



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de génie électrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Électrotechnique
Machines électrique

Réf. :

Présenté et soutenu par :
Azzi omar
Ben bahan youcef

Le : lundi 14 septembre 2020

Thème

Réalisation d'un système de Suiveur à base arduino

Jury :

Mme. Khlili fatiha	MAA Université mohamedkhiderbiskra	Superviser
Mme. Hadrie hamida amal	MAA Université mohamedkhiderbiskra	président
Mme. Becha habiba	MAA Université mohamedkhiderbiskra	Examiner

Année universitaire : 2019 - 2020

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : ELECTROTECHNIQUE
Option : MACHINES ELECTRIQUE

Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme :

MASTER

Thème

**Réalisation d'un système de Suiveur à base
arduino**

Présenté par :

Azzi omar

Avis favorable de l'encadreur :

Ben bahan youcef

Avis favorable du Président du Jury

HADRIE HAMIDA AMAL

Cachet et signature



Remerciements

Je remercie tout d'abord le bon dieu pour m'avoir donné le courage et la force de mener à bien ce travail.

Je remercie particulièrement ma promotrice Madame khlili fatiha pour sa patience, sa confiance, ses remarques, ses conseils, sa disponibilité et sa bienveillance.

Qu'elle trouve ici le témoignage de ma profonde gratitude.

Je tiens aussi à remercier les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail, pour toutes leurs remarques et critiques constructives.

Enfin, merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Ben bahan youcef

Azzi omar



Dédicace

Je dédie ce modeste travail a:

*.A Mon père et ma chère mère
A toutes mes sœurs.*

A toute la famille et tous mes amis de promotion de master 2020, mon ami

***Omar** et a tous les gens que je connais.*



youcef

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

*À MA MERE, ce travail est le fruit de tes efforts et l'aboutissement de tes nombreuses nuits
de prières.*

*À Mon père, pour m'avoir soutenu moralement, matériellement et financier
jusqu'à ce jour.*

*A Mon frère Nouredine qui m'a toujours soutenue
dans les moments les plus difficiles dans ma vie.*

*A Mon frère Aissa et
Yassin. A toutes mes
sœurs. A Mon ami youcef.*

*A toute la famille et tous mes amis de promotion de
Master 2020, et à tous les gens que je connais.*

omar

Liste de tableaux**Chapitre I : Généralité sur l'Energie solaire**

Tableau I.1 : Caractéristiques principales du soleil.....	5
Tableau I.2 : Potentiel d'Energie solaire en Algérie [7].....	9

Chapitre II : Les cellulephotovoltaïque

Tableau II.3. Cartes de l'irradiation globale en Algérie.....	14
Tableau II.4 : Avantages et inconvénients des cellules de la 2ème génération.....	14
Tableau II.5 : Comparaison entre différents matériaux.....	16

Chapitre IV: Modélisation de suiveur de soleil

Tableaux IV .6. Les fonctions spécifiques de langage d'Arduino.....	37
Tableaux IV.7. Caractéristique de la carte Arduino UNO.....	40

Liste de figures

Chapitre I : Généralité sur l'Energie solaire

Figure I.1. Rayonnement solaire transmis à la terre.....	7
Figure I.2 : Composantes du rayonnement solaire au sol.....	8
Figure I.3 : Ensoleillement global annuel dans le monde KWh/m2/an.....	8
Figure I.4. Cartes de l'irradiation globale en Algérie.....	9

Chapitre II: Les cellulephotovoltaïque

Figure II.5. Schéma d'une cellule élémentaire [9]	13
Figure II.6 : Arborescence de matériaux pour la fabrication de cellules PV	13
Figure II.7 : Courbe $I=f(V)$ d'une cellule photovoltaïque	16
Figure II.8 : courbe de puissance $P = f(V)$	17
Figure II.9 : Module photovoltaïque	18
Figure II.10 : Association de n cellules PV en parallèle et m en série	18
Figure II.11 : Caractéristiques de cellules solaires photovoltaïques en parallèle et en série	18
Figure II.12 : Les différentes zones de la caractéristique $I (V)$	19
Figure II.13 : Panneaux photovoltaïques	20
Figure II.14 : Composants d'un champ de modules photovoltaïques	21
Figure II.15 : Schéma d'un système photovoltaïque	21
Figure II.16 : Système photovoltaïque autonome.....	22
Figure II.17 : Système photovoltaïque raccordé aux réseaux.....	23
Figure II.18 : Système hybride PV-Eolienne.....	23

Chapitre III Système de suiveur solaire

Figure III .19 : Les différents types du suiveur solaire.....	27
Figure III .20. Suiveur à axe horizontal.....	27
Figure III .21. Suiveur à laxe vertical incliné	28
Figure III .22.Suiveur à deux axes ADES : modèle 5F-27 M	28
Figure III .23.Variation saisonnière du rayonnement solaire	29
Figure III .24.Production électrique [JAG, 2013&MEC,2013].....	29

Chapitre IV Modélisation de suiveur de soleil

FigureIV.25.La LDR	32
FigureIV.26. Le capteur LDR de deviseue de tension.....	33
Figure IV.27.présentation (capteurs +actionneurs) de la carte Arduino	34
Figure IV .28.Structures principales du système Arduino.....	35
FigureIV.29. L'Interface du logiciel Arduino	36
Figure IV.30.la carte Arduino UNO	39
Figure IV.31. La résiliation entre la carte Arduino et plaque	40

Chapitre V : Réalisation d'un système de suiveur du soleil

Figure V.1. Schéma synoptique de notre suiveur du soleil	45
Figure V.2. Photorésistance LDR.....	46
Figure V.4. La carte Arduino	46
Figure V.5. Câble USB type A/B (Arduino UNO)	47
Figure V.6. Fils de pind'Arduino	47
Figure V.7. Principe de fonctionnement du MCC.....	47
Figure V.8. Organigramme Principal	48
Figure V.9. Interface du Partie de programmation dan logiciel Arduino.....	49
Figure V.10. Montage du système sous le logiciel Proteus-ISIS	49
Figure V.11. Plan de réalisation du système suiveur.....	50
Figure V.12. Test de rotation de deux petits moteurs à CC	50
Figure V.13. Schéma du prototype des photorésistances LDR	51
Figure V.14. Test de rotation de deux moteurs puissants à CC (à vide)	51
Figure V.15.Schéma de fonctionnement du suiveur	51
Figure. V.16. Orientation à un axe	52
Figure V.17.Orientation à deux axes.....	52
Figure V.18. Notre suiveur du soleil	52

Liste des abréviations

Wh : Watt-heure (énergie consommée)

PV : Photovoltaïque

GPV :générateur photovoltaïque

a-Si : le silicium amorphe

CIS : le diséléniure de cuivre indium

cdTE: le tellure de

cadmium**EVA** : éthylène -vynil-

UV : ultra-violet

L: Longitude

LDR:light-dependent resistor

CC: Courant Continu

Mcc :Moteur à courant Continu

Résumé

Dans ce travail, nous avons fait une étude pilote et pratique dans le domaine du contrôle d'un suiveur du rayonnement solaire à travers une carte "Arduino UNO" pour obtenir la valeur maximale de la puissance produite.

Le mot clés:

Photovoltaïque, Arduino UNO, Suiveur du soleil, Moteur à CC.

Summary

In this work, we presented a study and a practical control of a sun tracking with an Arduino UNO card to obtain a maximum generated power by a photovoltaic system.

Key words:

Photovoltaic, Arduino, Solar Tracking, DC Motor.

Sommaire

Introduction générale.....	VIII
Chapitre I.....	3
Généralité sur l'Energie solaire.....	3
I.1. Introduction	4
I.2. L'énergie solaire	4
I.2.1 Les avantages de l'énergie solaire :	5
I.2.2 Les inconvénients	5
I.3. L'utilisation de l'énergie photovoltaïque	6
1. Les centrales électriques:	6
2. Pour les bâtiments:	6
3. Pour les dispositifs autonomes:	6
4. Pour les satellites:	6
I.4. Rayonnement solaire	6
I.5.1.Types de rayonnements.....	7
I.5.1.1.Rayonnementdirect	7
I.5.1.2.Rayonnementdiffus	7
I.5.1.3.Rayonnementglobal	7
I.6. Le gisement solaire:.....	8
I.6.1. Cartes d'irradiation globale et de l'ensoleillement enAlgérie.....	9
I.7. conclusion	9
Chapitre II.....	11
Les cellule photovoltaïque.....	11
II.1. Généralités	12
II.2. Principe.....	12
II.3. 1.Les cellules de la 1ère génération	13
II.3. 3.Les cellules de la 3ème génération	15
II.3. 4. Le rendement des cellules PV	15
II.4 Caractéristiques	16
II.4 .1 .Caractéristique courant-tension	16
II.5.1. Zones de fonctionnement du module photovoltaïque	19
II.5.2. Panneau photovoltaïque.....	20
II.5.3.1. Système photovoltaïque autonomes	21
II.5.3.2. Système photovoltaïque raccordé à un réseau	22
II.6. Conclusion.....	24
Chapitre III	25
Système de suiveur solaire	25
III.1. Introduction	26
III.2. Systèmes de suiveur solaire.....	26
III .3. Les différents systèmes de suiveur solaire	26
III .3.1.Suiveur à axe horizontal	27
III .3.2. Suiveur à axe vertical incliné	28
III .3.3.Suiveur à deux axes.....	28
III .4.Mouvement du Globe terrestre	28

III .5. Les différents systèmes de la production électrique	29
III .6.Conclusion.....	30
Chapitre IV Modelisation de suiveur de soleil.....	31
IV.1.Introduction	32
IV.2. Etude des différents blocs.....	32
IV.2.1 Phase Commande	32
IV.2.1.1 Capteurs solaires LDR(Photorésistance)	32
IV.2.1.2.Application de la Photorésistance.....	33
IV.2.2.Circuit de Commande.....	34
IV.2.2.1.La carte Arduino.....	34
IV.2.2.1.Définition.....	34
IV.2.2.2.Constitution de la carte Arduino.....	35
Le matériel et le logiciel.	35
IV.2.2.3.Le matériel.....	35
IV.2.2.3.1.Le microcontrôleur	35
IV.2.2.3.2. Alimentation	35
IV.2.2.3.2. Visualisation	35
IV.2.2.4.Le logiciel.....	36
IV.2.2.4.1.L'interface	36
IV.2.2.4.2.Le langage Arduino	36
IV.2.2.4.3.Références utilise.....	37
IV.2.2.5.types de cartes artificielle	38
IV.2.2.6.Microcontrôleur de la carte Arduino	38
IV.2.3.Les différents type d'Arduino	38
IV.2.3.1.La carte Arduino UNO	38
IV.2.3.2.La carte Arduino Lenardo	38
IV.2.3.3.La carte Arduino Mega.....	38
IV.2.3.4.La carte Arduino Due	39
II.1.3.5. La carte Arduino MiniPro	39
IV.2.4.Le Choix de la carte Arduino	39
IV.2.4.1La Carte Arduino UNO	39
IV.2.4.2.Caractéristiques de la carte Arduino uno.....	40
IV.2.5.La résiliation de la carte Arduino	40
IV.2.6.Les utilisations Le système Arduino	40
IV.3.partie mécanique.....	41
IV.3.1.Le Moteur Electrique.....	41
IV.3.1.1.Moteur à courant continu.....	41
IV.3.1.2.Moteur à courant alternative.....	41
IV.3.1.3.Moteur pas à pas:.....	42
IV.3.2Applications.....	42
IV.3.3.Conclusion.....	43

Chapitre V Réalisation d'un système de suiveur du soleil	44
V.1.Introduction	45
V.2.Schéma Synoptique	45
V.3.Etude des différents blocs du suiveur	46
V.3.1.Les capteurs de lumière	46
V.3.2.Le circuit de commande	46
V.3.2.1.La carte Arduino uno.....	46
V.3.2.2. Câble USB:	47
V.3.2.3. Fils de Pin d'Arduino:	47
V.3.3. Circuit de puissance.....	47
V.3.3. 1.Les moteurs à courant continu	47
V.4. Plan de travail.....	48
V.4.1. Partie de programmation	48
V.4.1.1.L'organigramme	48
V.4.1.2. Programmation	49
V.4.2.Partie de simulation	49
V.4.3. Partie électrique.....	50
V.4.3.1. Test de photorésistance LDR.....	50
V.4.4. Partie mécanique	51
V.5. Type d'orientation.....	52
V.5.1.Orientation à un axe	52
V.5.2.Orientation à deux axes	52
V.6. Description de la structure	52
V.7.Conclusion.....	53
Conclusion Générale	54
Bibliographe	55
Annexe.....	57

Introduction générale

La consommation d'énergie, durant le siècle dernier, a considérablement augmenté à cause de l'industrialisation massive. Les prévisions des besoins en énergie pour les années à venir ne font que confirmer, voir amplifier cette tendance, notamment compte tenu de l'évolution démographique et du développement de certaines zones géographiques. Les gisements de ressources énergétiques traditionnelles, d'origines principalement fossiles, ne peuvent être exploités que pour quelques décennies, ce qui laisse présager d'une situation de pénurie énergétique au niveau mondial de façon imminente. De nos jours, une grande partie de la production mondiale d'énergie est assurée à partir de sources fossiles. La consommation de ces sources donne lieu à des émissions de gaz à effet de serre et donc une augmentation de la pollution. Le danger supplémentaire est qu'une consommation excessive du stock de ressources naturelles réduit les réserves de ce type d'énergie de façon dangereuse pour les générations futures. En outre les déchets des centrales nucléaires posent d'autres problèmes en termes de pollution des déchets radioactifs, du démantèlement prochain des vieilles centrales et du risque industriel. Aujourd'hui, les énergies renouvelables deviennent progressivement des énergies à part entière, rivalisant avec des énergies fossiles du point de vue coût et performance de production. Cependant, leurs systèmes de conversion en électricité sont encore des systèmes trop chers, et présentent quelques déficiences importantes en rendement et en fiabilité, mais pour cela, bien qu'il existe énormément de travaux de recherches prouvant la fiabilité de ces sources comme l'énergie photovoltaïque (*PV*), et l'énergie éolienne.

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique. Cette conversion d'énergie s'effectue par le biais d'une cellule dite photovoltaïque (*PV*) basée sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à produire une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier en fonction du matériau utilisé pour la fabrication de la cellule. L'association de plusieurs cellules (*PV*) en série/parallèle donne lieu à un générateur photovoltaïque (*GPV*).

Bien que l'énergie photovoltaïque soit connue depuis de nombreuses années comme source pouvant produire de l'énergie électrique allant de quelques milliwatts au mégawatt, elle reste encore à un stade peu connu et ne se développe pas encore dans de grandes proportions, notamment à cause du coût trop élevé des capteurs. De plus, plusieurs problèmes techniques doivent être résolus pour amener ces systèmes à un degré de maturité suffisant pour en faire des produits industriels à part entière. Les problèmes concernent autant le matériau de conversion photovoltaïque, qui reste cher à synthétiser, que la chaîne de conversion électrique, qui présente beaucoup de pertes lors d'une utilisation mal adaptées.

Plusieurs lois de commande spécifiques ont été développées, permettant d'optimiser la production d'énergie photovoltaïque afin d'assurer un meilleur rendement de conversion .

Ce travail est composé de cinq chapitres:

Dans le premier chapitre, on fait une généralité sur l'énergie solaire.

Dans le deuxième chapitre, nous rappelons sur les cellules photovoltaïque.

Dans le troisième chapitre, système de suiveur solaire.

Dans le quatrième chapitre, modélisation de suiveur solaire.

Dans le cinquième chapitre, réalisation de système de suiveur.

A la fin de ce travail, on terminera par une conclusion générale.

Chapitre I

Généralité sur l'Energie solaire

I.1. Introduction

Aujourd'hui plus de 85% [1] de l'énergie produite est obtenue à partir des matières fossiles comme le pétrole, le charbon, le gaz naturel ou l'énergie nucléaire, l'épuisement proche de ces ressources énergétiques ainsi que les problèmes posés vis-à-vis du respect de l'environnement, ont incité au développement des énergies renouvelables.

Dans le cas du photovoltaïque, l'énergie primaire est le rayonnement solaire. Le soleil est une source énergétique quasiment illimitée, il pourrait couvrir plusieurs milliers de fois notre consommation globale d'énergie. C'est pourquoi, l'homme cherche depuis longtemps à mettre profit cette énergie importante et diffusée sur l'ensemble de la planète, il est arrivé à réaliser son but par le moyen dit : cellule photovoltaïque.

Pour comprendre le fonctionnement de cette énergie son utilisation, nous effectuerons dans ce chapitre un bref rappel sur l'énergie solaire, l'effet photovoltaïque, la cellule photovoltaïque, les générateurs photovoltaïque et leurs performances.

I.2. L'énergie solaire

L'énergie solaire est une source d'énergie qui dépend du soleil.

Cette énergie permet de fabriquer de l'électricité à partir de panneaux photovoltaïques ou des centrales solaires thermiques, grâce à la lumière du soleil captée par des panneaux solaires, ce rayonnement peut être utilisé en deux manières :

- ✓ En utilisant la chaleur produite par le rayonnement : énergie thermique.
- ✓ En convertissant l'énergie solaire en électricité : Energie photovoltaïque.

Le rayonnement solaire est composé de plusieurs types de rayonnements électromagnétiques tels que les rayons cosmiques, GAMMA, X, onde radio, micro magnétiques, infrarouge et la lumière visible, ce sont des différents types de rayonnements magnétiques solaires qui émettent de l'énergie.

En arrivant sur la surface de la terre. Le flux énergétique dépend de la longueur d'onde du rayonnement solaire.

Les caractéristiques principales du soleil sont regroupées dans le tableau ci-dessous [2].

Diamètre (km)	14×10^5
Masse (kg)	2×10^{30}
Surface (km ²)	6.09×10^{12}
Volume (km ³)	1.41×10^{18}
Masse volumique moyenne (kg/m ³)	1408
Vitesse (km/s)	217
Distance du centre de la voie lactée (km)	2.5×10^4

Tableau I.1 : Caractéristiques principales du soleil

I.2.1 Les avantages de l'énergie solaire :

- ✓ L'énergie solaire est inépuisable et non polluante
- ✓ L'énergie est propre et ne dégage pas de gaz à effet de serre
- ✓ L'énergie solaire thermique permet d'assurer une partie des besoins en eau chaude sanitaire et en chauffage. L'installation des panneaux solaires thermiques permet de réaliser des économies conséquentes
- ✓ Les frais de maintenance et de fonctionnement d'une installation thermique sont relativement faibles
- ✓ Il s'agit d'une source d'énergie électrique totalement silencieuse ce qui n'est pas le cas, par exemple des installations éoliennes.
- ✓ Le rendement énergétique est positif : il faut en moyenne entre 3 et 4 ans pour que le panneau produise l'énergie nécessaire à sa fabrication et un panneau solaire produit en moyenne entre 9 à 14 fois l'énergie qu'il a consommé pour sa fabrication.

I.2.2 Les inconvénients

- ✓ Le coût d'investissement d'une installation solaire thermique est relativement élevé
- ✓ L'énergie solaire est une énergie intermittente. Il faut donc un système de chauffage d'appoint.
- ✓ La production d'énergie solaire n'est possible que lorsqu'il y a du soleil
- ✓ Il faut pouvoir stocker la chaleur dans des ballons ou des dalles chauffantes

Un cycle de vie en question : la durée de vie d'une installation photovoltaïque n'est pas éternelle mais de l'ordre de 20 à 30 ans. Le rendement des cellules photovoltaïques diminue avec le temps qui passe. On parle en général pour les panneaux photovoltaïques, d'une perte de rendement de 1 % par an. De plus, les panneaux solaires contiennent des déchets toxiques: (cuivre, chrome, silicium, cadmium et tellure).

✓ **Les rendements** : des panneaux photovoltaïques sont encore faibles et de l'ordre de 20 % (pour les meilleurs). L'énergie photovoltaïque convient donc mieux pour des projets à faible besoins, comme une maison unifamiliale, par exemple.

I.3. L'utilisation de l'énergie photovoltaïque

1. Les centrales électriques:

En 2009 les principaux parcs solaires produisent aux alentours de 60 MW. Par contre cela nécessite de très grands espaces et un très grand nombre de panneaux photovoltaïques qui captent le rayonnement solaire et le transforment en électricité.

2. Pour les bâtiments:

L'installation d'un système photovoltaïque se fait facilement pour les bâtiments. Le système peut être sur loin ou à proximité du bâtiment. C'est un système attractif pour les particuliers désireux d'être autonomes énergétiquement ou isolés par rapport au réseau standard. La plupart du temps les panneaux sont directement montés sur le toit. certains sont positionnés à proximité des constructions. De plus en plus, les bâtiments modernes ont des panneaux directement intégrés dans leurs structures.

3. Pour les dispositifs autonomes:

On cite quelques exemples d'applications utilisant l'énergie photovoltaïque :

Les pompes à eau, les téléphones d'urgences, les parcomètres ...

4. Pour les satellites:

Les études de conception de grandes installations solaires sur des satellites ont été menées depuis des décennies. L'idée a été proposée par Peter Glaser, Puis D.Little Inc. La NASA a mené une longue série d'études techniques et de faisabilité économique dans les années

1970 et a ravivé l'intérêt dans les premières années du XXI siècle. D'un de vue économique, la question clé pour ces satellites semble être le cout de lancement.

I.4. Rayonnement solaire

Le rayonnement émis par le soleil est constitué d'ondes électromagnétiques dont une partie parvient constamment à la limite supérieure de l'atmosphère terrestre. Ce rayonnement électromagnétique se situe dans la gamme de longueur d'onde de la lumière visible (entre 0,4 et 0,75 μm) et dans le proche infrarouge (au-delà de 0,75 et jusqu'à 4 μm) [3].

Le rayonnement électromagnétique est composé de « grains » de lumière appelés photons.

L'énergie de chaque photon est directement liée à la longueur d'onde. L'énergie véhiculée par ce rayonnement, correspond à un éclairement de 340 W/m^2 . Un bilan énergétique montre que sur cette quantité d'éclairement environ 100 W/m^2 sont réfléchis vers l'espace, seul le reste est absorbé, pour un tiers par atmosphère et pour les deux tiers par la surface de la terre [4].

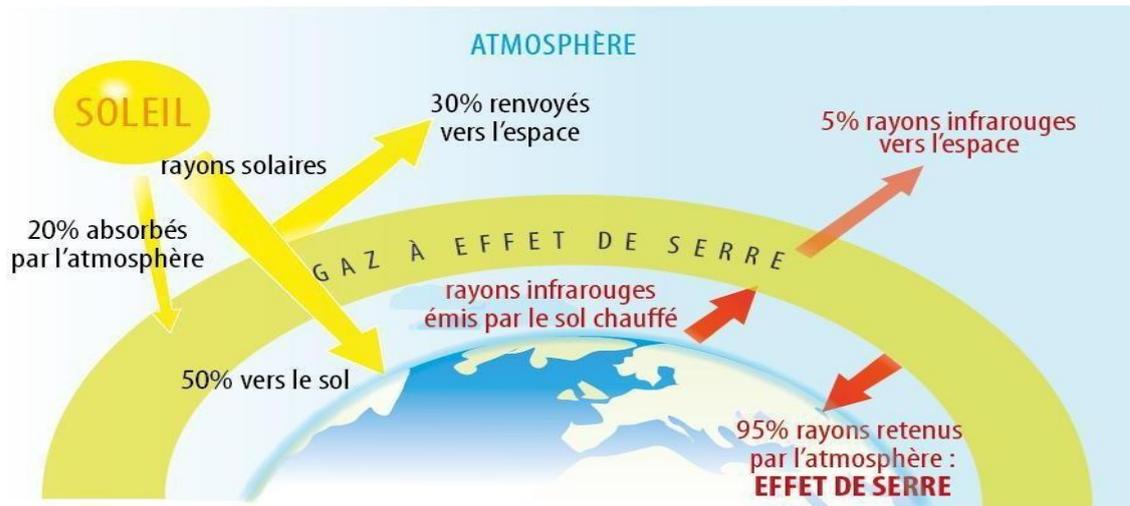


Figure I.1. Rayonnement solaire transmis à la terre

I.5.1. Types de rayonnements

I.5.1.1. Rayonnement direct

Le rayonnement solaire direct se définit comme étant le rayonnement provenant du seul disque solaire. Il est donc nul lorsque le soleil est occulté par les nuages.

I.5.1.2. Rayonnement diffus

Dans sa traversée de l'atmosphère, le rayonnement solaire est diffusé par les molécules de l'air et les particules en suspension. Le rayonnement solaire diffus n'est donc nul que la nuit.

I.5.1.3. Rayonnement global

C'est la somme des deux types de rayonnements direct et diffus [5].

Le rayonnement global est donc la somme des 3 rayonnements directs, diffus, et réfléchi comme illustrer dans la figure si dessous :

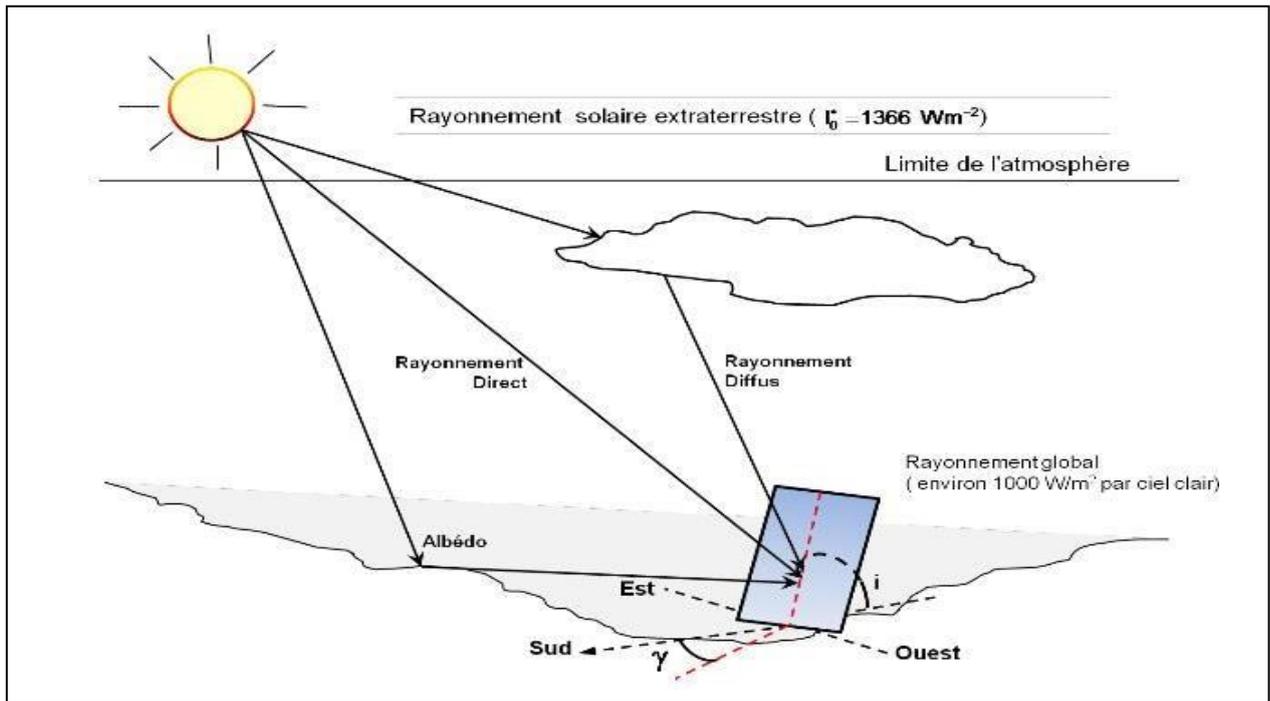


Figure I.2 : Composantes du rayonnement solaire au sol.

I.6. Le gisement solaire:

La connaissance du gisement solaire d'un site donné est primordiale pour la confection et dimensionnement d'un système énergétique solaire, en effet le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire dans un lieu au cours d'une période donnée grâce aux stations météorologiques, son évolution peut se faire à partir des données de l'irradiation solaire globale. Elle est utilisée pour simuler le fonctionnement probable d'un système énergétique solaire et donc d'effectuer son dimensionnement le plus exact possible compte tenu des demandes en énergie à satisfaire [6].

Les pays du sud de la méditerranée notamment l'Algérie disposent d'un des gisements solaires les plus élevés au monde comme le montre la figure ci-dessous :

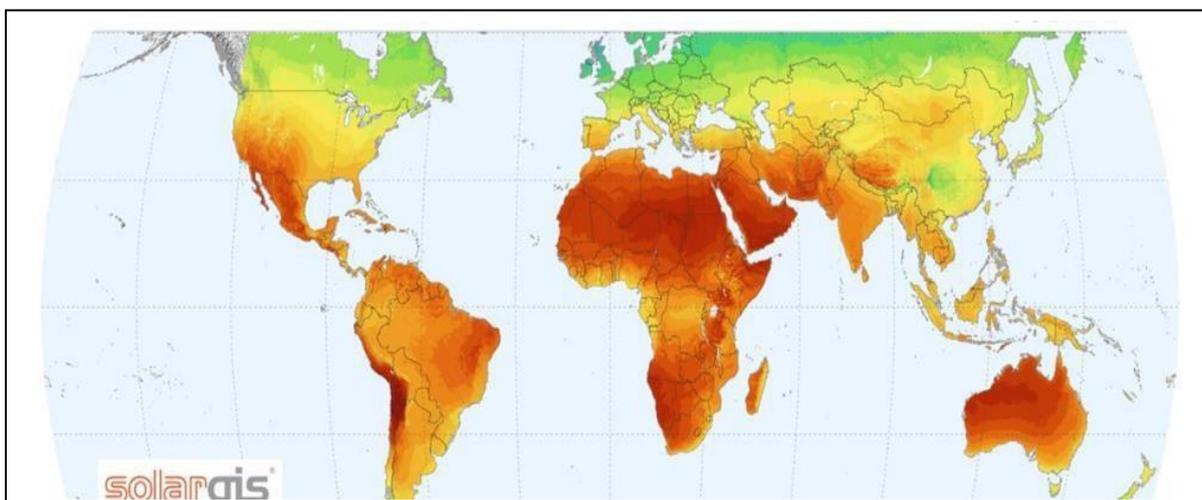


Figure I.3 : Ensoleillement global annuel dans le monde KWh/m2/an.

L'Algérie est un pays potentiellement intéressant pour l'exploitation de l'énergie solaire, de par sa situation géographique il dispose d'un gisement solaire très important compte tenu des valeurs de la durée d'insolation enregistrée sur la quasi-totalité du territoire national dépassant les 2000 heures annuellement et pouvant atteindre les 3900 heures sur les hauts plateaux du Sahara. Par conséquent, la quantité d'énergie reçue au sol quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m² est de l'ordre de 5 KW/h sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700 KWh/m² au nord et 2263 KWh/m² au sud du pays [7]. La répartition du potentiel solaire par région climatique au niveau du territoire algérien est représentée dans le tableau suivant :

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

Tableau I.2 : Potentiel d'Energie solaire en Algérie [7].

I.6.1. Cartes d'irradiation globale et de l'ensoleillement en Algérie

L'énergie solaire participe pour une très faible part dans le bilan énergétique national, soit seulement 0,02% de la consommation nationale d'électricité (5 GWH). Le pays est qualifié de très en retard en matière d'investissement dans le domaine des énergies renouvelables.

Pourtant, l'Algérie dispose de l'un des gisements solaires les plus importants au monde figure I.3. Lors d'un séminaire organisé à Alger, par la Chambre allégro-allemande de l'industrie et du commerce, l'intention de concrétiser le vœu algérien a été clairement affichée par les Allemands.

«Vu qu'à l'horizon 2010, environ 5% de l'électricité en Algérie sera produite par l'énergie solaire ».le projet consiste à ramener le taux de l'énergie renouvelable à 6% d'ici à 2015 [8].

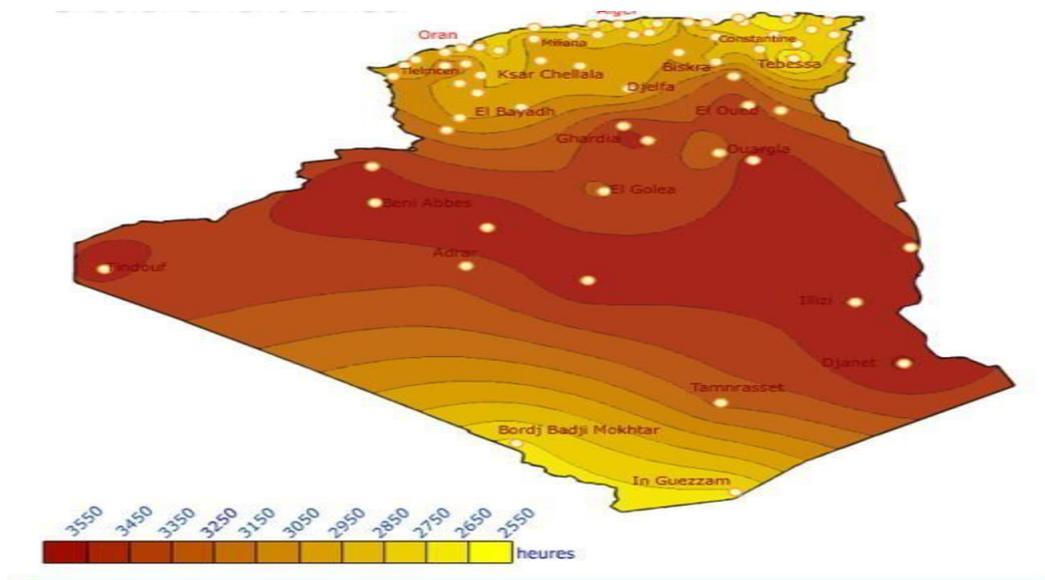


Figure I.4. Cartes de l'irradiation globale en Algérie

I.7. Conclusion

Dans ce chapitre quelques notions préliminaires sur le rayonnement solaire nécessaire pour la compréhension du photovoltaïque ont été présentés.

Le photovoltaïque connaît aujourd'hui un développement très important dans le monde, notamment en Algérie qui a lancés plusieurs projets d'une capacité totale d'environ 13 575 MW qui devraient être réalisés sur la période 2015-2030.

Chapitre II

Les cellule photovoltaïque

II.1. Généralités

L'hélioélectricité, qui traite de la transformation directe de l'énergie solaire en énergie électrique, est apparue en 1930 avec les cellules à oxyde cuivreux puis au sélénium, mais ce n'est qu'en 1954, avec la réalisation des premières cellules photovoltaïques au sélénium dans les laboratoires de la compagnie Bell Téléphone, que l'on entrevoit la possibilité de fournir de l'énergie.

Très rapidement utilisées pour l'alimentation des véhicules spatiaux, leurs développements et les rapides progrès ont été motivés par la conquête de l'espace.

Durant les années 80, la technologie photovoltaïque terrestre a progressé régulièrement par la mise en place de plusieurs centrales de quelques mégawatts, et même devenue familière des consommateurs à travers de nombreux produits de faible puissance y faisant appel : montres, calculatrices, balises radio et météorologique, pompes et réfrigérateurs solaires.

Des événements tels que les courses de véhicules solaires offrant une image de haute technologie, et plus écologique y ont également contribué [9].

II.2. Principe

Une cellule photovoltaïque est assimilable à une diode photo-sensible, son fonctionnement est basé sur les propriétés des matériaux semi-conducteurs.

La cellule photovoltaïque permet la conversion directe de l'énergie lumineuse en énergie électrique. Son principe de fonctionnement repose sur l'effet photovoltaïque (Bequerelle 1938). Une cellule est constituée de deux couches minces d'un semi-conducteur. Ces deux couches sont dopées différemment.

Pour la couche (N), c'est un apport d'électrons périphériques et pour la couche (P) c'est un déficit d'électrons. Les deux couches présentent ainsi une différence de potentiel. L'énergie des photons lumineux captés par les électrons périphériques (couche N), leur permet de franchir la barrière de potentiel et d'engendrer un courant électrique continu. Pour effectuer la collecte de ce courant, des électrodes sont déposées par sérigraphie sur les deux couches du semi-conducteur (Figure I I.5). L'électrode supérieure est une grille permettant le passage des rayons lumineux. Une couche anti relet est ensuite déposée sur cette électrode afin d'accroître la quantité de lumière absorbée [9].

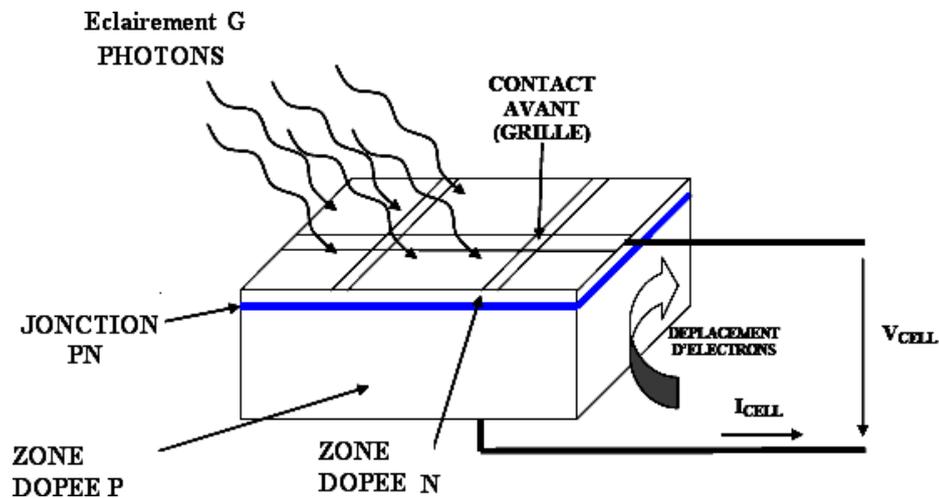


Figure II.5. Schéma d'une cellule élémentaire [9]

II.3. La cellule photovoltaïque:

Matériau de mise en œuvre de la cellule PV, Une cellule photovoltaïque peut être réalisée avec de nombreux matériaux semi-conducteurs.

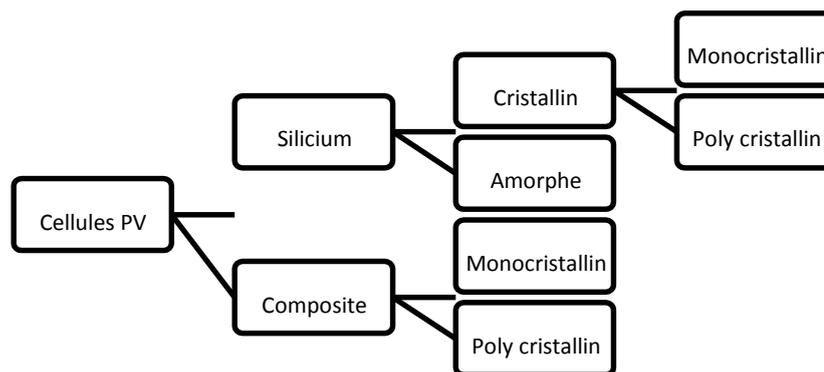


Figure II.6 : Arborescence de matériaux pour la fabrication de cellules PV

Généralement on distingue des cellules photovoltaïques en fonction des développements technologiques.

II.3. 1. Les cellules de la 1ère génération

Les cellules de première génération sont basées sur une seule jonction P-N et utilisent généralement le silicium sous forme cristalline comme matériau semi-conducteur. Le silicium est fondu puis refroidi afin d'obtenir un cristal qui sera découpé en fines tranches (les wafers) pour obtenir la cellule photovoltaïque. Cette méthode de production est très énergivore et donc très chère.

Elle nécessite par ailleurs un silicium de grande pureté. On différencie les cellules en silicium monocristallin et en silicium poly cristallin.

Les cellules de la 1^{ère} génération			
Les cellules en silicium monocristallin :		Les cellules en silicium poly cristallin :	
Avantages	Inconvénient	Avantages	Inconvénient
+ Très bon rendement + Sensibilité accrue aux rayonnements Directs	- Coût élevé	+ Bon rendement (moins bon que les cellules monocristallines + Coût moins élevé que pour les cellules monocristallines + Sensibilité accrue aux rayonnements directs	- Forte sensibilité à la température

Tableau II.3. Cartes de l'irradiation globale en Algérie

II.3. 2. Les cellules de la 2^{ème} génération

Les couches minces constituent la seconde génération de technologie photovoltaïque.

Dans cette génération, on distingue le silicium amorphe (a-Si), le diséléniure de cuivre indium (CIS), le tellure de cadmium (cdTE), entre autres,...

Dans le cas de couches minces, la couche de semi-conducteur est directement déposée sur un substrat (ex : verre, plastique,...). La production de ce type de cellules est moins coûteuse que celle de 1^{ère} génération puisqu'elles consomment moins de matériaux semi-conducteur et ne nécessite pas de passer par l'étape de transformation en « wafers ».

Les cellules de la 2^{ème} génération	
Avantages	Inconvénients
+ Sensibilité accrue aux rayonnements diffus + Moins sensible à l'ombrage dû à la forme longitudinale des cellules + Moins de matériau de base pour la fabrication + Moins sensible aux fortes températures + permet la fabrication de panneaux souples et Flexibles	- Certains éléments très polluants lors de la fabrication (cadmium) - Performance diminuant dans le temps - Rendement moindre que les cellules de 1^{ère} génération

Tableau II.4 : Avantages et inconvénients des cellules de la 2^{ème} génération

II.3. 3. Les cellules de la 3ème génération

La troisième génération vise à passer la limite maximale de rendement des cellules actuelles, qui est d'environ 30%. Plusieurs concepts sont envisagés pour atteindre cet objectif :

- ✓ Superposition de multiples cellules (utilisant des bandes d'énergie différentes)
- ✓ Cellules à concentration
- ✓ Utilisation de photons à basse énergie qui ne sont habituellement pas abordé par la cellule
- ✓ Cellules à électrons chauds produisant plus de paires d'électron/trou pour des énergies supérieures à la bande d'énergie
- ✓ Conversion des photons pour ajuster le spectre de la lumière solaire aux caractéristiques du semi-conducteur.

II.3. 4. Le rendement des cellules PV

Le rendement d'une cellule est le ratio entre l'énergie lumineuse reçue à la surface de la cellule et l'énergie électrique produite par cette même cellule.

Le rendement d'une cellule photovoltaïque serait d'environ 85% si chaque photon pouvait transférer toute son énergie à un électron. Cependant, ceci n'est pas le cas vu que le transfert d'énergie peut se faire uniquement si la bande d'énergie propre à chaque semi-conducteur. Ainsi, les photons avec une énergie inférieure à cette valeur type ne pourront participer à l'effet photovoltaïque (leur énergie sera convertie en chaleur) et les photons avec une énergie supérieure à cette valeur type ne pourront transmettre que l'énergie propre au semi-conducteur (tout excès est alors perdu). Dans les cellules actuelles, ces deux effets limitent le rendement théorique des cellules à 50%.

On reviendra par la suite à cette notion de rendement.[C]

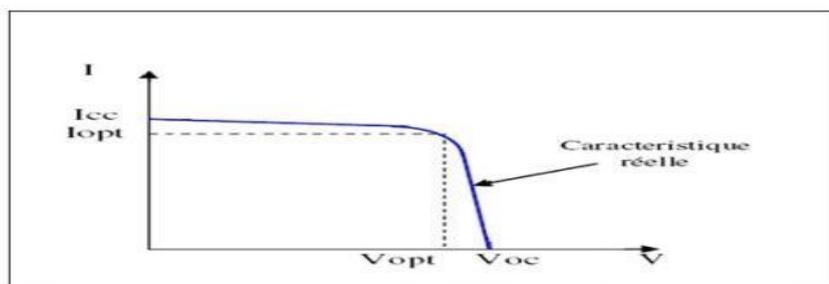
Type	Cellule (Laboratoire)	Niveau (Laboratoire)	Module (Commercial)	Niveau développement
1^{ère} generation				
Silicium monocristallin	24,70%	22,70%	12-20%	Production industrielle
Silicium polycristallin	20,30%	16,20%	11-15%	Production industrielle
2^{ème} generation				
Silicium amorphe	13,40%	10,40%	5-9%	Production industrielle
Silicium cristallin en couche mince		9,40%	7%	Production industrielle
CIS	19,30%	13,50%	9-11%	Production industrielle
CdTe	16,70%		6-9%	Prêt pour la production
3^{ème} generation				
Cellule organique	5,70%			Au stade de la recherche
Cellule de Grätzel	11%	8,40%		Au stade de la recherche
Cellule multijonctions	39%	25-30%		Au stade de la recherche, production exclusivement applications spatiales

Tableau II.5 : Comparaison entre différents matériaux

II.4 Caractéristiques

II.4 .1 .Caractéristique courant-tension

La figure ci-dessous représente la courbe $I = f(V)$ d'une cellule photovoltaïque typique dans des conditions constantes d'irradiation et de température.

Figure II.7 : Courbe $I = f(V)$ d'une cellule photovoltaïque

II.4.2. Caractéristique puissance-tension

La puissance délivrée par la cellule a pour expression $P = V.I$. Pour chaque point, on peut calculer la puissance P et tracer la courbe $P = f(V)$. Figure (II.8).

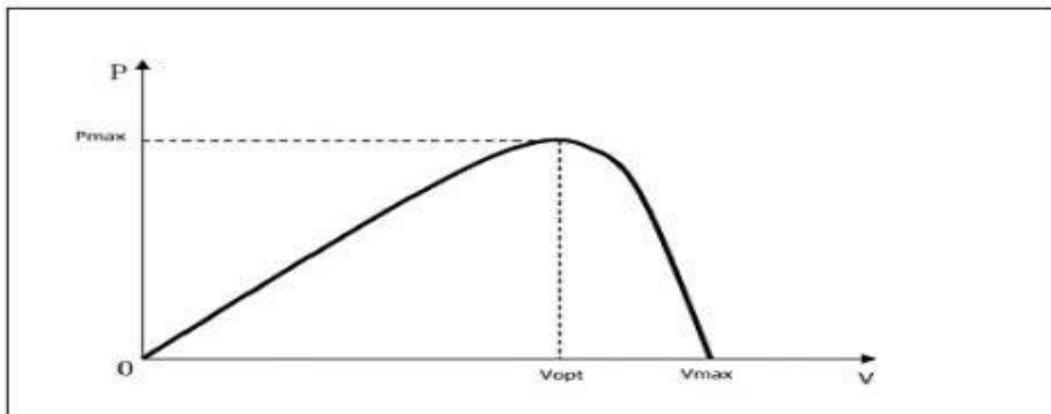


Figure II.8 : courbe de puissance $P = f(V)$.

II.5. Module photovoltaïque

La puissance disponible aux bornes d'une cellule est très faible vis-à-vis des besoins de la plupart des applications domestiques ou industrielles. Pour obtenir des niveaux de puissances compatibles avec le matériel usuel de telles cellules sont associées formant ainsi des modules PV, comme on peut le voir sur la figure II.9, [10].

Les connections en série de plusieurs cellules augmentent la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle accroît le courant en conservant la tension. Ces cellules sont protégées de l'humidité par encapsulation dans un polymère EVA (éthylène -vynil-acétate) et protégé sur la surface avant d'un verre, trempé à haute transmission et de bonne résistance mécanique, et sur la surface arrière de polyéthylène [11].

Les puissances des modules disponibles sur le marché s'échelonnent entre quelques Watts-crête et quelques dizaines de Watts-crête (1m^2 de cellules PV produit de l'ordre de 011W). Pour obtenir des puissances supérieures, il est donc nécessaire d'associer en série et/ou en parallèle plusieurs modules pour former un panneau photovoltaïque (champ photovoltaïque) [11]

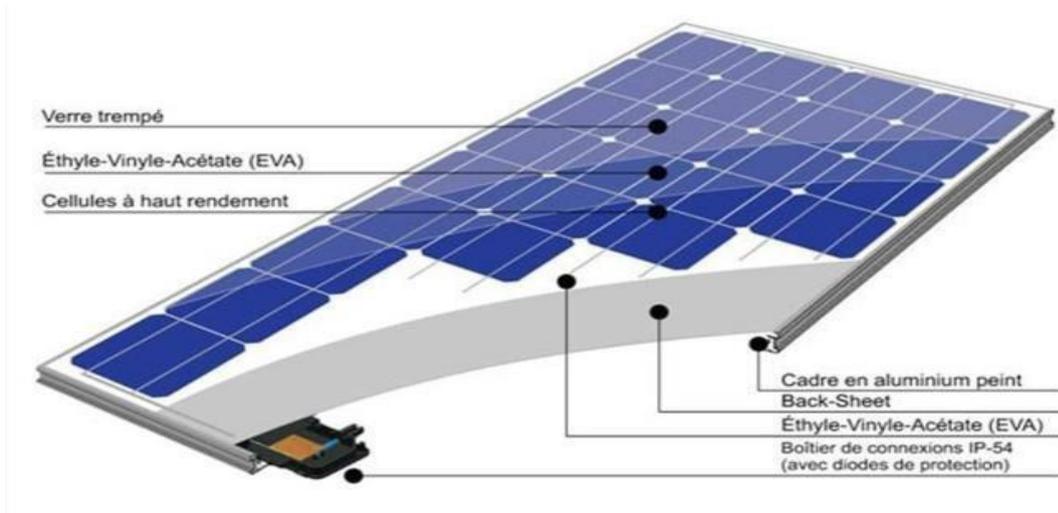


Figure II.9 : Module photovoltaïque

Un groupement mixte formé par la mise en série de (m) cellules en série et de (n) cellules en parallèle est illustré dans la figure II.10 suivante :

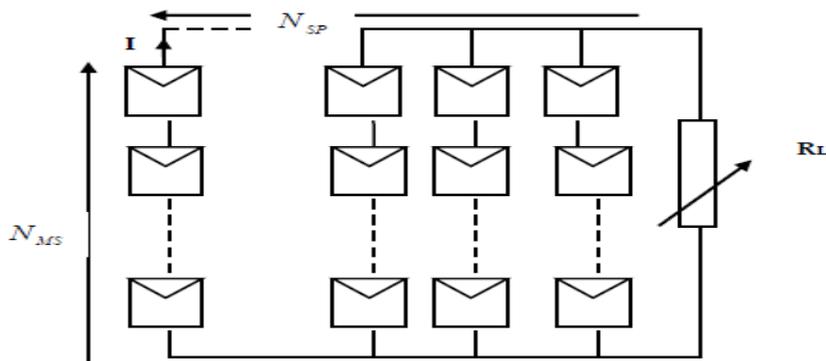


Figure II.10 : Association de n cellules PV en parallèle et m en série

La courbe de fonctionnement I-V d'un module de base est une courbe se déduisant de la courbe de fonctionnement d'une cellule élémentaire est représenté sur la figure II.11 [10]

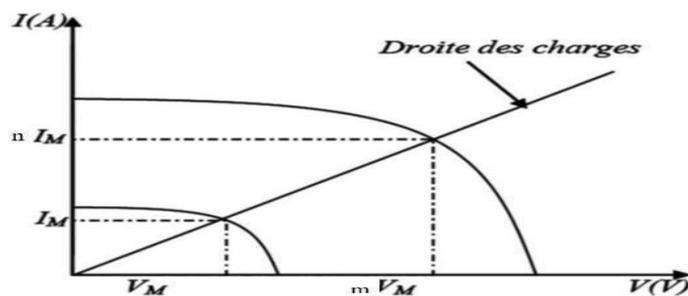


Figure II.11 : Caractéristiques de cellules solaires photovoltaïques en parallèle et en série

Les modules photovoltaïques assurent les fonctions suivantes :

- ✓ Protection des cellules contre les agents atmosphériques.
- ✓ Protection mécanique et support.
- ✓ Connexion électrique entre cellules et avec l'extérieur [1].

A l'arrière de chaque module se trouve une boîte de jonction contenant 2 diodes Antiparallèles. Ces diodes antiparallèles permettent d'éviter qu'un module au soleil ne se décharge dans un module à l'ombre [11]

II.5.1. Zones de fonctionnement du module photovoltaïque

Les caractéristiques électriques d'un panneau photovoltaïque varient en fonction de la température, de l'éclairement et, de façon générale, des conditions de fonctionnement lorsqu'il est connecté à une charge donnée. Nous rappelons brièvement dans ce paragraphe le comportement du générateur soumis à diverses contraintes. Ces notions sont en effet nécessaires pour comprendre le comportement d'un générateur PV et ensuite effectuer des optimisations de fonctionnement.

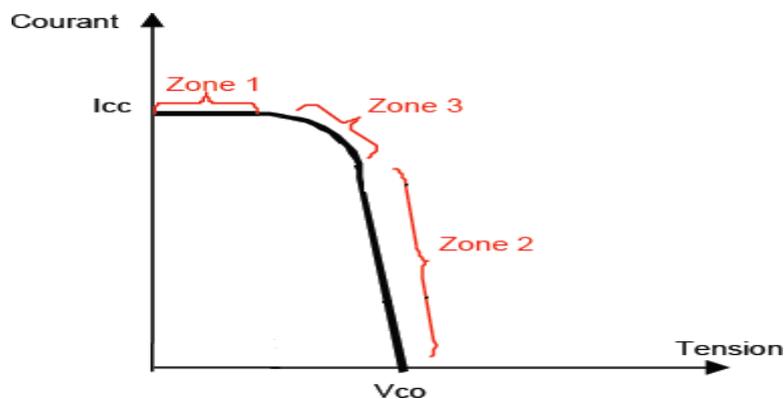


Figure II.12 : Les différentes zones de la caractéristique I (V)

La caractéristique d'un générateur PV constitué de plusieurs cellules a une allure générale assimilable à celle d'une cellule élémentaire, sous réserve qu'il n'y ait pas de déséquilibre entre les caractéristiques de chaque cellule (irradiation et température uniformes). Nous pouvons décomposer la caractéristique I(V) d'un générateur photovoltaïque en 3 zones:

Une zone assimilable à un générateur de courant ICC proportionnel à l'irradiation, d'admittance interne pouvant être modélisée par $1/(Zone\ 1)$.

Une zone assimilable à un générateur de tension V_{co} d'impédance interne équivalente à la résistance série R_s (Zone 2),

Une zone où l'impédance interne du générateur varie très fortement de R_s à R_{sh} (zone3) C'est dans la zone 3 qu'est situé le point de fonctionnement pour lequel la puissance fournie par le générateur est maximale. Ce point est appelé point de puissance optimale, caractérisé par le couple (I_{max}, V_{max}) , et seule une charge dont la caractéristique passe par ce point, permet d'extraire la puissance maximale disponible dans les conditions considérées [12].

II.5.2. Panneau photovoltaïque

Le panneau PV ou (champ PV) sur la figure II.13 se compose de plusieurs modules photovoltaïques interconnectés en série et/ou en parallèle afin de produire la puissance requise crête définie selon des conditions spécifiques d'éclairement et température. Ces modules sont montés sur une armature métallique qui permet de supporter le champ solaire avec un angle d'inclinaison spécifique [13].

L'orientation plein Sud des modules permet de capter un maximum de lumière au cours de la journée et résulte en un pic de production autour de midi. L'inclinaison joue un rôle très important pour attirer le maximum de flux solaire, les expériences ont montré qu'il suffit d'incliner le module d'un angle de 30 degrés pour obtenir un meilleur rendement[14].

Pour chaque panneau on peut avoir autant de sorties que de modules, ce que fait qu'on aura besoin de boîte de dérivation qui regroupe le tout, Alors cette boîte de dérivation fixée sur une structure du montage a comme rôle d'effectuer les connections entre les modules pour obtenir une puissance optimale en sortie.



Figure II.13 : Panneaux photovoltaïques

La figure II.14. Représente les différentes composantes d'un champ photovoltaïque :

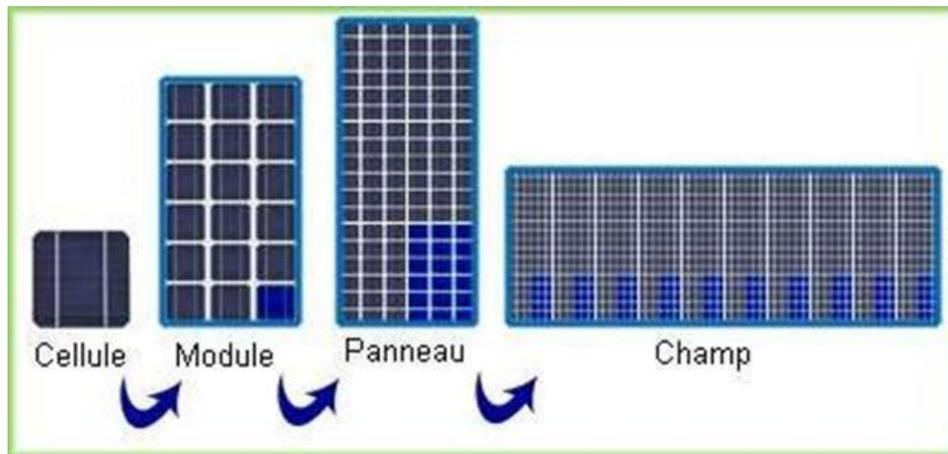


Figure II.14 : Composants d'un champ de modules photovoltaïques

II.5.3. Système photovoltaïque

La figure II.15 montre la structure d'un système photovoltaïque [15]

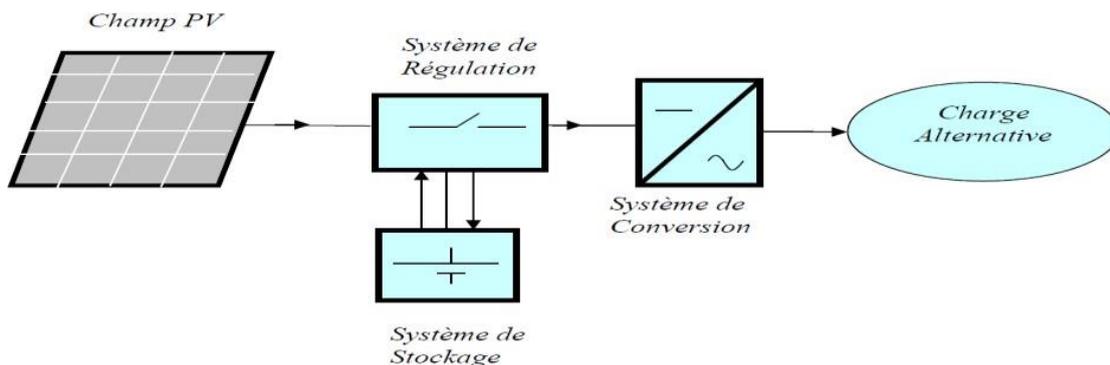


Figure II.15 : Schéma d'un système photovoltaïque

Les systèmes photovoltaïques les plus couramment utilisés selon les exigences sont de trois types (autonome, raccordée au réseau et hybride) [15]

II.5.3.1. Système photovoltaïque autonomes

Autonomes ou « stand-alone », ces installations isolées ne sont pas connectées au réseau, mais elles doivent assurer la couverture de la demande de la charge en tout temps. La puissance la sortie du générateur photovoltaïque n'est pas suffisante pour satisfaire la demande décharge, aussi l'autonomie du système PV est assurée par un système de stockage d'énergie.

En général ces installations comprennent quatre éléments voir figure II.16, [13]:

- ✓ Un ou plusieurs modules PV,
- ✓ Un système dérégulation,
- ✓ Une ou plusieurs batteries,
- ✓ Un onduleur.

L'énergie produite est utilisée immédiatement (pompage, ventilation, etc...) ou stockée dans des batteries pour une utilisation différée. Le courant continu produit alimente directement des appareils prévus à cet effet ou est transformé en 230 Volts alternatif [15].

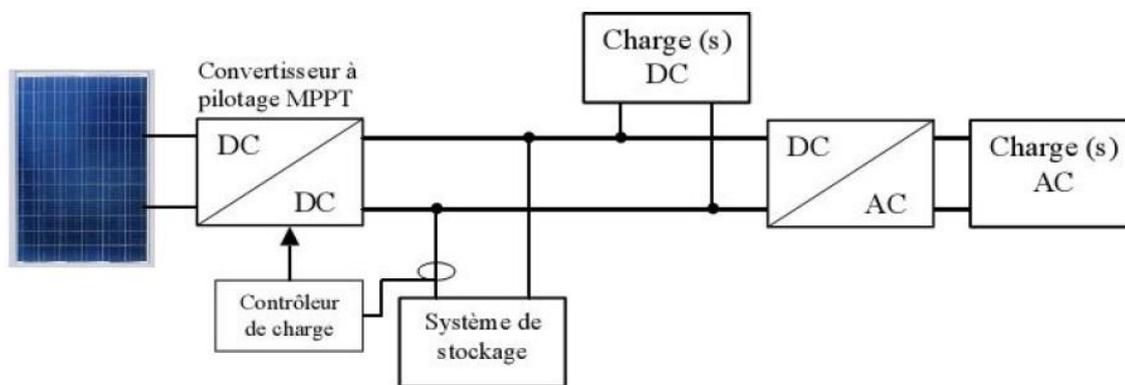


Figure II.16 : Système photovoltaïque autonome

La majorité des populations à l'écart des réseaux électriques vit dans des zones rurales, où l'implantation de tels réseaux est difficile, pour des raisons d'accès ou de moyens. Les systèmes photovoltaïques constituent alors une option intéressante, ils donnent aux populations un accès l'électricité avec un coût, une maintenance et des difficultés de mise en œuvre réduits [15].

II.5.3.2. Système photovoltaïque raccordé à un réseau

Non autonome ou « grid connected », le système peut également être connecté au réseau. La figure II.17 montre une configuration de ce système. L'avantage du raccordement est de se dispenser du coûteux et problématique stockage de l'électricité. Dans ses versions les plus économiques l'onduleur ne peut fonctionner qu'en présence du réseau, une éventuelle panne deca dernier rend non opérationnel le système de production d'origine renouvelable. Un onduleur réversible est nécessaire si on a une charge à courant continu. Si la consommation locale est supérieure à la production de la centrale, l'appoint est fourni par le réseau. Dans le cas contraire.

L'énergie est fournie au réseau public et sert à alimenter les consommateurs voisins [15].

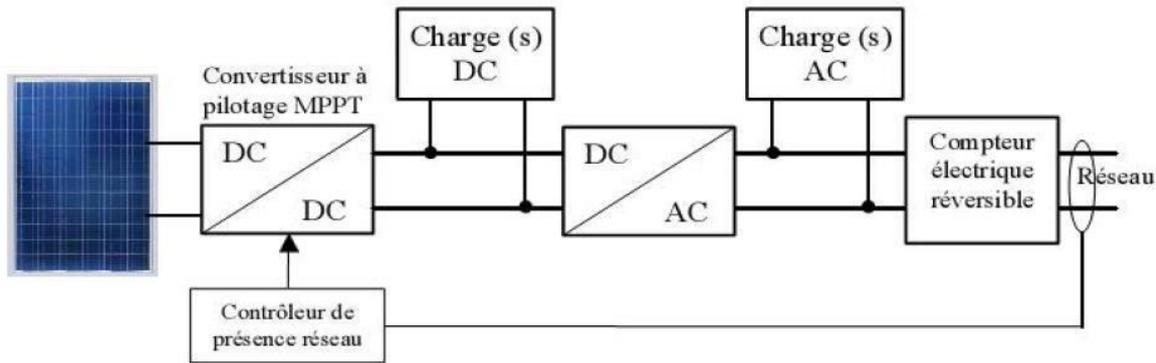


Figure II.17 : Système photovoltaïque raccordé aux réseaux

II.5.3.3. Système photovoltaïque hybride

Les systèmes hybrides reçoivent une partie de leur énergie d'une ou plusieurs sources supplémentaires, qui sont également indépendants des réseaux de distribution d'électricité. En pratique le générateur photovoltaïque est combiné à une éolienne ou à un groupe électrogène combustible, ou aux deux à la fois avec des accumulateurs de stockage de l'énergie voir figure II.18. Un tel système s'avère un bon choix pour les applications qui nécessitent une alimentation continue d'une puissance assez élevée [14].

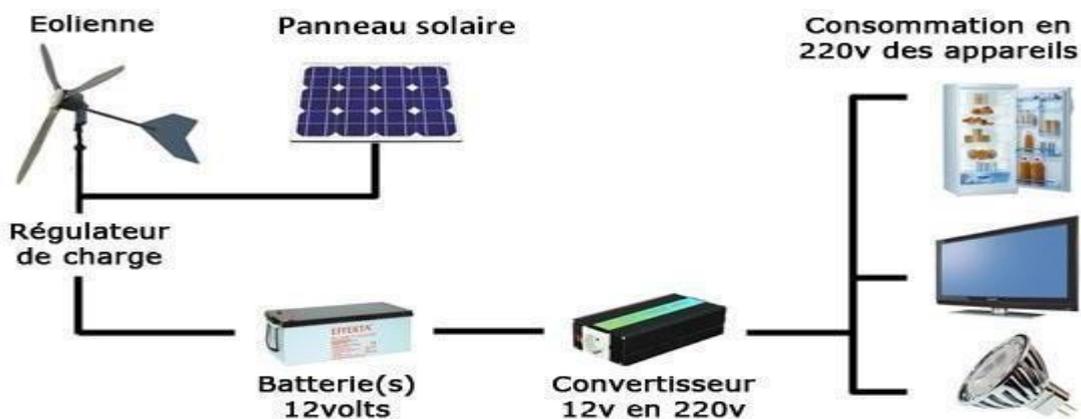


Figure II.18 : Système hybride PV-Eolienne

Un système hybride photovoltaïque optimise l'utilisation combinée de plusieurs sources d'énergies renouvelables et, ou fossiles et des moyens de stockage associés [21]. Le choix de tel ou tel système se fera en fonction de différents critères : simplicité, application, environnement, etc... Toutefois l'étude de systèmes photovoltaïques se ramène l'étude de l'adaptation de la charge constituée, soit d'une batterie, d'une charge quelconque par rapport à l'ensemble des modules solaires [15].

II.6. Conclusion

Ce chapitre nous a permis d'explorer le principe de la conversion photovoltaïque ainsi quelles différentes technologies utilisées pour y parvenir. Des aspects aussi bien technologiques qu'électriques ont été abordés afin de mieux comprendre l'ensemble du mécanisme reversion photovoltaïque. D'autre part, nous avons vue dans ce chapitre des notions générales sur l'énergie photovoltaïque, tous les éléments ont été introduits (cellule, module, panneau, champ PV) pour permettre une bonne compréhension du fonctionnement des systèmes PV.

Chapitre III

Systeme de suiveur solaire

III.1. Introduction

Les panneaux photovoltaïques classiques (PV) ne sont généralement pas équipés de suiveur solaire et sont placés dans une inclinaison et une orientation fixes et bien déterminées selon le site d'installation et les conditions d'ensoleillement. Afin d'augmenter le rendement du panneau PV, on l'enchâsse avec une structure portante ayant deux degrés de liberté en rotation commandée par un algorithme de poursuite solaire.

III.2. Systèmes de suiveur solaire

La puissance et le sens des rayons solaires varient en permanence en raison de la rotation terrestre et de la composition de l'atmosphère. Les cellules des modules photovoltaïques à montage fixe ne peuvent transformer qu'une fraction de l'énergie lumineuse émise par le soleil en énergie électrique. Les trackers solaires sont des dispositifs mobiles qui permettent de maintenir l'orientation des modules photovoltaïques vers le soleil. Ainsi, l'angle d'incidence reste constant, et l'intensité de la lumière et par conséquent de l'énergie, reste stable. Cela permet non seulement d'exploiter efficacement les heures d'ensoleillement, mais aussi de tirer parti de la lumière diffuse, ce qui se traduit par un sur plus d'énergie solaire de 25 à 50% [ABU, 2008, ALE, 2012 & SEM, 2011] et une meilleure rentabilité économique ainsi qu'un amortissement plus rapide des coûts d'acquisition [16].

III .3. Les différents systèmes de suiveur solaire

Le rendement des panneaux solaires peut être amélioré en suivant deux logiques. La première consiste à suivre l'azimut (c'est-à-dire la course du soleil), les panneaux doivent donc suivre le soleil d'Est en Ouest. La deuxième consiste à améliorer l'incidence des rayons solaires en ajustant la hauteur des panneaux. L'incidence des rayons solaires dépend des saisons (en hiver le soleil est en moyenne plus bas qu'en été) et de l'heure de la journée. Les différents types de suiveurs (Figure III .19) rencontrés sur le marché sont les suivants :

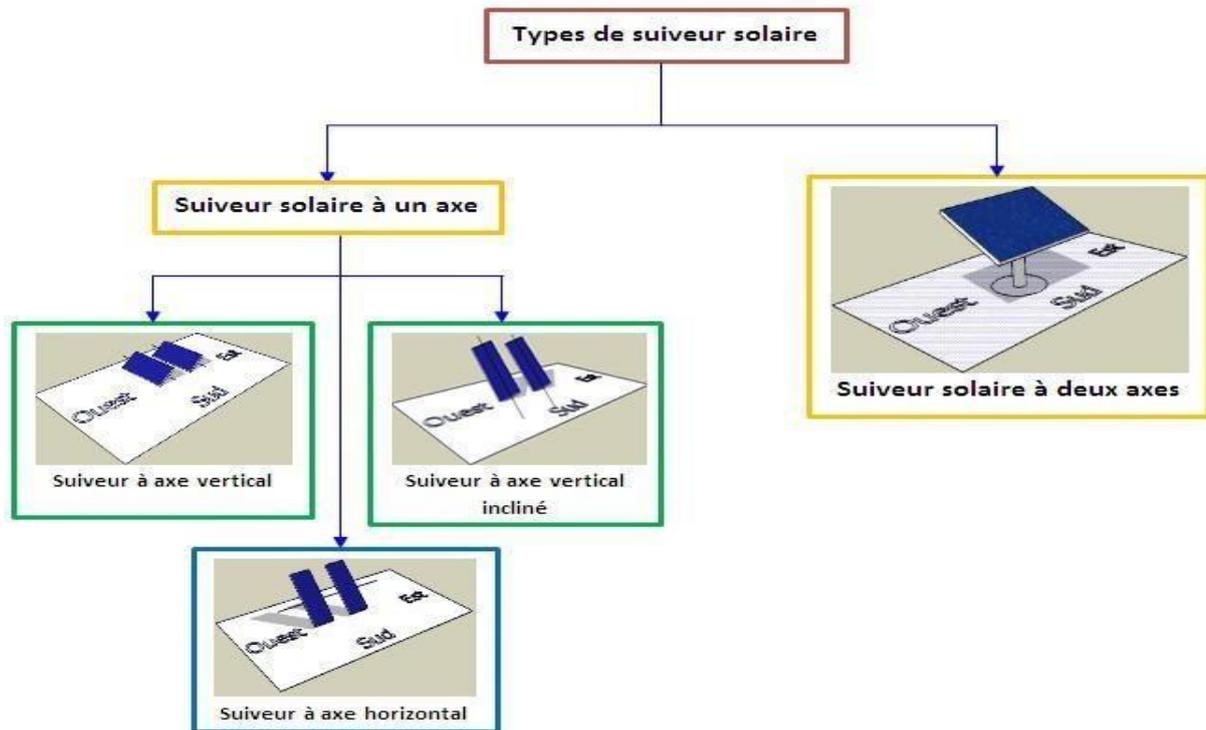


Figure III .19 : Les différents types du suiveur solaire

III .3.1.Suiveur à axe horizontal

Ce type de suiveur n'apporte que très peu de gain par rapport à un système fixe. Il est plus intéressant d'utiliser des suiveurs à un axe vertical. En revanche, sa conception est la plus simple de l'ensemble des suiveurs et peut ne pas entraîner une diminution trop significative du GCR si ce type de suiveur est équipé d'un organe de régulation appelé back tracking, qui empêche d'incliner davantage les modules dès que les ranges se font mutuellement de l'ombre. Sans back tracking, en conservant un GCR de 45%, il faudrait un suiveur permettant une plage d'inclinaison allant de 10 à 30° pour obtenir la meilleure solution. Cependant, le gain resterait assez faible : de l'ordre de 2,2% (ce gain ne compense pas le surcoût)[16].

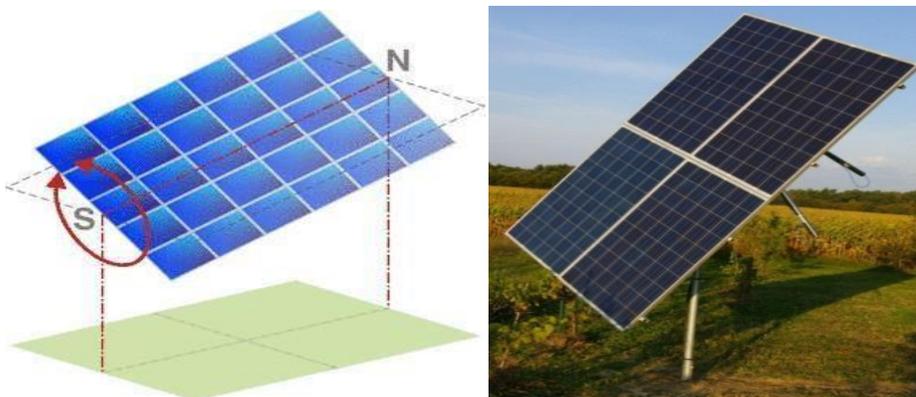


Figure III .20. Suiveur à axe horizontal

III .3.2. Suiveur à axe vertical incliné

Ce type de suiveur permet un gain d'environ 20% pour un GCR de 25%. Il est souvent moins imposant que les suiveurs à 2 axes, moins coûteux et permet d'installer plus de puissance sur un terrain donné comparé aux 2 axes[16].

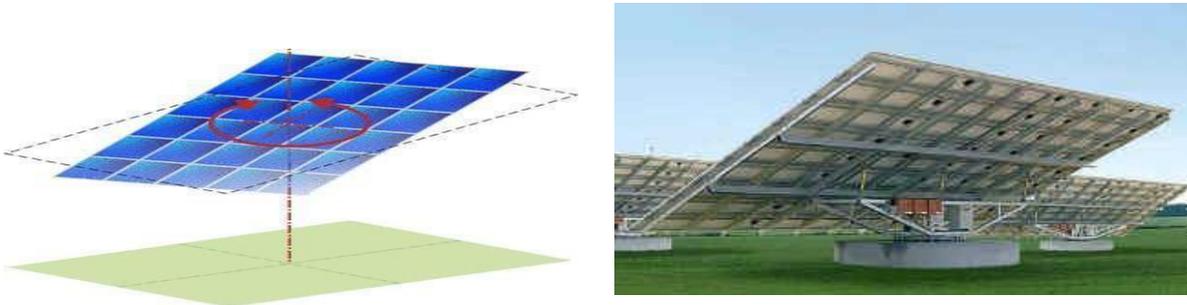


Figure III .21. Suiveur à 1axe vertical incliné

III .3.3.Suiveur à deux axes

Les suiveurs à deux axes permettent un gain d'environ 30% pour un GCR d'environ 10%. Ce type de suiveur est très imposant et visible de loin[16].



Figure III .22.Suiveur à deux axes ADES : modèle 5F-27 M

III .4.Mouvement du Globe terrestre

La terre décrit autour du soleil une orbite elliptique quasi circulaire avec une période de 365,25 jours. Le plan de cette orbite est appelé plan de l'écliptique. C'est au solstice d'hiver(21 Décembre) que la terre est la plus proche du soleil, et au solstice d'été (22 Juin) qu'elle en est la plus éloignée. La terre tourne sur elle-même avec une période de 24h. Son axe de rotation(l'axedes pôles) a une orientation fixe dans l'espace. Il fait un angle $\delta = 23^{\circ}27'$ avec la normale au plan de l'écliptique [16]

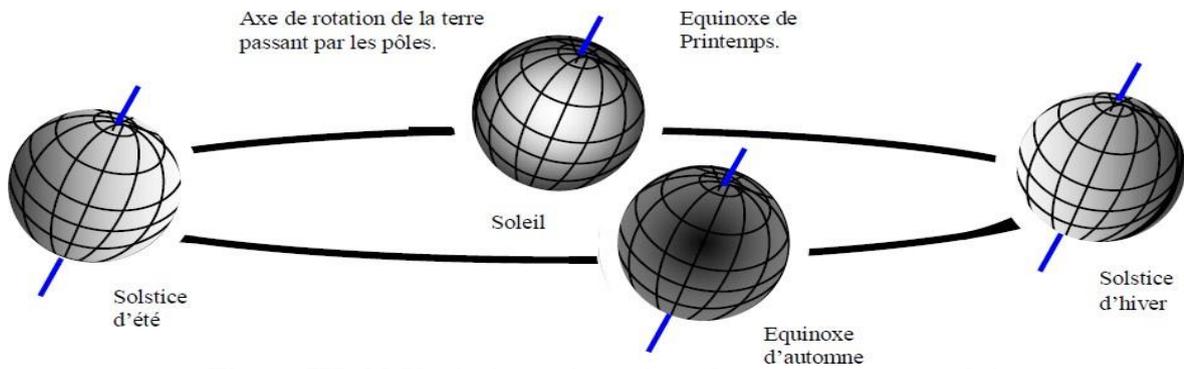


Figure III .23. Variation saisonnière du rayonnement solaire

III .5. Les différents systèmes de la production électrique

Le diagramme comparatif de production électrique (Figure III .24) montre pour une journée ensoleillée d’été, le gain de production électrique obtenu en passant d’une installation fixe à une installation équipée d’un suiveur de trajectoire solaire. Les principales caractéristiques différenciant les suiveurs sont les suivantes [16] :

- ❖ Le gain en production électrique (par rapport à des panneaux solaires fixes).
- ❖ L'orientation mono ou multi axiale.
- ❖ La précision du positionnement vis-à-vis du soleil (type d'asservissement).
- ❖ La robustesse (tenue au vent) et la fiabilité.
- ❖ Le coût.

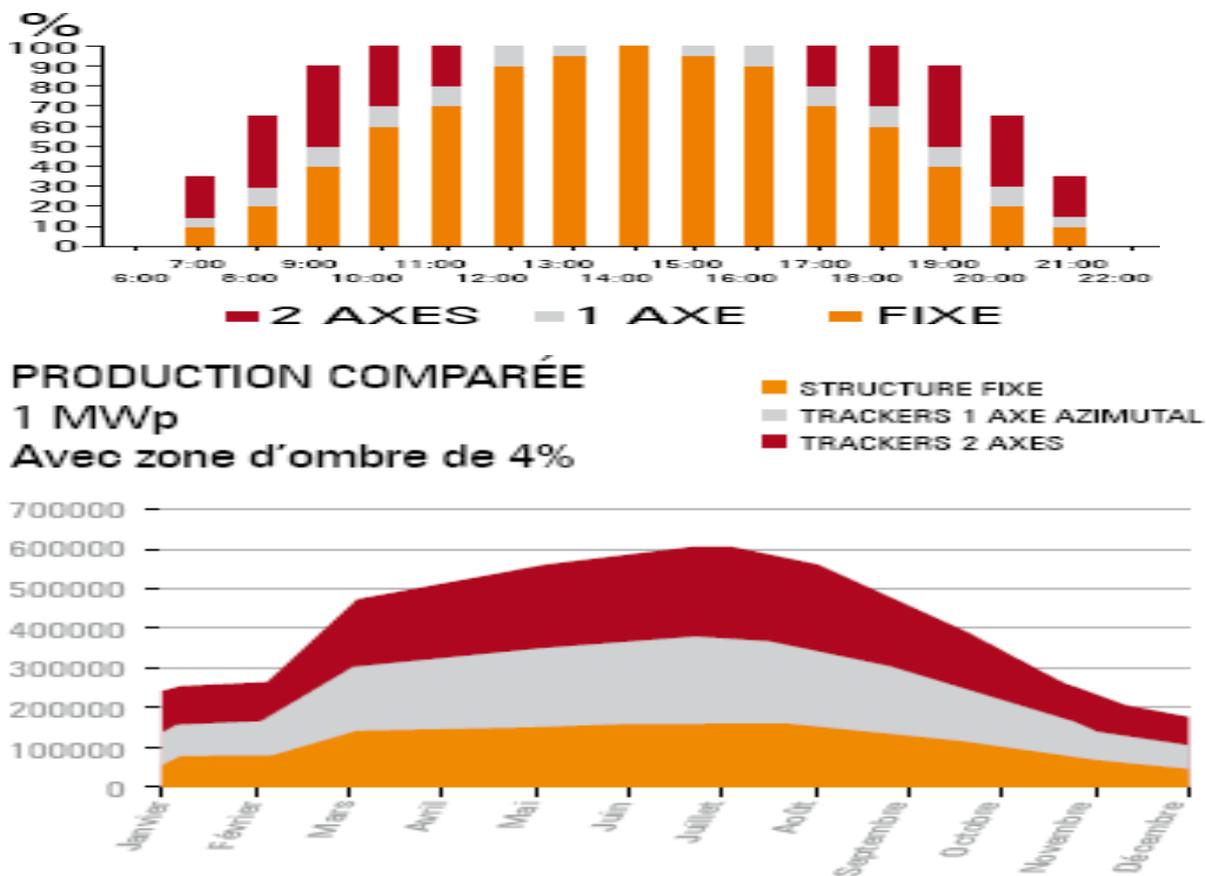


Figure III .24. Production électrique [JAG, 2013&MEC,2013]

III .6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné une généralité sur la Système de suiveur solaire, les types de suiveur, et comparation Les différents systèmes de la production électrique.

Chapitre IV

Modélisation de suiveur de soleil

IV.1.Introduction

Dans cette phase du travail, on expose la partie réalisation ou modélisation motif plus important dans chaque recherche scientifique.

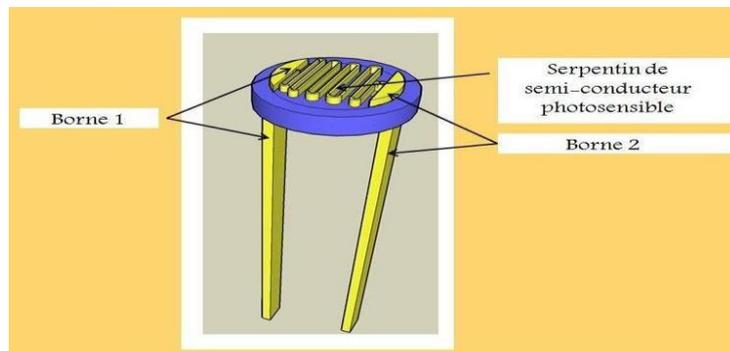
Le système suiveur réalisé est composé d'une structure mécanique cette dernière faite pour supporter le panneau solaire et le diriger au sens du rayonnement perpendiculaire du soleil sur deux axes l'un horizontale et l'autre vertical, ainsi d'une partie électronique : capteurs solaires avec une carte microcontrôleur « Arduino » suivis des actionneurs qui sont dans ce cas deux moteurs électriques de type pas à pas. Le système d'orientation est basé sur la programmation en logiciel Arduino du déplacement du panneau solaire à des intervalles limites (entre lever et coucher de soleil) conformément à la trajectoire du soleil durant la journée de manière à garder la surface active du panneau perpendiculaire aux radiations solaires (angle d'incidence nulle)

IV.2. Etude des différents blocs

IV.2.1 Phase Commande

IV.2.1.1 Capteurs solaires LDR (Photorésistance)

Définition: La photorésistance (également appelée résistance, photo-dépendante ou cellule photoconductrice) est un composant électronique dont la résistivité varie en fonction de la quantité de lumière incidente : plus elle est éclairée, plus sa résistivité baisse [17].



FigureIV.25.La LDR

Lorsque le photon incident est suffisamment énergétique, la production du pair électron trou est d'autant plus importante que le flux lumineux est intense. La résistance évolue donc comme l'inverse de l'éclairement selon la relation suivante :

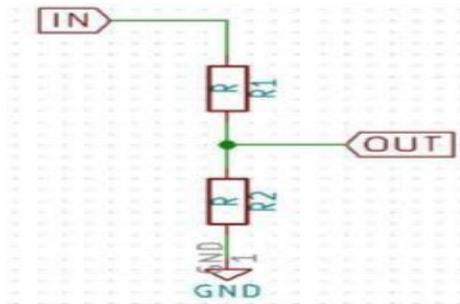
$$R(E) = K \cdot E^{-y} \dots\dots\dots$$

Avec E : éclairement.

y : est une valeur numérique comprise entre 0,5 et 1.

K : est une constante dépendant du matériau, de la température, de la nature spectrale du rayonnement reçu.

De plus, une photorésistance est sensible à la chaleur et réagit différemment en fonction des couleurs. La mesure sera donc légèrement différente s'il fait très chaud ou très froid. De même, la valeur mesurée sera différente en fonction de la couleur de lumière. Dans notre application le branchement du capteur se fait par un diviseur de tension figure III.2



FigureIV.26. Le capteur LDR de diviseur de tension

La tension de sortie aux bornes de la résistance R2 est donnée par la relation suivante :

$$V_{out} = V_{in} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \dots\dots\dots$$

Avec : V_{in} : Tension d'alimentation du capteur

$R_2 = R_{LDR}$: résistance de la LDR

V_{out} : Tension de la sortie du capteur (dépend de la lumière)

IV.2.1.2. Application de la Photorésistance

- Des détecteurs de flammes qui sont des photorésistances à détection d'infrarouges ou d'UV. À savoir que seule une forte fumée cause une inhibition du capteur UV et que la foudre ou une soudure peut le déclencher accidentellement. Pour la photorésistance à infrarouges, la présence de vapeur d'eau atténue fortement sa sensibilité.
- Des détecteurs de présence se déclinent sous deux principes différents. Un premier détectant l'augmentation du flux induit par la présence d'un corps dans le champ (principalement des capteurs à infrarouges), le second détectant la diminution du flux induit par l'ombre du corps présent dans le champ du capteur qui est plus limité que celui à infrarouges (détection dans le visible et capteur LDR plus directif).
- Les récepteurs infrarouges permettent de faire communiquer deux appareils sans contact. L'un des appareils possède un émetteur infrarouge et le second la photorésistance.
- Les détecteurs à UV qui permettent de mettre en évidence toute source d'UV et ainsi asservir la source ou détecter une fuite par exemple.
- L'allumage des lumières lorsque la luminosité diminue (éclairage public ou domestique).
- La mesure de la luminosité extérieure dans les appareils photographiques ou les ordinateurs [17].

IV.2.2.Circuit de Commande

IV.2.2.1.La carte Arduino

IV.2.2.1.Définition

Une carte Arduino est une petite (5,33 x 6,85 cm) carte électronique équipée d'un microcontrôleur. Le microcontrôleur permet, à partir d'événements détectés par des capteurs, de programmer et commander des actionneurs ; la carte Arduino est donc une interface programmable présente par la figure IV.27 [18].



Figure IV.27.présentation (capteurs +actionneurs) de la carte Arduino

Le système Arduino donne la possibilité d'allier les performances de la programmation à celles de l'électronique. Plus précisément, pour programmer des systèmes électroniques. Le gros avantage de l'électronique programmée c'est qu'elle simplifie grandement les schémas électroniques et par conséquent, le coût de la réalisation, mais aussi la charge de travail à la conception d'une carte électronique [18].

Le mot Arduino = 1 carte à microcontrôleur + 1 outil de développement + 1 communauté active

Le logiciel et le matériel sont open-source présent par la figure ,Figure IV .28 [19].



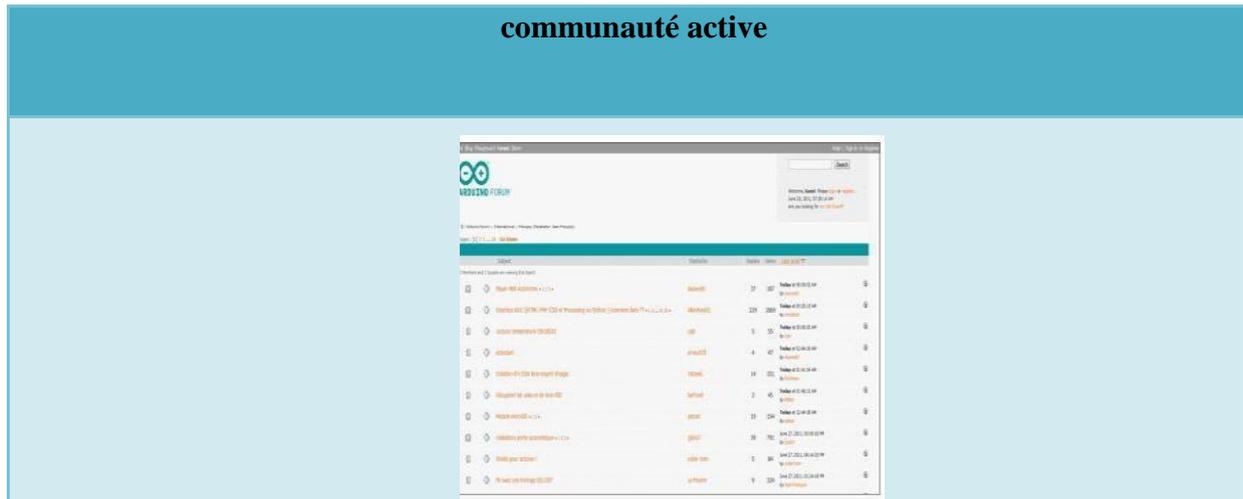


Figure IV .28. Structures principales du système Arduino

IV.2.2.2. Constitution de la carte Arduino

La carte Arduino est composée de deux parties principales :

Le matériel et le logiciel.

IV.2.2.3. Le matériel

Il s'agit d'une carte électronique basée sur le microcontrôleur Atmega, dont le prix est relativement bas pour l'étendue possible des applications [20].

IV.2.2.3.1. Le microcontrôleur

Il va recevoir le programme et le stocker dans sa mémoire puis l'exécuter.

IV.2.2.3.2. Alimentation

Pour fonctionner, la carte a besoin d'une alimentation. Le microcontrôleur fonctionnant sous 5V, la carte peut être alimentée en 5V par le port USB ou bien par une alimentation externe qui est comprise entre 7V et 12V. Cette tension doit être continue et peut être par exemple fournie par une pile de 9V.

IV.2.2.3.2. Visualisation

Les trois "points blancs" entourés en rouge sont des LED dont la taille est de l'ordre du millimètre. Ces LED servent à deux parties :

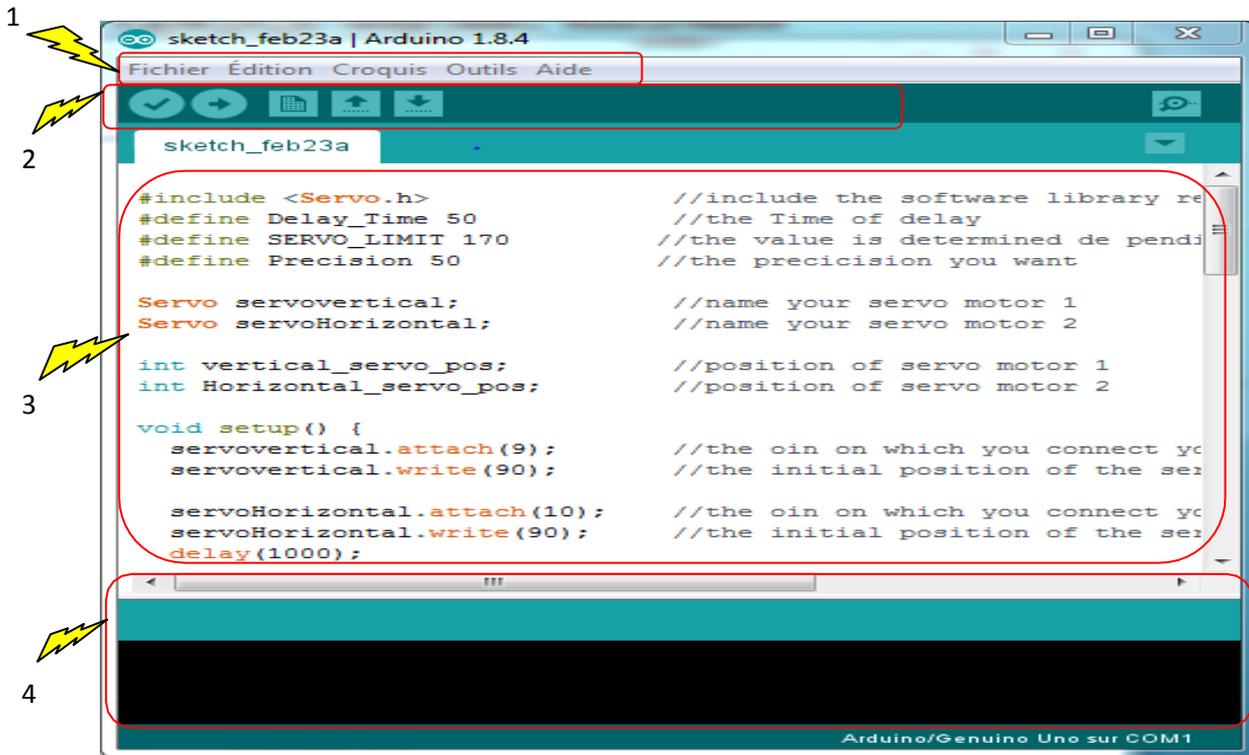
- Celle tout en haut du cadre : elle est connectée à une broche du microcontrôleur et va servir pour tester le matériel.
- Les deux LED du bas du cadre : servent à visualiser l'activité sur la voie série (une pour l'émission et l'autre pour la réception). Le téléchargement du programme dans le microcontrôleur se faisant par cette voie, on peut les voir clignoter lors du chargement.

IV.2.2.4. Le logiciel

Le logiciel permet de programmer la carte Arduino. Il offre une multitude de fonctionnalités [20].

IV.2.2.4.1. L'interface

L'interface du logiciel Arduino se présente de la façon suivante :



FigureIV.29. L'Interface du logiciel Arduino

1. options de configuration du logiciel
2. boutons pour la programmation des cartes
3. programme à créer
4. débogueur (affichage des erreurs de programmation)

IV.2.2.4.2. Le langage Arduino

Le projet Arduino était destiné à l'origine principalement à la programmation multimédia interactive en vue de spectacle ou d'animations artistiques. C'est une partie de l'explication de la descendance de son interface de programmation de Processing.

Processing est une librairie java et un environnement de développement libre.

Le logiciel fonctionne sur Macintosh, Windows, Linux, BSD et Android.

IV.2.2.4.3. Références utilisées

- Le langage Java.
- Le langage C.
- L'algorithmique

Cependant, le projet Arduino a développé des fonctions spécifiques à l'utilisation de la carte qui ont été listées ci-dessous. Vous obtiendrez la description de chacune d'elles dans le manuel de référence.

Structure	Constants	Functions
<ul style="list-style-type: none"> • voidsetup(){.... } • voidloop(){.....; } 	<ul style="list-style-type: none"> • HIGH,LOW • INPUT, OUTPUT, INPUT_PULLUP • LED_BUILTIN 	<p>E/S numérique</p> <ul style="list-style-type: none"> • pinMode() • digitalWrite() • digitalRead() <p>E/S analogique</p> <ul style="list-style-type: none"> • analogReference() • analogRead() • analogWrite() -PWM <p>E/S avancée</p> <ul style="list-style-type: none"> • tone() • noTone() • shiftOut() • shiftIn() • pulseIn() <p>Temps</p> <ul style="list-style-type: none"> • millis() • micros() • delay() • delayMicroseconds() <p>Bits et octets</p> <ul style="list-style-type: none"> • lowByte() • highByte() • bitRead() • bitWrite() • bitSet() • bitClear() • bit() <p>Interruptions externes</p> <ul style="list-style-type: none"> • attachInterrupt() • detachInterrupt() <p>Interruptions</p> <ul style="list-style-type: none"> • interrupts() • noInterrupts() <p>Communication</p> <ul style="list-style-type: none"> • Serial • Stream

Tableaux IV .6. Les fonctions spécifiques de langage d'Arduino

IV.2.2.5. types de cartes artificielle

- Les « officielles » qui sont fabriquées en Italie par le fabricant officiel : Smart Project.
- Les « compatibles » qui ne sont pas fabriqués par Smart Projects, mais qui sont totalement. Compatibles avec les Arduino officielles.
- Les « autres » fabriquées par diverse entreprise et commercialisées sous un nom différent (Freeduino, Seeduino, Femtoduino, ...) La carte Arduino est équipé d'un microcontrôleur. Le microcontrôleur est un composant [20].

IV.2.2.6. Microcontrôleur de la carte Arduino

Les cartes Arduino font partie de la famille des microcontrôleurs. Un microcontrôleur est une petite unité de calcul accompagné de mémoire, de ports d'entrée/sortie et de périphériques permettant d'interagir avec son environnement. Parmi les périphériques, on recense généralement des Timers, des convertisseurs analogique-numérique, des liaisons Séries, etc. On peut comparer un micro contrôleur à un ordinateur classique, mais système d'exploitation et avec une puissance de calcul considérablement plus faible.

Les microcontrôleurs sont inévitables dans les domaines de l'informatique embarquée, de l'automatique et de l'informatique industrielle. Ils permettent de réduire le nombre de composant et de simplifier la création de cartes électroniques logiques [21].

IV.2.3. Les différents type d'Arduino

IV.2.3.1. La carte Arduino UNO

C'est la carte idéale pour découvrir l'environnement ARDUINO. Elle permet à tout débutant de se lancer dans tous ses premiers petits projets. Comme c'est la carte la plus utilisée, il est très facile de se référer aux tutoriels très nombreux sur le net et ainsi de ne pas rester seul dans son exploration.

IV.2.3.2. La carte Arduino Lenardo

C'est la carte qui est prévue pour succéder à la carte ArduinoUno en présentant des caractéristiques équivalentes mais une ergonomie revue et une stabilité plus éprouvée. Sa diffusion moins importante limite le support utilisateur disponible sur le net.

IV.2.3.3. La carte Arduino Mega

La carte Arduino Mega est la carte la plus diffusée après la carte Arduino Uno.

Elle offre un nombre d'entrées/sorties beaucoup plus important (54 contre 14), un processeur plus puissant doté d'une mémoire plus vaste qui permet d'exploiter des algorithmes plus complexes.

IV.2.3.4. La carte Arduino Due

La carte Arduino Due est une évolution de la carte Arduino Mega et offre des performances réputées 3 fois supérieures. Elle permet de manipuler rapidement des algorithmes lourds particulièrement utiles dans le monde de la robotique par exemple.

II.1.3.5. La carte Arduino MiniPro

La carte arduino Mini Pro est une carte Arduino Uno simplifiée à l'extrême permettant néanmoins de piloter de petits projets ou certains éléments d'un projet. Attention, cette carte n'intègre pas de port USB ce qui rends sa connectivité délicate.

IV.2.4. Le Choix de la carte Arduino

La diversité des cartes (UNO, DUE et MEGAetc.) disponibles sur le marché pose le problème du choix approprié pour une application donnée. Pour le bon choix d'une il faut connaitre :

- Le nombre des ports I/O qu'on a besoin pour notre application.
- La vitesse de travaille maximale et minimale du microcontrôleur intégré.
- La nature et la capacité de la mémoire programme.
- La mémoire RAM (pour les calculs intermédiaires du microcontrôleur).
- La mémoire EPROM pour la sauvegarde de certaines données lors d'une coupure de source d'alimentation.
- Le prix de la carte par rapport au prix de l'application.
- La disponibilité du microcontrôleur choisi sur le marché.

Nous choisirons d'utiliser la carte portant le nom de «Tableaux 1. les fonctions spécifiques de langage d'Arduino UNO».

IV.2.4.1 La Carte Arduino UNO

Types de cartes, j'ai commencé avec une carte Arduino UNO (carte basique, au Il existe plusieurs dimensions voisines de celle d'une carte bancaire).



Figure IV.30. la carte Arduino UNO

IV.2.4.2. Caractéristiques de la carte Arduino Uno

Les éléments	Caractéristique
Microcontrôleur	ATmega328
Tension d'alimentation interne	5V
tension d'alimentation (recommandée)	7 à 12V, limites =6 à 20 V
Entrées/sorties numériques	14 dont 6 sorties PWM
Entrées analogiques	6
Courant max par broches E/S	40 mA
Courant max sur sortie 3,3V	50mA
Mémoire Flash	32 KB dont 0.5 KB utilisée par le bootloader
Mémoire SRAM	2 KB
mémoire EEPROM	1 KB
Fréquence horloge	16 MHz
Dimensions	68.6mm x 53.3mm

Tableaux IV.7. Caractéristique de la carte Arduino UNO

IV.2.5. La résiliation de la carte Arduino

Pour faire des montages électriques rapidement, on utilise une platine d'expérimentation appelée breadboard dans laquelle on peut planter des fils ou des composants sans avoir besoin de soudure. Ces platines contiennent deux bandes latérales de chaque cote, qu'on réserve en général aux tensions d'alimentation (0 V et 5 V). La partie centrale est séparée en deux bandes distinctes (voir les connections cachées qui relient les différentes entrées du breadboard ci-dessus).

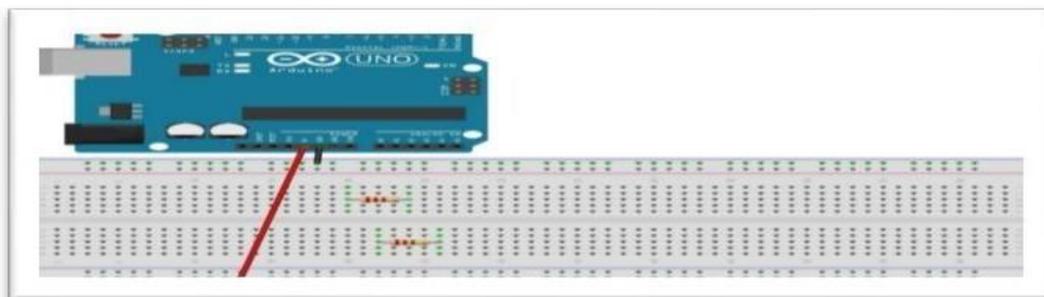


Figure IV.31. La résiliation entre la carte Arduino et plaque

IV.2.6. Les utilisations Le système Arduino

- contrôler les appareils domestiques
- fabriquer votre propre robot
- faire un jeu de lumières
- communiquer avec l'ordinateur
- télécommander un appareil mobile (modélisme)

IV.3. partie mécanique

La mobilisation du suiveur solaire exige l'activité de deux moteurs pas à pas bipolaire l'un pour une rotation horizontale (azimutale) dans les directions « Est et Ouest » et l'autre pour une rotation verticale (élévation) aux sens « nord et sud ».

La commande des deux moteurs est effectuée à l'aide d'un programme exécuté au niveau de la carte Arduino qui reçoit des signaux électriques émis par le capteur lumineux composé des trois photorésistances. Au niveau des sorties actives de la carte les signaux traversent le circuit de puissance, et après leur amplification ils agissent directement sur les deux moteurs pour leur permettre de tourner horizontalement et verticalement selon deux sens pour chacun.

IV.3.1. Le Moteur Electrique

Un moteur électrique est une machine électromécanique capable de transformer l'énergie électrique en énergie mécanique. Le moteur électrique crée un mouvement de rotation (énergie mécanique) grâce à de l'énergie électrique, ce moteur est composé d'un rotor et d'un stator. Le stator abrite un champ magnétique créé par deux aimants, l'électricité est ensuite conduite au rotor. L'électricité arrivant dans le rotor par le conducteur additionné au champ magnétique générant une force qui fera tourner les bobines. On obtient ainsi un mouvement rotatif. Un réducteur peut être ajouté pour modifier la vitesse de rotation. Plus la vitesse de rotation est réduite, plus le couple de sortie augmente.

Il existe de nombreux types des moteurs électrique on peut citer : les moteurs à courant continu, les moteurs à courant alternatif, les moteurs pas à pas et les moteur linéaire, notre choix est fait pour les moteurs pas à pas pour une question de précision.

IV.3.1.1. Moteur à courant continu

Le moteur à courant continu est alimenté par des piles, des batteries ou par du courant continu produit par une dynamo ou, très couramment de nos jours, par un alternateur muni d'un dispositif redresseur de courant.

IV.3.1.2. Moteur à courant alternative

Il existe trois types de moteurs à courant alternatif :

- les moteurs universels;
- les moteurs synchrones;
- les moteurs asynchrones.

IV.3.1.3. Moteur pas à pas:

Définition:

Le moteur pas à pas « inventé en 1936 par Marius Lavet » est un moteur à courant continu qui tourne en fonction des impulsions électriques reçues dans ses bobinages. Un "pas" est une unité de décalage angulaire. Selon sa construction, un moteur pas à pas peut avancer de 90°, 45°, 18°, ou d'une fraction de degré seulement par impulsion. En faisant varier la fréquence des impulsions, on peut faire tourner le moteur très lentement, d'un pas à la fois, ou rapidement à des vitesses aussi élevées que 4000 r/min [17].

Ces impulsions sont généralement initiées par un microprocesseur ou par un ordinateur. Les impulsions « horaires » (+) et « anti-horaires » (-) sont comptées et enregistrées par l'ordinateur. Il avance d'un seul pas lorsque le sens du courant dans une des bobines change de sens. Il fonctionne grâce à l'attraction d'une masse polaire (le rotor) par un champ magnétique. Le rotor tourne en sens inverse de la rotation du champ, et moins vite que le champ (selon le nombre de ses pôles).

Il remplace avantageusement un moteur synchrone classique. En effet la vitesse ne pourrait pas varier dans de grandes proportions, et l'électronique de commande est plus complexe et plus difficile à utiliser. Un moteur synchrone peut être alimenté au secteur (220 V - 50 Hz) par l'intermédiaire d'un variateur. Au contraire un moteur pas à pas permet de faire varier la vitesse dans de grandes proportions, est plus stable et précis, et certains peuvent se contenter d'une tension continue faible, bien plus facile à trouver (batterie) sur le terrain.

IV.3.2 Applications

- La traction des robots mobiles.
- Horlogerie (moteurs de type Lavet ou variantes, monophasés à aimants) ,,
- Péri-informatique : avance des têtes de lecture de disques mémoire (dans les disques durs actuels, on utilise des actionneurs à bobine mobile plus rapides) imprimantes, scanners, machines à écrire... ,,
- Distributeurs automatiques (billets de banques, boissons)
- Tables de positionnement X Y, scanners médicaux.
- Accessoires automobiles.
- Orientation d'antennes.
- Certains appareils photos et caméscopes.

IV.3.3. Conclusion

Dans ce chapitre on fait une étude pratique sur le choix des moteurs, la commande des moteurs en simulation du code d'Arduino. Quant à la réalisation pratique le choix du type de LDR (photorésistance) et le placement des différentes parties du montage en assemblage avec la carte d'Arduino nous à donner une grande expérience bien démonstrative.

Chapitre V

Réalisation d'un système de suiveur du soleil

V.1.Introduction

Dans ce chapitre, on présentera une vue d'ensemble du dispositif expérimental que nous avons réalisé «Suiveur Solaire Bi-axial à Base de capteurs de lumière».

Ce système est constitué d'une partie mécanique qui sert à supporter le panneau et le diriger vers le rayonnement perpendiculaire du soleil et également une partie électronique constituée des capteurs solaires, une carte microcontrôleur « Arduino » et des moteurs électriques.

V.2.Schéma Synoptique

Le schéma synoptique général de notre suiveur du soleil est présenté par la figure V.1.

Que nous proposons pour améliorer le rendement du panneau photovoltaïque.

Ce système est basé sur la comparaison des tensions délivrer par des capteurs photovoltaïques et d'envoyer ces tensions ver la carte Arduino. Elles vont être converti dans cette dernière en valeur numérique puis on fait la comparaison et gère la commande des deux moteurs à fin de rétablir la position d'équilibre entre les capteurs pour avoir un grand rendement.

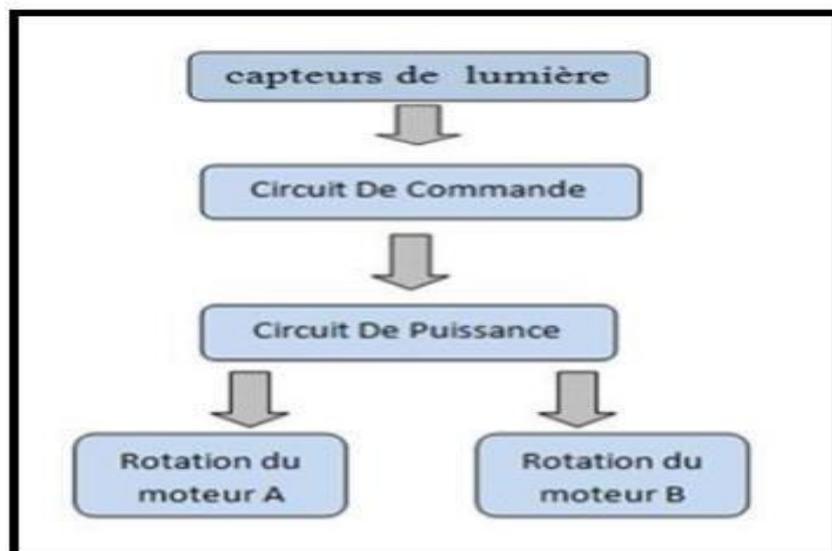


Figure V.1. Schéma synoptique de notre suiveur du soleil

V.3. Etude des différents blocs du suiveur

V.3.1. Les capteurs de lumière

Le capteur qu'on a utilisé est la photorésistance ou LDR. C'est un composant dont la valeur de sa résistance (en Ohms) dépend de la lumière à laquelle elle est exposée [22]. En effet, sa résistance varie en fonction du flux lumineux incident, elle est inversement proportionnelle à la lumière reçue. Le choix s'est porté sur cette dernière vu que son temps de réponse est beaucoup plus court par rapport à la photodiode.

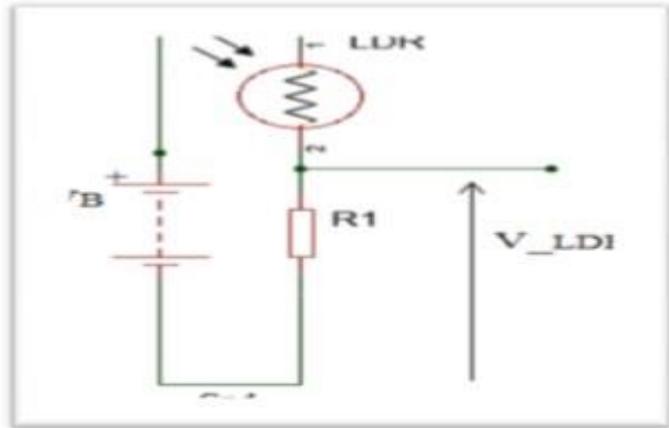
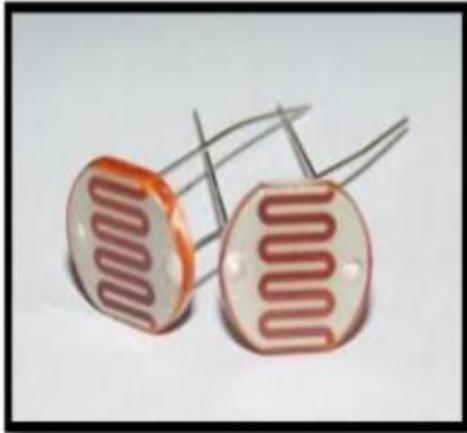


Figure V.2. Photorésistance LDR Figure V.3. Circuit équivalent du capteur LDR

V.3.2. Le circuit de commande

Le circuit de commande de notre système est basé complètement sur un circuit programmable dit Arduino, l'avantage de ce dernier est de minimiser la surface des cartes électroniques donc on minimise l'utilisation des quantités des composants électroniques.

V.3.2.1. La carte Arduino Uno

L'Arduino UNO est une carte microcontrôleur basée sur le ATmega328. Elle est dotée de 14 broches Entrées/Sorties numériques dont 6 en PWM et 6 configurables en entrées analogiques, d'un oscillateur à quartz 16 MHz, d'une connexion USB, d'un jack d'alimentation, d'un support ICSP et d'un bouton reset. La carte Arduino UNO est livrée prête à fonctionner, il suffit de la connecter à un ordinateur par le câble USB et de l'alimenter à l'aide d'un adaptateur USB ou de piles [23].

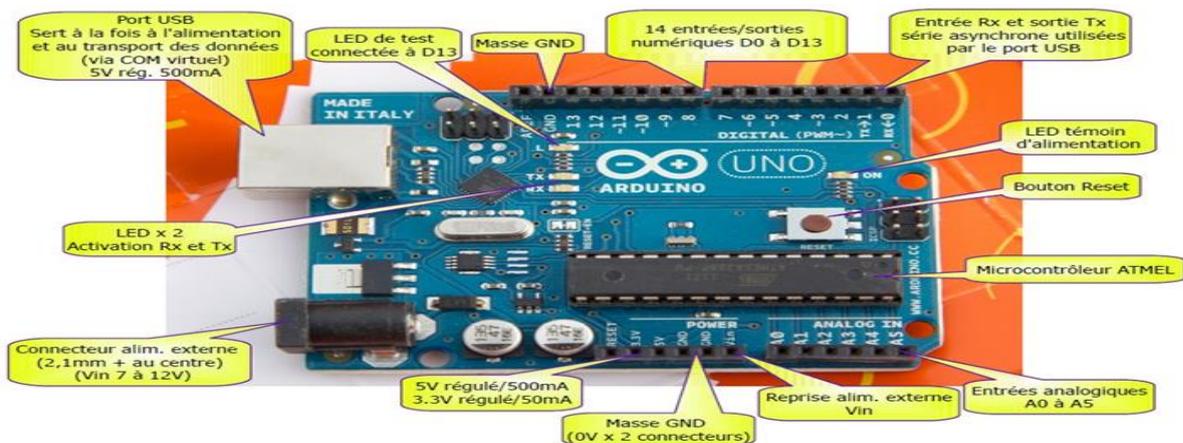


Figure V.4. La carte Arduino

V.3.2.2. Câble USB:

Le câble USB est utilisé pour l'alimentation de la carte Arduino et la connexion avec l'ordinateur.

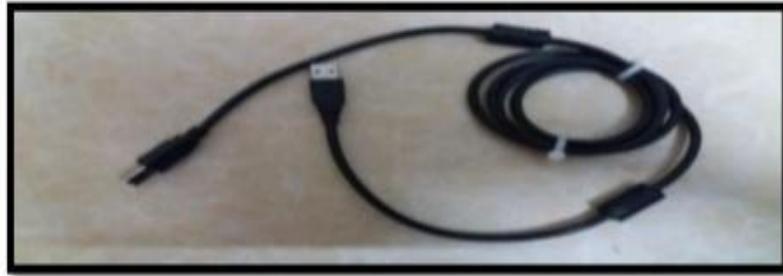


Figure V.5. Câble USB type A/B (Arduino UNO)

Le câble USB permet à la fois d'alimenter un projet Arduino, de programmer la carte (via Arduino IDE) mais aussi d'utiliser le Moniteur Série [24].

V.3.2.3. Fils de Pin d'Arduino:

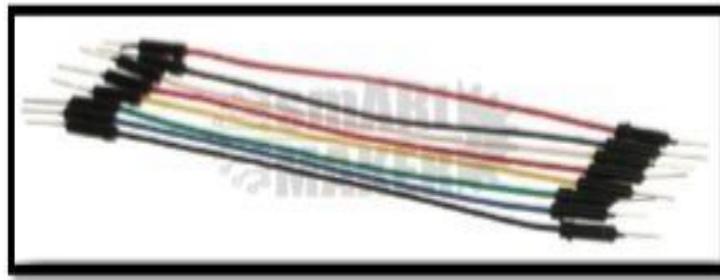


Figure V.6. Fils de pin d'Arduino

Ces fils males sont utilisés pour brancher et connecter l'Arduino avec d'autre pièce et pour les tests. La plaque d'essai est un dispositif qui permet de réaliser le prototype d'un circuit électronique elle est utilisé dans la plupart des expériences d'Arduino.

V.3.3. Circuit de puissance

V.3.3. 1. Les moteurs à courant continu

Un moteur à courant continu est une machine électrique. Il s'agit d'un convertisseur électromécanique permettant la conversion bidirectionnelle d'énergie entre une installation électrique parcourue par un courant continu et un dispositif mécanique, selon la source d'énergie.

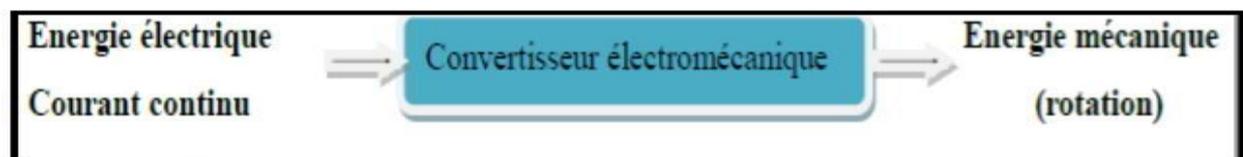


Figure V.7. Principe de fonctionnement du MCC

V.4. Plan de travail

Après avoir décrit la partie matérielle (hardware) de notre système, nous sommes arrivés à la partie la plus importante de notre travail qui est la conception et la réalisation du système suiveur.

Les étapes principales de notre réalisation se décomposent en quatre parties principales :

- ✓ Partie de programmation
- ✓ Partie de simulation
- ✓ Partie électrique
- ✓ Partie mécanique

Alors que nous avons réalisé le système, il faut l'incarnation du travail pratique.

V.4.1. Partie de programmation

V.4.1.1. L'organigramme

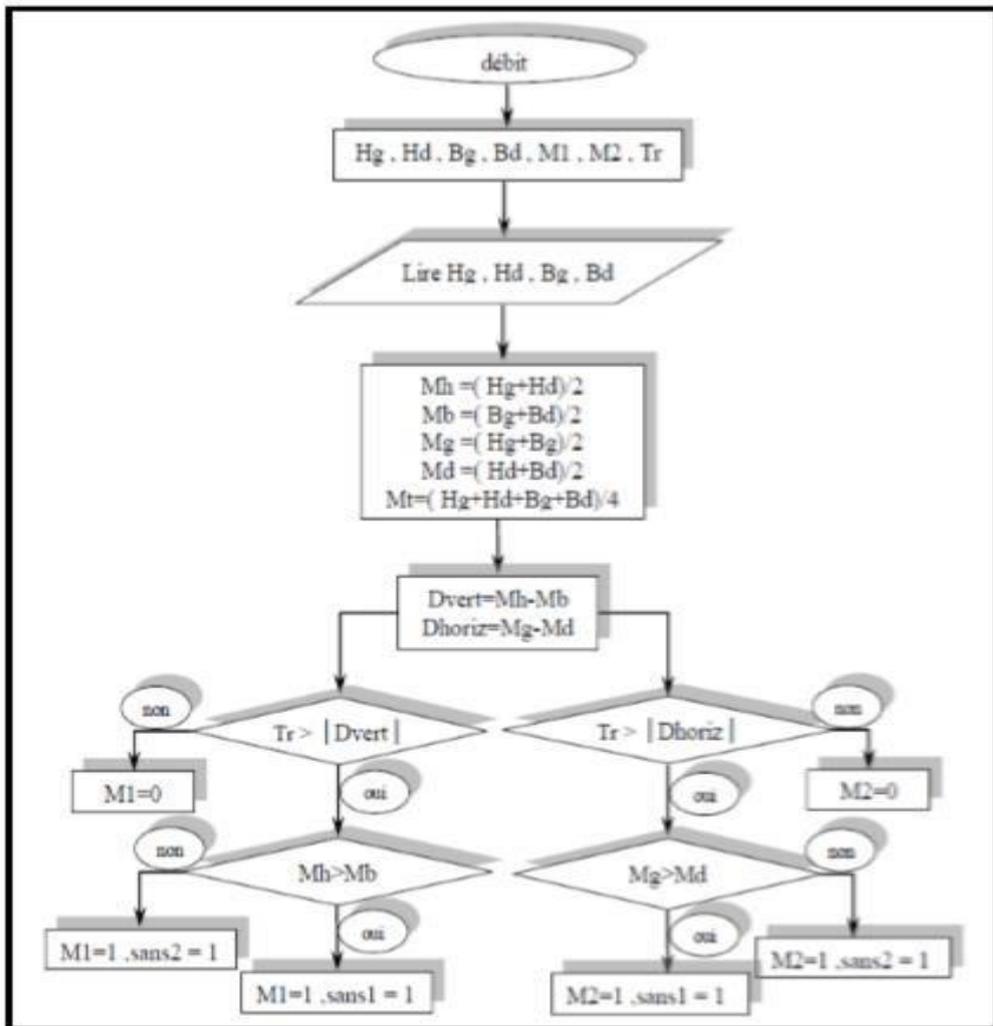


Figure V.8. Organigramme Principal

V.4.1.2. Programmation

La carte Arduino Uno est une carte programmable, elle peut être programmée avec le logiciel Arduino qui représenté dans la figure V.8, Nous avons préféré de photographier l'interface du logiciel Arduino dans laquelle nous avons simulé notre programme.



```

solar_traker
/*
  TESTE DO SEGUIDOR COM SENSOR DE LOCALIZAÇÃO DO SOL

  este teste foi retirado do domínio publico e foi adaptado á função do seguidor

  as ligações do relé aos motores devem seguir esta ordem:
  Negativo N-S - relé 1 (-)
  Positivo N-S - relé 2 (+)
  Positivo E-O - relé 3 (+)
  Negativo E-O - relé 4 (-)

  Este programa inclui um botão para ser accionado manualmente para
  o seguidor entrar em posição neutra.
*/

// LDR pin connections
// name = analogpin;
int ldrlt = 0; //LDR top left  ///?????/// Use the names A0, A1, A2, and A3 when talking about analog inputs
int ldrrt = 1; //LDR top right  ///?????/// Use the names A0, A1, A2, and A3 when talking about analog inputs
int ldrlb = 2; //LDR down left  ///?????/// Use the names A0, A1, A2, and A3 when talking about analog inputs
int ldrrb = 3; //LDR down right  ///?????/// Use the names A0, A1, A2, and A3 when talking about analog inputs

//digital pins
///?????/// Use "const int NS1 = 2;" in place of "#define NS1 2" to allow the compiler to better check for errors
#define NS1 4 // NS1 = Norte-Sul + numero do relé + pin
#define NS2 5 // NS2 = Norte-Sul + numero do relé + pin
#define EO3 6 // EO3 = Este-Oeste + numero do relé + pin
#define EO4 7 // NS4 = Este Oeste + numero do relé + pin

//Botao para colocar o seguidor em posição neutra

```

Figure V.9. Interface du Partie de programmation dan logiciel Arduino

V.4.2. Partie de simulation

La simulation de notre schéma globale a été fait à l'aide du logiciel PROTEUS-ISIS qui permet de tester et récupérer en temps réel les résultats de simulation. La figure V.9, présente notre schéma de simulation.

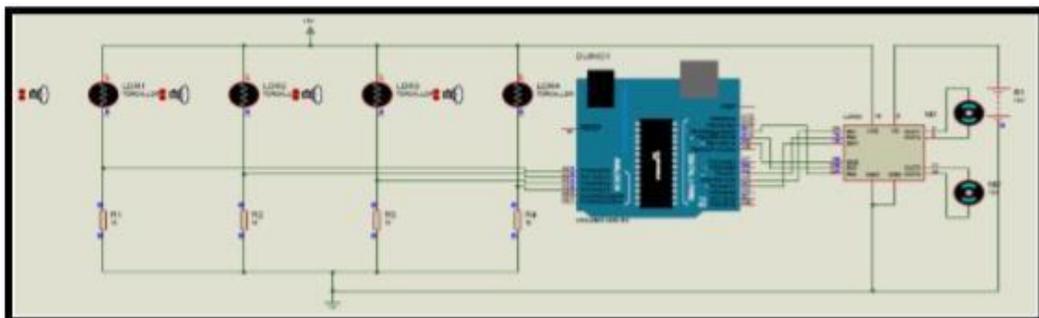


Figure V.10. Montage du système sous le logiciel Proteus-ISIS

V.4.3. Partie électrique

Le schéma global du système de suiveur est montré par la figure V.10. Où le schéma du circuit électrique de ce système est présenté par la figure V.11.

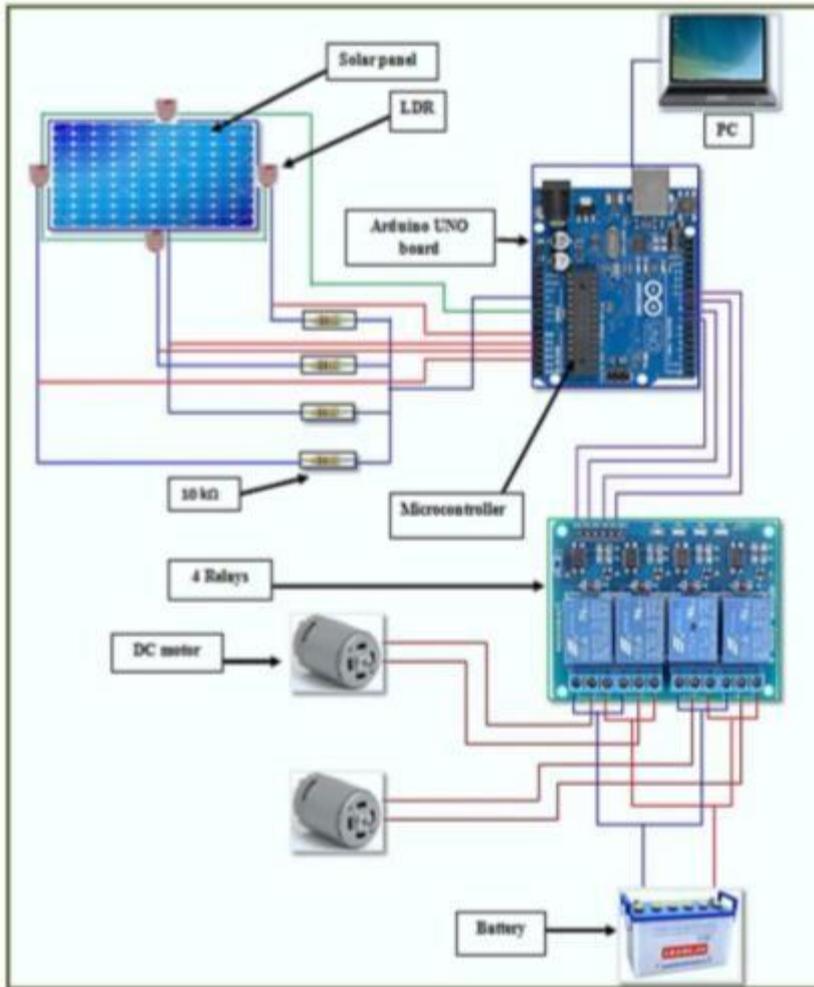


Figure V.11. Plan de réalisation du système suiveur

V.4.3.1. Test de photorésistance LDR

Nous avons réalisé cet essai en premier lieu en utilisant quatre LDR avec deux moteurs à CC. Chaque LDR représente un sens de rotation figure V.12. Cet essai nous permet de diriger le panneau photovoltaïque dans les quatre sens de rotation.

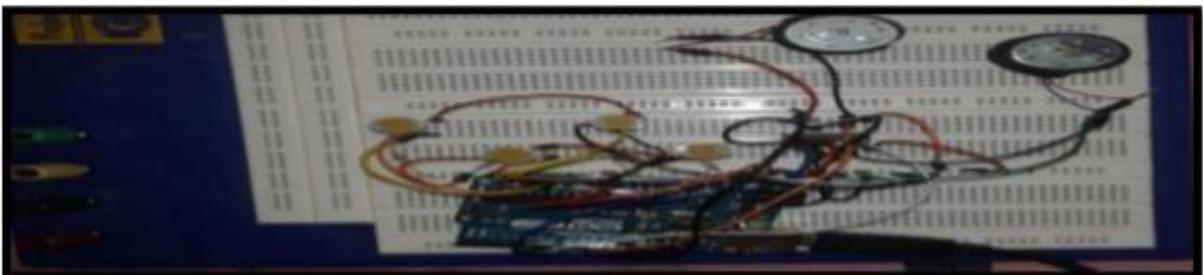


Figure V.12. Test de rotation de deux petits moteurs à CC

Pour le fonctionnement de notre model, nous avons placé quatre capteurs dans chaque position, pour cela, on a utilisé une buche de forme plus (+) pré-calculée, afin d'isoler les capteurs et pour couvrir toutes les directions et avoir une meilleurs précision.



Figure V.13. Schéma du prototype des photorésistances LDR

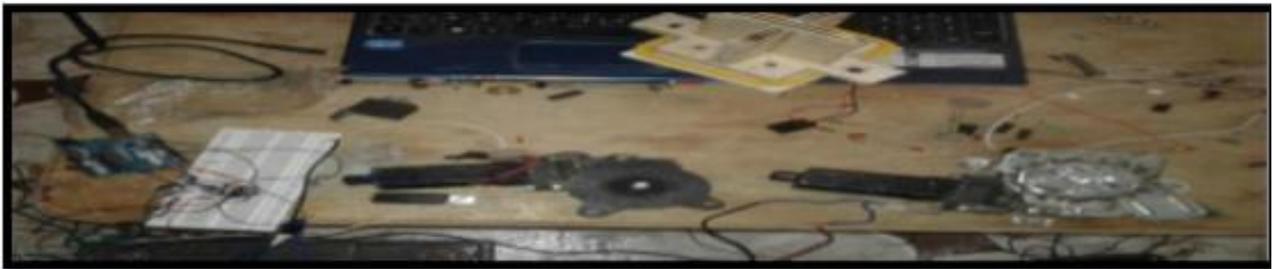


Figure V.14. Test de rotation de deux moteurs puissants à CC (à vide)

V.4.4. Partie mécanique

Pour que la production photovoltaïque soit maximale, les rayons provenant directement du soleil doivent avoir un angle d'incidence égal à 90° . Le pointage du panneau est donc optimal lorsque la normale au plan du panneau, en son centre, est dirigée vers le soleil.

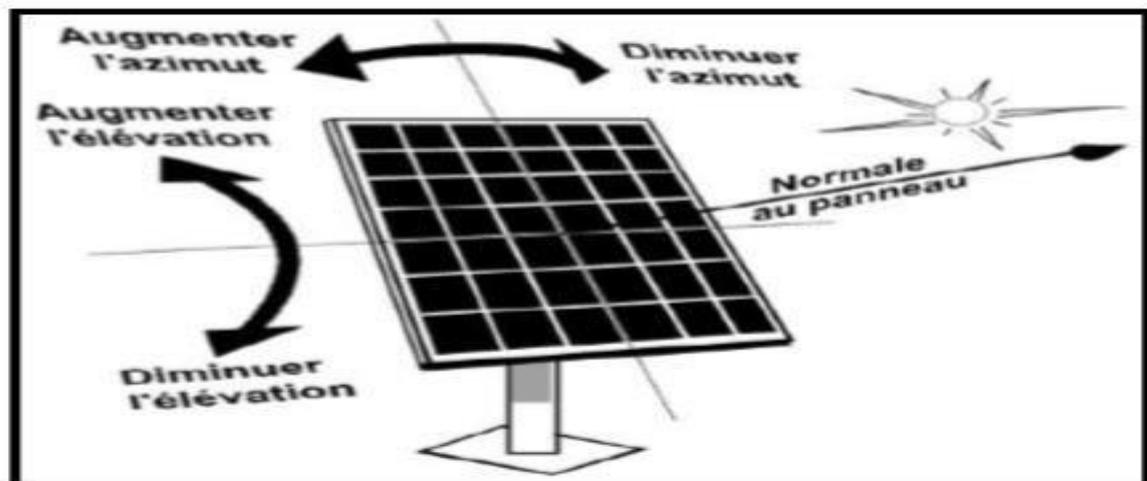


Figure V.15. Schéma de fonctionnement du suiveur

V.5. Type d'orientation

V.5.1. Orientation à un axe

Un moteur assure la rotation d'un arbre sur lequel est fixé le panneau. Cela donc permettra au panneau d'aller de l'est à l'ouest.



Figure. V.16. Orientation à un axe

V.5.2. Orientation à deux axes

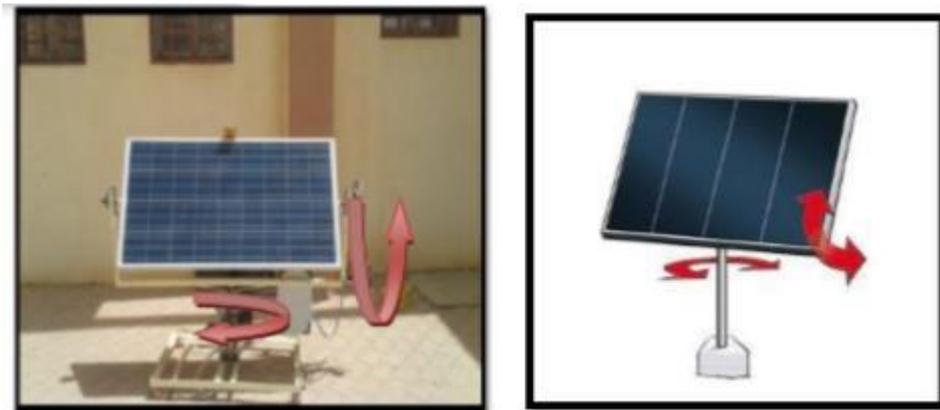


Figure V.17. Orientation à deux axes

V.6. Description de la structure

Notre structure mécanique est constituée de deux parties mobiles. Une partie sur l'axe horizontal pour la variation d'élévation du panneau par rapport au soleil et l'autre partie sur l'axe vertical pour la variation d'azimut du panneau.



Figure V.18. Notre suiveur du soleil

V.7. Conclusion

Dans cette partie, nous avons présenté les différents éléments constitutifs du dispositif que nous sommes amenés à réaliser, qui permet d'optimiser les performances d'un panneau PV et qui d'assurer un bon fonctionnement du panneau PV.

Conclusion Générale

Ce mémoire présenté une étude et une réalisation d'un Suiveur Solaire Bi-axial à Base de capteurs de lumière (LDR) à l'aide des composants électroniques programmable gérés par une carte Arduino.

Ce mémoire est composé de quatre chapitres principales :

- Dans le premier chapitre, nous avons présenté une les généralités sur le système photovoltaïque et son principe de fonctionnement.
- Le deuxième chapitre présente les cellules photovoltaïque, son principe de fonctionnement et ses types.
- Dans le troisième chapitre, nous avons présenté Les différents systèmes de suiveur solaire
- Le quatre chapitre présente, la modélisation de suiveur de solaire, aperçu général sur la carte Arduino UNO, son principe de fonctionnement et ses types.
- Dans le cinquième chapitre, nous avons présenté le travail pratique du notre suiveur qui décompose de quatre parties; partie de programmation, partie simulation, partie mécanique et partie électrique.

A la fin de ce projet et d'après les résultats de comparaison entre les deux panneaux photovoltaïques qui sont utilisés dans les deux cas; sans et avec suiveur, on constate que le cas "avec suiveur" montre un meilleure rendement énergétique que dans le cas "sans suiveur".

Bibliographe

- [1] M. Med Nadjib, H. Charaf Eddine, “ Modélisation Et Simulation D'un Système Photovoltaïque En Fonctionnement Autonome Et Connecté Au Réseau”, Mémoire Master, Université KasdiMerbah – Ouargla,2013.
- [2] S. Saadi, Effet des paramètres opérationnels sur les performances d'un capteur solaire. plan, Mémoire de Magister en physique ; UMC,2010.
- [3] H. Kamelia, “Modélisation D'une Cellule PV : Etude Comparative”, Mémoire De Magister, Université Mouloud Mammeri DeTizi-Ouzou,2012.
- [4] B. Tarek, B. AMAR Radhia, “Étude D'un Système D'énergie Renouvelable Avec Système De Stockage”, Diplôme De Master, Université D'el-Oued,2014.
- [5] ZEGHIB ILHEM « Etude et Réalisation d'un Concentrateur Solaire » parabolique par UNIVERSITE MENTOURI – CONSTANTINE(2005).
- [6] M. Capderou, Atlas solaire de l'Algérie, Tome 1, Vol. 1 et 2 ; OPU,1987.
- [7] A. Mefti ; M. Y Bouroubi ; H. Mimouni, Evaluation du potentiel énergétique . solaire, Bulletin des Energies Renouvelables, N°2, P12, décembre2002.
- [8] NECIR Abdellatif ,AbdelDjabar, “ Conception et Réalisation d'un Suiveur du Soleil Commandé par une Carte Arduino”, Mémoire Master, Université UNIVERSITE D'EL-OUED –,2018.
- [9] ABBASSEN Lyes, “ Etude de la connexion au réseau électrique d'une centrale photovoltaïque”, Mémoire Magister, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZIOUZOU–,2011
- [10] I. Yassine, “Système Hybride Photovoltaïque – Eolien –Diesel Sans Stockage ”, Projet De Fin D'études, Université Libanaise,2013.
- [11] T. Nacer Eddine, G. Slimane, “Modélisation Et Simulation D'un Système.
- [12] Alonso Corinne « Contribution à l'optimisation, la gestion et le traitement de l'énergie ». Mémoire d'habilitation à diriger les recherches, Université Paul Sabatier Toulouse III, 2003
- [13] B. Mohammed, Mémoire DE Magister, “ Modélisation D'un Système De Captage Photovoltaïque Autonome”, Mémoire De Magister, Centre Universitaire De Bechar, 2008.

- [14] M. Reda, “ Modélisation D’un Dispositif Mppt Pour L’étude De L’augmentation De LaPuissance Produite Par Les Générateur Photovoltaïques”, Diplôme De Magister, UniversitéBadji Mokhtar Annaba,2010.
- [15] M. SlamaFateh, “Modélisation D’un Système MultiGénérateurs PhotovoltaïquesInterconnectés Au Réseau Electrique”, Mémoire De Magister, Université FerhatAbbas.
- [16] boulahbalamina, “Etude et simulation du fonctionnement dusystème suiveur des panneaux solaires”, Mémoire De Master, Université Ferhat Abbas, UNIVERSITE BADJI MOKHTARANNABA.
- [17] sahebsihem, “etude et realisation d’un suiveur solaire bi-axial a base d’un microcontroleurarduino ”, Mémoire De Master universite el arbi ben m’hidoum elbouaghi.
- [18] http://www.techmania.fr/arduino/Decouverte_arduino.pdf
- [19]<https://ar.scribd.com/document/90185081/KesacoArduino>
- [20] projet.eu.org/pedago/sin/tutos/arduino.odt
- [21]https://fablab.univtlse3.fr/wiki/images/9/.../Cours_arduino_v0.2.pd
- [22] Optoelectronic detectors, Dr. Heiner Ryssel, Indian Institute of Technology, Madras 9th INDO –German Winter Academy2010.
- [23] <http://www.gotronic.fr/art-carte-arduino-uno-12420.htm>.le 02/05/2016 - 14:43
- [24] <http://shop.mchobby.be/cables-usb/68-cable-usb-type-a-b-arduino-uno3232100000681.html> le 02/ 05/2016 – 15:10

Annexe

➤ Caractéristiques de la LDRNSL-19M51

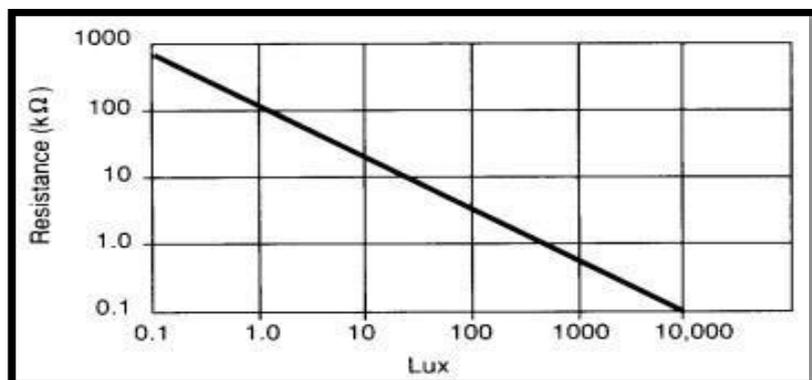


Figure A1.1 La résistance en fonction du flux de lumière (en lux)

avec : $1 \text{ w/m}^2 = 683 \text{ lux}$ (683 lumen/m^2)

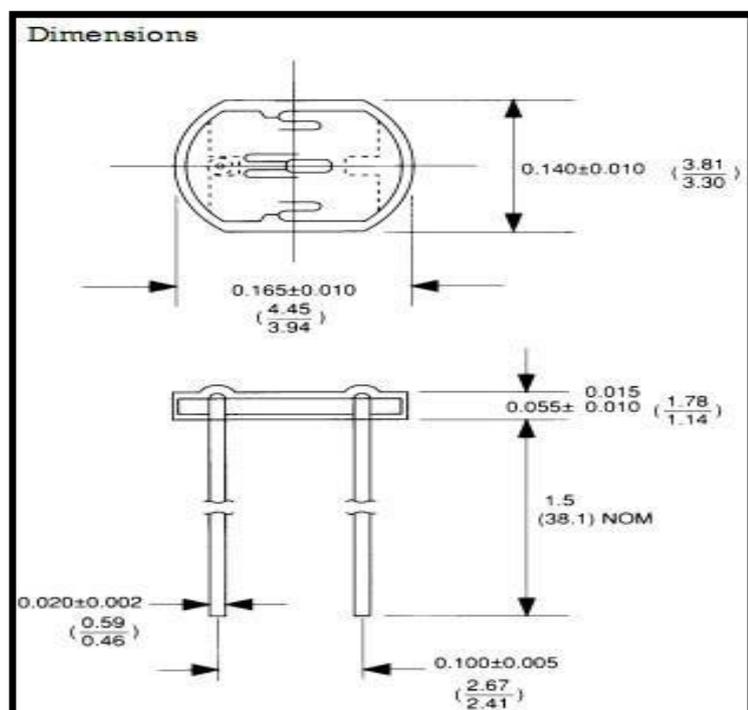
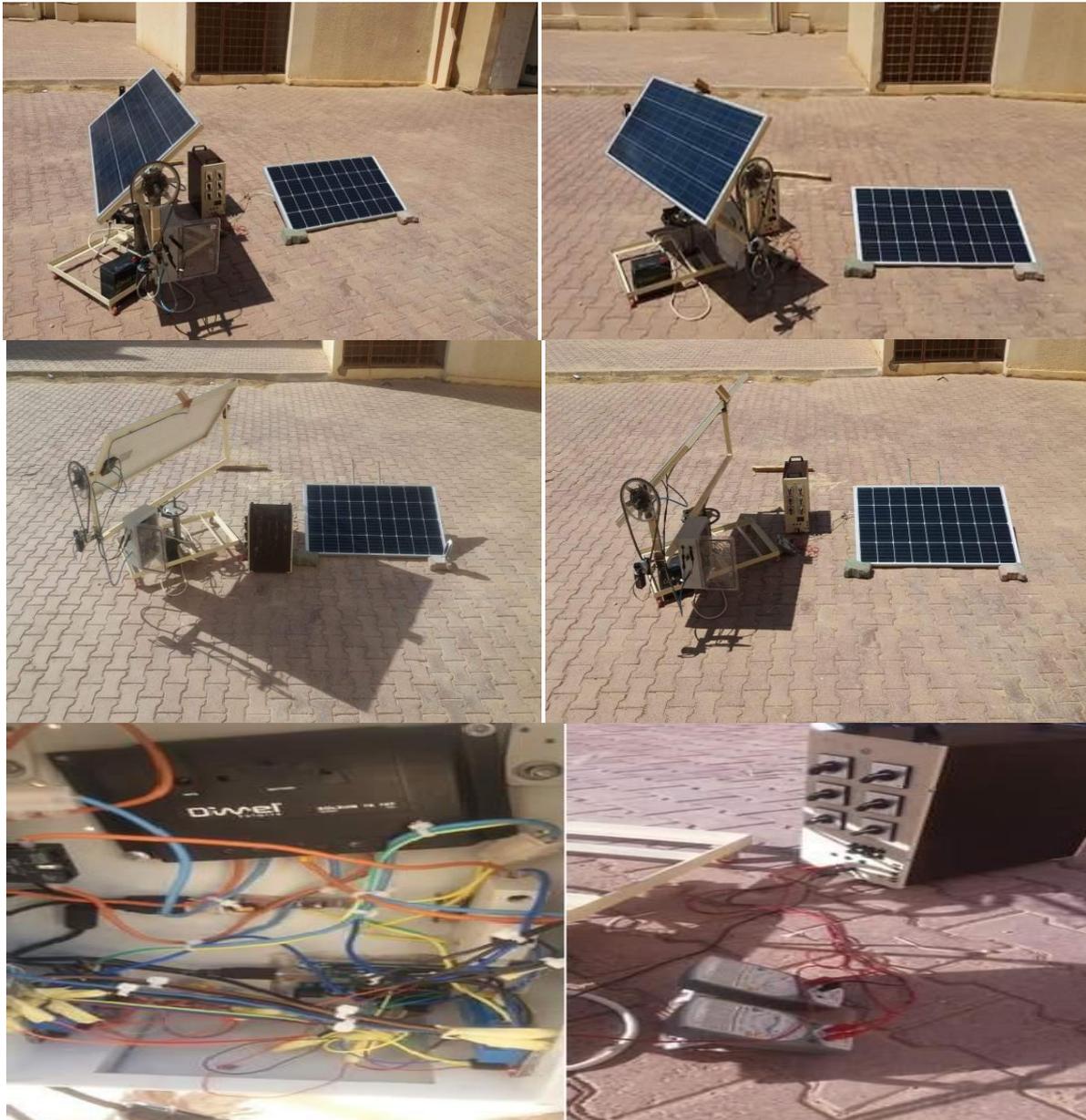


Figure A1.2 Dimensions en (mm) du capteur LDR



Positions du système suiveur pendant l'essai

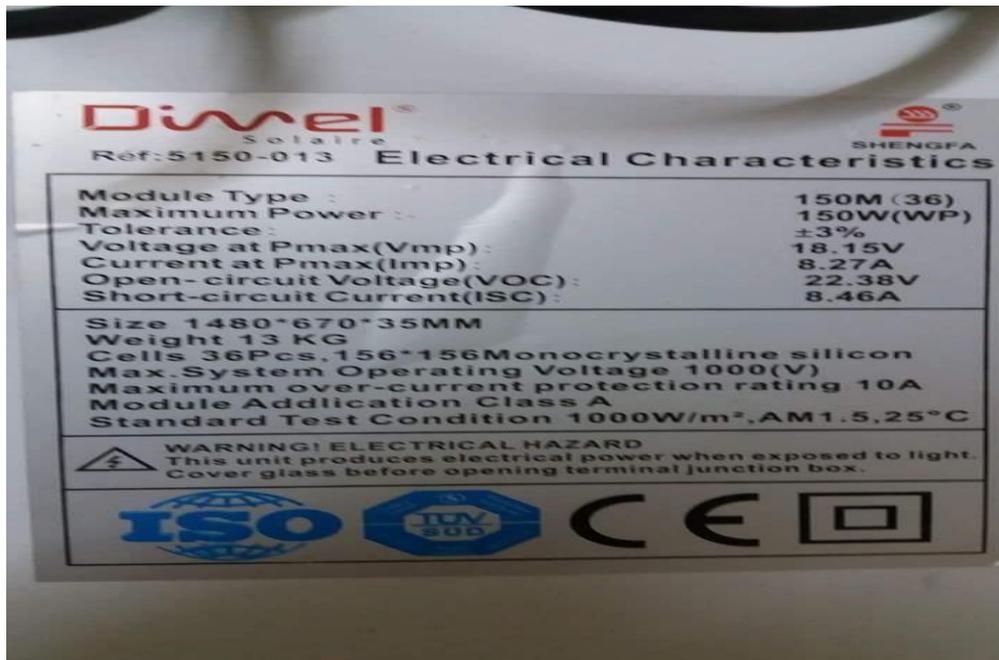


Figure: les caractéristiques de panneaux photovoltaïque

مساعدة أدوات الشيفرة البرمجية عدل ملف

tracker

```
#include <Servo.h> //include the software library required to control the servo motors
#define THRESHOLD 100
#define DIIME 50
#define SENSOR_TL 0 //Top Left sensor pin
#define SENSOR_TR 2 //Top Right sensor pin
#define SENSOR_BL 3 //Bottom Left sensor pin
#define SENSOR_BR 4 //Top Bottom Right sensor pin
#define HORIZ_LIMIT 160 //Horizontal limit should be the full rotation of a servo
#define VERT_LIMIT 160 //The value is determined depending on the mechanical setup (the angle at which the vertical servo)

Servo horiz; //servo for horizontal movement
Servo vert; //servo for vertical movement
int horizpos = HORIZ_LIMIT / 2; //position value of horizontal servo (half of the limit initial position)
int vertpos = VERT_LIMIT / 2; //position value of vertical servo (half of the limit initial position)

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  horiz.attach(8);
  vert.attach(11);
  vert.write(90);
  horiz.write(90);
  delay(1000);
}
void loop() {
  track();
}
void track() {

  int t1 = analogRead(SENSOR_TL); //Read the value of the TL sensor
  int tr = analogRead(SENSOR_TR); //Read the value of the TR sensor
  int b1 = analogRead(SENSOR_BL); //Read the value of the BL sensor
  int br = analogRead(SENSOR_BR); //Read the value of the BR sensor
```

```

tracker

int tr = analogRead(SENSOR_TR); //Read the value of the TR sensor
int bl = analogRead(SENSOR_BL); //Read the value of the BL sensor
int br = analogRead(SENSOR_BR); //Read the value of the BR sensor
int average_top = (t1+tr)/2;
int average_down = (b1+br)/2;
int average_left = (t1+bl)/2;
int average_right = (tr+br)/2;

int dif_vert = average_top - average_down;
int dif_horz = average_left - average_right;

if ( ((-1 * THRESHOLD) <= dif_vert) && (dif_vert <= THRESHOLD) ) {
  vert.detach();
}
else {
  vert.attach(11);

  if (average_top > average_down)
  {
    vertpos = --vertpos;
    if (vertpos > VERT_LIMIT)
    {
      vert.detach();
      vertpos = VERT_LIMIT;
    }
  }
  else if (average_top < average_down)
  {
    vertpos = ++vertpos;
    if (vertpos < 0)
    {
      vert.detach();
      vertpos = 0;
    }
  }
}

```

```

tracker

{
  vert.detach();
  vertpos = 0;
}
else if (average_top == average_down)
{
  // nothing
}
vert.write(vertpos);
if ( ((-1 * THRESHOLD) <= dif_horz) && (dif_horz <= THRESHOLD) ) {
  horiz.detach();
}
else {
  horiz.attach(8);
  if (average_left > average_right)
  {
    horizpos = --horizpos;
    if (horizpos < 0)
    {
      horiz.detach();
      horizpos = 0;
    }
  }
  else if (average_left < average_right)
  {
    horizpos = ++horizpos;
    if (horizpos > HORIZ_LIMIT)
    {
      horiz.detach();
      horizpos = 0;
    }
  }
}

```

```
مساعدة أدوات الشيفرة البرمجية عدل هذا
tracker
}
horiz.attach(8);
if (average_left > average_right)
{
horizpos = --horizpos;
if (horizpos < 0)
{
horiz.detach();
horizpos = 0;
}
}
else if (average_left < average_right)
{
horizpos = ++horizpos;
if (horizpos > HORIZ_LIMIT)
{
horiz.detach();
horizpos = HORIZ_LIMIT;
}
}
else if (average_left == average_right)
{
// nothing
}
horiz.write(horizpos);
}
delay(DTIME);
}
```

Programme