

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



UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA DE BEJAÏA
FACULTE DE LA TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER II EN ELECTRTECHNIQUE
OPTION : ENERGIE RENOUVELABLE

THEME :

**Etude de corrélation entre l'irradiation solaire et factures
météorologiques**

Présenté par :

M^r : HAI
M^r : HAMMADOU

ABDELHAKIM
SOUHIL

Encadré par :

M^r : ALKAMA .R

promotion 2012-2013



REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier très vivement monsieur ALKAMA qui nous a fait l'honneur d'accepter d'être notre promoteur pour le projet de fin cycle Master II, et qui nous a conseillé et orienté avec une grande modestie, et aussi pour son suivi tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Nous n'omettrons pas de remercier aussi monsieur le président et les membres de jury Pour l'honneur qu'ils nous font d'avoir bien accepté de juger et d'apprécier ce travail.



DEDICACE

Je dédie ce modeste travail

- *A l'âme de ma mère qui dieu la bénisse dans sa vaste paradis.*
- *A Mon père .*

*Qui ont sacrifié les belles années de leur vie pour me voir un jour
réussir.*

A mes très chères frères et sœurs que j'aime très fort.

A ma grande mère

A toutes ma famille sons exception, petite et grands.

*A mes très chers amis que je remercie beaucoup, pour les inoubliables
moments qu'on a passés et qu'on passera ensemble toute la section et
toutes mes éducateurs.*

Sans oublier mes meilleurs amis, et je vous souhaite la belle vie.

Pour n'oublie personne, a tout ceux que j'aime et qui m'aiment.

Hakim.H

SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : Notions générales sur système de l'énergie solaire

Introduction.....	3
I.1 Le soleil.....	3
I.2 Rayonnement solaire.....	3
I.2.1 Rayonnement extraterrestre	4
I.2.2 Indice de clarté.....	4
I.2.3 Irradiation solaire.....	4
I.2.4 Durée d'insolation.....	5
I.3 Coordonnées géographiques terrestres.....	5
I.3.1 Latitude (φ).....	5
I.3.2 Longitude (L).....	6
I.3.3 Altitude.....	6
I.4 Position du soleil	6
I.4.1 Coordonnées horaires	6
I.4.1.1 Déclinaison du soleil (δ).....	7
I.4.1.2 Angle horaire du soleil (ω)	7
I.4.2 Coordonnées horizontales	9
I.4.2.1 Hauteur du soleil (H)	9
I.4.2.2 Azimut du soleil (α).....	10
I.5 Rayonnement solaire en atmosphère terrestre.....	10
I.6. L'énergie solaire.....	13
I.6.1. Origine	13
I.6.2. Caractères particuliers.....	13
I.7 Nature du rayonnement solaire.....	14
I.7.1 Répartition spectrale du rayonnement solaire	15
I.7.2 La constante solaire	15
I.8 Propagation du rayonnement solaire dans l'atmosphère	16
I.8.1 Formation de l'atmosphère terrestre	16

I.8.2 Régions atmosphérique.....	16
I.8.2.1 La troposphère	16
I.8.2.2 La stratosphère.....	17
I.8.2.3 La mésosphère	17
I.8.2.4 La thermosphère	17
I.8.3 Composition de l'atmosphère terrestre.....	18
I.8.3.1 L'air sec atmosphérique.....	18
I.8.3.2 L'eau.....	18
I.8.3.3 Les nuages.....	19
I.9 Influence des constituants atmosphériques sur le rayonnement solaire.....	20
I.9.1 Absorption atmosphérique.....	20
I.9.1.1 Absorption dans l'ultraviolet.....	20
I.9.1.2 Absorption dans l'infrarouge.....	20
I.9.2 La diffusion atmosphérique.....	21
I.9.3 Diffusion par les couches supérieures de l'atmosphère.....	21
Conclusion.....	22

Chapitre II : Facteurs météorologiques

Introduction.....	23
II Paramètres météorologiques	23
II.1 La pression atmosphérique.....	23
II.1.1 Les baromètres	24
II.1.1.1 Le baromètre à mercure	24
II.1.1.2 Le baromètre à anéroïde	25
II.1.1.3 Le baromètre à gaz d'Eco-Celli	25
II.1.2 Capteur de pression	25
II.1.2.1 Capteur à jauge de contrainte	25
II.1.2.2 Capteur à effet capacitif	26
II.1.2.3 Capteur à effet inductif	27
II.1.2.4 Capteur piézo-électrique	27

II.2 La température	28
II.2.1 Les thermorésistantes	28
II.2.2 Les thermistances	29
II.2.3 Les thermocouples.....	29
II.2.4 Les thermomètre à quartz	29
II.2.5 Les thermomètres à semi-conducteurs	29
II.3 L'humidité	30
II.3.1 Hygromètre à cheveux	30
II.3.2 Hygromètre résistif	31
II.3.3 Hygromètre capacitif	31
II.3.4 Hygromètre à condensation.....	32
II.3.5 Capteur gravimétrique	33
II.4 La vitesse de vent.....	34
II.4.1 Anémomètre à fil chaud	34
II.4.2 Anémomètre à coupelles.....	34
II.4.3 Anémomètre à ultrasons	35
II.5 La direction de vent	35
II.6 Les Précipitations	35
II.6.1 Les pluviomètres à augets basculeurs.....	36
II.6.2 Les pluviomètres à mesure de hauteur d'eau	36
II.6.3 Les pluviomètres optiques	37
II.7 Mesure de l'insolation.....	37
II.7.1 L'Héliographe Campbell-stokes	37
II.7.2 Héliographe à fibre optique.....	38
II.8 Capteurs utilisés.....	38
Conclusion.....	39

Chapitre III : Installation des mesures

Introduction.....	40
III.1 Données photovoltaïques	40
III.1.1 Panneau photovoltaïque.....	41
III.1.2 Pyromètre... ..	42
III.1.3 Régulateur de charge.....	42
III.1.4 Datalogger	43
III.1.5 Onduleur	45
III.1.7 La batterie au plomb.....	45
III.2 Mini station météorologique.....	47
III.2.1 Capteur de température et d'humidité extérieure	47
III.2.2 Capteur de pression, de température et d'humidité intérieure	48
III.2.3 Datalogger de la mini station météorologique	48
III.2.4 Interface de la mini station météorologique.....	49
Conclusion.....	51

Chapitre IV : Exploitation des mesures

Introduction.....	52
IV.1 Sélection des données.....	52
IV.2 Coefficient de corrélation.....	54
IV.3 Evaluations des données météorologiques.....	54
IV.4 Modèles non linéaires.....	56
IV.4.1 Ensoleillement en fonction de la température.....	56
IV.4.2 Ensoleillement en fonction de l'humidité	56
IV.4.3 Ensoleillement en fonction de la pression.....	57
IV.5 Modèle linéaires.....	58
IV.5.1 Ensoleillement en fonction de la température.....	58
IV5.2 Ensoleillement en fonction de l'humidité.....	59
IV.5.3 Ensoleillement en fonction de la pression.....	60
Conclusion.....	62
Conclusion générale.....	63

Figure I.1 : La latitude (φ).....	5
Figure I.2 : La longitude (L).....	6
Figure I.3 : Coordonnées horaires.....	8
Figure I.4 : Hauteur du soleil (H).....	9
Figure I.5 : Azimut du soleil (α).....	10
Figure I.6 : Composants au Sol du Rayonnement Solaire.....	11
Figure II.1 : baromètre à mercure.....	24
Figure II.2 : Capteur passif à jauges extensométriques.....	26
Figure II.3 : Capteur à variation de capacité	26
Figure II.4 : Capteur à effet inductif.....	27
Figure II.5 : Capteur de pression piézoélectrique.....	28
Figure II.6 : Variation de longueur du cheveu en fonction de l'humidité relative longueur du cheveu pour une variation d'humidité de 0 à 100 %	31
Figure II.7 : Schéma de principe d'un hygromètre capacitif.....	32
Figure II.8 : Hygromètre à condensation.....	33
Figure II.9 : Les pluviomètres à augets basculeurs.....	36
Figure II.10 : L'Héliographe Campbell-stokes.....	37
Figure II.11 : Héliographe à fibre optique.....	38
Figure III.1 : Schéma de l'installation photovoltaïque.....	40
Figure III.1.1 : les Panneaux solaire polycristallin utilisés avec ses caractéristiques.....	41
Figure III.1.2 : Capteur de l'irradiation solaire.....	42
Figure III.1.3 : Régulateur de charge.....	43

Figure III.1.4 : Photo du Datalogger	44
Figure III.1.5 : Onduleur.....	45
Figure III.1.6 : La batterie	46
Figure III. 2.1 : Capteur de température et d'humidité extérieure.....	47
Figure III.2.2 : Capteur de pression, de température et d'humidité intérieure	48
Figure III.2.3 : Datalogger de la mini station météo.....	49
Figure III.2.4 Interface de la mini station météorologique.....	49
Figure IV.1. Ensoleillement durant 2 journées de beau et de mauvais temps	53
Figure IV. 3 : Evolution des moyennes mensuelles (entre 12 h et 14h) des grandeurs étudiées durant l'année 2011 à Bejaia.....	55
Figure IV.4.1: Ensoleillement w/m^2 en fonction de la température en C°	56
Figure IV.4.2 : Ensoleillement w/m^2 en fonction de l'humidité en %.....	57
Figure IV.4.3 : Ensoleillement w/m^2 en fonction de la pression (mb).....	58
Figure IV.5.1 : Ensoleillement w/m^2 en fonction de la température en C°	59
Figure IV.5.2 : Ensoleillement w/m^2 en fonction de l'humidité en %.....	60
Figure IV.5.3 : Ensoleillement w/m^2 en fonction de la pression (mb).....	61

Tableau I.1 : L'albédo typique de différentes surfaces.....	12
Tableau III.1 : Caractéristiques techniques du datalogger.....	44
Tableau III.2 : Echantillon de mesures enregistrées le 29 avril 2011.....	46
Tableau III.3 : Echantillon de données enregistrées le 29 avril 2011 au sien de mini station météorologique.....	50
Tableau IV.1 : Echantillon de données.....	52

Introduction générale

Introduction générale

L'énergie est la base de toute activité humaine. De nos jours, une grande partie de la demande mondiale en énergie est assurée à partir de ressources fossiles. Cependant, les réserves combustibles sont limitées certains pays développés se sont orientés vers l'énergie nucléaire, alors que cette dernière n'est pas à la portée de tous les états et surtout des pays en voie de développement et présente des risques d'accidents graves.

En effet, la croissance de la demande énergétique mondiale, l'épuisement inévitable des ressources fossiles, à plus ou moins long terme, et la détérioration de l'environnement causée par ces types d'énergies, a incité au développement de nouvelles sources d'énergies renouvelables, assurant ainsi une durabilité et une protection de l'environnement qui est devenue un point très important.

L'utilisation d'énergie solaire photovoltaïque semble être une nécessité pour l'avenir. En effet, le rayonnement solaire constitue la ressource énergétique la plus abondante sur terre. La quantité d'énergie libérée par le soleil pendant une heure pourrait suffire à couvrir les besoins énergétiques mondiaux pendant une année.

Afin de mieux exploiter cette énergie et d'optimiser sa collecte par les capteurs photovoltaïques, il est nécessaire de connaître la distribution de l'irradiation solaire sur le lieu de l'implantation prévu pour l'installation photovoltaïque, sous différentes orientations et inclinaisons.

Cependant, l'irradiation solaire est l'un des paramètres météorologiques les plus difficiles à estimer du fait qu'elle est fonction de plusieurs paramètres géographiques et astronomiques et est tributaire des conditions météorologiques et atmosphériques.

Ça n'a pas empêché quand même que plusieurs modèles d'estimation sur différentes échelles temporelles (heure, jour et mois) à partir des données météorologiques les plus aisément disponibles soient développés.

Toute étude ou application de l'énergie solaire en un site donné nécessite une connaissance complète de l'ensoleillement du site qui est indispensable pour le dimensionnement. Ceci est généralement facile lorsque le site est pourvu d'une station de mesures. Cependant, dans la majorité des cas, il n'existe pas des mesures locales d'ensoleillement et de flux solaire et on doit avoir recours à certaines méthodes approchées permettant de prédire les caractéristiques du rayonnement solaire. En plus des considérations géographiques, l'ensoleillement devrait être directement tributaire des facteurs météorologiques.

Depuis longtemps, les phénomènes météorologiques (la pression, l'humidité, la température, la vitesse et la direction du vent) et le temps qu'il faisait ou qu'il allait faire conditionnaient totalement la vie quotidienne des gens. S'ils sont indispensables et fortement recommandés pour la navigation aérienne et maritime, ils sont sérieusement pris en compte dans l'agriculture, le tourisme et les autres domaines de la vie quotidienne.

Le travail est présenté en quatre chapitres :

Dans le premier chapitre, on donne des rappels sur l'énergie solaire, et on étudie les différents paramètres géographiques et astronomiques pouvant influencer l'intensité l'irradiation solaire reçue au niveau du sol

Dans le second chapitre, on étudie les différents capteurs des grandeurs météorologiques en mettant l'accent sur les capteurs utilisés pour la collecte de nos données

Dans le troisième chapitre, on installe plusieurs appareils pour mesurer les différents paramètres météorologiques et prendre les données obtenus pour voir la corrélation.

Le traitement des données météorologiques et des mesures de l'éclairement pour obtenir les différents modèles ainsi que les performances du modèle sélectionné seront présentés dans le dernier chapitre.

Chapitre I

Notions générales sur systèmes de l'énergie solaire

Introduction

L'exploitation de l'énergie solaire et l'optimisation de sa collecte par les systèmes photovoltaïques nécessite une connaissance exacte de la distribution de l'irradiation solaire, qui est fonction de plusieurs paramètres géographiques, météorologiques et astronomiques, sur le lieu d'implantation de ce système.

Ainsi, nous avons consacré ce chapitre pour donner des rappels sur l'énergie solaire, les différents paramètres qui influent sur l'intensité du flux solaire reçu au niveau du sol, et on parlera de certaines notions fondamentales sur notre étoile (le soleil), l'origine de l'énergie qu'elle rayonne, la nature de cette énergie, ainsi on verra son atmosphère, ses zones, son effet sur le rayonnement solaire et la distribution de ce rayonnement au sol.

I.1 Le soleil

Le soleil est la seule étoile du système solaire et la plus proche de la terre, sa lumière émet environ 8 mn à nous atteindre. .

Sur le plan humain, le soleil a une importance primordiale car il est à l'origine de la vie sur terre, en lui fournissant d'énormes quantités d'énergie, qui permet la présence de l'eau à l'état liquide et la photosynthèse des végétaux. Le rayonnement solaire est aussi responsable du climat et des phénomènes météorologiques [1].

I.2 Rayonnement solaire

Le soleil émet en permanence, dans toutes les directions de l'espace, des rayonnements électromagnétiques composés de «grains» de lumière appelés photons. Ces rayonnements se propagent à la vitesse de la lumière C ; il lui faut donc, en moyenne, 499 secondes, soit 8 minutes et 19 secondes, pour atteindre notre atmosphère [2].

I.2.1 Rayonnement extraterrestre

Le rayonnement solaire extraterrestre couvre un très large domaine de longueur d'ondes. Il ne dépend d'aucun paramètre météorologique, mais il est fonction de quelques paramètres astronomiques et géographique tel que: la latitude du lieu (φ), la déclinaison solaire(δ), et l'angle horaire au coucher du soleil (ω_0).

I.2.2 Indice de clarté

Le rapport entre le rayonnement au sol et le rayonnement extraterrestre est appelé indice de clarté. L'indice de clarté, K_T , est défini par :

$$K_T = E/E_0$$

Où: E est l'irradiation solaire reçue sur un plan horizontal.

La moyenne mensuelle de l'indice de clarté K_T varie selon les endroits et les saisons et varie généralement entre 0,3 (pour des régions ou des saisons pluvieuses) et 0,8 (pour des saisons ou des climats secs et ensoleillés) [5].

I.2.3 Irradiation solaire

L'irradiation solaire exprime la quantité d'énergie reçue, au niveau du sol, par unité de surface. Ses unités usuelles sont le J/m^2 , J/cm^2 , Wh/m^2 , ou bien kWh/m^2 .

Elle dépend de nombreux facteurs, dont principalement la couverture nuageuse, la durée du jour, l'instant considéré dans la journée, l'orientation et l'inclinaison de la surface, la latitude du lieu, et son degré de pollution.

La combinaison de tous ces paramètres produit la variabilité dans l'espace et dans le temps de l'irradiation solaire.

I.2.4 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.

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. [3]

En absence permanente de nuages, la durée d'insolation est pratiquement égale à la durée du jour. Elle est définie par:

$$S_0 = 2 \omega_0 / 15$$

Avec :

ω_0 : L'angle horaire au coucher de soleil ($^\circ$)

. S_0 : Durée du jour (h).

I.3 Coordonnées géographiques terrestres Un point sur la surface de la terre est repéré par ces coordonnées.

I.3.1 Latitude (φ)

Une latitude donne la localisation d'un point par rapport à l'équateur, elle varie entre 0 et 90°, positivement vers le pôle Nord et négativement vers le pôle Sud.

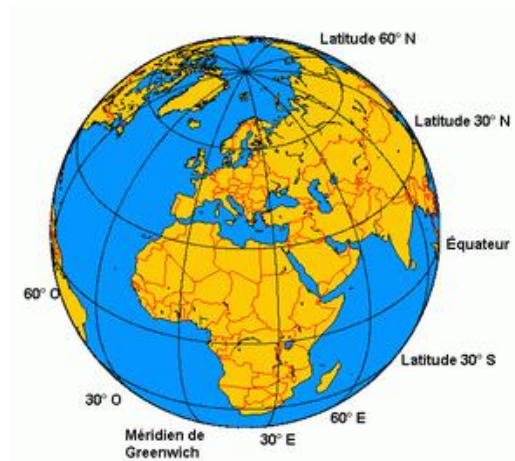


Figure I.1 : La latitude (φ)

I.3.2 Longitude (L)

La longitude d'un lieu donné est l'angle formé par le méridien de ce lieu avec le méridien d'origine (méridien de Greenwich), elle est comptée de 0° à 180° , positivement vers l'est et négativement vers l'ouest.

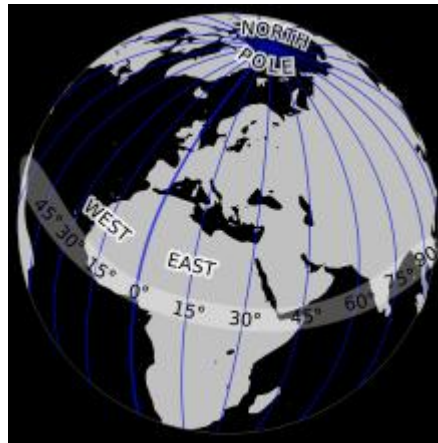


Figure I.2 : La longitude (L)

I.3.3 Altitude

L'altitude est l'élévation d'un lieu par rapport au niveau de la mer, mesurée en mètre (m).

I.4 Position du soleil

La position apparente du soleil est repérée à chaque instant de la journée et de l'année par deux systèmes de coordonnées:

I.4.1 Coordonnées horaires

Les coordonnées horaires sont liées à l'heure de l'observation, et n'ont aucune relation avec la position de l'observateur sur la terre. Elles ont comme plan de référence le plan de l'équateur. Les coordonnées horaires sont au nombre de deux :

I.4.1.1 Déclinaison du soleil (δ)

La déclinaison est l'angle que fait la direction d'observation du soleil avec sa projection sur le plan équatorial. Elle est exprimée en degrés($^{\circ}$). Elle traduit l'inclinaison du plan équatorial par rapport au plan écliptique.

En considérant la déclinaison δ comme constante sur une journée, l'équation de Kopernic fournit la relation qui relie ces deux grandeurs [5]:

$$\delta=23,45 [\sin (2\pi (284+ n)/365)]$$

n: est le numéro du jour de l'année à partir du premier janvier.

La déclinaison solaire varie de $-23^{\circ}27'$ au solstice d'hiver à $+23^{\circ}27'$ au solstice d'été et elle est nulle aux équinoxes [4], et cette variation entraîne des variations de la hauteur du soleil pour un même site.

En juin, l'hémisphère nord se trouve rapproché du soleil ; le soleil est plus haut sur l'horizon pour une même heure et la durée du jour est plus grande. L'irradiation journalière est ainsi automatiquement augmentée par rapport au solstice d'hiver, en décembre.

I.4.1.2 Angle horaire du soleil (ω)

L'angle horaire étant l'angle ou l'arc compté sur l'équateur dans le sens rétrograde à partir du plan vertical du lieu passant par le sud jusqu'au plan méridien passant par le centre du soleil. Il mesure la course du soleil dans le ciel.

L'angle horaire définit le temps solaire vrai TSV, il est midi TSV si $\omega=0$ [6]. Exprimé en degrés d'angle, sa valeur est nulle à midi solaire, elle est négative le matin, positive en après-midi et augmente de 15° par heure (un tour de 360° en 24 heures).

L'angle horaire ω ($^\circ$) est donné par la formule suivante [7] :

$$\omega = 15 (\text{TSV}-12)$$

TSV : est le temps solaire vrai en heure, se calcul par l'équation suivante [8] :

$$\text{TSV} = \text{TU} + \frac{L}{15} + \text{ET}$$

$$\text{ET} = 9.87 \sin (2B) - 5.53 \cos (B) - 1.5 \sin (B)$$

$$B = 2\pi (284 + n)/365$$

TU : est le temps universel du méridien de Greenwich (GMT).

Cette formule n'est pas valable pour les heures de lever et de coucher du soleil. Il faut ainsi déterminer l'angle solaire au coucher, et au lever qui dépendent de la déclinaison et de la latitude du lieu. [9]

L'angle solaire au coucher est tout simplement l'opposé de l'angle solaire au levé.

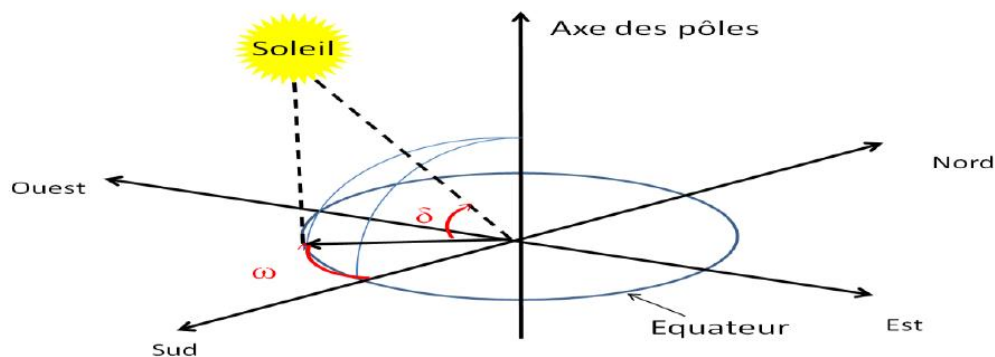


Figure I.3 : Coordonnées horaires.

I.4.2 Coordonnées horizontales

Les coordonnées horizontales dépendent du lieu d'observation, perpendiculaire à la verticale du lieu. Un objet est repéré dans ce système de coordonnées par ces composantes:

I.4.2.1 Hauteur du soleil (H)

La hauteur angulaire du soleil, communément appelée hauteur du soleil ou élévation du soleil, est l'angle compris entre la direction apparente du soleil avec sa projection sur le plan horizontal du lieu considéré. Sa valeur est nulle au lever ou au coucher du soleil.

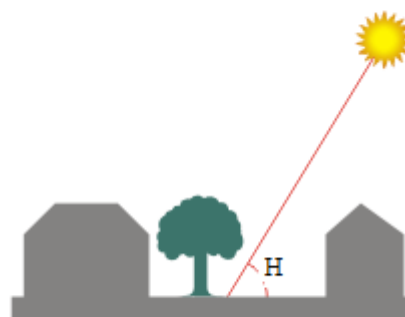
Elle varie au cours de la journée en fonction de la déclinaison δ de l'angle horaire ω , et de la latitude φ . De façon telle que :

$$\sin H = \cos \delta \cdot \cos \omega \cdot \cos \varphi + \sin(\delta) \cdot \sin(\varphi)$$

Il s'agit de la formule fondamentale, permettant de connaître, quels que soient le jour, l'heure et le lieu, la hauteur du soleil sur l'horizon

La hauteur maximale du soleil (à midi solaire) :

$$H_{\max} = \frac{\pi}{2} - \varphi + \delta$$



Hauteur du soleil

Figure I.4 : Hauteur du soleil (H)

I.4.2.2 Azimut du soleil (α)

C'est l'angle compris entre la projection de la direction du soleil sur le plan horizontal et la direction sud ou nord. Il est mesuré commençant par le nord ou par le sud soit vers l'est soit vers l'ouest à travers un axe de 360° (l'azimut est compris entre $-180^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$). [7]

Dans l'hémisphère nord, l'origine des azimuts correspond à la direction du sud. L'angle d'azimut est compté positivement vers l'ouest et négativement vers l'est.

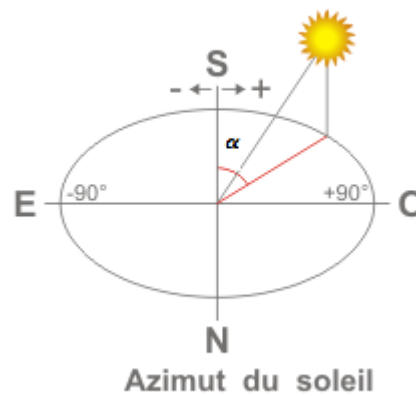


Figure I.5 : Azimut du soleil (α)

I.5 Rayonnement solaire en atmosphère terrestre

Les capteurs d'énergie solaire, qui correspondent aux cellules solaires devront donc être compatibles avec ces longueurs d'ondes pour pouvoir piéger les photons et les restituer sous forme d'électrons [4].

En passant par l'atmosphère, le rayonnement solaire est partiellement dispersé dans toutes les directions, partiellement absorbé et partiellement réfléchi, par les gaz atmosphériques, le rayonnement dispersé atteignant la surface de la terre constitue ce qu'on appelle le rayonnement diffus.

À nouveau, une partie de ce rayonnement diffus revient en arrière dans l'espace, alors qu'une partie atteint la surface de la terre sous forme d'un rayonnement, direct, diffus et global [10].

Le rayonnement direct comme son nom l'indique est le rayonnement solaire reçu à n'importe quel point sur terre directement du soleil sans aucune perturbation.

□ **Rayonnement direct:** C'est le rayonnement reçu directement du soleil, sans diffusion par l'atmosphère.

□ **Rayonnement diffus :** est le rayonnement diffusé par les différents gaz constituant l'atmosphère.

□ **Le rayonnement solaire global :**

Le rayonnement global est simplement la somme des composantes directe et diffuse. [9]

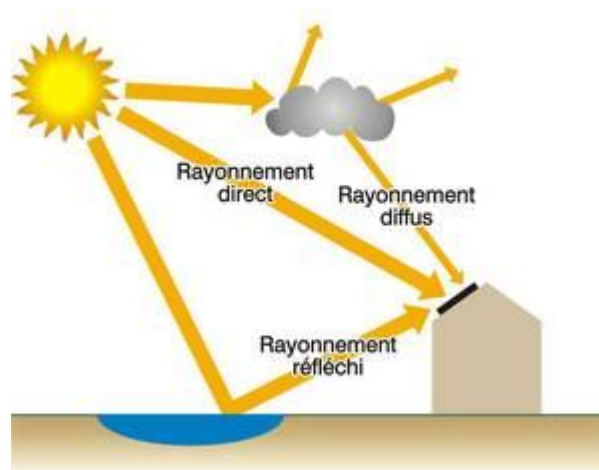


Figure I.6 : Composants au Sol du Rayonnement Solaire

□ **Albédo:**

L'**albédo**, grandeur sans dimension, est le rapport de l'énergie solaire réfléchie par une surface à l'énergie solaire incidente, le terme albédo dérive étymologiquement du latin albédo qui signifie « blancheur, » et Par définition, l'albédo est une valeur comprise entre 0 et 1.

Parvenant au sol, le rayonnement solaire n'est qu'en partie absorbé. On appelle albédo la fraction de rayonnement réfléchi par le sol, il dépend directement de la nature du sol (terre, désert).

La surface du sol renvoie vers l'espace une fraction du rayonnement solaire global appelée albédo (a), qui dépend de sa nature et de son état. Si le rayonnement réfléchi est égal à R . Le flux absorbé par le sol est $(1-a).R$. Le tableau I.1 donne l'albédo typique de quelques surfaces.

Surfaces	Albédo
Neige fraîche	0,8 à 0,9
Neige ancienne	0,5 à 0,7
Sol rocheux	0,15 à 0,25
Sol cultivé	0,07 à 0,14
Forêt	0,06 à 0,20
Étendue d'eau	0,05

Tableau I.1 : L'albédo typique de différentes surfaces

I.6. L'énergie solaire

L'énergie solaire est l'énergie qui provient du rayonnement solaire, directement à travers l'atmosphère. L'homme utilise l'énergie solaire pour la transformer en d'autres formes d'énergie : énergie alimentaire, énergie cinétique, énergie thermique, énergie électrique ou énergie de la biomasse. Par extension, l'expression « énergie solaire » est souvent employée pour désigner l'énergie électrique obtenue à partir de cette dernière.

I.6.1. Origine

Les conditions résidantes au cœur du soleil favorisent l'interaction des différents atomes d'hydrogène qui subissent une réaction de fusion thermonucléaire.

Le résultat de ce processus, lorsqu'il se répète est la fusion de quatre noyaux d'hydrogène en un noyau d'hélium avec émission d'énergie sous forme de rayonnements gamma et X.

Chaque seconde, 564 millions de tonnes d'hydrogène se transforment en 560 millions de tonnes d'hélium, cette différence de 4 millions de tonnes par seconde correspond à la différence d'énergie de liaison entre les protons d'hydrogène et ceux d'hélium donnant une énergie sous forme de rayonnement.

I.6.2. Caractères particuliers

L'énergie solaire est la seule source d'énergie externe de la terre, elle présente les propriétés suivantes : [11]

Elle est universelle, sa densité de puissance maximale est de 1kW/m^2 à midi par ciel bleu sur toute la planète.

La densité de puissance maximale reçue au niveau du sol (1kW/m^2) est peu dense on parle alors d'énergie diffuse.

Elle est abondante, notre planète reçoit plus de 10^4 fois l'énergie que l'humanité consomme.

Elle est intermittente et variable à cause de l'alternance du jour et de la nuit, des variations saisonnières et quotidiennes de l'ensoleillement.

L'énergie reçue par une surface donnée n'est pas récupérable en totalité ceci est dû aux pertes d'énergie sous formes conductrice.

I.7 Nature du rayonnement solaire

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

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

$$E = hc = h\nu / \lambda$$

Où

h : est la constante de Planck.

c : la vitesse de la lumière.

λ : La longueur d'onde.

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

I.7.1 Répartition spectrale du rayonnement solaire

Les photons ne sont pas émis en même quantité par le soleil quelle que soit la longueur d'onde. Si l'on mesure l'énergie associée à chaque gamme de longueurs d'onde dans le rayonnement solaire, on observe que celle-ci est très faible pour des longueurs d'onde inférieures à 0,2 μm et pour des longueurs d'onde supérieures à 4 μm , mais aussi qu'elle passe par un maximum autour de 0,5 μm correspondant au jaune (qui est bien la couleur dominante de l'astre solaire). Il est intéressant de remarquer que, sur le plan d'émission du rayonnement, le soleil se comporte de façon similaire à un corps noir à une température de presque de 6000°K. La terre et son atmosphère jouent un rôle de transformateurs de l'énergie solaire.

I.7.2 La constante solaire

La terre reçoit pratiquement toute son énergie du soleil, sous la forme d'un rayonnement électromagnétique. Son contenu total de chaleur ne change significativement pas avec le temps, indiquant en général un équilibre entre le rayonnement solaire absorbé et le flux de rayonnement diffus émis par la planète. À l'extérieur de l'atmosphère terrestre il n'y a pas de composante diffuse du rayonnement solaire mais seulement la composante directe. Pour une distance moyenne entre la terre et le soleil. L'irradiation émise par le soleil à la terre aboutit à une intensité presque fixe dite constante solaire qui est de 1360w/m^2 (Monteith 1962). [12]

La constante solaire est l'énergie solaire reçue par unité de temps et par unité de surface d'une superficie perpendiculaire à la direction de propagation du rayonnement solaire. La commission des instruments et des méthodes d'observation (CIMO) de l'organisation météorologique mondiale (OMM) a adopté en octobre 1981 la valeur 1367w/m^2 .

I.8 Propagation du rayonnement solaire dans l'atmosphère

I.8.1 Formation de l'atmosphère terrestre

Durant le processus de refroidissement de la terre d'énormes quantités, de méthane, et d'eau rejetées du noyau de la terre vers l'extérieur; Ainsi c'est formé la première atmosphère. En agissant comme une serre cette atmosphère a réduit la perte de chaleur de la terre vers l'espace et notre plante demeura ainsi assez chaude pour que puisse naître la vie. Après environs 4.5 milliards d'années la vapeur d'eau s'est condensée donnant naissance à la formation des océans.

Les premières plantes apparurent il y à 2 milliards d'années et transformèrent une grande partie du gaz carbonique en oxygène. Ce processus se poursuit toujours et l'atmosphère d'aujourd'hui contient environs 78% d'azote et 21% d'oxygène.

I.8.2 Régions atmosphérique

La terre est entourée d'une mince couche gazeuse : l'atmosphère. L'atmosphère joue le rôle de bouclier protecteur pour toutes les espèces vivantes qui habitent à la surface du globe. En outre, elle les isole de l'espace glacé, et les protège des rayons ultraviolets. L'organisation mondiale de la météorologie (OMM) définit quatre zones successives pour l'atmosphère à savoir la troposphère, la stratosphère, la mésosphère et la thermosphère. Ce sont les variations verticales de la température de l'air qui définissent la division de l'atmosphère en ces quatre grandes régions. [13]

I.8.2.1 La troposphère

C'est la couche atmosphérique la plus proche du sol, dans laquelle nous vivons. Son épaisseur varie de 7 kilomètres de hauteur au-dessus des pôles, 18 kilomètres au-dessus de l'équateur et environ 13 kilomètres selon les saisons, dans la zone tempérée.

La température diminue à mesure qu'on s'élève dans la troposphère, c'est-à-dire à mesure qu'on s'éloigne du sol, atteignant 56°C à la tropopause (zone séparant la troposphère de la stratosphère); l'air près du sol est plus chaud qu'en altitude car la surface le réchauffe.

I.8.2.2 La stratosphère

C'est la couche atmosphérique au-dessus de la troposphère, dans la stratosphère on trouve la couche d'ozone. Sa formation il y a 3 milliards d'années, a permis le développement de la vie sur notre planète. Car elle filtre une partie des rayons ultraviolets du soleil qui sont extrêmement nocifs pour tout être vivant. Cette absorption provoque un dégagement d'énergie sous forme de chaleur. C'est pourquoi la température augmente lorsqu'on s'élève dans la stratosphère.

I.8.2.3 La mésosphère

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

I.8.2.4 La thermosphère

C'est la couche la plus haute. Dans cette couche, la température augmente avec l'altitude et peut atteindre environ 100 degrés Celsius. La thermosphère atteint des milliers de kilomètres d'altitude et disparaît graduellement dans l'espace.

I.8.3 Composition de l'atmosphère terrestre

Pour caractériser la composition de l'atmosphère trois régions sont ainsi définies : l'homosphère (qui comprend la troposphère, la stratosphère et la mésosphère) dans laquelle la composition de l'air est uniforme et invariable en première approximation, l'hétérosphère dans laquelle la composition de l'air a une variation verticale et la photosphère formée exclusivement de protons et d'électrons libres.

Seule l'homosphère intervient dans les phénomènes de propagation du rayonnement solaire car elle contient les principaux éléments qui modifient la composition spectrales de la lumière, à savoir, l'air sec, la quasi-totalité de l'eau atmosphérique.

Ce découpage en trois groupes n'est pas hasardeux, les radiations solaires pénétrantes dans l'atmosphère sont affectées par chacun de ces groupes.

I.8.3.1 L'air sec atmosphérique

Il se compose essentiellement de quatre éléments : l'azote, l'oxygène, l'argon et le dioxyde de carbone, appelés gaz permanents, dont la concentration varient en fonction de la latitude, du vent, ainsi que de la saison. Malgré sa faible concentration, l'ozone est un autre constituant de l'air sec qu'il faut prendre en considération dans les phénomènes d'absorption, en effet la plus parts des radiations ultraviolettes sont absorbées par cet élément, protégeant ainsi la terre de ces radiations à grande énergie.

I.8.3.2 L'eau

L'eau présente dans l'atmosphère est principalement localisée dans les 10 kilomètres inférieures de l'atmosphère. Elle provient de l'évaporation de l'eau à la surface de la terre, des océans, des mers principalement.

On trouve l'eau atmosphérique à l'état de gaz mélangé à l'air (vapeur) mais également sous forme liquide et solide dans les nuages, son influence sur le rayonnement solaire est importante.

On l'exprime en hauteur d'eau équivalente sous le nom d'hauteur d'eau précipitable avec la convention que 1cm d'eau précipitable représente $1\text{g}/\text{cm}^2$. La hauteur d'eau précipitable dépend de la capacité de l'air à contenir de la vapeur d'eau, donc de son humidité relative et de sa température.

I.8.3.3 Les nuages

Les nuages modifient radicalement le comportement du rayonnement solaire, alors il est important de les distinguer du reste de l'atmosphère. Les nuages sont des formations d'amas de vapeur, de gouttes, de corps solides à base d'eau, ils sont créés par refroidissement des masses d'air en altitude par condensation d'air ascendant.

La quantité de vapeur contenue dans l'air dépend de sa température, plus elle est élevée plus l'air peut contenir de la vapeur, à chaque température correspond un certain "seuil de saturation" au-delà duquel cette vapeur passe à l'état liquide c'est le processus de condensation.

Pour caractériser la couverture nuageuse, on se réfère à deux paramètres ; d'une part leur type et d'autre part leur quantité. Les variétés des nuages sont définies par une classification internationale qui catégorise les types de nuages d'après leur aspect, leur dimension et leur altitude. C'est une classification en genres, espèces, et variétés correspondant respectivement à leurs formes, leurs structures internes, et à leurs particularités.

I.9 Influence des constituants atmosphériques sur le rayonnement solaire

Après son voyage dans l'espace le rayonnement solaire atteint l'atmosphère, une certaine quantité de ce rayonnement est absorbée par l'atmosphère, les nuages et les particules, une autre partie est réfléchiée dans l'espace et une certaine quantité est absorbée par la surface de la terre. La surface de la terre renvoie aussi une certaine partie sous forme d'un rayonnement de différentes longueurs d'ondes en raison de la température superficielle de la terre.

I.9.1 Absorption atmosphérique

Le phénomène d'absorption, résulte d'une perte d'énergie par une molécule pour passer d'un état énergétique à un autre, ce processus n'affecte que les rayons d'une longueur d'onde spécifique ce qui génère une absorption sélective. [7]

I.9.1.1 Absorption dans l'ultraviolet

Cette absorption est causée principalement par l'ozone arrêtant ainsi la quasi-totalité des longueurs d'onde. Les gaz monoatomiques d'oxygène et d'azote absorbent les rayonnements de longueur d'onde, comme ces gaz se situent dans la couche la plus haute de l'atmosphère. Alors ils constituent un véritable bouclier aux faibles longueurs d'ondes.

I.9.1.2 Absorption dans l'infrarouge

L'absorption dans l'infrarouge procède essentiellement de la vapeur d'eau et du dioxyde de carbone de sorte qu'au niveau bas de l'atmosphère. 14% du rayonnement solaire est absorbée par la vapeur d'eau principalement dans la région du proche infrarouge; alors que l'absorption par le dioxyde de carbone est légère et se manifeste dans l'infrarouge.

I.9.2 La diffusion atmosphérique

Contrairement à l'absorption sélective, le phénomène de la diffusion est une fonction continue des longueurs d'ondes, lorsqu'une onde électromagnétique percute une molécule une partie de l'énergie incidente est déviée dans toutes les directions et définit le rayonnement diffus.

Cette diffusion est beaucoup plus importante lorsque la longueur d'onde du rayonnement est petite et l'air est humide et pollué.

Ce phénomène explique pourquoi le ciel est bleu dans la journée et rouge orangé le matin et le soir lorsque le soleil est bas sur l'horizon. En effet, à midi, le trajet des rayons lumineux est relativement court, le rayonnement de courte longueur d'onde est plus diffusé par les molécules de l'atmosphère que le rayonnement de grande longueur d'onde. Donc plus diffusé que la lumière rouge, le ciel nous paraît bleu.

I.9.3 Diffusion par les couches supérieures de l'atmosphère

La lumière solaire diffusée par les couches supérieures de l'atmosphère encore éclairée par le soleil, entraîne un passage graduel du jour à la nuit ou de la nuit au jour. Ce phénomène s'appelle le crépuscule. Le crépuscule est généralement divisé en deux parties : l'une qui suit le coucher du soleil, l'autre qui précède son lever, séparées par la nuit. La durée du crépuscule dépend de la latitude du lieu, dans les régions arctiques et antarctiques, il peut durer plusieurs heures ou ne pas être présent du tout, tandis qu'à l'équateur, il peut disparaître en moins de 20 minutes. Aux latitudes moyennes, le crépuscule est au plus court à l'approche des équinoxes, plus long vers le solstice d'hiver et d'été.

Conclusion

L'irradiation solaire est influencé par deux principaux paramètres, en premier lieu on trouve les constituants de l'atmosphère, qu'ils soient permanents ou ceux dont la composition varie largement avec les activités de l'homme, et en second c'est le mouvement de la terre, alors il important de faire une étude préliminaire du climat pour un site donné avant tout projet d'exploitation de l'énergie solaire.

Chapitre II

Facteurs météorologiques

Introduction

La météorologie repose sur l'observation régulière des phénomènes météorologiques et sur l'étude des lois qui régissent les gaz de l'atmosphère, leurs changements d'état et leurs mouvements.

A cet effet, nous avons jugé nécessaire d'appliquer les modèles destinés à estimer les principales composantes du rayonnement solaire incident sur le sol et utilisant comme paramètres d'entrées des données météorologiques à avoir: la pression atmosphérique, la température, l'humidité, la durée d'insolation, le vent, les précipitations et les nuages .

Les captures permettent la traduction des grandeurs physiques (température, vitesse, humidité,...etc.) en des grandeurs électriques mesurables (tension, courants, fréquence,...etc.).

II Paramètres météorologiques

Nous nous intéressons aux paramètres qui peuvent avoir une relation avec l'éclairement arrivant sur le panneau photovoltaïque et son rendement : la température, la pression atmosphérique, l'humidité relative de l'air, la vitesse et direction du vent, les précipitations et l'insolation. [20]

II .1 La pression atmosphérique

L'atmosphère est une couche gazeuse qui enveloppe certaines planètes comme la terre. La pression est une force qui agit sur une unité de surface .la pression atmosphérique est donc la force exercée par l'atmosphère sur une unité de surface de la terre. A un endroit précis, la force de pression est égale à la force exercée par une colonne d'air, de surface unitaire, partant du sol et allant jusqu'au sommet de l'atmosphère.

La pression atmosphérique est l'une des variables météorologiques qui déterminent les conditions météorologiques. Pour prévoir le temps, il est donc nécessaire de connaître la variation géographique et temporelle.

En météorologie, la pression atmosphérique se mesure en hecto-Pascal (hpa) ou en millibar.

II.1.1 Les baromètres

II.1.1.1 Le baromètre à mercure

Il a été inventé en 1643 par Torricelli. Cet instrument simple était constitué par un tube gradué rempli de mercure renversé dans un bassin de mercure. Torricelli s'est aperçu que le niveau de mercure baissait dans le tube à l'approche des tempêtes et qu'à l'approche d'une période de beau temps, le niveau montait. Au cours des périodes de beau temps sec, le niveau de mercure se maintenait à un niveau plus élevé que d'habitude, et que le contraire se produisait lors des périodes de mauvais temps, au niveau de la mer, la pression normale se situait à 760mm de mercure

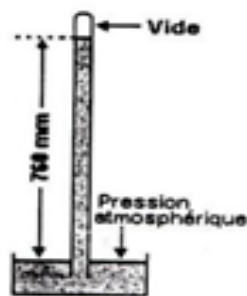


Figure II.1 : baromètre à mercure

II.1.1.2 Le baromètre à anéroïde

Le baromètre anéroïde est l'instrument utilisé par la plupart des marins. Son cadran peut montrer plusieurs systèmes des graduations (cm, pouce, kilo, KPs).

A l'intérieur de l'instrument se trouve un cylindre dans lequel est fait un vide partiel. Ce cylindre réagit aux variations de pressions de l'air comme un accordéon. Les mouvements du cylindre sont amplifiés par une série de leviers à l'aiguille. La pression atmosphérique se lit directement sur le cadran.

II.1.1.3 Le baromètre à gaz d'Eco-Celli

Dans cet instrument dont le système de pression peut être comparé au baromètre à mercure, la pression atmosphérique est mesurée par la compressibilité d'un gaz.

Le gaz se comprime de la température. Ce système permet une amplification de 4 fois, rendant la lecture plus précise, et surtout plus facile.

II.1.2 Capteur de pression

II.1.2.1 Capteur à jauge de contrainte

Le capteur est constitué d'un corps d'épreuve qui se déforme sous l'effet de la pression atmosphérique et d'un élément sensible solidaire (jauge de contraintes) dont la résistance électrique est fonction de la déformation.

Ces jauges de contraintes sont montées en pont Wheatstone afin d'éliminer les effets dus aux contraintes parasites ; le déséquilibre du pont peut être exploité directement ou amplifié. L'ajustage de la sensibilité et la compensation de température sont réalisés à l'aide de résistances intégrées au capteur.

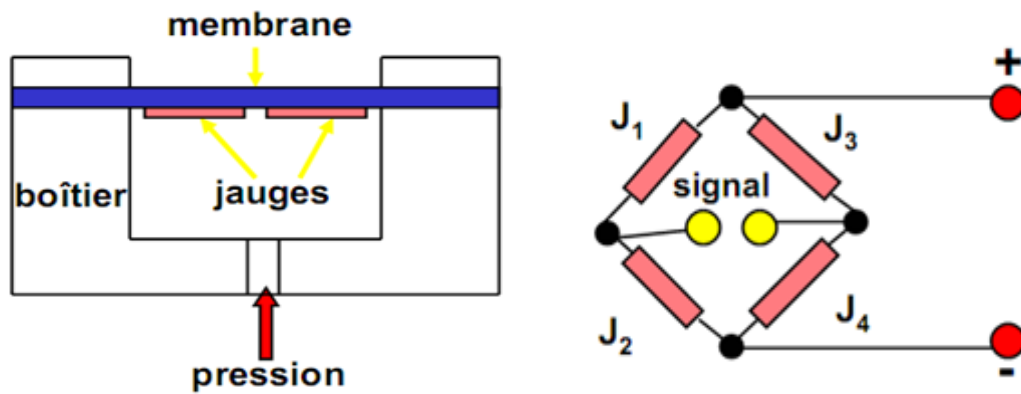


Figure II.2 : Capteur passif à jauges extensométriques.

II.1.2.2 Capteur à effet capacitif

La capacité entre deux plaques de métal se modifie quand la distance qui les sépare varie. Un capteur de pression à capacité variable, tel qu'illustré à la Figure (II.3), permet de mesurer la variation de capacité entre un diaphragme métallique et une plaque de métal fixe.

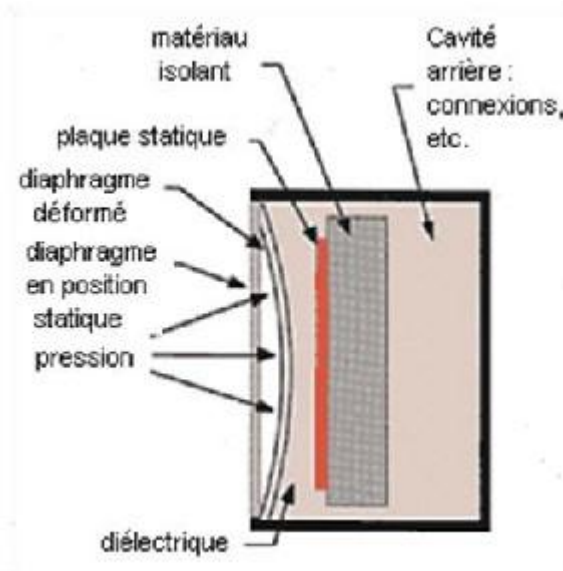


Figure II.3 : Capteur à variation de capacité. [16]

II.1.2.3 Capteur à effet inductif

Ce capteur comporte deux bobinages symétriques par rapport à la position de référence de l'armature mobile. Cette armature sera déplacée par l'action d'un piston, solidaire de la membrane de capture, ainsi chacune des inductances variant en sens inverse, en fonction de $d+x$ pour l'une et $d-x$ pour l'autre, on pourra obtenir, via une connexion électrique adéquate, une ddp fonction du déplacement donc de la pression (Figure II.4)

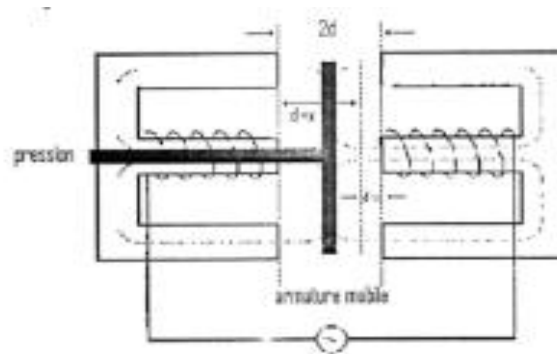


Figure II.4 : Capteur à effet inductif

II.1.2.4 Capteur piézo-électrique

Les capteurs de pression piézoélectriques (Figure II.5) tirent partie des propriétés électriques de cristaux naturels comme le quartz. Ces cristaux génèrent une charge électrique lorsqu'ils sont soumis à une contrainte. Ces capteurs piézoélectriques ne demandent pas de source d'excitation extérieure et sont particulièrement robustes. Ils requièrent en revanche un amplificateur de charge et ils sont très sensibles aux chocs et aux vibrations.

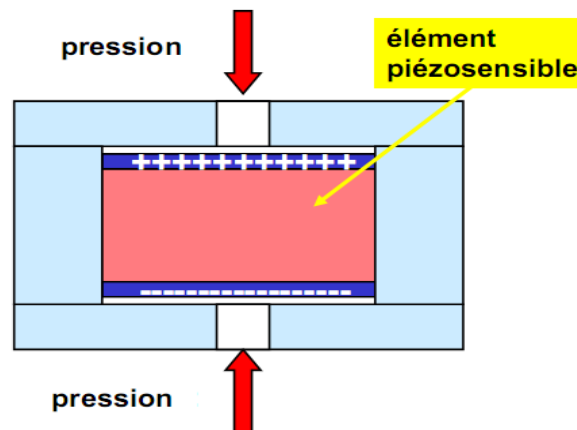


Figure II.5 : Capteur de pression piézoélectrique. [20]

II.2 La température

Lorsque deux particules d'eau dans l'air se rencontrent, il y a interaction ce qui entraîne des échanges d'énergie très importants qui donnent naissance à la température.

La température caractérise l'amplitude de la chaleur. L'unité de température est le kelvin(K). Il mesure la température absolue .il existe différentes techniques de mesure pour la température et seul les critères de choix de l'utilisateur peuvent définir le thermomètre qui lui conviendra le mieux.

II.2.1 Les thermorésistantes

Elles sont basées sur le fait que la résistance électrique d'un conducteur métallique augmente avec la température. Les thermosondes à résistance de platine sont particulièrement fiables, et équipent actuellement les abris, en raison de la grande stabilité de leur caractéristique et de leur fiabilité.

II.2.2 Les thermistances

Ce sont des semi-conducteurs dont la résistance varie inversement avec la température. Elles sont tout particulièrement utilisées dans les radiosondes en raison de leur faible inertie thermique, d'un encombrement, d'une masse, et d'un coût faibles.

II.2.3 Les thermocouples

Un thermocouple est constitué d'une boucle associant deux métaux différents au moyen de deux soudures. S'il existe une différence de température entre les deux soudures, il apparaît une différence de potentiel entre ces deux points, les thermocouples sont peu utilisés en météorologie.

II.2.4 Les thermomètre à quartz

Ce capteur contient un oscillateur à quartz, sa fréquence varie avec la température. Le domaine d'utilisation est entre -200 et 600 °C.

II.2.5 Les thermomètres à semi-conducteurs

Si l'on polarise à courant constant une jonction P-N (diode ou jonction base émetteur d'un transistor ou diode zener) dans le sens passant, on montre l'équation qui régit la tension à ses bornes (V_d) est en fonction de la température.

$$V_d = (kT/q) * \ln(I/I_0)$$

I : Courant direct parcourant la jonction PN.

I_0 : Courant inverse.

T : Température en degré Kelvin

K : Constante de Boltzmann.

q : Charge de l'électron.

Puisque le courant I_0 est en fonction de la température (T), il y a donc un problème de linéarité, pour le résoudre il faut éliminer I_0 en utilisant deux transistors identiques et un amplificateur différentiel.

II.3 L'humidité

L'humidité relative de l'air se définit par le rapport de la pression exercée par la vapeur d'eau contenue dans l'air à une température donnée sur la pression de la vapeur d'eau saturante (c'est-à-dire au maximum de vapeur d'eau que cet air pourrait absorber à cette même température).

L'humidité relative de l'air indique suivant une échelle allant de 0 à 100 %, l'état d'humidité ou de sécheresse de l'air. Elle caractérise donc le contenu de l'air en vapeur d'eau et la capacité de cette vapeur d'eau à se condenser. La température du point de rosée T_d correspond à la température à laquelle l'air humide doit être amené, à pression constante, pour qu'il se sature et la vapeur se condense. L'humidité relative de l'air s'exprime en pourcentage. [19]

Les principaux capteurs d'humidité sont:

II.3.1 Hygromètre à cheveux

Ce principe est historiquement le premier utilisé pour évaluer le taux ambiant d'humidité. La transduction repose sur la déformation d'un cheveu après absorption d'humidité, l'absorption d'humidité provoque un effet de gonflement du cheveu qui se traduit essentiellement par une variation de longueur qui est transmise à une aiguille ou à une pointe d'enregistrement par une transmission spéciale, des fibres organiques sont aussi utilisées à la place de cheveux.

L'avantage de cette technique de transduction est qu'elle n'est pas sujette à la dérive en température, le matériau est généralement fiable sur une longue durée.

Les hygromètres à capteur organique présentent de nombreuses excessives du point de vue météorologique et leur utilisation tient surtout à leur simplicité et leur faible coût. [17]

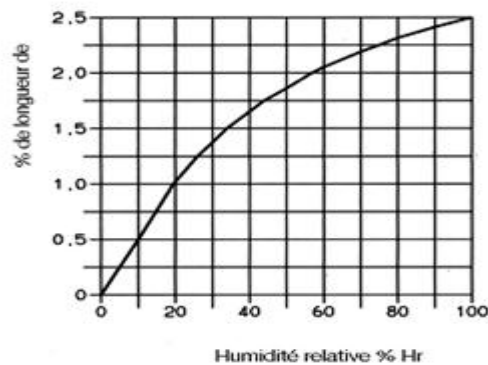


Figure II.6 : Variation de longueur du cheveu en fonction de l'humidité relative longueur du cheveu pour une variation d'humidité de 0 à 100 % [20].

II.3.2 Hygromètre résistif

Ces capteurs mettent en œuvre des substances dont le contenu en eau est fonction de l'état hygrométrique ambiant. Les quantités d'eau retenues par le matériau affectant ses propriétés électriques (résistivité), on peut alors connaître l'humidité en mesurant la résistance.

II.3.3 Hygromètre capacitif

L'élément sensible dans ce type d'hygromètre est un condensateur dont on mesure les variations de capacité en fonction de l'humidité ambiante. Une sonde d'humidité est constituée d'un circuit oscillant (pré-conditionneur du capteur) relié à un condensateur qui constitue la cellule de mesure.

Ce condensateur dont le diélectrique est constitué d'une substance hygroscopique de quelques millimètres constitue l'élément sensible de la cellule de mesure. Cette substance sensible, un film de polymère hygroscopique, absorbe les molécules d'eau de l'air ambiant jusqu'à atteindre l'équilibre avec la vapeur d'eau qu'il contient. On observe une variation de la constante diélectrique du polymère, et donc une variation de la capacité du condensateur. Le circuit oscillant lui, permet d'obtenir une fréquence précise, fonction de la capacité du condensateur. Cette fréquence est transformée par la partie pré-conditionneuse du capteur en un courant électrique ou en une tension qui varie linéairement en fonction de l'humidité relative.

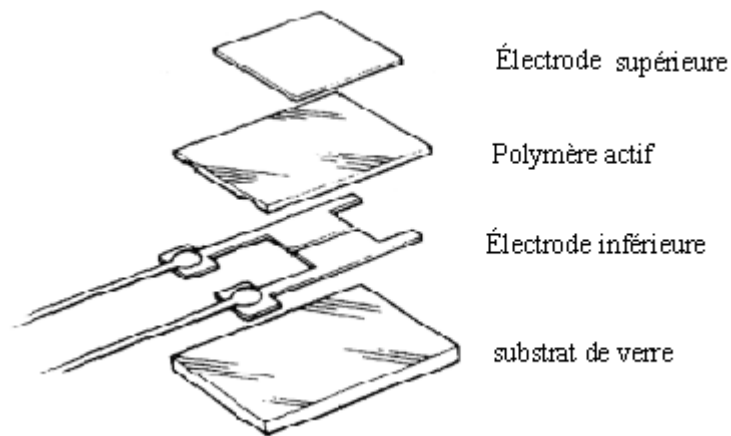


Figure II.7 : Schéma de principe d'un hygromètre capacitif. [18]

II.3.4 Hygromètre à condensation

Nous avons que le refroidissement progressif d'une surface entraîne la condensation de l'eau présente dans l'air sur celle-ci. Arrive à ce stade la surface présente la température du point de rosée.

Un hygromètre à condensation comporte un petit miroir constamment refroidi. Il est éclairé par une diode électroluminescente dont le faisceau de lumière incident est réfléchi vers un dispositif de mesure. Lorsque de la buée apparaît, le miroir diffuse la lumière qui impressionne alors un détecteur (phototransistor).

Ce détecteur est relié au circuit de régulation de la température et commande alors le réchauffement du miroir.

Grace à un système de régulation approprié, il est possible de maintenir un dépôt constant de condensation sur le miroir et il suffit alors d'enregistrer sa température à l'aide d'un micro capteur thermique, délivrant un signal électrique.

L'hygromètre à condensation est calibre pour fonctionner généralement dans une échelle de température allant de -80°C à $+100^{\circ}\text{C}$.

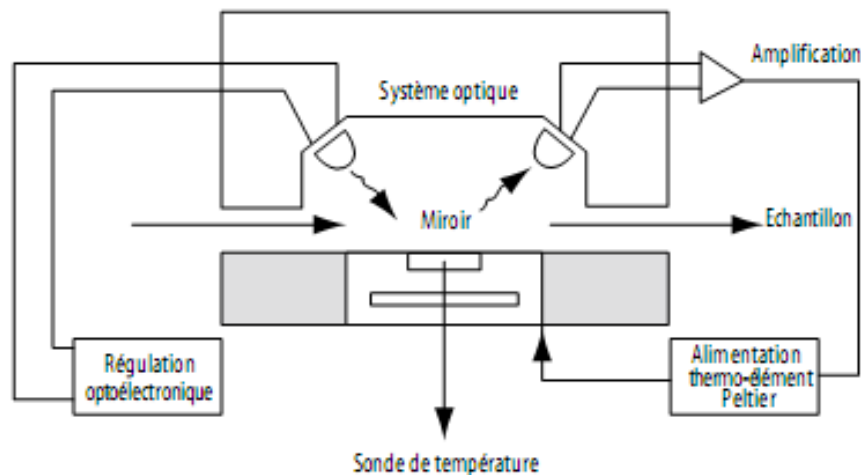


Figure II.8 : Hygromètre à condensation. [18]

II.3.5 Capteur gravimétrique

Le principe de transduction repose sur la variation de masse d'une couche sensible, exposée à une variation du taux d'humidité. Ces capteurs utilisent généralement une microbalance à quartz pour détecter la variation de masse. La mesure est alors effectuée en mesurant la variation de fréquence de résonance du quartz, matériau piézorésistif, excité par un signal électrique. [20]

II.4 La vitesse de vent

Le vent est un déplacement d'air horizontal dû à des différences de pression entre les points de la surface de la terre. Lorsqu'il existe une différence de pression entre deux points, l'air circule de l'endroit où la pression est la plus élevée vers l'endroit où elle est moins élevée. Dans le langage des météorologiques, on dit que l'air se déplace de la haute pression vers la basse pression.

La vitesse du vent se mesure en Kilomètres par heure (Km /h) ou mètre par seconde (m/s). Pour mesurer la vitesse du vent on peut utiliser un anémomètre à fil chaud, à coupelles ou à ultrasons.[14]

II.4.1 Anémomètre à fil chaud

Les anémomètres à fil chaud (ou thermique) enregistrant la vitesse de vent en comparant chaque minute les écarts de température existant entre les fils chauds placés du côté du vent et ceux placés à l'abri du vent. Plus le vent est fort, plus le fil chaud sous le vent se refroidit.

II.4.2 Anémomètre à coupelles

Ce type d'anémomètre est muni d'un rotor de trois coupelles. Lorsqu'il est placé dans le vent, le rotor est mis en mouvement, la vitesse de rotation est alors proportionnelle à la vitesse du vent. La constante de proportionnalité est la distance entre l'axe de rotation et le centre d'une coupelle exprimé en m.

Plus la vitesse de l'air est élevée, plus la rotation du moulinet est rapide. [18]

II.4.3 Anémomètre à ultrasons

Il utilise le principe de mesure de la vitesse de propagation du son dans l'air, cette vitesse dépend de la température de l'air et de la composante longitudinale du vent dans la direction considérée.

Trois couples d'émetteur/récepteur sont placés dans les directions orthogonales et mesurent chacun une composante du vent.

Alternativement, l'onde sonore est envoyée dans un sens et en sens opposé, en inversant l'émetteur et le récepteur. Cela permet, par soustraction de s'affranchir de l'influence de la température sur la vitesse du son.

II.5 La direction de vent

On utilise la girouette qui permet le repérage de l'angle que fait la direction d'où vient le vent avec la direction du nord géographique ; cet angle compté dans le sens des aiguilles d'une montre, est exprimé en degrés, mais chiffré en dizaines de degrés.

II.6 Les Précipitations

La pluie est une précipitation qui atteint le sol sous forme de gouttelettes d'eau liquide dont le diamètre varie entre 0.2 et 10 mm. La pluviométrie étudie la répartition des précipitations dans le temps, il peut s'agir aussi de grêlons, ou de neige.

Les précipitations s'expriment en mm Une chute de pluie de 1 mm sur une surface de 1 m² correspond à un volume de 1 litre d'eau tombé sur cette surface.

II.6.1 Les pluviomètres à augets basculeurs

Ces appareils fonctionnent avec un compteur volumétrique à augets basculeurs. Ce capteur possède deux petits récipients identiques accolés pouvant tourner autour d'un axe horizontal.

L'eau provenant du cône de réception s'écoule dans l'un d'eux. Lorsqu'il est plein, le système bascule par suite du déplacement de son centre de gravité, assurant la vidange du premier auget et le positionnement du second sous l'orifice du cône.

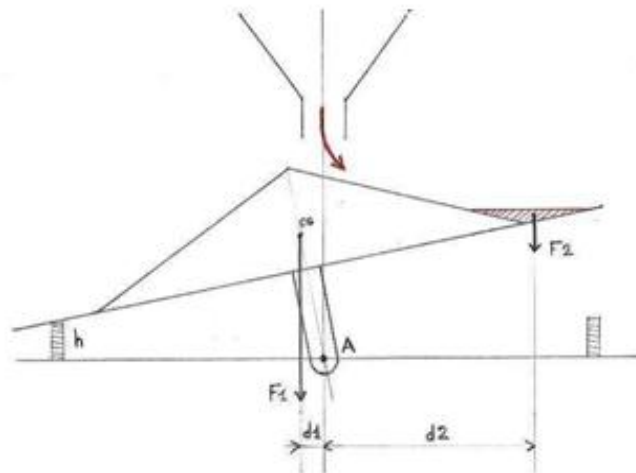


Figure II.9 : Les pluviomètres à augets basculeurs

II.6.2 Les pluviomètres à mesure de hauteur d'eau

Ces appareils accumulent l'eau recueillie dans un récipient. Si ce récipient est un tube. Un capteur de pression différentielle mesure la hauteur d'eau dans le tube. Un système de Siphon ou d'électrovanne permet le vidage du tube.

Ces appareils permettent d'obtenir l'intensité des précipitations avec une meilleure résolution que les pluviomètres à augets basculeurs.

II.6.3 Les pluviomètres optiques

Ces appareils comptent le nombre de gouttes passant devant un détecteur optique, avec parfois même une analyse de leur vitesse de chute pour affiner l'estimation de leur taille.

Ils présentent l'avantage de ne pas posséder des pièces mobiles et l'inconvénient de ne pas mesurer directement la quantité d'eau tombée.

Ils sont bien indiqués pour fournir l'intensité de précipitations sur un faible pas de temps (à partir de 10s).

II.7 Mesure de l'insolation

II.7.1 L'Héliographe Campbell-stokes

Il est constitué par une sphère de verre de 10 cm de diamètre, qui concentre les rayons solaires sur une bande de carton disposée sur une monture concentrique. Suivant l'intensité du rayonnement solaire reçu, l'image du soleil qui se déplace sur le diagramme provoque une brûlure, un brunissement ou une décoloration. La longueur de la trace sur la bande de carton représente la durée d'insolation. [15]



Figure II.10 : L'Héliographe Campbell-stokes

II.7.2 Héliographe à fibre optique

Il se présente sous la forme d'un cylindre dont l'axe est parallèle à l'axe pôle nord- pôle sud. Une fenêtre de verre cylindrique laisse pénétrer le rayonnement solaire direct qui est intercepté par une fibre optique courbée à 90° et animée d'un mouvement de rotation continu autour de l'axe du capteur. Lorsque, lors de sa rotation, la partie libre de fibre optique munie du diaphragme est orientée vers le disque solaire, elle conduit le rayonnement solaire direct intercepté sur un détecteur fixe aligné avec l'autre extrémité de la fibre. [15]



Figure II.11 : Héliographe à fibre optique

II.8 Capteurs utilisés

Nous avons utilisé une mini station météorologique, OREGON Scientific, au sein du laboratoire de Génie Electrique.. Elle mesure la température extérieure et intérieure, l'humidité relative extérieure et intérieure, la pression atmosphérique, la pluviométrie ainsi que la vitesse et la direction du vent. Couplée à un data logger, elle peut enregistrer ces données sur plusieurs années. Chaque capteur est muni d'une alimentation solaire autonome et d'une antenne pour la transmission des données à la centrale réceptrice.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les principaux capteurs des grandeurs météorologiques pouvant avoir un lien avec l'ensoleillement. Il s'agit de la température, la pression, l'humidité, la pluviométrie et la durée d'insolation.

Chapitre III

Installation des mesures

Introduction

Dans le laboratoire de Génie Electrique, il existe deux stations de mesures : une installation photovoltaïque et une mini station météorologique. Nous avons les utilisés pour mesurer les données photovoltaïques et les différents paramètres météorologiques (pression, température et humidité). Des Dataloggers permettent d'enregistrer les données pendant une longue période.

Les enregistrements se font toutes les 8 minutes.

Nous avons pris les données de 10 mois (janvier jusqu'à octobre) de l'année 2011 pour présenter notre étude de corrélations.

III.1 Données photovoltaïques

La figure III.1 montre le schéma de l'installation photovoltaïque.

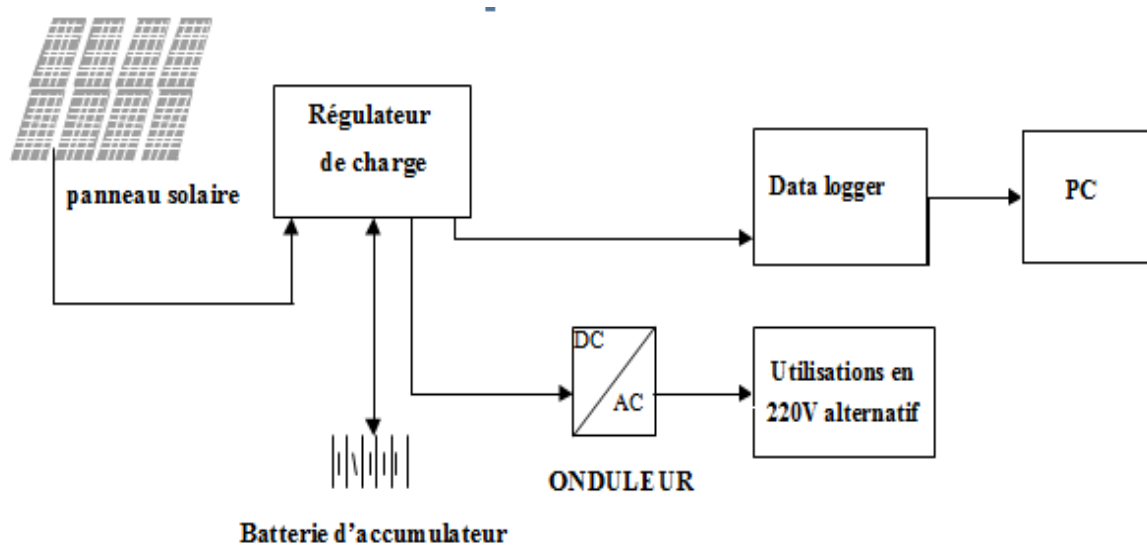


Figure III.1 : Schéma de l'installation photovoltaïque

L'installation comprend les appareils suivants :

III.1.1 Panneau photovoltaïque

Le panneau PV à base de cellules polycristallines est élaboré à partir d'un bloc de silicium cristallisé en forme de cristaux multiples. Il a un rendement de 12 à 14%. Ces cellules, grâce à leur potentiel de gain de productivité, se sont aujourd'hui imposées. L'avantage de ces cellules par rapport au silicium monocristallin est qu'elles produisent peu de déchets de coupe.

La figure III.1.1 montre la photo des panneaux installés et leurs caractéristiques.



Figure III.1.1 : les Panneaux solaire polycristallin utilisés avec ses caractéristiques

Le panneau Tenesol utilisé a une puissance de 125 W crête, une tension en circuit ouvert de 22 V et un courant de court-circuit de 7,6 A.

III.1.2 Pyromètre

C'est un capteur de l'irradiation solaire. Il a une sensibilité de $98,8 \mu\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$ comme le montre la figure III.1.2.



Figure III.1.2: Capteur de l'irradiation solaire

III.1.3 Régulateur de charge

Les systèmes de régulation de charge sont des éléments d'un système photovoltaïque qui ont pour but de contrôler la charge et la décharge d'une batterie afin d'en maximiser la durée de vie. Son rôle principal est de réduire le courant lorsque la batterie est presque entièrement chargée. Lorsqu'une batterie se rapproche d'un état de charge complète, de petites bulles commencent à se former sur les électrodes positives. A partir de ce moment, il vaut mieux réduire le courant de charge non seulement pour éviter des dégâts mais aussi afin de mieux atteindre l'état de charge complète. Un courant trop élevé peut provoquer une déformation des électrodes à l'intérieur, ce qui pourrait créer un court-circuit.

Sur le régulateur sont affichés les paramètres suivants :

Le courant d'entrée (I in) : le courant qui charge la batterie.

Le courant de sortie (I out) : le courant fournit par la batterie de l'installation.

Le courant total (I out) : représente la différence entre le courant d'entrée et le courant de sortie.

Etat de charge de la batterie (soc : State Of Charge) : il nous informe sur le niveau de charge de la batterie en pourcentage.

U_{BAT} : c'est la tension aux bornes de la batterie.



Figure III.1.3 : Régulateur de charge

III.1.4 Datalogger

C'est un enregistreur de données qui est un dispositif électronique qui mesure et enregistre des paramètres physiques ou électriques sur une période de temps (pouvant couvrir plusieurs mois). Les grandeurs sont automatiquement mesurées, elles peuvent être transmises par le biais d'une interface à un afficheur et à un PC muni d'un logiciel (pour visualisation et analyse).

En plus des paramètres affichés sur le régulateur de charge précités, le datalogger dispose d'une entrée pour brancher la sortie du pyranomètre. La figure III.1.4 montre la photo du data logger et le tableau III.1 ses caractéristiques.



Figure III.1.4 : Photo du Datalogger

Le tableau III.1 montre les caractéristiques techniques du datalogger

Alimentation à travers le régulateur Tarom	12 ,24 ,48 V
Min/max tension de batterie	8V...65V
Capacité de stockage	8176 jeux de données
Consommation	8 mA
Entrée capteur	0...150mV
Contact alarme	50 mA, 50 V
Température ambiante	-15...+50 °C

Tableau III.1 : Caractéristiques techniques du datalogger

III.1.5 L'onduleur

Un onduleur est un dispositif d'électronique de puissance permettant de délivrer des tensions et des courants alternatifs à partir d'une source d'énergie électrique continue. L'onduleur délivre une tension de fréquence soit fixe, soit ajustable par l'utilisateur. Il n'a pas besoin de réseau électrique pour fonctionner.



Figure III.1.5 : Onduleur

L'onduleur Solarix 550 PI a une puissance de 550 W, 12 V DC/230 V AC, il permet d'alimenter la station météorologique.

III.1.6 La batterie au plomb

Une batterie au plomb est un ensemble d'accumulateurs au plomb-acide raccordés en série, afin d'obtenir la tension désirée et réunis dans un même boîtier. Les batteries (au plomb) stationnaires à usage solaire se déchargent naturellement lorsqu'elles sont laissées en circuit ouvert c'est-à-dire au repos.

Le stockage d'énergie dans les systèmes photovoltaïques autonomes est en générale assuré par des batteries, la fonction la plus importante des batteries dans des systèmes solaires est de permettre aux charges de fonctionner quand le générateur photovoltaïque ne peut pas assurer assez de puissance. Ceci se produit chaque nuit et durant les journées obscurcies, et pendant des jours ou des semaines de mauvais temps. Nous avons utilisé une batterie de 12 V.



Figure III.1.6 : La batterie

Le tableau III.2 montre un échantillon de mesures enregistrées le 29 avril 2011

time	I in	I out	I total	I mod	SOC	U _{BAT}	E (mV)
29.04.11 08:03	1,3	0,2	1,1	1,3	92	12,86	19,0
29.04.11 08:11	1,5	0,2	1,3	1,5	92	12,95	21,8
29.04.11 08:19	1,7	0,2	1,5	1,7	92	13,07	26,0
29.04.11 08:27	1,9	0,2	1,8	2,0	92	13,19	28,4
29.04.11 08:35	2,2	0,2	2,0	2,2	92	13,26	33,2
29.04.11 08:43	2,4	0,2	2,3	2,5	92	13,34	36,9
29.04.11 08:51	2,7	0,2	2,5	2,7	92	13,39	40,1
29.04.11 08:59	2,9	0,2	2,7	2,9	92	13,41	44,0
29.04.11 09:07	3,2	0,2	2,9	3,1	92	13,41	46,9
29.04.11 09:15	3,4	0,2	3,2	3,4	92	13,45	51,0
29.04.11 09:23	3,5	0,2	3,3	3,6	92	13,51	54,2
29.04.11 09:31	3,6	0,2	3,5	3,7	93	13,58	57,3
29.04.11 09:39	3,8	0,2	3,6	3,9	93	13,63	60,2
29.04.11 09:47	4,1	0,2	3,8	4,1	93	13,70	63,2
29.04.11 09:55	4,3	0,2	4,1	4,3	94	13,74	65,3
29.04.11 09:03	4,3	0,2	4,2	4,5	94	13,78	69,2
29.04.11 10:11	4,6	0,2	4,4	4,6	94	13,80	70,0
29.04.11 10:19	4,6	0,2	4,4	4,7	95	13,80	75,7

Tableau III.2 : Echantillon de mesures enregistrées le 29 avril 2011

III.2 Mini station météorologique

Cette mini station météorologique, Oregon scientific, permet de mesurer 7 différents paramètres météorologiques (la pression, la température intérieure et extérieure, l'humidité intérieure et extérieure, la pluviométrie, la vitesse de vent et la direction du vent). Nous exploitons 3 paramètres qui sont la température et l'humidité relative ambiantes extérieures (au voisinage du panneau) ainsi que la pression atmosphérique.

III.2.1 Capteur de température et d'humidité extérieure

Ce capteur est installé sous le panneau solaire sur la terrasse du laboratoire. Il mesure la température et l'humidité extérieures et transmet les données à l'aide d'une antenne hertzienne à la station de réception et de traitement de données qui se trouve au laboratoire juste en dessous.



Figure III. 2.1 : Capteur de température et d'humidité extérieure

III.2.2 Capteur de pression, de température et d'humidité intérieure

Cet appareil permet de mesurer et d'afficher la pression atmosphérique, la température et l'humidité à l'intérieur du laboratoire. Il fonctionne à distance et utilise une antenne pour la transmission.



Figure III.2.2 : Capteur de pression, de température et d'humidité intérieure

III.2.3 Datalogger de la mini station météorologique

Il sert à emmagasiner les données et à les transmettre au PC pour exploitation. Avec un logiciel approprié, il offre de nombreuses possibilités :

- Services internet pour un accès partout dans le monde.
- Transmission des données de l'enregistreur au PC.
- Exportation des données vers des tableaux EXCEL.
- Stockage de toutes les données sur disque dur
- Affichage des données systèmes dans une fenêtre à part



Figure III.2.3 : Datalogger de la mini station météo

III.2.4 Interface de la mini station météorologique

Elle permet de sélectionner les capteurs à visualiser, les données à rechercher, les périodes et pas d'enregistrement ainsi que la sauve garde des données. Les courbes d'évolution peuvent être obtenues.



Figure III.2.4 Interface de la mini station météorologique

Le tableau III.3 montre un échantillon de données enregistrées le 29 avril 2011 au sien de mini station météorologique.

Time	Hygromètre Int en %	Baromètre en mb	Hygromètre Ext en %	Thermomètre Int en °c	Thermomètre Ext en °c
A 8h03min	43.00	1 019.00	55.00	20.20	13.70
A 8h11min	42.00	1 019.00	55.00	20.20	13.70
A 8h19min	43.00	1 019.00	55.00	20.20	13.80
A 8h27min	43.00	1 019.00	54.00	20.20	14.00
A 8h35min	43.00	1 019.00	53.00	20.10	14.10
A 8h43min	43.00	1 020.00	53.00	20.10	14.30
A 8h51min	43.00	1 020.00	52.00	20.10	14.50
A 8h59min	42.00	1 020.00	52.00	20.10	14.60
A 9h07min	42.00	1 020.00	53.00	20.10	14.60
A 9h15min	42.00	1 020.00	53.00	20.20	14.70
A 9h23min	43.00	1 020.00	54.00	20.20	14.80
A 9h31min	43.00	1 020.00	53.00	20.20	15.00
A 9h39min	43.00	1 020.00	54.00	20.30	15.30
A 9h47min	43.00	1 020.00	54.00	20.30	15.90
A 9h55min	43.00	1 020.00	53.00	20.40	16.40
A 10h 3min	42.00	1 020.00	51.00	20.40	16.70
A10h11min	42.00	1 020.00	49.00	20.40	16.80
A10h19min	42.00	1 020.00	49.00	20.50	16.80
A10h27min	43.00	1 020.00	49.00	20.50	16.80
A10h35min	42.00	1 020.00	49.00	20.50	16.70
A10h43min	42.00	1 020.00	49.00	20.50	16.60
A10h51min	42.00	1 020.00	47.00	20.50	16.50
A10h59min	42.00	1 020.00	47.00	20.50	16.50
A 11h7min	43.00	1 020.00	47.00	20.50	16.60
A11h15min	43.00	1 020.00	47.00	20.50	16.80

Tableau III.3 : Echantillon de données enregistrées le 29 avril 2011 au sien de la mini station météorologique.

Conclusion :

Nous avons exploité la mini station météo et l'installation photovoltaïque avec les deux dataloggers pour enregistrer les paramètres météorologiques et l'ensoleillement toutes les 8 minutes durant l'année 2011. La base de données obtenue sera utilisée dans le chapitre qui suit pour étudier les corrélations.

Chapitre IV

Exploitation des mesures

Introduction

La connaissance du rayonnement solaire global est d'une importance fondamentale pour tous les systèmes de conversion de l'énergie solaire. Sa dépendance en fonction des paramètres météorologiques n'est pas toujours bien connue. Nous allons exploiter les mesures enregistrées, durant l'année 2011, par les dataloggers de l'installation photovoltaïque et de la mini station météorologique à l'aide des logiciels ECXEL et XLSTAT-PRO.

IV.1 Sélection des données

Nous allons étudier la variation de l'ensoleillement (W/m^2) en fonction de la température ($^{\circ}C$), de l'humidité relative (%) et de la pression atmosphérique (mb). Un échantillon des données rassemblées est montré dans le tableau IV.1. Avec un pas d'échantillonnage de 8 minutes, nous avons plus 25000 vecteurs de données exploitables en 2011.

Horaire	Pression (mb)	Humidité (%)	Ensoleillement (w/m^2)	Température ($^{\circ}C$)
A 8h 4min	1 019.00	55	104	13.7
A 8h 12min	1 019.00	55	104	13.7
A 8h 20min	1 019.00	55	102	13.8
A 8h 28min	1 019.00	54	107	14
A 8h 36min	1 019.00	53	114	14.1
A 8h 44min	1 020.00	53	126	14.3
A 8h 58min	1 020.00	52	269	14.5
A 9h 14min	1 020.00	53	371	14.6
A 9h 22min	1 020.00	53	306	14.7
A 9h 30min	1 020.00	54	396	14.8
A 9h 38min	1 020.00	53	442	15
A 9h 46min	1 020.00	54	502	15.3
A 9h 54min	1 020.00	54	418	15.9
A 10h 2min	1 020.00	53	437	16.4
A 10h 10min	1 020.00	53	488	16.6
A 10h 18min	1 020.00	49	501	16.8
A 10h 26min	1 020.00	49	542	16.8
A 10h 34min	1 020.00	49	461	16.8
A 10h 42min	1 020.00	49	403	16.7
A 10h 50min	1 020.00	49	546	16.6
A 10h 58min	1 020.00	47	726	16.5
A 11h 6min	1 020.00	47	502	16.5
A 11h 14min	1 020.00	47	758	16.6
A 11h 22min	1 020.00	47	524	16.8

Tableau IV.1 : Echantillon de données

La figure IV.1 montre la distribution de l'ensoleillement lors d'une belle journée (15 aout 2011) et lors d'une journée de mauvais temps (20 janvier 2011). Dans la première, la valeur maximale d'irradiation est $1084,55 \text{ W/m}^2$ et la durée d'insolation est supérieure à 10 heures. Dans la deuxième, la valeur maximale est de $96,27 \text{ W/m}^2$. L'énergie totale reçue est de 580.43 W/m^2 durant la première et de 40 W/m^2 durant la 2^{ème}. Le rapport est de 14.51.

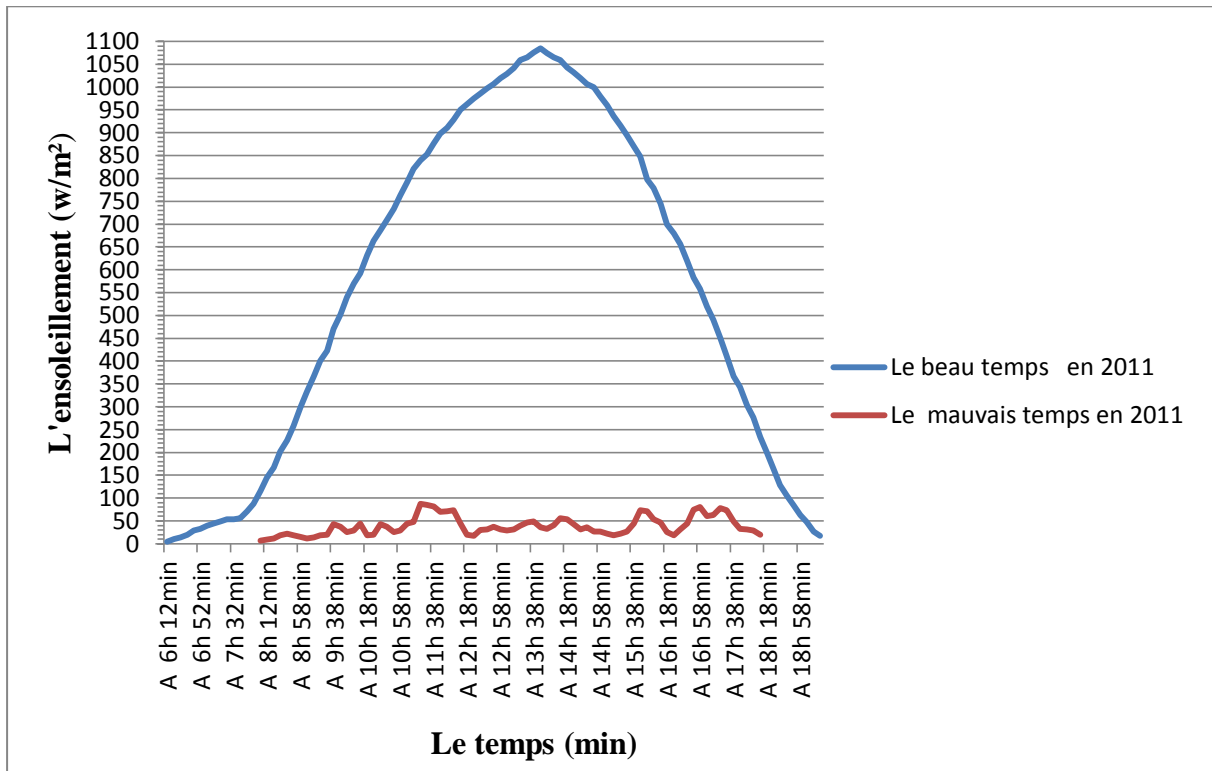


Figure IV.1. Ensoleillement durant 2 journées de beau et de mauvais temps

Dans une première simplification, nous n'avons considéré que les données entre 12h et 14h, période où l'ensoleillement est maximal. Les moyennes sont calculées pour chaque jour puis pour chaque mois.

IV.2 Coefficient de corrélation

La qualité de la corrélation peut être mesurée par un coefficient de corrélation R .

$$R = \frac{\sum (X - \bar{X}) \cdot (Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X - \bar{X})^2} \times \sqrt{\sum (Y - \bar{Y})^2}}$$

Le coefficient de corrélation est compris entre -1 et $+1$.

Plus il s'éloigne de zéro, meilleure est la corrélation.

$R > 0$ corrélation positive

$R < 0$ corrélation négative

$R = 0$ absence de corrélation

IV.3 Evolution des données météorologiques

De notre étude de corrélation on a pris les valeurs de midi à 14h00 pour tous les jours de l'année 2011.

La figure IV.2 montre l'évolution des moyennes mensuelles (entre 12 h et 14h) des grandeurs étudiées durant l'année 2011.

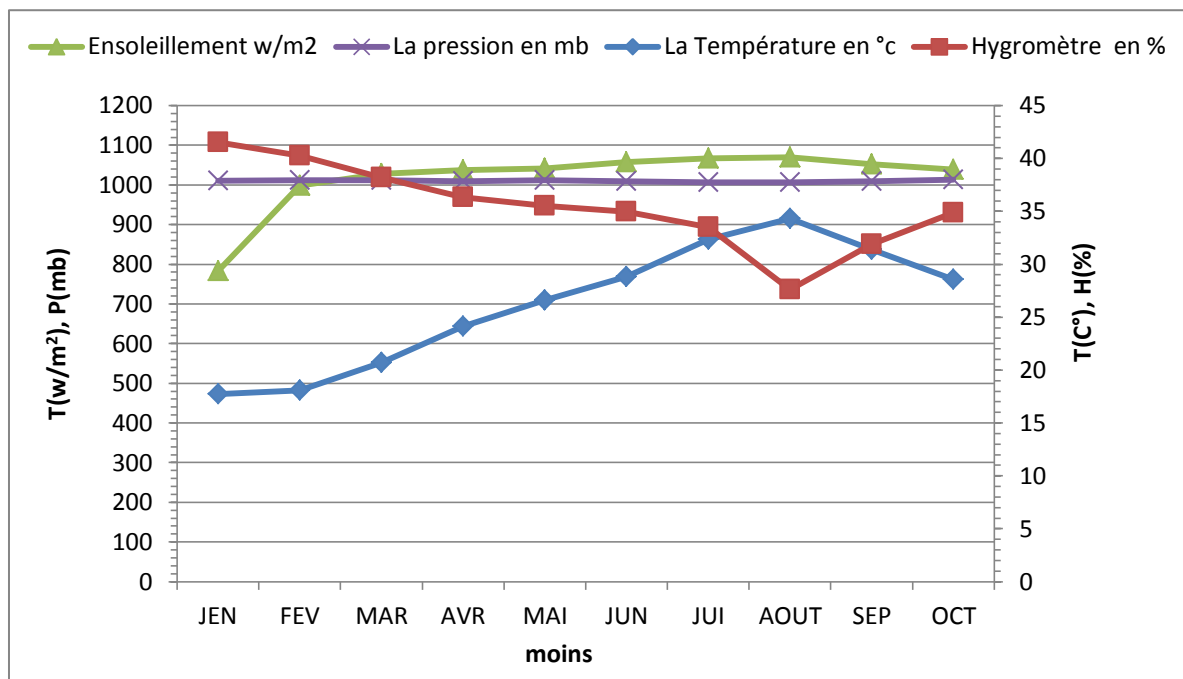


Figure IV. 3 : Evolution des moyennes mensuelles (entre 12 h et 14h) des grandeurs étudiées durant l'année 2011 à Bejaia.

Nous remarquons que l'irradiation varie de 783.27 W/m^2 en janvier à 1039.277 W/m^2 en octobre en passant par un maximum de 1069.43 W/m^2 en aout.

L'énergie solaire est donc disponible à Bejaïa et durant toute l'année, mais avec des quantités qui dépendent essentiellement de la saison. La moyenne annuelle de l'irradiation solaire durant l'année 2011 entre 12h et 14h est de $987,42 \text{ W/m}^2$.

La pression varie entre 1011.13 mb en janvier à 1013.09 mb en octobre, on passant par un minimum de $1006,93 \text{ mb}$ en aout. Sa variation est faible.

Pour la température, la valeur maximale est $35,32 \text{ }^\circ\text{C}$ en juillet et valeur minimale est $17,71 \text{ }^\circ\text{C}$ en janvier.

Nous remarquons que l'allure de l'évolution de l'humidité est l'inverse de celle de la température.

IV.4 Modèles non linéaires

IV.4.1 Ensoleillement en fonction de la température

On remarque que la température augmente proportionnellement avec l'ensoleillement. et on remarque aussi que le coefficient de corrélation est moyen, alors la corrélation est positive de moyenne qualité.

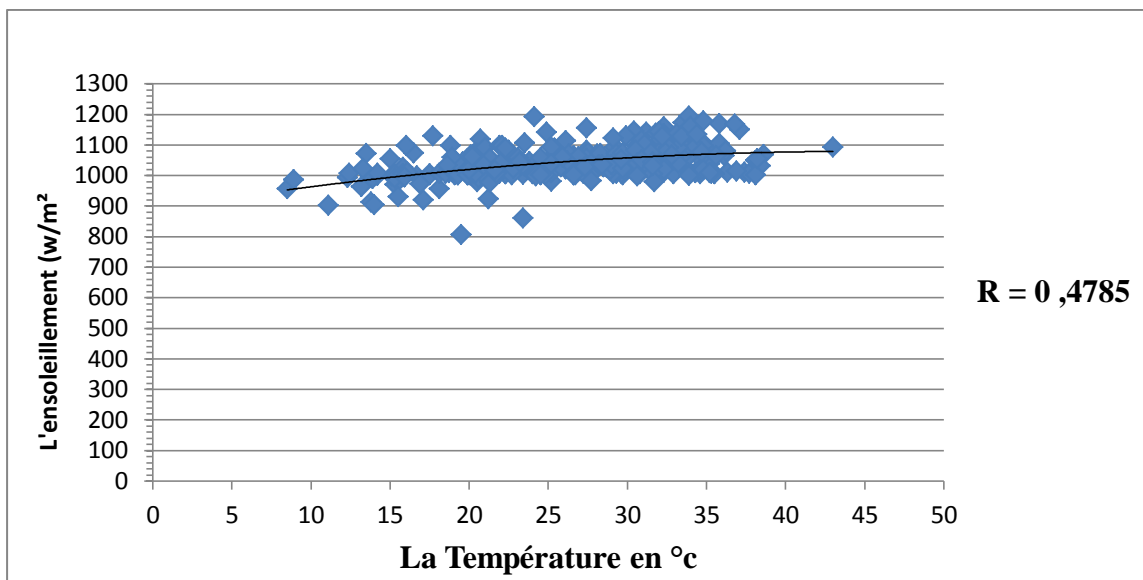


Figure IV.4.1: Ensoleillement w/m^2 en fonction de la température en C° .

Pour la variation de l'irradiation en fonction de la température, la relation obtenue est :

$$E(T) = -0,094T^2 + 8,531T + 8872.$$

Avec $R = 0,4785$.

IV.4.2 Ensoleillement en fonction de l'humidité

On remarque que l'ensoleillement est inversement proportionnel à l'humidité, car durant la saison d'hiver la région est plus humide et moins ensoleillée que la saison d'été. Le coefficient de corrélation est faible et négatif.

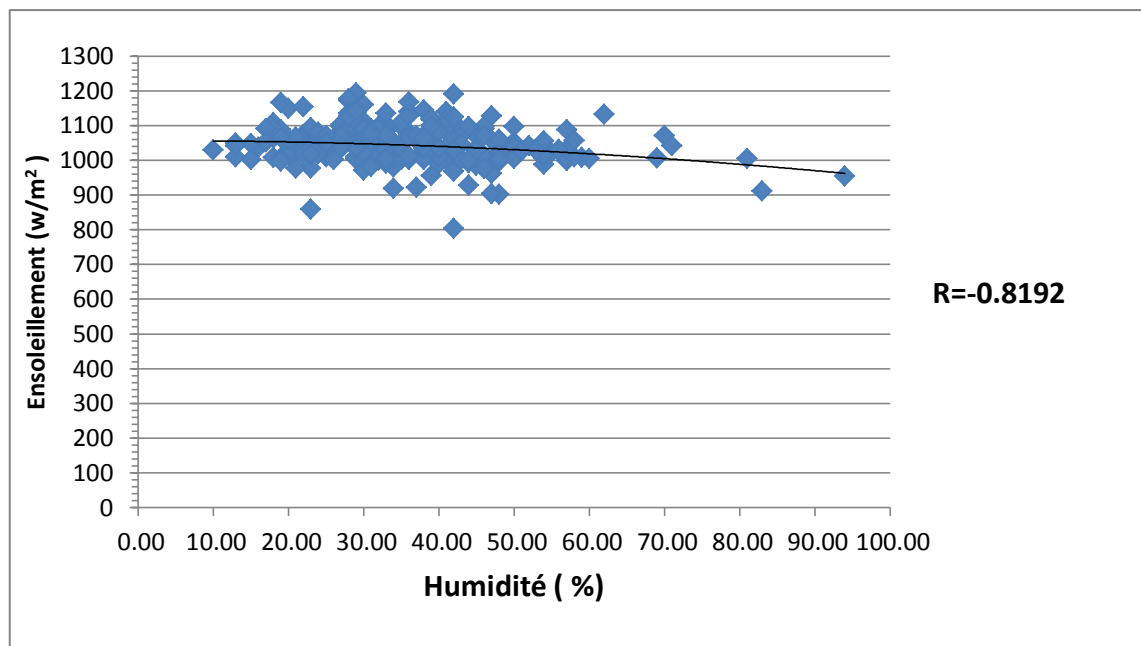


Figure IV.4.2 : Ensoleillement w/m^2 en fonction de l'humidité en %.

Pour l'irradiation en fonction de l'humidité, on a :

$$E(H) = -0,010H^2 + 0,022H + 1056$$

$$R = -0,8192$$

IV.4.3 Ensoleillement en fonction de la pression

D'après la figure IV.4.3, on remarque que l'irradiation solaire est inversement proportionnelle à la pression.

Le coefficient de corrélation est faible, alors la corrélation est négative de mauvaise qualité.

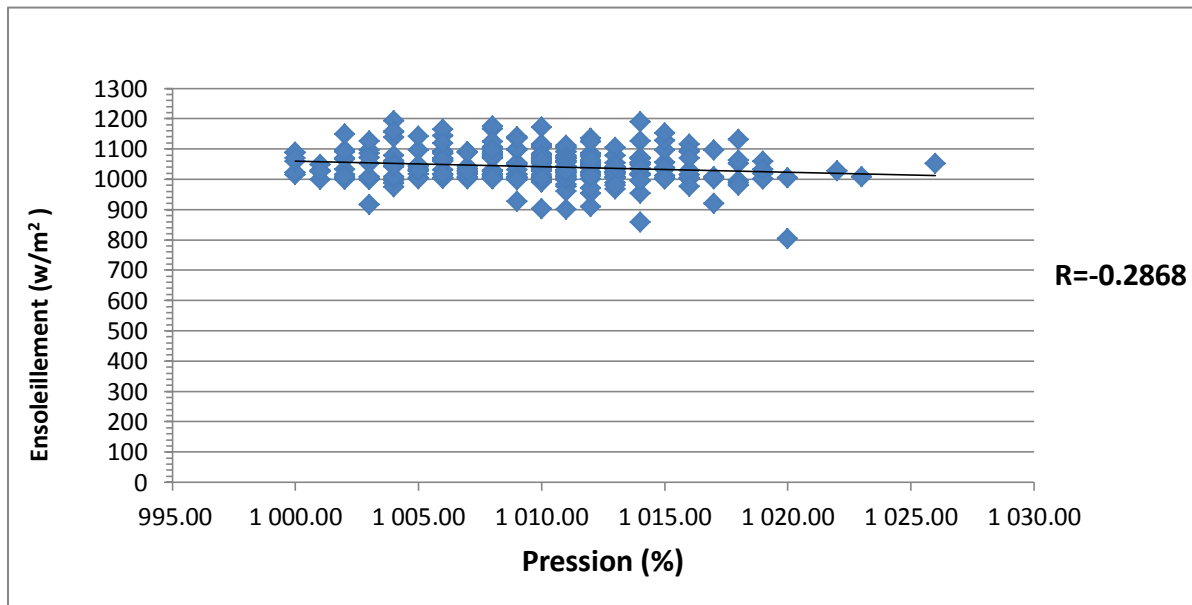


Figure IV.4.3 : Ensoleillement w/m^2 en fonction de la pression (mb).

Pour l'irradiation en fonction de la pression, on a :

$$E(P) = -0,104P^2 + 208,3P - 10324.$$

$$R = -0,2868$$

IV.5 Modèle linéaires

IV.5.1 Ensoleillement en fonction de la température

On remarque que l'ensoleillement augmente proportionnellement à la température et le coefficient de corrélation est moyen, alors la corrélation est positive de qualité moyenne. Dans ce modèle on constate que la température à une moyenne influence sur l'irradiation solaire.

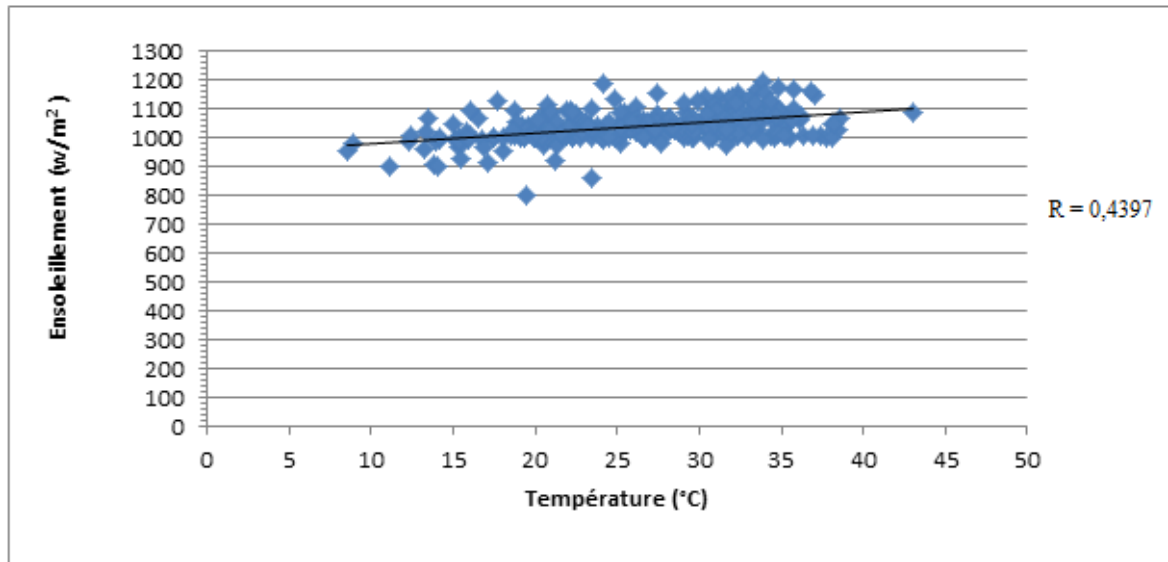


Figure IV.5.1 : Ensoleillement w/m^2 en fonction de la température en C° .

Pour l'irradiation en fonction de la température, on a :

$$E(T)=3,6862T+944,73.$$

$$R = 0,4397$$

IV5.2 Ensoleillement en fonction de l'humidité

On remarque que l'ensoleillement est inverse de l'humidité et le coefficient de corrélation $R = -0,2$ est très faible, alors la corrélation négative est de très mauvaise qualité.

Dans ce modèle on constate que l'humidité n'a pas vraiment une grande influence sur l'irradiation solaire.

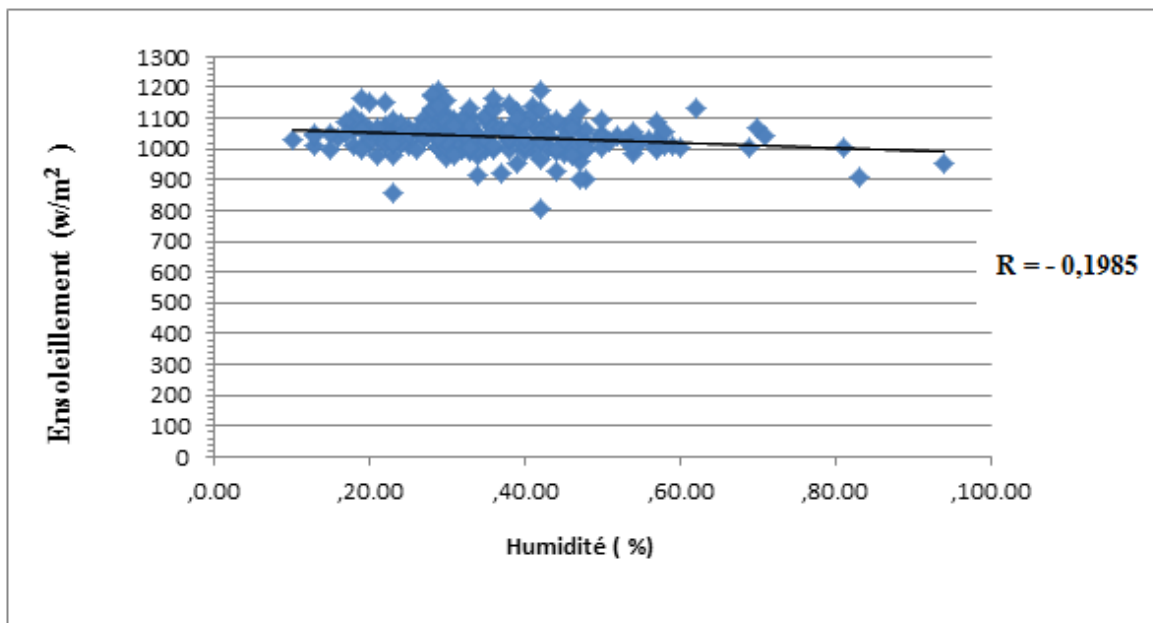


Figure IV.5.2 : Ensoleillement w/m^2 en fonction de l'humidité en %.

Pour l'irradiation en fonction d'humidité, on a :

$$E(H) = -0,9018H + 1074,1$$

$$R = -0,1985$$

IV.5.3 Ensoleillement en fonction de la pression

On remarque que l'ensoleillement varie peu avec la pression et le coefficient de corrélation $R = -0,16$ est très faible. Dans ce modèle la pression n'a pas vraiment une influence sur l'irradiation solaire.

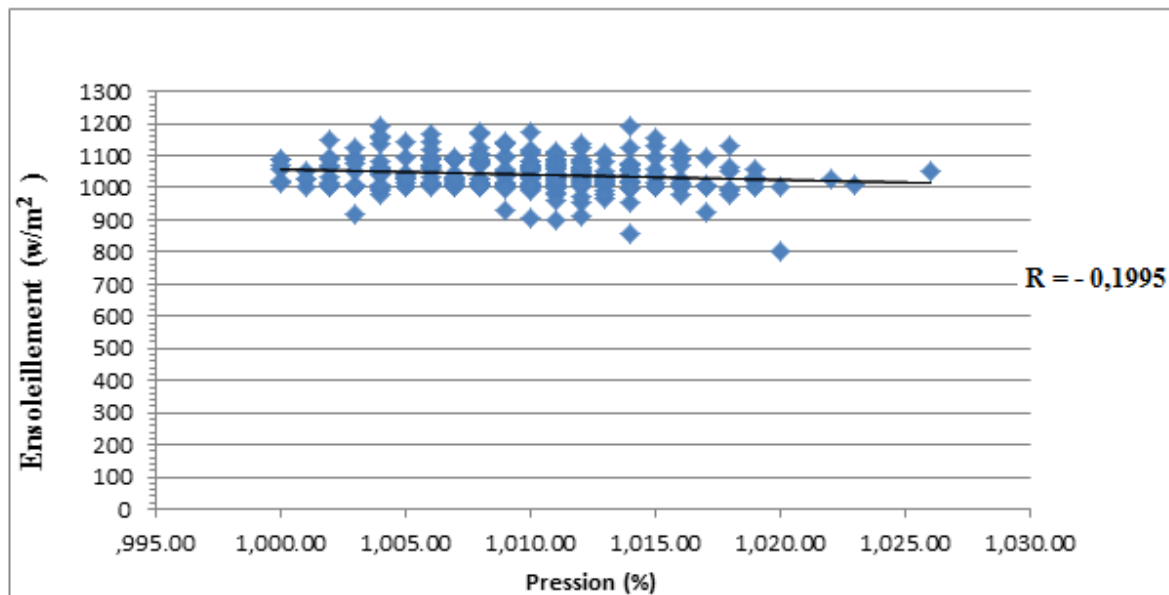


Figure IV.5.3 : Ensoleillement w/m^2 en fonction de la pression (mb).

Pour l'irradiation en fonction de la pression, on a :

$$E(P) = -1.8364P + 2896.9$$

$$R = -0,1995$$

L'analyse de la régression linéaire et non linéaire pour les paramètres (T, P, H) utilisés dans différentes combinaisons, a donné plusieurs relations pour estimer l'irradiation solaire globale. Celles-ci ont été traitées et analysées en utilisant un XLSTAT-Pro pour obtenir les corrélations et leurs coefficients.

A partir des résultats précédents, nous pouvons déduire le meilleur modèle de régression multiple :

$$E(T, P, H) = -0.094T^2 - 3.686T + 0.104P^2 - 1.836P + 0.010H^2 - 0.9018$$

Conclusion

Nous avons constaté que les valeurs des coefficients de corrélations des modèles non linéaires sont plus élevées que ceux des modèles linéaires. Il serait plus avantageux d'utiliser le modèle non linéaire pour estimer l'irradiation solaire globale à Bejaia

Les modèles proposés, peuvent être utilisés pour prédire les moyennes mensuelles et annuelles de l'irradiation globale, ce qui contribue à l'estimation des performances à long terme des différents dispositifs d'énergie solaire.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif de ce travail était l'étude des corrélations entre l'irradiation solaire et les paramètres météorologiques.

Quelques notions sur l'énergie solaire et les différents paramètres météorologiques qui peuvent influencer sur l'irradiation solaire ont été présentées.

Une station météorologique Oregon scientific munie d'un datalogger a été utilisée pour enregistrer les paramètres météorologiques toutes les 8 minutes durant l'année 2011. Les principes et les caractéristiques des capteurs utilisés ont été présentés.

La base de données obtenue est complétée par l'enregistrement, aux mêmes instants, de l'ensoleillement à l'aide d'un capteur solaire connecté à un deuxième datalogger.

L'étude des corrélations a été faite avec Microsoft Excel et XLSTAT-Pro. Le meilleur modèle obtenu est celui qui inclut les variations non linéaires de l'irradiation solaire en fonction des paramètres météorologiques (température ambiante, humidité relative, pression atmosphérique).

L'irradiation solaire globale estimée peut être utilisée dans la conception et l'estimation des performances des applications solaires à Bejaia ainsi que dans l'optimisation des dimensionnements d'installations solaires.

En perspective, il serait intéressant d'utiliser les techniques d'intelligence artificielle (réseaux de neurones ou algorithmes génétiques) pour mieux optimiser la variation de l'irradiation solaire en fonction des paramètres météorologiques.

Références

- [1] Yingni Jiang, « Computation of monthly mean daily global solar radiation in China using artificial neural networks and comparison with other empirical models », *Energy* 34, 1276–1283, 2009.
- [2] P. Bessemoulin, J. Oliviéri, « Le rayonnement solaire et sa composante ultraviolette », *La Météorologie* 8^e série, n° 3, Septembre 2000.
- [3] MEBREK Y., « Contribution à l'étude et éléments d'une modélisation des photovoltaïques », Mémoire de Magister, Ecole Doctorale « énergies renouvelables » unité de recherche des matériaux et énergies renouvelables, Université de Tlemcen, juin 2011.
- [4] S. M. Ait cheikh, « Etude, Investigation et conception d'algorithmes de commande appliqués aux systèmes photovoltaïques », thèse de Doctorat d'Etat en électronique, Ecole Nationale Polytechnique, soutenue en Décembre 2007.
- [5] Document, RETScreen International Centre d'aide à la décision sur les énergies propres, « Analyse de projets d'installation photovoltaïque », Ministère de Ressources Naturelles, Canada 2001-2004.
- [6] J.M. Chasseriau, « Conversion Thermique du Rayonnement Solaire », Ed. Dunod, France, 1984.
- [7] M. Capderou, « Atlas Solaire de l'Algérie, modèles théoriques et expérimentaux », Vol. 1, T1, Office des Publications Universitaires, Algérie, 1987.
- [8] K. MAHDI, « Conception et réalisation d'un concentrateur sphérique », mémoire de Magister en physique, Université Mentouri Constantine, 2008.
- [9] K. Danel, L. Gautret, « Génération du disque solaire des communes de l'Ouest », ARER, Mars - Août 2008.
- [10] H. Bayem, « apport des méthodes probabilistes aux études d'insertion des énergies renouvelables dans les systèmes électriques », thèse de Doctorat en physique, Université Paris-sud 11, 2009.
- [11] Capderou M. Atlas solaire de l'Algérie. Office des publications universitaires, T1-3, 1988.
- [12] Zekai ,Sen. *Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques*, Springer 2008.
- [13] Y. Sahnoune. *Modélisation du rayonnement solaire sur quelques sites algériens*. Mémoire de magister, université de Sétif, 2007.

- [14] J. Mubiru, E.J.K.B. Banda. Estimation of monthly average daily global solar irradiation using artificial neural networks. *Solar Energy* 82 (2008), 181–187.
- [15] Guide de l'utilisateur de Toit Solaire Photovoltaïque (HESPUL), Programme européen, PV-SALSA Contrat NNE5 / 1999 / 744 Décembre 2002, www.hespul.org.
- [16] : www.solarelectricpower.org. Consulté le 22 mars 2013.
- [17] N. Achaibou, A Malek, N Bacha « Modèle de vieillissement des batteries plomb acide dans l'installation PV » ; N. spécial (CHEMSS), pp 61-66,2000.
- [18] H. Mathieu « Physique de semi-conducteur et des composants électroniques, cours », 5eme édition, Dunod, 2001.
- [19] : Z.Bachi, S.Elfordil, « Conception et réalisation d'un système de régulation de charge semi statique a sortie fixe pour installation photovoltaïque », université de Blida.
- [20] : kahina OUALI, «Influence des facteurs meteorologique sur le rayonnement solaire à Bejaia », Mémoire de Magister, Université Bejaia, juin 2011.