'insolation	9.9	10.82	11.96	13.1	13.9	14.44	14.13	13.08	12.21	10.87	10.02	9.55
Insolation en heur	305.60	298.93	364.78	387.98	431.25	432.05	439.3	412.96	365.82	331.4	301.84	297.47

Tableau IV 7: Moyenne mensuelle de l'insolation en heures

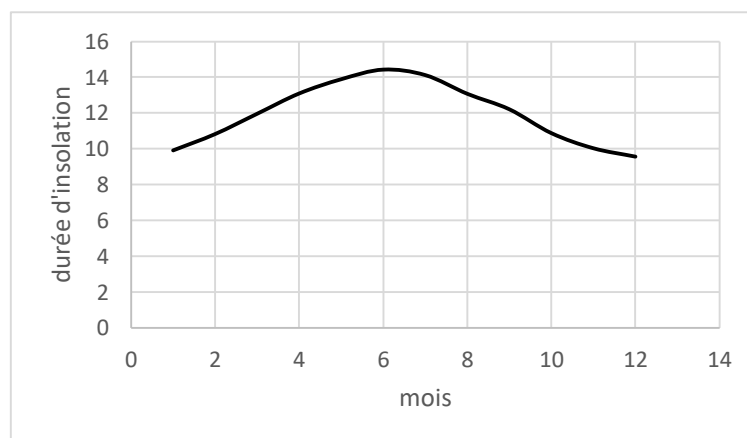


Figure IV.8 : Durée d'insolation

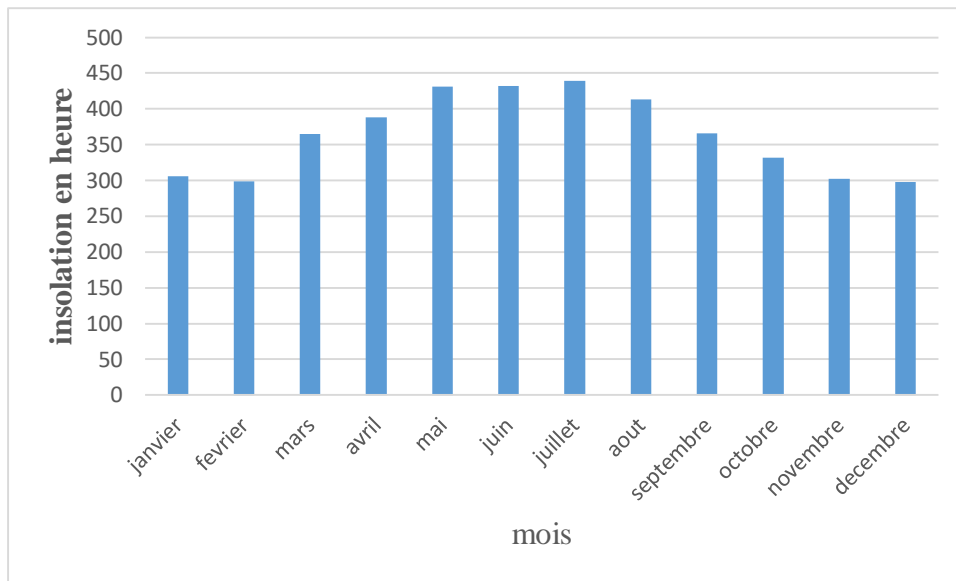


Figure IV.9 : Moyenne mensuelle de l'insolation en heures.

La normale annuelle de la durée d'insolation à la région de Mostaganem est de 4369.43 heures, ce qui correspond à un ensoleillement moyen de l'ordre de 09h30mn par jour .

La répartition de la normale mensuelle de la durée d'insolation suit le cycle saisonnier de la région, ainsi le mois de juillet représente le mois le plus ensoleillé avec une moyenne mensuelle de 439,3 heures alors que le mois le moins ensoleillé est le mois de décembre avec une durée de 297.476 heures

IV.5.4. Angle horaire au Lever et coucher du soleil :

on peut donc calculer l'heure solaire vrai du lever et du coucher du soleil : on a les équations suivantes :

$$\omega_{ss} = 12 - (\arcsin(-\tan(\theta) * \tan(\delta))) / 15$$

$$\omega_{sr} = 12 + (\arcsin(-\tan(\theta) * \tan(\delta))) / 15$$

mois	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
Wss (h)lever	6.97	6.4	5.8	5.3	4.9	4.7	5.00	5.4	5.9	6.4	7.02	7.22
Wsr(h)coucher	17.02	17.55	18.13	18.47	19.04	19.22	18.99	18.56	18.08	17.70	16.93	16.77

Tableau IV 8: Angle horaire au Lever et coucher du soleil au cours de l'année à Mostaganem.

IV.5.5. Calcul de l'angle horaire(ω) : $\omega = 15.(TSL - 12)$

IV.5.6. Calcul de la hauteur angulaire du soleil (h) :

$$\sin(h) = \sin(\Phi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) \cdot \cos(\Phi)$$

IV.5.7. L'inclinaison du panneau β : L'inclinaison du panneau se détermine finalement par la relation :

$$\beta = 90 - h$$

IV.5.8. Azimut a : $\sin(a) = \cos\delta \cdot \sin\omega / \cos(h)$

Avec : ω : angle horaire

δ : Déclinaison du soleil

h : hauteur du soleil

IV.5.9. Angle d'incidence

L'angle d'incidence i , c'est l'angle entre la direction du soleil et la normale au plan.

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

$$\cos(i) = \sin(\alpha) \cdot \cos(\gamma) \cdot \sin(\omega) \cdot \cos(\delta) + \cos(\alpha) \cdot \cos(\gamma) \cdot \cos(\omega) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(\varphi) - \sin(\delta) \cdot \cos(\varphi) + \sin(\gamma) \cdot [\cos(\omega) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos\varphi + \sin\delta \cdot \sin\varphi]$$

Nombre du jour	21	80	169	193	258	355
Hauteur du soleil (h)	31.3	50.38	73.12	70.64	52.66	29.35
Azimut (a)	17.30	27.22	45.78	48.09	29.40	13.57
Inclinaison β	58.61	39.61	16.87	19.35	37.33	60.50
Angle horaire (ω)	15.75	16.96	13.10	15.42	17.33	12.88
Angle d'incidence	18.16	26.63	22.25	22.51	26.85	17.65

Tableau. IV 9:Hauteur du soleil, Azimut, Inclinaison β , Angle horaire, Angle d'incidence au cours de l'année à Mostaganem.



Figure IV.10 : variation de la Hauteur du soleil (h) au cours de l'année.

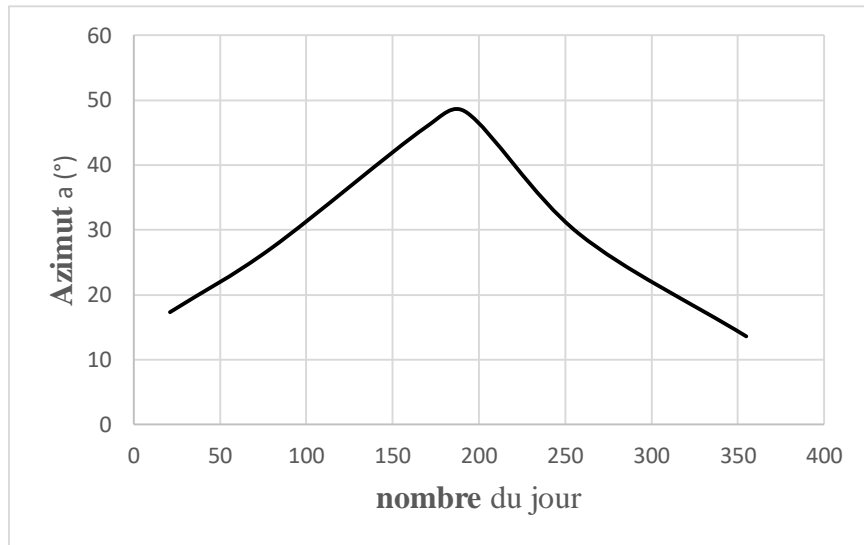


Figure IV.11: variation de l'Azimut du soleil (a) au cours de l'année.

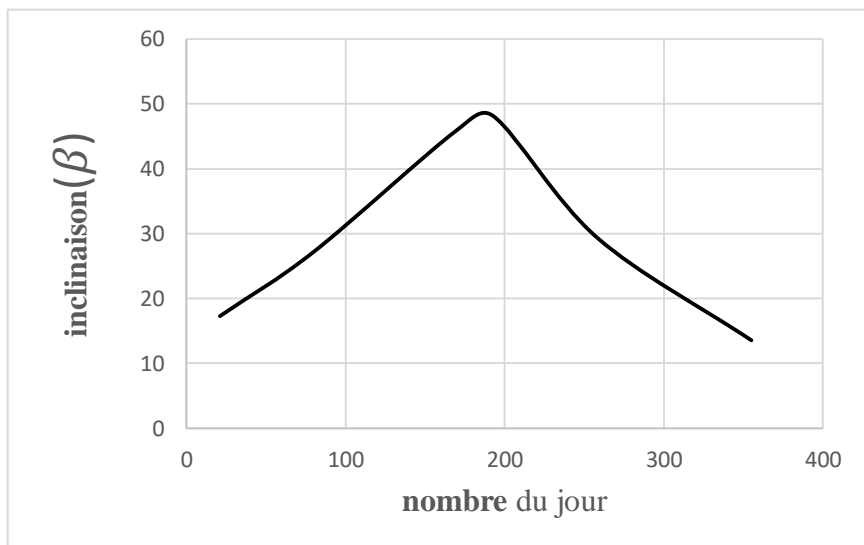


Figure IV.12: variation de l'Inclinaison du panneau (β).

Nous constatons d'après la figure (III.4.5.6.7) que les rayons solaires arrivent avec un angle de hauteur de 73.12° au juin , l'inclinaison du panneau correspondante est de 16.87° et l'azimut est de 48.09°

IV.5.10. Calcul du rayonnement solaire direct sur un plan récepteur perpendiculaire, sur un plan incliné fixe et sur un plan horizontal :

Dans cette partie nous avons présenté les rayonnements solaires sur différents plans (horizontale, incliné, et plan tracking), ainsi pour différents temps (journalière, mensuel, Et annuelle). Pour résoudre ce problème, il existe plusieurs formules simplificatrices pour mesurer l'éclairement solaire. La formule précédente définit que le rayonnement global G est la somme des deux composants (directe et diffus) c'est-à-dire :

Le rayonnement global sur un plan horizontal est la somme du rayonnement direct et diffus donné par :

$$G = S + D$$

Où S : le rayonnement direct reçu par une surface horizontale.

D : le rayonnement diffus provenant du ciel, reçu par une surface horizontale.

G: le rayonnement global reçu par une surface horizontale.

IV.5.10.1. Rayonnement solaire direct sur un plan horizontal :

Le rayonnement solaire direct reçu sur un plan horizontal peut être déterminé par :

$$S = F \cdot \sin(h)$$

Avec $\sin(h)$ évalué par

Où F est le flux incident reçu sur une surface face aux rayons solaires et peut être évalué par :

$$F = ESOL \cdot \exp \left(TL / (0.9 + 9.4 \sin(h)) \right) \text{ [w/m}^2 \text{]}$$

Avec $Esol = 1370 \text{ w/m}^2$ et TL le facteur de trouble de Linke défini comme suit :

$$TL = 2.4 + 14.6B + 0.4(1+2B)\ln(Pv)$$

Où B est le coefficient de trouble atmosphérique qui prend une des valeurs :

B = 0.02 pour un lieu situé en montagne

B = 0.05 pour un lieu rural

B = 0.10 pour un lieu urbain

$B = 0.20$ pour un lieu industriel (atmosphère polluée)

P_v est la pression partielle de vapeur d'eau, qui se calcule par : $P_v = P_{vs} \cdot HR$

avec P_{vs} la pression de vapeur saturante, HR le taux moyen d'humidité relative et

$P_{vs} = 2.165 \cdot (1.098 + T/100)^{8.02}$ où T est la température de l'air en °C.

IV.5.10.2. Calcul du rayonnement diffus sur un plan horizontal :

Le rayonnement solaire diffus sur un plan horizontal peut être déterminé par :

$$D = 54.8 \sqrt{\sin(h)} \cdot (T - 0.5 - \sqrt{\sin(h)})$$

Où TL est le facteur de trouble de Linke calculé par la formule.

IV.5.10.3. Rayonnement solaire direct sur un plan incliné :

Le rayonnement direct est celui qui traverse l'atmosphère sans subir de modifications, il est possible de l'estimer par la formule suivante :

$$S = F \cdot CI$$

Où F est le flux incident reçu sur une surface face aux rayons solaires.

CI étant le coefficient d'orientation, c'est l'angle formé par le rayonnement solaire avec la perpendiculaire d'une surface. Ce coefficient est défini d'une part par la hauteur du soleil (h) et son azimut (a) et d'autre part par l'orientation (o) figure et l'inclinaison (β) du plan récepteur. L'orientation (o) est négative vers l'Est, positive vers l'Ouest et nulle vers le sud. Le calcul du coefficient d'incidence CI est obtenu par la formule suivante :

$$CI = (\sin(\beta) \cos(h) \cos(o - a) \cos(\beta) \sin(h))$$

IV.5.10.4. Calcul du rayonnement diffus sur un plan incliné :

Le rayonnement solaire diffus D arrive sur le plan récepteur incliné après avoir été diffusé par les particules solides ou liquides en suspension dans l’atmosphère, il n’a pas de direction privilégiée, de ce fait, l’orientation du plan (l’azimut) n’a pas d’importance, seule son inclinaison en a.

Ainsi sur un plan récepteur d’inclinaison (β), D se calcule

$$D = 125 \cdot \sin(h) \cdot 0.4 \left(\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right) + 211.86 \sin(h) \cdot 1.22 \left(\frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right) \text{ [W/m}^2\text{]}$$

Le rayonnement diffus pour un plan incliné fixe est un cas particulier du rayonnement diffus pour un plan incliné mobile, l’inclinaison (β) doit être prédéfinie

Nombre du jour	21	80	169	193	258	355
Rayonnement solaire direct sur un plan horizontal [w/m²]	3755.7	3456.5	3479.4	3474.2	3452.4	3878.2
rayonnement diffus sur un plan horizontal [w/m²]	335.82	398.28	438.52	435.59	403.12	324.55
Rayonnement solaire direct sur un plan incliné [w/m²]	1425.5	1078.9	257.66	330.14	1014.2	1426.8
rayonnement diffus sur un plan incliné [w/m²]	7004.2	10768.7	12981.2	12839.9	11057.6	6370.1

Tableau . IV 10: Le rayonnement solaire direct sur un plan récepteur perpendiculaire, sur un plan incliné fixe et sur un plan horizontal.

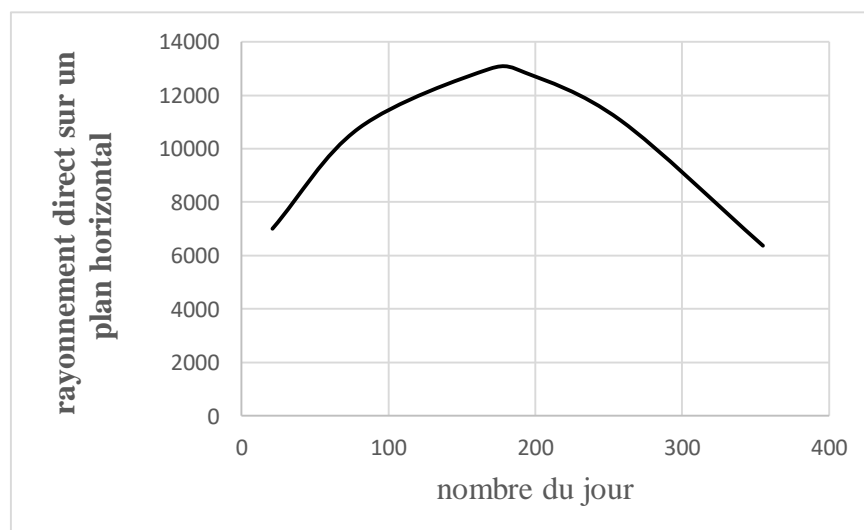


Figure IV.14 : variation le rayonnement solaire direct sur plan horizontal au cours de l’année

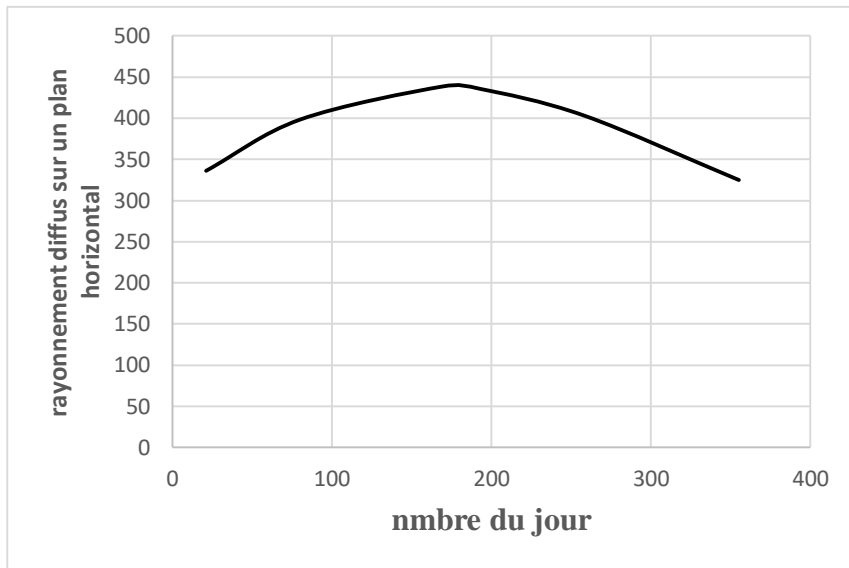


Figure IV.15: variation rayonnement solaire diffus sur un plan horizontal au cours de l'année

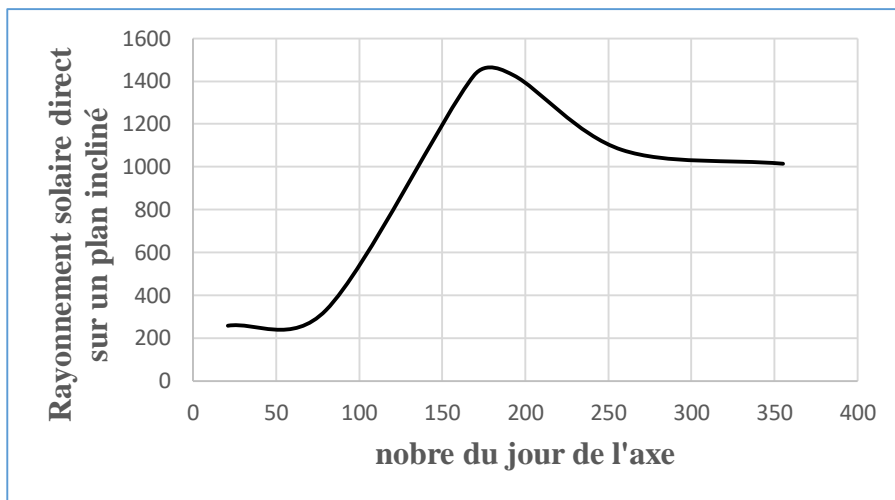


Figure IV.16 : variation le rayonnement solaire direct sur un plan incliné au cours de l'année

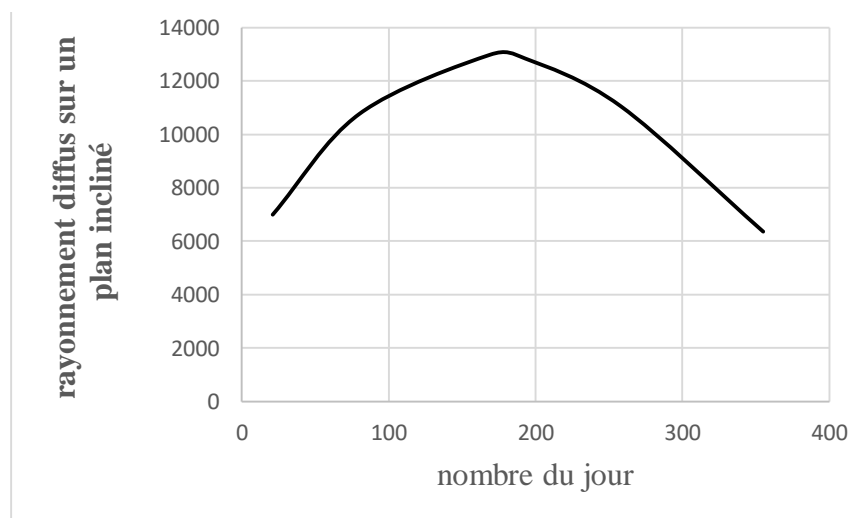


Figure IV.17: variation le rayonnement solaire diffus sur un plan incliné au cours de l'année

Les courbes du rayonnement solaire direct et diffus au cours de l'année, nous montrent que

- le flux solaire diffus reçu sur un plan horizontal atteint 438.5 (W/m²) au juin, il atteint 12981.2(W/m²) sur un plan incliné
- flux solaire direct sur un plan horizontal atteint 3479.01 (w/m²), il atteint 257.9 (w/m²) sur un plan incliné au moi du juin
- le rayonnements solaire globale sur un plan horizontal atteint 3917.5(w/m²), il atteint 13239.1(w/m²) au moi du juin.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE :

L'énergie solaire occupe une des places les plus importantes parmi les diverses sources d'énergies possibles. Une connaissance précise de distribution du rayonnement solaire à un endroit géographique donné est d'une importance majeure pour le développement des dispositifs d'énergie solaires. Malheureusement, pour beaucoup de pays en voie de développement les mesures du rayonnement solaire ne sont pas facilement disponibles. Donc, il est important d'élaborer des modèles d'estimation du rayonnement sur la base des données astronomiques et météorologiques. Au cours des années, beaucoup des modèles ont été proposés pour prévoir la valeur du rayonnement solaire en utilisant plusieurs paramètres, à savoir : le rayonnement extraterrestre, la durée d'insolation, l'altitude, la latitude, la longitude et l'albédo. Notons également que les composantes du rayonnement solaire direct et diffus sont mesurées essentiellement sur un plan horizontal. Or, pour capter maximum, les capteurs solaires que ce soient photovoltaïque ou thermique doivent être minutieusement orientés et inclinés.

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer l'apport thermique du rayonnement solaire direct et de montrer l'importance des angles d'inclinaison et orientation pour maximiser le rayonnement solaire global incident sur la surface des capteurs solaire thermique et photovoltaïque.

Dans ce travail, nous avons développé un algorithme en utilisant le logiciel Excel. Nous avons effectué le calcul d'optimisation du rayonnement solaire annuelle et les angles (orientation et inclinaison) correspondant. Guidés par les résultats obtenus pour la région de Mostaganem, nous avons pu conclure que l'orientation et l'inclinaison optimales correspondent respectivement au plein ($\alpha=30^\circ$) et $\beta=90^\circ$ -hauteur du soleil, et aussi nous avons décrit quelques exemples de rayonnement solaire pour la wilaya de Mostaganem et qui atteignent des valeurs de 3918.6 W/m² sur un plan horizontal et de 13217.09 W/m² sur un plan incliné au moi du juin

Finalement, pour l'exploitation de cette énergies non polluante et inépuisable dans la région de Mostaganem, on suggère l'utilisation de ce potentiel solaire dans la production du chauffage et la climatisation solaire à usage individuel et collectif, et même pour la production de l'eau chaude sanitaire dans une maison dans cette zone désertique en Algérie.

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.

REFERENCE :

- [1] Le soleil pour tous - initiation à l'énergie solaire pratique, Raymond BRUCKERT, Au signal, Lausanne, 1980.
- [2] BENJAMIN.DESSUS, FRANCOIS PHARABOD – L'énergie Solaire- QUE SAIS-JE ? presse Universitaire de France, VENDOME, OCT 2002
- [3] Zakia ,Sen. Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques, Springer 2008
- [4] .Adolf Goetzberger, Joachim Knobloch Bernhard, “ Crystalline Silicon Solar Cells”, JohnWiley & Sons, p 100 -135
- [6] W. Palz, Solar (Electricity, UNESCO, Butterworths, 1978).
- [7] P. Bessemoulin, J. Oliviéri. Le rayonnement solaire et sa composante ultraviolette. La météorologie 8e série n° 31 septembre (2000), 42-59
- [8] Milton Ohring, “The Materials Science of Thin Films”, Academic Press, p 234-242
- [9] P, H, Communay. Héliothermique : le gisement solaire, méthodes et calculs, Groupe de Recherche et d'Édition, France. (2002).
- [10] Spectre solaire, courbe téléchargée ; <http://rredc.nrel.gov/solar/spectra/am0/>
- [11] M. Iqbal .Une introduction au rayonnement solaire, Academic Press, New York (1983).
- [12] N, Bellel. Contribution à la réalisation et simulation d'un capteur plan à eau type collecteur; thèse de magistère, Université de Constantine. (1989).
- [13] Capderou M. Atlas solaire de l'Algérie. Office des publications universitaires, T1-3, 1988.
- [14] A. Duffie and W.A. Beckman, ‘Solar Engineering of Thermal Processes’, 3rd Ed JohnWiley and Sons, 2006
- [15] M. Iqbal .Une introduction au rayonnement solaire, Academic Press, New York (1983).
- [16] Viorel Badescu. Modeling solar radiation at the earth's surface, Springer 2008
- [17] Tian Pau Chang . The Sun's apparent position and the optimal tilt angle of a solar collector in the northern hemisphere. Solar Energy Volume 83, Issue 8, August 2009, Pages 1274-1284.
- [18] S, El Mokretar; R, Miri; M, Belhamel. Etude du bilan d'énergie et de masse d'un séchoir de type serre, applications au séchage des produits agro-alimentaires, Revue des Energies Renouvelables, Vol 7, p 109-123. (2004).
- [19] John A. Duffie and William A. Beckman “Solar engineering of thermal processes “Second ed 1991.New York. John Wiley.
- [20] A. Labouret, M. Viloz. Energie solaire photo voltaïque. Edition le Moniteur, 3emmedition.(2006).
- [21] chiba younes,mémoire de magister, «étude de l'utilisation d'un bassin d'eau comme capteur solaire» universite mentouri constantine 2005.

[22] D.K Edwards, Capteurs solaire ; Edition SCM, Paris, 1979.

[23] A.Boyette “ contrôle – commande d’un générateur asynchrone à double alimentation avec système de stockage pour la production éolienne ‘’, Thèse de doctorat de l’université Henry Poincaré, Nancy I,decembre 2006.

[24] M. Meinhardt and G. Cramer, “Past, present and future of grid connected photovoltaicand hybridpower-systems,” Proceedings of the IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, Vol. 2, pp. 1283–1288, 2000.

[25] M. Meinhardt and D. Wimmer, “ Multistring-converter: The next step in evolution of string converter technology,” Proceedings of the EPE’01 Conference, Graz, Austria, 2001.

[26] Perez R, Ineichen P, Seals R, Michalsky J, Stewart R. Modeling daylight availability and irradiance components from direct and global irradiance. Solar Energy 1990;44(5):pages271-289.

[27] Gary L. Johnson “wind energy systems”, book, Electronic Edition Manhattan October 10, 2006, pp.61- 70-15733

[28] Efim G. Evseev, Avraham I. Kudish . The assessment of different models to predict the global solar radiation on a surface tilted to the south. Solar Energy,

[29] .T.M. Klucher,. Evaluation of models to predict insolation on tilted surfaces.

[30] Hay JE, Davies JA. Calculation of the solar radiation incident on an inclined surface. First Canadian Solar Radiation Data Workshop 1980