



Université de Ghardaïa

N° d'ordre :
N° de série :

Faculté des Sciences et Technologies
Département des Sciences et Technologie

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Domaine : *Sciences et Technologie*

Filière : *Energies Renouvelables*

Spécialité : *Energies Renouvelables en Electrotechnique*

Par : REMMA Kheira et LEHBAKI Fatiha

Thème

**Etude et réalisation d'un dispositif de mesure
de l'effet de la poussière dans les centrales solaires**

Soutenu publiquement le : 22/10/2020

Devant le jury :

BAKKAR Belgacem	Maître de Conférences B	Univ. Ghardaïa	Président
KHATTARA Abdelouahab	Maître de Conférences B	Univ. Ghardaïa	Examineur
KHELIFI Reski	Maître de Recherche A	URAER. Ghardaïa	Examineur
YETTOU Fatiha	Maître de Recherche A	URAER. Ghardaïa	Encadreur
GAMA Amor	Maître de Recherche A	URAER. Ghardaïa	Co-encadreur

Année Universitaire : 2019/2020

REMERCIEMENTS

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Au nom de dieu le clément le miséricordieux

Tout d'abord, on remercie le Dieu, notre créateur de nous avoir donné les forces, la volonté et le courage afin d'accomplir ce modeste travail.

Nos premiers remerciements vont à nos encadreurs de mémoire Monsieur le Docteur GAMA Amor et Madame Docteur YETTOU Fatiha, qui nous a permis d'effectuer nos travaux au sein de l'URAER, merci pour leurs précieux conseils et leurs compétences techniques, leurs encouragements, leurs orientations. Merci pour votre gentillesse, et votre aide qui nous a permis de finaliser ce travail. Merci pour votre contribution que nous a permis d'accomplir ce mémoire.

"Nous remercierons également le Directeur de l'Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables (URAER, Ghardaïa), Dr DJAFER Djelloul ; qui nous a permis de réaliser ce travail au sein de l'URAER ainsi que pour son bon accueil

"Nous tenons à saisir cette occasion pour adresser nos profonds remerciements aux responsables et aux personnels de l'Université Ghardaïa pour les efforts déployés pour nous aider"

"Un grand merci à nos mères et nos pères, pour leur amour, leurs conseils ainsi que leur soutien inconditionnel, à la fois moral et économique, qui nous ont permis de réaliser les études que nous voulons et par conséquent ce mémoire"

"Nous voudrions exprimer nos reconnaissances envers nos amis et collègues qui nous ont apporté leur soutien moral et intellectuel tout au long de nos démarches. Un grand merci à tous"

DEDICACES

{ رب أوزعني أن أشكر نعمتك التي أنعمت علي وعلى والدي وأن أعمل صالحا ترضاه
وأدخلني برحمتك في عبادك الصالحين }

*A mon cher grand père que j'aimerais pour toujours et que Dieu l'accueille
dans son vaste paradis ; tu me manques, je ne t'oublierai jamais.*

*A mon très chères parents que j'aimerais beaucoup, qui m'a soutenu pendant
de longues années d'études et de vie et qui a été toujours derrière mon succès,
c'est vous mon espoir et ma vie, je souhaite que Dieu vous protèges.*

*A mon chères frères : redwane et à sa femme ROMAÏSSA, Mohamed aymen,
Zaké, et Yousef je les remercie pour leur soutien.*

*Un spécial remerciement à Abdelouahab BAHAZ Pour son soutien pour
moi tout au long de cette année, je demande à Dieu de le protéger.*

A ma chère grande mère fatna, je demande à Dieu de la protéger.

*À mes tantes et oncle, mes cousins et mes cousines et surtout Kalthoum et
Aïcha Assil*

Et A toutes la famille : REMMA, BEN HAMDOUNE et DJEKAOUA

A mon binôme Fatíha et sa famille.

A tous mes chères amies

A tous les étudiants de département « énergies renouvelables 2020 »



DEDICACES

Avant tous, je remercie dieu le tout puissant de m'avoir donnée le courage et la patience pour réaliser ce travail malgré toutes les difficultés rencontrées.

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.

A mes parents Grâce à leurs tendres encouragements et leurs grands sacrifices, ils ont pu créer le climat affectueux et propice à la poursuite de mes études. Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mes profonds sentiments envers eux. Je prie le bon Dieu de les bénir, de veiller sur eux, en espérant qu'ils seront toujours fiers de moi.

A vous mes frères et sœurs qui n'ont pas cessée de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études. Que Dieu les protège et leurs offre la chance et le bonheur.

A la famille LEHBAKI et FROUHAT.

A tous mes professeurs.

A tous mes amis et mes collègues :

A tous les étudiants de master 2 énergies renouvelables

Sans oublier mon binôme RAMMA kheira pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.



ملخص

عند تحديد حجم التركيبات الكهروضوئية ، فإننا نأخذ بشكل عام قيمة الإشعاع الشمسي ، ولا تؤخذ جودة الجو في الاعتبار أبدًا. للأتربة تأثير كبير على كفاءة النظام الكهروضوئي وبالطبع على سعر الكيلووات الساعي والذي يزيد بسبب تكاليف التنظيف الدورية. في هذا العمل ، اقترحنا إنشاء جهاز لقياس تأثير الغبار على الأنظمة الكهروضوئية. يتكون النظام المقترح من وحدتين من الخلايا الكهروضوئية مرتبطة ببطاقة إلكترونية تم إنتاجها كرابط بين الوحدات الكهروضوئية وبطاقة Arduino Uno. مبدأ تشغيل الأخير هو وضع الوحدة الأولى تحت الظروف المناخية والثانية يجب أن تكون نظيفة دائمًا ، من خلال قياس الجهد لوحدين يمكننا استنتاج معدل انخفاض الجهد الذي يعتبر مقدار تأثير الغبار. لقد أثبتت نتائج الاختبارات الأولى الكفاءة الرائعة للجهاز المنتج. الكلمات المفتاحية : المردود ; غبار ; طاقة متجددة.

Résumé

Lors de dimensionnement d'une installation photovoltaïque on prend généralement la valeur de rayonnement solaire, mais la qualité de l'atmosphère n'est jamais prise en considération. La poussière a une grande influence sur le rendement de l'installation photovoltaïque est bien sûre sur le prix de kilowattheure, qui augmente à cause des frais de nettoyage périodique. Dans ce travail, nous avons proposé de réaliser un dispositif de mesure de l'effet de la poussière sur les systèmes photovoltaïques. Le système proposé est composé de deux modules photovoltaïques liés à une carte électronique réalisé comme interface entre les modules PV et une carte Arduino Uno. Le principe de fonctionnement de ce dernier est de mettre le premier module sous condition climatique et le deuxième doit être toujours propre, en mesurant la tension de deux modules on peut déduire le taux de chute de tension qui présente l'effet de la poussière. Les résultats des premiers tests ont prouvé une efficacité remarquable de dispositif réalisé.

Les mots clés : Rendement ; poussière ; énergies renouvelable

Abstract

When sizing a photovoltaic installation, we generally take the value of solar radiation, the quality of the atmosphere is never taken into consideration. Dust has a great influence on the efficiency of the photovoltaic system and of course on the price of kilowatt-hour, which increases due to the costs of periodic cleaning. In this work, we proposed to realize a device for measuring the effect of dust on photovoltaic systems. The proposed system is composed of two photovoltaic modules with an electronic card produced as an interface between the PV modules and an Arduino Uno card. The principle of operation of the latter is to put the first module under climatic conditions and the second must always be clean, by measuring the voltage of two modules we can deduce the rate of voltage drop which has the effect of dust. The results of the first tests have proven the remarkable efficiency of the device produced.

Keywords: Rendement ; Dust ; Renewable energy.

Liste des figures

Figure I.1: Image de l'étoile soleil du système solaire6

Figure I.2 : Image de l'étoile terre du système solaire..... 7

Figure I.3 : Mouvement de la terre autour du soleil..... 8

Figure I.4: Le Pyrhéliomètre (direct)...10

Figure I.5: Le Pyranomètre (diffus)... 11

Figure I.6: Albédo mètre (réfléchi). 11

Figure I.7 : Pyranomètre (direct+diffus+albédo)... 12

Figure I.8: Collision entre un photon et un atome.....13

Figure I.9: La cellule photovoltaïque 13

Figure I.10: Structure d'une cellule photovoltaïque au silicium 14

Figure I.11: Différence entre des cellules au silicium monocristallin (gauche) et des cellules au silicium polycristallin (droite) 15

Figure I.12: cellule au Silicium amorphe 15

Figure I.13: Raccordement des cellules en série 16

Figure I.14: Raccordement des cellules en parallèle 16

Figure I.15 : Courbe I(V) d'un panneau à divers ensoleillements à T=25°C.....17

Figure I.16 : Courbe P(V) d'un panneau à divers ensoleillements à T=25°C..... 18

Figure I.17 : Courbes I(V) d'un générateur PV pour différentes températures à G=1000W/m²... 19

Figure I.18 : Courbes P(V) d'un générateur PV pour différentes températures à G=1000W/m². 19

Figure I.19 : Module photovoltaïque.....20

Figure I.20 : Schéma synoptique d'un système PV autonome avec batterie.....22

Figure I.21 : Schéma synoptique d'un système hybride.....23

Figure I.22: Schéma de système connecté au réseau.....23

Figure I.23: Système photovoltaïque directement relié au réseau.....24

Figure I.24: Systèmes photovoltaïques relié au réseau avec batterie 24

Figure I.25 : les principales centrales en Algérie 25

Figure I.26: Centrale de NANAŌ (JAPON) 26

Figure I.27: Centrale de PRIESKA (AFRIQUE DU SUD) 26

Figure I.28: Centrale de PV SALVADOR (CHILI).....27

Figure I.29: Principe de fonctionnement des miroirs de Fresnel.....28

Figure I.30: Solar II central receiver plant in Barstow, California.....29

Figure I.31: Capteur parabolique avec moteur stirling.....29

LISTES DU FIGURES ET DU TABLEAUX

Figure II.1: Les coordonnées terrestre	31
Figure II.2: Variation de l'équation du temps en fonction du jour.....	32
Figure II.3: Variation de la déclinaison solaire en fonction du jour.....	34
Figure II.4: Position du soleil par rapport à un point fixe de la terre	34
Figure II.5: Variation de la hauteur du soleil en fonction du jour.....	35
Figure II.6: l'azimut solaire et Hauteur du soleil	36
Figure II.7: Variation de l'azimut solaire en fonction du temps.....	36
Figure II.8: Variation de la masse d'air en fonction de la hauteur du soleil	37
Figure II.9: Variation d'épaisseur optique en fonction de masse d'air	38
Figure II.10: variation de l'éclairement solaire extraterrestre en fonction du jour	40
Figure II.11: Variations de l'éclairement direct, diffus et global un plan horizontal.....	41
Figure II.12: Angle d'inclinaison d'un capteur solaire	42
Figure II. 13 : Les angles caractérisant un capteur plan incline	43
Figure II.14: Variations des valeurs du rayonnement solaire en fonction de temps au solstice d'été (21 Juin): (a) site de Tamanrasset; (b) site de Ghardaïa.....	45
Figure II.15: Comparaison des résultats obtenus par le modèle avec les données expérimentales pour le rayonnement global et direct horizontal pour un jour clair d'été.....	46
Figure II.16: Comparaison des résultats obtenus par le modèle avec les données expérimentales pour le rayonnement global et direct horizontal pour un jour clair d'hiver	46
Figure II.17: Machine mobile pour le nettoyage.....	47
Figure III-1:La carte Arduino Uno	49
Figure III-2: Organigramme du programme du dispositif.....	51
Figure III-3: Principe de fonctionnement.....	52
Figure III-4: Schéma électronique du dispositif.....	53
Figure III-5: Photos Globale du dispositif réalisé	53
Figure III-6: Afficheur OLED couleur. ST7789. TFT.....	54
Figure III-7: Tests réalisés sur le dispositif réalisé.....	55
Figure III-8:Tests réalisés sur le dispositif réalisé pour une quantité de sable de 10g.....	55

LISTES DU FIGURES ET DU TABLEAUX

Figure III-9:Tests réalisés sur le dispositif réalisé pour une quantité de sable de 20g.....	56
Figure III-10:Tests réalisés sur le dispositif réalisé pour une quantité de sable de 25g.....	56
Figure III-11:Tests réalisés sur le dispositif réalisé pour une quantité de sable de 30g.....	57
Figure III-12:Tests réalisés sur le dispositif réalisé pour une quantité de sable de 35g.....	57
Figure III-13:Tests réalisés sur le dispositif réalisé pour une quantité de sable de 40g.....	58
Figure III-14:Tests réalisés sur le dispositif réalisé pour une quantité de sable de 45g.....	58
Figure III-15:Tests réalisés sur le dispositif réalisé pour une quantité de sable de 50g.....	59
Figure III-16:Organigramme du programme du dispositif réalisé	60

LISTES DU FIGURES ET DU TABLEAUX

LISTE DU TABLEAUX

Tableau.III.1. Résultats des tests réalisés sur le dispositif réalisé	60
---	----

NOMENCLATURE

Symbole	Description	Unité
φ	Latitude du lieu	Degrés
λ	Longitude du lieu	Degrés
TSV	Temps solaire vrai	Heure
TSM	Temps solaire moyen	Heure
t	Temps local	min
ET	Equation de temps	min
N'	Angle journalier	Degrés
N	Numéro du jour	[-]
TU	Temps universel	Heure
DE	Décalage horaire	Heure
L	Point de latitude	min
TL	Temps légal	Heure
C ₁	Décalage horaire par rapport au Greenwich	Heure
C ₂	l'heure d'été et d'hiver	Heure
ω_l	Angle horaire du lever du soleil	Degrés
ω_c	Angle horaire du coucher du soleil	Degrés
(TSV) _l	L'heure solaire au lever du Soleil= h_l	Heure
(TSV) _c	l'heure solaire au coucher du Soleil= h_c	Heure
δ	Déclinaison solaire	Degrés
d_j	Durée du jour	Heure
ω	Angle horaire	Degrés
ID	Rayonnement diffus	W/m ²
IB	Rayonnement direct	W/m ²
IG	Rayonnement global	W/m ²
γ_s	Hauteur du soleil	Degrés
χ_s	Azimut du soleil	Degrés
θ_z	Angle zénithal	Degrés
β	Inclinaison du plan	Degrés
α	L'orientation du plan	Degrés
m _A	Masse d'air	[-]
Alt	Altitude du lieu	km
δ_R	Epaisseur totale optique de Rayleigh	[-]
T _L	Facteur de trouble total de Linke	[-]
T ₀	Trouble du à l'absorption par la vapeur d'eau	[-]
T ₁	Trouble du à la diffusion moléculaire	[-]
T ₂	Trouble relatif à la diffusion par les aérosols	[-]
A _{he}	Alternance hiver été	[-]

NOMENCLATURE

G_0	Eclairement solaire extraterrestre	W/m ²
ε	Correction de distance terre soleil	[-]
I_0	Constante solaire	W/m ²
IB_h	Eclairement direct incident sur un plan horizontal par Capderou	W/m ²
T_L'	Facteur de trouble diffusif	[-]
α_z	l'Azimut de la normal du plan	W/m ²
IG_h	Eclairement global incident sur un plan horizontal par Capderou	W/m ²
IN	Eclairement direct normal incident sur un plan horizontal	W/m ²
δ^h	Composante du cercle de l'horizon donnée par Capderou	[-]
δ^a	Composante due à l'albédo donnée par Capderou	[-]
ρ	Albédo du sol	[-]
δ^d	Composante directe donnée par Capderou	[-]
δ^i	Composante isotrope du ciel donnée par Capderou	[-]
$\delta^{i'}$	Composante due à la rétrodiffusion donnée par Capderou	[-]
ID^a_i	Composante du diffus isotrope du sol donnée par Capderou	W/m ²
ID^i_i	Composante du diffus isotrope du ciel donnée par Capderou	W/m ²
ID_h	Eclairement diffus incident sur un plan horizontal	W/m ²
ID^d_i	Composante diffus directionnel donnée par Capderou	W/m ²
ID^h_i	Composante du diffus du cercle de l'horizon donnée par Capderou	W/m ²
ID_i^{ciel}	Composante du diffus du ciel donnée par Capderou	W/m ²
ID_i	Eclairement diffus incident sur un plan quelconque par Capderou	W/m ²
IG_i	Eclairement global incident sur un plan quelconque par Capderou	W/m ²
IB_i	Eclairement direct incident sur un plan quelconque par Capderou	W/m ²
γ	Hauteur de la normal du plan	Degrés

TABLE DES MATIERES**RESUME (Arabe, Français, Anglais)****LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX****NOMENCLATURE****INTRODUCTION GENERALE 1****CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE SOLAIRE ET LES CENTRALES SOLAIRES**

I.1.	Introduction	3
I.2.	Energies renouvelables	3
I.2.1.	Définition des énergies renouvelables	3
I.2.2.	Importance des énergies renouvelable	4
I.2.3.	Applications de l'énergie solaire	4
I.2.3.1.	Solaire passif	5
I.2.3.2.	Solaire actif	5
I.2.4.	Les avantages des énergies renouvelables	5
I.3.	Système terre-soleil	6
I.3.1.	Le soleil	6
I.3.2.	La terre	7
I.3.3.	Rotation de la terre	7
I.3.4.	Mouvement orbital de la terre autour du soleil	8
I.3.5.	Les saisons et la durée du jour et de la nuit	8
I.4.	Energie et le potentiel solaire	9
I.4.1.	Potentiel solaire dans le monde	9
I.4.2.	Potentiel solaire de l'Algérie	9
I.5.	Instruments de mesure du rayonnement solaire	10
I.5.1.	Mesure de l'éclairement direct (le Pyrhéliomètre)	10
I.5.2.	Mesure de l'éclairement direct (le Pyrhéliomètre)	10
I.5.3.	Mesure du rayonnement solaire réfléchi (Albédo mètre)	11
I.5.4.	Mesure de l'éclairement global (Pyranomètre)	11
I.6.	Présentation générale des centrales solaires	12

I.7. Centrales solaires photovoltaïques	13
I.7.1. Effet photovoltaïque	13
I.7.2. Cellule photovoltaïque	13
I.7.2.1. Principe de fonctionnement de la jonction P-N	13
I.7.2.2. Différentes technologies des cellules solaires	14
I.7.2.3. Regroupement des cellules	16
I.7.2.4. Courbes I(V) et P(V) et influence des paramètres climatiques	17
I.7.3. Constitution d'un système photovoltaïque	19
I.7.3.1. Module photovoltaïque	19
I.7.3.2. Batteries de stockage	20
I.7.3.3. Régulateur de charge	20
I.7.3.4. Convertisseurs	21
I.7.4. Différents types de système photovoltaïques	21
I.7.4.1. Systèmes autonomes	21
I.7.4.1.1 Systèmes avec accumulateurs	21
I.7.4.1.2 Système sans accumulateurs	22
I.7.4.2. Systèmes hybrides	22
I.7.4.3. Systèmes connectés au réseau	23
I.7.4.3.1 Systèmes photovoltaïques directement relié au réseau	23
I.7.4.3.2 Systèmes photovoltaïques relié au réseau avec batterie	24
I.7.5. Centrales à systèmes photovoltaïques	24
I.7.5.1. Centrales photovoltaïques en Algérie	24
I.7.5.2. Centrales photovoltaïques au monde	25
I.8. Centrales solaires thermodynamiques	27
I.8.1. Fonctionnement des centrales solaires thermodynamiques	27
I.8.2. Différents types de centrales solaires thermodynamiques	28
I.8.2.1. Centrales à collecteurs cylindro-paraboliques	28
I.8.2.2. Centrales solaires à miroir de Fresnel	28
I.8.2.3. Centrales à tour solaire	28
I.8.2.4. Centrales à capteur paraboliques ou Dish-Stirling	29

**CHAPITRE II : MODELISATION DE L'ECLAIREMENT SOLAIRE ET
ETUDE ET REALISATION DU DISPOSITIF DE MESURE DE L'EFFET DE
LA POUSSIERE**

II.1.	Introduction	30
II.2.	Paramètres géométriques	30
II.2.1.	Coordonnées géographiques terrestres	30
II.2.2.	Paramètres horaires	31
II.2.2.1.	Temps solaire	31
II.2.2.2.	Durée astronomique du jour	32
II.2.2.3.	Angle horaire	32
II.2.2.4.	Déclinaison solaire	33
II.2.3.	Paramètres de position	34
II.2.3.1.	Hauteur du soleil	34
II.2.3.2.	Azimut du soleil	35
II.3.	Paramètres atmosphériques	37
II.3.1.	Masse atmosphérique	37
II.3.2.	Epaisseur optique de l'atmosphère	37
II.3.3.	Influence de l'atmosphère sur l'éclairement solaire	40
II.4.	Modélisation de l'éclairement solaire utilisant le modèle Capderou	40
II.4.1.	Eclairement hors atmosphère	40
II.4.2.	Estimation de l'éclairement solaire incident sur un plan horizontal	40
II.4.2.1.	Eclairement direct incident sur un plan horizontal	41
II.4.2.2.	Eclairement diffus incident sur un plan horizontal	41
II.4.3.	Estimation de l'éclairement solaire incident sur un plan quelconque	41
II.4.3.1.	Inclinaison et l'orientation d'un plan	41
II.4.3.2.	Angle d'incidence sur un plan quelconque	43
II.4.3.3.	Eclairement direct incident sur un plan quelconque	44
II.4.3.4.	Eclairement diffus incident sur un plan quelconque	44
II.4.4.	Energie solaire globale reçue sur un plan quelconque	44
II.5.	Discussion et validation des résultats	44
II.5.1.	Comparaison entre valeurs de l'éclairement solaire	44
II.5.2.	Validation des résultats obtenus par des données expérimentales	45

II.9.	Nécessité de nettoyage des centrales solaires	47
II.10.	Conclusion	48

**CHAPITRE III : ETUDE EXPERIMENTALE, INTERPRETATION ET
DISCUSSION DES RESULTATS**

III.1.	Introduction	49
III.2.	La carte Arduino Uno	49
III.2.1.	Présentation de la carte Arduino	49
III.3.	Etude et réalisation du dispositif de mesure de l'effet de la poussière	50
III.3.1.	Programme de la carte Arduino	50
III.4.	Principe de fonctionnement	52
III.5.	Composants électroniques	52
III.6.	Partie expérimentale du dispositif de mesure	53
III.6.1.	Réalisation du dispositif	53
III.6.2.	Afficheur OLED	54
III.6.2.1.	Présentation de L'afficheur OLED	54
III.7.	Tests et discussion	54
III.8.	Conclusion	60

CONCLUSION GENERALE	61
----------------------------	-----------

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXE

Introduction générale

Depuis la généralisation de l'utilisation de l'électricité, la consommation d'énergie n'a cessé d'augmenter. Le problème de la conversion et du stockage de l'énergie a conduit à la recherche et au développement de nouvelles sources d'approvisionnement. L'énergie solaire est une solution attrayante comme remplacement ou complément des sources conventionnelles d'approvisionnement en électricité en raison de ses nombreux avantages.

La situation géographique de l'Algérie favorise le développement et l'épanouissement de l'utilisation de l'énergie solaire. En effet vu l'importance de l'intensité du rayonnement reçu ainsi que la durée de l'ensoleillement qui dépasse les dix heures par jour pendant plusieurs mois, notre pays peut couvrir certains de ses besoins en énergie solaire, ces avantages pourraient être profitables dans les régions les plus reculées surtout dans les zones désertiques.

Notre région, comme d'autres régions du sud, a un grand potentiel dans le domaine de l'énergie, en particulier l'énergie solaire, ce qui favorise son développement et son utilisation.

Cependant, cette énergie est directement liée au climat et à ses changements, ce qui l'expose à certains problèmes, d'autant plus que notre région est souvent exposée à la poussière et aux températures élevées.

Cela affecte négativement sur les systèmes solaires, ce qui les empêche de donner un bon rendement.

Dans ce travail, nous avons proposé de réaliser un dispositif de mesure de l'effet de la poussière sur les systèmes photovoltaïques. Le système proposé est composé de deux modules photovoltaïques liées à une carte électronique réalisé comme interface entre les modules PV et une carte Arduino Uno. Le principe de fonctionnement de ce dernier est de mettre le premier module sous condition climatique et le deuxième doit être toujours propre, en mesurant la tension de deux modules on peut déduire le taux de chute de tension qui présente l'effet de la poussière.

Ce document qui décrit notre travail est réparti en trois chapitres :

Le premier chapitre est consacré à des notions générales sur l'énergie renouvelable, ces importances, il contient également des informations générales sur le système terre-soleil et les différents types de système photovoltaïque. Dans le second chapitre une

INTRODUCTION GENERALE

modélisation de l'éclairement solaire et étude et réalisation du dispositif de mesure de l'effet de la poussière.

Dernier chapitre est dédié à l'étude du modus operandi de l'Arduino avec une expérience pour connaître l'étendue de l'effet poussière, et mémoriser les résultats obtenus

Finalement une conclusion générale contenant les interprétations et les perspectives envisagées terminera ce mémoire.

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE SOLAIRE ET LES CENTRALES SOLAIRES

I.1. Introduction

De nos jours, la croissance de la demande énergétique mondiale et l'épuisement des ressources fossiles ont conduit à la recherche et au développement de l'exploitation d'autres sources d'énergie moins chères et non polluantes.

Comme l'énergie solaire est disponible naturellement et utilisable dans différentes applications, elle peut être présentée comme une alternative face à la crise mondiale d'énergie. De ce fait, des recherches ont été menées sur les procédés solaires tels que les technologies solaires à concentration qui sont caractérisées par des rendements énergétiques très importants. C'est pour cette raison, que l'augmentation de l'efficacité énergétique des procédés de concentration est devenue l'un des soucis de la plupart des chercheurs dans ce domaine.

Dans ce chapitre nous allons parler sur les énergies renouvelables et le Système terre-soleil et Energie et le potentiel solaire et nous exposerons Instruments de mesure du rayonnement solaire ensuite, nous classerons les différents types de système photovoltaïques et en dernier lieu nous allons expliquer les Centrales solaires thermodynamiques et leurs fonctionnements.

I.2. énergies renouvelables Définition des énergies renouvelables

I.2.1. Définition des énergies renouvelables

Une énergie renouvelable est une source d'énergie se renouvelant assez rapidement pour être considérée comme inépuisable à l'échelle de temps humain. Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués par les astres, principalement le Soleil (rayonnement), mais aussi la Lune (marée) et la Terre (énergie géothermique).

Soulignons que le caractère renouvelable d'une énergie dépend non seulement de la vitesse à laquelle la source se régénère, mais aussi de la vitesse à laquelle elle est consommée. Le comportement des consommateurs d'énergie est donc un facteur à prendre en compte dans cette définition. Les énergies renouvelables sont également plus « propres » (moins d'émissions de CO₂, moins de pollution) que les énergies issues de sources fossiles. Les principales énergies renouvelables sont : [1]

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE SOLAIRE ET LES CENTRALES SOLAIRES

- L'énergie hydraulique.
- L'énergie solaire.
- L'énergie éolienne.
- La géothermie.
- L'énergie de biomasse

I.2.2. Importance des énergies renouvelable

Sa conviction est en effet que la promotion des énergies renouvelables constitue un impératif de politique énergétique et de politique industrielle à au moins cinq titres décrits ci-après :

1. Les énergies renouvelables contribuent à la sécurité d'approvisionnement et à l'indépendance énergétique de la France et de l'Europe.
2. Les énergies renouvelables permettent une maîtrise à long terme des prix de l'énergie.
3. Les énergies renouvelables constituent les vecteurs les plus adaptés de développement de la production d'énergie décentralisée.
4. les énergies renouvelables contribuent à limiter les impacts de la production d'énergie sur l'environnement :
5. Les énergies renouvelables offrent un potentiel considérable de développement industriel pour nos entreprises. [2]

I.2.3. Applications de l'énergie solaire

Depuis l'Antiquité, les humains ont bénéficié directement de l'énergie du rayonnement solaire dans un certain nombre d'applications, telles que le séchage, Cultures agricoles et chauffage domestique utilisés dans d'autres domaines.

En plus de ce qui a été mentionné, l'énergie solaire, par rapport à d'autres sources d'énergie, présente les avantages suivants:

1-La technologie utilisée reste relativement simple et pas compliquée par rapport à la technologie utilisée dans d'autres sources d'énergie.

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE SOLAIRE ET LES CENTRALES SOLAIRES

2- Fournir un facteur de sécurité environnementale car l'énergie solaire est une énergie propre qui ne pollue pas l'atmosphère.

I.2.3.1. Énergie solaire passive

L'énergie solaire passive désigne l'ensemble des techniques où la chaleur solaire peut être utilisée sur place, sans être transférée au moyen d'un caloporteur (air ou eau). Elle est directement liée aux techniques de construction qui permettent des économies d'énergie pour le chauffage, la climatisation et l'éclairage. Elle concerne la conception de bâtiments et la mise en place de composants de construction permettant d'utiliser le rayonnement solaire, à la fois pour l'éclairage naturel et le chauffage des espaces habitables. En plus de limiter la consommation d'énergie, l'énergie solaire passive peut contribuer au confort ressenti par les résidents. Les maisons solaires passives, sont d'abord des bâtiments très bien isolés, pour lesquels les pertes de chaleur sont réduites au plus bas niveau possible. Dans les cas les plus poussés, elles n'ont pas besoin d'un système de chauffage. Ces maisons exploitent d'abord les apports solaires mais font aussi appel à des principes comme ceux de l'inertie thermique du bâtiment, l'éclairage naturel... [3].

I.2.3.2. Énergie solaire active

L'énergie solaire active implique le recours à des capteurs et des équipements mécanisés pour collecter et distribuer l'énergie. Elle désigne l'ensemble des moyens qui permettent de capter et de transformer le rayonnement solaire pour des applications énergétiques comme le chauffage de l'eau ou de l'air et la production d'électricité par des panneaux photovoltaïques [3].

I.2.4. Les avantages des énergies renouvelables

I.2.4.1. Sur le plan environnemental

Les énergies renouvelables :

- Contribuent à la réduction des émissions des gaz à effet de serre,
- Réduisent la pollution de l'air, de l'eau, du sol et de la biosphère (pas d'émission de gaz de combustion, CO₂, SO₂, NO_x)
- Ne nécessitent pas d'extraction ni de transport de combustibles et limitent ainsi les risques d'accident (marées noires, explosions ...).
- Ne génèrent pas de déchets dangereux.

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE SOLAIRE ET LES CENTRALES SOLAIRES

- Préservent les stocks de ressources naturelles et énergétiques.

I.2.4.2. Sur le plan social

Les installations utilisant les énergies renouvelables induisent généralement la création d'emplois durables et difficilement délocalisables. Leur caractère diffus et décentralisé permet par ailleurs aux populations locales de maîtriser la production d'énergie nécessaire à leurs besoins, tout en permettant une réorientation de l'activité économique. Ainsi par exemple, la production de biomasse-énergie constitue une possibilité de diversification assurant par là des revenus complémentaires pour les secteurs agricole et sylvicole. Dans le domaine du bois-énergie, par exemple, l'association Valbiom a montré que les filières bois peuvent générer de 10 à 28 fois plus d'emplois directs qu'une filière fuel, en fonction de leur degré de mécanisation [1].

I.3. système terre-soleil

I.3.1. Le soleil

Le soleil (Figure I.1) c'est une étoile sphérique qui fournit la plus grande partie que nous utilisons. En effet, à part l'énergie géothermique et l'énergie nucléaire, les énergies viennent du soleil. Cette étoile est particulièrement importante car l'essentiel de l'énergie que les planètes du système solaire reçoivent. Néanmoins, elle est relativement banale comparée à l'ensemble des autres étoiles situées à environ 15 milliards de kilomètres de la terre. Cette étoile est formée de 74.1% d'hydrogène, 24.8% d'hélium, 0,03% de carbone, 0,0084% d'azote, 0,0076% de néon, 0,0037% de fer, 0,003% de magnésium, 0,0024% de soufre, 0,0015% de tous les autres composants [4].

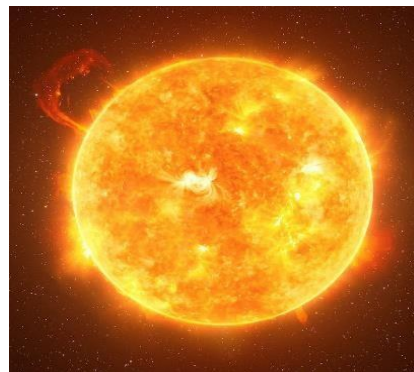


Figure I.1. Image de l'étoile soleil du système solaire

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE SOLAIRE ET LES CENTRALES SOLAIRES

I.3.2.La terre

La Terre est la 3ème planète du Système solaire, située entre Vénus et Mars. La Terre est plus grande des planètes rocheuses. Elle est recouverte à 71 % par des mers et des océans, d'où son surnom de "planète bleue". Elle est aussi la seule connue où l'eau est présente sous ses trois formes : solide, liquide et gazeuse, ce qui a permis notamment le développement de la vie. Sa température moyenne à la surface est de 15 °C, mais le climat est très variable en fonction des endroits [4].



Figure. I.2 : Image de l'étoile terre du système solaire.

I.3.3.La rotation de la terre

La Terre est animée d'un mouvement de rotation d'ouest en est (dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, vue de son côté nord), ainsi les astres, dont le Soleil et la Lune, semblent animés d'un mouvement opposé, allant d'est en ouest. La durée de cette rotation par rapport aux étoiles (rotation sidérale) est d'environ 23 h 56 min 4 s. C'est ce que l'on appelle le jour sidéral. Cependant, au cours de l'année, la Terre avance sur son orbite. Ainsi, pour un observateur terrestre, afin que le Soleil passe à nouveau au sud d'un jour à l'autre, il faudra rajouter environ 4 minutes au jour sidéral. Ce n'est donc bien qu'au bout de 24 heures que le Soleil se retrouve à la même position que la veille. C'est ce qui est appelé le jour solaire [5].

Les trois conséquences de la rotation terrestre sont :

- La succession du jour et de la nuit.
- L'aplatissement de la terre au niveau des pôles (force...).
- La force de Corioli.

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE SOLAIRE ET LES CENTRALES SOLAIRES

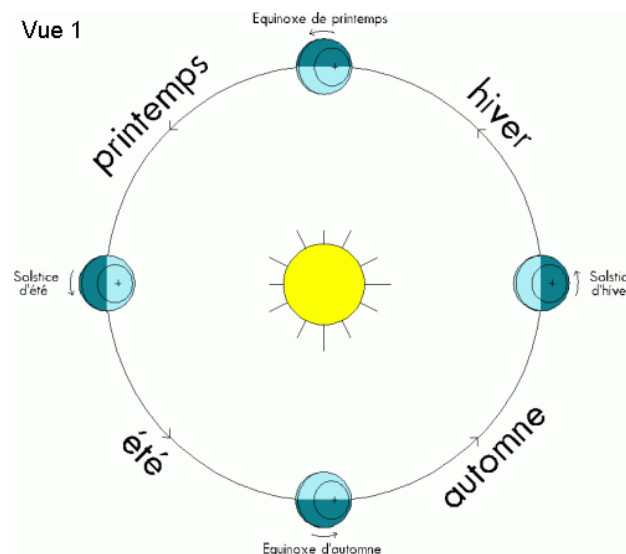
I.3.4. Mouvement de la terre autour du soleil

La Terre tourne autour d'un axe définissant les pôles nord et sud du globe en 24 heures. Ce phénomène génère ainsi une alternance de jours (l'hémisphère du site considéré est alors éclairé) et de nuit (l'hémisphère est à l'ombre). La trajectoire de la terre autour du soleil constitue une ellipse de très faible excentricité (c'est-à-dire proche d'un cercle), réalisée en environ 365 jours.

L'inclinaison de l'axe des pôles terrestres par rapport au plan de l'écliptique est constante et égale à $23^{\circ} 27'$; elle est à l'origine du phénomène de saison que nous connaissons. La distance terre soleil varie entre 153.106 km (le 3 juillet) et 147.106

I.3.5. Les saisons

Les saisons résultent de l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre par rapport au plan de son orbite. L'angle que fait l'axe de rotation de la Terre et la normale au plan de l'orbite est fixe et égal à $23^{\circ} 27'$. En conséquence, au fur et à mesure de la progression de la Terre sur son orbite autour du Soleil, l'orientation des rayons solaires varie au cours de l'année selon la latitude.



FigureI.3: Mouvement de la terre autour du soleil.

L'alternance jour/nuit est le mouvement de la Terre qui est le plus perceptible par l'homme. En effet, tout son cycle de vie est influencé par cette succession de phases diurnes et nocturnes.

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE SOLAIRE ET LES CENTRALES SOLAIRES

Le jour est le temps qui sépare le lever et le coucher du soleil. Deux instants particuliers de la journée qui donne une hauteur h du soleil nul sont appelés : le lever et le coucher du soleil [7].

I.4. Energie et le potentiel solaire

I.4.1. Potentiel solaire dans le monde

La quantité d'énergie reçue par la Terre est considérable. Chaque année, ce sont 1.070.000 pétawatts-heures (PWh, soit 10^{15} Wh) que reçoit la Terre, soit plus de 8.000 fois la consommation énergétique mondiale annuelle (133 PWh en 2005).

En pratique inépuisable, l'énergie du soleil est une source abondante sur la planète Terre et les procédés pour la récupérer sont bien connus. Au cours de cette interview, Jean-Luc Wingert, ingénieur-conseil en énergie et environnement, nous explique les enjeux et les solutions techniques pour un avenir où l'énergie solaire deviendrait une ressource majeure. Exploiter seulement 0,01% de cette énergie suffirait donc à couvrir les besoins énergétique de la planète.

Pourtant, l'énergie solaire au sens où on l'entend (photovoltaïque et thermique) ne représentait que 0,1% de la consommation énergétique mondiale en 2008. L'un des freins au développement de l'exploitation de cette énergie est sa production intermittente, en fonction de l'ensoleillement (nuage, nuit, saison), et la difficulté de son stockage, que ce soit sous forme de chaleur ou d'électricité.

I.4.2. Potentiel solaire de l'Algérie

Le potentiel photovoltaïque de l'Algérie est estimé, selon le même expert, entre 250 et 400 mégawatts (MW) avec un rayonnement solaire de 3000 heures par an. Il dira que l'Algérie, de par sa situation géographique, bénéficie des conditions favorables à l'utilisation des énergies renouvelables, en particulier l'énergie solaire d'origine photovoltaïque et l'introduction de ces nouvelles énergies est aisément envisagée sur de nombreux sites. Dans le cadre du développement de ces énergies, plusieurs projets et programmes solaires ont été initiés et développés par quelques entités algériennes chargées de la recherche et du développement des énergies renouvelables. Le représentant du CDER citera, à titre d'exemple, le projet de construction, en partenariat avec l'Allemagne, d'une centrale thermique à tour en cours de réalisation dans la nouvelle ville de Sidi Abdellah. Il faut savoir à cet effet que l'Algérie s'est

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE SOLAIRE ET LES CENTRALES SOLAIRES

fixé comme objectif de produire 5% de l'électricité à partir de l'énergie solaire à l'horizon 2015. L'Allemagne étant le leader mondial dans ce domaine ambitionne de s'imposer sur le marché algérien avec sa technologie hautement innovatrice. Pour sa part, le directeur général de l'AHK Algérie a indiqué que «l'ambition des autorités algériennes à augmenter la part des énergies renouvelables dans la production électrique nous a fortement encouragés à promouvoir le potentiel de ce marché au niveau de l'économie allemande».

I.5. Instruments de mesure du rayonnement solaire

I.5.1. Mesure du rayonnement direct (le Pyrhéliomètre)

Le Pyrhéliomètre mesure le rayonnement direct (Figure I.4). Il comporte une ouverture réduite et une surface réceptrice qui doit être maintenue normale au rayonnement par un système de poursuite automatique. La surface sensible est un disque d'argent noirci placé à la base d'un tube muni d'un obturateur et d'un diaphragme limitant l'angle d'ouverture à 5.7° (le diamètre apparent du soleil est de 0.5°). Le tube est fixé sur une monture équatoriale [10].



Figure I.4 : Le Pyrhéliomètre (direct) [10].

I.5.2. Mesure du rayonnement diffus (le Pyranomètre)

C'est le rayonnement provenant de toute la voûte céleste. Ce rayonnement est dû à l'absorption et à la diffusion d'une partie du rayonnement solaire par l'atmosphère et à sa réflexion par les nuages. Il peut être mesuré par un pyranomètre (Figure I.5). Avec un pare-soleil (bande métallique circulaire) qui protège le pyranomètre du rayonnement solaire direct [10].



Figure I.5 : Le Pyranomètre (diffus) [10].

I.5.3. Mesure du rayonnement solaire réfléchi (Albédo mètre)

C'est le rapport de l'énergie solaire réfléchie par une surface à l'énergie solaire incidente. Sa valeur est comprise entre 0 et 1. Plus une surface est réfléchissante, plus son albédo est élevé. Éléments qui contribuent le plus à l'albédo de la Terre sont : les nuages, les surfaces de neige et de glace. Par exemple, l'albédo de la neige fraîche est de 0,87, ce qui signifie que 87 % de l'énergie solaire est réfléchi par ce type de neige. Il peut être mesuré par un Albédo mètre (Figure.I.6) [10].



Figure I.6 : Albédo mètre (réfléchi) [10].

I.5.4. Mesure du rayonnement global (Pyranomètre)

On mesure la puissance du rayonnement solaire globale sur une surface horizontale grâce à un pyranomètre (Figure I.7), qui comprend une double coupelle de verre, un thermophile (série de thermocouples) et un système d'enregistrement de la force électromotrice produite par ce thermophile sous l'action d'un rayonnement. Quand l'instrument est exposé à la radiation solaire, une différence de température est créée entre les secteurs noirs et les secteurs blancs. Cette différence de température est détectée par la thermophile qui convertie l'énergie thermique en énergie électrique. Ce courant peut être mesuré et amplifié et le signal de millivolt est converti par un facteur de calibrage en un flux en watt par mètre carré. Il représente la somme de tous les rayonnements reçus (direct+diffus+albédo) [10].



Figure. I.7. Pyranomètre (direct+diffus+albédo) [10].

I.6. Présentation générale des centrales solaires

Une centrale électrique solaire est un système de production d'électricité qui utilise l'énergie solaire comme seul carburant. Il en existe essentiellement deux types, les centrales solaires photovoltaïques et les centrales solaires thermodynamiques. La différence est fondamentale, alors que les premiers la convertissent en électricité, les seconds transforment le rayonnement solaire en chaleur. Chaque modèle a des caractéristiques spécifiques et un impact qui diffère. Lorsque l'on s'intéresse à leur rendement, on peut constater l'existence de fortes disparités selon les technologies utilisées.

I.7. Centrales solaires photovoltaïques

Une centrale solaire photovoltaïque est un dispositif technique de production d'électricité par des modules solaires photovoltaïques (PV) reliés entre eux (série et parallèle) et utilise des onduleurs pour être raccordée au réseau.

Le terme « photovoltaïque » souvent abrégé par le sigle « PV », a été formé à partir des mots « photo » un mot grec signifiant lumière et « Volta » le nom du physicien italien Alessandro Volta qui a inventé la pile électrochimique en 1800. L'effet photovoltaïque est la conversion directe de l'énergie solaire en électricité [11].

I.7.1. Effet photovoltaïque

L'effet photovoltaïque est un phénomène physique propre à certains matériaux appelés semi-conducteurs qui produisent de l'électricité lorsqu'ils sont exposés à la lumière comme schématisé sur la figure (I.8). L'effet photovoltaïque constitue la conversion directe de l'énergie du rayonnement solaire en énergie électrique au moyen de cellules généralement à base de

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE SOLAIRE ET LES CENTRALES SOLAIRES

silicium. Pour obtenir une puissance suffisante, les cellules sont reliées entre elles et constituent le module solaire [12].

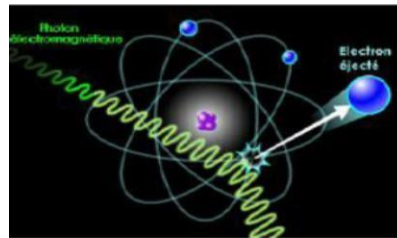


Figure.I.8 : Collision entre un photon et un atome [12].

I.7.2. La cellule photovoltaïque

Les cellules photovoltaïques au silicium multi-cristallin sont aisément reconnaissables grâce aux motifs qu'elles affichent. Les cellules monocristallines sont d'un bleu uniforme. Les éléments gris correspondent aux contacts métalliques de la face avant.



Figure. I.9 : La cellule photovoltaïque.

I.7.2.1. Principe de fonctionnement de la jonction P-N

Une cellule photovoltaïque est un dispositif qui permet de transformer l'énergie solaire en énergie électrique. Une cellule PV est réalisée à partir de deux couches de silicium, une dopée P (dopée au bore) et l'autre dopée N (dopée au phosphore) créant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel. Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, ils transmettent leur énergie aux atomes de la jonction PN de telle sorte que les électrons de ces atomes se libèrent et créent des électrons (charges N) et des trous (charges P). Ceci crée alors une différence de potentiel entre les deux couches. Cette différence de potentiel est mesurable

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE SOLAIRE ET LES CENTRALES SOLAIRES

entre les connexions des bornes positives et négatives de la cellule. A travers une charge continue, on peut en plus récolter des porteurs. La tension maximale de la cellule est d'environ 0.6 V pour un courant nul. Cette tension est nommée tension de circuit ouvert (VOC). Le courant maximal se produit lorsque les bornes de la cellule sont court-circuitées, il est appelé courant de court-circuit (ICC). La structure d'une cellule photovoltaïque est représentée sur la (figure I.10) suivante [12].

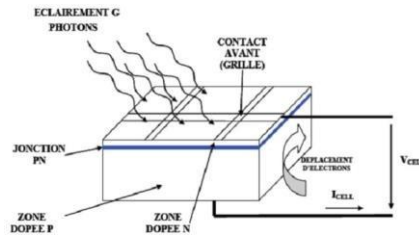


Figure.I.10. Structure d'une cellule photovoltaïque au silicium [12].

I.7.2.2. Différentes technologies des cellules solaires

➤ Silicium monocristallin

Le silicium cristallin est actuellement l'option la plus populaire pour les cellules commerciales bien que beaucoup d'autres matériaux soient disponibles. Le terme « cristallin » implique que tous les atomes dans le matériau PV actif font partie d'une structure cristalline simple où il n'y a aucune perturbation dans les arrangements ordonnés des atomes (Figure I.11) [12].

➤ Silicium poly cristallin

Il est composé de petits grains de silicium cristallin (Figure I.11). Les cellules à base de silicium poly cristallin sont moins efficaces que les cellules à base de silicium monocristallin. Les joints de grains dans le silicium poly cristallin gênent l'écoulement des électrons et réduisent le rendement de puissance de la cellule. L'efficacité de conversion PV pour une cellule à base de silicium poly cristallin modèle commerciale s'étend entre 10 et 14 % [12].

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE SOLAIRE ET LES CENTRALES SOLAIRES

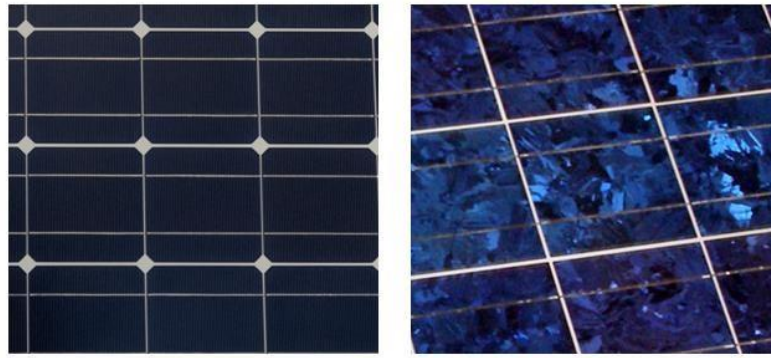


Figure.I.11 : Différence entre des cellules au silicium monocristallin (gauche) et des cellules au silicium polycristallin (droite).

➤ Silicium amorphe (A-Si)

Le silicium est déposé en couche mince sur une plaque de verre ou un autre support souple. L'organisation irrégulière de ses atomes lui confère en partie une mauvaise semi-conduction. Les cellules amorphes sont utilisées partout où une solution économique est recherchée ou lorsque très peu d'électricité est nécessaire, par exemple pour l'alimentation des montres, des calculatrices, ou des luminaires de secours. Elles se caractérisent par un fort coefficient d'absorption, ce qui autorise de très faibles épaisseurs, de l'ordre du micron. Par contre, son rendement de conversion est faible (de 7 à 10%) et les cellules ont tendance à se dégrader plus rapidement sous la lumière (Figure I.12) [12].



FigureI.12: cellule au Silicium amorphe.

I.7.2.3. Regroupement des cellules

➤ Regroupement en série

Une association de (N_s) cellule en série (figure I.13) permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque. Les cellules sont alors traversées par le même courant et la caractéristique résultant du groupement série est obtenues par addition des tensions élémentaires de chaque cellule.

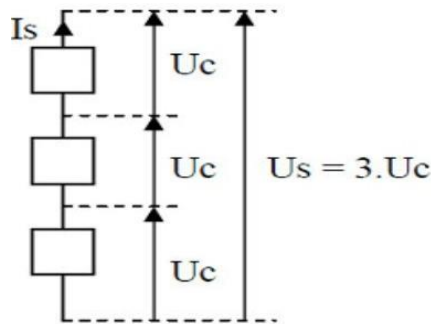


Figure I.13 : Raccordement des cellules en série.

➤ Regroupement en parallèle

Une association parallèle de (N_p) cellule est possible et permet d'accroître le courant de sortie du générateur ainsi créé (figure I.14). Dans un groupement de cellules identiques connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants [12].

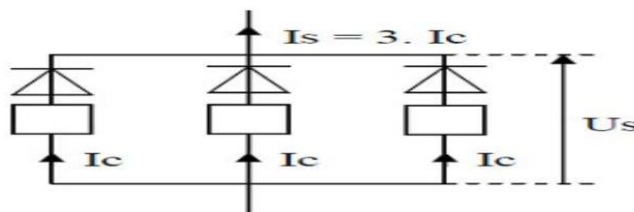


Figure. I.14: Raccordement des cellules en parallèle [12].

➤ Regroupement (série et parallèle)

On utilise généralement ce type d'association pour en tirer une tension importante puisque l'association en série des photopiles délivre une tension égale à la somme des tensions individuelles et un courant égal à celui d'une seule cellule. La caractéristique d'un groupement de deux modules solaires est représentée ci-dessous, ce qui peut être généralisé sur une gamme de $00N_s$ modules solaires en série. Ce genre de groupement augmente le

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE SOLAIRE ET LES CENTRALES SOLAIRES

courant. Afin d'obtenir des puissances de quelques kW, sous une tension convenable, il est nécessaire d'associer les modules en panneaux et de monter les panneaux en rangées de panneaux série et parallèle pour former ce que l'on appelle un générateur photovoltaïque [12].

I.7.2.4. Les courbes I(V) et P(V) et influence des paramètres climatiques

► Influence de l'ensoleillement

Une baisse de l'ensoleillement provoque une diminution de la création de paires électron trou avec un courant changé à l'obscurité. Le courant du panneau solaire étant égal à la soustraction de la photo courant et du courant de diode à l'obscurité, il y'a une baisse du courant solaire I_{cc} proportionnelle à la variation de l'ensoleillement accompagnée d'une très légère diminution de la tension V_{co} et donc un décalage du point P max du panneau solaire vers les puissances inférieures.

Les graphes suivants représentent les caractéristiques P(V) et I(V) respectivement d'un générateur photovoltaïque pour une température constante ($T=25^{\circ}\text{C}$) et un ensoleillement variable (figure I.15) et (figure I.16) [12].

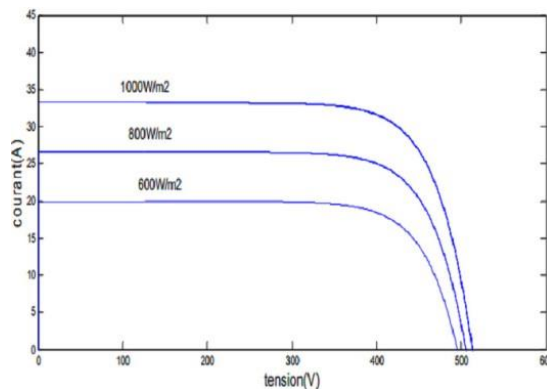


Figure. I.15: Courbe I(V) d'un panneau à divers ensoleillements à $T=25^{\circ}\text{C}$ [12].

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE SOLAIRE ET LES CENTRALES SOLAIRES

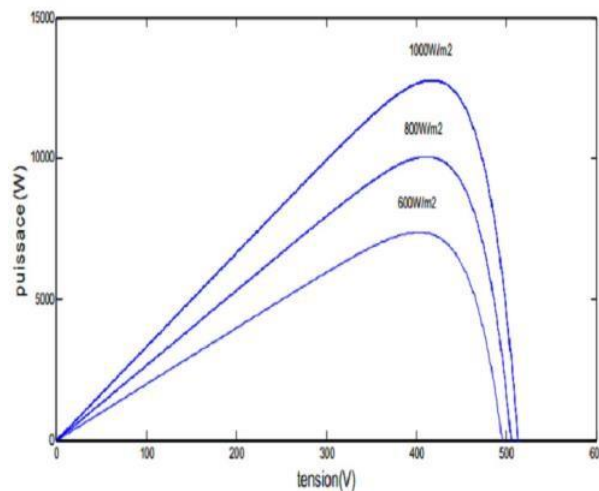


Figure.I.16 : Courbe P(V) d'un panneau à divers ensoleillements à T=25°C [12].

La puissance optimale de la cellule (P_{max}) est pratiquement proportionnelle à l'éclairement.

- Les points de puissance maximale se situent à peu près à la même tension [12].

➤ Influence de la température sur les courbes I(V) et P(V)

La figure (I.17) et (I.18) présentent respectivement des courbes I(V) et P(V) pour différentes températures de fonctionnement du module photovoltaïque à une irradiation constante. Nous remarquons que la température a une influence négligeable sur la valeur du courant de court-circuit. Par contre, la tension en circuit ouvert baisse assez fortement lorsque la température augmente. On en déduit donc que le panneau peut fournir une tension correcte, même à faible éclairage, par conséquent la puissance extractible diminue. Lors du dimensionnement d'une installation, la variation de la température du site sera impérativement prise en compte. Il est important de savoir que la puissance du panneau diminue environ de 0,5% par chaque degré d'augmentation de la température de la cellule au-dessus de 25°C. Enfin, il est important de noter que, lorsque l'éclairement est plus faible que 100 W/m² la tension du panneau varie à son tour. Elle baisse avec l'éclairement (variation logarithmique). Seules les photopiles au silicium amorphe permettent un fonctionnement dans ces conditions, grâce à une tension encore assez élevée. C'est pour cette raison que le silicium amorphe peut être utilisé sous éclairage artificiel, contrairement au silicium cristallin. Ceci va beaucoup contribuer dans notre choix de cellules [12].

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE SOLAIRE ET LES CENTRALES SOLAIRES

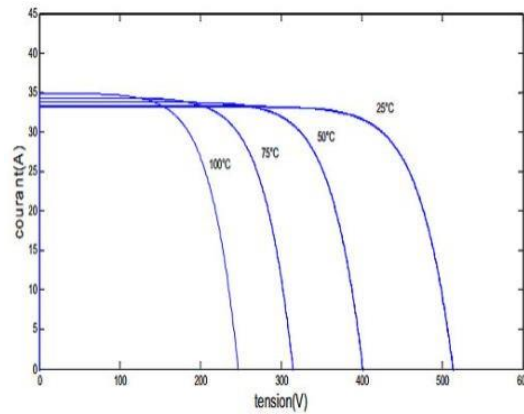


Figure.I.17 : Courbes I(V) d'un générateur PV pour différentes températures à $G=1000\text{W/m}^2$ [12].

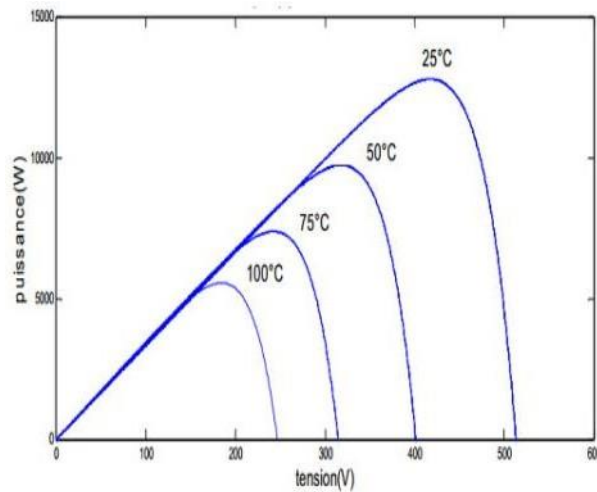


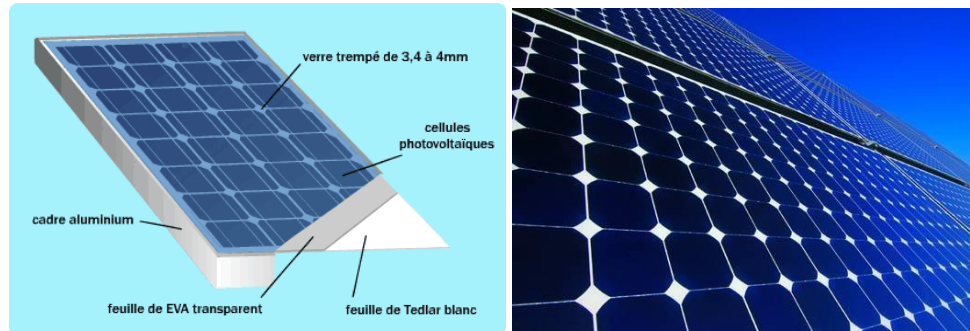
Figure.I.18 : Courbes P(V) d'un générateur PV pour différentes températures à $G=1000\text{W/m}^2$ [12].

I.7.3. Constitution d'un système photovoltaïque

I.7.3.1. Le module photovoltaïque

Un générateur photovoltaïque ou module est constitué d'un ensemble de cellules photovoltaïques élémentaires montées en série ou en parallèle afin d'obtenir des performances électriques désirées, tels que la puissance, le courant de court-circuit (I_{cc}) et la tension en circuit ouvert (V_{oc}) figure (I.19) [12].

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE SOLAIRE ET LES CENTRALES SOLAIRES



FigureI.19 : Module photovoltaïque.

I.7.3.2. Batterie de stockage

Dans une installation PV, le stockage correspond à la conservation de l'énergie produite par le générateur PV, en attente pour une utilisation ultérieure. La gestion de l'énergie solaire nécessite d'envisager des stockages suivant les conditions météorologiques et qui vont répondre à deux fonctions principales.

✓ Fournir à l'installation de l'électricité lorsque le générateur PV n'en produit pas (la nuit ou par mauvais temps par exemple).

✓ Fournir à l'installation des puissances plus importantes que celles fournies par le générateur PV [12].

➤ Définition des batteries solaires

Les batteries solaires stockent l'énergie produite par les panneaux photovoltaïques afin d'assurer l'alimentation électrique en toutes circonstances (jour ou nuit, ciel dégagé ou couvert). Une batterie utilisée avec des panneaux solaires ou une éolienne est une batterie à décharge lente (appelée aussi batterie solaire).

I.7.3.3. Régulateur de la 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 [12].

I.7.3.4. Les convertisseurs

➤ Définition

Les convertisseurs sont des appareils servant à transformer la tension continue fournie par les panneaux ou les batteries pour l'adapter à des récepteurs fonctionnant soit à une tension continue différente, à une tension alternative [12].

➤ Convertisseur DC/AC (Onduleur)

La fonction principale de l'onduleur est de transformer le courant continu, produit par le générateur solaire, en courant alternatif monophasé ou triphasé [12].

➤ Convertisseur DC-DC (Hacheur)

Les hacheurs sont des convertisseurs du type continu-continu permettant de contrôler la puissance électrique dans des circuits fonctionnant en courant continu avec une très grande souplesse et un rendement élevé. Le hacheur se compose de condensateurs, d'inductance et de commutateurs. Les trois configurations de base sont:

- Convertisseur survolteur (ou Boost).
- Convertisseur dévolteur (ou Buck).
- Convertisseur dévolteur- survolteur (Buck-Boost) [12].

I.7.4. Différents types de système photovoltaïque

Les trois genres de systèmes PV que l'on rencontre généralement sont les systèmes autonomes, hybrides et connectés à un réseau.

I.7.4.1. Les systèmes autonomes

Ce sont les systèmes les plus utilisées dans les cites isolés. Ils sont indépendants de réseau et dépendent uniquement de l'énergie solaire pour répondre à la demande d'électricité. Les systèmes PV autonomes sont installés là où ils constituent la source d'énergie électrique la plus économique. On peut classer ces systèmes en deux catégories :

➤ Systèmes avec accumulateurs

L'excédent de l'énergie produite est stocké dans des batteries. Le schéma synoptique de la figure (I.20), décrit ce système.

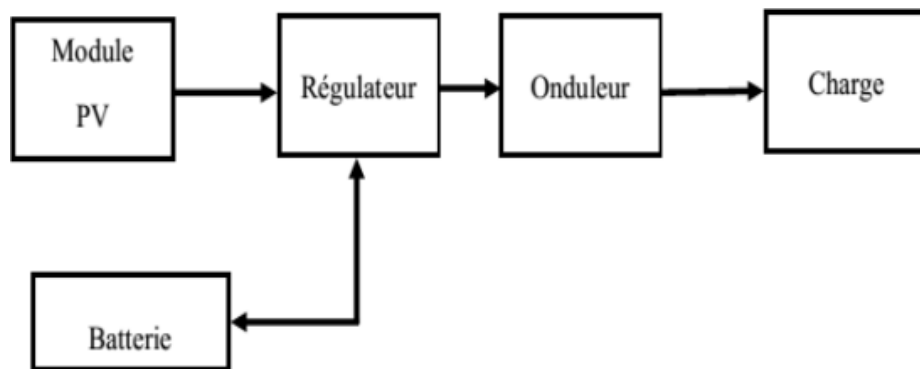


Figure I.20. Schéma synoptique d'un système PV autonome avec batterie [12].

➤ Système sans accumulateurs

Dans ces systèmes sans batterie, il y a possibilité d'avoir recours à une forme de stockage qui ne soit pas de nature électrochimique. Par exemples [[12].

- ✓ Pompage: stockage par réservoir d'eau.
- ✓ Réfrigération: stockage de froid (stockage de glace ou eutectique),
- ✓ Électrolyse de l'eau : stockage d'hydrogène.

I.7.4.2. Les systèmes hybrides

Les systèmes d'énergie hybride, figure (I.21), associent au moins deux sources d'énergie renouvelable aussi une ou plusieurs sources d'énergie classiques. Les sources d'énergie renouvelable, comme le photovoltaïque et l'éolienne ne délivrent pas une puissance constante, mais vu leurs complémentarités, leur association permet d'obtenir une production électrique continue. Les systèmes d'énergie hybrides sont généralement autonomes par rapport aux grands réseaux interconnectés et sont souvent utilisés dans les régions isolées. Les différentes sources dans un système hybride peuvent être connectées en deux configurations, architecture à bus continu et architecture à bus alternatif.

Dans la première configuration, la puissance fournie par chaque source est centralisée sur un bus continu. Ainsi, les systèmes de conversion d'énergie à courant alternatif (CA) fournissent d'abord leur puissance à un redresseur pour être convertie ensuite en courant continu (CC). Les générateurs sont connectés en série avec l'onduleur pour alimenter les charges alternatives. L'onduleur doit alimenter les charges alternatives à partir du bus continu et doit suivre la consigne fixée pour l'amplitude et la fréquence. La fonction spécifique du système de supervision est la commande de mise en marche et arrêt des générateurs et du système de stockage. L'avantage de cette topologie est la simplicité de commande. Dans la

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE SOLAIRE ET LES CENTRALES SOLAIRES

seconde configuration tous les composants du système hybride sont reliés à la charge alternative [12].

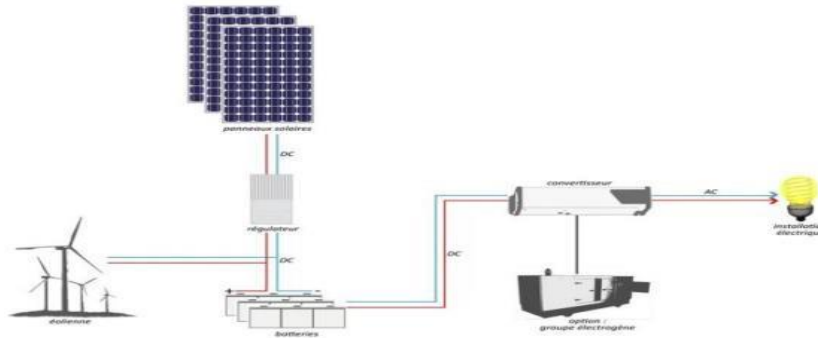


Figure I.21:Schéma synoptique d'un système hybride [12].

I.7.4.3. Les systèmes connectés au réseau

Ces systèmes photovoltaïques convertissent l'électricité en courant alternatif (CA) et transfèrent leur surplus d'électricité au réseau auprès duquel ils s'approvisionnent pendant la nuit ou lorsque le rayonnement solaire est insuffisant voir figure (I.22) [12].

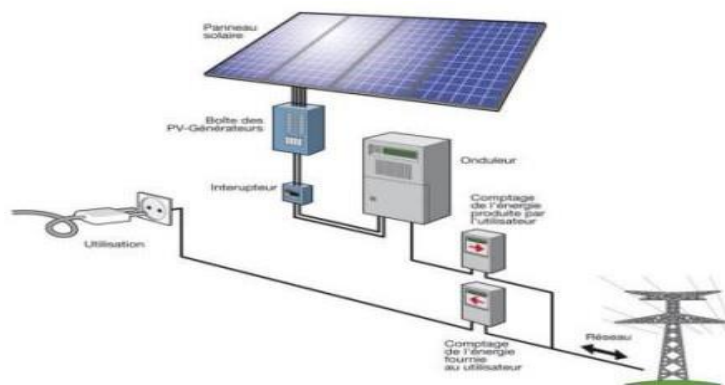


Figure.I.22: Schéma de système connecté au réseau [12].

Dans ces systèmes on compte :

➤ Systèmes photovoltaïques directement relié au réseau

Le système ne peut fournir ou prélever de l'énergie qu'au réseau. La batterie n'est plus présente. Le schéma du système photovoltaïque directement relié au réseau est donné par la figure (I.23) [12].

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE SOLAIRE ET LES CENTRALES SOLAIRES

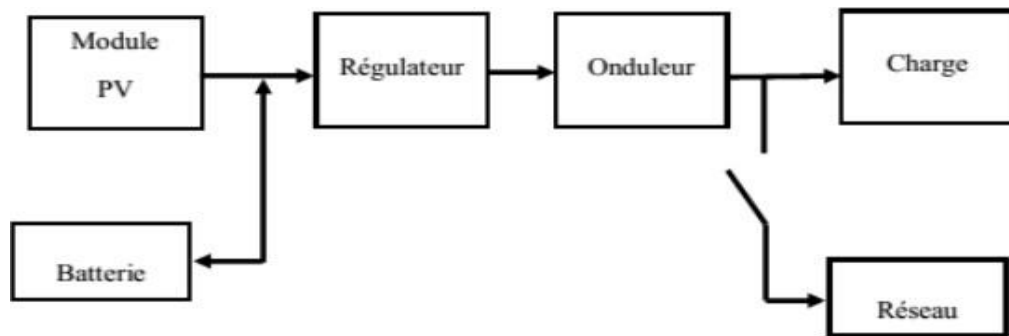


Figure.I.23: Système photovoltaïque directement relié au réseau [12].

L'absence des batteries est un point positif, car celle-ci augmente le coût de système photovoltaïque. En plus elle doit être entretenue et changée après quelque année.

➤ Systèmes photovoltaïques relié au réseau avec batterie

Le système peut fournir de l'énergie au réseau et prélever l'énergie d'appoint nécessaire au réseau. Le schéma de système photovoltaïque relié au réseau avec batterie est illustré sur la figure (I. 24)

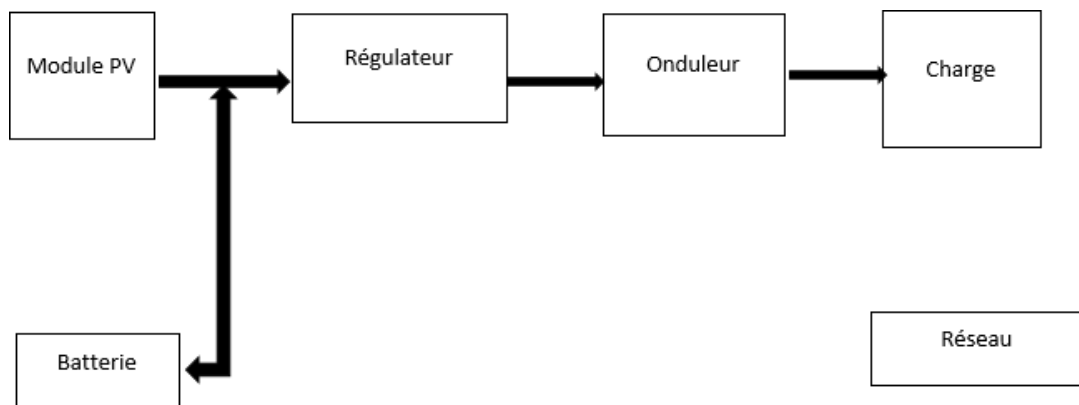


Figure I.24: Systèmes photovoltaïques relié au réseau avec batterie [12].

L'énergie est fournie par le module photovoltaïque à la charge, l'excédent est stocké dans les batteries, dans le cas de décharge ou de surcharge de la batterie, on utilisera le réseau pour prélever ou délivrer l'énergie [12].

I.7.5. Centrales à systèmes photovoltaïques

I.7.5.1. Centrales photovoltaïques en Algérie

Les centrales photovoltaïques en Algérie :

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE SOLAIRE ET LES CENTRALES SOLAIRES



Figure. I.25: les principales centrales photovoltaïques en Algérie [13].

I.7.5.2. Centrales photovoltaïques au monde

En 2016, près de 75 GW de panneaux photovoltaïques ont été installés dans le monde. Cela équivaut à l'installation de plus de 31 000 panneaux photovoltaïques par heure et représente une croissance de 48 % par rapport à 2015.

La puissance installée mondiale en matière de solaire photovoltaïque s'élève en 2016 à 303 GW.

Les principales centrales photovoltaïques au monde:

➤ Cebtralz de Zeeland (PAYS-BAS)

A Zeeland, aux Pays-Bas, TOTAL SOLAR a développé et construit **une centrale solaire de 12MW** pour alimenter directement la raffinerie sans utiliser le réseau électrique national. **La centrale solaire de ZEELAND produit aujourd'hui 12 GWh par an** [14].

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE SOLAIRE ET LES CENTRALES SOLAIRES

➤ Centrale de NANAŌ (JAPON)

À Nanao (Japon), plus de 80 000 panneaux solaires recouvrent une friche de 25 hectares et alimentent en électricité 9 000 foyers japonais [14].



Figure.I.26 : Centrale de NANAŌ (JAPON) [14].

➤ Centrale de PRIESKA (AFRIQUE DU SUD)

À Prieska (Afrique du Sud), le groupe Total, via sa filiale SunPower, a été choisi pour construire et exploiter l'une des plus grandes fermes photovoltaïques du continent. Depuis mars 2016, celle-ci alimente près de 75 000 foyers sud-africains en électricité propre et durable, participant à la diversification du mix énergétique d'un pays au fort potentiel solaire [14].



Figure.I.27 : Centrale de PRIESKA (AFRIQUE DU SUD) [14].

➤ Centrale de PV SALVADOR (CHILI)

En plein désert d'Atacama, Total a construit et exploite l'une des plus grandes centrales photovoltaïques marchandes au monde) [14].



Figure.I.28 : Centrale de PV SALVADOR (CHILI) [14].

I.8. Centrales solaires thermodynamiques

Une centrale solaire thermique (ou thermodynamique) transforme l'énergie lumineuse en chaleur, laquelle sert ensuite à produire de l'électricité. Les rayons solaires sont alors concentrés par des réflecteurs sur un liquide vecteur de chaleur, qui va s'évaporer puis se diriger sous forme de vapeur vers une turbine reliée à un alternateur. Il existe de multiples configurations possibles.

Un système solaire à concentration thermodynamique exploite le rayonnement du Soleil en orientant, au moyen de miroirs, les flux de photons. Ce système thermique concentré permet d'atteindre des niveaux de température bien supérieurs à ceux des systèmes thermiques classiques non concentrés.

I.8.1. Le fonctionnement des centrales solaires thermodynamiques

Une centrale solaire thermique (ou thermodynamique) transforme l'énergie lumineuse en chaleur, laquelle sert ensuite à produire de l'électricité. Les rayons solaires sont alors concentrés par des réflecteurs sur un liquide vecteur de chaleur, qui va s'évaporer puis se diriger sous forme de vapeur vers une turbine reliée à un alternateur. Il existe de multiples configurations possibles.

Un système solaire à concentration thermodynamique exploite le rayonnement du Soleil en orientant, au moyen de miroirs, les flux de photons. Ce système thermique concentré permet d'atteindre des niveaux de température bien supérieurs à ceux des systèmes thermiques classiques non concentrés.

I.8.2. Différents types de centrales solaires thermodynamiques

I.8.2.1. Centrales à collecteurs cylindro-paraboliques

La technologie des capteurs cylindro-paraboliques est actuellement la plus éprouvée des techniques de concentration solaire. De nombreuses installations ont déjà été testées et commercialisées, dont certaines dans les années 80. L'installation typique est constituée de trois éléments principaux : le champ solaire, le système de transfert de la chaleur et le système de génération électrique [15].

I.8.2.2. Centrales solaires à miroir de Fresnel

Un facteur de coût important dans la technologie des collecteurs cylindro-paraboliques est la mise à forme du verre pour obtenir la forme parabolique requise. Afin de diminuer ce coût, plusieurs groupes de recherche travaillent sur des prototypes de collecteurs de Fresnel à focalisation linéaire. L'idée est d'approximer la forme parabolique du collecteur par une succession de miroirs plans, comme indiqué sur la figure [15].

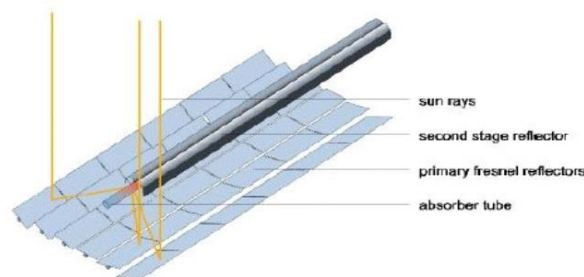


Figure.I.29 : Principe de fonctionnement des miroirs de Fresnel [15].

I.8.2.3. Centrales à tour solaire

Ce type de centrales est constitué de nombreux miroirs concentrant les rayons solaires vers une chaudière située au sommet d'une tour. L'avantage de la tour solaire par rapport aux capteurs cylindro-paraboliques est que les pertes à l'ambiance sont inférieures car la surface exposée est limitée [15].



Figure.I.30: Solar II central receiver plant in Barstow, California [15].

I.8.2.4. Centrales à capteur paraboliques ou Dish-Stirling

Les capteurs paraboliques fonctionnent d'une manière autonome. Ils suivent le soleil sur 2 axes afin de concentrer le rayonnement solaire sur le foyer de la parabole réfléchissante. Le rapport de concentration est souvent supérieur à 2000 avec une température de 750°C. De toutes les technologies solaires, les capteurs paraboliques ont démontré les meilleurs rendements solaire-électricité (29.4%) [15].



Figure.I.31: Capteur parabolique avec moteur stirling [15].

II.1. Introduction

L'étude du domaine gisement solaire [le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée] est d'une grande importance. Dans ce chapitre, nous étudions les paramètres géométriques et comment les calculer les équations de Coordonnées géographiques terrestres et de l'éclairement solaire. Nous utiliserons également le système Matlab pour dessiner des courbes liées au modèle capderou.

II.2. Paramètres géométriques

II.2.1. Coordonnées géographiques terrestres

Tout point de la surface terrestre est repérée par ses coordonnées géographiques : La longitude, la latitude, ainsi que par son altitude.

II.2.1.1. La latitude

La latitude est une coordonnée géographique représentée par une valeur angulaire, expression de la position d'un point sur Terre (ou sur une autre planète), au nord ou au sud de l'équateur (Figure II.1) qui est le plan de référence. Est une mesure angulaire, elle varie entre la valeur 0° à l'équateur et 90° aux pôles.

II.2.1.2. La longitude

La longitude est une coordonnée géographique représentée par une valeur angulaire, expression du positionnement est-ouest d'un point sur Terre (ou sur une autre planète). La longitude de référence sur Terre est le méridien de Greenwich

La longitude, généralement notée λ , est donc une mesure angulaire sur 360° par rapport à un méridien de référence, avec une étendue de -180° (180°) Ouest à $+180^\circ$ (-180°) Est.

II.2.1.3. L'altitude

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

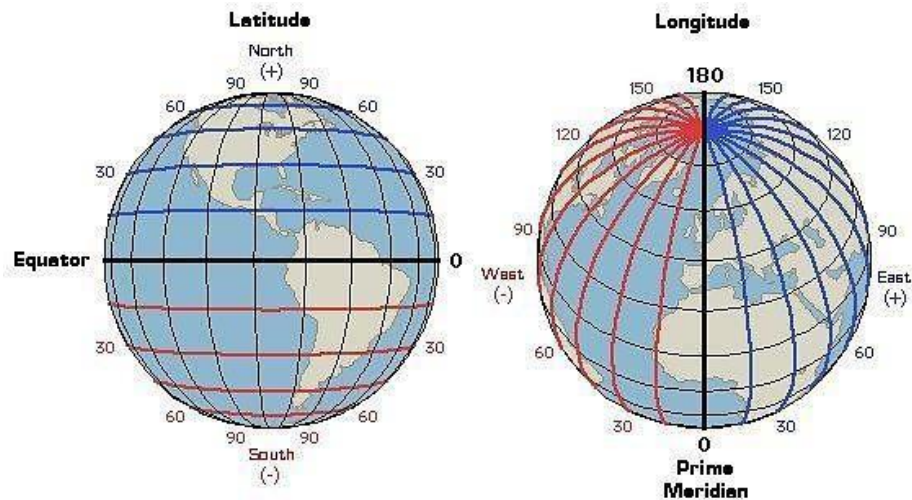


Figure II.1 : Les coordonnées terrestres.

II.2.2. Paramètres horaires

II.2.2.1. Temps solaire

L'énergie solaire reçue sur la terre varie selon le temps solaire vrai qui nous indique la position instantanée du soleil dans le ciel qui est reliée au temps local.

II.2.2.1.1. Temps solaire vrai

En astronomie on appelle temps solaire vrai TSV en un lieu et à un instant donné, l'angle horaire du soleil en ce lieu et à cet instant. C'est une notion qui traduit à la fois le mouvement dérogation de la terre et son mouvement de translation. Son introduction est naturelle, car il est lié à l'alternance des jours et de nuits. La variation de la durée du jour solaire vrai (intervalle séparant deux midi consécutifs) est comprise entre : 23h 59m 39s et 24h 00m 30s [10].

II.2.2.1.2. Equation du temps

La vitesse de la terre sur son orbite n'est pas constante au cours de l'année, la somme dès l'inégalité du temps solaire vrai TSV porte le nom de équation de temps ET avec:

$$ET = TSV - TSM, \text{ la Variation de l'équation du temps en fonction du jour}$$

$$ET = 9 \cdot 87 \cdot (2 \cdot N') - 7 \cdot 33(N') - 1 \cdot 5 \cdot \text{Sin}(N') \quad (\text{II.1})$$

Avec :

$$N = (360/365) \cdot (N - 81).$$

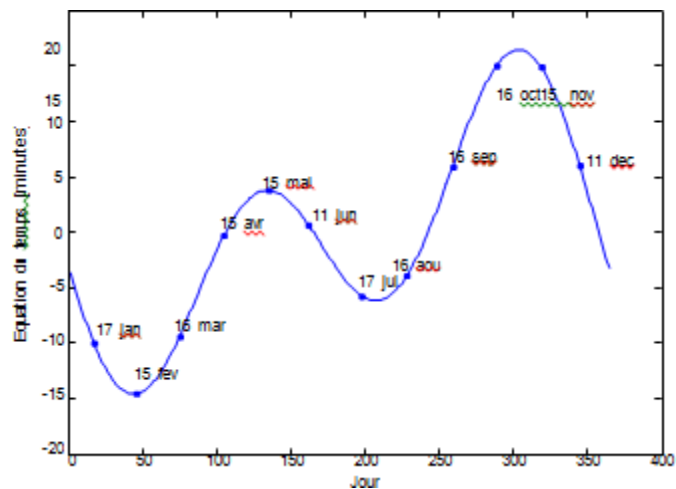


Figure II.2: Variation de l'équation du temps en fonction du jour.

II.2.2.1.3. Le temps universel

Le temps universel est égal au temps solaire moyen de la méridienne origine (Méridien de Greenwich). Il est exprimé ainsi :

$$TU = TSM + \frac{L}{15} \quad (\text{II.2})$$

Avec :

L : la longitude exprimée en degré et les temps en heure.

II.2.2.1.4. Temps légal

Le temps légal (ou local) est le temps officiel de l'Etat, il diffère par rapport au temps mondial de Greenwich par un décalage exprimé en heures.

$$TL = TU + C_1 + C_2 \quad (\text{II.3})$$

Ou : C1 est le décalage horaire par rapport au Greenwich, C2 correspond à l'heure d'été et d'hiver, s'il y a lieu.

II.2.2.2. La durée du jour

La durée du jour est donnée par la relation suivante :

$$d_j = (TSV) \frac{c}{c} (TSV) = 1.12 - \frac{\omega^2}{15} \quad (\text{II.4})$$

II.2.2.3. Angle horaire

L'angle horaire ω 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, l'angle horaire

CHAPITRE II : MODELISATION DE L'ECLAIREMENT SOLAIRE ET ETUDE ET REALISATION DU DISPOSITIF DE MESURE DE L'EFFET DE LA POUSSIERE

s'exprime parfois en heures. Au midi solaire on a $\omega = 0$, ensuite chaque heure correspond à une variation de 15° , car la terre effectue un tour complet sur elle-même en 24h. ω sera compté négativement le matin lorsque le soleil est vers l'est et positivement le soir. L'angle horaire est donné par l'équation suivante:

$$\omega = 0.261799 \cdot (t - 2) \quad (\text{II. 6})$$

Pour calculer l'angle horaire, Capderou ; dans l'Atlas Solaire de l'Algérie, a utilisé la formule suivante :

$$\omega = 15 \cdot (TSV - 12) \quad (\text{II. 7})$$

Le temps solaire vrai TSV est donné par l'équation suivante, avec DE est le décalage horaire, il est égale à 1 pour l'Algérie :

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

II.2.2.4. Déclinaison solaire

La déclinaison du soleil δ est l'angle que fait, la direction du soleil avec le plan équatorial de la terre, la déclinaison varie de $-23^\circ 27'$ au solstice d'hiver à $+23^\circ 27'$ au solstice d'été et elle est nulle aux équinoxes. La déclinaison solaire est bien représentée par la formule (II.9)

$$(\delta) = 0 \cdot 3978 \cdot [(N_p - 14 + 0 \cdot 03355) \cdot \text{Sin}(N_p - 0 \cdot 0489)] \quad (\text{II.8})$$

Avec :

$$N_p = 2\pi \cdot N / 365 \cdot 25$$

$$\sin(\delta) = 0.398 \text{Sin} \left[\frac{360}{365} (N - 82) + 2 \text{Sin} \left\{ \frac{360}{365} (N - 2) \right\} \right] \quad (\text{II.9})$$

N est le jour Julian variant de 1 du 1 Janvier à 365 (366) du 31 Décembre. La variation de la déclinaison en fonction du jour de l'année est décrite sur la (Figure II.3) :

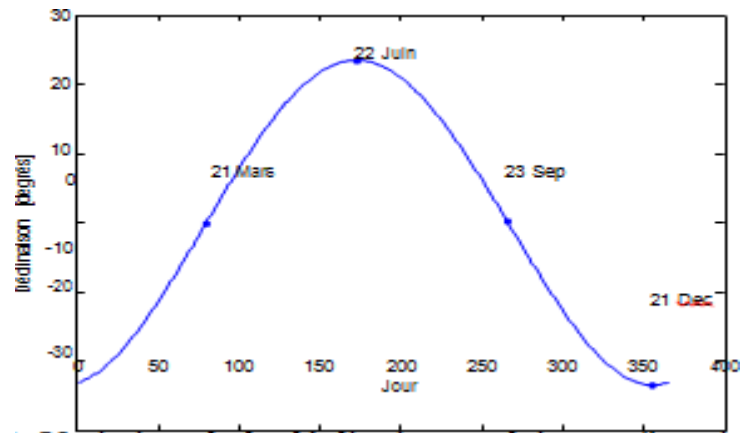


Figure II.3 : Variation de la déclinaison solaire en fonction du jour.

II.2.3. Paramètres de position

Dans les applications à énergies solaires, la connaissance des paramètres géométriques de la trajectoire du soleil est importante; vu à partir d'un point fixe de la terre (Figure II.4), la position du soleil est déterminée en fonction de deux angles donnés en radian: l'angle entre la direction du soleil et le plan horizontal du lieu (hauteur angulaire s) et l'angle entre le méridien du lieu et le plan vertical passant par le soleil (azimut φ). Le complément de s ou l'angle que fait la direction du soleil avec la verticale est appelée angle zénithal θ_z [16].

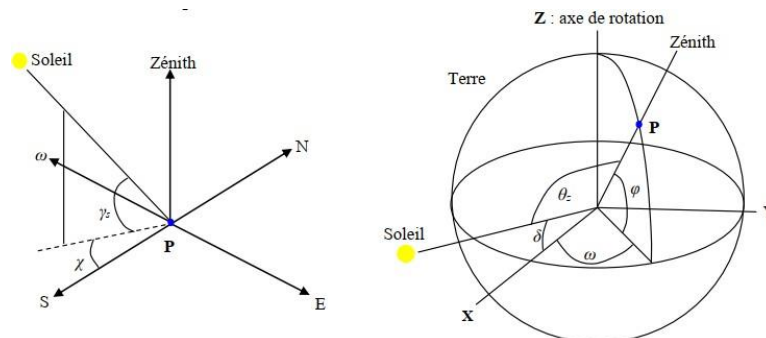


Figure II.4 : Position du soleil par rapport à un point fixe de la terre (hauteur et azimut du soleil).

II.2.3.1. Hauteur du soleil

La hauteur du soleil γ_s est l'angle que fait, le plan horizontal avec la direction du soleil, la valeur $\gamma_s=0$ correspond au lever et au coucher du soleil, quand $\gamma_s<0$ c'est la nuit et quand $\gamma_s>0$ c'est le jour sur terre, la hauteur du soleil varie entre $+90^\circ$ (zénith) et -90° (nadir). La

CHAPITRE II : MODELISATION DE L'ECLAIREMENT SOLAIRE ET ETUDE ET REALISATION DU DISPOSITIF DE MESURE DE L'EFFET DE LA POUSSIERE

hauteur du soleil est bien représentée par une formule bien connue, qui avait été également adoptée par Capderou :

$$(\gamma_s) = [\cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega)] + [\sin(\varphi) \cdot \sin(\sigma)] \quad (II.10)$$

La (Figure II.5) représente la variation de la hauteur γ_s à midi sur le site de Ghardaïa durant une année [16].

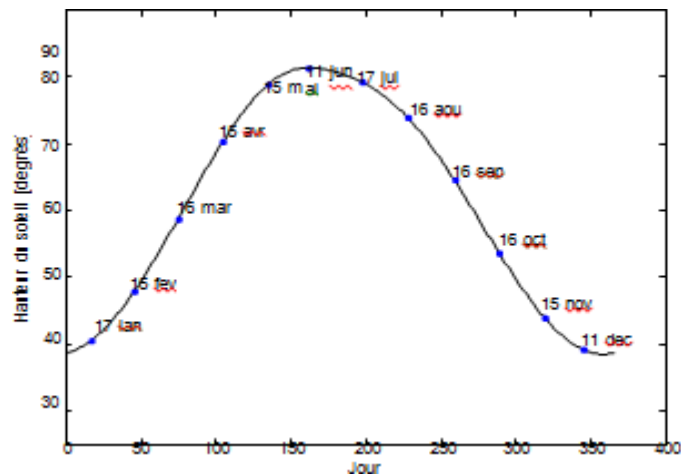


Figure II.5: Variation de la hauteur du soleil en fonction du jour [16].

II.2.3.2. Azimut du soleil

L'azimut du soleil X est l'angle que fait, sur le plan horizontal, la projection de la direction du soleil avec la direction du sud (Figure II.6). L'azimut est compté positivement vers l'Ouest $X > 0$

Et négativement vers l'Est $X < 0$, à midi $= 0$. L'azimut est compris entre $-180 < X < 180^\circ$. L'azimut du soleil est représenté en fonction de la déclinaison solaire δ , latitude du lieu φ , et de l'angle horaire ω de la manière suivante :

$$\cos X = \frac{\cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) - \cos(\varphi) \cdot \sin(\delta)}{[\cos(\delta) \cdot \sin(\omega)]^2 + [\sin(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) - \cos(\varphi) \cdot \sin(\delta)]^2} \quad (II.11)$$

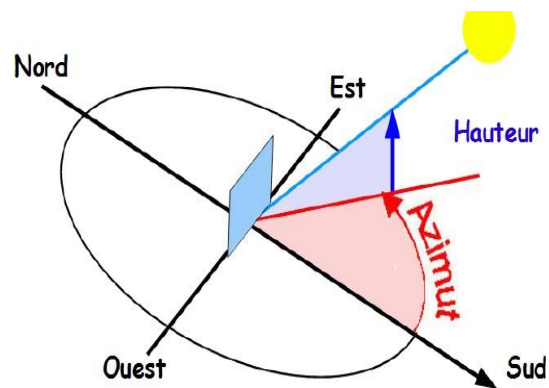


Figure II. 6 : l'azimut solaire et Hauteur du soleil.

Dans l'Atlas Solaire de l'Algérie, Capderou a utilisé la formule (II.12) pour calculer l'azimut du soleil qui donnerait le même résultat que l'équation (II.11) [16].

$$\cos(x) = \frac{\cos(\delta) \cdot \cos(\omega) - \cos(\delta) \cdot \cos(\varphi)}{\cos(\gamma_s)} \quad (\text{II.12})$$

La variation de l'azimut du soleil en fonction du temps pour les mois d'Avril, Juillet et Décembre sur le site de Ghardaïa est représentée sur la (Figure II.7)

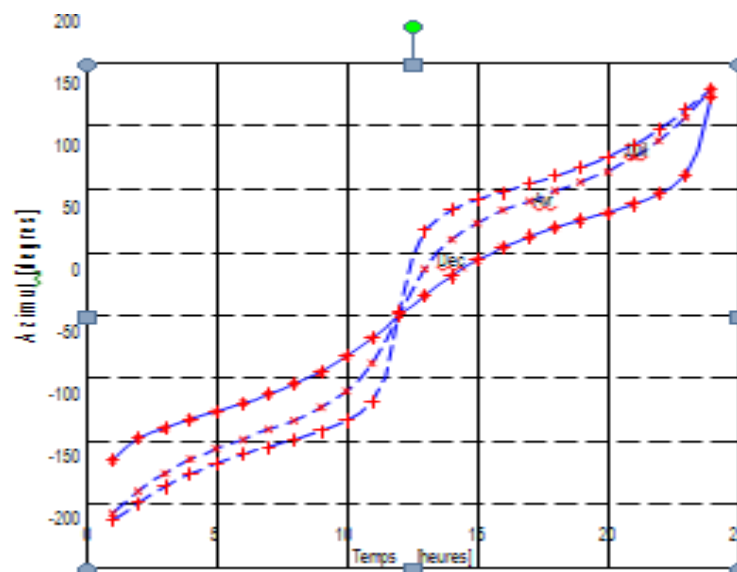


Figure II.7: Variation de l'azimut solaire en fonction du temps.

II.3. Paramètres de l'atmosphère

II.3.1. Masse atmosphérique

On appelle masse d'air m_A la masse d'atmosphère traversée par le rayonnement direct pour atteindre le sol (par ciel clair), par rapport à une traversée verticale au niveau de la mer. Plus le soleil est bas sur l'horizon, plus il va traverser une épaisseur importante d'atmosphère et plus il va subir des transformations. La masse atmosphérique relative est donnée par la relation, très simple représentée par la formule (II.13), [16] et sa variation de la masse d'air en fonction de la hauteur du soleil sur la figure II.8 :

$$m_A = 1 / \sin(\gamma_s)$$

Dans l'atlas Solaire de l'Algérie, Capderou a utilisé la formule (I.14)

$$m_A = \frac{1}{\sin(\gamma_s) + [9.40 \cdot 10^{-4} \cdot \{\sin(\gamma_s) + 0.0678\}^{-1.253}]} \quad (\text{II.14})$$

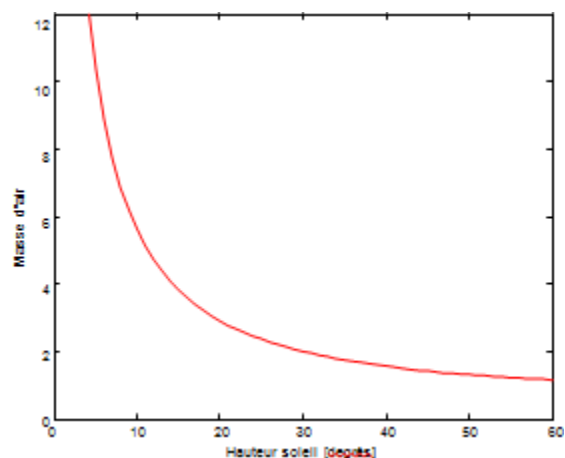


Figure II.8: Variation de la masse d'air en fonction de la hauteur du soleil.

II.3.2. Epaisseur optique de l'atmosphère

En 1922, Linke définit l'épaisseur optique de Rayleigh γ_R comme étant l'épaisseur optique totale d'une atmosphère sans nuages, vapeur d'eau et aérosols. Kasten, en 1980 [15] utilisa les données spectrales publiées par Feussner et Dubois en 1930 [16] et proposa la formule (II.15) pour γ_R , connue sous le nom de formule pyréliométrique de Kasten, où la diffusion moléculaire et l'absorption de la couche d'ozone stratosphérique sont prises en compte [5].

$$(\gamma_R)^{-1} = 9.4 + (0.9 \cdot m_A) \quad (\text{II.15})$$

CHAPITRE II : MODELISATION DE L'ECLAIREMENT SOLAIRE ET ETUDE ET REALISATION DU DISPOSITIF DE MESURE DE L'EFFET DE LA POUSSIERE

Dans cette formule utilisé depuis fort longtemps, l'absorption par les gaz atmosphériques permanents tels que : CO₂, O₂, NO₂ et le CO n'est prise en compte. Capderou dans l'Atlas Solaire de l'Algérie, 'ASA', utilisa la formule pyréliométrique de Kasten pour calculer le rayonnement direct incident sur un plan par ciel clair. En 1986, Louche [17] ajouta l'absorption par les constituants permanents de l'atmosphère et proposa un polynôme de 4^{ième} ordre pour la masse d'air [5].

$$(\gamma_R)^{-1} = 6.5567 + (1.7513 \cdot m_A) - (0.1202 \cdot m_A^2) + (0.0065 \cdot m_A^3) - (0.00013 \cdot m_A^4) \quad (\text{II.6})$$

La variation de l'azimut du soleil en fonction du temps pour les mois d'Avril, Juillet et Décembre sur le site de Ghardaïa est représentée sur la (Figure II.12) :

Louche démontra que la formule précédente conduit à des valeurs grandes par rapport à ceux données par la formule d'origine de Kasten et plus particulièrement pour les petites valeurs de la masse d'air. Récemment en 1996, Kasten a ajusté la formule de Louche et proposa une nouvelle expression pour γ_R [16].

$$(\gamma_R)^{-1} = 6.6296 + (1.7513 \cdot m_A) - (0.1202 \cdot m_A^2) + (0.0065 \cdot m_A^3) - (0.00013 \cdot m_A^4)$$

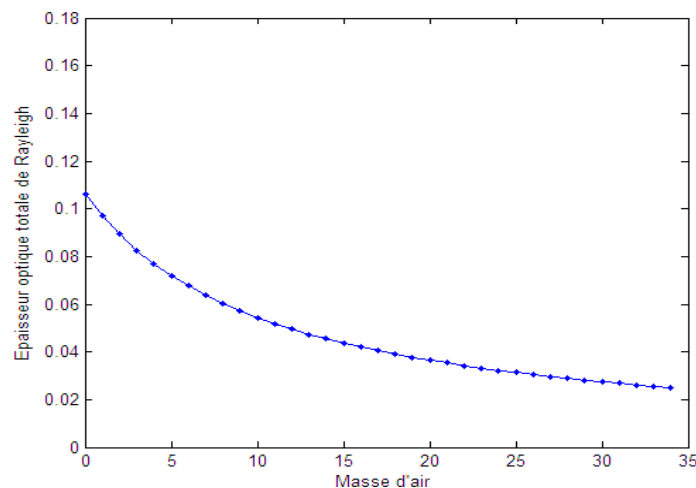


Figure II.9: Variation d'épaisseur optique en fonction de la masse d'air.

II.3.3. Influence de l'atmosphère sur le rayonnement solaire

L'éclairement solaire est atténué en traversant l'atmosphère terrestre par la diffusion des aérosols, les nuages et l'absorption par les différents composants atmosphériques, tel que : l'ozone, la vapeur d'eau, l'oxygène...etc., il est connu qu'en jour clair les aérosols sont la principale cause de l'extinction de l'irradiation solaire. Ces dernières années, la plupart des scientifiques et chercheurs ont prouvé que les activités humaines jouent un rôle très

CHAPITRE II : MODELISATION DE L'ECLAIREMENT SOLAIRE ET ETUDE ET REALISATION DU DISPOSITIF DE MESURE DE L'EFFET DE LA POUSSIERE

important dans l'augmentation des aérosols [β_0 , γ_0]. La quantité des aérosols dans l'atmosphère peut être représentée par les coefficients de troubles, la détermination des troubles atmosphérique à une grande importance dans la modélisation de l'éclairement solaire utilisé dans le dimensionnement et l'évaluation des performances des systèmes énergétiques solaires. En effet la plupart des modèles de calcul de l'éclairement solaire font appel à la détermination de ces facteurs tels que le facteur de Linke TL [γ_1].

En 1987 Capderou [γ] ; dans l'Atlas Solaire (ASA.), proposa un modèle pour calculer le Facteur de Linke en Algérie par ciel clair. Le coefficient de trouble atmosphérique total TL a été décomposé en trois facteurs de trouble auxiliaires : le trouble dû à l'absorption par la vapeur d'eau. T_0 , le trouble dû à la diffusion moléculaire de Rayleigh T_1 et le trouble relatif à la diffusion par les aérosols T_2 [17].

➤ Absorption par la vapeur d'eau

Le trouble dû à l'absorption par la vapeur d'eau T_0 donnée par la formule suivante :

$$T_0 = (2.4 - 9.4 \cdot \sin(\varphi)) + 0.1 (2 + \sin(\varphi)) - (2 + \sin(\varphi)) - (0.2 \cdot Z) - (1.22 + 0.14 \cdot A_{he}) (1 - \sin(\gamma_s)) \quad (\text{II.18})$$

Avec : Alt est l'altitude en km et A_{he} est l'alternance hiver été donnée par

$$A_{he} = \sin \left[\frac{360}{365} \cdot (N - 121) \right] \quad (\text{II.9})$$

➤ Absorption par les gaz et diffusion de Rayleigh

Le trouble dû à la diffusion moléculaire de Rayleigh T_1 :

$$T_1 = (0.89)^Z \quad (\text{II.20})$$

➤ Diffusion par les aérosols

Le trouble relatif à la diffusion par les aérosols T_2 , donnée par la formule suivante :

$$T_2 = [0.9 + (0.4 \cdot A_{he})] (0.63)^Z \quad (\text{II.21})$$

II.4. Modélisation de l'éclairement solaire utilisant le modèle Capderou

II.4.1. L'éclairement solaire hors atmosphère

En dehors de l'atmosphère l'éclairement solaire est d'intensité $I_0 = 1367 \text{ W/m}^2$. Une surface exposée au soleil ne peut recevoir cette valeur d'intensité que si elle est placée perpendiculairement à la direction de l'éclairement, n'importe quel écartement à cette orientation conduit à une réduction de l'éclairement incident. Dans le cas d'un plan horizontal situé en dehors de l'atmosphère, l'éclairement est décrit comme: éclairement solaire extraterrestre horizontal. L'éclairement solaire extraterrestre ; fonction de la constante solaire et de la correction de distance entre la terre et le soleil [18].

$$G_0 = I_0 \cdot \varepsilon \quad (\text{II.22})$$

$$\varepsilon = 1 + 0.03344 \cdot (N_p - 0.048869)$$

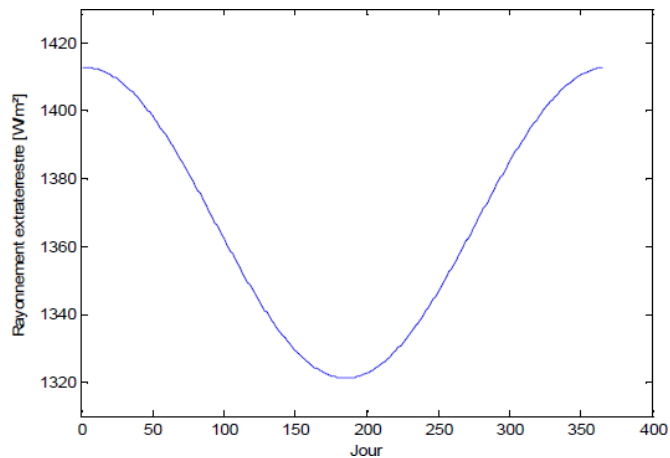


Figure II.10 : variation de l'éclairement solaire extraterrestre en fonction du jour.

II.4.2. Estimation de l'éclairement solaire incident sur un plan horizontal

II.4.2.1. Eclairement direct incident sur un plan horizontal

Pour le rayonnement direct, Capderou utilisa la formule (II.23) pour la masse d'air m_A et la formule (II.17) pour l'épaisseur totale de l'atmosphère δR et donna l'équation (II.18) qui permet de calculer le rayonnement direct incident sur un plan horizontal I_{Bh} fonction de la hauteur du soleil γ_s et du facteur de trouble total de Linke TL :

$$IB_h = G_0 \cdot (\gamma_s) \cdot \exp \left[T_L / \left\{ 0.9 + \frac{0.4}{(0.89)^{A_L}} \cdot (\gamma_s) \right\} \right] \quad (\text{II.23})$$

II.4.2.2. Eclairage diffus incident sur un plan horizontal

Pour calculer le rayonnement diffus ID_h , Capderou utilisa le facteur de trouble diffusif T_{Ld} et donna ; en 1987, une l'équation (I.25) fonction de la hauteur du soleil γ_s :

$$ID_h = G_0 \cdot \left[-1 + 1.06 \cdot \{ \sin(\gamma_s) \quad \} + a - \sqrt{b^2 + a^2} \right] \quad (\text{II.24})$$

Avec:

$$a = 1.1 \text{ et } b = (T_L) - 2.80 + 1.02 \cdot [1 - (\gamma_s)]^2$$

La figure II.13 représente les variations de l'éclairage direct, diffus et global un plan horizontal de site Ghardaïa dans un jour 1 janvier.

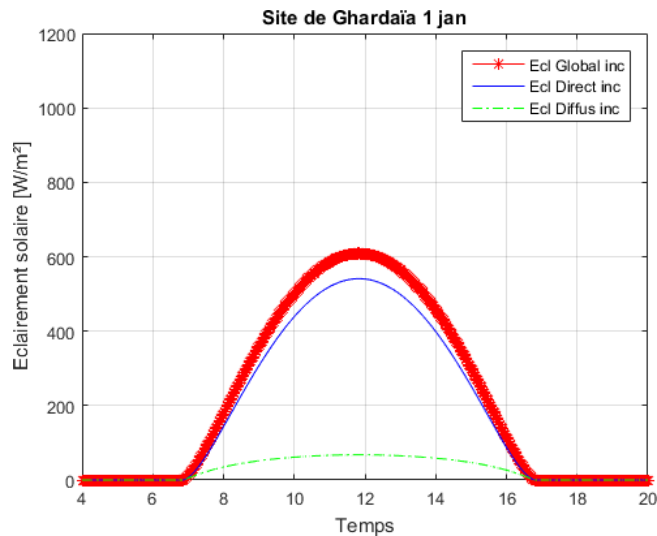


Figure II.11 : Variations de l'éclairage direct, diffus et global un plan horizontal.

II.4.3. Estimation de l'éclairage solaire incident sur un plan quelconque

II.4.3.1. Inclinaison et l'orientation d'un plan

Dans les applications solaires, le positionnement de la surface des dispositifs solaires (Capteur plan par exemple) est essentiel. Deux angles sont importants à la définition d'un plan quelconque :

➤ **L'inclinaison du plan (β)**

Correspond à l'angle que fait le plan du capteur avec l'horizontale (Figure II.12). Le calcul de l'angle d'inclinaison se fait en déduisant la déclinaison du soleil de la latitude géographique du lieu de l'emplacement du capteur. En général, il correspond à la latitude de l'emplacement plus

ou moins 10 à 15°. Il est recommandé d'employer un angle d'inclinaison plus élevé à la latitude de 10 à 15 degrés durant les mois d'hiver lorsque la trajectoire du soleil est basse dans le ciel (Position hivernale). Par contre, en été (position estivale), lorsque la trajectoire du soleil est plus haute dans le ciel, il faut employer un angle d'inclinaison moins élevé à la latitude de moins 10 à 15 degrés. Pour un captage annuel, l'angle d'inclinaison du capteur est fixe à la latitude de lieu

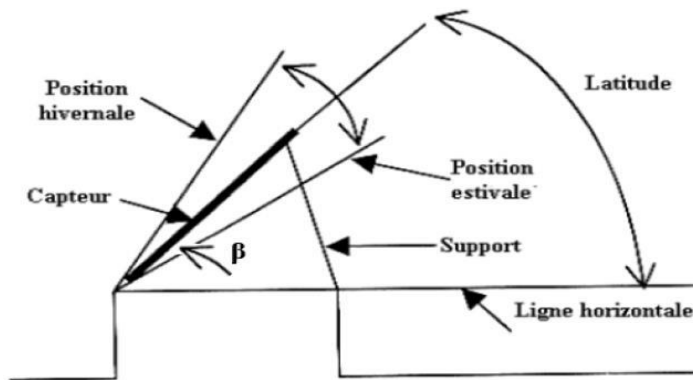


Figure II.12: Angle d'inclinaison d'un capteur solaire.

➤ **L'azimut du plan ou déviation azimutale (α)**

Il est défini par l'angle que fait la projection de la normale du plan sur le plan horizontal et la direction du sud (Figure II.13). Idéalement, les dispositifs solaires sont orientés plein sud ($\alpha = 0$) pour être exposés au maximum à la lumière solaire.

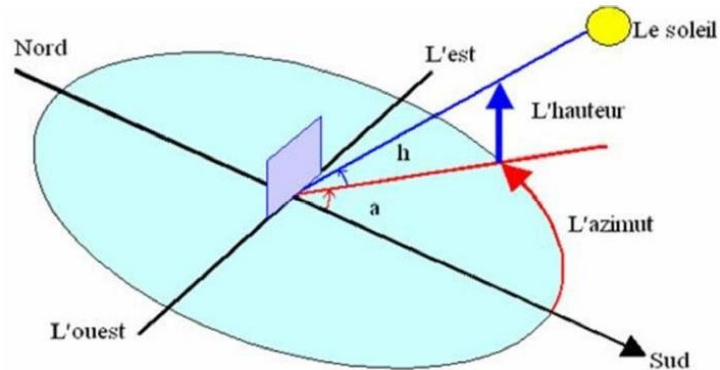


Figure II. 13 : Les angles caractérisant un capteur plan incliné.

II.4.3.1. Angle d'incidence sur un plan quelconque

L'angle d'incidence est l'angle que font les rayons du soleil avec la normale du plan considéré, elle est définie par l'inclinaison du plan β et l'Azimut de la normale du plan α_z (orientation du plan) [19], α_z est compté dans le sens rétrograde ($\alpha_z < 0$ vers l'Est, $\alpha_z > 0$ vers l'Ouest). M. Capderou utilise la hauteur de la normale du plan γ pour calculer $\cos(\delta_i)$ de l'angle d'incidence, γ est positive pour les plans tournés vers le haut et négative pour les plans tournés vers le bas, donc c'est les angles α_z et γ qui déterminent la position du plan. L'angle d'incidence sur un plan quelconque est donné par Capderou par les formules suivantes :

$$\cos(\delta^i) = a' \cdot \sin(\omega) + b' \cdot \cos(\omega) + c' \quad (\text{II.23})$$

Avec

$$a' = \cos(\delta) \cdot [\sin(\alpha_z) \cdot \cos(\gamma)]$$

$$b' = \cos(\delta) \cdot [\cos(\alpha_z) \cdot \cos(\gamma) \cdot \sin(\varphi) + \sin(\gamma) \cdot \cos(\varphi)]$$

$$c' = \sin(\delta) [-\cos(\alpha_z) \cdot \cos(\gamma) \cdot \cos(\varphi) + \sin(\gamma) \cdot \sin(\varphi)]$$

Où $\beta = 90 - \gamma$

II.4.3.3. Eclairage direct incident sur un plan quelconque

Capderou utilise l'angle d'incidence donnée par l'équation (II.23) pour calculer l'éclairage direct à l'aide de l'équation suivante

$$IB_i = IN \cdot (\gamma^{inc}) \quad (\text{II.24}) \text{ Avec}$$

$$IN = G_0 \cdot \exp \left[\frac{T}{l} \left\{ 0.94 + \frac{9.4}{(0.89)^{Alt}} \cdot \sin(\gamma_s) \right\} \right]$$

II.4.3.4. Eclairage diffus incident sur un plan quelconque

L'éclairage diffus est lui-même décomposé en deux parties

L'éclairage diffus provenant du ciel et l'éclairage diffus provenant du sol :

$$ID_h = G_0 \cdot [-1 + 1.06 \cdot \{ \sin(\gamma_s) + a - \sqrt{b^2 + a^2} \}] \quad (\text{II.25}) \text{ Avec}$$

$$a = 1.1$$

$$b = (T_l) - 2.80 + 1.02 \cdot [1 - (\gamma_s)]$$

II.5. Discussion et validation des résultats

II.5.1. Comparaison entre valeurs du rayonnement solaire pour deux régions de l'Algérie

La figure II.14 représente un exemple de variation du rayonnement solaire en fonction de temps au solstice d'été pour les deux sites Ghardaïa et Tamanrasset. On peut remarquer que le rayonnement global est supérieur au rayonnement direct normal pour les deux sites. On remarque également que le rayonnement direct est supérieur au site de Tamanrasset par rapport au site de Ghardaïa, ceci est justifié par le fait que le site de Tamanrasset possède un ciel clair (moins déturbé) par rapport aux autres sites de l'Algérie

CHAPITRE II : MODELISATION DE L'ECLAIREMENT SOLAIRE ET ETUDE ET REALISATION DU DISPOSITIF DE MESURE DE L'EFFET DE LA POUSSIERE

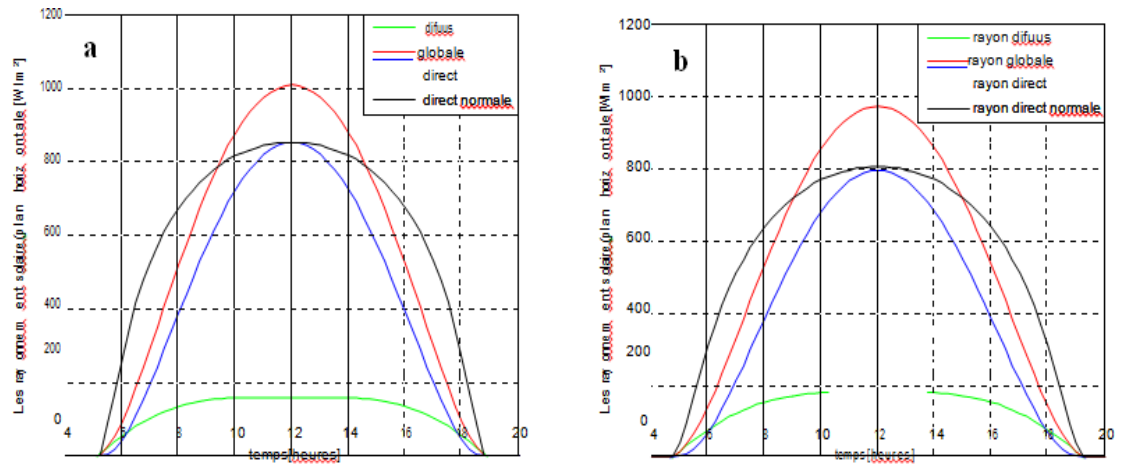


Figure II.14: Variations des valeurs du rayonnement solaire en fonction de temps au solstice d'été (21 Juin): (a) site de Tamanrasset; (b) site de Ghardaïa.

II.5.2. Validation et discussion des résultats

Pour obtenir une validation du rayonnement solaire, nous allons confronter quelques valeurs du rayonnement solaire délivrées par la programmation du modèle Capderou et les valeurs mesurées sur le site de Ghardaïa. Deux dates sont retenues pour être présentées, une période hivernale du 11 Décembre pour le jour le plus court de l'année et une autre estivale correspondante au 30 Juin pour le jour le plus long de l'année. On présentera sur les figures suivantes (Figure II.17 - II.18), des graphes comparatifs relatifs aux résultats du rayonnement solaire, pour une journée hivernale et estivale :

Jour d'été avec $(\alpha, \beta) = (0, 0)$: Global horizontal (IGh) et Direct horizontal (IBh)

CHAPITRE II : MODELISATION DE L'ECLAIREMENT SOLAIRE ET ETUDE ET REALISATION DU DISPOSITIF DE MESURE DE L'EFFET DE LA POUSSIERE

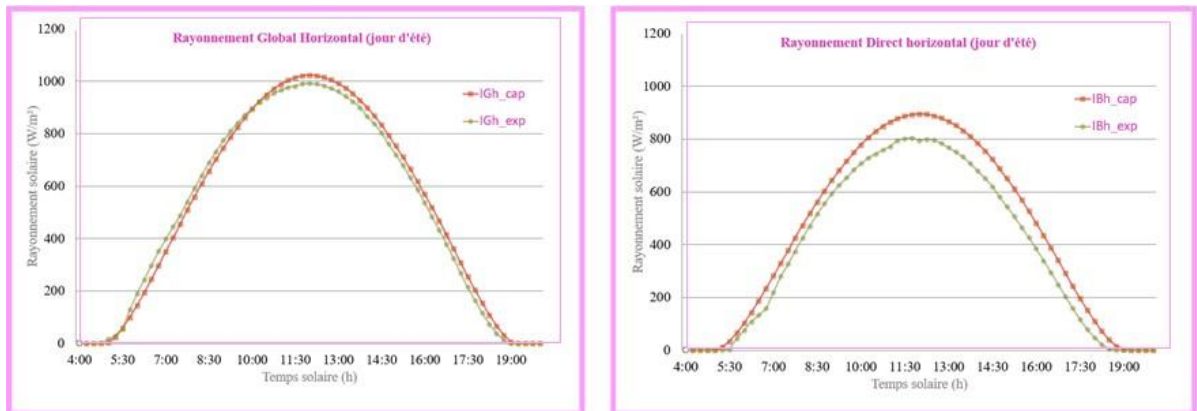


Figure II.15: Comparaison des résultats obtenus par le modèle avec les données expérimentales pour le rayonnement global et direct horizontal pour un jour clair d'été.

Jour d'hiver avec $(\alpha, \beta) = (0, 0)$: Global horizontal (IGh) et Direct horizontal (IBh)

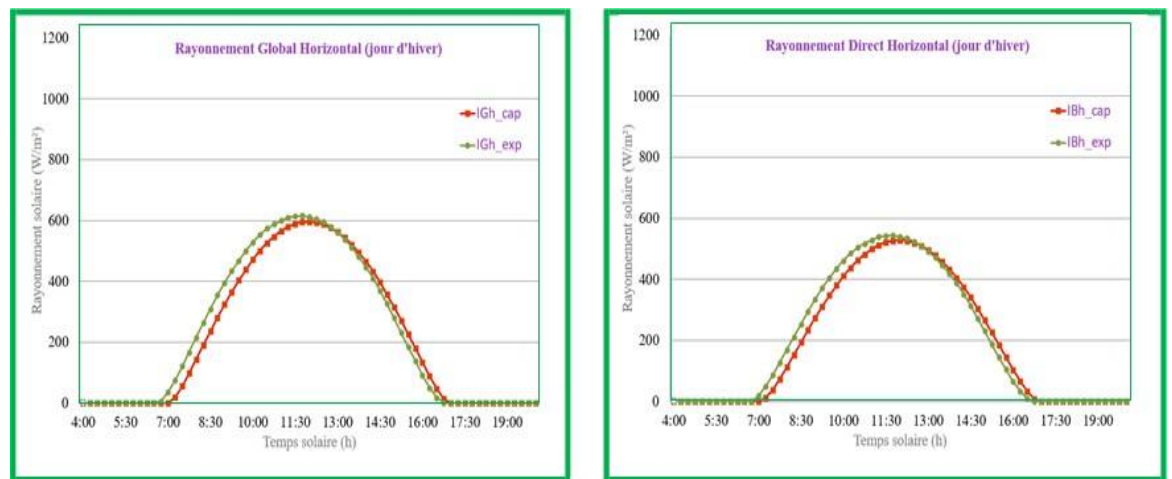


Figure II.16: Comparaison des résultats obtenus par le modèle avec les données expérimentales pour le rayonnement global et direct horizontal pour un jour clair d'hiver.

Pour une période estivale (Figure II.15), on remarquera que le modèle Capderou sur estime la composante directe horizontale et le rayonnement global avec une petite erreur. Par ailleurs, en période hivernale (Figures II.16), le modèle Capderou présente un bon rapprochement de valeurs mesurées. Le traitement des graphes des figures (II.15-II.16) montre que d'une manière générale,

CHAPITRE II : MODELISATION DE L'ECLAIREMENT SOLAIRE ET ETUDE ET REALISATION DU DISPOSITIF DE MESURE DE L'EFFET DE LA POUSSIERE

on peut dire que le modèle de Capderou donne une bonne estimation du rayonnement solaire pour la période hivernale par rapport à la période estivale pour le site de Ghardaïa.

II.6. Nécessité de nettoyage des centrales solaires

D'une manière générale, les méthodes de nettoyage de la surface des modules photovoltaïques n'ont pas été au centre de l'attention des chercheurs. Ce manque d'attention peut résulter de l'idée que la quantité de pluie dans la région où le système PV est installé, est suffisante pour nettoyer la surface des modules PV. Les méthodes de nettoyage des modules PV peuvent être classées comme suit :

- Nettoyage par la pluie: Cette méthode de nettoyage est très volatile et dépend de la pluviométrie du site.
- Nettoyage par une machine mobile: Cette méthode utilise des machines (Figure II.29) pour effectuer le nettoyage et un stockage pour l'approvisionnement en eau ou un système d'arrosage est l'une des meilleures façons de nettoyer la surface des modules PV [24].



Figure II.17: Machine mobile pour le nettoyage.

CHAPITRE II : MODELISATION DE L'ECLAIREMENT SOLAIRE ET ETUDE ET REALISATION DU DISPOSITIF DE MESURE DE L'EFFET DE LA POUSSIÈRE

II.10. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons parlons sur le gisement solaire et l'éclairement solaire et Comparaison entre deux région, la nécessité de nettoyage des centrales solaires.

III.1. Introduction

La poussière a une influence directe sur le rendement électrique d'un générateur photovoltaïque, la mesure de cette chute de rendement exige la réalisation d'un dispositif dédié à cet effet.

Dans ce chapitre nous allons donner un aperçu sur les différentes étapes de réalisation du dispositif de mesure de l'effet de poussière sur les modules photovoltaïque. Des tests ont été élaborés afin de prouver l'efficacité de notre dispositif, les tests préliminaires basés sur dispersion de différente quantité de sable sur le module photovoltaïque afin d'avoir une idée sur le rendement de ce dernier en comparant avec le module propre.

III.2. La carte Arduino

III.2.1. Présentation de la carte Arduino Uno

Le système Arduino est une carte électronique basée autour d'un microcontrôleur et de composants minimum pour réaliser des fonctions plus ou moins évoluées. Elle possède une interface USB pour la programmer. C'est une plateforme open-source qui est basée sur une simple carte à microcontrôleur (de la famille AVR), et un logiciel, véritable environnement de développement intégré, pour écrire, compiler et transférer le programme vers la carte à microcontrôleur.

Arduino peut être utilisé pour développer des applications matérielles industrielles légères ou des objets interactifs, et peut recevoir en entrées une très grande variété de capteurs. Arduino peut aussi contrôler une grande variété d'actionneurs (lumières, moteurs ou toutes autres sorties matériels). Les projets Arduino peuvent être autonomes, ou communiquer avec des logiciels sur un ordinateur. Figure III.1.



Figure.III.1:La carte Arduino Uno.

III.3. Etude et réalisation du dispositif de mesure de l'effet de la poussière

III.3.1. Programme de la carte Arduino

Utilisant l'environnement de programmation des Arduino IDE ARDUINO nous avons développé un programme du système réalisé. Le programme commence par l'initialisation de tous les paramètres, après il commence par la lecture de la tension des deux modules photovoltaïques branchés sur les capteurs analogiques A0 et A1, après la carte calcul le taux de différence de tension entre les deux modules, les valeurs mesurées et calculée vont être affichée sur l'afficheur OLE. Figure.III.2.

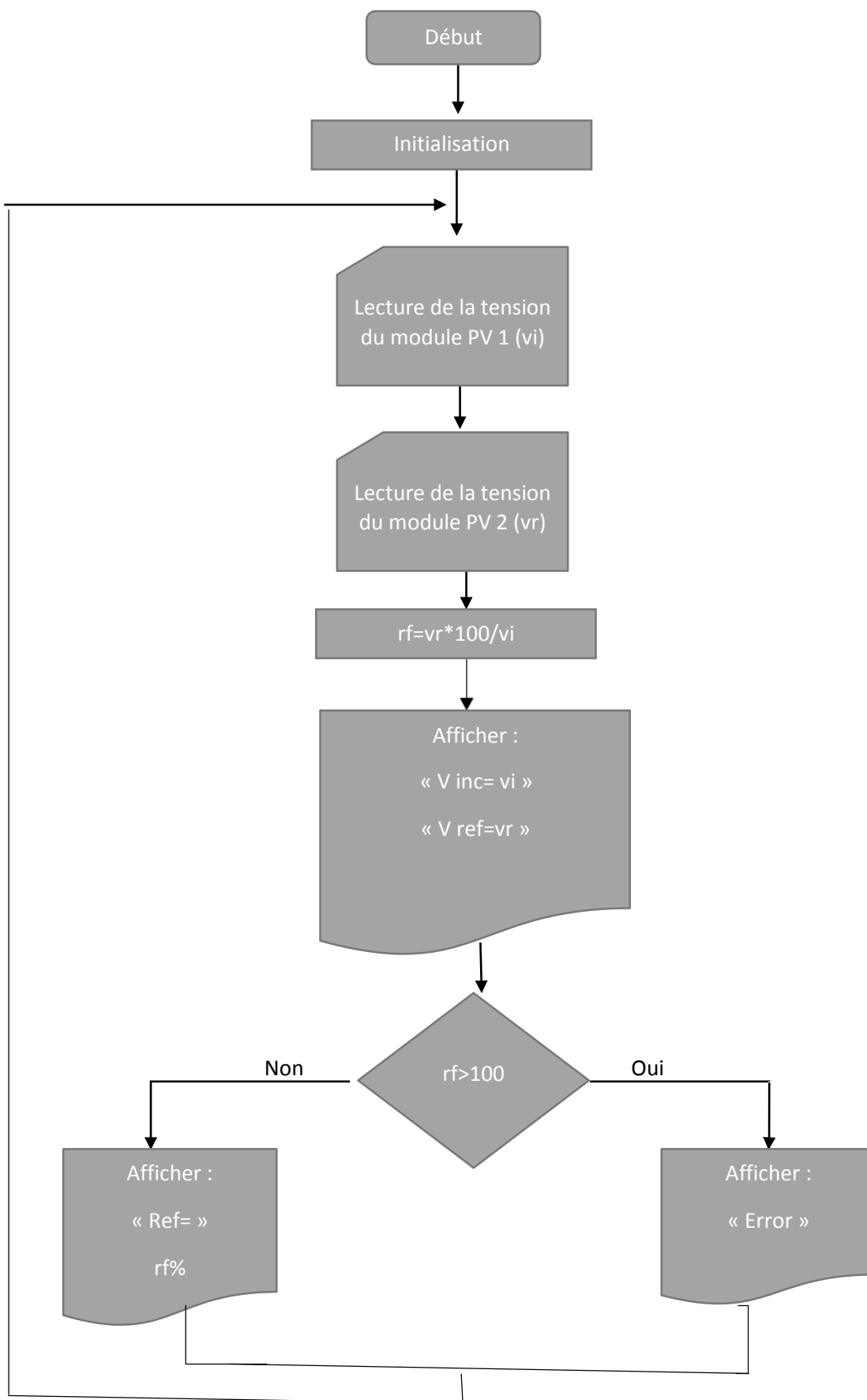


Figure.III.2. Organigramme du programme du dispositif.

III.4. Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement du dispositif de mesure est d'utiliser deux modules photovoltaïques identiques, un module laissé exposé aux effets climatiques et un autre toujours propre, les deux modules sont liés à une carte électronique à base d'Arduino, elle mesure la tension générée par les deux modules photovoltaïques Figure.III.5. La différence entre les deux tensions est exprimée en pourcentage de chute de rendement due à la poussière sur l'un des deux modules. Ce paramètre peut nous donner un aperçu sur la qualité de climat de la région qui est très utile pour le choix de site et le dimensionnement, un autre paramètre est très important c'est l'estimation des frais des opérations de nettoyage.

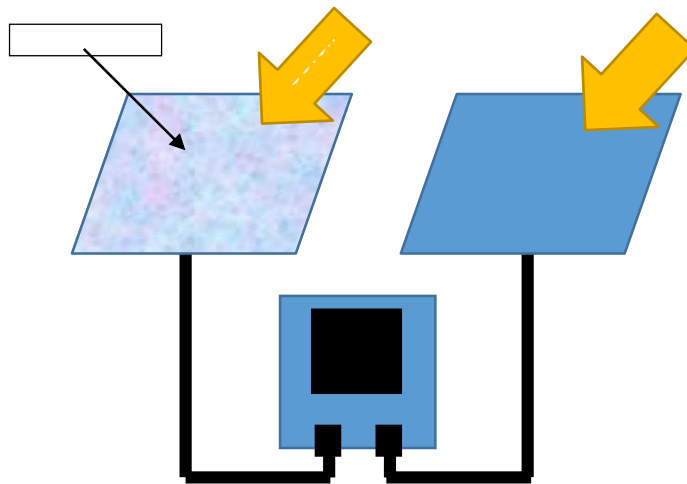


Figure.III.3: Principe de fonctionnement.

III.5. Composants électroniques

La carte électronique réalisée est composée d'une carte Arduino UNO, un afficheur OLED de type ST7789 TFT et des résistances pour un shunt de pour les deux modules et l'adaptation du signal de l'afficheur car notre afficheur fonctionne en 3.3V et la carte Arduino fonctionne en 5V. Voir figure.III.4.

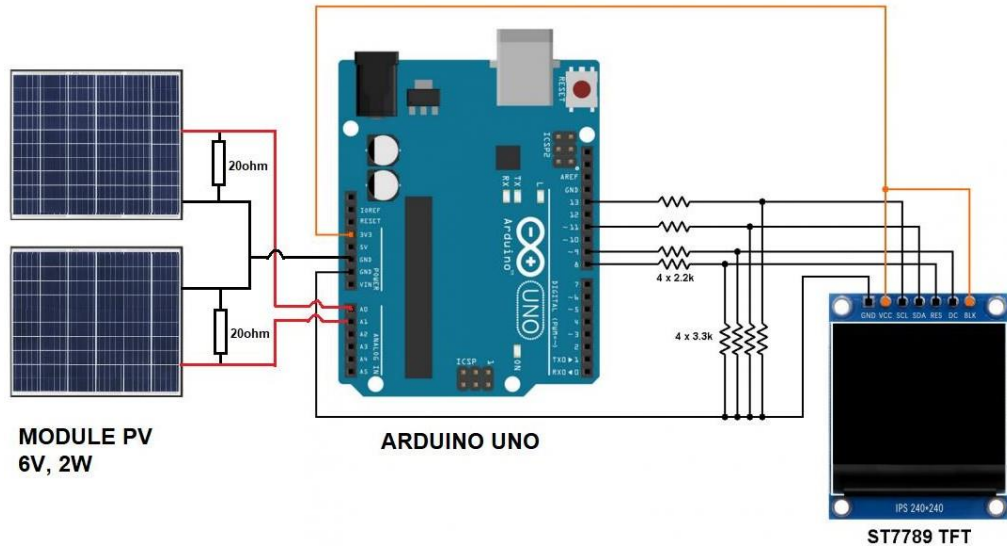


Figure.III.4 : Schéma électronique du dispositif

III.6. Partie expérimentale du dispositif de mesure

III.6.1. Réalisation du dispositif

Basons sur le schéma de la figure.III.4, dans une carte perforée nous avons montés tous les composants électrique (résistance, afficheur et les fiches des deux module photovoltaïque), nous avons assuré la connexion de la carte réalisée et la carte Arduino par des câbles jumpers. Figure.III.5. Des résistances de protection ont été ajouter pour le bon fonctionnement de dispositif de mesure réalisée.

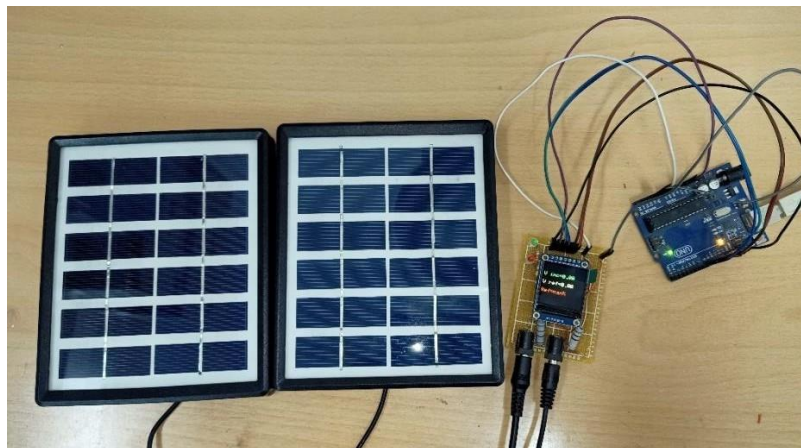


Figure.III.5. Photos Globale du dispositif réalisé.

III.6.2. Afficheur OLED

III.6.2.1. Présentation de L'afficheur OLED

Cet écran graphique est très petit avec une diagonale de 0,96", mais il est très lisible grâce à la technologie OLED disposant d'un contraste exceptionnel. L'écran est utile pour visualiser des signaux. [34]



Figure.III.6: Afficheur OLED couleur. ST7789. TFT.

III.7. Tests et discussion

Afin d'avoir une idée sur le fonctionnement de notre dispositif réalisé ainsi que l'effet du sable sur le rendement des modules photovoltaïques, nous avons réalisés quelques tests en dispersant des quantités définies de sable sur le deuxième module photovoltaïque de notre dispositif une balance numérique est utilisée Figure.III.7.

Nous avons commencé par une faible quantité de sable (5 g) on a remarqué une petite différence entre les deux modules voir figure.III.8.

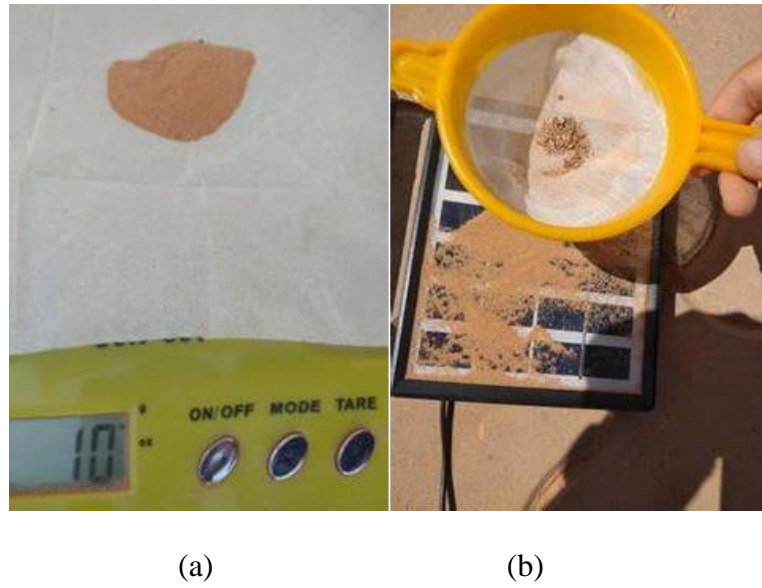


Figure.III.7. la mesure de quantité de sable par exemple (10 g)

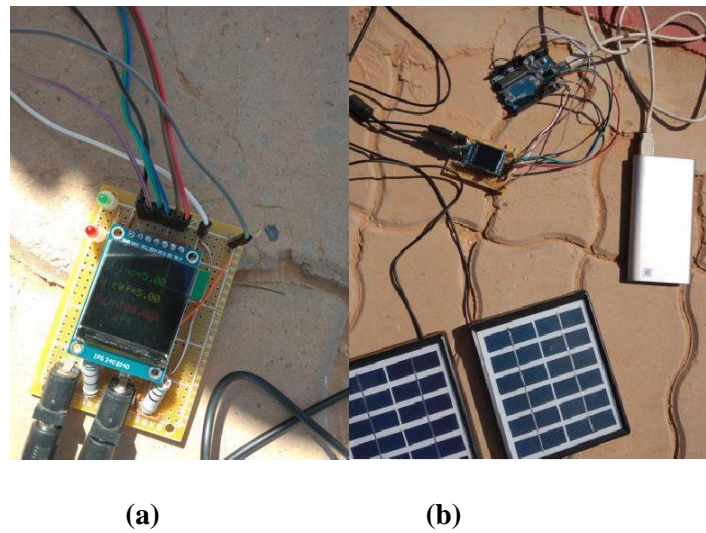


Figure.III.8. Tests réalisés sur le dispositif réalisé.

Pour une quantité de 10g la tension délivrée par le module chute considérablement c'est à cause du sable qui couvre la totalité du module voir figure.III.9.

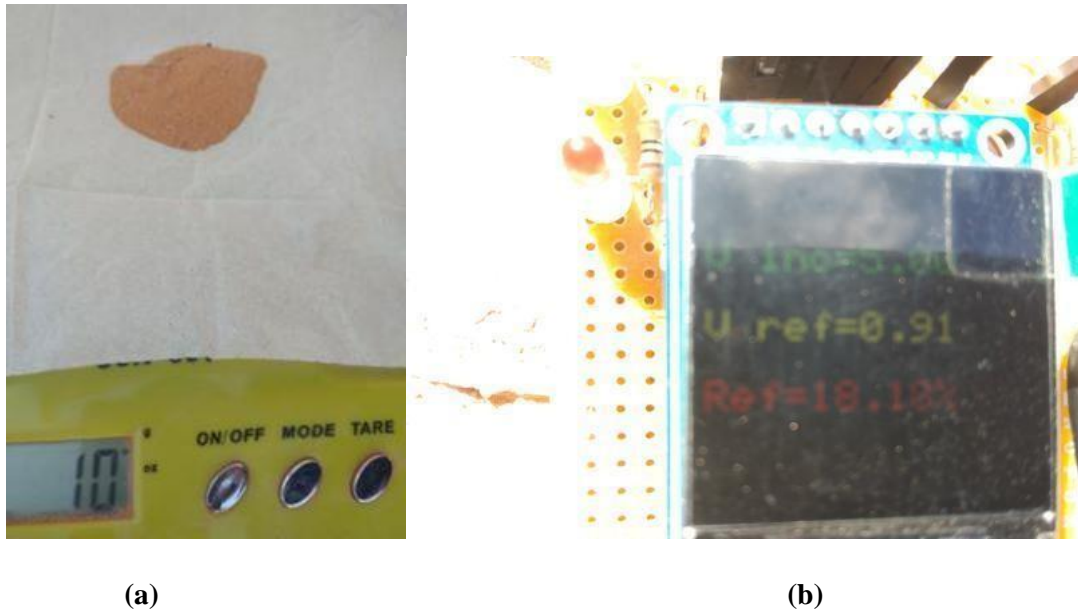


Figure.III.9: Tests réalisés sur le dispositif réalisé pour une quantité de sable de 10g.

La même chose pour les autres quantités de sable car une fois le module est complètement couvert l'ajout de sable n'influe pas sur la tension délivrée.

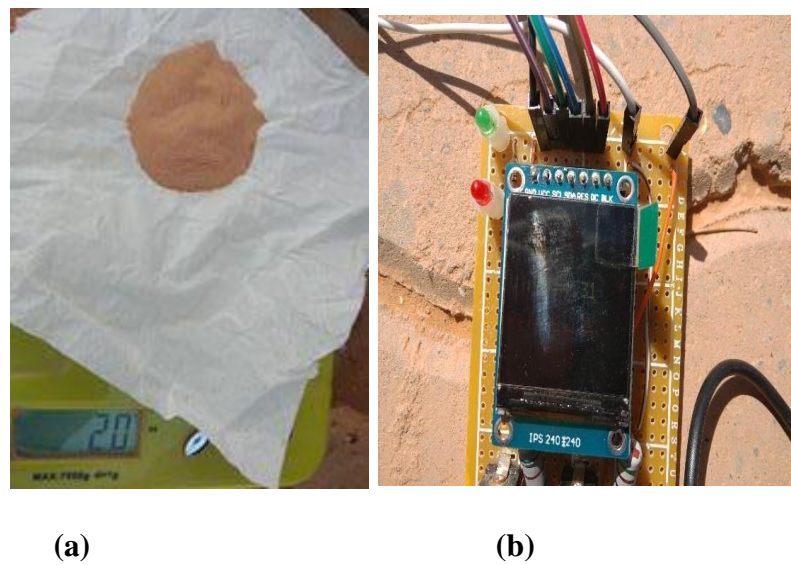
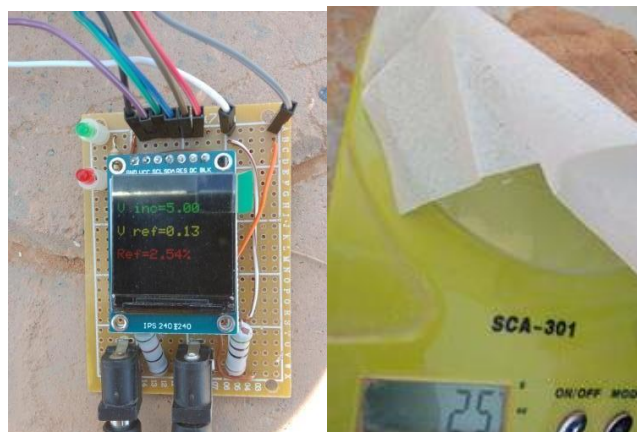


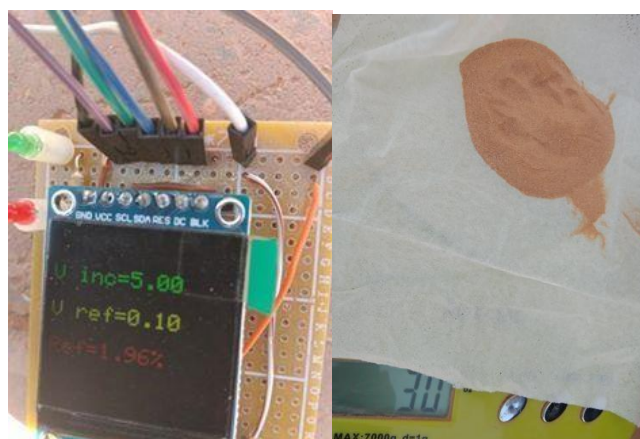
Figure.III.10. Tests réalisés sur le dispositif réalisé pour une quantité de sable de 20g.



(b)

(a)

Figure.III.11. Tests réalisés sur le dispositif réalisé pour une quantité de sable de 25g.



(b)

(a)

Figure.III.12. Tests réalisés sur le dispositif réalisé pour une quantité de sable de 30g.

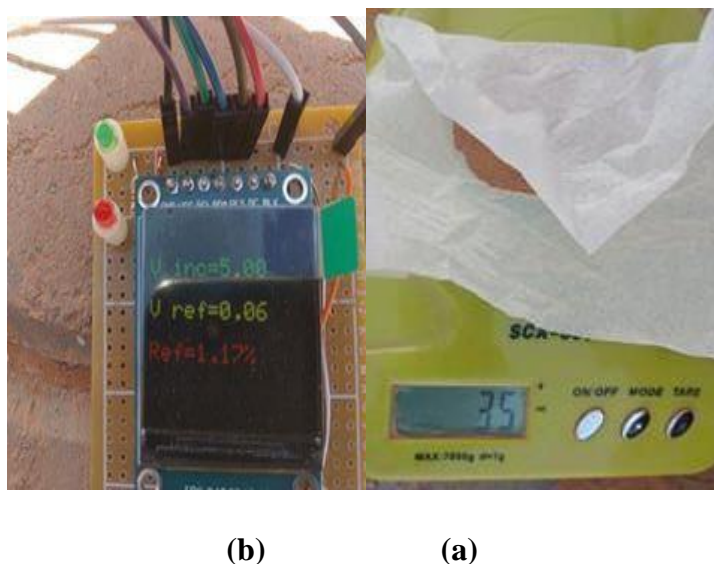


Figure.III.13. Tests réalisés sur le dispositif réalisé pour une quantité de sable de 35g.

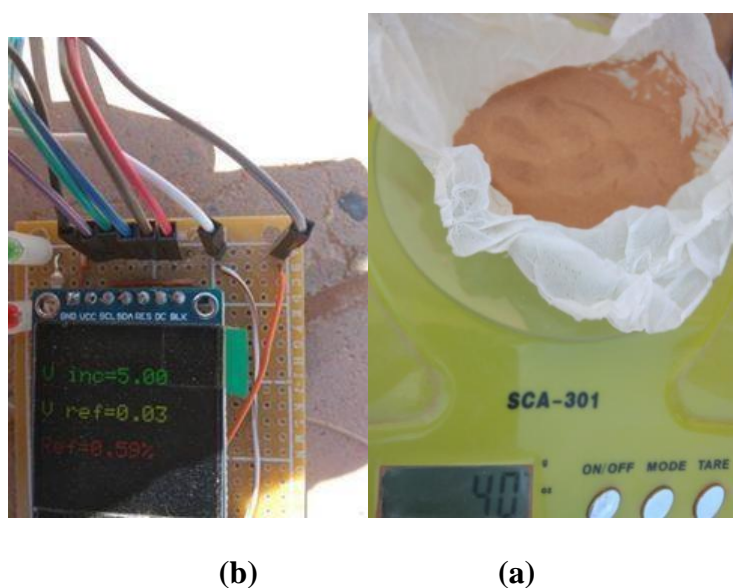
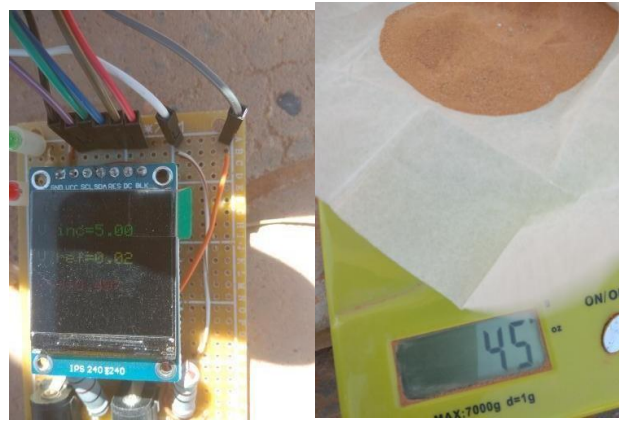


Figure.III.14. Tests réalisés sur le dispositif réalisé pour une quantité de sable de 40g.



(b)

(a)

Figure.III.15. Tests réalisés sur le dispositif réalisé pour une quantité de sable de 45g.



(b)

(a)

Figure.III.16. Tests réalisés sur le dispositif réalisé pour une quantité de sable de 50g.

Tableau.III.1. Résultats des tests réalisés sur le dispositif réalisé.

Quantité de Sable (g)	V ini (V)	V ref (V)	Rendement(%)
5	5	4,27	85,34
10	5	0,91	18,18
15	5	0,80	15,93
20	5	0,26	5,47
25	5	0,13	2,54
30	5	0,10	1,96
35	5	0,06	1,17
40	5	0,03	0,59
45	5	0,02	0,49
50	5	0,01	0,29

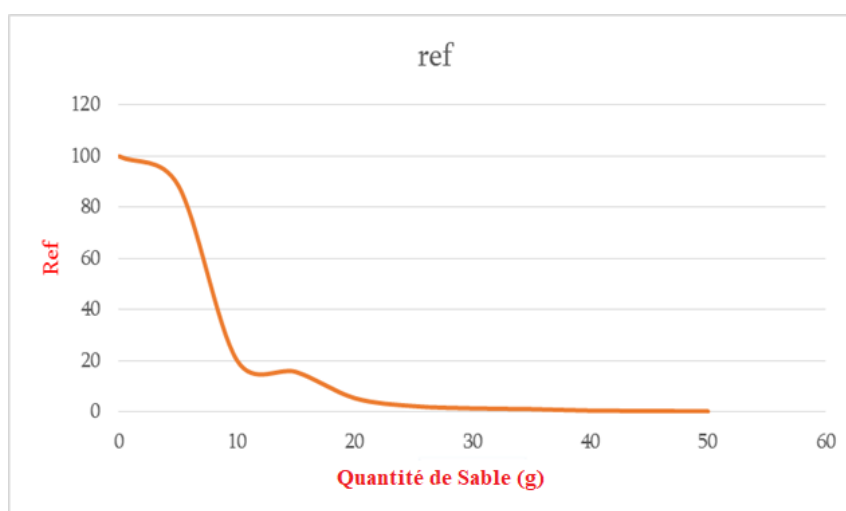


Figure.III.17. Organigramme du programme du dispositif réalisé.

III.9. Conclusion

Utilisant la carte Arduino Uno et deux modules nous avons réalisé un dispositif de mesure de l'effet de la poussière sur le rendement électrique d'un module photovoltaïque. Après la réalisation du système des tests ont été réalisés afin de valider le fonctionnement. Utilisant une balance numérique nous avons dispersée des quantités de sable sur le module photovoltaïque. Les résultats ont montré une chute considérable de tension liée à la quantité du sable.

CONCLUSION GENERAL

L'effet de la poussière est très important sur les systèmes photovoltaïques, cet effet se résume dans la chute de rendement de l'installation et l'augmentation de prix de kilowattheure du au frais des opérations de nettoyage périodique, la fréquence de cette dernière est liée à la quantité de la poussière posée sur les modules. La valorisation de ce paramètre semble très importante pour le choix de site d'installation des centrales photovoltaïque. Dans ce contexte nous avons proposé la réalisation d'un dispositif pour mesurer cet effet ou bien donnée une valeur a ce paramètre.

Utilisant deux modules photovoltaïques et une carte Arduino Uno avec une carte interface, nous avons réalisé un dispositif basé sur la différence entre le voltage délivrer par chaque module sachant qu'un module est exposée à l'effet climatique et l'autre module toujours gardée propre.

Les tests obtenus sur le dispositif ont montré une efficacité remarquable, les tests sont réalisés d'une façon manuelle c.-à-d. on pose la poussière sur le module manuellement. Comme perspectives on compte utiliser le dispositif dans des conditions réel ou on va créer une banque de donnée de notre région, ce banque de donnée sert comme outils et aide a décision pour les futures installations photovoltaïque dans notre région.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Chabani zeyneb; "La part des énergies renouvelables dans le bilan énergétique national à l'horizon 2030", Mémoire de magister; Université M'Hamed Bougara-Boumerdes; 2014.
- [2] Jean-Louis BAL ; André ANTOLINI ; "Le livre blanc des énergies renouvelables" page 06.
- [3] "DÉVELOPPEMENT DE L'ÉNERGIE SOLAIRE" page 07.
- [4] Yettou F., Serir lazhar "Etude comparative entre deux cuiseurs solaires testés sous conditions climatiques de Ghardaïa", mémoire de fin d'étude de master ; 2018-2019.
- [5] Geo 4 – Mouvements de la Terre
- [6] Ben Guehza Mohammed Lakhdar. Impact De L'espace Entre Les Deux Vitrages Sur Le Rendement D'un Capteur Solaire. MEMOIRE Présenté pour l'obtention du diplôme de Magister .Université De Kasdi Merbah Ourgla le : 24 - 2 – 2009.
- [7].....
- [8] <https://www.futura-sciences.com/planete/questions-reponses/energie-renouvelable-potentiel-energetique-energie-solaire-999/>
- [9] <https://www.elwatan.com/archives/economie-archives/potentiel-solaire-en-algerie-11-12-2007>
- [10] BAKOU Chiekh ; ELMEGBED Abderrahmane ; Conception et développement d'un programme de dimensionnement des systèmes de production d'eau chaude solaire ; mémoire de master 2018-2019. Benkhelifa Abdelaziz. Modélisation et expérimentation d'un capteur solaire plan à eau Influence de l'intensité de l'éclairement solaire et de l'inclinaison du capteur solaire sur le rendement du capteur. Mémoire Présenté pour l'obtention du diplôme de master. Université Kasdi Merbah Ouargla.2012.
- [11] Dr. BELAID LALOUNI Sofia Maître de Conférences Classe B. «Cours Energie Solaire Photovoltaïque ».année universitaire 2014/2015.
- [12] ABDENNEBI Hamida ; OULAD NAOUI Hanane ; Conception et développement d'un programme de dimensionnement des systèmes photovoltaïques avec stockage d'énergie 2018-2019.
- [13] <http://www.creg.gov.dz/pdf/5-Pr%C3%A9sentation%20BELECTRIC%20300718.pdf>
- [14] <https://www.solar.total.com/fr/nos-realizations/centrales-au-sol>. [7] Dr. BELAID LALOUNI Sofia Maître de Conférences Classe B ; Cours Energie Solaire Photovoltaïque ;
- [15] DJEBARA AMEL, GUETTAF ZINEB, «Etude comparative entre deux cuiseurs solaires », Année Universitaire 2018-2019 testés sous conditions climatiques de Ghardaïa

- [16] Cheddad Mohammed Amine Mazouzi Omar, «Commande de deux moteurs pas à pas et moteur à courant continu via le port parallèle avec Delphi ».
- [17] Docteur Merad née Mesri Mokhtaria & Professeur Cheknane Ali*«Introduction au gisement Solaire algérien Th
- [18] (ABDENNEBI Hamida et OULAD NAOUI Hanane)(Conception et développement d'un programme de dimensionnement des systèmes photovoltaïques avec stockage d'énergie)(Année universitaire 2018/2019)
- [19] BOUCETTA Lakhdar ; « Estimation du rayonnement solaire à l'aide du modèle de l'Atlas Solaire de l'Algérie ».mémoire de master académique, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, 2017.
- [20] (BOULAHBAL AMINA) (Etude et simulation du fonctionnement du système suiveur des panneaux solaires)(Juin 2017)
- [21] Djedouani. Belal Ould amhed haiballa mohamed lemine ;Développement d'un Banc d'essai pour l'étude est le diagnostic des moteurs à pas Hybrides ;Promotion 2015 / 2016.
- [22] BOUZEGANE Mhenna ; GAOUAOUI Ferhat ; «Alimentation d'un moteur à courant continu par une source photovoltaïque « Année universitaire 2018/2019.
- [23] S. Sumathi, « Solar PV and wind Energy conversion systems »,springens,switzer land 2015.
- [24] (Hneini Mema Babe) (Etude de la centrale photovoltaïque de Skhouna (Saida).)(Année universitaire: 2018 /2019)
- [25] REMMA Kheira ; LEHBAKI Fatiha ;Dégradation et maintenance dans les systèmes hybrides photovoltaïques ; année universitaire :2018/2019.
- [26] DINE Fatima Zohra et REZZAG Sabrin; Développement d'une carte de commande d'un système de poursuite solaire pour un cuiseur boîte ;

Code Arduino Uno

```
#include <Adafruit_GFX.h>    // Core graphics library
#include <Adafruit_ST7789.h> // Hardware-specific library for ST7789
#include <SPI.h>             // Arduino SPI library

// ST7789 TFT module connections
#define TFT_CS    10 // define chip select pin
#define TFT_DC    9  // define data/command pin
#define TFT_RST   8  // define reset pin, or set to -1 and connect to
Arduino RESET pin

// Initialize Adafruit ST7789 TFT library
Adafruit_ST7789 tft = Adafruit_ST7789(TFT_CS, TFT_DC, TFT_RST);

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  tft.init(240, 240, SPI_MODE2); // Init ST7789 display 240x240 pixel

  // if the screen is flipped, remove this command
  tft.setRotation(2);

  tft.setTextWrap(false);

  tft.fillScreen(ST77XX_BLACK);
  tft.setCursor(0, 100);
  tft.setTextColor(ST77XX_GREEN);
  tft.setTextSize(4);
  tft.println("URAER 2020");
  delay(3000);
  tft.fillScreen(ST77XX_BLACK);
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  tft.setTextWrap(true);
  float vi= analogRead(A0) * (5.0 / 1023.0);
  float vr= analogRead(A1) * (5.0 / 1023.0);
  delay(10);
  float rf=vr*100/vi;

  //tft.init (240, 240);
  tft.fillRect(105, 50 , 240, 50, ST77XX_BLACK);
  tft.fillRect(105, 100 , 240, 100, ST77XX_BLACK);
  tft.fillRect(70, 150 , 240, 150, ST77XX_BLACK);
  tft.setCursor(0, 50);
  tft.setTextColor(ST77XX_GREEN);
  tft.setTextSize(3);
  tft.print("V inc=");
  tft.println(vi);
  // delay(50);
  tft.setCursor(0, 100);
  tft.setTextColor(ST77XX_YELLOW);
  tft.setTextSize(3);
  tft.print("V ref=");
  tft.println(vr);
}
```

Annexe

```
//delay(50);
tft.setCursor(0, 150);
tft.setTextColor(ST77XX_RED);
tft.setTextSize(3);
tft.print("Ref=");
if(rf>100){
tft.print("Error");
}else{
tft.print(rf);
}
tft.println("%");
delay(1000);
}

void testdrawtext(char *text, uint16_t color, int x, int y) {

tft.setCursor(x, y);
tft.setTextColor(color);
tft.setTextWrap(true);
tft.print(text);

}
```