



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



UNIVERSITE D'EL-OUED

Faculté de Technologie

Département de Génie Electrique

Mémoire de fin d'étude
Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologie
Filière : Electrotechnique
Spécialité : Réseaux Electriques

**Conception et Réalisation d'un Suiveur du
Soleil Commandé par une Carte Arduino**

Réalisé par :

- ❖ NECIR Abdellatif
- ❖ BOUCHAALA Abdel Djabar

Dirigé par :

Dr. BEKAKRA Youcef

Promotion 2018

Remerciements

*Tout d'abord je tiens à remercier Monsieur **Dr. BEKAKRA Youcef** Professeur à l'université d'EL-OUED pour l'encadrement qu'il m'a assuré et ses précieux et judicieux conseils qu'il n'a cessé de me prodiguer tout au long de ce projet, sa confiance témoignée, sans oublier sa qualité humaine.*

Mes sincères remerciements aux messieurs les membres du jury pour l'honneur qu'ils me font en participant au jugement de ce travail.

Nous tenons à remercier vivement toutes personnes qui nous ont aidé à élaborer et réaliser ce mémoire.

*Maître Assistante A à l'université d'EL-OUED **GUEMARI Moatez Billah** pour leurs conseils scientifiques et leur disponibilité sans limite.*

*Je désire exprimer ainsi ma profonde reconnaissance à tous les membres de laboratoire particulièrement Melle **Hakima**.*

Tous mes enseignants

Je tiens également à remercier tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

NECIR Abdellatif

BOUCHAALA Abdel Djabar



Dédicace

Je dédie ce modeste travail a:

*A ma très **chère mère***


*A la mémoire de mon cher frère **ALI** que dieu tout puissant accueille en son vaste paradis.*

*A Ma **femme** qui m'a toujours soutenue dans les moments les plus difficiles dans ma vie.*

*A mes enfants: **islame, ali, kossai, serine, nounsine***

*A toutes mes **soeurs**.*

*A toute la famille et tous mes amis de promotion de master 2018, mon ami **Abdeljabar** et a tous les gens que je connais.*



Abdellatif



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 Mohamed qui m'a toujours soutenue dans les moments les plus difficiles dans ma vie.

A Mon frère Ahmed.

A toutes mes sœurs.

A Mon ami Abelelatif.

A toute la famille et tous mes amis de promotion de Master 2018, et à tous les gens que je connais.



Abdeljabar

ملخص

في هذا العمل قمنا بدراسة تجريبية و تطبيقية في الميدان العملي للتحكم في متتبع مسار الأشعة الشمسية من خلال بطاقة التحكم "الاردينو" للحصول على القيمة العظمى للاستطاعة المنتجة.

الكلمات المفتاحية

الكهروضوئية، أردوينو ، متتبع الشمس ،محرك ذو تيار مستمر.

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.

NOMENCLATURE

Wh : Watt-heure (énergie consommée)

PV : Photovoltaïque

PEP: puissance électrique produite par le panneau photovoltaïque.

PSR : puissance solaire reçue par le panneau

L: Longitude

Ts : Temps solaire

RN : rendement

LDR : light-dependent resistor

CC: Courant Continu

Mcc :Moteur à courant Continu

Hg : Capteur Haut gauche

Hd : Capteur Haut droit

Bg : Capteur Bas gauche

Bd: Capteur Bas droit

M1 :moteur 1

M2 :moteur 2

Tr :Tolérance

Mh : moyenne haut

Mb: moyenne bas

Mg :moyenne gauche

Md :moyenne droit

Mt :moyenne total

Dvert: différence vertical

Dhoriz: différence horizontal

M(1,2) =0 : stop moteur

Sens 1 : Droit

Sens2 : gauche

LISTE DES SYMBOLES

I_{ph} : Le photo-courant (A).

I_{sat} : Courant de saturation (A).

R_p : Résistances parallèle shunt. (Ω)

R_S : Résistance série (Ω).

T_c : Température de jonction ($^{\circ}\text{K}$).

T_{ref} : La température de référence (298 $^{\circ}\text{K}$).

I_{cc} : Le courant de court-circuit (A).

V_{co} : La tension de circuit ouvert (V).

FF : Facteur de forme.

N_s : Nombre de modules dans le panneau en série.

N_p : Nombre de modules dans le panneau en parallèle.

P_{max} : La puissance maximale produite PV (W).

P_{inc} : La puissance incidente

V_{max} : Tension qui correspond à la puissance maximale (V).

I_{max} : Courant qui correspond à la puissance maximale (A).

V_{opt} : Tension optimale (V).

I_{opt} : Courant optimum (A).

K : coefficient de Boltzman (1.38.10⁻²³ J / K)

SOMMAIRE

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

Chapitre I : Généralité sur l'Energie Photovoltaïque

I.1.Introduction.....	4
I.2.L'énergie solaire	4
I.3.Rayonnement solaire.....	5
I.3.1. Types de rayonnements	5
I.3.1.1.Rayonnement direct.....	5
I.3.1.2.Rayonnement diffus.....	6
I.3.1.3.Rayonnement global	6
I.4.Mouvement du Globe terrestre	6
I.5.Cartes d'irradiation globale et de l'enseillent en Algérie	6
I.6. Spécification du site d'El oued.....	7
I.7. Principe de fonctionnement d'une cellule PV.....	8
I.8. Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque.....	10
I.8.1.Paramètres d'une cellule photovoltaïque	11
I.8.2. Courant de court-circuit (I_{cc}):	11
I.8.3. Tension de circuit-ouvert (V_{co})	11
I.8.4. Rendement énergétique	12
I.8.5. Facteur de forme.....	12
I.9.Caractéristique Courant-Tension	12
I.10.Influence de l'éclairement et de la température sur les courbes $I=f(V)$ et $P=f(V)$	13
I.11.Types de cellules photovoltaïque (PV)	16
I.11.1.Cellules au silicium monocristallin	16
I.11.2.Cellules au silicium poly cristallin (ou multi cristallin).....	16
I.11.3.Cellules au silicium amorphe	17
I.11.4.Cellules utilisant d'autres matériaux que le silicium	18
I.12. Mise en série et mise en parallèle	18
I.12.1.Mise en série.....	18

I.12.2.Mise en parallèle	19
I.13.Module photovoltaïque	20
I.14.Zones de fonctionnement du module photovoltaïque	22
I.15.Panneau photovoltaïque	23
I.16.Système photovoltaïque	24
La figure I.24 montre la structure d'un système photovoltaïque [22].....	24
I.16.1. Système photovoltaïque autonomes	25
I.16.2. Système photovoltaïque raccordé à un réseau.....	26
I.16.3. Système photovoltaïque hybride	26
I.17. Avantages et inconvénients de l'énergie PV.....	27
I.17.1. Avantage.....	27
I.17.2. Inconvénients	28
I.18. Secteurs d'application.....	29
I.19. Conclusion	29

Chapitre II : Généralité sur la carte Arduino

II.1.Introduction	31
II.2.Historique de la carte Arduino.....	31
II.3.Définition.....	31
II.4. Constitution de la carte Arduino.....	32
II.4.1. Le matériel	32
II.4.2. Le logiciel	33
II.4.2.1. L'interface.....	33
II.4.2.2. Les boutons	34
II.4.2.3. Le langage Arduino	34
II.5.types de cartes artificielle	36
II.5.1.Microcontrôleur de la carte Arduino.....	36
II.6.Les différents type d'Arduino	36
II.6.1.La carte Arduino UNO.....	36
II.6.2.La carte Arduino Lenardo	36
II.6.3.La carte Arduino Mega	37
II.6.4.La carte Arduino Due.....	37

II.6.5. La carte Arduino Mini Pro	37
II.6.6. La carte Arduino Yun	37
II.7. Le Choix de la carte Arduino.....	37
II.7.1. La Carte Arduino UNO.....	38
II.7.2. Caractéristiques de la carte Arduino uno	39
II.7.3. Microcontrôleur ATMEL ATmega328	41
II.8. Le Microcontrôleur.....	41
II.8.1. La mémoire	42
II.8.2. Le processeur	42
II.9. Plaque d'essai	43
II.10. La résiliation de la carte Arduino	43
II.11. Les entrées/sorties numériques et analogique	44
II.11.1. Les entrées/sorties numériques : de D0 à D13.....	44
II.11.2. Les entrées analogiques A0 à A5	44
II.12. La communication Bluetooth entre l'Arduino et l'ordinateur	45
II.13. Conclusion	46

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

Introduction III.1.	48
III.2. Schéma Synoptique	48
III.3. Etude des différents blocs du suiveur.....	49
III.3.1. Les capteurs de lumière	49
III.3.2. Le circuit de commande.....	50
III.3.2.1. La carte Arduino uno	50
III.3.2.2. Câble USB	51
III.3.2.3. Fils de Pin d'Arduino.....	51
III.3.3. Circuit de puissance.....	52
III.3.3. 1. Les moteurs à courant continu	52
III.3.3. 2. Relais à 5v.....	53
III.3.3. 3. Régulateur de charge.....	54
III.3.3. 4. Batterie du stockage à 12V	54
III.4. Plan de travail.....	55
4.1. Partie de programmation III	55

III.4.1.1. L'organigramme.....	55
III.4.1.2. Programmation.....	57
III.4.2. Partie de simulation	57
III.4.3. Partie électrique	58
III.4.3.1. Test de photorésistance LDR	59
III.4.4. Partie mécanique.....	60
III.5. Type d'orientation.....	61
III.5.1. Orientation à un axe.....	61
III.5.2. Orientation à deux axes	62
III.6. Description de la structure.....	62
III.7. Orientation de l'axe horizontal (élévation) et l'axe vertical (l'azimute).....	63
III.8. Conclusion.....	63

Chapitre IV : Etude Comparative entre un Système de Suiveur et un Système Fixe

IV.1. Introduction.....	65
IV.2. Objectif de la comparaison.....	65
IV.3. Partie comparative.....	65
IV.3.1. Spécification de la région d'El oued	65
IV.3.1.1. Présentation du site	65
IV.3.1.2. Moyens de l'étude expérimentale	66
IV.4. Résultats obtenus par les deux Systèmes	68
IV.5. Conclusion	71
Conclusion Générale.....	72

Annexe

Bibliographie

LISTE DES FIGURES

Chapitre I : Généralité sur l'Energie Photovoltaïque

Figure I.1. Rayonnement solaire transmis à la terre	5
Figure I.2. Variation saisonnière du rayonnement solaire	6
Figure I.3. Cartes de l'irradiation globale en Algérie	7
Figure I.4. Spécification de l'irradiation globale du site d'El oued	8
Figure I.5. Structure d'une cellule photovoltaïque	9
Figure I.6. Fonctionnement d'une cellule photovoltaïque	9
Figure I.7. Schéma équivalent électrique d'une cellule PV	10
Figure I.8. : Caractéristique $I=f(V)$ d'un module photovoltaïque	13
Figure I.9. L'influence de l'éclairement sur la caractéristique $I=f(V)$	14
Figure I.10. L'influence de l'éclairement sur la caractéristique $P=f(V)$	14
Figure I.11. L'influence de la température sur la caractéristique $I=f(V)$	15
Figure I.12. L'influence de la température sur la caractéristique $P=f(V)$	15
Figure I.13. Cellule photovoltaïque monocristalline	16
Figure I.14. Cellule photovoltaïque poly cristallines.	17
Figure I.15. Cellule photovoltaïque amorphes	17
Figure I.16. Caractéristiques résultantes d'un groupement de N_s cellules en série	19
Figure I.17. Caractéristiques résultant d'un groupement de N_p cellules en parallèle	19
Figure I.18. Module photovoltaïque	20
Figure I.19. Association de n cellules PV en parallèle et m en série	21
Figure I.20. Caractéristiques de n cellules solaires photovoltaïques en parallèle et m en série ...	21
Figure I.21. Les différentes zones de la caractéristique $I(V)$	22
Figure I.22. Panneaux photovoltaïques	24
Figure I.23. Composants d'un champ de modules photovoltaïques	24
Figure I.24. Schéma d'un système photovoltaïque	24
Figure I.25. Système photovoltaïque autonome	25
Figure I.26. Système photovoltaïque raccordé aux réseaux	26
Figure I.27. Système hybride PV-Eolienne	27

Chapitre II : Généralité sur la carte Arduino

Figure II.1	présentation (capteurs +actionneurs) de la carte Arduino	31
Figure II.2.	Structures principales du système Arduino.....	32
Figure II.3.	L'Interface du logiciel Arduino	33
Figure II.4.	Les Boutons de programmation de la carte	34
Figure II.5.	de la carte Arduino UNO	38
Figure II.6.	'interface de la carte Arduino UNO.....	40
Figure II.7.	Schéma simplifié de la carte Arduino UNO	40
Figure II. 8.	Architecture du microcontrôleur de L' Arduino UNO	41
Figure II.9.	plaque d'essai réaliser un montage électronique.....	43
Figure II.10.	La résiliation entre la carte Arduino et plaque d'essais	43
Figure II.11.	Les entrées/sorties numériques	44
Figure II.12.	Les entrées analogiques	44
Figure II.13.	Le module Bluetooth " HC-06" sur laquelle nous allons travailler.....	45
Figure II.14.	Le bronchement du module Bluetooth " HC-06" avec la carte Arduino.....	46

Chapitre III: Réalisation d'un système d'un suiveur du soleil

Figure III.1.	Schéma synoptique de notre suiveur du soleil.....	48
FigureIII.2.	PhotorésistanceLDR	49
Figure III.3.	Circuit équivalent du capteur LDR	49
Figure. III.4.	Fonctionnement des capteurs embarqués.....	49
Figure III.5.	Schéma du prototype des quatre capteurs LDR	50
Figure III.6.	La carte Arduino	51
Figure III.7.	Cable USB type A/B (Arduino UNO)	51
Figure III.8.	Fils de pin d'Arduino	51
Figure III.9.	Variation de sens du moteur par pont en H.....	52
Figure III.10.	Principe de fonctionnement du moteur à courant continu	52

Figure III.11. Moteur à courant continu utilisé dans notre projet	53
Figure III.12. Le relai utilisé.	53
Figure III.13. Régulateur de charge/décharge	54
Figure III.14. Batterie du stockage 12V	54
Figure III.15. Organigramme Principal	56
Figure III.16. Interface du logiciel Arduino.	57
Figure III.17. Montage du système sous le logiciel Proteus-ISIS	57
Figure III.18. Plan de réalisation du système suiveur	58
Figure III.19. Schéma du circuit électrique du système suiveur	59
Figure III.20. Test de rotation de deux petits moteurs à CC	59
Figure III.21. Schéma du prototype des photorésistances LDR	60
Figure III.22. Test de rotation de deux moteurs puissants à CC (à vide)	60
Figure III.23. Schéma de fonctionnement du suiveur	61
Figure. III.24. Orientation à un axe	61
Figure III.25. Orientation à deux axes	62
Figure III.26. Notre suiveur du soleil	62
Figure III.27. Moteur 1 qui contrôle l'axe horizontal	63
Figure III.28. Moteur 2 qui contrôle l'axe vertical	63

Chapitre IV : Etude Comparative entre un Système de Suiveur et un Système Fixe

Figure IV.1. Zone d'El oued	65
Figure IV.2. Les deux systèmes photovoltaïques, sans et avec suiveur, avec leur plaque signalétique	66
Figure IV.3. Moyens de l'étude expérimentale : ampèremètre + voltmètre + charge résistive variable	67
Figure IV.4. Caractéristique $I=f(V)$ et $P=f(V)$ à 14 :00 h de système fixe et système mobile	68
Figure IV.5. Les positions de deux systèmes à 14:00 h	68
Figure IV.6. Caractéristique $I:f(V)$ et $P:f(V)$ à 17:00 h	69
Figure IV.7. Les positions de deux systèmes à 17:00 h	69
Figure IV.8. La puissance produite dans un panneau suiveur	71

LISTE DE TABLEAUX

Tableaux II .1. Les fonctions spécifiques de langage d'Arduino..... 35

Tableaux II.2 de la caractéristique de la carte Arduino UNO.....39

Tableau III.1 Grandeurs d'alimentations utilisées.....55

Tableaux IV.1. Résultats obtenus par les systèmes avec et sans suiveur à 14:00h.... 68

Tableaux IV.2. Résultats obtenus par les systèmes avec et sans suiveur à 17:00h....69

Tableaux IV.3. Résultats obtenus par le système fixe de 11:00 h à 17:00h.....70

Tableaux IV.4. Résultats obtenus par le système suiveur de 11:00 h à 17:00h..... 70

Introduction générale

Les énergies renouvelables sont important dans ce monde. Les énergies renouvelables comme l'énergie éolienne, l'énergie solaire, l'énergie biomasse et l'énergie hydroélectrique, sont des solutions prometteuses pour concurrencer les sources d'énergies de masse telle que l'énergie fossile et nucléaire.

Le soleil peut satisfaire tous nos besoins si nous apprenons à exploiter rationnellement l'énergie qu'il rayonne vers la terre. Il brille dans le ciel depuis presque 5 milliards d'années et les scientifiques ont calculé qu'il est à la moitié de son existence. Nous avons du mal à imaginer qu'au cours d'une année le soleil diffuse vers la terre quatre mille fois plus d'énergie que celle consommée par toute la population mondiale.

Le rayonnement solaire est répartie sur toute la surface de la terre, sa densité n'est pas grande et ne cause aucun conflit entre les pays contrairement au pétrole. Les systèmes photovoltaïques semblent bien s'imposer comme moyen de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique. Un tel système se compose d'un champ de modules et d'un ensemble de composants qui adaptent l'électricité produite par les modules aux spécifications des récepteurs.

Les systèmes photovoltaïques transforment directement la lumière du soleil en électricité, peuvent ainsi alimenter de petits équipements portables (montres, calculatrices, ...), des applications en site isolé (habitations éloignées du réseau électrique, équipements de télécommunication, électrification rurale), ou être r accordées au réseau électrique.

Les modules PV travaillent avec la conversion directe de la lumière a une énergie électrique. La lumière du soleil est un ingrédient nécessaire et efficace. Ils travaillent avec le maximum d'efficacité quant la lumière incidente est perpendiculaire a leurs cellules.

Donc, l'efficacité énergétique de ces systèmes dépend du degré d'utilisation et de la conversion du rayonnement solaire. Il y a deux manières pour maximiser le taux d'énergie utile: en optimisant la conversion et le degré d'absorption, et en augmentant le taux de rayonnement d'incidence en employant les systèmes d'orientation mécanique. Ces systèmes appelés suiveurs solaires ou traqueurs solaires.

Les traqueurs solaires sont conçus et construits pour optimiser le rendement de puissance des modules de PV en s'assurant qu'ils sont inclinés vers le soleil a tout moment pendant la journée.

Le système de poursuite solaire '*sun tracking systems*' doit être ajusté de sorte qu'il soit toujours visé avec précision face au soleil. Les systèmes de poursuite solaire à un seul axe sont

moins coûteux et leur commande est facile à mettre en œuvre, par contre leur efficacité est inférieure à celle des systèmes de poursuite solaire à deux axes.

Ce travail est composé de quatre chapitres:

Dans le premier chapitre, on fait une généralité sur les générateurs photovoltaïques ainsi que le principe de fonctionnement du panneau photovoltaïque.

Dans le deuxième chapitre, nous rappelons sur les généralités de la carte Arduino, ses types, ses caractéristiques et son principe de fonctionnement.

Dans le troisième chapitre, nous avons présenté les étapes de la conception et de la réalisation de notre suiveur de soleil à l'aide une carte Arduino.

Dans le quatrième chapitre, on fait une étude comparative entre le système suiveur et le système fixe.

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

Chapitre I

Généralité sur l'Energie Photovoltaïque

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 ce 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

Il est aujourd'hui admis que le soleil est une bombe thermonucléaire hydrogène –hélium transformant chaque seconde 564 millions de tonnes d'hydrogène en 560 millions tonnes d'hélium, la réaction se faisant dans son noyau à la température d'environ 25 millions de degrés Celsius. Ainsi, à chaque seconde, le soleil est allégé de 4 millions de tonnes dispersées sous forme de rayonnement qui représente chaque année environ 1500 fois la consommation énergétique de l'humanité. Cela correspond à une puissance instantanée reçue de 1 kilowatt crête par mètre carré ($1\text{KWc}/\text{m}^2$) répartie sur tout le spectre, de l'ultraviolet à l'infrarouge. Les déserts de notre planète reçoivent en 6 heures plus d'énergie du soleil que ne consomme l'humanité en une année [2].

Depuis très longtemps, l'homme cherché à utiliser l'énergie émise par le soleil, l'étoile la plus proche de la terre. La plupart des utilisations sont directes comme en agriculture, la photosynthèse ou dans diverses applications de séchage et chauffage, autant artisanale qu'industrielle. Cette énergie est disponible en abondance sur toute la surface terrestre, et malgré une atténuation importante lors de la traversée de l'atmosphère, une quantité encore importante arrive à la

surface au sol. On peut ainsi compter sur 1000 W/m^2 dans les zones tempérées et jusqu'à 1400 W/m^2 lorsque l'atmosphère est faiblement polluée [3].

I.3.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 $0,75 \mu\text{m}$) et dans le proche infrarouge (au-delà de $0,75$ et jusqu'à $4 \mu\text{m}$) [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].

La figure I.1 représente ce bilan énergétique :

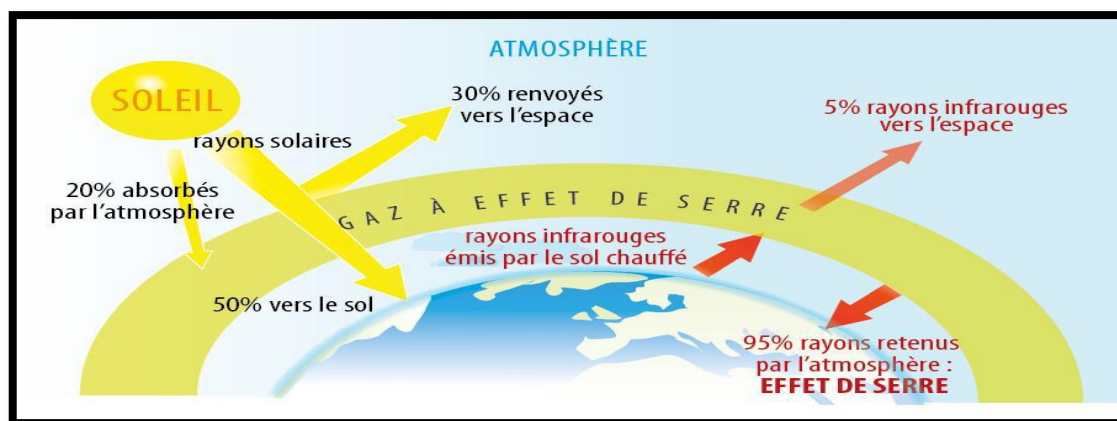


Figure I.1. Rayonnement solaire transmis à la terre

I.3.1. Types de rayonnements

I.3.1.1. 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.3.1.2. 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.3.1.3. Rayonnement global

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

I.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'axe des pôles) a une orientation fixe dans l'espace. Il fait un angle $\delta = 23^{\circ}27'$ avec la normale au plan de l'écliptique [5].

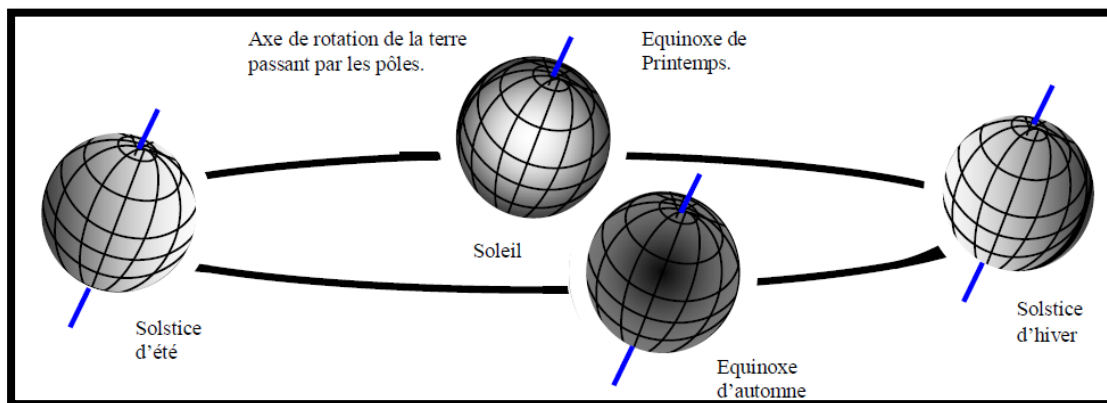


Figure I.2. Variation saisonnière du rayonnement solaire

I.5. 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 allégo-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.

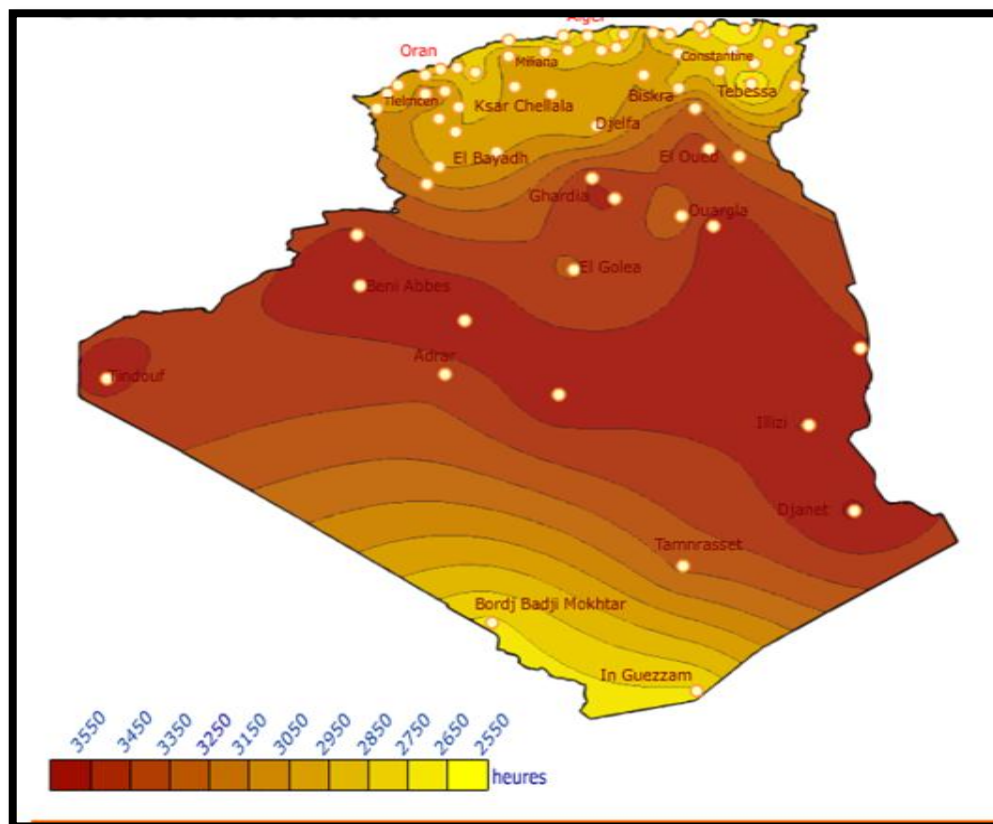


Figure I.3. Cartes de l'irradiation globale en Algérie

I.6. Spécification du site d'El oued

Les spécifications du site d'El oued sont dépendent les conditions de métrologie du site d'El oued. On présent par la figure I.4.

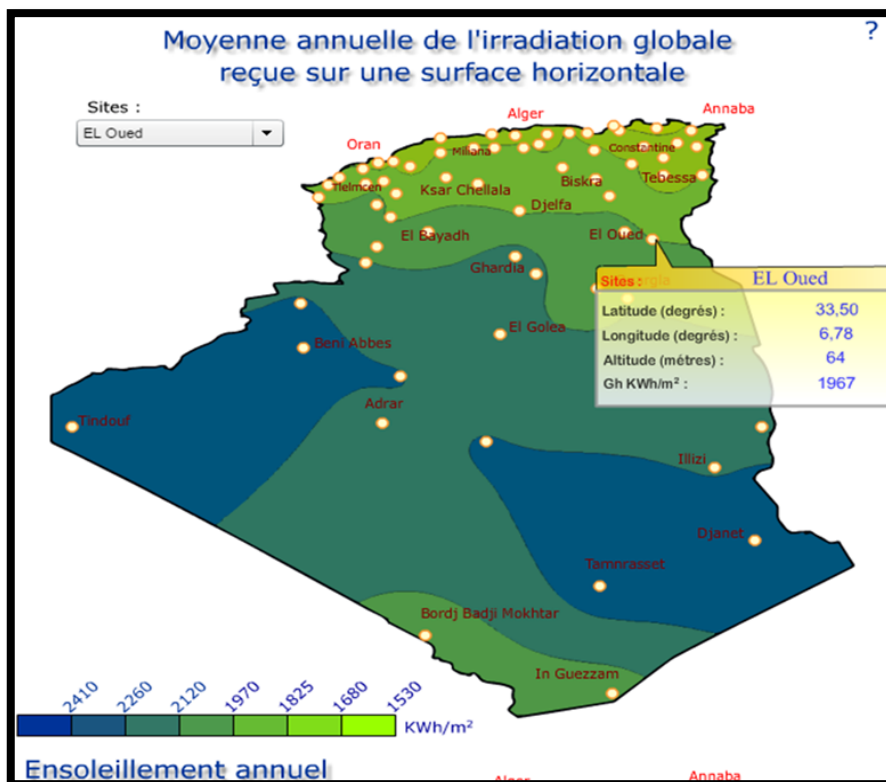


Figure I.4 Spécification de l'irradiation globale du site d'El oued

I.7. Principe de fonctionnement d'une cellule PV

Une cellule photovoltaïque est un composant optoélectronique qui permet de convertir l'énergie solaire en énergie électrique [7].

La structure la plus simple de ce dispositif est assimilable à une diode photosensible basée sur des matériaux semi-conducteurs qui exploite l'effet photovoltaïque, un phénomène physique propre à certains de ces matériaux, pour la transformation de l'énergie. La figure I.5 représente la structure d'une cellule photovoltaïque [8].

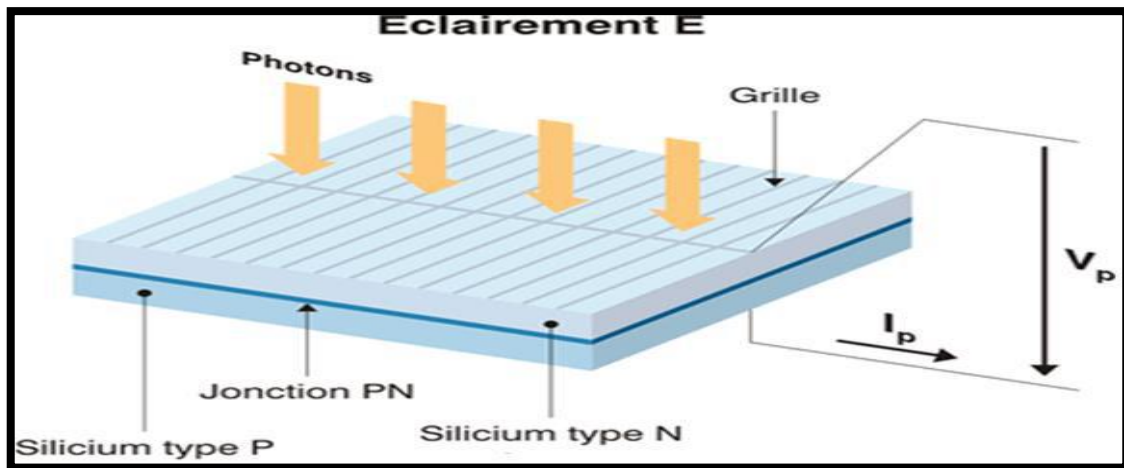


Figure I.5 Structure d'une cellule photovoltaïque

Lorsqu'un matériau semi-conducteur est exposé à la lumière du soleil, les atomes exposés au rayonnement sont "excités" par les photons constituant la lumière, sous l'action de cette excitation, les électrons des couches électroniques supérieures (appelés électrons des couches de valence) ont tendance à être "arrachés".

Ce principe est illustré sur la figure I.6. Si l'électron revient à son état initial, l'agitation de l'électron se traduit par un échauffement du matériau. L'énergie cinétique du photon est transformée en énergie thermique, sinon les électrons "arrachés" créent une tension électrique continue faible qui varie entre 0.3V et 0.7V en fonction du matériau et de sa disposition ainsi que de la température de la cellule [9].

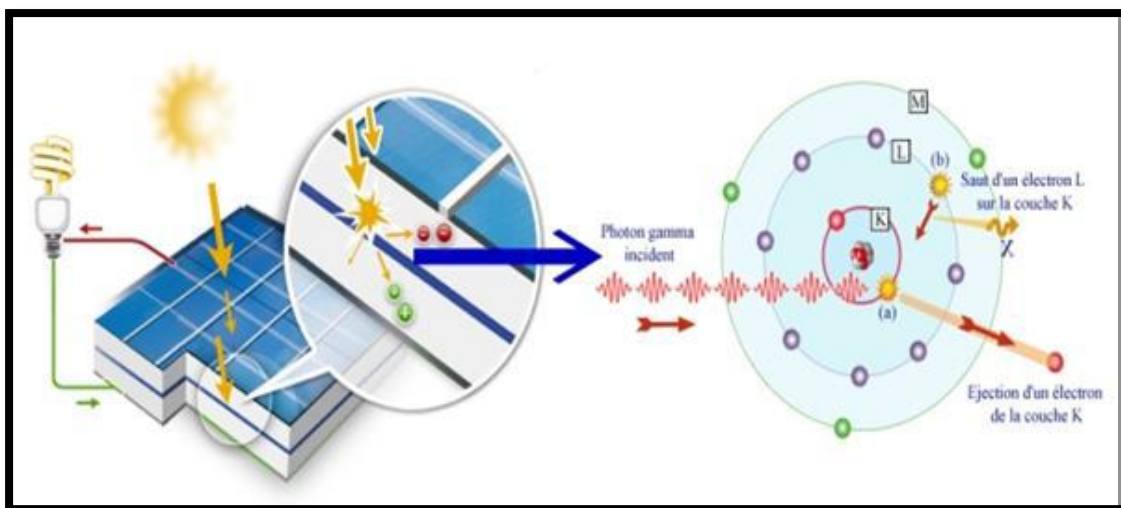


Figure I.6. Fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Afin d'effectuer la collecte du courant électrique, des électrodes en forme de grille sont déposés sur les deux couches du semi-conducteur. L'électrode supérieure permet le passage des rayons lumineux. Une couche anti reflet est ensuite déposée sur cette électrode afin d'accroître la quantité de lumière absorbé [8].

I.8. Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque

Le schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque sous éclairage présente par La figure I.7. Il correspond à un générateur de courant I_{ph} monté en parallèle avec une diode. Deux résistances parasites sont introduites dans ce schéma.

Ces résistances ont une certaine influence sur la caractéristique $I = f(V)$ de la cellule [10]:

- ✓ **La résistance série (R_s)** est la résistance interne de la cellule ; elle dépend principalement de la résistance du semi-conducteur utilisé, de la résistance de contact des grilles collectrices et de la résistivité de ces grilles.
- ✓ **La résistance shunt (R_p)** est la résistance interne de la cellule ; elle dépend principalement de la résistance du semi-conducteur utilisé, de la résistance de contact des grilles collectrices et de la résistivité de ces grilles (s_{shu}) est due à un courant de fuite au niveau de la jonction; elle dépend de la façon dont celle-ci a été réalisée

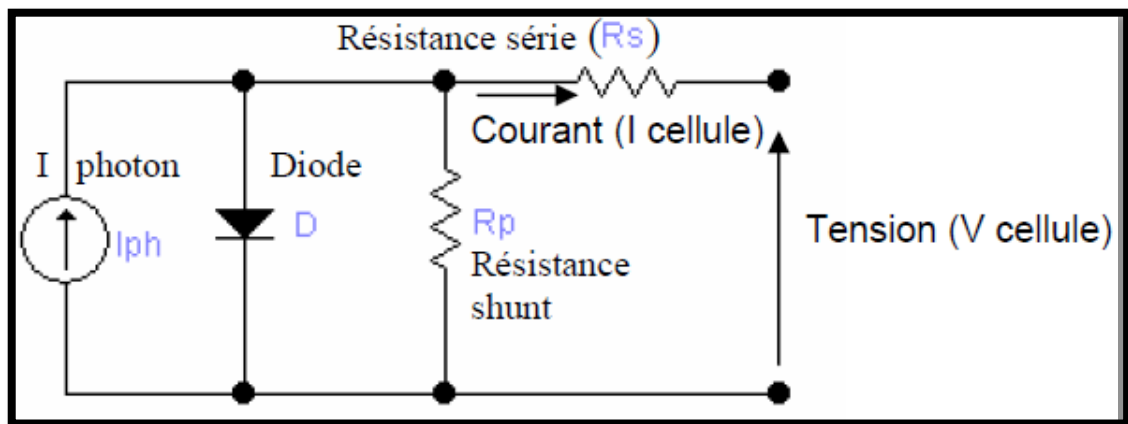


Figure I.7. Schéma équivalent électrique d'une cellule PV

Le modèle mathématique pour la caractéristique courant-tension d'une cellule PV est donné par les équations suivant [10,11]:

$$I_{pv} = I_{ph} - I_{sat} \left[\exp \left(\frac{(V_{pv} + (I_{pv} \times R_s))}{nKT} \right) - 1 \right] - \frac{V_{pv} + (I_{pv} \times R_s)}{R_p} \quad (I.1)$$

Où I_{sat} est le courant de saturation, K est la constante de Boltzmann ($1,381 \cdot 10^{-23}$ J/K), T est la température effective des cellules en Kelvin(K), e est la charge de l'électron ($e=1,6 \cdot 10^{-19}$ C), n est le facteur d'idéalité de la jonction ($1 < n < 3$), I_{pv} est le courant fourni par la cellule lorsqu'elle fonctionne en générateur, V_{pv} est la tension aux bornes de cette même cellule, I_{ph} est le photo-courant de la cellule dépendant de l'éclairement et de la température ou bien courant de (court-circuit), R_p est la résistance shunt caractérisant les courants de fuite de la jonction, R_s est la résistance série représentant les diverses résistances de contacts et de connexions [11].

I.8.1. Paramètres d'une cellule photovoltaïque

Ces paramètres peuvent être déterminés à partir des courbes courant-tension, ou de l'équation caractéristique. Les plus usuels sont les suivantes:

I.8.2. Courant de court-circuit (I_{cc}):

C'est le courant pour lequel la tension aux bornes de la cellule ou du générateur PV est nulle. Dans le cas idéal (R_{ser} nulle et R_{shu} infinie), ce courant se confond avec le photo-courant I_{ph} dans le cas contraire, en annulant la tension V dans l'équation, on obtient:

$$I_{cc} = I_{ph} - I_{sat} \left[\exp \left(\frac{(I_{cc} \times R_s)}{nKT} \right) - 1 \right] - \frac{(I_{cc} \times R_s)}{R_p} \quad (I.2)$$

I.8.3. Tension de circuit-ouvert (V_{co})

C'est la tension V_{co} pour laquelle le courant débité par le générateur photovoltaïque est nul (c'est la tension maximale d'une photopile ou d'un générateur photovoltaïque).

$$0 = I_{ph} - I_{sa} \left[\exp \left(\frac{(eV_{pv})}{nKT} \right) - 1 \right] - \frac{V_{pv}}{R_p} \quad (I.3)$$

Dans le cas idéal, sa valeur est légèrement inférieur à :

$$V_{CO} = VT \ln \left[\frac{I_{ph}}{I_{sat}} + 1 \right] \quad (I.4)$$

I.8.4. Rendement énergétique

C'est le rapport entre la puissance électrique maximale fournie par la cellule P_{max} (I_{opt}, V_{opt}) et la puissance solaire incidente. Il est donné par :

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{inc}} = \frac{I_{opt} \times V_{opt}}{I_{cc} \times V_{co}} \quad (I.5)$$

$$P_{max} = I_{opt} \times V_{opt}$$

Avec P_{inc} est égale au produit de l'éclairement et de la surface totale des photopiles. Ce paramètre reflète la qualité de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique.

I.8.5. Facteur de forme

On appelle facteur de forme FF, dit aussi facteur de courbe ou facteur de remplissage (fill factor), le rapport entre la puissance maximum fournie par la cellule P_{max} (I_{opt}, V_{opt}) et le produit du courant de court-circuit I_{cc} par la tension de circuit-ouvert V_{co} (c'est-à-dire la puissance maximale d'une cellule idéale). Le facteur de forme indique la qualité de la cellule ; plus il s'approche de l'unité plus la cellule est performante, Il est de l'ordre de 0.7 pour les cellules performantes ; et diminue avec la température. Il traduit l'influence des pertes par les deux résistances parasites R_s et R_p .il est défini par :

$$FF = \frac{P_{max}}{P_{inc}} = \frac{I_{opt} \times V_{opt}}{I_{cc} \times V_{co}} \quad (I.6)$$

I.9. Caractéristique Courant-Tension

La courbe $I = f(V)$ d'un module photovoltaïque typique dans des conditions constantes d'irradiation et de température en représente La figure I.8.

L'irradiation standard adoptée pour mesurer la réponse des modules photovoltaïques est une intensité rayonnante de 1000 W/m^2 et une température de 25°C .

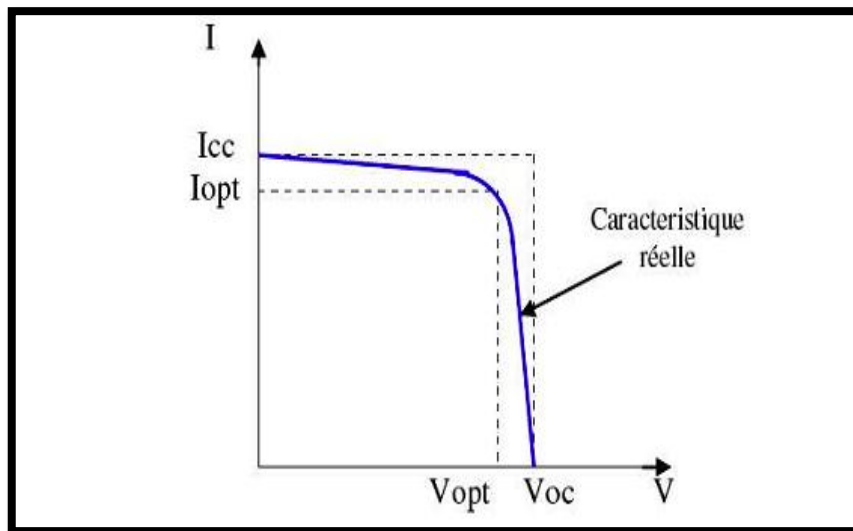


Figure I.8. : Caractéristique $I=f(V)$ d'un module photovoltaïque

Il est difficile de donner un caractère source de courant ou de tension à un module photovoltaïque sur toute l'étendue de la caractéristique courant-tension. Par conséquent, le module photovoltaïque est considéré comme une source de puissance avec un point P_m .

Il est important de noter que certains régulateurs solaires réalisent une adaptation d'impédance afin qu'à chaque instant on se trouve proche de ce point P où la puissance se trouve être maximale. Il est donc intéressant de se placer sur ce point pour tirer le maximum d'énergie et ainsi exploiter au mieux la puissance crête installée. [7].

I.10. Influence de l'éclairement et de la température sur les courbes $I=f(V)$ et $P=f(V)$

L'influence de l'éclairement sur la caractéristique $I=f(V)$. A une température constante, on constate que le courant subit une variation importante, mais par contre la tension varie légèrement. Car le courant de court-circuit est une fonction linéaire de l'éclairement alors que la tension de circuit ouvert est une fonction logarithmique (figure I.9), [11,12, 13,14].

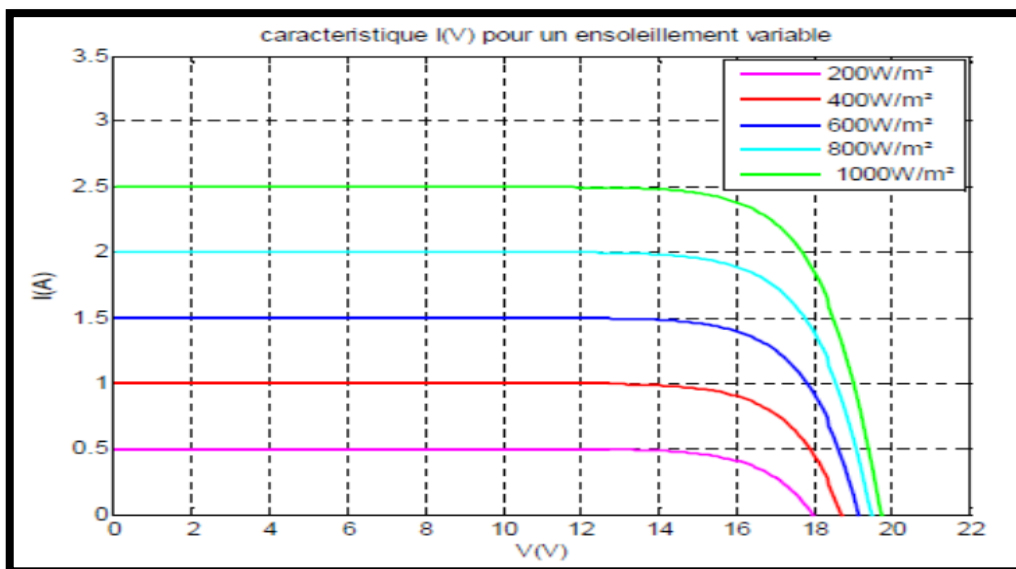


Figure I.9.L'influence de l'éclairement sur la caractéristique $I=f(V)$

La variation de la puissance délivrée par le générateur en fonction de la tension pour différentes valeurs d'éclairement, ce qui nous permet de déduire l'influence de l'éclairement sur la caractéristique $P(V)$. En présent par La figure I.10 [13].

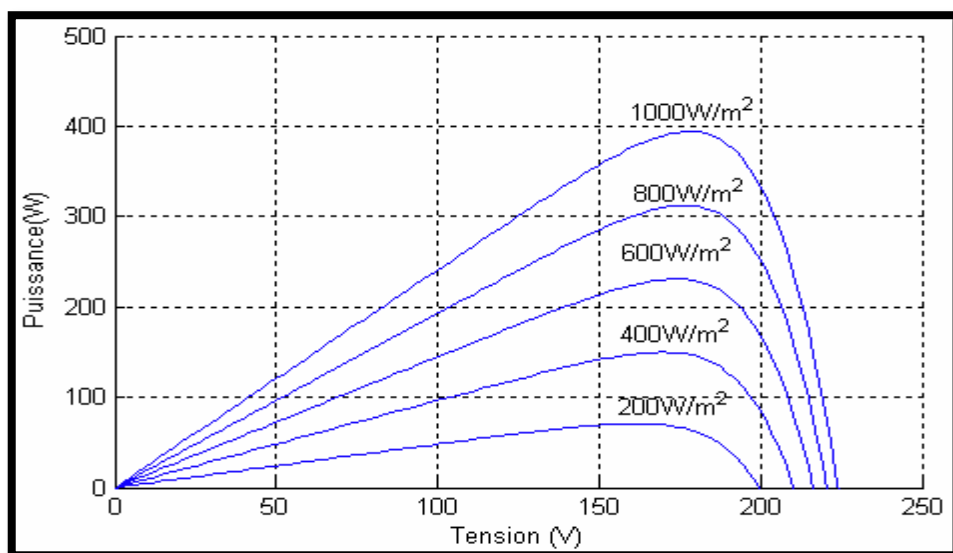


Figure I.10.L'influence de l'éclairement sur la caractéristique $P=f(V)$

L'influence de la température sur la caractéristique $I=f(V)$. Il est essentiel de comprendre l'effet de changement de la température d'une cellule solaire sur la caractéristique $I=f(V)$. En présentent par la figure I.11.

Le courant dépend de la température puisque le courant augmente légèrement à mesure que la température augmente, mais la température influe négativement sur la tension de circuit ouvre. Quand la température augmente la tension de circuit ouvert diminue. Par conséquent la puissance maximale du générateur subit une diminution [11].

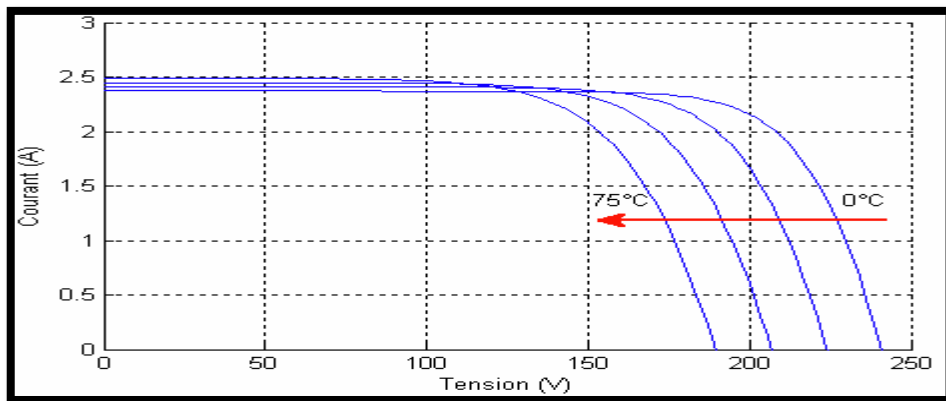


Figure I.11. L'influence de la température sur la caractéristique $I=f(V)$

La variation de la puissance délivrée par le générateur en fonction de la tension pour différentes valeurs de température est illustrée par la figure I.12, ce qui nous permet de déduire l'influence de la température sur la caractéristique $P = f(V)$ [13].

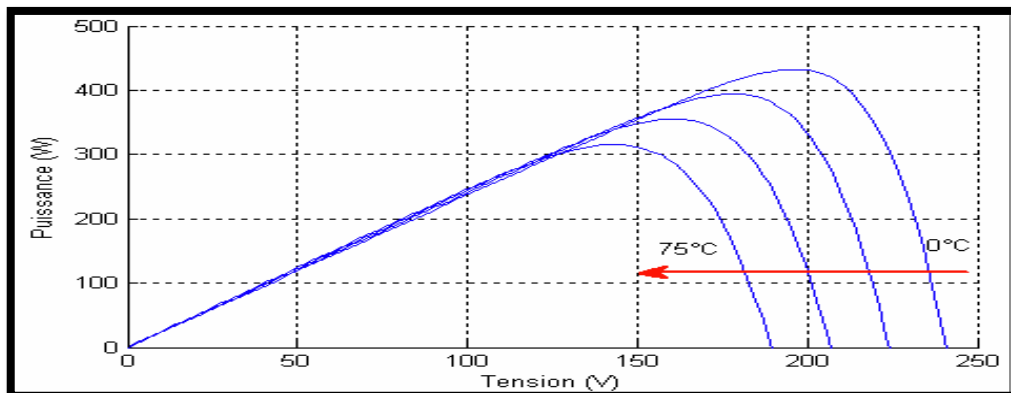


Figure I.12. L'influence de la température sur la caractéristique $P=f(V)$

I.11.Types de cellules photovoltaïque (PV)

Il existe plusieurs types de cellules qui se différencient par les matériaux utilisés pour les construire. En dehors du prix, le choix d'un type de cellule n'a que peu de conséquences pour l'utilisateur, la principale différence sera la surface qui, à puissance égale, pourra varier du simple au double [15].

I.11.1.Cellules au silicium monocristallin

Les cellules au silicium monocristallin illustré sur la figure I.13 offrent le meilleur rendement parmi les panneaux solaires disponibles dans le commerce : entre 16 à 19% .Il faudra donc moins de cellules pour atteindre la puissance désirée, mais comme le silicium monocristallin est aussi le plus cher, son seul avantage est finalement d'utiliser une surface réduite on obtient une puissance de 120 à 190 Wc /m² [15].

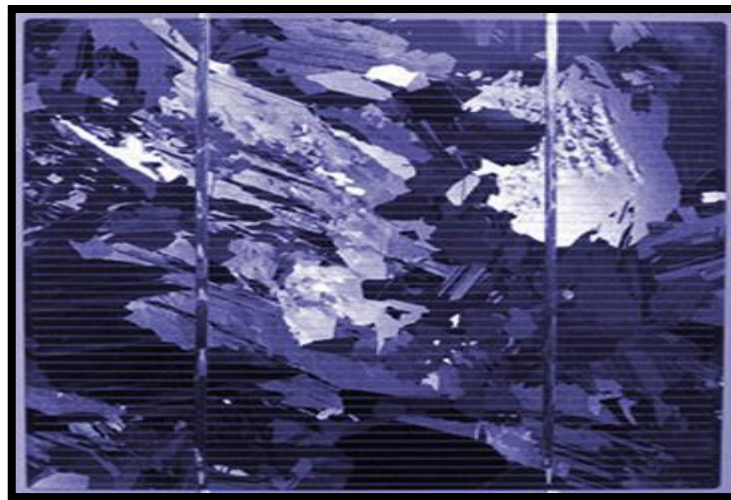


Figure I.13.Cellule photovoltaïque monocristalline

I.11.2.Cellules au silicium poly cristallin (ou multi cristallin)

Les cellules au silicium poly cristallin ont en général un rendement compris entre 12 et 14% [15].Il faut environ 8m² de cellules pour obtenir 1kWc. Ces cellules sont plus simples à fabriquer et moins chères que les cellules au silicium monocristallin, la figure I.14 représente une cellule PV poly cristallin. Les cellules poly cristallines sont reconnaissables aux formes irrégulières des cristaux qui apparaissent nettement à l'œil nu [15].

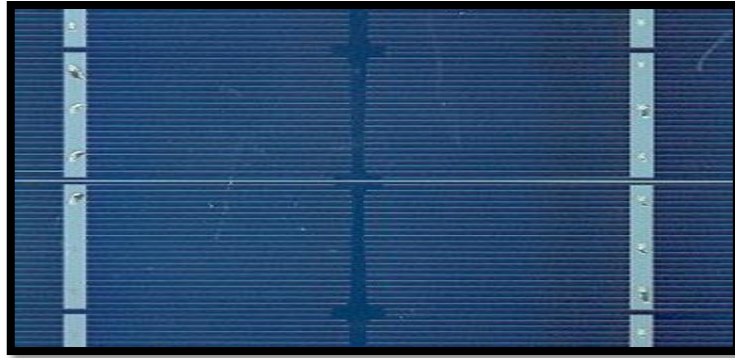


Figure I.14. Cellule photovoltaïque poly cristallines.

I.11.3. Cellules au silicium amorphe

Les cellules photovoltaïques amorphes comme sur la figure I.15 sont fabriquées avec un gaz de silicium. Ce gaz peut être projeté ensuite sur différents supports comme des plaques de verre, du plastique souple ou encore du métal, via un procédé de vaporisation sous vide. Les cellules sont de couleur gris foncé.

Il s'agit d'un type de cellule bon marché, que l'on retrouve dans la plupart des objets du quotidien fonctionnant à l'énergie solaire (calculatrice et montre solaire par exemple). Cette technologie est pratique car utilisable sur de nombreux supports et elle peut fonctionner si faible ensoleillement. Cependant ces cellules ont des rendements limités (de l'ordre de 5 à 7%, soit environ 15m² pour obtenir 1kWc) [16].

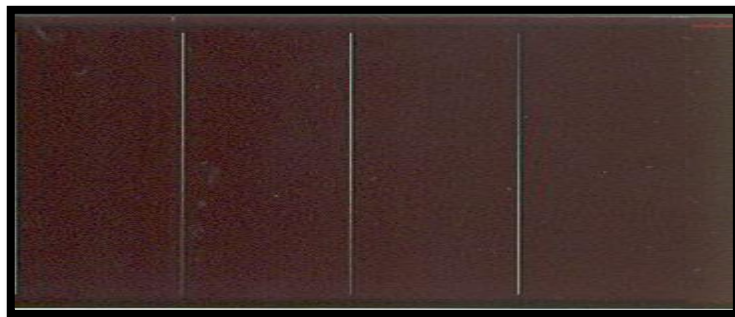


Figure I.15. Cellule photovoltaïque amorphes

I.11.4. Cellules utilisant d'autres matériaux que le silicium

Ce sont également des cellules à couches minces, elles peuvent être fabriquées à partir de matériaux divers : di séléniure de cuivre et d'iridium (CIS), tellurure de cadmium (CdTe)..., Elles ont des rendements compris entre 7 et 11% [15].

I.12. Mise en série et mise en parallèle

I.12.1. Mise en série

Une association de N_s cellules en série permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque (GPV). Les cellules sont alors traversées par le même courant et la caractéristique résultant du groupement série est obtenue par addition des tensions élémentaires de chaque cellule, figure I.16. L'équation résume les caractéristiques électriques d'une association série de n_s cellules.

$$V_{co} = N_s \cdot V_{co} \quad (I.7)$$

Avec:

V_{co} : la tension du circuit ouvert :

Ce système d'association est généralement le plus communément utilisé pour les modules photovoltaïques du commerce. Comme la surface des cellules devient de plus en plus importante, le courant produit par une seule cellule augmente régulièrement au fur et à mesure de l'évolution technologique alors que sa tension reste toujours très faible.

L'association série permet ainsi d'augmenter la tension de l'ensemble et donc d'accroître la puissance de l'ensemble. Les panneaux commerciaux constitués de cellules de première génération sont habituellement réalisés en associant 36 cellules en série ($V_{cons}=0.6V \cdot 36=21.6V$) afin d'obtenir une tension optimale du panneau V_{op} proche de celle d'une tension de batterie de 12V [17].

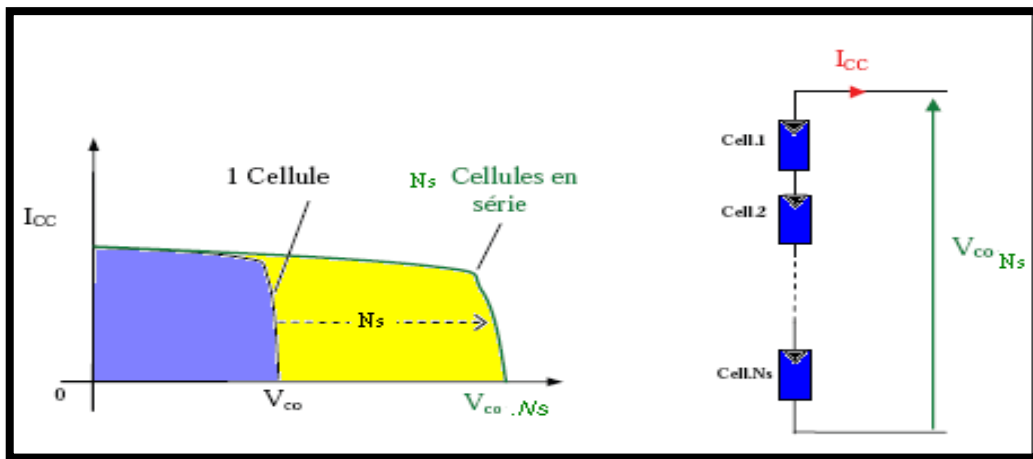


Figure I.16. Caractéristiques résultantes d'un groupement de N_s cellules en série

I.12.2. Mise en parallèle

D'autre part, une association parallèle de N_p cellules est possible et permet d'accroître le courant de sortie du générateur ainsi créé. Dans un groupement de cellules identique connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultant du groupement est obtenue par addition des courants, (figure I.17). L'équation (I.7) résume à son tour les caractéristiques électriques d'une association parallèle de N_p cellules.

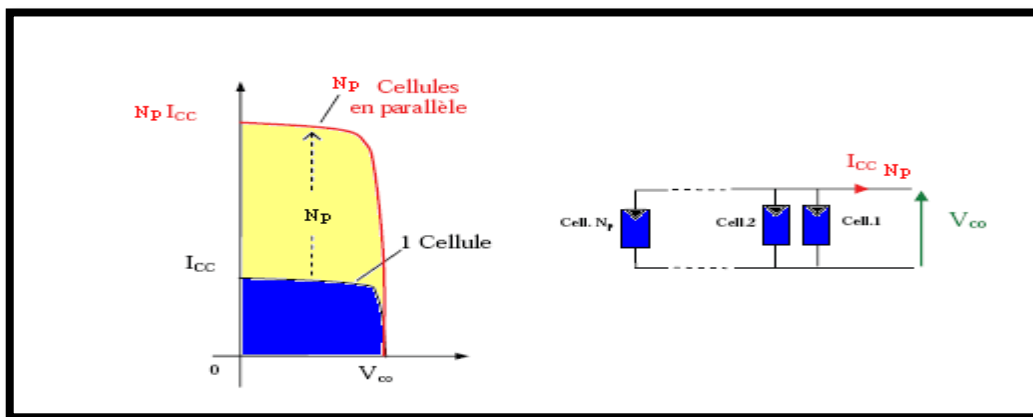


Figure I.17. Caractéristiques résultant d'un groupement de N_p cellules en parallèle

$$I_{cc} = N_p \cdot I_{cc} \tag{I.8}$$

Avec:

ICC: le courant de court-circuit

I.13. 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 I.18, [18].

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 [8].

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 100W). 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) [8].

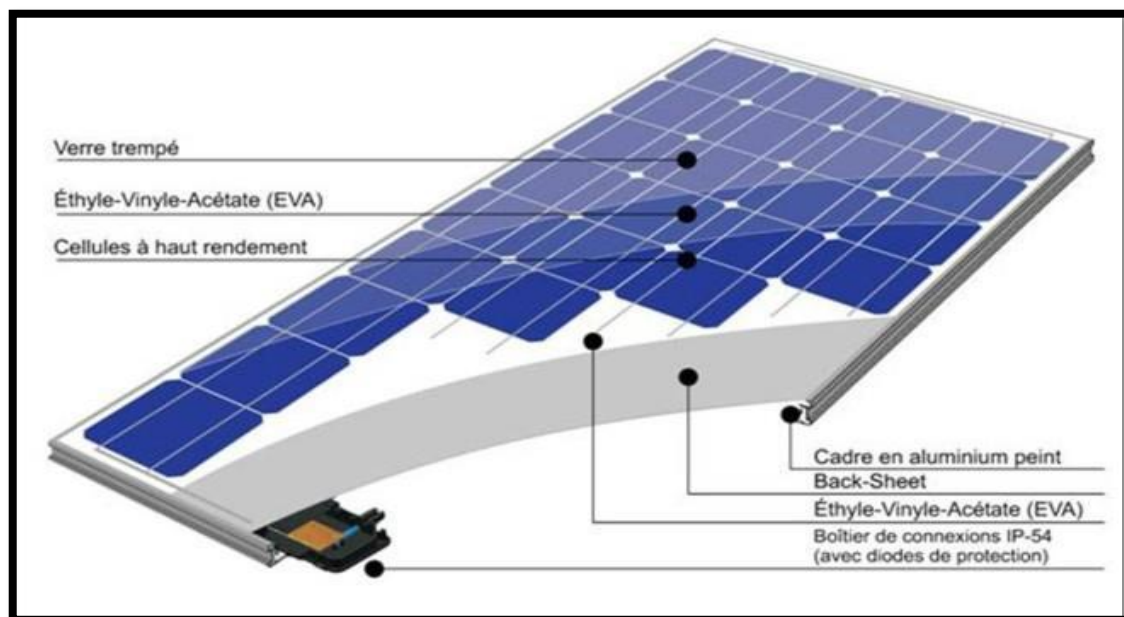


Figure I.18. Module photovoltaïque

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 I.19 suivante :

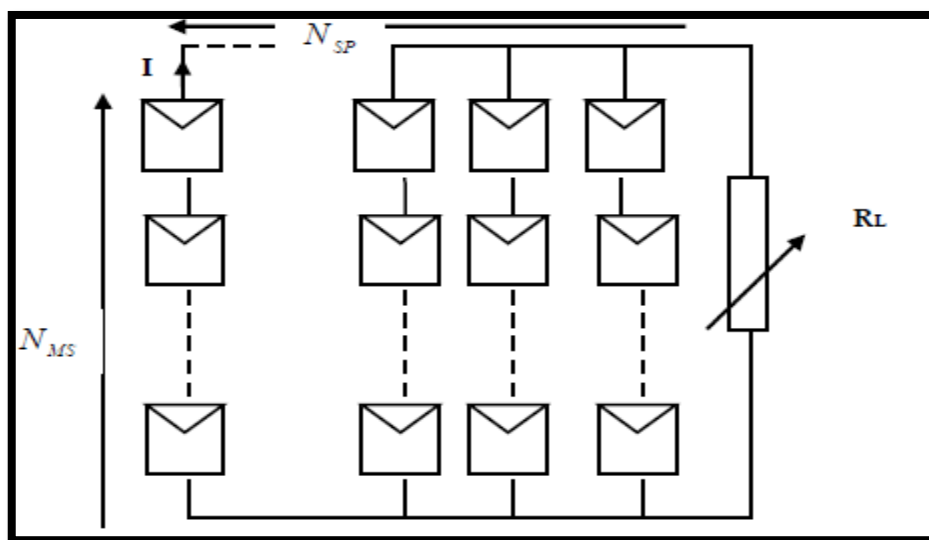


Figure I.19. Association de n cellules PV en parallèle et m en série

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 I.20 [18].

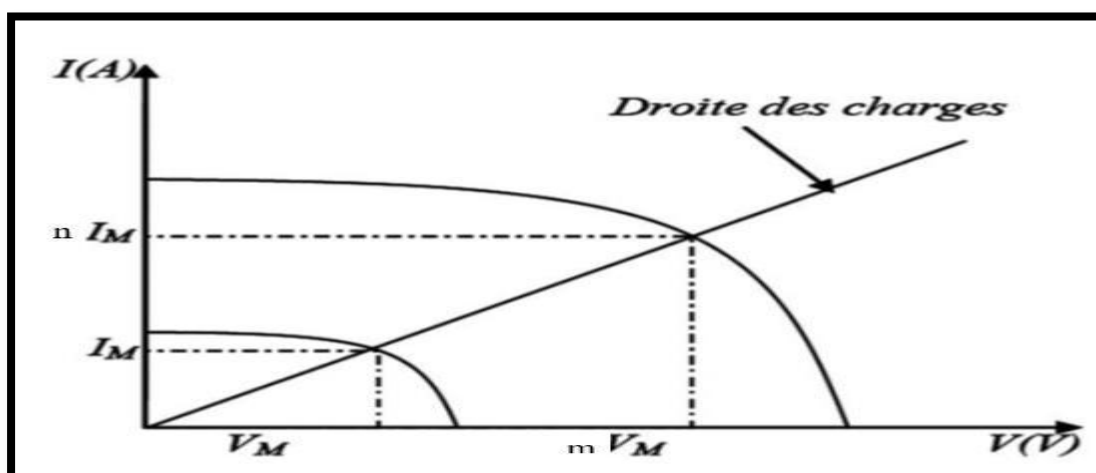


Figure I.20. Caractéristiques de n cellules solaires photovoltaïques en parallèle et m en série

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 [8].

I.14.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.

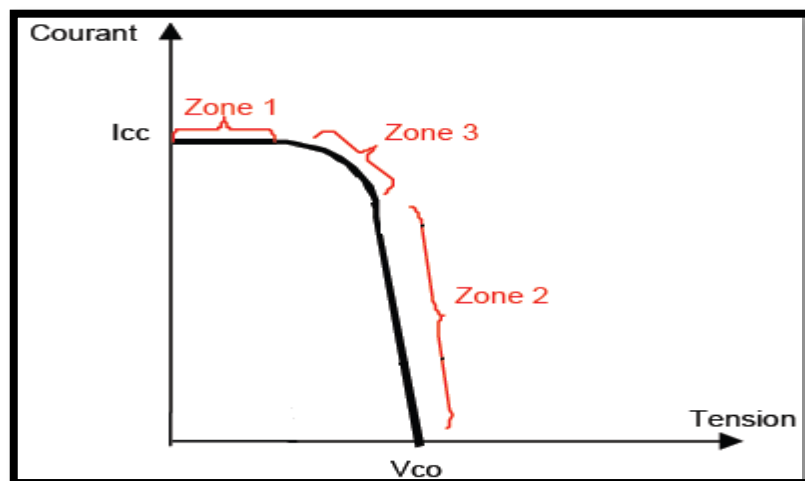


Figure I.21. Les différentes zones de la caractéristique I (V)

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 [19].

I.15. Panneau photovoltaïque

Le panneau PV ou (champ PV) sur la figure I.22 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 [20].

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 [21].

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 [1-8].



Figure I.22. Panneaux photovoltaïques

La figure I.23. représente les différentes composantes d'un champ photovoltaïque :

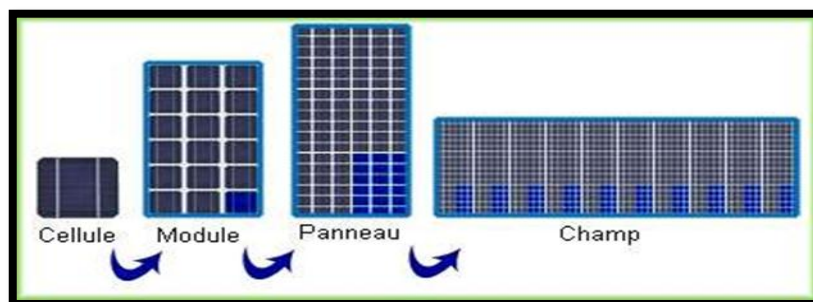


Figure I.23. Composants d'un champ de modules photovoltaïques

I.16. Système photovoltaïque

La figure I.24 montre la structure d'un système photovoltaïque [22].

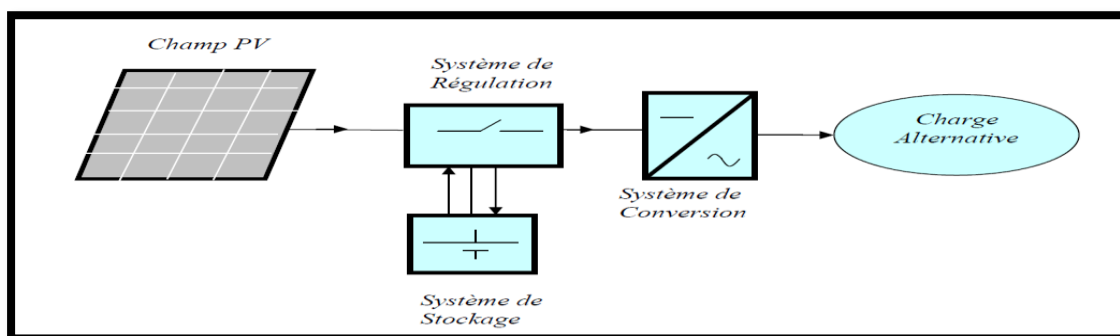


Figure I.24. Schéma d'un système photovoltaïque

Les systèmes photovoltaïques les plus couramment utilisés selon les exigences sont de trois types : autonome, raccordée au réseau et hybride [22].

I.16.1. 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 de charge, aussi l'autonomie du système PV est assurée par un système de stockage d'énergie. En général ces installations comprennent quatre éléments voir figure I.26, [20]:

- ✓ Un ou plusieurs modules PV,
- ✓ Un système de régulation,
- ✓ 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 [22].

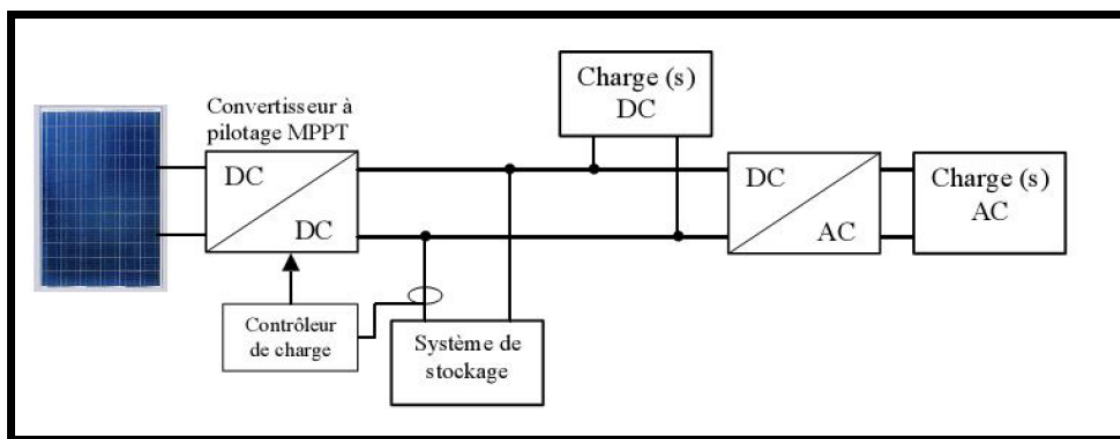


Figure I.25. Système photovoltaïque autonome

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 [22].

I.16.2. Système photovoltaïque raccordé à un réseau

Non autonome ou « grid connected », le système peut également être connecté au réseau. la figure I.26 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 [22].

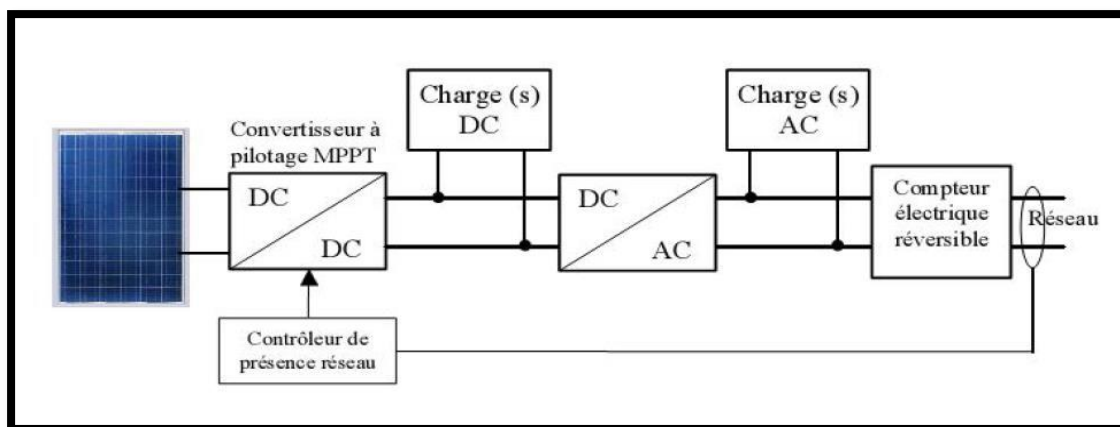


Figure I.26. Système photovoltaïque raccordé aux réseaux

I.16.3. 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

I.27. Un tel système s'avère un bon choix pour les applications qui nécessitent une alimentation continue d'une puissance assez élevée [21].

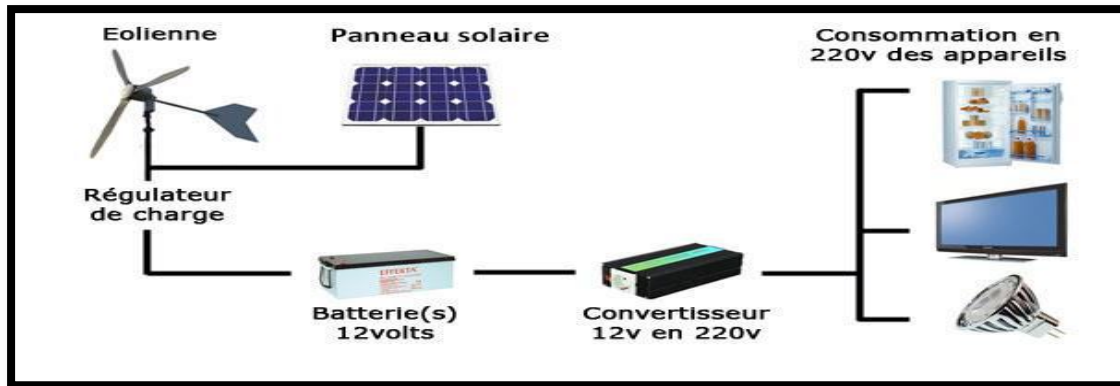


Figure I.27. Système hybride PV-Eolienne

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 [22].

I.17. Avantages et inconvénients de l'énergie PV

I.17.1. Avantage

- ✓ Elle est exploitable pratiquement partout, la lumière du soleil étant disponible dans le monde entier.
- ✓ Haute fiabilité. L'installation ne comporte pas de pièces mobiles qui la rendent.
- ✓ Particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.
- ✓ L'équipement de production peut presque toujours être installé à proximité du lieu de consommation, évitant ainsi les pertes en ligne.

- ✓ Le caractère modulaire des panneaux photovoltaïque permet un montage simple et Adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du Mille Watt au Méga Watt.
- ✓ Aucun mouvement, pas de pollution directe ou indirecte (facteurs atmosphériques ou liquides, produits de nettoyage, risque d'accident physique, ...) aucun déchet, aucune perturbation pour l'environnement de proximité, c'est une énergie purement propre et écologique.
- ✓ Le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits et il ne nécessite incombustible, ni son transport, ni personnel hautement spécialisé.
- ✓ Le silicium, est un matériau utilisé dans les panneaux solaires actuels les plus répandus, est très abondant et n'est pas toxique.
- ✓ Les panneaux solaires ont une durée de vie de 20 à plus de 30 ans et sont presque intégralement recyclables.

I.17.2. Inconvénients

- ✓ Le rendement réel de conversion d'un module est faible, de l'ordre de 10-15 % [22] avec une limite théorique pour une cellule de 28% [22]. Les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport aux générateurs diesel que pour des faibles demandes d'énergie en régions isolées.
- ✓ Lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur est accru. Le stockage de l'énergie électrique pose encore de nombreux problèmes.
- ✓ La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert désinvestissements d'un coût élevé.
- ✓ L'impact environnemental et énergétique de la fabrication des panneaux de silicium n'est pas nul. Une cellule photovoltaïque doit fonctionner entre un an et demi et cinq ans pour compenser l'énergie utilisée pour la fabriquer.

I.18. Secteurs d'application

✓ Domaine spatial : c'est de loin le secteur le plus ancien puisque les premières utilisations de cellules solaires pour des engins spatiaux (satellites, navettes, ...) Remontent aux années soixante.

✓ Télécommunications : Téléphonie rurale, radiotéléphonie...

✓ Sites isolés : Parcs nationaux, service des eaux et forêts, régions isolées, pays en voie de développement. Pompage de l'eau, irrigation, domiciles, villages...

✓ Acquisition de données : L'énergie photovoltaïque joue un rôle très important pour les stations isolées d'acquisition de données, vu la haute fiabilité de fonctionnement,

L'autonomie, la moindre sensibilité à la foudre, la résistance extrême aux conditions naturelles, la maintenance légère et la longévité des équipements (25 ans).

✓ Domaine du transport : Lampadaires, panneaux à messages variables, éclairage de panneaux, signalisation lumineuse routière et ferroviaire.

I.19. Conclusion

Ce chapitre nous a permis d'explorer le principe de la conversion photovoltaïque ainsi que les différentes technologies utilisées pour y parvenir. Des aspects aussi bien technologiques qu'électriques ont été abordés afin de mieux comprendre l'ensemble du mécanisme de conversion photovoltaïque. D'autre part, nous avons vu 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 II

Généralité sur la carte Arduino

II.1.Introduction

Dans ce chapitre, on va présenter le projet Arduino à ces deux parties (matérielle et logiciel), et nous allons parler spécialement à la carte Arduino UNO mentionnant les caractéristiques et le principe de fonctionnement et nous donnons le schéma de principe de cette carte. Puis, nous présenterons le but de l'utilisation de l' Arduino.

II.2.Historique de la carte Arduino.

Le projet Arduino est issu d'une équipe d'enseignants et d'étudiants de l'école de Design d'Interaction d'Ivrea (Italie). Ils rencontraient un problème majeur à cette période (avant 2003 - 2004) : les outils nécessaires à la création de projets d'interactivité étaient complexes et onéreux (entre 80 et 100 euros). Ces coûts souvent trop élevés rendaient difficiles le développement par les étudiants de nombreux projets et ceci ralentissait la mise en œuvre concrète de leur apprentissage [23].

En 2003, Hernando Barragan, pour sa thèse de fin d'études, avait entrepris le développement d'une carte électronique dénommée Wiring, accompagnée d'un environnement de programmation libre et ouvert. Pour ce travail, Hernando Barragan réutilisait les sources du projet Processing. Basée sur un langage de programmation facile d'accès et adaptée aux développements de projets de designers, la carte Wiring a donc inspiré le projet Arduino (2005) [23].

II.3.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 présent par la figure II.1 [24].



Figure II.1 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 [24].

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 II.2 [25].

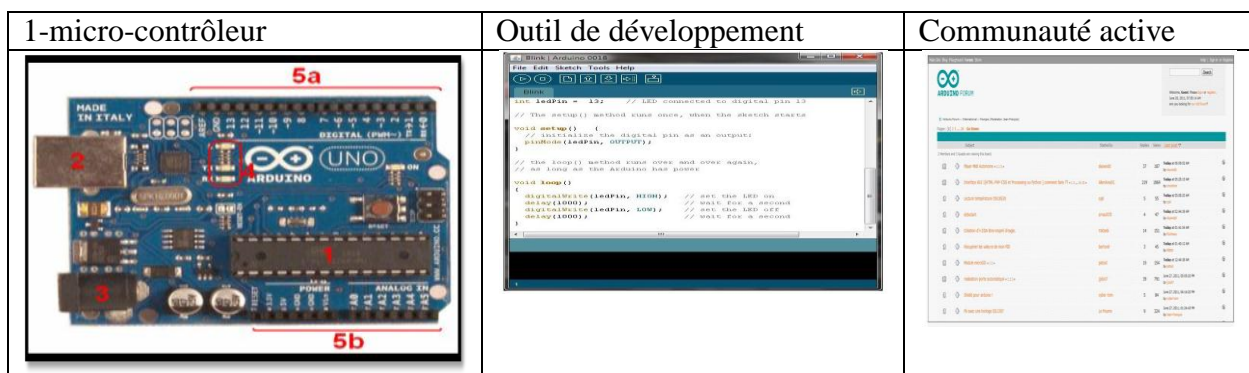


Figure II.2. Structures principales du système Arduino

II.4. Constitution de la carte Arduino

La carte Arduino est composée de deux parties principales : **le matériel** et **le logiciel**.

II.4.1. 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 [26].

(1). Le microcontrôleur

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

(2, 3) 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.

(4). 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.

II.4.2. Le logiciel

Le logiciel permet de programmer la carte Arduino. Il offre une multitude de fonctionnalités [26].

II.4.2.1. L'interface

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

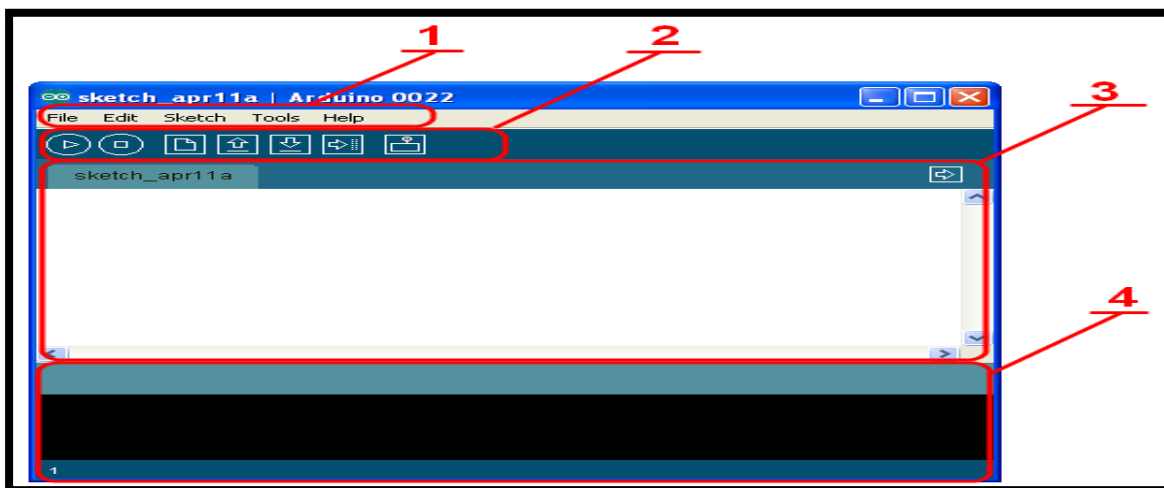


Figure II.3. L'Interface du logiciel Arduino

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

II.4.2.2. Les boutons

1. permet de vérifier le programme, il actionne un module qui cherche les erreurs dans le programme
2. Créer un nouveau fichier
3. Sauvegarder le programme en cours
4. Liaison série
5. Stoppe la vérification
6. Charger un programme existant
7. Compiler et envoyer le programme vers la carte



Figure II.4. Les Boutons de programmation de la carte

II.4.2.3. 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.

Références utilise :

- 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.

Tableaux II .1. les fonctions spécifiques de langage d'Arduino

Structure	Constants	Functions
<ul style="list-style-type: none"> • setup() • loop() 	<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 <p style="text-align: right;">• Stream</p>

II.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 [26].

II.5.1. 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 [27].

II.6. Les différents type d'Arduino

II.6.1. 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.

II.6.2. La carte Arduino Lenardo

C'est la carte qui est prévue pour succéder à la carte Arduino Uno 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.

II.6.3.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.

II.6.4.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.6.5.La carte Arduino Mini Pro

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.

II.6.6.La carte Arduino Yun

La carte Arduino Yun, récemment proposée par Arduino, est conçue pour contrer les avantages de la carte Raspberry. Elle est un dérivé de la carte Leonardo et a pour objectif de combiner la puissance de Linux avec la facilité d'utilisation d'une carte Arduino. Elle est également la première carte Arduino à être dotée nativement d'un wifi intégré [27].

II.7.Le Choix de la carte Arduino

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

- 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».

II.7.1. 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).

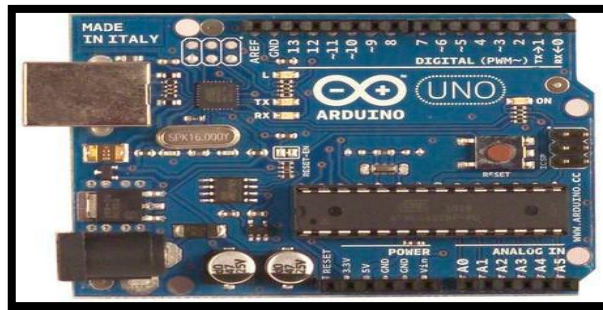


Figure II.5.de la carte Arduino UNO

II.7.2. Caractéristiques de la carte Arduino uno

Tableaux II. 2 des caractéristique de la carte Arduino UNO

Les éléments	Caractéristique
Micro contrôleur	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

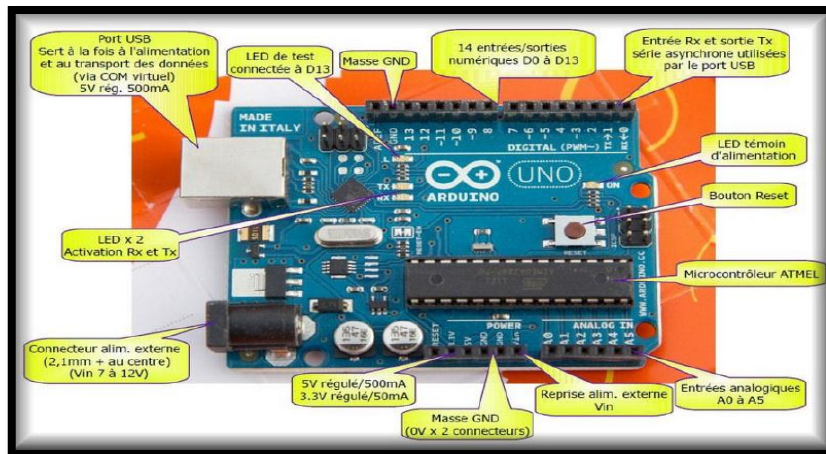


Figure II.6. 'interface de la carte Arduino UNO.

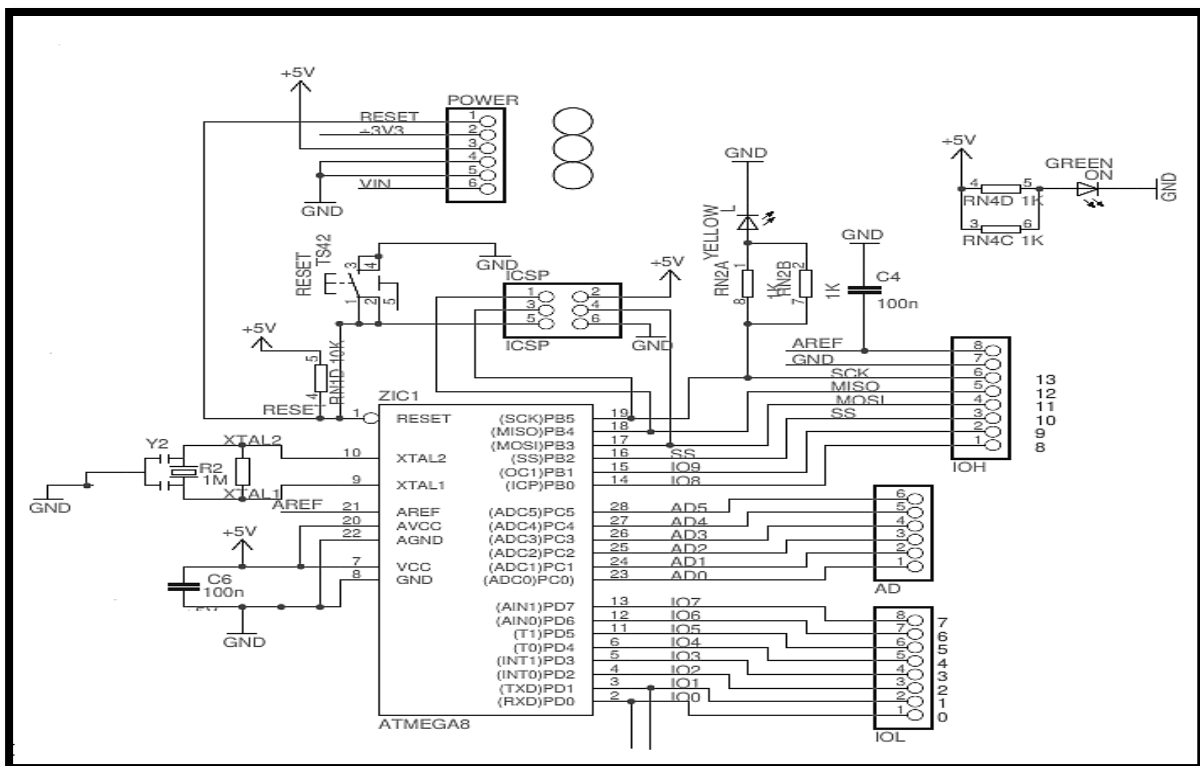


Figure II.7. Schéma simplifié de la carte Arduino UNO

II.7.3. Microcontrôleur ATMEL ATmega328

Le microcontrôleur de la carte Arduino UNO est un ATmega328. C'est un microcontrôleur ATMEL de la famille AVR 8bits. Les principales caractéristiques sont :

FLASH = mémoire programme de 32Ko

SRAM = données (volatiles) 2Ko

EEPROM = données (non volatiles) 1Ko

Digital I/O (entrées-sorties Tout Ou Rien) =3 ports PortB, PortC, PortD (soit 23 broches en tout I/O)

Timers/Counters : Timer0 et Timer2 (comptage 8 bits), Timer1 (comptage 16bits)

Chaque timer peut être utilisé pour générer deux signaux PWM. (6 broches OCxA/OCxB)

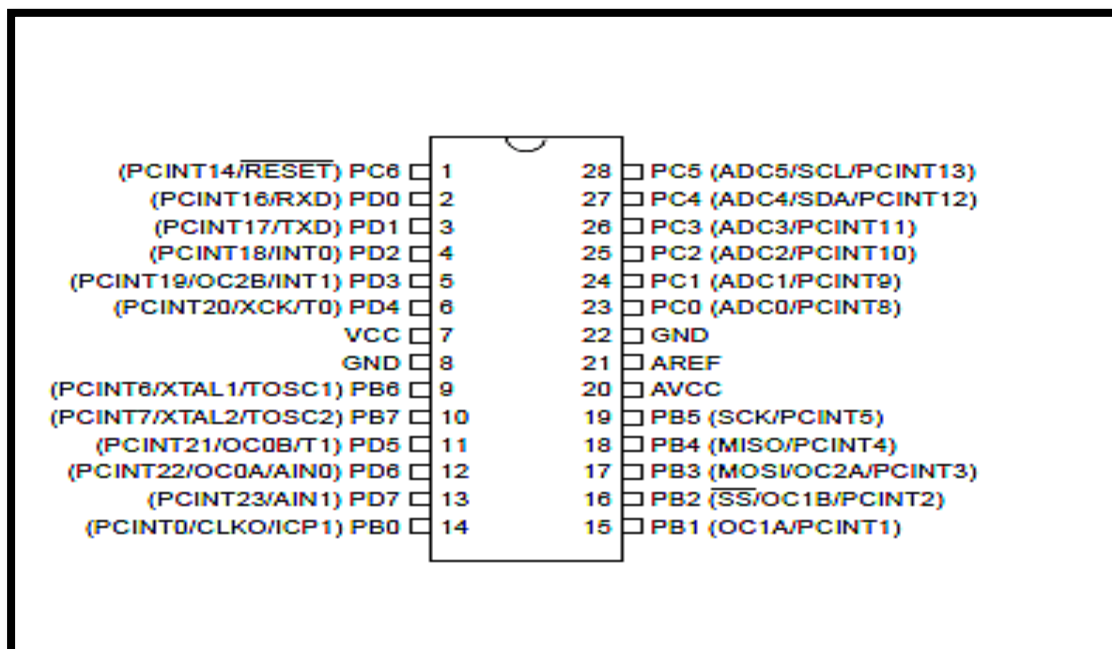


Figure II. 8. Architecture du microcontrôleur de L' Arduino UNO

II.8.Le Microcontrôleur

Un microcontrôleur est un système qui ressemble a un ordinateur : il a une mémoire, un processeur, des interfaces avec le monde extérieur. Les microcontrôleurs ont des performance sn réduites, mais sont de faible taille et consomment peu d'énergie, les rendant indispensables dans toute solution d'électronique embarquée (voiture, porte de garage, robots, ...). La carte Arduino

n'est pas le microcontrôleur le plus puissant, mais son architecture a été publiée en open-source, et toute sa philosophie s'appuie sur le monde du libre, au sens large.

Un **microcontrôleur** est constitué par un ensemble d'éléments qui ont chacun une fonction bien déterminée. Il est en fait constitué des mêmes éléments que sur la carte mère d'un ordinateur :

II.8.1. La mémoire

Il en possède 5 types :

- **La mémoire Flash** : C'est celle qui contiendra le programme à exécuter. Cette mémoire est effaçable et réinscriptible.
- **RAM** : c'est la mémoire dite "vive", elle va contenir les variables de votre programme. Elle est dite "volatile" car elle s'efface si on coupe l'alimentation du microcontrôleur.
- **EEPROM** : C'est le disque dur du microcontrôleur. Vous pourrez y enregistrer des infos qui ont besoin de survivre dans le temps, même si la carte doit être arrêtée. Cette mémoire ne s'efface pas lorsque l'on éteint le microcontrôleur ou lorsqu'on le reprogramme.
- Les **registres** : c'est un type de mémoire utilisé par le processeur.
- La mémoire **cache** : c'est une mémoire qui fait la liaison entre les registres et la RAM.

II.8.2. Le processeur

C'est le composant principal du microcontrôleur. C'est lui qui va exécuter le programme qu'on lui donnerons à traiter. On le nomme souvent le CPU. Pour que le microcontrôleur fonctionne, il lui faut une alimentation. Cette alimentation se fait en générale par du +5V. D'autres ont besoin d'une tension plus faible, du +3,3V.

En plus d'une alimentation, il a besoin d'un signal d'horloge. C'est en fait une succession de 0 et de 1 ou plutôt une succession de tension 0V et 5V. Elle permet en outre de cadencer le fonctionnement du microcontrôleur à un rythme régulier. Grâce à elle, il peut introduire la notion de temps en programmation.

II.9. Plaque d'essai

La plaque d'essai sans soudure nous permet de réaliser rapidement un montage électronique en insérant les pattes des composants et les fils dans les trous.

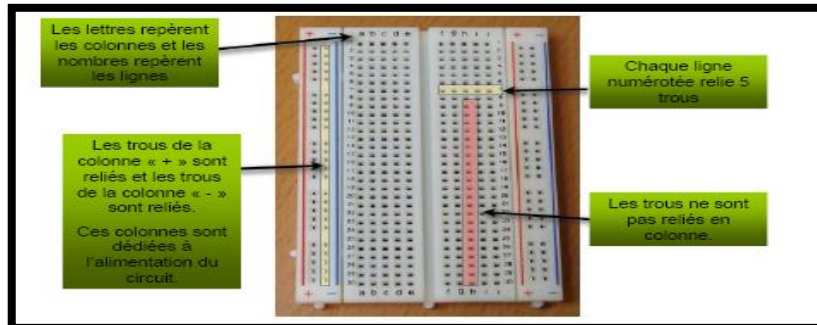


Figure II.9. plaque d'essai réaliser un montage électronique

II.10. 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 connexions cachées qui relient les différentes entrées du breadboard ci-dessus).

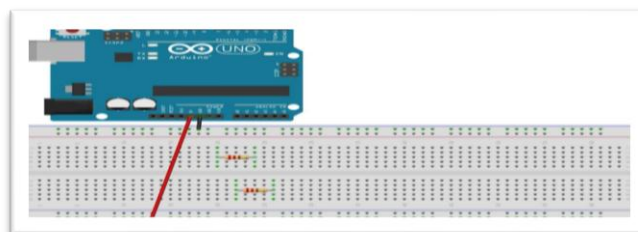


Figure II.10. La résiliation entre la carte Arduino et plaque d'essais

II.11. Les entrées/sorties numériques et analogique

II.11.1. Les entrées/sorties numériques : de D0 à D13

Chacun des connecteurs D0 à D13 peut être **configuré par programmation en entrée ou en sortie**, nous pouvons donc avoir par exemple les connecteurs 2 et 3 configurés comme des entrées et les connecteurs 7, 8 et 9 configurés comme des sorties.

Il est par conséquent possible de connecter côte à côte des capteurs logiques (Interrupteurs par exemple) aux connecteurs 2 et 3 et des actionneurs aux connecteurs 7, 8 et 9.

Les signaux véhiculés par ces connecteurs sont des signaux logiques, c'est-à-dire qu'ils ne peuvent prendre que deux états : HAUT (5 Volts) ou BAS (0 Volt), par rapport au connecteur de masse GND, qui lui est toujours, par définition, à 0 Volt.



Figure II.11. Les entrées/sorties numériques

II.11.2. Les entrées analogiques A0 à A5

Contrairement aux entrées/sorties numériques qui ne peuvent prendre que deux états HAUT et BAS, ces six entrées peuvent admettre un millier de valeurs (1024 exactement) analogiques comprises entre 0 et 5 Volts. Nous pourrions donc avoir des valeurs de tension précises à 5 mV près ($\approx 5V/1024$).



Figure II.12. Les entrées analogiques

II.12. La communication Bluetooth entre l'Arduino et l'ordinateur

La connexion série de l'Arduino est très pratique pour communiquer avec un pc, mais son inconvénient est le câble USB. Comment faire pour communiquer à distance sans devoir s'encombrer d'un câble pour relier le module Arduino et le pc ? Tout simplement en utilisant un module Bluetooth pour remplacer la liaison USB.

Être capable de contrôler votre projet Arduino utilisant Bluetooth totalement génial. Vous n'avez pas à transporter un contrôleur compliqué ou être proche de projet pour le surveiller. Il ya plusieurs écrans et modules Bluetooth compatible Arduino vous pouvez utiliser. Je utilise le module particulier HC-06, mais devrait être similaire avec les autres.

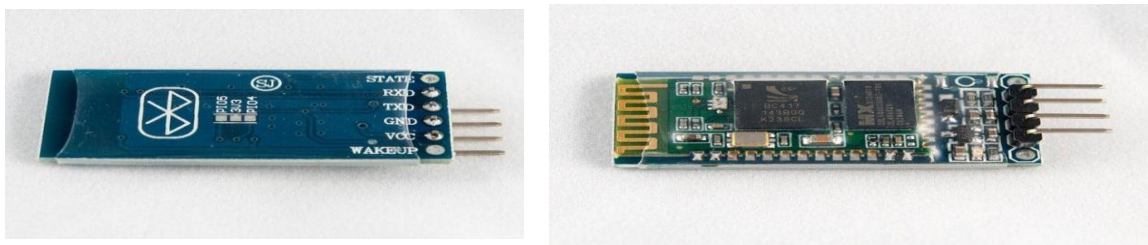


Figure II.13. Le module Bluetooth " HC-06" sur laquelle nous allons travailler

Vous devez avoir soit intégré dans le module Bluetooth ou un dongle Bluetooth installé sur votre ordinateur. En outre, vous devez avoir installé sur votre système à la fois les logiciels Arduino IDE et Processing.

Le HC-06 dispose de 6 broches : WAKEUP (réveil), VCC, GND, TXD, RXD et STATE (de l'État). En ce moment je ne traiterai que quatre épingles, qui sont VCC, GND, TXD et RXD. Voici comment vous devez connecter le module Bluetooth à votre Arduino :

- GND (Bluetooth) ⇒ GND (Arduino)
- VCC (Bluetooth) ⇒ 3.3V (Arduino)
- TX-O (Bluetooth) ⇒ RX (0) (Arduino)
- RX-I (Bluetooth) ⇒ TX (1) (Arduino)

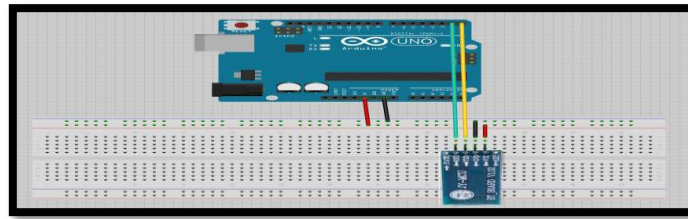


Figure II.14. Le bronchement du module Bluetooth " HC-06" avec la carte Arduino

Une fois que vous avez écrit et téléchargé le code Arduino sur votre Arduino, débranchez le câble USB Arduino de votre ordinateur, Vous pouvez utiliser une batterie externe ou de toute autre source externe pour alimenter votre Arduino. Puis écrire un code Processing pour gérer la communication entre l'Arduino et l'ordinateur via le Bluetooth (envoyer et recevoir les informations).

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)
- etc.

arduino.odt.

II.13.Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné une généralité sur la carte Arduino UNO, ses types, ses caractéristiques et son principe de fonctionnement.

Dans le prochain chapitre nous allons présenter la réalisation du notre suiveur du soleil à l'aide une carte Arduino UNO.

Chapitre III

Réalisation d'un système de suiveur du soleil

III.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.

III.2. Schéma Synoptique

Le schéma synoptique général de notre suiveur du soleil est présenté par la figure III.3 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.

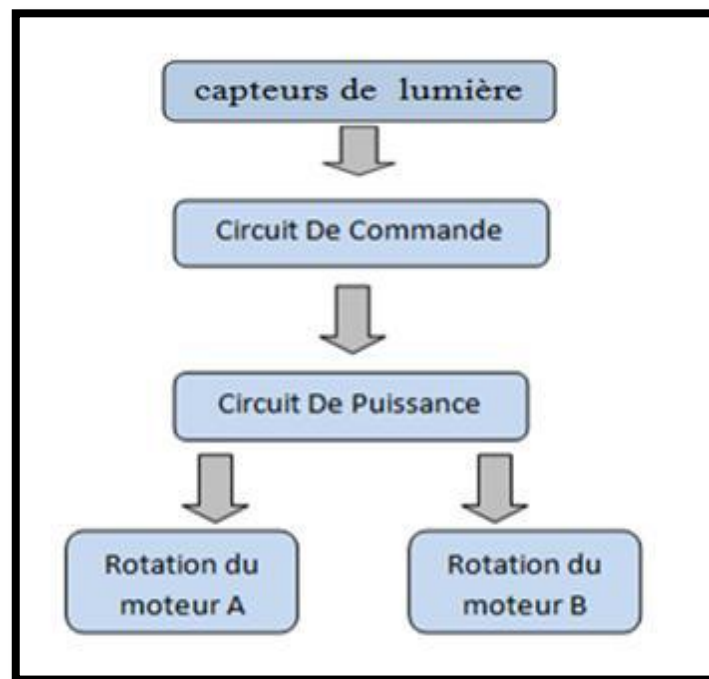


Figure III.1. Schéma synoptique de notre suiveur du soleil

III.3. Etude des différents blocs du suiveur

III.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[28]. 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.

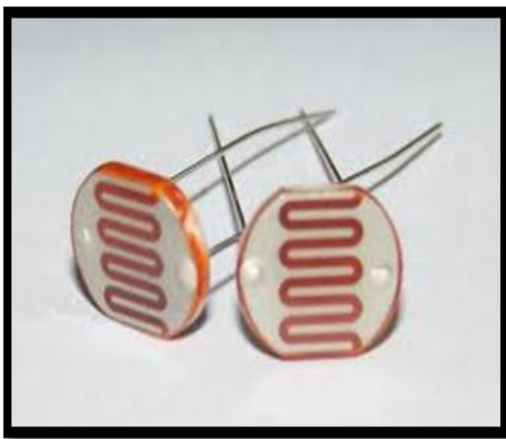


Figure III.2. Phtorésistance LDR

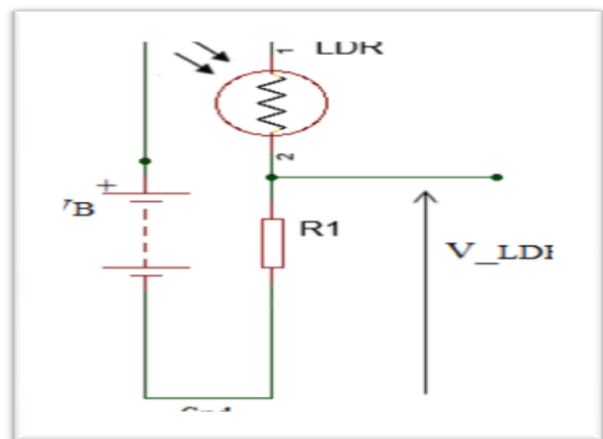


Figure III.3. Circuit équivalent du capteur LDR

Le fonctionnement des capteurs embarqués à travers un LDR est montré par la figure.III.4. Ce fonctionnement nous permet de poursuivre le mouvement du soleil selon l'ombrage produit par le paroi de séparation.

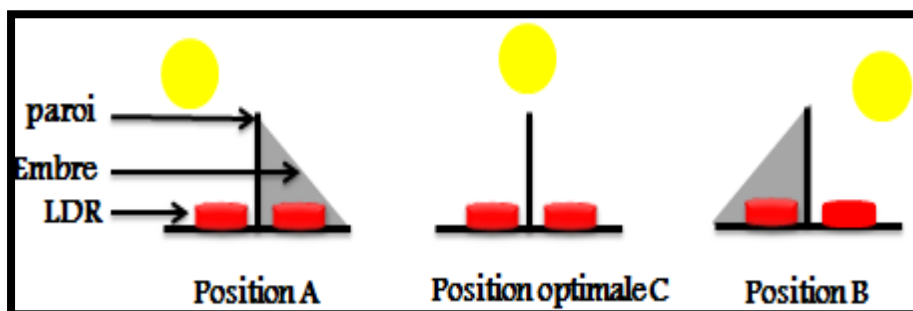


Figure. III.4. Fonctionnement des capteurs embarqués

La tension délivrée par le capteur est donnée par la relation:

$$VLDR = \frac{VB \times R1}{R - LDR \pm R1} \quad (III. 1)$$

où :

V_B : tension de batterie (en V)

$R-LDR$: résistance de la LDR (en Ω)

❖ **suiveur mono-axe**

En partant du principe général précédent, on retrouve le suiveur mono-axe qui permet une rotation selon l'axe horizontal seulement qui est le plus souvent utilisé en raison de sa simplicité.

❖ **Suiveur double axe**

Le principe est le même pour le suiveur mono axe, il est basé sur la différence d'éclairement des quatre LDRs.

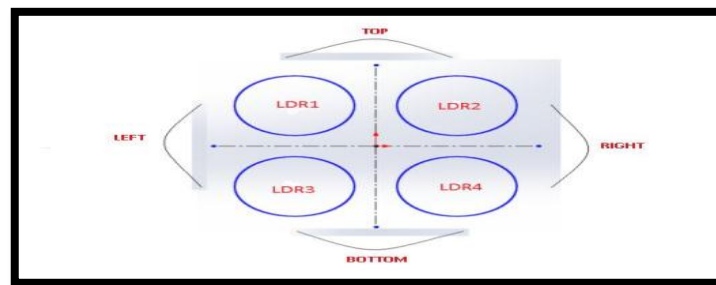


Figure III.5. Schéma du prototype des quatre capteurs LDR

III.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.

III.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 [29].

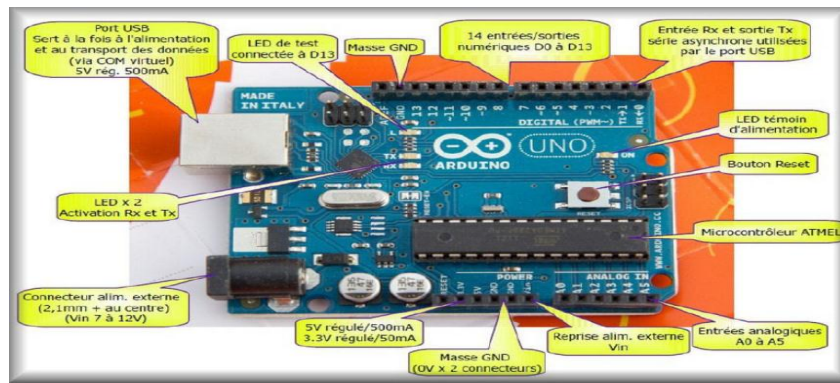


Figure III.6. La carte Arduino

III.3.2.2. Câble USB

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



Figure III.7. Cable 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 [30].

III.3.2.3. Fils de Pin d'Arduino

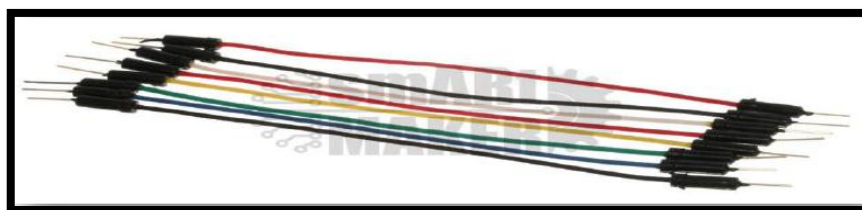


Figure III.8. Fils de pin d'Arduino

Ces fils males sont utilisés pour brancher et connecter l'Arduino avec d'autre pièce et pour les

testes. La plaque d'essai est un dispositif qui permet de réaliser le prototype d'un circuit électronique elle est utilisée dans la plupart des expériences d'Arduino.

III.3.3. Circuit de puissance

Le circuit de puissance est la partie intermédiaire qui relie le moteur et le microcontrôleur. L'Arduino génère en sortie 4 signaux. Pour piloter les deux moteurs à courant continu du suiveur solaire dans les deux sens, nous avons eu recours à un circuit de puissance comme représenté sur la figure III.8. en circuit intégré [31]. Il s'agit en fait d'un double pont en H à transistors bipolaires la figure III.8. pour charges inductives, comme le sont les moteurs CC.

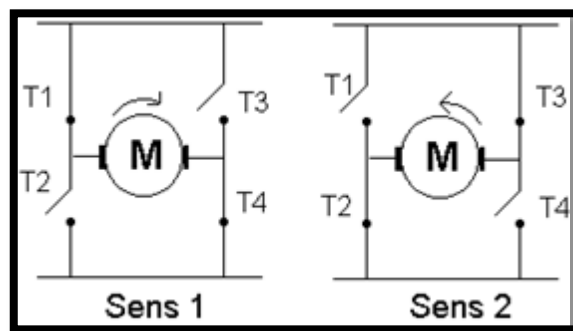


Figure III.9. Variation de sens du moteur par pont en H

III.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.

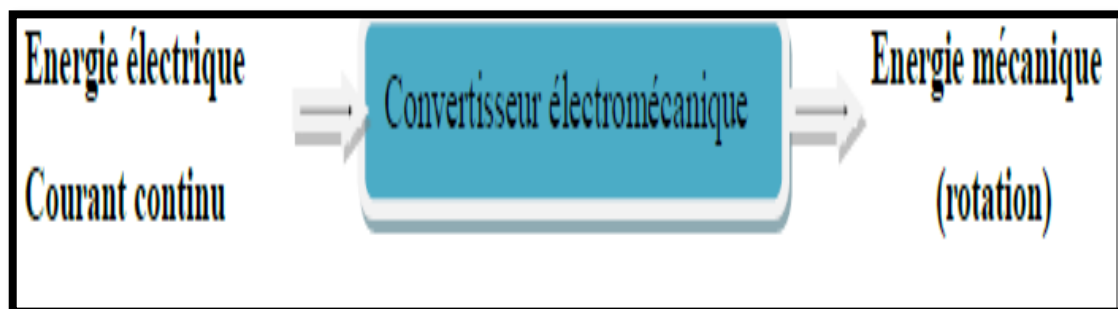


Figure III.10. Principe de fonctionnement du moteur à courant continu

Dans notre projet nous avons utilisé des moteurs à forte puissance comme montrer à la figure III.10 pour qu'ils puissent piloter les panneaux, mais le courant délivrer par l'hacheur est plus faible par rapport à la puissances des moteurs, pour cela nous avons utilisé une batterie à forte puissance et l'adaptation des puissances entre les deux est géré par des relais par la figure III.10.



Figure III.11. Moteur à courant continu utilisé dans notre projet

III.3.3. 2.Relais à 5v

Un relais électromécanique est un organe électrique permettant de dissocier la partie puissance de la partie commande : il permet l'ouverture et la fermeture d'un circuit électrique par un second circuit complètement isolé (isolation galvanique).

Un relais électronique est un interrupteur qui se commande avec une tension continue de faible puissance. La partie interrupteur sert à piloter des charges secteur de forte puissance (jusqu'à 10A couramment).

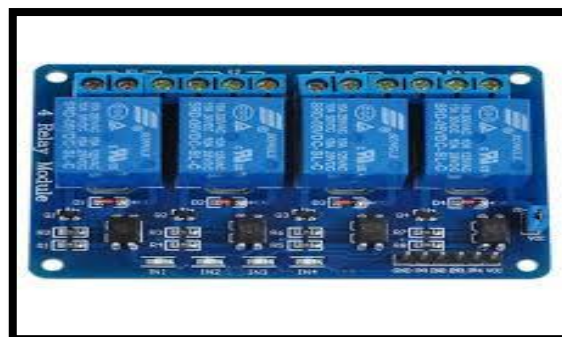


Figure III.12. Le relai utilisé.

III.3.3. 3. Régulateur de charge

Le régulateur électronique de charge/décharge est entièrement automatique à laquelle sont reliés le panneau photovoltaïque, la batterie, ainsi que les équipements destinataires de

l'électricité solaire. Sa fonction principale est de contrôler l'état de la batterie. Il autorise la charge complète de celle-ci en éliminant tout risque de surcharge et interrompt l'alimentation des destinataires si l'état de charge de la batterie devient inférieur au seuil de déclenchement.



Figure III.13. Régulateur de charge/décharge

III.3.3. 4. Batterie du stockage à 12V

Le rôle d'une batterie est le stockage de la puissance électrique produite par le panneau photovoltaïque. Dans notre projet, nous avons utilisé une batterie d'ion de lithium de 12V- 62Ah comme montrer dans la figure III.13.



Figure III.14. Batterie du stockage 12V

Les grandeurs d'alimentations utilisées dans notre suiveur sont représentées dans le tableau III.1 :

Tableau III.1 Grandeurs d'alimentations utilisées

Source d'alimentation	Tension utile en (V)	Dispositif
batterie	5v	Arduino
batterie	5v	relai
batterie	12v	Moteur à CC

Dans cette partie, nous avons présenté les différents éléments constitutifs du dispositif que nous sommes amenés à réaliser et qui permet d'optimiser les performances d'un panneau PV classique et d'assurer le bon fonctionnement en faisant en sorte que les rayons solaires y soient perpendiculaires.

Dans la partie qui suite, nous allons présenté les détails des étapes de réalisation de notre suiveur.

III.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 on réalisée le système il faut l'incarnation du travail pratique.

III . 4.1. Partie de programmation

III.4.1.1.L'organigramme

Avant de passer à la programmation, nous devons réaliser un organigramme qui explique le déroulement des différentes séquences, tant intérieures qu'extérieures figure III.14.

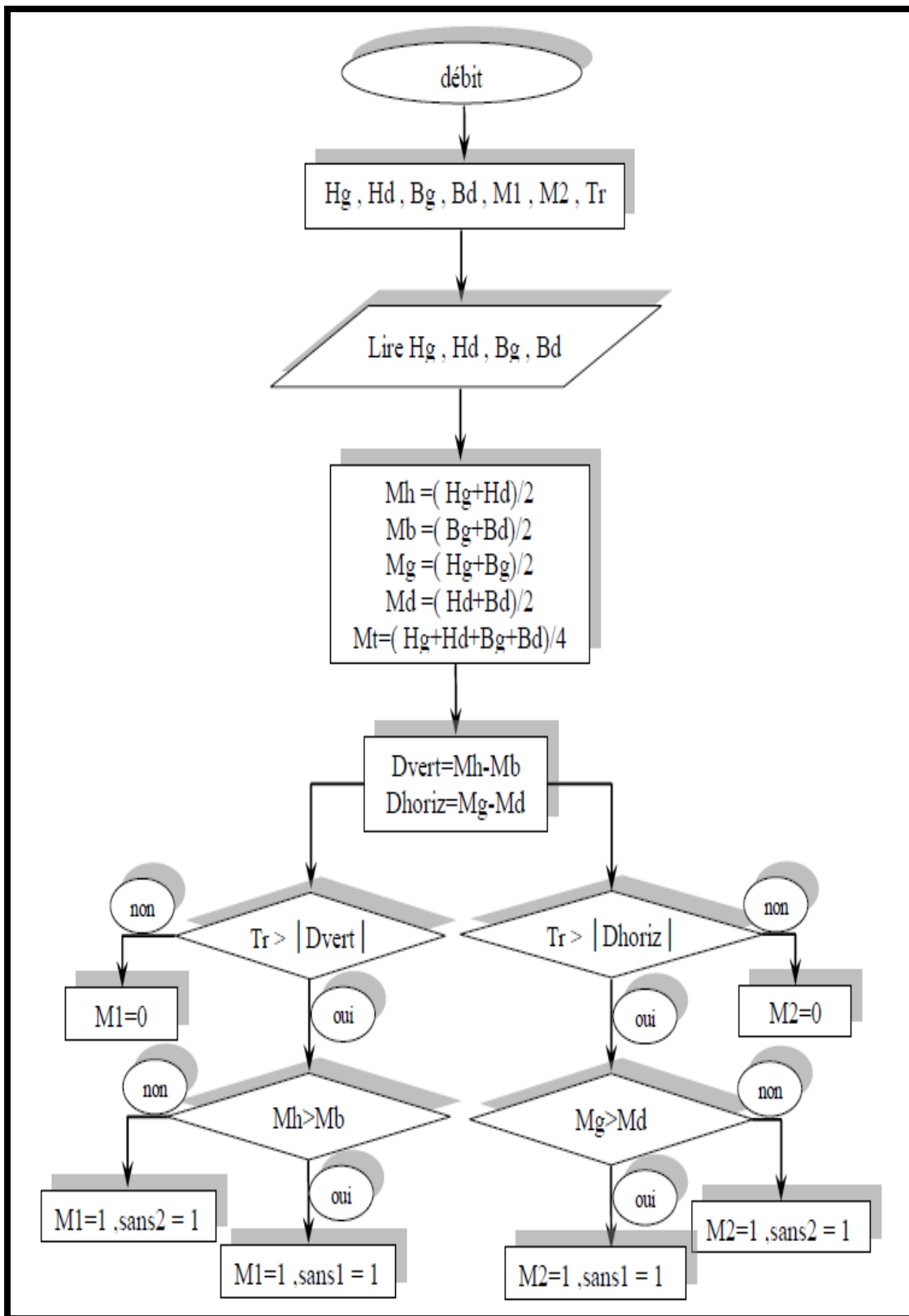


Figure III.15. Organigramme Principal

III.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 III.15.

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 dominio 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 botao para ser accionado manualmente para
  *  o seguidor entrar em posição neutra.
  *
  */

// LDR pin connections
// name = analogpin;
int ldr1t = 0; //LDR top left  //????? Use the names A0, A1, A2, and A3 when talking about analog inputs
int ldr1r = 1; //LDR top right //????? Use the names A0, A1, A2, and A3 when talking about analog inputs
int ldr2l = 2; //LDR down left //????? Use the names A0, A1, A2, and A3 when talking about analog inputs
int ldr2r = 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 III.16. Interface du logiciel Arduino.

III.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 III.16 présente notre schéma de simulation.

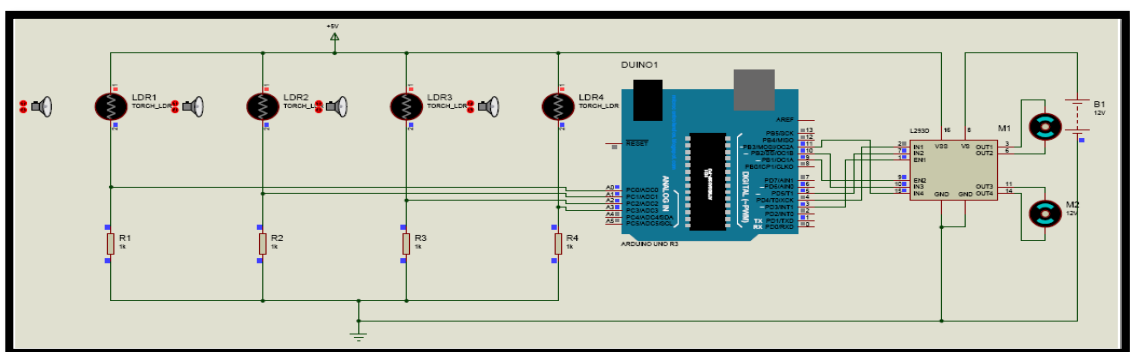


Figure III.17. Montage du système sous le logiciel Proteus-ISIS

III.4.3. Partie électrique

Le schéma global du système de suiveur est montré par la figure III.17. Où le schéma du circuit électrique de ce système est présenté par la figure III.18.

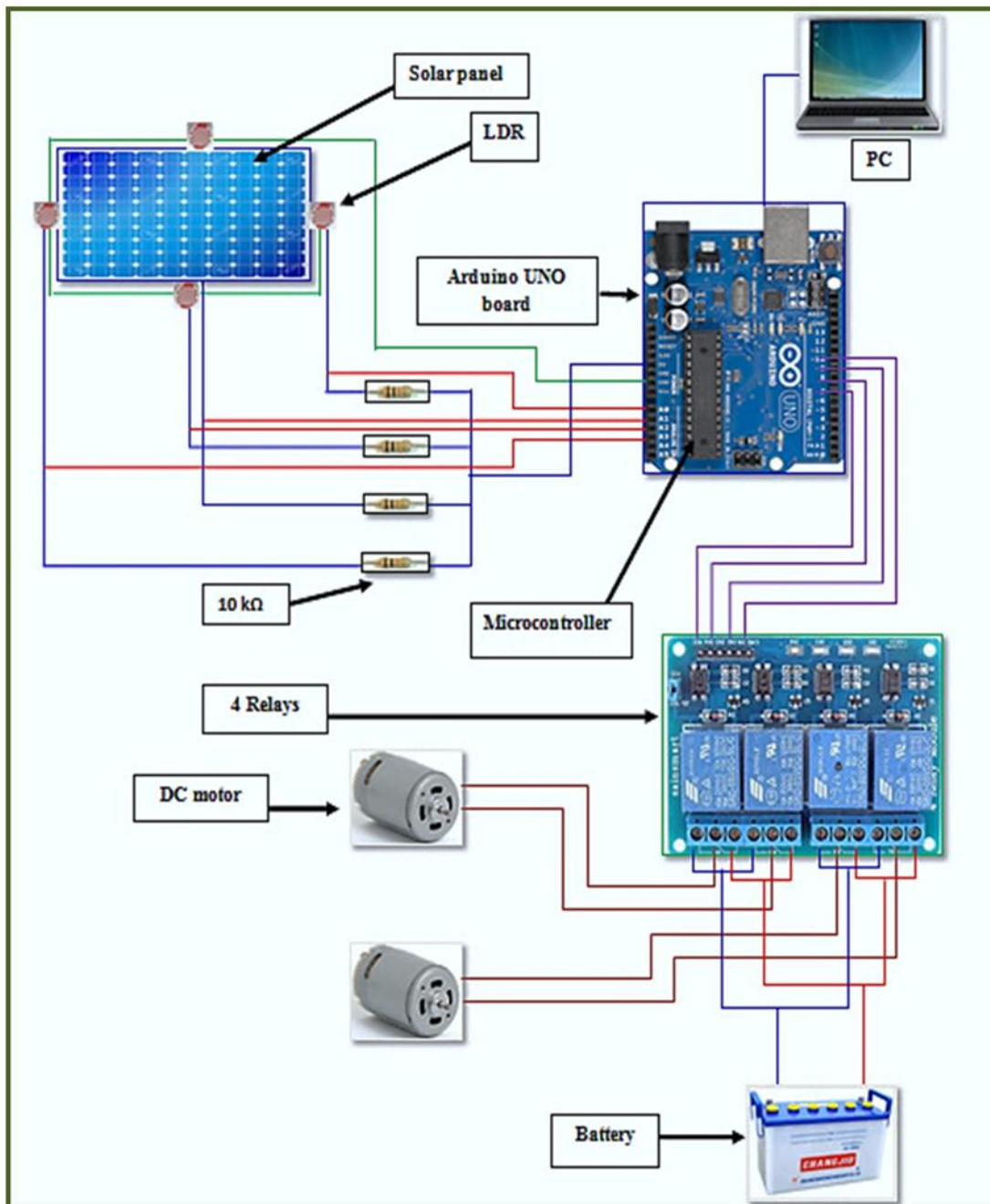


Figure III.18. Plan de réalisation du système suiveur

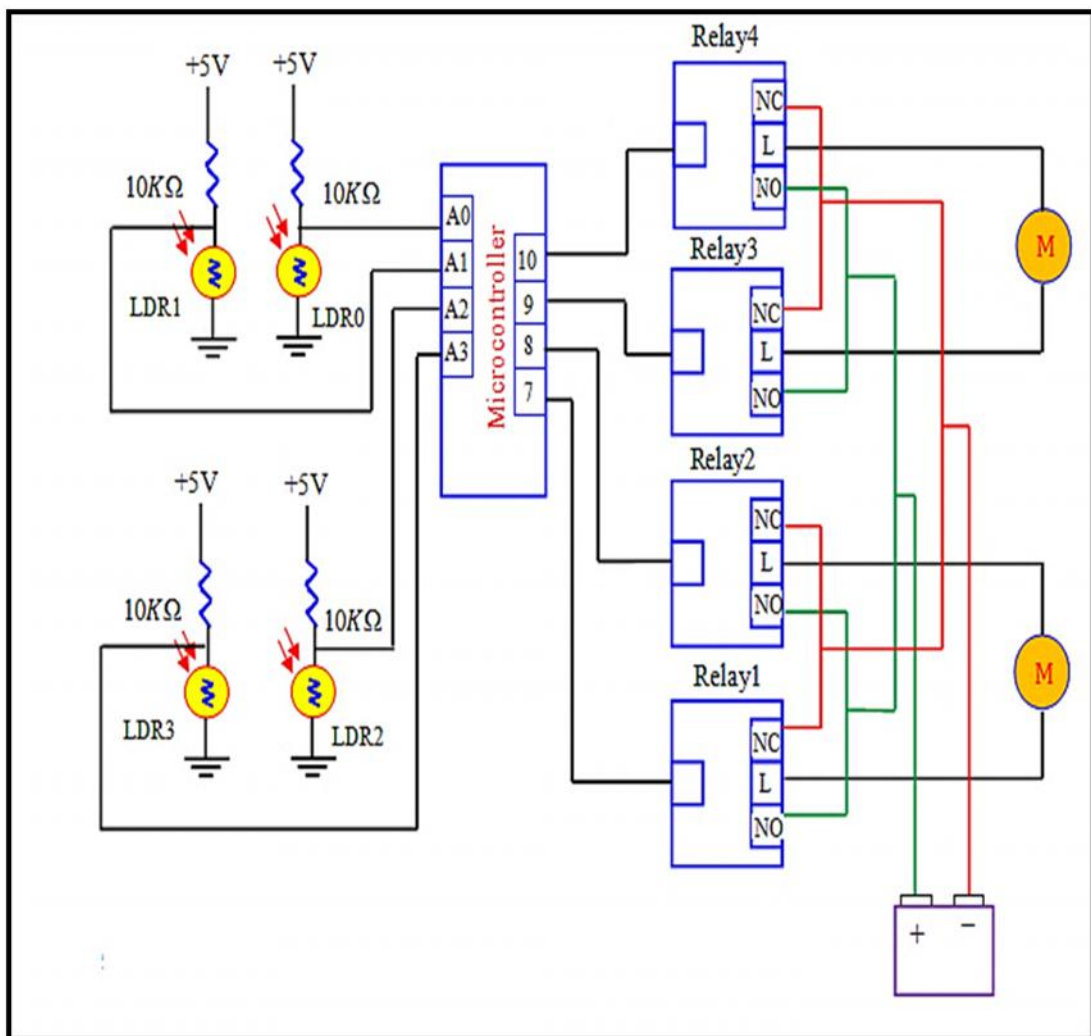


Figure III.19. Schéma du circuit électrique du système suiveur

III.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 III.19. Cet essai nous permet de diriger le panneau photovoltaïque dans les quatre sens de rotation.

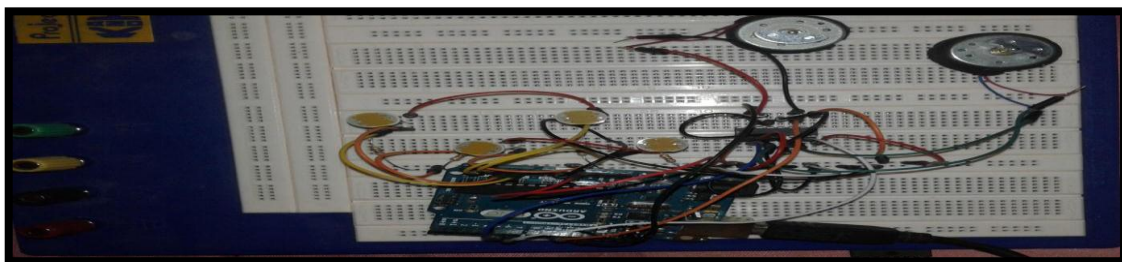


Figure III.20. Test de rotation de deux petits moteurs à CC

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 III.21. Schéma du prototype des photorésistances LDR

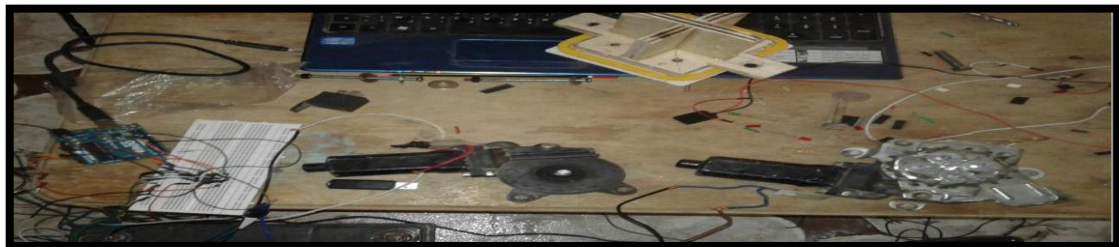


Figure III.22. Test de rotation de deux moteurs puissants à CC (à vide)

Dans cette étape, on a remplacé les deux petits moteurs par des deux moteurs puissants qu'ils tournent à vide.

III.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.

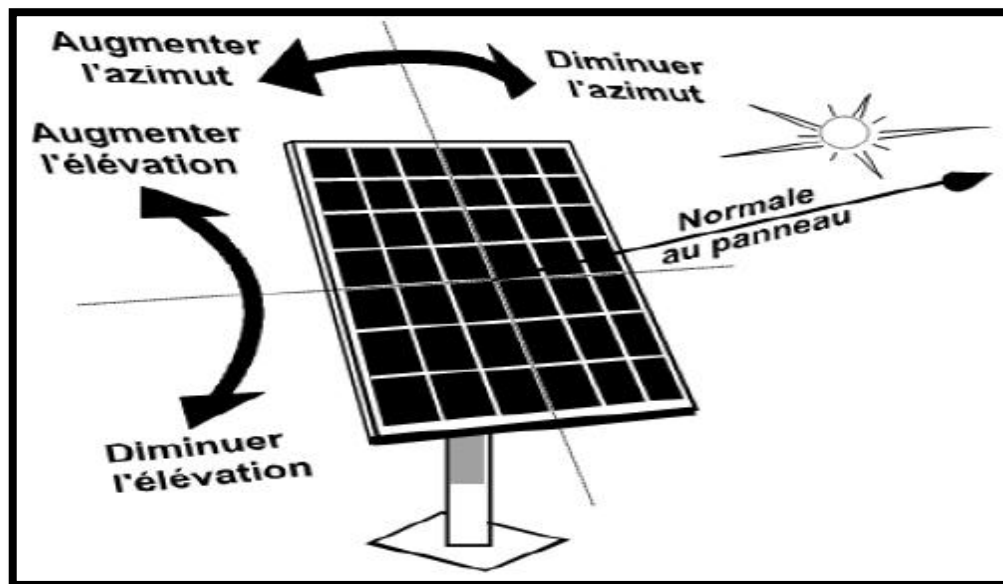


Figure III.23. Schéma de fonctionnement du suiveur

III.5. Type d'orientation

III.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. III.24. Orientation à un axe

III.5.2. Orientation à deux axes

Pour une rotation à deux axes il faut utilisée deux moteurs. Le premier assure la rotation est /ouest et le deuxième assure la rotation nord /sud



Figure III.25. Orientation à deux axes

III.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 III.26. Notre suiveur du soleil

III.7. Orientation de l'axe horizontal (élévation) et l'axe vertical (l'azimute)

Les deux moteurs utilisés sont à courant continu bidirectionnelle, l'un nous servira pour le déplacement azimutal et l'autre pour l'élévation. Les moteurs sont réglables ce qui signifie qu'ils sont contrôlés par le programme à travers la carte Arduino et les LDR. Ces LDR donnent le sens et la direction de deux moteurs



Figure III.27. Moteur 1 qui contrôle l'axe horizontal



Figure III.28. Moteur 2 qui contrôle l'axe vertical

III.8. 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.

Chapitre IV

Etude Comparative entre un
Système de Suiveur et un
Système Fixe

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous avons présenté une comparaison expérimentale concernant la puissance produite par deux systèmes photovoltaïques sans et avec suiveur aux différentes heures d'une journée choisie. Pour cela, nous allons citer les matériels utilisés dans cette étude pratique où les résultats expérimentaux et les interprétations sont présentés à la fin de ce chapitre.

IV.2. Objectif de la comparaison

L'objectif de ce travail pratique est d'augmenter le rendement énergétique du panneau photovoltaïque par la maximisation de la puissance produite et de faire une comparaison entre les deux systèmes. Dans cette comparaison, nous allons mesurer le courant, la tension et la puissance de deux systèmes.

IV.3. Partie comparative

IV.3.1. Spécification de la région d'El oued

IV.3.1.1. Présentation du site

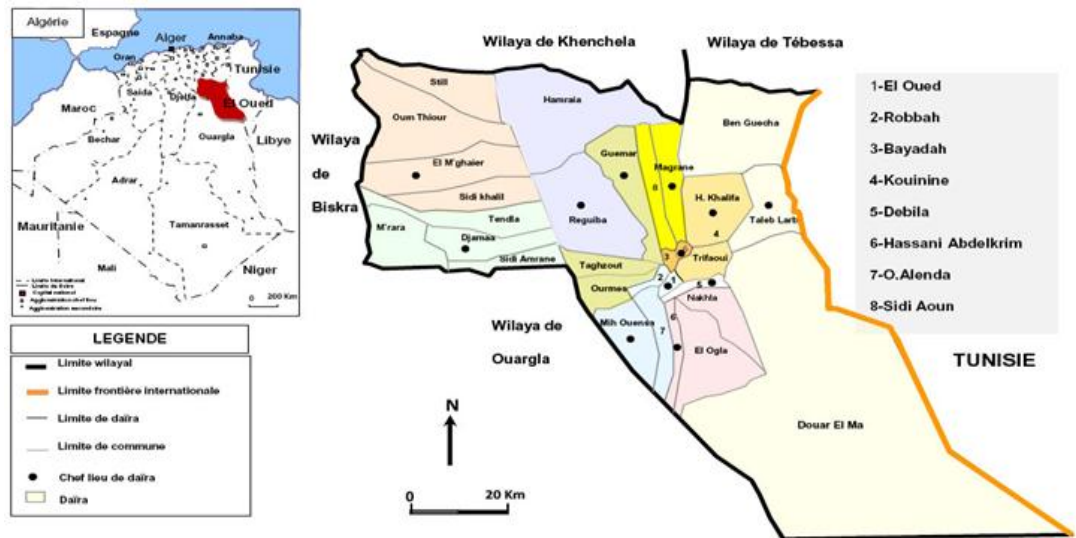


Figure IV.1. Zone d'El oued

Les frontières de cette région sont :

- ✓ au Nord par les wilayas de Khenchela, Tébessa et Biskra.
- ✓ à l'Est par la Tunisie.
- ✓ à l'Ouest par la wilaya d'Ouargla et Biskra.
- ✓ au Sud par la wilaya d'Ouargla.

Les coordonnées géographiques d'El oued sont données:

Latitude: 33.3683, longitude: 6.867433.

IV.3.1.2. Moyens de l'étude expérimentale

Les matériels de notre étude pratique sont :

- Deux panneaux photovoltaïques de type 150M(36), où chaque panneau se compose de 36 cellules monocristallines comme montrer à la figure IV.2.
- Deux voltmètres,
- Deux ampèremètres,
- Une charge résistive variable, voir la figure (IV.3).

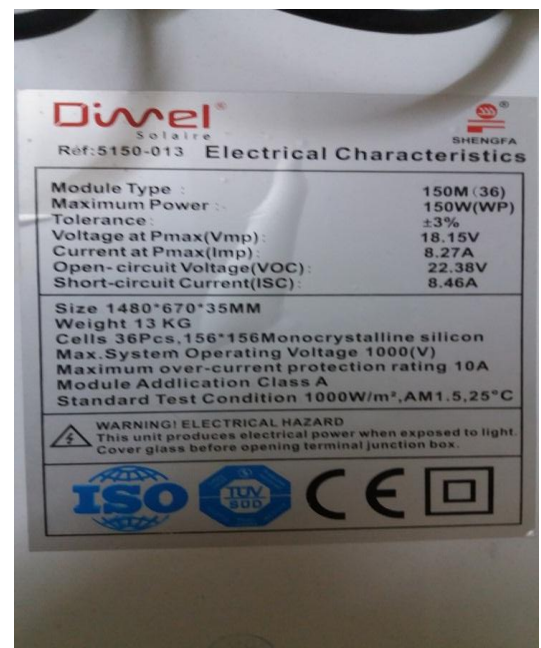


Figure IV.2. Les deux systèmes photovoltaïques, sans et avec suiveur, avec leur plaque signalétique

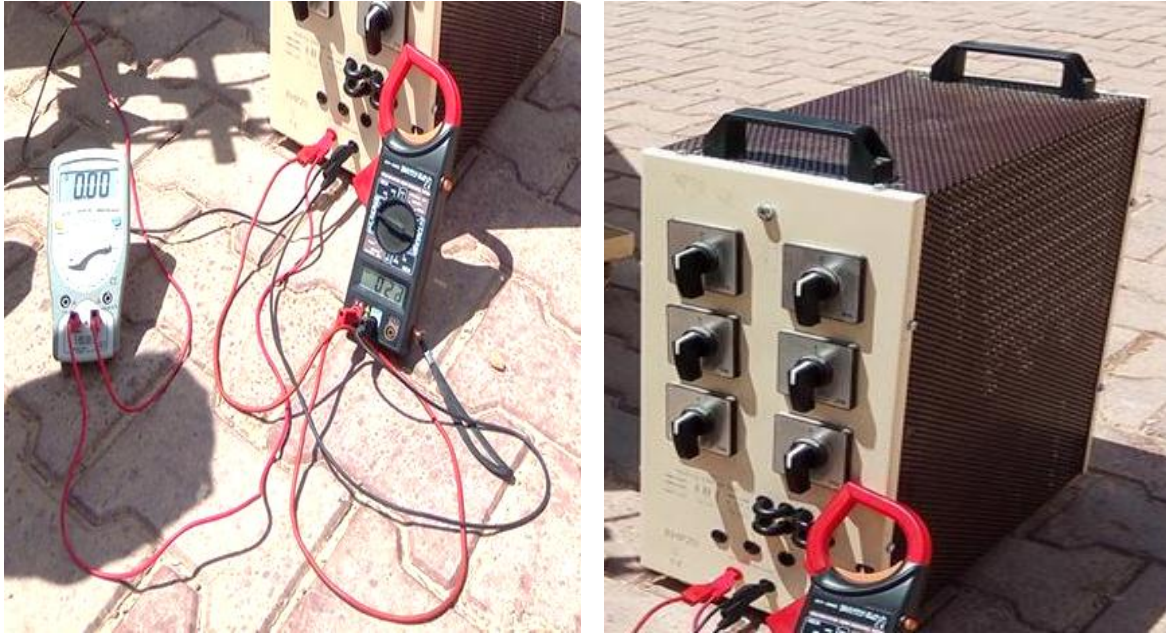


Figure IV.3. Moyens de l'étude expérimentale : ampèremètre + voltmètre + charge résistive variable

Au jour de **22/05/2018** c'était une journée ensoleillée où l'éclairement était apprécié à 1967 Gh KWh /m² par an. Dans cette étude, nous avons mesuré la tension, le courant et la puissance pour chaque heure avec des variations de la charge résistive, où les résultats obtenus sont illustrés dans les tableaux suivants:

IV.4. Résultats obtenus par les deux Systèmes

Tableaux IV.1. Résultats obtenus par les systèmes avec et sans suiveur à 14:00h

PANNEAU MOBILE				PANNEAU FIX			
T: 14 00				T: 14 00			
R (Ω)	I (A)	V (V)	P (W)	R (Ω)	I (A)	V (V)	P (W)
0%	0	19.8	0	0	0	19.6	0
10%	0.07	19.8	1.386	10	0.07	19.5	1.365
20%	0.15	19.7	2.955	20	0.15	19.5	2.925
30%	0.23	19.6	4.508	30	0.23	19.4	4.462
40%	0.32	19.6	6.272	40	0.31	19.4	6.014
50%	0.39	19.5	7.605	50	0.39	19.3	7.527
60%	0.47	19.5	9.165	60	0.46	19.3	8.878
70%	0.55	19.5	10.725	70	0.54	19.2	10.368
80%	0.63	19.5	12.285	80	0.62	19.2	11.904
90%	0.71	19.4	13.774	90	0.7	19.1	13.37
100%	0.99	19.3	19.107	100	0.77	19.1	14.707

résistive variable $R(100\%) = 246\Omega$

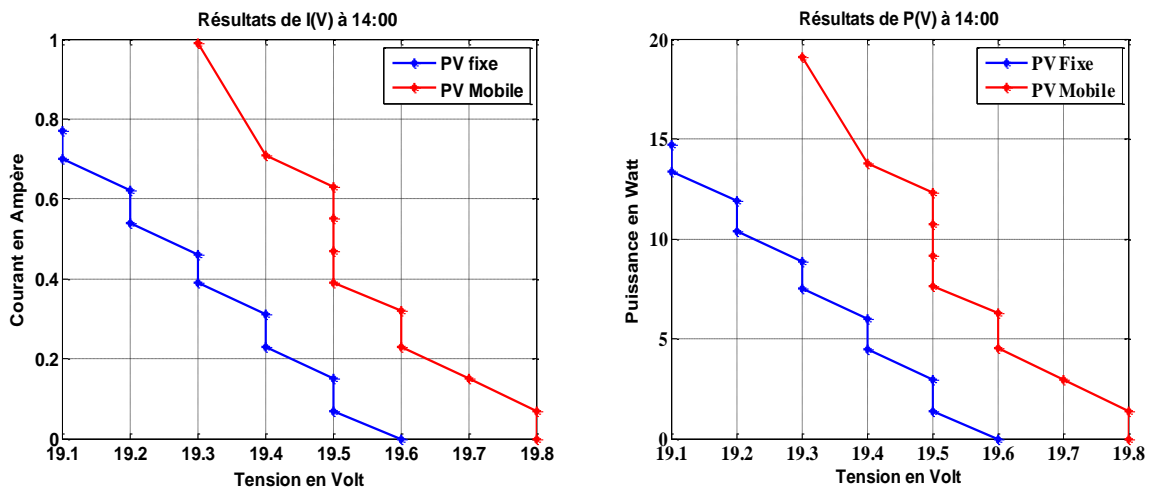


Figure IV.4. Caractéristique $I=f(V)$ et $P=f(V)$ à 14 :00 h de système fixe et système mobile



Figure IV.5. Les positions de deux systèmes à 14:00 h

Tableaux IV.2. Résultats obtenus par les systèmes avec et sans suiveur à 17:00 h

PANNEAU MOBILE				PANNEAU FIXE			
T:17 00				T:17 00			
R (Ω)	I (A)	V (V)	P (W)	R (Ω)	I (A)	V (V)	P (W)
0%	0	20.2	0	0%	0	19	0
10%	0.08	20.2	1.608	10%	0.07	19	1.33
20%	0.16	20.1	3.216	20%	0.15	18.9	2.835
30%	0.24	20.1	4.8	30%	0.22	18.8	4.136
40%	0.32	20	6.368	40%	0.3	18.7	5.61
50%	0.4	19.9	7.96	50%	0.38	18.6	7.068
60%	0.48	19.9	9.504	60%	0.45	18.5	8.325
70%	0.56	19.8	11.088	70%	0.52	18.4	9.568
80%	0.64	19.8	12.672	80%	0.59	18.3	10.797
90%	0.72	19.7	14.184	90%	0.66	18.2	12.012
100%	0.8	19.7	15.76	100%	0.71	17.6	12.496

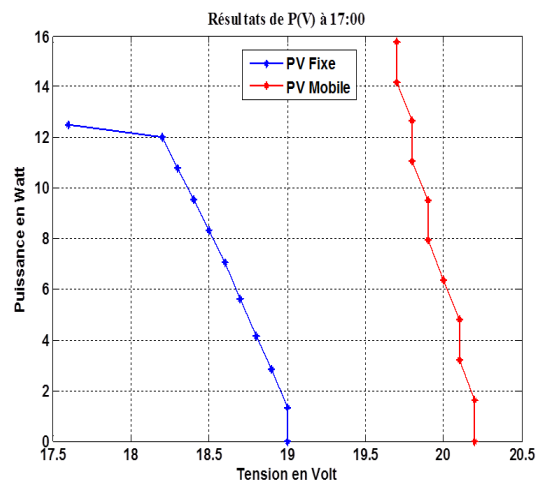
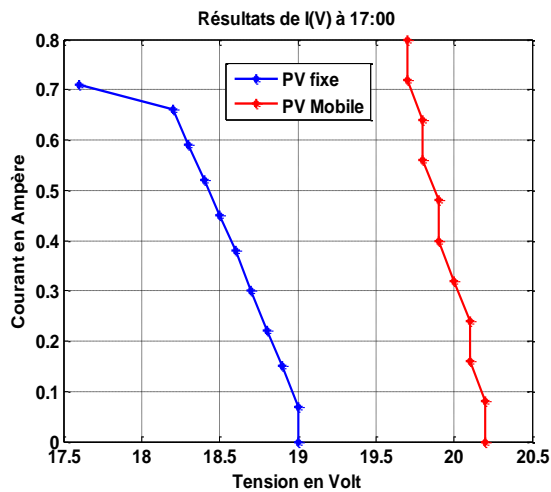


Figure IV.6. Caractéristique I:f(V) et P:f(V) à 17:00 h



Figure IV.7. Les positions de deux systèmes à 17:00 h

Les résultats obtenus par les deux systèmes de 08:00 h à 17:00h sont représentés par les tableaux IV.3 et IV.4.

Tableaux IV.3. Résultats obtenus par le système fixe de 11:00 h à 17:00h

Heur	I(A)	V(volt)	P(w)
11:00	0,73	17,6	12,8
11:30	0,75	17,8	13,4
12:00	0,81	19,8	16,0
12:30	0,89	20	17,8
13:00	0,88	19,45	17,1
13:30	0,81	18,5	15,0
14:00	0,78	18,3	14,3
14:30	0,76	18,03	13,7
15:00	0,73	17,95	13,1
15:30	0,67	17	11,4
16:00	0,59	18,58	11,0
16:30	0,53	17,5	9,3
17:00	0,5	15,98	8,0

Tableaux IV.4. Résultats obtenus par le système suiveur de 11:00 h à 17:00h

Heur	I(A)	V(volt)	P(w)
11:00	0,77	19,2	14,8
11:30	0,79	19,3	15,2
12:00	0,82	19,5	16,0
12:30	0,84	20	16,8
13:00	0,88	20,65	18,2
13:30	0,9	20,7	18,6
14:00	0,87	19,3	16,8
14:30	0,82	19,23	15,8
15:00	0,75	19	14,3
15:30	0,74	18,65	13,8
16:00	0,72	18,58	13,4
16:30	0,66	18,5	12,2
17:00	0,61	17	10,4

Selon les résultats présentés à la figure IV.8, nous pouvons voir que le rendement du système suiveur est meilleur que le rendement du système fixe cela est dû au fait que le système suiveur suit exactement les rayonnements du soleil.

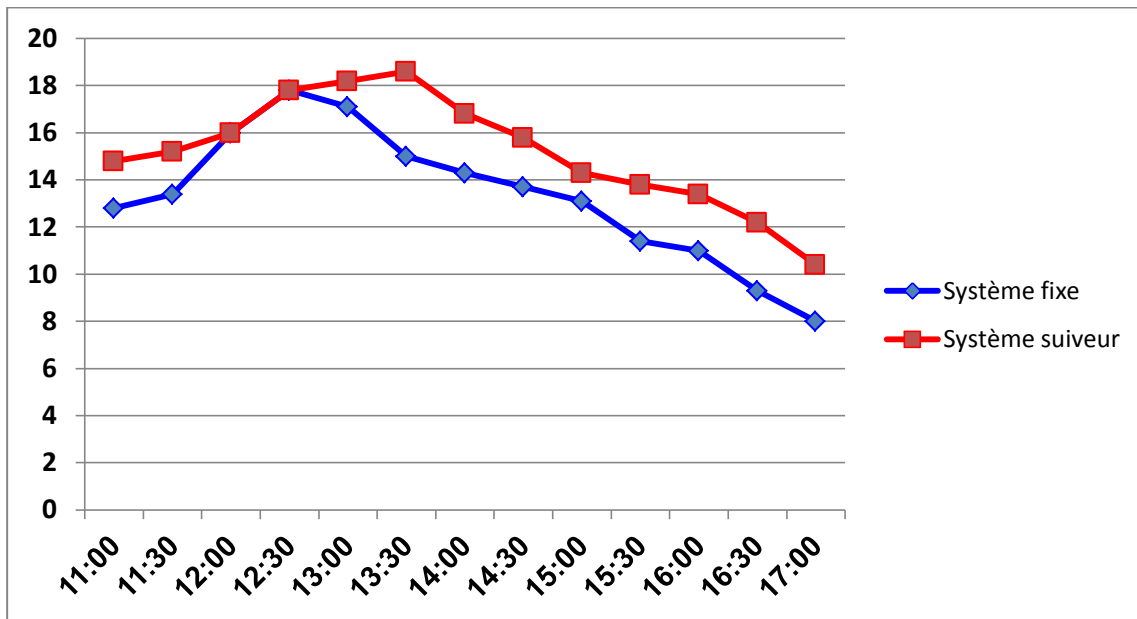


Figure IV.8. La puissance produite dans un panneau suiveur

IV.5.Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les matériels et les résultats expérimentaux de deux systèmes, sans et avec suiveur. Ces résultats sont pris de différents heurs d'une journée choisie pour voir la variation de la puissance et du courant en fonction de la tension de générateur photovoltaïque. D'après les résultats présentés, nous constatons que le rendement du système suiveur meilleur que le rendement du système fixe.

Conclusion Générale

Ce mémoire présente 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 un aperçu général sur la carte Arduino UNO, son principe de fonctionnement et ses types.
- ❖ Dans le troisième chapitre, nous avons présenté le travail pratique du notre suiveur qui décompose de quatre parties; partie de programmation, partie sz simulation, partie mécanique et partie électrique.
- ❖ Les résultats expérimentaux avec une comparaison entre la production d'énergie par deux panneaux photovoltaïques; en position fixe (sans suiveur) ou en position variable (avec suiveur du soleil).

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".

Annexe

- Caractéristiques de la LDR NSL-19M51

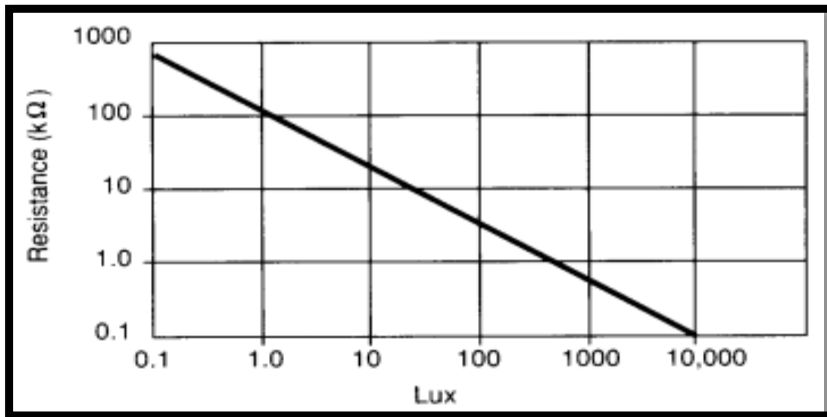


Figure A1.1 La résistance en fonction du flux de lumière (en lux)

avec : $1 \text{ w/m}^2 = 683 \text{ lux}$ (683 lumen/m²)

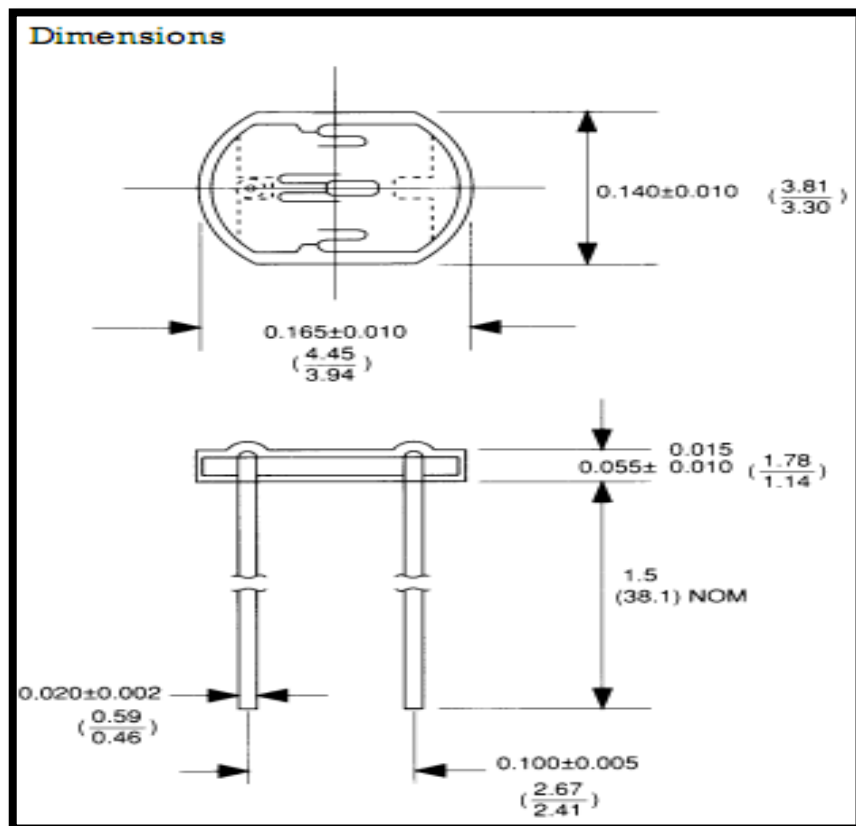
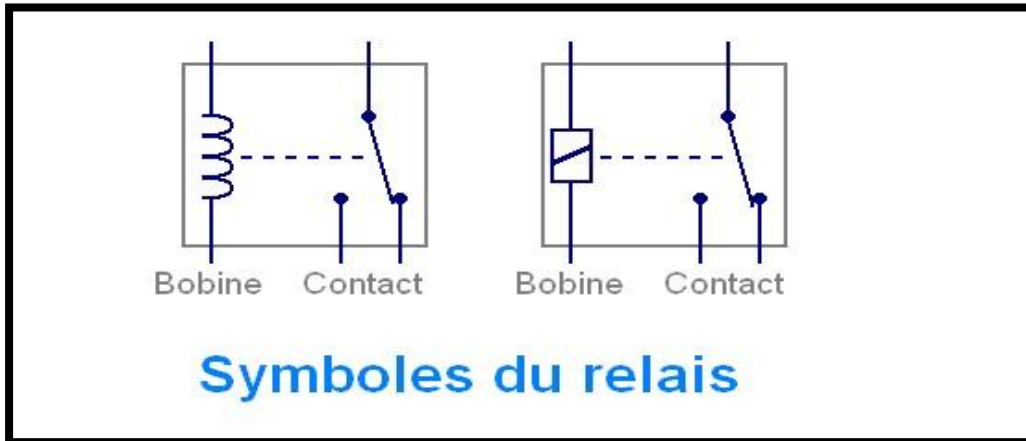


Figure A1.2 Dimensions en (mm) du capteur LDR



Figure***Symbole du relais

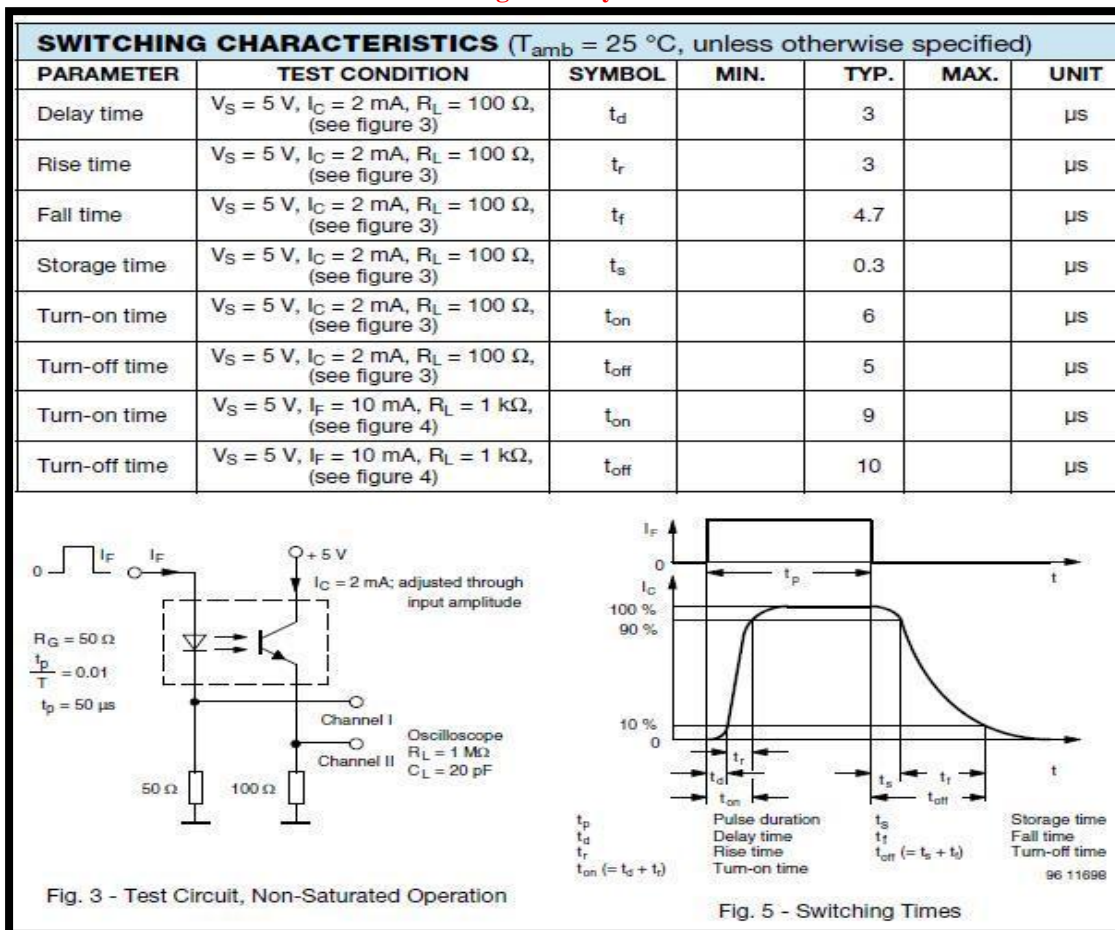


Figure ***Principe de fonctionnement de relais



Figure: les caractéristiques de panneaux photovoltaïque

Annexe



Positions du système suiveur pendant l'essai

Annexe

مساعدة اجوات الشيفرة البرمجية على عمل

```
tracker

#include <Servo.h> //include the software library required to control the servo motors
#define THRESHOLD 100
#define DTIME 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 tl = analogRead(SENSOR_TL); //Read the value of the TL sensor
  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 = (tl+tr)/2;
  int average_down = (bl+br)/2;
  int average_left = (tl+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

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 = (tl+tr)/2;
int average_down = (bl+br)/2;
int average_left = (tl+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;
    }
  }
}
```

Annexe

```
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();
        }
    }
}
```

```
مساعدة أدوات الشيفرة البرمجية على هذه
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

BIBLIOGRAPHIE

- [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]H. Fatiha, R. Aicha, “Modélisation Et Simulation D'un Système Photovoltaïque”, Mémoire Master, Université KasdiMerbah Ouargla, 2014.
- [3]H. Kamelia, “Modélisation D'une Cellule PV : Etude Comparative”, Mémoire De Magister, Université Mouloud Mammeri De Tizi-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]K. Kassmi, M. Hamdaoui et F.Olivié, ‘Conception et modélisation d'un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT analogique’ / Décembre 2007.
- [7] F. Chekired, « Etude et implémentation d'une commande MPPT neuro-floue sur FPGA», mémoire de magister, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2008.
- [8]T. Nacer Eddine, G. Slimane, “Modélisation Et Simulation D'un Système Photovoltaïque”, Mémoire Master, Université Echahid Hama Lakhder D'el-Oued, 2015.
- [9] B. Wafa, “ Modélisation Et Simulation D'un Système Photovoltaïque Adapté Par Une Commande MPPT ”, Diplôme De Master, Université KasdiMerbah–Ouargla,2012
- [10]S. M. Ait-Cheikh, «Etude, Investigation et conception d'algorithmes de commande appliqués aux systèmes photovoltaïques», Thèse de Doctorat d'état, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2007.
- [11]M. Adouane, «Etude et conception d'une stratégie de commande d'un onduleur connecté au réseau électrique», Mémoire de magistère, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2008.
-

[12]S. Issaadi, « Commande d'une poursuite du point de puissance maximum (MPPT) par les Réseaux de Neurones », Mémoire de magister, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2006.

[13]S. Bellakehal, «Conception & Commande des Machines à Aimants Permanents Dédiées aux Energies Renouvelables», thèse de Doctorat, Université de Constantine, Algérie, 2010.

[14] M. Makhlouf, «Etude et optimisation d'un modèle de conversion d'énergie photovoltaïque application au pompage», mémoire de magister, université Mentouri Constantine, Algérie, 2006.

[15]<http://energie-developpement.blogspot.com/2012/01/cellules-photovoltaïquetecnologies.html> , 22/03/2017

[16]http://www.ecosources.info/dossiers/Types_de_cellules_photovoltaïques.htm 22/03/2017

[17]Petibon Stéphane « Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques ». Thèse de doctorat, Université de Toulouse, 2009.

[18] I. Yassine, “Système Hybride Photovoltaïque – Eolien –Diesel Sans Stockage ”, Projet De Fin D'études, Université Libanaise, 2013.

[19]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.

[20]B. Mohammed, Mémoire DE Magister, “ Modélisation D'un Système De Captage Photovoltaïque Autonome”, Mémoire De Magister, Centre Universitaire De Bechar, 2008.

[21]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.

[22]M. SlamaFateh, “Modélisation D'un Système Multi Générateurs PhotovoltaïquesInterconnectés Au Réseau Electrique”, Mémoire De Magister, Université Ferhat Abbas– Setif,2011.

[23] <https://fr.flossmanuals.net/arduino/historique-du-projet-arduino/>

[24] http://www.techmania.fr/arduino/Decouverte_arduino.pdf

[25] <https://ar.scribd.com/document/90185081/KesacoArduino>

[26] projet.eu.org/pedago/sin/tutos/arduino.odt

[27] https://fablab.univ-tlse3.fr/wiki/images/9/.../Cours_arduino_v0.2.pdf

[28] Optoelectronic detectors, Dr. Heiner Ryssel, Indian Institute of Technology, Madras 9th INDO –German Winter Academy 2010.

[29] <http://www.gotronic.fr/art-carte-arduino-uno-12420.htm>. le 02/05/2016 -14:43

[30] <http://shop.mchobby.be/cables-usb/68-cable-usb-type-a-b-arduino-uno-3232100000681.html> le 02/05/2016 – 15 :10
