

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

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DU GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

Mémoire De Fin d'Études
DeMASTER PROFESSIONNEL
Domaine : Sciences et Technologies
Filière : Génie Électrique
Spécialité : Électronique Industrielles

Thème

**Conception et Réalisation d'un Suiveur de Soleil
à Base d'une Carte Arduino UNO**

Présenté par :

**BELKEBIR KATIA
CHAABI SIHAM**

Dirigé par :

Mr. ZIRMI RACHID

Promotion:2016/2017

Remerciements

Nous remercions le DIEU le tout puissant de nous avoir donné la force et le courage afin d'accomplir ce modeste travail

- ❖ *Nos remerciements vont à Notre promoteur M^r Zirmi Rachid. Professeur à UMMTO, pour nous avoir orienté et donné de précieux conseils .Nous le prions de bien vouloir Agrée le témoignage de notre plus vive reconnaissance*
- ❖ *Nous apportons aussi nos vifs remerciements aux personnels enseignants de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou*
- ❖ *Nous remercions chaleureusement les membres du jury pour leur regard critique et plus que pertinent sur l'ensemble de notre travail.*
- ❖ *A toute la promotion de 2016/2017*

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

A mon cher père, à ma chère mère pour leur aide et leur soutien tout au long de mes études, et qui ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui et j'espère qu'un jour je serai capable de leur donner au moins le minimum car quoi qu'on face on arrivera jamais à leurs rendre tout.

Mes chers frères ABDOU, AZIZ et sa Fiancée LYNDIA.

Mes très chères sœurs NADIA, SAMIA, HAYET ainsi que son époux SABER et leurs enfant AYLAN.

Mon futur mari SAMY qui m'a soutenu et encouragé tout au long de ce travail.

Ma belle famille.

Mes chères amie(s) CHABHA, SAMIRA et mon binôme KATIA ainsi que sa famille.

A mon cher ami IHOUT CHAFAA paix a son âme.

Toute la promotion 2016/2017.

SIHAM

Dédicaces

Je dédie ce mémoire:

À ma très chère mère qui a été la lumière de ma vie

Et mon père qui ma soutenu tout au long de mes études

A ma chère sœur Farida paix à son âme

A mes chers frères ALLI, HOCINE, HASSEN, AMAR et HAKIM

A toute ma famille.

A mes amis SABRINA, HAYET, SOUHILA, RAFIK, GHILES

et mon binôme SIHAM ainsi que sa famille.

Toute la promotion 2016/2017.

KATIA

TABLE DES MATIÈRES

Introduction générale.....	01
Chapitre I : Généralité sur le système photovoltaïque	
1. Introduction.....	03
2. L'énergie solaire.....	03
3. Le rayonnement solaire.....	04
3.1. Rayonnement direct.....	05
3.2. Rayonnement diffus.....	05
3.3. Rayonnement solaire réfléchi.....	05
3.4. Rayonnement global.....	05
4. L'effet photovoltaïque.....	06
5. La cellule photovoltaïque.....	06
6. Technologie d'une cellule photovoltaïque.....	07
6.1. Cellules au silicium monocristallin.....	07
6.2. Cellule au silicium poly-cristallin.....	07
6.3. Cellule au silicium amorphe.....	08
7. Avantage et inconvénient des cellules photovoltaïques.....	09
8. Les panneaux solaires photovoltaïques.....	09
8.1. Regroupement des cellules.....	10
8.1.1. Regroupement en série.....	10
8.1.2. Regroupement en parallèle.....	11
8.2. Zones de fonctionnement du module solaire.....	12
8.3. Fonctionnement optimal du module photovoltaïque.....	13
8.4. L'intérêt des panneaux mobiles par rapport aux panneaux fixes.....	14
9. Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque.....	15
Conclusion.....	16

Chapitre II : Conception du système de poursuite solaire

Introduction.....	17
Partie A : trajectoire solaire.....	18
1. L'angle d'Altitude ou l'élevation solaire α (°)	18
2. La déclinaison solaire δ (°) 19	
3. Angle d'azimut Az en(°)	19
Partie B : Système de poursuite solaire.....	20
1. Etat de l'art des suiveurs solaires.....	20
2. Principes fondamentaux des suiveurs solaires	21
3. Les types de suiveurs solaires	22
3.1. Suiveurs solaire passif	22
3.2. Suiveur solaire actif	23
3.2.1. Suiveur solaire mono-axe.....	23
3.2.2. Suiveur solaire double axe	24
4. Méthodes et techniques de poursuite	25
4.1. La méthode des capteurs de lumière	25
4.2. La méthode astronomique	26
4.2.1. Les étapes de fonctionnement	27
5. Les Avantages et Les inconvénients des suiveurs solaires.....	27
5.1. Les avantages.....	27
5.2. Les inconvénients	27
conclusion	28

Chapitre III : Réalisation du suiveur solaire

Introduction.....	29
Partie A : Description des composants du système	30
1. Le dispositif programmable Arduino	30
1.1. La constitution de la carte Arduino UNO.....	30
1.2. Pourquoi Arduino UNO.....	31
1.3. Caractéristiques techniques de l'Arduino UNO	33
2. Servomoteur	34
2.1. Le fonctionnement interne d'un servomoteur	35

3. Capteur LDR	37
3.1. Principe de fonctionnement	37
3.2. Câble USB	38
Partie B : Réalisation du suiveur solaire	39
1. Carte de commande de suiveur solaire.....	39
2. Câblage et fonctionnement de système	40
3. L'organigramme	41
4. Programmation.....	45
5. Partie mécanique	46
5.1. Orientation de l'axe horizontal (élévation) et l'axe vertical (l'azimute)	46
5.2. Position des capteurs LDR.....	47
5.3. Schémas final de notre suiveur	47
Conclusion.....	48
Conclusion générale	49

Liste des tableaux, schémas et figures

Les tableaux :

- **Tableau (I.1):** Avantage et inconvénient des cellules photovoltaïques 09
- **Tableau (I.2):** Avantage et inconvénient de l'énergie photovoltaïques 15
- **Tableau (III.1) :** Caractéristiques techniques de l'Arduino UNO 33
- **Tableaux (III.2) :** Les différents cas de la sortie du circuit de puissance 44

Les schémas :

- **Schéma (II.1):** Types de suiveurs solaires 22
- **Schéma (II.2) :** Méthode de poursuite astronomique 26
- **Schéma (III. 1) :** Carte de commande suiveur solaire 39
- **Schéma (III. 2) :** câblage de suiveur solaire 40

Les figures :

CHAPITRE I

- **Figure (I.1) :** Analyse spectrale du rayonnement solaire 04
- **Figure (I.2) :** Le différent type du rayonnement solaire 05
- **Figure (I.3) :** Description d'une cellule photovoltaïque 06
- **Figure (I.4) :** Cellule au Silicium Monocristallin 07
- **Figure (I.5) :** Cellule au Silicium Poly cristallin 08
- **Figure (I.6) :** Cellule au Silicium amorphe 08
- **Figure (I.7) :** Evolution de constructions des systèmes de production PV 10

➤ Figure (I.8a) : Association des modules en série	11
➤ Figure (I.8b) : Caractéristique résultante d'un groupement en série.....	11
➤ Figure (I.9a) : Association des modules en parallèle	12
➤ Figure (I.9b) : Caractéristique résultante d'un regroupement en parallèle.....	12
➤ Figure (I.10) : Les différentes zones de la caractéristique I (V), T=25°C	13
➤ Figure (I.11) : Diagramme de comparaison entre la production	14

CHAPTRE II

➤ Figure (II.1) : représentation latitude et longitude	19
➤ Figure (II.2) : représentation des angles Zénith, Azimut et altitude solaires	20
➤ Figure (II.3) : modèle d'un héliostat dans ses premières applications	21
➤ Figure (II.4) : champ d'héliostat –centrale solaire Thémis France	21
➤ Figure (II.5) : Suiveur solaire passif	23
➤ Figure (II.6) : Panneaux solaires avec système de poursuite mono-axiale	24
➤ Figure (II.7) : Panneau solaire avec système de poursuite bi-axiale.....	24
➤ Figure (II.8) : Suiveur basé sur des capteurs de lumière.....	25

CHAPITRE III

➤ Figure (III.1) : Constitution de la carte Arduino UNO	31
➤ Figure (II.2) : Servomoteur chinois 9 gramme	34
➤ Figure (II.3) : Servomoteur Futuba S3003.....	34
➤ Figure (III.4) : Vue éclater d'un servomoteur.....	35
➤ Figure (III.5) : Illustration du signal de contrôle	36
➤ Figure (III.6) : Symbole et Capteur LDR.....	37
➤ Figure (III.7) : Circuit équivalent du capter LDR utilisée	38

➤ Figure (III.8): Cable USB type A/B (Arduino UNO)	39
➤ Figure (III.9) : Interface du logiciel Arduino.....	45
➤ Figure (III.10) : Présentation de l'axe d'horizon et l'axe vertical.....	46
➤ Figure (III.11) : Prototype des capteurs	47
➤ Figures (III.12) : Notre suiveur réalisé	47

ABRÉVIATIONS

PV : Photovoltaïque

L : Longitude

δ : Déclinaison solaire

φ : Latitude

ω : Angle horaire.

Az : Angle Azimut

α : Angle d'altitude

θ_z : Angle de zénith

J : Date du jour

h : Hauteurs solaire

β : Angle d'inclinaison

LDR : light-dépendent resistor

SM1 : Servomoteur 1

SM2 : Servomoteur 2

HEX : Hexadécimal

IDE : interface logiciel Arduino

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La plus grande partie de l'énergie consommée actuellement provient de l'utilisation des combustibles fossiles comme le pétrole, le charbon, le gaz naturel ou encore qui provient l'énergie nucléaire. Ces ressources deviennent de plus en plus rares, pendant que les demandes énergétiques du monde s'élèvent continuellement. Il est estimé que les réserves mondiales seront épuisées vers 2030 si la consommation n'est pas radicalement modifiée, et au maximum vers 2100 si des efforts sont produits sur la production et la consommation¹.

Etant donné que cette forme d'énergie couvre une grosse partie de la production énergétique actuelle, il s'avère nécessaire de trouver une autre solution pour prendre le relais, la contrainte imposée et d'utiliser une source d'énergie économique et peu polluante car la protection de l'environnement est devenue un point important.

À ce sujet, les énergies renouvelables, comme l'énergie solaire (photovoltaïque ou thermique), éolienne ou hydraulique, ... apparaissent comme des énergies inépuisables et facilement exploitables. Si l'on prend l'exemple du soleil, une surface de 145000 km² (4% de la surface des déserts arides) de panneaux photovoltaïques (PV) suffirait à couvrir la totalité des besoins énergétiques mondiaux.

La puissance électrique produite par un capteur solaire dépend de l'intensité du flux lumineux selon la position du soleil qui varie le long de la journée.

Afin de collecter le maximum d'énergie, on utilise des dispositifs dits systèmes de poursuite solaires ou suiveurs solaires ou « trackers solaires ».

¹ K. Kassmi, M. Hamdaoui et F.Olivie, «**Conception et modélisation d'un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT analogique** » Université Mohamed Boudiaf, Oran, Décembre 2007.

Le système de poursuite solaire doit être ajusté de sorte qu'il oriente, autant que possible, le capteur perpendiculairement aux rayons solaires.

Actuellement, deux types de systèmes se partagent le marché : les systèmes à un seul axe et les systèmes à deux axes. Les systèmes 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 à deux axes qui eux sont plus coûteux.

Notre travail est consacré à la conception réalisation d'un suiveur solaire à deux axes à base de la carte Arduino UNO. Nous l'avons alors partagé en trois chapitres. Dans le premier nous avons présenté des généralités sur les systèmes photovoltaïques (principes de la conversion photovoltaïque, la cellule solaire et le générateur photovoltaïque). Le deuxième chapitre est consacré au système de poursuite solaire où nous avons présenté une vue d'ensemble sur la géométrie solaire et la trajectoire du Soleil puis on a étudié les différents types des suiveurs et leurs méthodes de poursuite et vers la fin a description des composants électroniques, et nous présentons notre réalisation de suiveur solaire dans le chapitre trois.

On termine avec une conclusion regroupant les différents aspects étudié.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

CHAPITRE I

GÉNÉRALITÉ SUR LE SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE

CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉ SUR LE SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE

1- Introduction

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique. Cette conversion d'énergie s'effectue par le biais d'une cellule dite photovoltaïque, basée sur un phénomène physique appelée effet photovoltaïque qui consiste à produire un courant lorsque la surface de cette cellule est exposé a la lumière.

Dans ce chapitre nous détaillons les éléments ayant traits à cette ressource et sa transformation en énergie électrique.

2- L'énergie solaire

Le rayonnement solaire constitue la ressource énergétique la plus abondante sur terre. La quantité d'énergie libérée par le soleil et captée par la planète terre pendant une heure pourrait suffire à couvrir les besoins énergétiques mondiaux pendant un an. Le soleil décharge continuellement une énorme quantité d'énergie radiante dans le système solaire, la terre intercepte une toute petite partie de l'énergie solaire rayonnée dans l'espace. Une moyenne de 1367 Watts atteint chaque mètre carré du bord externe de l'atmosphère terrestre pour une distance moyenne terre-soleil de 150 Millions de km, c'est ce que l'on appelle la constante solaire qui est égale à 1367W/m^2 . La partie d'énergie reçue sur la surface de la terre dépend de l'épaisseur de l'atmosphère à traverser. Celle-ci est caractérisée par le nombre de masse d'air (AM). Le rayonnement qui atteint le niveau de la mer à midi dans un ciel clair est de 1000W/m^2 et est décrit en tant que rayonnement de la masse d'air "1" (ou AM1). Lorsque le soleil se déplace plus bas dans le ciel, la lumière traverse une plus grande épaisseur d'air, et perdant plus d'énergie. Puisque le soleil n'est au zénith que durant peu de temps, la masse d'air est donc plus grande en permanence et l'énergie disponible est donc inférieure à 1000W/m^1 .

¹M. Slama Fateh, « Modélisation d'un système multi générateurs photovoltaïques interconnectés au réseau électrique ». Projet de fin d'étude, Université Ferhat Abbas - Setif- 2011.

3- Le rayonnement solaire

Le soleil émet un rayonnement électromagnétique compris dans une bande de longueur d'onde variant de 0,22 μm à 10 μm . La figure (I-1) représente la variation de la répartition spectrale énergétique².

L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement a :

- 9% dans la bande des ultraviolets (<0,4 μm),
- 47% dans la bande visible (0,4 à 0,8 μm),
- 44% dans la bande des infrarouges (>0,8 μm).

L'atmosphère terrestre reçoit ce rayonnement à une puissance moyenne de 1,37 kilowatt au mètre carré (kW/m^2), a plus ou moins 3 %, selon que la terre s'éloigne ou se rapproche du soleil dans sa rotation autour de celui-ci.

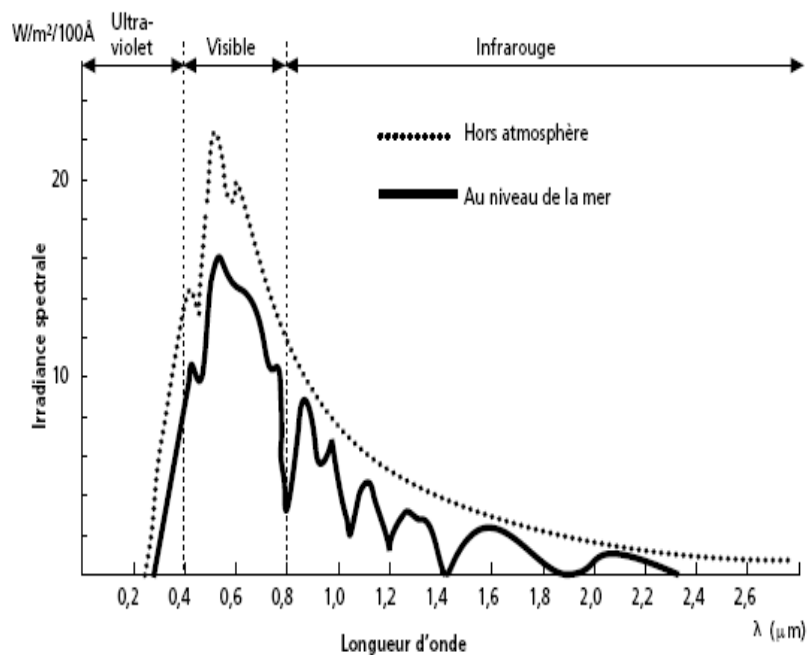


Figure (I.1) : Analyse spectrale du rayonnement solaire.

² « <http://planet-terre.ens-lyon.fr/article/bilan-radiatif-terre2.xml> »

Il y a quatre types de rayonnement ³:

3-1- Rayonnement direct

Le rayonnement direct est le rayonnement solaire atteignant directement la surface terrestre depuis le soleil. Il dépend de l'épaisseur de l'atmosphère que la radiation solaire doit traverser et de l'inclinaison des rayons par rapport au sol.

Le pyréliomètre est l'instrument qui permet de mesurer l'intensité du rayonnement direct. Il doit être muni d'un dispositif chargé de l'orienter en permanence vers le soleil.

3-2- Rayonnement diffus

Rayonnement provenant de toute la voûte céleste. Ce rayonnement est dû à l'absorption et à la diffusion d'une partie du rayonnement solaire par l'atmosphère et à sa réflexion par les nuages. Il peut être mesuré par un pyranomètre avec écran masquant le soleil.

3-3- Rayonnement solaire réfléchi

Le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface. Cet albédo peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige).

3-4- Rayonnement global

La somme de tous les rayonnements reçus, y compris le rayonnement réfléchi par le sol et les objets qui se trouvent à sa surface. Il est mesuré par un pyranomètre ou un solarimètre sans écran.

À noter que certains capteurs solaires concentrent le rayonnement solaire afin d'augmenter le rendement du capteur par rapport à une surface donnée. Ces capteurs à concentration ne peuvent utiliser que le rayonnement direct provenant du soleil. Dans les endroits avec une forte proportion d'ensoleillement diffus, ces capteurs ne peuvent pas fonctionner efficacement car l'ensoleillement diffus ne peut être concentré en un point.

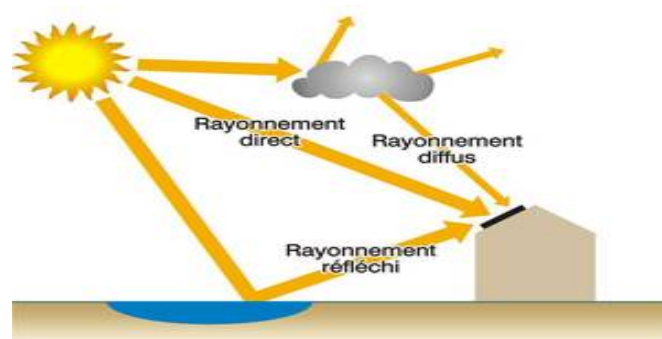


Figure (I.2) : Le différent type du rayonnement solaire.

³« <http://www.meteolafleche.com/rayonnement.html> ».

4- L'effet photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est basée sur le phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La figure (1.1) illustre une cellule photovoltaïque typique ou sa constitution est détaillée⁴.

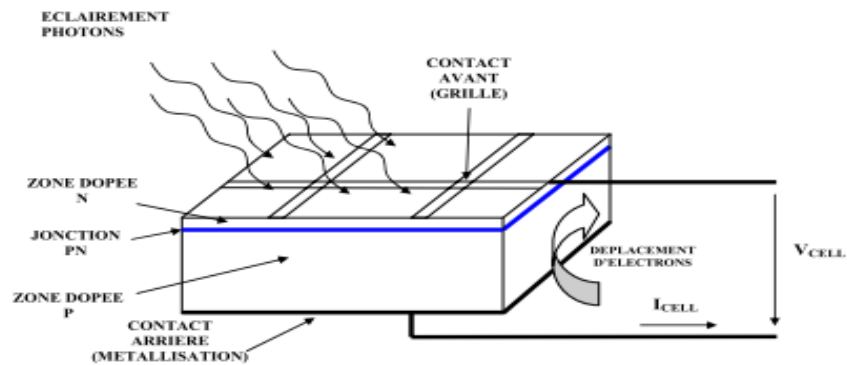


Figure (I.3) : Description d'une cellule photovoltaïque.

5- La cellule photovoltaïque

La cellule PV (photopile) est le plus petit élément d'une installation photovoltaïque. Elle est composée de matériau semi-conducteur et transforme directement l'énergie lumineuse en énergie électrique. Les cellules photovoltaïques sont constituées :

- D'une fine couche semi-conductrice (matériau possède une bande interdite, qui joue le rôle de la barrière d'énergie que les électrons ne peuvent franchir sans une excitation extérieure, et dont il est possible de faire varier les propriétés électroniques) tel que le silicium, qui est un matériau présentant une conductivité électrique relativement bonne.
- D'une couche antireflet permettant une pénétration maximale des rayons solaires.
- D'une grille conductrice sur le dessus ou cathode et d'un métal conducteur sur le dessous ou anode.
- Les plus récentes possèdent même une nouvelle combinaison de multicouches réfléchissants justes au dessus de semi-conducteur, permettant à la lumière de rebondir plus longtemps dans celui-ci pour améliorer le rendement.

⁴ « <https://www.doc-etudiant.fr/Sciences/Physique/L-effet-photovoltaïque.html> ».

6- Technologie d'une cellule photovoltaïque ⁵

Il existe trois grands types de silicium : mono cristallin, poly cristallin et amorphe

6-1- Cellules au silicium monocristallin

Le silicium cristallin est actuellement l'option la plus populaire pour les cellules commerciales. Le terme «cristallin » implique que tous les atomes dans le matériau PV actif font partie d'une structure cristalline simple où il n'ya aucune perturbation dans les arrangements ordonnés des atomes. Les cellules monocristallines offrent le meilleur rendement (jusqu'à 20 %).

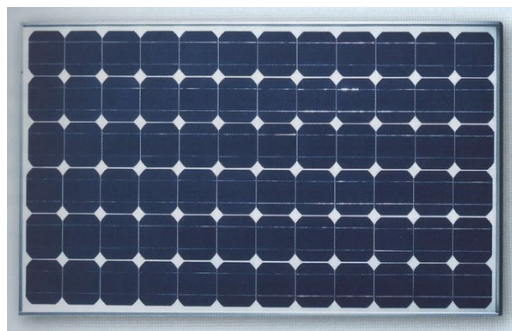


Figure (I.4) : Cellule au Silicium Monocristallin.

6-2- Cellule au silicium poly-cristallin

Il est composé de petits grains de silicium cristallin. Les cellules à base de silicium poly cristallin sont moins efficaces que les cellules à base de silicium monocristallin. Les joints de grains dans le silicium poly cristallin gênent l'écoulement des électrons et réduisent le rendement de puissance de la cellule. L'efficacité de conversion PV pour une cellule à base de silicium poly cristallin modèle commercial s'étend entre 11 et 15%.

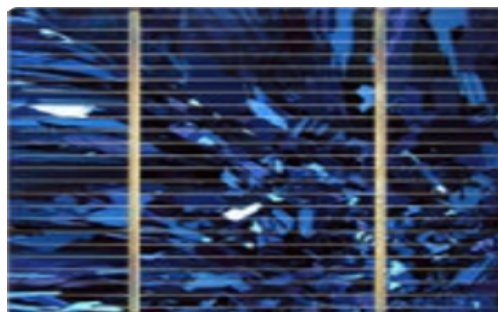


Figure (I.5) : Cellule au Silicium Poly cristallin.

⁵ « http://www.ecosources.info/dossiers/Types_de_cellules_photovoltaiques ».

6-3- Cellule au silicium amorphe

Le silicium est déposé en couche mince sur une plaque de verre ou un autre support souple. L'organisation irrégulière de ses atomes lui confère en partie une mauvaise semi-conduction. Les cellules amorphes sont utilisées partout où une solution économique est recherchée ou lorsque très peu d'électricité est nécessaire, par exemple pour l'alimentation des montres, des calculatrices, ou des luminaires de secours. Elles se caractérisent par un fort coefficient d'absorption, ce qui autorise de très faibles épaisseurs, de l'ordre du micron. Par contre son rendement de conversion est faible (de 7 à 8%) et les cellules ont tendance à se dégrader plus rapidement sous la lumière.

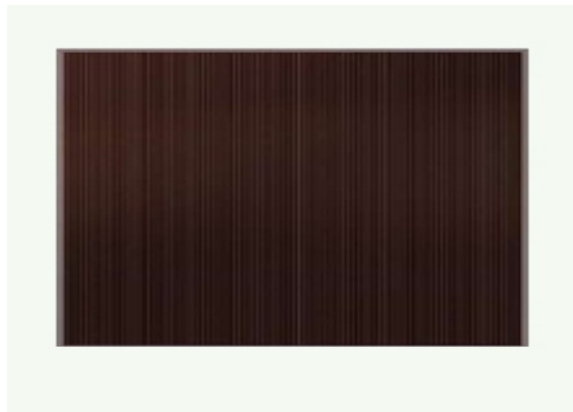


Figure (I.6) : Cellule au Silicium amorphe

7- Avantage et inconvénient des cellules photovoltaïques

Le tableau (1.1) présente les avantages et les inconvénients pour les technologies les plus utilisées d'une cellule photovoltaïque⁶.

⁶ « <http://tpe-energie-solaire.e-monsite.com/pages/science-et-technique/l-energie-photovoltaique/avantages-et-inconvenients-du-photovoltaique.html> ».

Type	Silicium mono cristallin	Silicium poly cristallin	Amorphe
Durée de vie	35 ans	35 ans	<10 ans
Avantage	<ul style="list-style-type: none"> • Bon rendement en soleil direct. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bon rendement en soleil direct (moins que le monocristallin mais plus que l'amorphe). 	<ul style="list-style-type: none"> • Souplesse. Prix moins élevé que le cristallin • Bon rendement en diffus.
Inconvénient	<ul style="list-style-type: none"> Mauvais rendement en soleil diffus (temps nuageux...). • Prix élevé. 	<ul style="list-style-type: none"> •Mauvais rendement en soleil diffus (temps nuageux...). • Prix élevé. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvais rendement en pleine soleil.

Tableau (I.1): Avantage et inconvénient des cellules photovoltaïques.

8- Les panneaux solaires photovoltaïques

Afin d'augmenter la tension d'utilisation, les cellules PV sont connectées en série. La tension nominale du module est habituellement adaptée à la charge, les modules ont généralement 36 cellules. De plus, la fragilité des cellules au bris et à la corrosion exige une protection envers leur environnement et celles-ci sont généralement encapsulées sous verre ou sous composé plastique. Le tout est appelé un module photovoltaïque.

Les modules peuvent également être connectés en série et en parallèle afin d'augmenter la tension et l'intensité d'utilisation. Toutefois, il importe de prendre quelques précautions car l'existence de cellules moins efficaces ou l'occlusion d'une ou plusieurs cellules (dus à de l'ombrage, de la poussière, etc.) peuvent endommager les cellules de façon permanente.

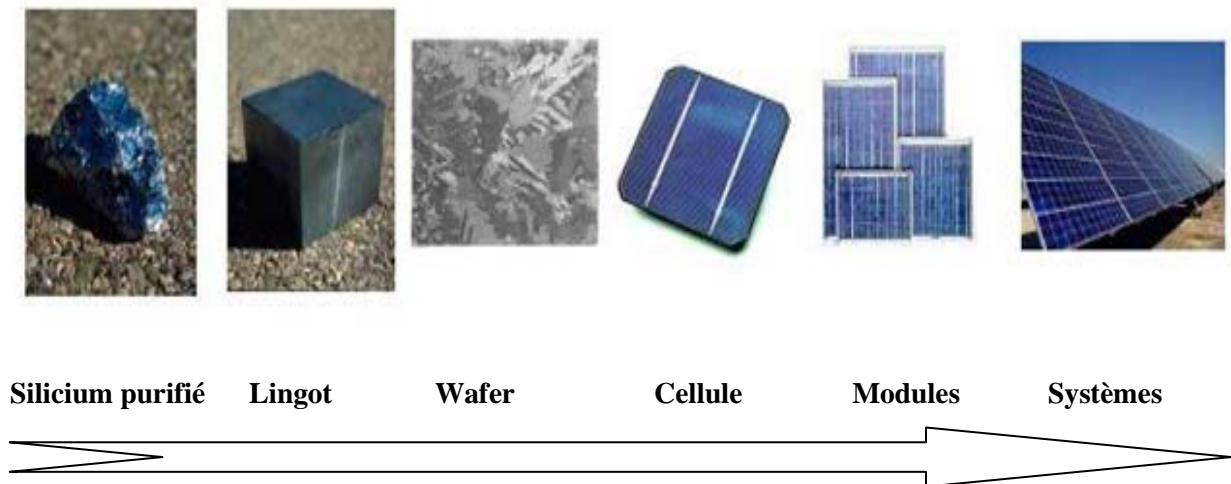


Figure (I.7) : Evolution de constructions des systèmes de production PV.

8-1- Regroupement des cellules⁷

8-1-1- Regroupement en série

Dans un groupement en série figure (1.8a), les cellules sont traversées par le même courant et la caractéristique résultante du groupement en série est obtenue par l'addition des tensions à courant donné. La figure (1.8b) montre la caractéristique résultante (I_s , V_s) obtenue par l'associant en série (indice s) de n_s cellules identiques (I_{cc} , V_{co}).

Avec :

$I_{scc}=I_{cc}$: le courant de court-circuit.

$V_{sco}=n_s V_{co}$: la tension de circuit ouvert.

⁷ Mr Boughoufala Mohamed, « Conception et réalisation d'un système de Suiveur Solaire pour des systèmes photovoltaïques » Université Mohamed Boudiaf Oran, 2011.

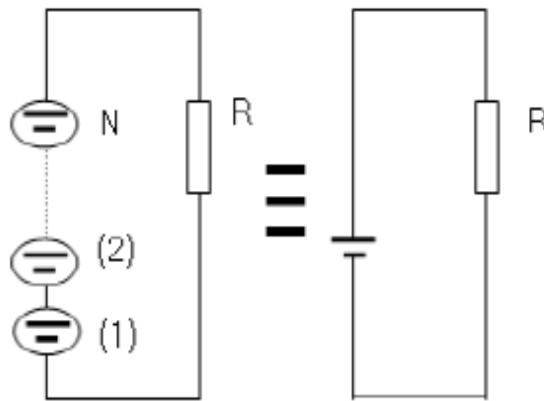


Figure (I.8a) : Association des modules en série.

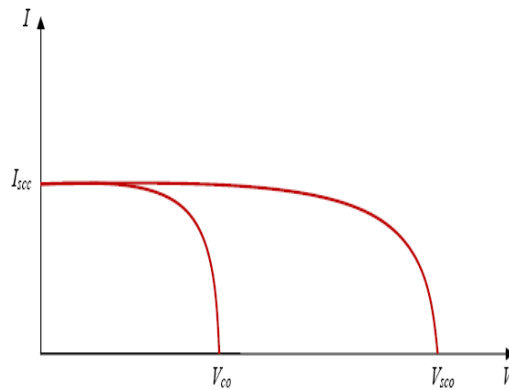


Figure (I.8b) : Caractéristique résultante d'un groupement en série de n_s cellules identiques.

8-1-2- Regroupement en parallèle

Dans un groupement de cellules connectées en parallèle figure (1.9a), les cellules étant soumises à la même tension, les intensités s'additionnent et la caractéristique résultante est obtenue par addition de courants à tension donnée. La figure (1.9b) montre la caractéristique résultante (I_{pcc} , V_{pco}) obtenue en associant en parallèle (indice p) de n_p cellules identiques (I_{cc} , V_{co}).

Avec :

$I_{pcc} = n_p I_{cc}$: le courant de court-circuit.

$V_{pco} = V_{co}$: la tension de circuit ouvert.

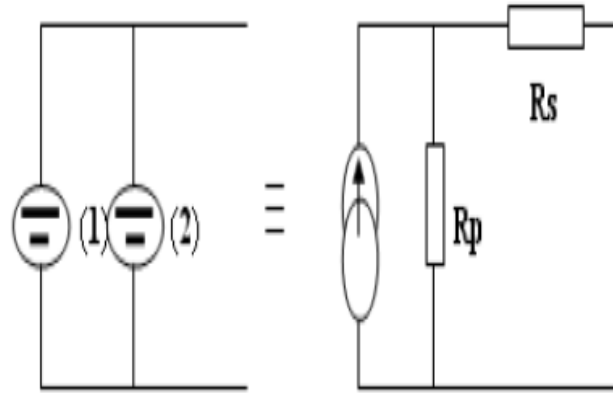


Figure (I.9a) : Association des modules en parallèle.

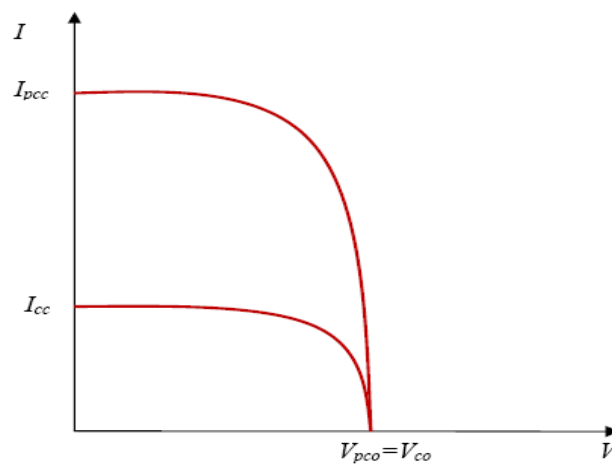


Figure (I.9b) : Caractéristique résultante d'un regroupement en parallèle de n_p cellules identiques.

8-2- Zones de fonctionnement du module solaire

La caractéristique fondamentale du générateur photovoltaïque donnée pour un éclairage et une température donnée, n'impose ni le courant ni la tension de fonctionnement; seule la courbe $I(V)$ est fixée. C'est la valeur de la charge aux bornes du générateur qui va déterminer le point de fonctionnement du système photovoltaïque. La figure (1.12) représente trois zones essentielles :

- **La zone (I)** : où le courant reste constant quelle que soit la tension, pour cette région, le générateur photovoltaïque fonctionne comme un générateur de courant.
- **La zone (II)** : correspondant au coude de la caractéristique, la région intermédiaire entre les deux zones, représente la région préférée pour le fonctionnement du générateur, où le point optimal (caractérisé par une puissance maximale) peut être déterminé.

- **La zone (III)** : qui se distingue par une variation de courant correspondant à une tension presque constante, dans ce cas le générateur est assimilable à un générateur de tension.

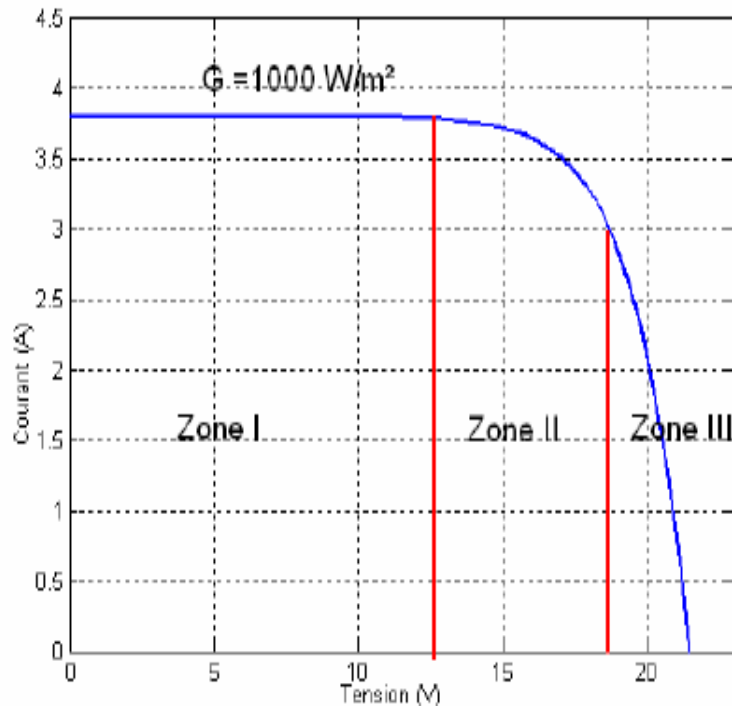


Figure (I.10) : Les différentes zones de la caractéristique I (V), T=25°C.

8-3- Fonctionnement optimal du module photovoltaïque

Dans les conditions données, c'est au point de puissance maximale que l'on exploite au mieux la puissance crête installée. C'est pourquoi ce point est souvent qualifié de point de puissance optimale, terme traduisant mieux le caractérisé relatif aux conditions d'éclairement et de température de la puissance fournie, l'utilisation du générateur étant le plus souvent considérée comme optimal en ce point. Ce point est alors noté (V_{opt}, I_{opt}) .

Le point fonctionnement (V_p, I_p) du générateur est défini par l'intersection de sa caractéristique électrique avec celle de la charge. Seule une charge dont la caractéristique passe par le point (V_{opt}, I_{opt}) permet d'en extraire la puissance optimale disponible dans conditions considérées et l'impédance statique optimale de charge vaut alors

$$R_{opt} = V_m / I_m = V_{opt} / I_{opt}.$$

Etant donné que ce point dépend totalement des conditions telles que l'éclairement G et la température, il en est de même de l'impédance de charge optimal.

L'utilisation optimale du générateur consiste alors à ce que sa charge conserve à chaque instant les valeurs optimales R_{opt} lorsque les conditions varient : il y a donc lieu d'effectuer en permanence l'adaptation d'impédance nécessaire.

8-4- L'intérêt des panneaux mobiles par rapport aux panneaux fixes

Au cours de la journée, le soleil se déplace continuellement, alors qu'un panneau photovoltaïque est fixe dans sa position perdant ainsi une considérable quantité d'énergie, qui pourrait être disponible. Dans une installation fixe, l'énergie rendue par les modules PV est maximale seulement à midi comme indiqué sur la figure (1.13) Pour cela si les modules PV sont toujours orientés vers le soleil, c'est comme s'il y avait constamment la condition correspondante à midi, la puissance générée est toujours celle maximale.

Les panneaux photovoltaïques placés sur des suiveurs de soleil ont un rendement énergétique qui augmente de manière appréciable par rapport aux installations fixes.

Au cours d'une journée complètement ensoleillée, un système fixe de 1 kW bien orienté, produit 5,5 kWh d'énergie, alors que le même système avec suiveur, dans les mêmes conditions d'ensoleillement, produit 11 kWh d'énergie⁸.

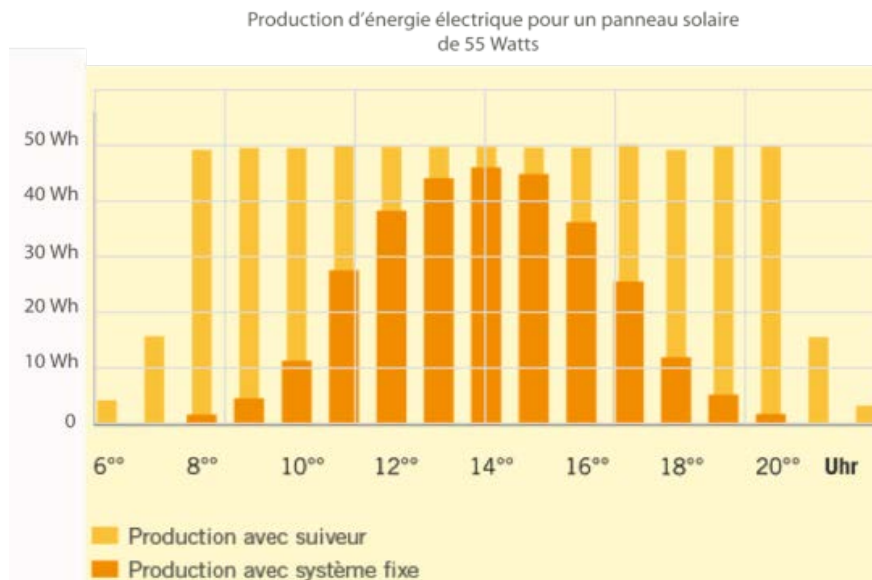


Figure (I.11) : Diagramme de comparaison entre la production avec suiveur et la production avec système.

⁸Mr BOUAYED Abderrahmane, « COMMANDE A DEUX AXES D'UN PANNEAU PHOTOVOLTAÏQUE » Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 2014.

9- Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque

Malgré les avantages qu'elle présente, l'énergie photovoltaïque présente certains inconvénients qui peuvent être résumés comme suit⁹ :

Les avantages	les inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Le photovoltaïque est une technologie sûre et sans risque. En général, les panneaux PV sont garantis 25 ans. - une haute fiabilité. - Ce système produit de l'électricité sur place ; il peut donc être installé là où on en a besoin, sans être raccordé à un quelconque réseau. - Il s'agit d'une source d'énergie électrique totalement silencieuse ce qui n'est pas le cas des installations éoliennes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Les panneaux solaires coûtent excessivement cher, du fait de la haute technicité qu'ils requièrent. - Le photovoltaïque souffre d'une "pénurie" de silicium : l'accroissement de la demande ayant été sous-estimé, la production de cet élément chimique n'arrive pas à couvrir la demande actuelle des industries électroniques et solaires.

Tableau (I.2): Avantage et inconvénient de l'énergie photovoltaïques.

⁹<http://tpe-energie-solaire.e-monsite.com/pages/science-et-technique/l-energie-photovoltaïque/avantages-et-inconvenients-du-photovoltaïque.html>.

Conclusion

L'énergie solaire photovoltaïque est une énergie renouvelable qui provient de la conversion de la lumière du soleil en électricité au sein des matériaux bien particuliers tels que les semi-conducteurs (le silicium, le Germanium, l'Arséniure des Galium,...). Afin de la rendre réalisable physiquement, elle nécessite un équipement complémentaire dit Système photovoltaïque, contenant les composants d'amélioration nécessaires qui rendent l'électricité produite consommable (régulation, conversion CC/AC...).

Dans ce chapitre on a présentés des notions générales sur le système photovoltaïque, synthèse d'assemblage des panneaux et une spécification des différentes zones de fonctionnement et les avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque.

CHAPITRE II

CONCEPTION DU SYSTÈME SE POURSUITE SOLAIRE

CHAPITRE II: CONCEPTION DU SYSTÈME DE POURSUITE SOLAIRE

Introduction

Un suiveur solaire est un système utilisant le principe de l'héliostat. C'est une structure portante qui permet d'orienter les capteurs solaires constamment vers le soleil. Ceci permet d'augmenter la productivité de manière substantielle.

Suivre le soleil d'une manière rigoureuse peut se faire principalement sur deux axes (en azimut et en altitude). Toutefois, il existe des suiveurs à un seul axe (en azimut).

Partie A : Trajectoire solaire

L'énergie solaire que reçoit une surface hors atmosphère est régie uniquement par des lois astronomiques et géométriques. Ces dernières faisant intervenir la latitude du lieu, la déclinaison solaire, l'heure du jour et l'orientation de la surface réceptrice. La position du soleil dépend du temps solaire et du jour de l'année. Elle est exprimée par différents angles¹:

1- L'angle d'Altitude ou l'élévation solaire α (°)

Est défini comme étant l'angle entre le rayon central du soleil et le plan horizontal (Figure II.1)

Elle est donnée par l'équation suivante :

$$\alpha = \text{Arcsin}(\sin\varphi * \sin\delta + \cos\varphi * \cos\delta * \cos\omega).$$

Avec :

- φ : Latitude du lieu.
- δ : Déclinaison solaire.
- ω : Angle horaire.

Où:

- La latitude est représentée par une valeur angulaire. Elle représente l'angle d'inclinaison, par rapport au plan de l'équateur, de la demi-droite allant du centre de la terre et passant par le lieu géographique considéré. Cet angle, s'étendant de 0° à l'équateur à 90° aux pôles.
- La longitude est une valeur angulaire aussi, expression du positionnement est-ouest d'un point sur Terre, dont la référence est le méridien de Greenwich (Avec une étendue de -180° (180° Ouest) à +180° (180° Est).

¹DHARYF ILIAS, « Optimisation du rendement énergétique d'un panneau solaire par un support suiveur » Université Sidi Mohamed Ben Abdallah, Fès, Maroc ,2014.

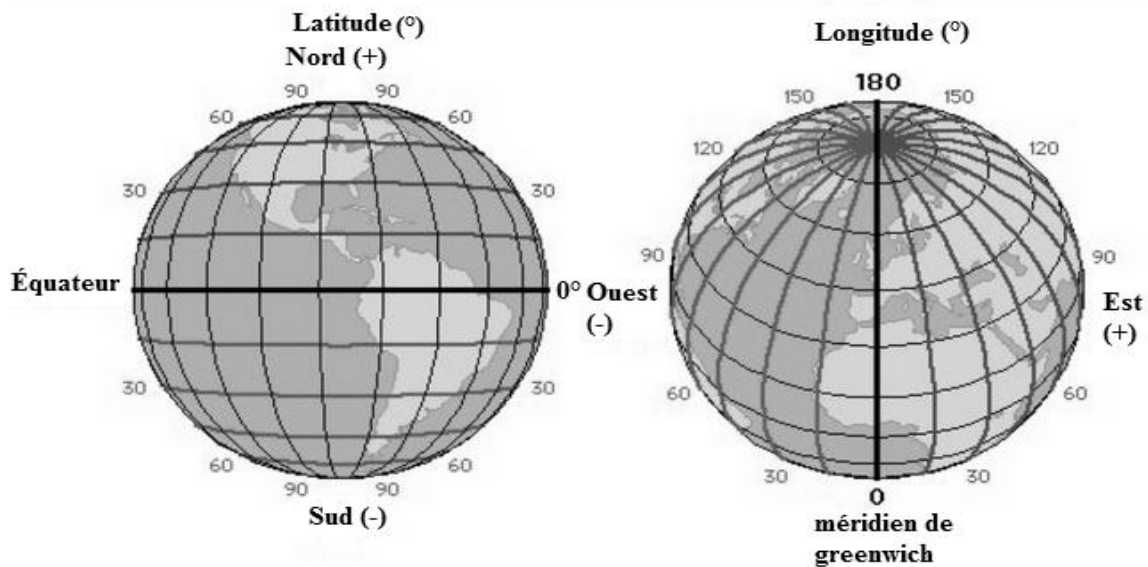


Figure (II.1) : représentation latitude et longitude.

2- La déclinaison solaire $\delta(^{\circ})$:

Est l'angle que forme le vecteur reliant le centre de la terre au soleil et le plan équatorial de la terre. Elle varie de $+23,45^{\circ}$ en degrés décimaux au solstice d'été (21 juin) à $-23,45^{\circ}$ au solstice d'hiver (21 décembre) en passant par la valeur 0° aux équinoxes (21 mars et 23 septembre). Cette déclinaison est due à l'inclinaison de l'axe des pôles terrestres par rapport au plan écliptique ce qui nous donne les différentes saisons.

3- Angle d'azimut Az en($^{\circ}$)

C'est l'angle sur le plan horizontal mesuré à partir du sud avec la projection horizontale des rayons directs du soleil. Il est également donné comme angle entre le méridien local et la projection de la ligne de la vue du soleil dans le plan horizontal Figure (II.), L'angle azimut solaire est donné par la relation:

$$Az = \text{Arcsin} (\sin\omega * \cos\delta \div \cos\alpha)$$

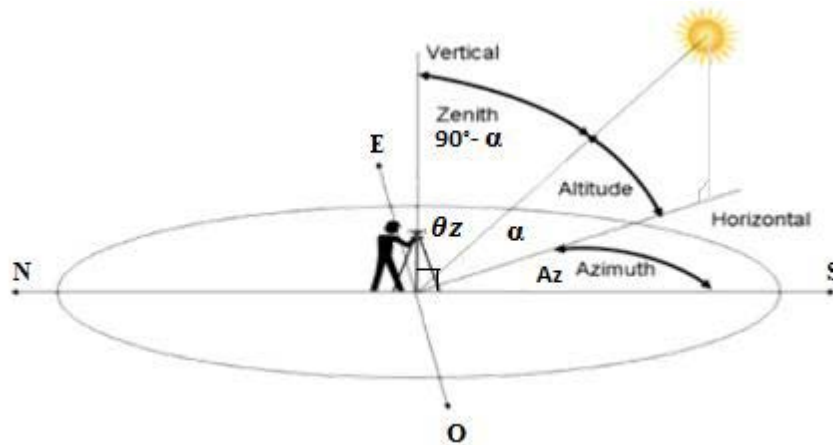


Figure (II.2) : représentation des angles Zénith, Azimut et altitude solaires.

Partie B: Le système de poursuite solaire

1- Etat de l'art des suiveurs solaires

Les premières applications des suiveurs solaires remontent vers les années 1750 où le principe repose sur l'utilisation de l'héliostat. La rotation du miroir de l'héliostat est assurée par un mécanisme d'horlogerie. La plus ancienne mention du système se trouve dans des publications datant de 1742 du physicien néerlandais Willem Jacobs Gravesande.

Un champ d'héliostats repère le mouvement du soleil en convergeant les rayons lumineux vers un même point, concentrant ainsi la lumière incidente en employant des miroirs de réflexion, tout au long de la journée. Ce principe se rencontre dans diverses installations utilisant l'énergie solaire, notamment les centrales solaires à concentration appelés champs d'héliostats. Un exemple en France est la centrale solaire Thémis qui, après avoir fonctionné de 1983 à 1986, fait l'objet d'une nouvelle expérimentation depuis 2007².

²Thomas B. Greenslade, Jr., « Heliostats », Jules-Célestin Jamin — « Cours de physique de l'École polytechnique. Tome 3 - Fasc. 2 » Gauthier-Villars et fils (Paris) - 1885-1906.



Figure (II.3) : modèle d'un héliostat dans ses premières applications.

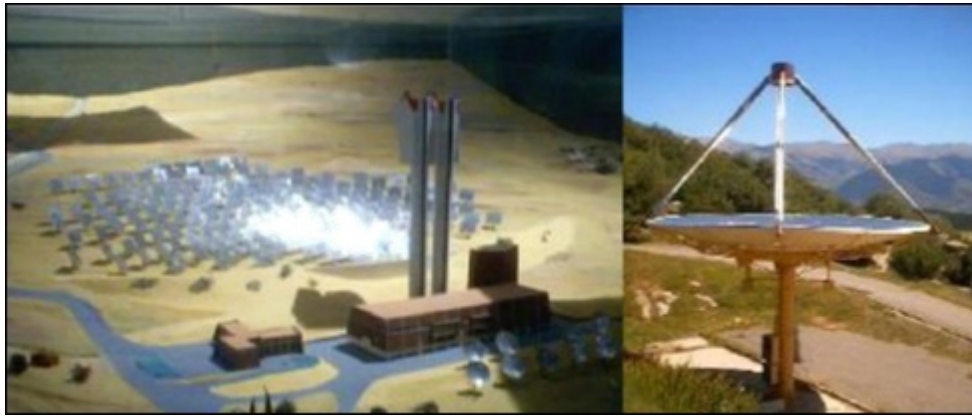


Figure (II.4) : champ d'héliostat -centrale solaire Thémis France.

2- Principes fondamentaux des suiveurs solaires

Un suiveur solaire est un dispositif qui est utilisé pour aligner un panneau PV avec le soleil. L'efficacité est en particulier améliorée dans les heures de matin et d'après-midi où un panneau fixe fera face loin des rayons du soleil. Les dépenses initiales d'un système de suiveur solaire dépendront du type et de la taille du tracker qui doit être employé. Un système bien conçu qui utilise un traqueur aura besoin de moins de panneaux pour augmenter l'efficacité, ayant pour résultat une réduction de coûts initiaux d'installation.

3- Les types de suiveurs solaires

On distingue principalement deux grandes familles de suiveurs solaires: les passifs et les actifs qui comportent les suiveurs mono-axe et double axe³.

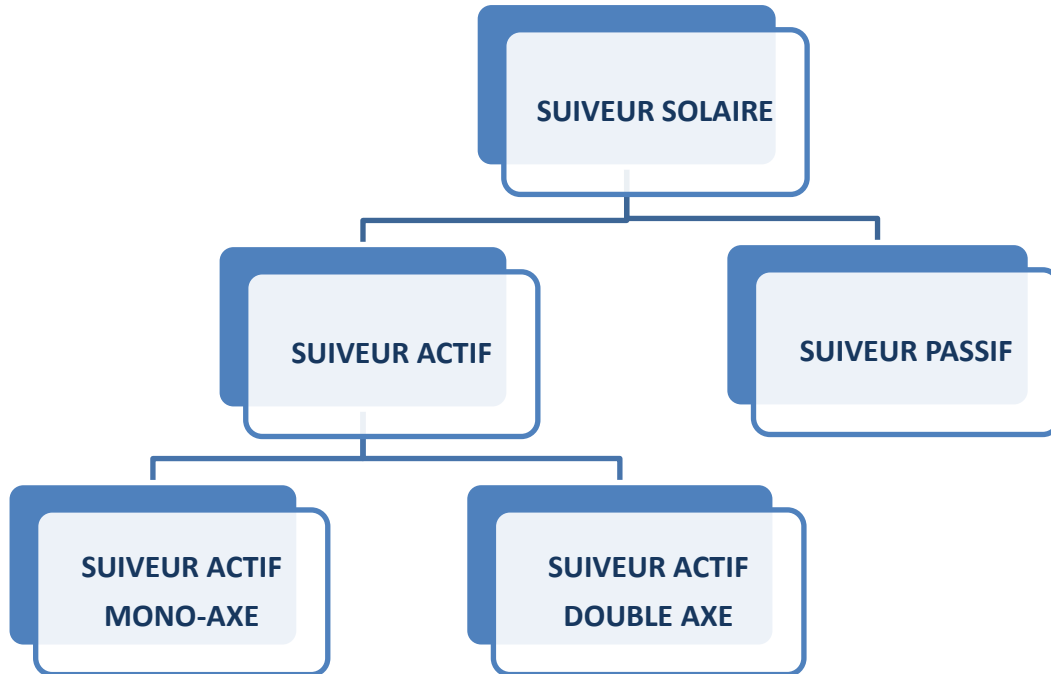


Schéma (II.1): Types de suiveurs solaires.

3-1- Suiveurs solaire passif

Un suiveur solaire passif est constitué dans son architecture de deux tubes en cuivre montés sur les côtés Est et Ouest du capteur. Le tube de matière cuivre (figure II.5) est rempli de fluides chimiques capables de se vaporiser à basse température. En effet, lorsque l'exposition au rayonnement solaire augmente, la température d'un côté du panneau augmente et le composé dans le tube en cuivre se vaporise.

La partie gazeuse du composé occupe un plus grand volume interne, et sa partie liquide est décalée vers le côté ombragé. Cette opération de transfert de masse ajuste

³ Mr Arafakaddouri, « Conception et réalisation d'un suiveur solaire à deux axes ». Projet de fin d'étude, Université sidi Mohammed ben Abdallah, Fès, Maroc 2015.

l'équilibre du capteur en le faisant tourner vers la source des rayons solaires. Ce type de suiveur ne consomme aucune énergie pour le repositionnement du panneau⁴.

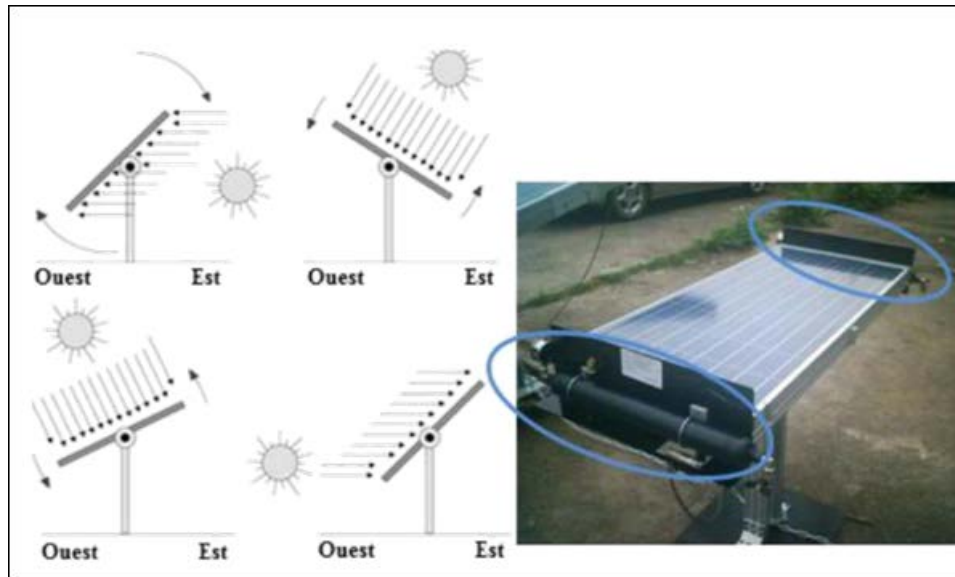


Figure (II.5) : Suiveur solaire passif.

3-2- Suiveur solaire actif

Les suiveurs solaires actifs utilisent le principe de la détection de lumière, suivant la trajectoire solaire en cherchant à optimiser au maximum l'angle d'incidence du rayonnement solaire sur leur surface. Il existe deux types dans cette famille : les suiveurs mono-axe et double axe. L'avantage de ces derniers par rapports aux suiveurs passifs c'est qu'ils représentent une meilleure précision de suivi et ne nécessitent aucune intervention manuelle pour les ajuster.

3-2-1- Suiveur solaire mono-axe

Comme son nom l'indique, le suiveur solaire tourne autour d'un axe simple. Le trajet suivi par cet axe est souvent en azimut, c'est-à-dire d'Est en Ouest au fil de la journée. L'angle d'inclinaison du panneau est fixe, il est placé selon l'angle le plus propice à recevoir le maximum de rayons du soleil durant toute l'année. Il est placé selon la latitude du lieu où est disposé le capteur. Ainsi, l'angle d'inclinaison du panneau reste constant mais son azimut varie au cours de la journée. Le système de poursuite mono-axial est la solution la plus simple et la plus utilisée.

⁴Sukhraj Singh Cheema, «Simulation Studies on Dual Axis Solar Photovoltaic Panel Tracking System ».Thapar University Patiala 2012.

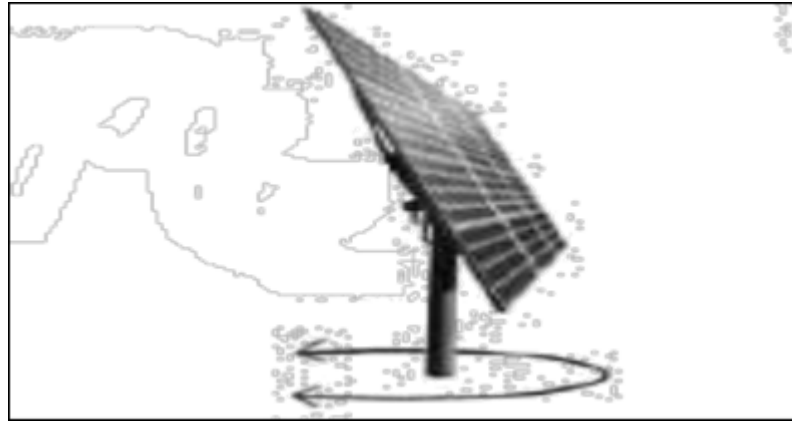


Figure (II.6): Panneaux solaires avec système de poursuite mono-axiale.

3-2-2-Suiveur solaire double axe

Contrairement au précédent, ce suiveur solaire possède deux axes ce qui lui permet de suivre les mouvements en azimut et en inclinaison au cours de la journée. Ainsi, le capteur reste constamment orienté vers le soleil. Ce type de suiveur est très imposant et fournit de meilleures performances par rapport au suiveur mono-axe.



Figure (II.7) : Panneau solaire avec système de poursuite bi-axiale.

4- Méthodes et techniques de poursuite⁵

La technologie des systèmes de poursuites actuels sont différentes d'un concepteur à un autre.

Il existe deux grandes méthodes pour assurer le suivi:

4-1- La méthode des capteurs de lumière

Cette méthode est basée sur des capteurs de lumière ou photorésistances pour déterminer la position du soleil à tout moment, permettant ainsi un suivi instantané et notamment une orientation optimale du panneau.

Dans ce type de techniques, la poursuite s'effectue indépendamment de la zone dans laquelle le système sera situé.

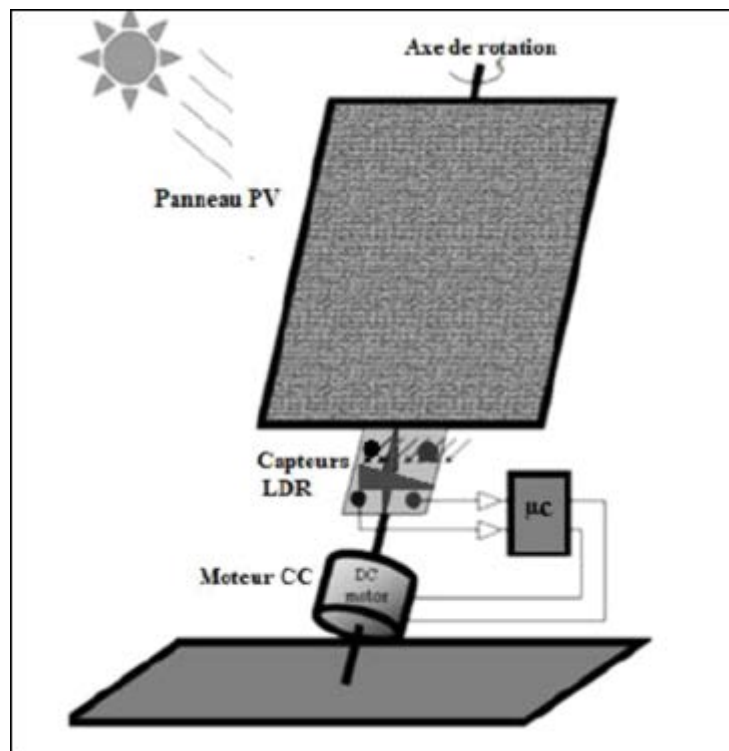


Figure (II.8) : Suiveur basé sur des capteurs de lumière.

⁵Mr Bouziane Rabeh, Dokkar Ayoub, « Conception et Réalisation d'un Suiveur Solaire Bi-axial à Base De capteurs de lumière » Projet de fin d'étude, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, 2016.

4-2- La méthode astronomique

Cette méthode repose sur le calcul de la position du soleil en se basant sur les équations géométriques et astronomiques. Le système nécessite comme entrées, lors de l'installation, la latitude et la longitude du site, la date du jour et l'heure.

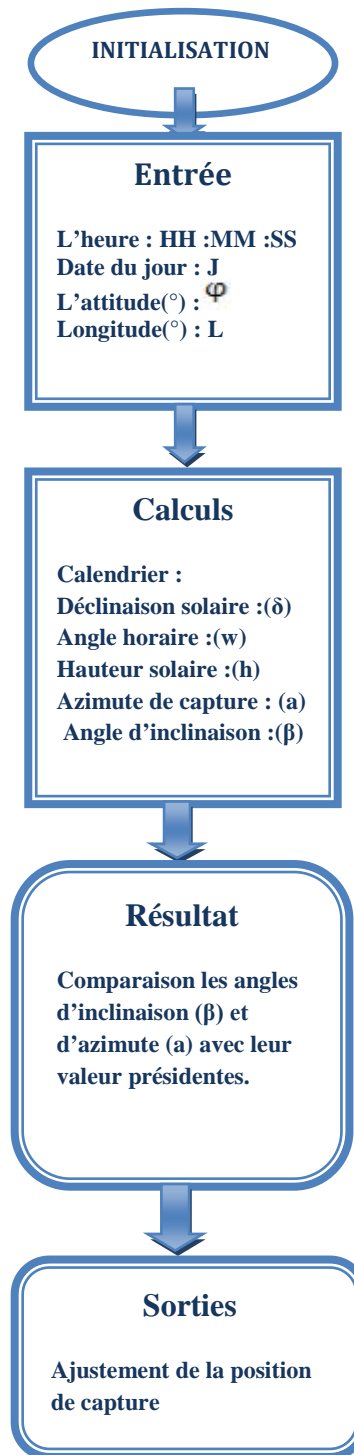


Schéma (II.2) : Méthode de poursuite astronomique.

4-2-1- Les étapes de fonctionnement

- La première étape : Il faut saisir l'heure, la date du jour, la latitude et la longitude du lieu considéré.
- La deuxième étape : On calcule d'abord le calendrier (temps solaire vrai, temps du lever et du coucher du Soleil et numéro du jour). Puis, à partir du calendrier nous calculons tous les angles géométriques : l'angle d'inclinaison du panneau par rapport au plan horizontal qui permet d'assurer le mouvement vertical du panneau et l'angle d'orientation horizontale du panneau par rapport au sud (ou l'azimut)).
- La troisième étape : le système fait la comparaison des deux derniers angles avec leurs valeurs précédentes pour ajuster la nouvelle position du moteur horizontal (angle d'azimut) et du moteur vertical (angle d'inclinaison).

5- Les Avantages et Les inconvénients des suiveurs solaires⁶

5-1- Les avantages

- Les systèmes de suivi solaires sont utilisés pour orienter les capteurs continuellement vers le soleil et peuvent aider à minimiser l'investissement en augmentant le rendement des capteurs.
- Pour le photovoltaïque, le rendement des panneaux est accru de 30 à 40%.
- La surface du parc solaire est réduite tout en gardant le même potentiel.
- Le temps de retour sur investissement est réduit (amortissement du système en 4 ans (en moyenne)).
- Exploitation optimale du rayonnement solaire même en présence des nuages.
- Gain intéressant, notamment aux heures de la journée les moins ensoleillées.

5-2- Les inconvénients

- Le coût d'investissement initial (surtout pour les trackers à 2 axes) est élevé.
- La maintenance des trackers, car les systèmes mécaniques atteignent rarement une durée de vie de 20 ans.

⁶« <https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16690> ».

- Pour des raisons de sécurité, les panneaux solaires doivent être parallèles au sol lors de vents forts.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons démontré la nécessité de déterminer avec exactitude les trajectoires empruntées par le soleil, de manière à définir la meilleure façon avec laquelle sera effectué le suivi automatique. Nous avons aussi présenté un état de l'art sur les méthodes de suivi. Un intérêt particulier a été porté à la technique de suivi active ou asservi reposant sur le principe du repérage via des capteurs de lumière. C'est cette technique qu'on a adoptée et qui va être étudiée en vue d'une réalisation matérielle.

Dans le chapitre qui suit, nous allons parler sur les dispositifs utilisés afin de réaliser notre suiveur.

CHAPITRE III
RÉALISATION DU SUIVEUR SOLAIRE

CHAPITRE III : RÉALISATION DU SUIVEUR SOLAIRE

Introduction

Dans cette partie nous présentons la procédure de réalisation de notre suiveur solaire à base de la carte Arduino. Le dispositif électronique comprend deux servomoteurs, un circuit de commande microcontrôleur Arduino UNO. Le système d'orientation est basé sur la programmation en logiciel Arduino du déplacement du panneau solaire à des intervalles de temps prédéfinis (entre le lever et le coucher du soleil) conformément à la trajectoire du soleil au cours de la journée , de manière à garder la surface active du panneau perpendiculaire aux radiations solaires (angle incidence nulle).

Partie A : Description des composants du système

1- Le dispositif programmable Arduino

Arduino est une plate-forme de prototypage d'objets interactifs à usage créatif constituée d'une carte électronique et d'un environnement de programmation, cet environnement matériel et logiciel permet à l'utilisateur de formuler ses projets par l'expérimentation directe avec l'aide de nombreuses ressources disponibles en ligne.

Arduino est un projet open source (les plans, les schémas, etc. sont accessibles et libres de droits) la grande communauté d'utilisateurs et de concepteurs permet à chacun de trouver les réponses à ces questions et apporte un travail énorme de documentation au projet.

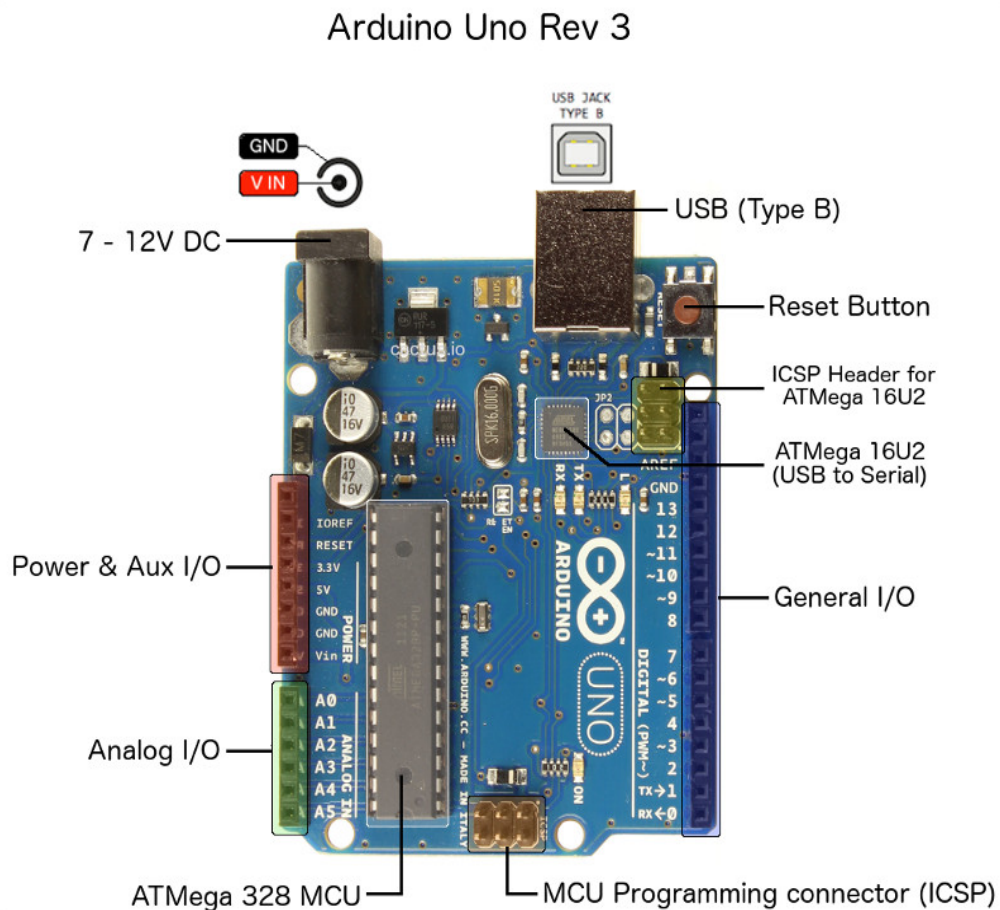
Les projets Arduino peuvent être autonomes, comme ils peuvent communiquer avec d'autres logiciels installés sur l'ordinateur tel que Flash, Processing ou MaxMPS, Matlab).

Ces cartes sont faites à base d'une interface entrée/sortie simple et d'un environnement de développement proche du langage¹.

1-1- La constitution de la carte Arduino UNO

L'Arduino UNO fournit un environnement de développement en s'appuyant sur des outils open source comme interface de programmation. L'injection du programme déjà converti par l'environnement sous forme d'un code « HEX » dans la mémoire du microcontrôleur se fait d'une façon très simple par la liaison USB. En outre, des bibliothèques de fonctions "clé en main" sont également fournies pour l'exploitation d'entrées-sorties. Cette carte est basée sur un microcontrôleur ATmega 328 et des composants complémentaires. La carte Arduino contient une mémoire morte de 1 kilo. Elle est dotée de 14 entrées/sorties digitales (dont 6 peuvent être utilisées en tant que sortie PWM), 6 entrées analogiques et un cristal à 16 MHz, une connexion USB et Possède un bouton de remise à zéro et une prise jack d'alimentation.

¹SIMON Landranlt, HIPPOLYTE Weisslinger, «Premier pas en informatique embarquée», Edition CC BY-NC-SA, 01 Juin 2014, 268p.



Figure(III.1) : Constitution de la carte Arduino UNO.

1-2- Pourquoi Arduino UNO

Il y a de nombreuses cartes électroniques qui possèdent des plateformes basées sur des microcontrôleurs disponibles pour l'électronique programmée. Tous ces outils prennent en charge les détails compliqués de la programmation et les intègrent dans une présentation facile à utiliser. De la même façon, le système Arduino simplifie la façon de travailler avec les microcontrôleurs tout en offrant à personnes intéressées plusieurs avantages cités comme suit² :

²Christian Tavenir, «Arduino, maîtrisez sa programmation et ces cartes d'interface (Shields)», Collection Dunod, Mars 2014, 256p.

- **Multi plateforme** : le logiciel Arduino, écrit en JAVA, tourne sous les systèmes d'exploitation Windows, Macintosh et Linux. La plupart des systèmes à microcontrôleurs sont limités à Windows.
- **Un environnement de programmation clair et simple** : l'environnement de programmation Arduino (le logiciel Arduino IDE) est facile à utiliser pour les débutants, tout en étant assez flexible pour que les utilisateurs avancés puissent en tirer profit également.
- **Logiciel Open Source et extensible** : le logiciel Arduino et le langage Arduino sont publiés sous licence open source, disponible pour être complété par des programmeurs expérimentés. Le logiciel de programmation des modules Arduino est une application JAVA multi plateformes (fonctionnant sur tout système d'exploitation), servant d'éditeur de code et de compilateur, et qui peut transférer le programme au travers de la liaison série (RS232, Bluetooth ou USB selon le module).
- **Matériel Open source et extensible** : les cartes Arduino sont basées sur les Microcontrôleurs ATMEL ATMEGA8, ATMEGA168, ATMEGA 328, les schémas des modules sont publiés sous une licence créative Commons, et les concepteurs des circuits expérimentés peuvent réaliser leur propre version des cartes Arduino, en les complétant et en les améliorant. Même les utilisateurs relativement inexpérimentés peuvent fabriquer la version sur plaque d'essai de la carte Arduino, dont le but est de comprendre comment elle fonctionne pour économiser le coût³.
- **Le prix (réduits)** : les cartes Arduino sont relativement peu coûteuses comparativement aux autres plates-formes. La moins chère des versions du module Arduino peut être assemblée à la main, (les cartes Arduino pré-assemblées coûtent moins de 3500 Dinars).

³Massimo Banzi, Michael Shiloh «Getting started with Arduino », 3rd Edition, Décembre 2014, 245p.

1-3- Caractéristiques techniques de l'Arduino UNO⁴

Microcontrôleur	ATmega328
Tension de fonctionnement	5V
Tension d'alimentation (recommandé)	7-12 V
Tension d'alimentation (limite)	6-20 V
Broche E/S numériques	14 (dont 6 disposent d'une sortie PWM)
Broche d'entrée analogique	6 (utilisable en broches E/S numérique)
Intensité Maxi disponible par broche E/S (5V)	40 mA
Intensité Maxi disponible pour la sortie 3,3V	50 Ma
Mémoire programme flash	32 KB (ATmega328) dont 0,5 sont utilisés par le boot loader
Mémoire SRAM (mémoire volatile)	2 KB (ATmega 328)
Mémoire EEPROM (mémoire non volatil)	1KB (ATmega 328)
Vitesse d'horloge	16 MHz

Tableau (III.1) : Caractéristiques techniques de l'Arduino UNO.

⁴http://www.mon-club elec.fr/pmwiki_reference_arduino/pmwiki.php?n=Main.MaterielUno

2- Servomoteur

Les servomoteurs sont des moteurs un peu spécifiques, qui peuvent tourner avec une liberté d'environ 180° et garder de manière relativement précise l'angle de rotation que l'on souhaite obtenir.

On utilise des servomoteurs couramment en modélisme pour contrôler des systèmes mécaniques (gouverne d'avion, accélérateur de moteur thermique, etc.). Les servomoteurs sont aussi couramment utilisés en robotique pour faire des minirobots, des actionneurs ou des indicateurs rotatifs⁵.

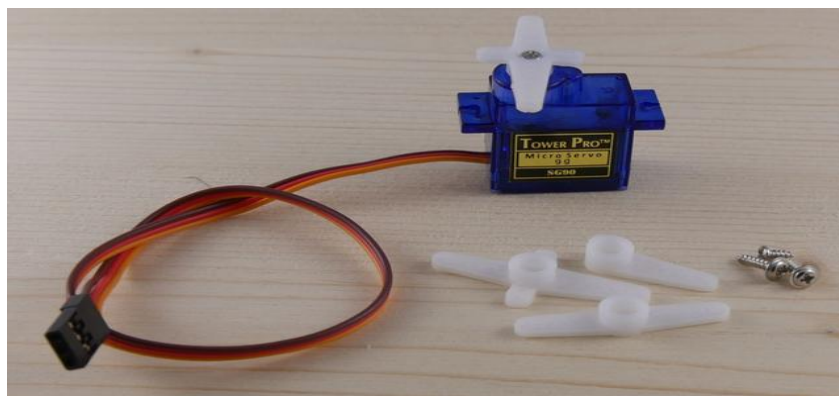


Figure (III.2) : Servomoteur chinois "9 grammes".

Il existe divers types de servomoteurs, de taille, poids et couple (force) différents. La figure suivante présente un servomoteur très classique en modélisme : le Futaba S3003.

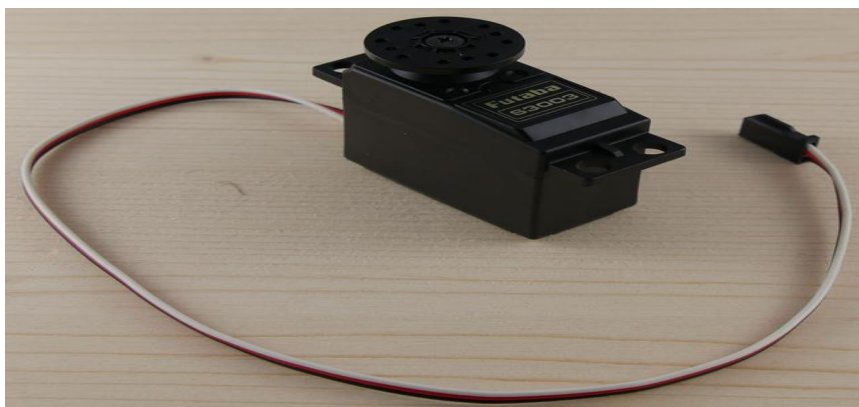


Figure (III.3) : Photo représentant un Servomoteur Futaba S3003.

⁵« <http://www.supinfo.com/articles/single/296-qu-est-ce-qu-servomoteur>».

2-1- Le fonctionnement interne d'un servomoteur

Un petit circuit électronique permet de contrôler un moteur à courant continu en fonction de la position d'un potentiomètre intégré au servomoteur.

La sortie du moteur à courant continu est reliée mécaniquement à une série d'engrenages qui augmente la force (le couple) du servomoteur en réduisant la vitesse de rotation de celui-ci.

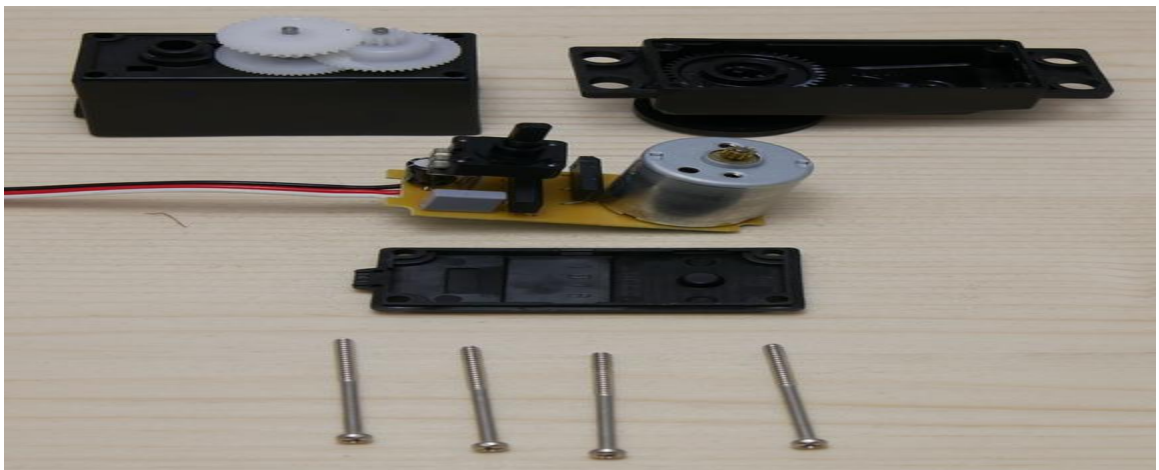


Figure (III.4) : Vue éclatée d'un servomoteur.

Quand le moteur tourne, les engrenages s'animent, le bras bouge et entraîne avec lui le potentiomètre. Le circuit électronique ajuste continuellement la vitesse du moteur pour que le potentiomètre (et par extension le bras) reste toujours au même endroit.

Il suffit de donner une consigne au servomoteur ("reste à 45°" par exemple) et le servomoteur fera de son mieux pour rester au plus près de cette consigne. Pour être précis, cette consigne est transmise au moyen d'un signal (d'une impulsion) numérique.

Pour que le servomoteur reste à une position donnée, il faut transmettre toutes les 20 millisecondes (soit à une fréquence de 50Hz) une impulsion d'une longueur comprise entre 1 et 2 millisecondes.

- Une impulsion de 1 milliseconde correspond à un angle de 0°.
- Une impulsion de 2 millisecondes correspond à un angle de 180°.
- En envoyant une impulsion d'une longueur intermédiaire, on obtient des angles différents, 90° avec une impulsion de 1.5 milliseconde par exemple.

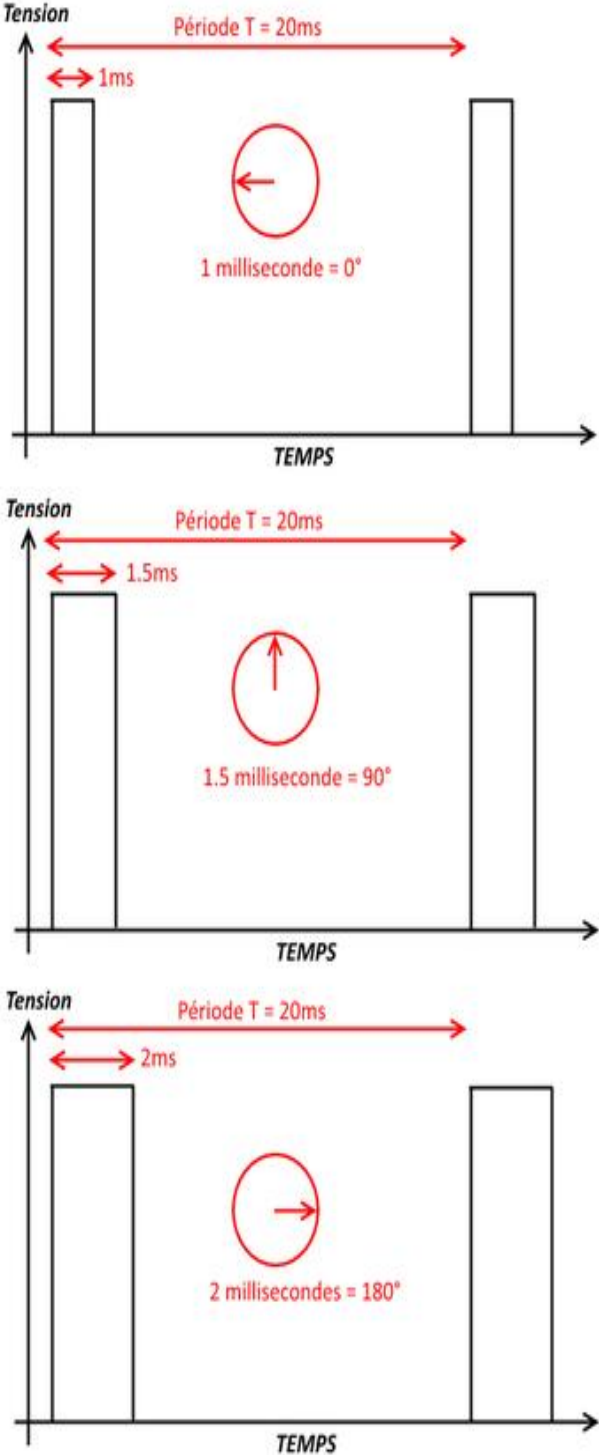


Figure (III.5) : Illustration du signal de contrôle.

3- Capteur LDR

Une photo résistance **LDR** (**L**ight **D**épendent **R**ésistor ou résistance dépendant de la lumière) est un composant dont la valeur en Ohms dépend de la lumière à laquelle il est exposé. Les matériaux utilisés pour la construction sont généralement du Sulfure ou du Séléniure de Cadmium qui se comporte comme des semi-conducteurs. La principale utilisation de la photo résistance est la mesure de l'intensité lumineuse (Appareil photo, de comptage, système d'alarme ... etc).

Elle est fortement concurrencée par la photodiode. Dans notre projet on a choisi d'utiliser la LDR grâce à son temps de réponse qui est beaucoup plus court⁶.

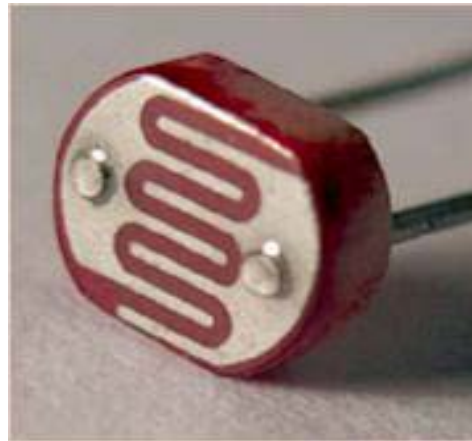
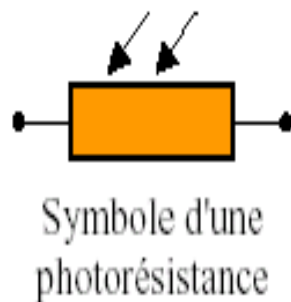


Figure (III.6) : Symbole et Capteur LDR.

3-1- Principe de fonctionnement

Un cristal à semi-conducteur à basse température contient peu d'électrons libres. La conductivité du cristal est très faible, proche de celle d'un isolant. Lorsque la température du cristal augmente. De plus en plus d'électrons qui étaient immobiles dans les liaisons covalentes s'échappent et peuvent participer à la conduction.

⁶Mr Bouziane Rabeh, Dokkar Ayoub, « Conception et Réalisation d'un Suiveur Solaire Bi-axial à Base De capteurs de lumière » Projet de fin d'étude, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2016.

A température ambiante si le même cristal semi-conducteur est soumis à une radiation lumineuse, l'énergie apportée par les photons peut suffire à libérer certains électrons utilisés dans les liaisons covalentes entre atomes du cristal.

Plus le flux lumineux sera intense, plus le nombre d'électrons libres pour assurer la conduction sera grand, ainsi la résistance de la LDR est inversement proportionnelle à la lumière reçue. La sensibilité dépend de la fréquence de la radiation lumineuse. Pour convertir cette variation de la lumière en une tension en utilise le circuit diviseur de tension.

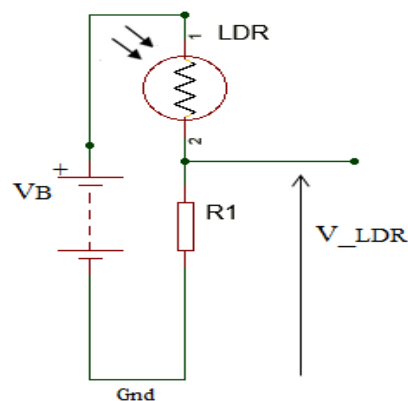


Figure (III.7) : Circuit équivalent du capteur LDR utilisé.

Tension délivrée par le capteur est donnée par la relation:

$$V_{LDR} = V_B \times \frac{R_1}{R_1 + R_{LDR}}$$

Où :

V_B : tension batterie (V).

R_{LDR} : résistance de la LDR (Ω).

4- câble USB

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.



Figure (III.8) : Câble USB type A/B (Arduino UNO).

Partie B: Réalisation du suiveur solaire

Après avoir décrit la partie matérielle de notre système, nous sommes arrivés à la partie la plus importante de notre mémoire qui est la réalisation du système de poursuite solaire.

1- Carte de commande de suiveur solaire

Cette dernière étape est consacrée à l'implémentation matériels et test de la technique adoptée dans cette étude, c'est la partie électronique qui va assurer la commande de tout le système. Pour ce faire, il est indispensable d'identifier la technologie choisie ainsi que les blocs qui seront utilisés.

Notre choix s'est porté sur l'utilisation d'une carte Arduino UNO comme circuit intégré pour l'exécution du programme qui sera traduit en langage C, Une présentation de l'environnement logiciel est éventuellement décrite dans ce chapitre, expliquant la procédure.

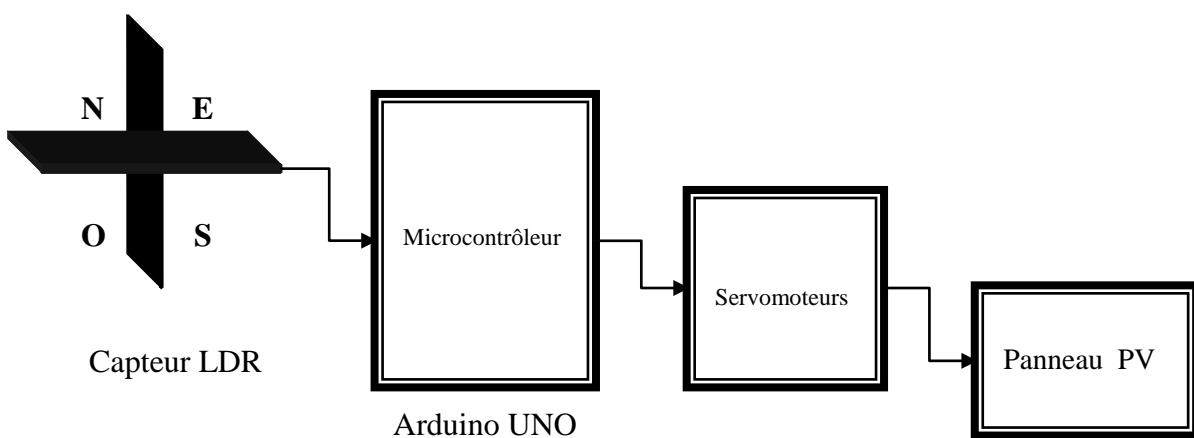


Schéma (III.1) : Carte de commande de suiveur solaire.

2- Câblage et fonctionnement de système

Le système vise à orienter en temps réel les capteurs vers le soleil, pour placer le panneau dans une position optimale par rapport à l'incidence du rayonnement solaire (perpendiculaire au rayonnement si possible) car tout au long de la journée et de l'année la position du soleil varie constamment et d'une manière différente selon l'altitude et l'azimut (d'est en ouest, à mesure de l'avancée de la journée, en hauteur selon la saison et l'avancée de la journée).

Le principe consiste à remarquer que la lumière reçue par les photorésistances est identique dès que le capteur est orienté dans l'axe de la lumière. Il faut donc mesurer la lumière reçue par chaque photorésistance en mesurant la tension à leurs bornes. Cette mesure est réalisée grâce à la connexion des ports pin 0 à 3 de la carte Arduino.

Le programme compare ensuite ces tensions en ordonnant aux servomoteurs de pivoter dans la direction des photorésistances qui reçoivent le plus de lumière.

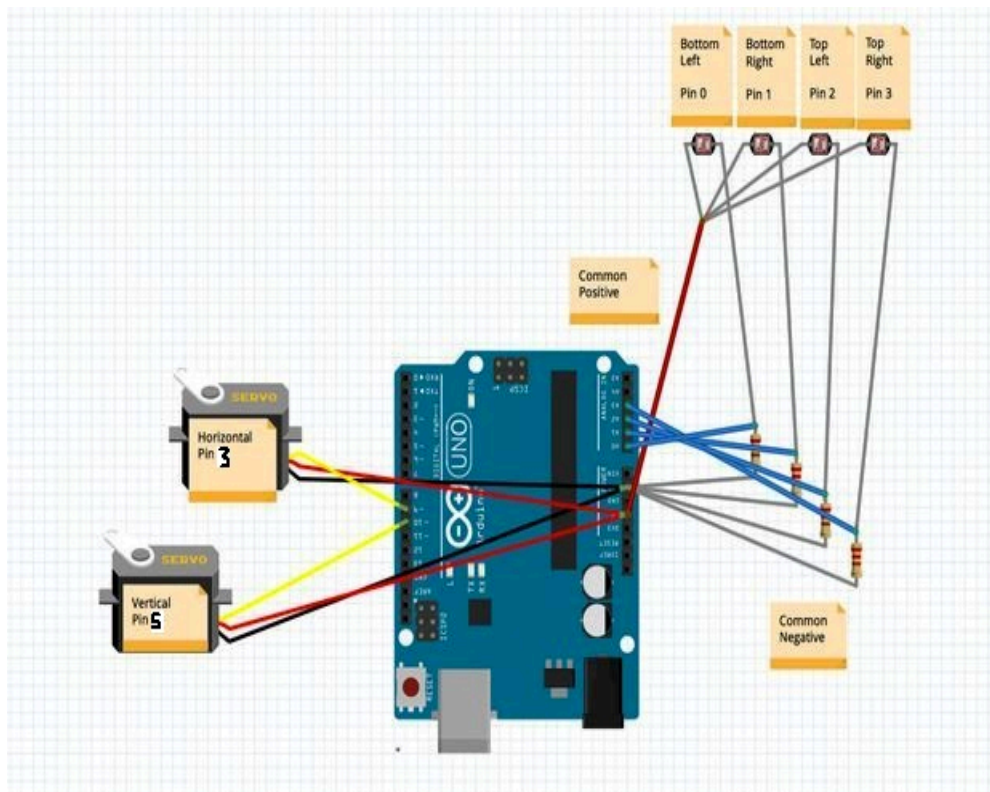
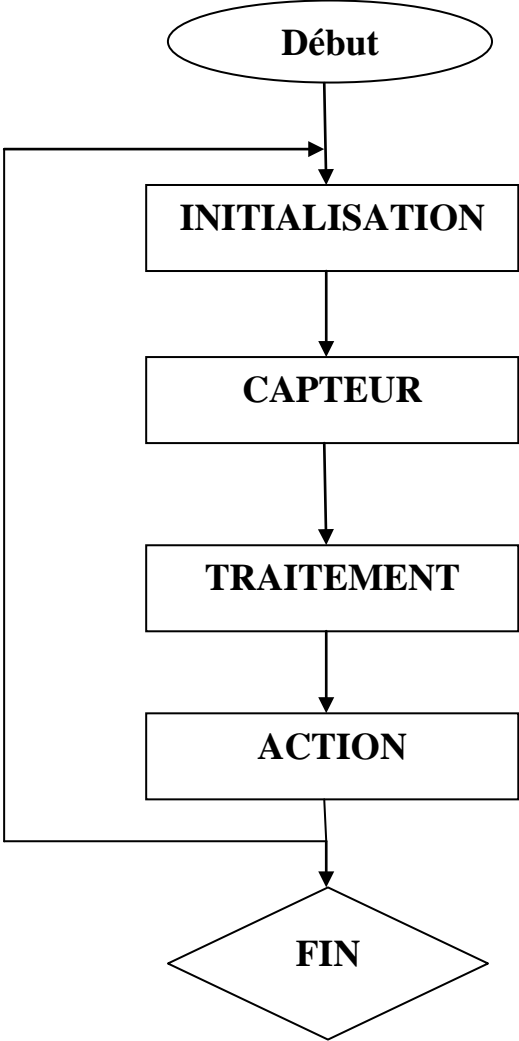
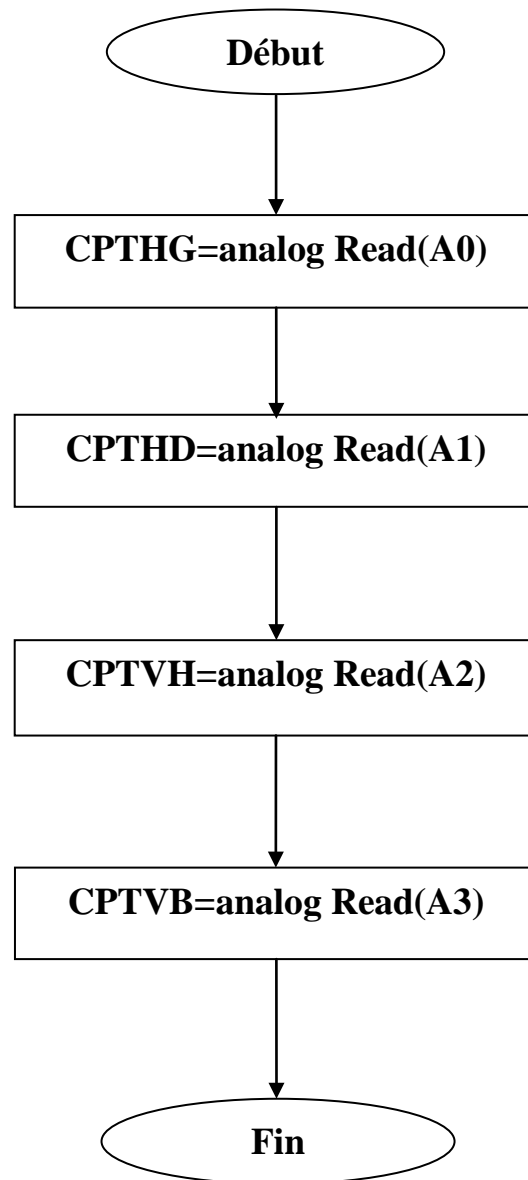


Schéma (III.2) : schémas câblage de suiveur solaire

3- L'organigramme

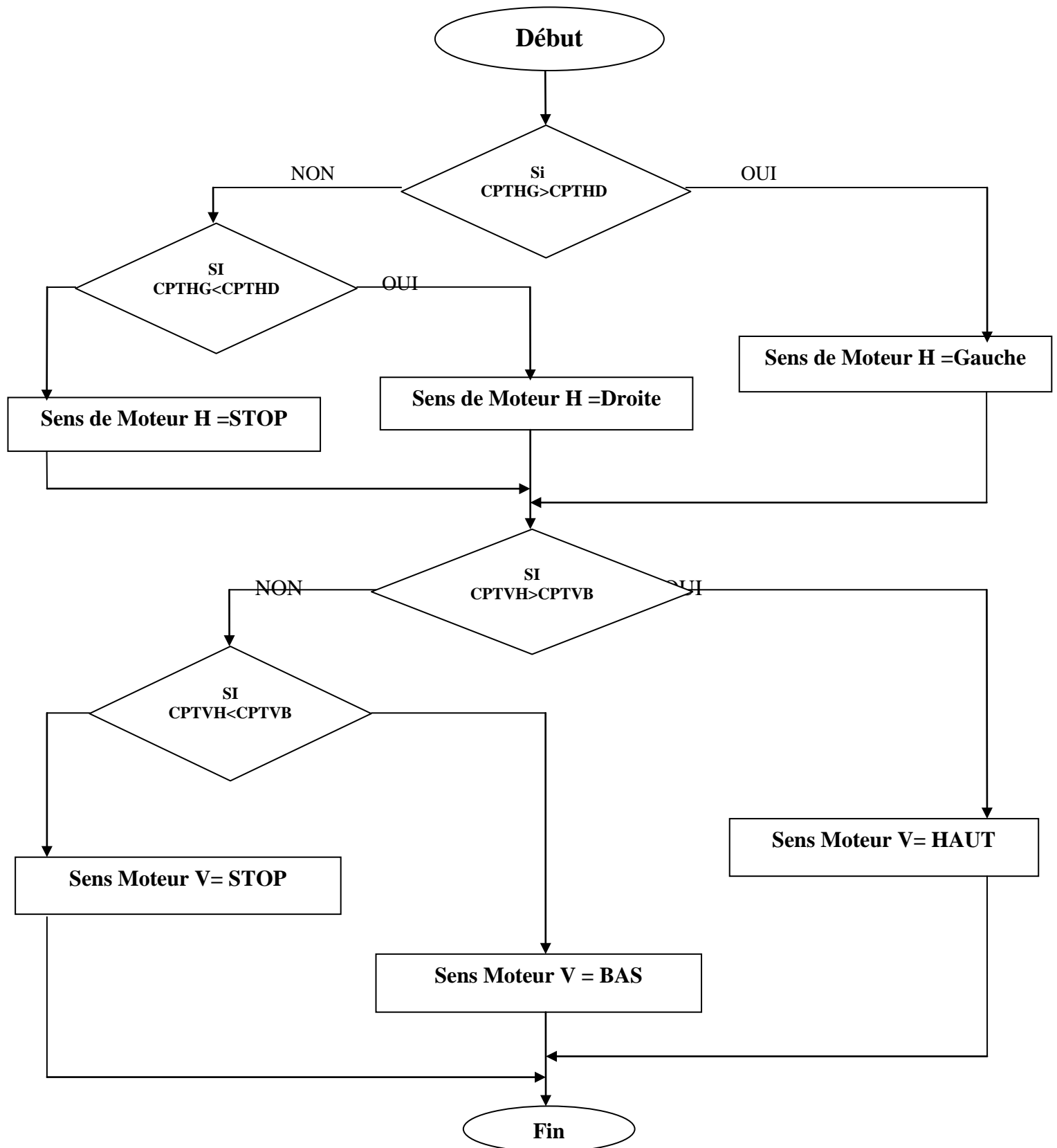
L'organigramme principal :



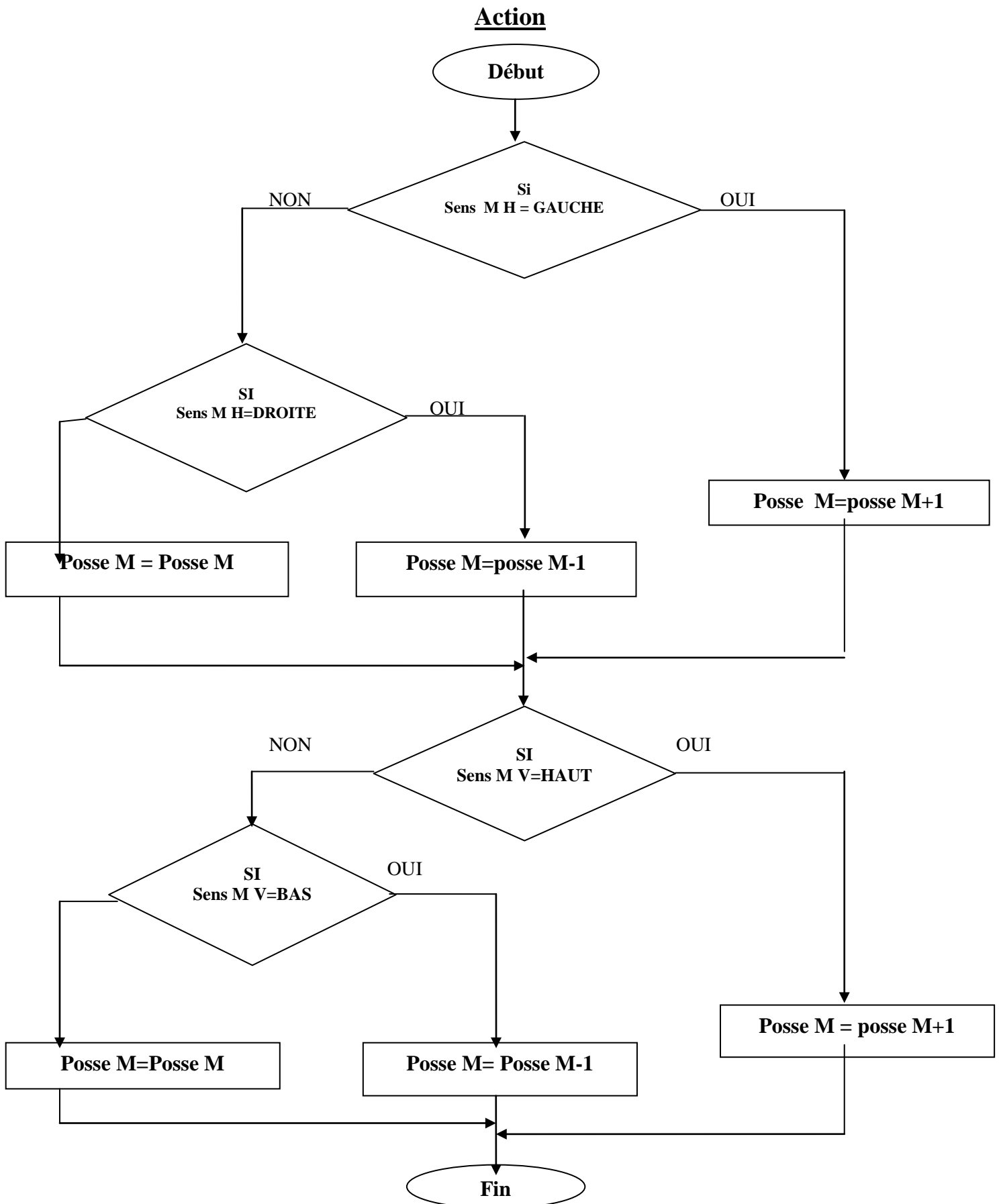
Sous-programme**Capteur**

Sous-programme

Traitement

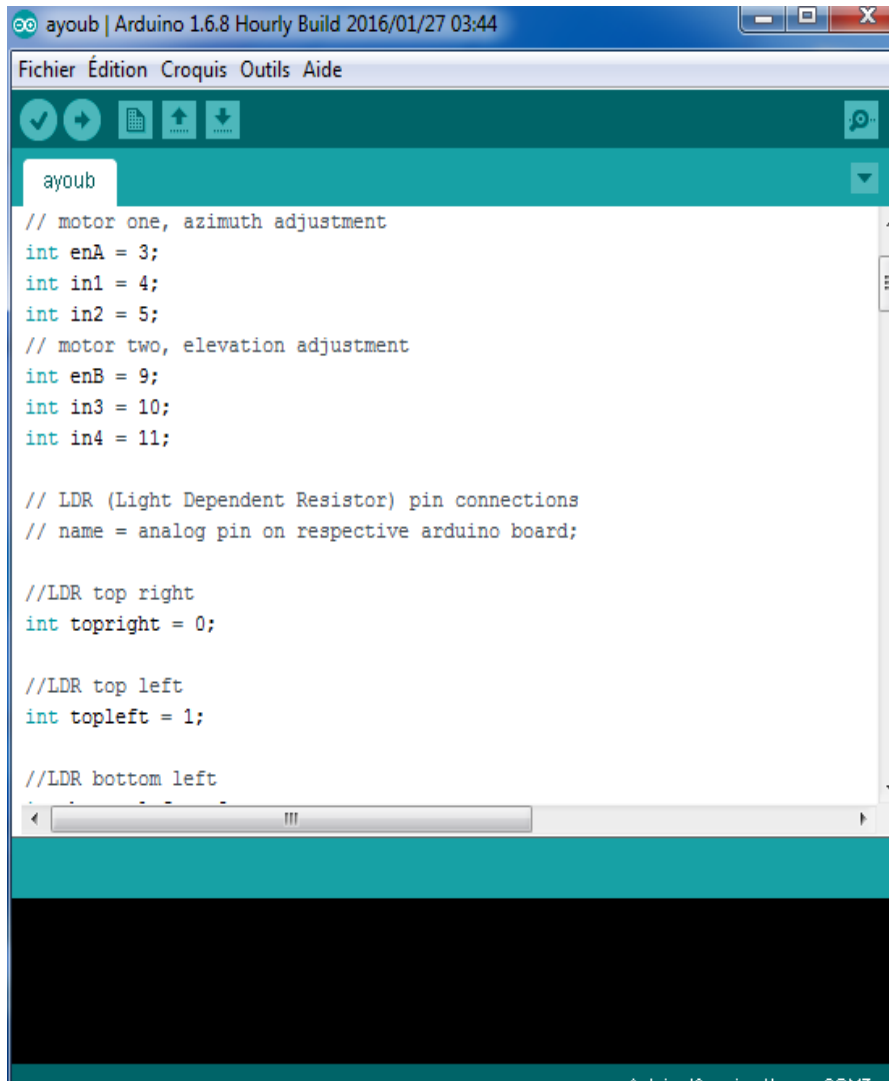


Sous-programme



4- Programmation

La carte Arduino UNO est une carte programmable, elle peut être programmée avec le logiciel Arduino représenté dans la (figure (III.12)).



```
ayoub | Arduino 1.6.8 Hourly Build 2016/01/27 03:44
Fichier Édition Croquis Outils Aide
ayoub
// motor one, azimuth adjustment
int enA = 3;
int in1 = 4;
int in2 = 5;
// motor two, elevation adjustment
int enB = 9;
int in3 = 10;
int in4 = 11;

// LDR (Light Dependent Resistor) pin connections
// name = analog pin on respective arduino board;

//LDR top right
int topright = 0;

//LDR top left
int topleft = 1;

//LDR bottom left
```

Figure (III.9) : Interface du logiciel Arduino⁷.

⁷<https://www.generationrobots.com/fr/152-arduino>.

5- Partie mécanique

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

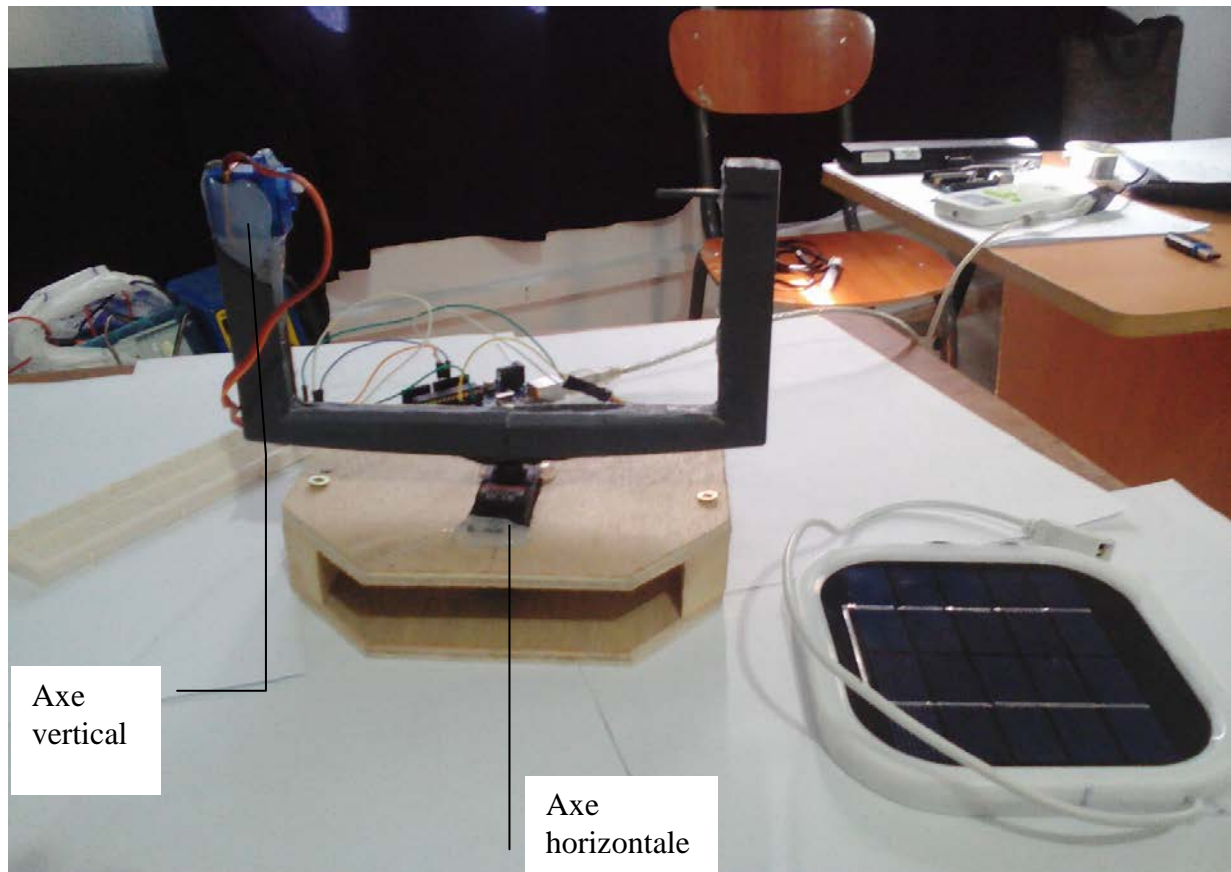


Figure (III.10) : Présentation de l'axe d'horizon et l'axe vertical.

5-1- Orientation de l'axe horizontal (élévation) et l'axe vertical (l'azimute)

Nous avons utilisés deux servomoteurs, l'un nous servira pour le déplacement azimutal et l'autre pour l'élévation. Les moteurs sont réglables se qui signifie qu'ils sont contrôlés par le programme d'Arduino après comparaison des tensions. Ce dernier leur ordonnera le sens, la direction du déplacement à effectuer pour trouver la position du rayonnement maximal et assurera la poursuite du point maximum. Une fois ce point est atteint les moteurs seront arrêtés.

5-2- Position des capteurs LDR

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



Figures (III.11) : Prototype des capteurs.

5-3- Schémas final de notre suiveur



Figure (III.12) : Présentation de notre suiveur finalisée

Conclusion

La réalisation du suiveur de soleil nécessite un bon choix des composants électroniques utilisés pour ne pas compliquer le principe de commande et pour réduire la consommation de l'énergie consommée par le suiveur.

Pour conclure, nous pouvons dire que nous avons réussi à réaliser le principal objectif de ce projet, soit monter et faire fonctionner un suiveur solaire, s'adaptant aux trajectoires de lumière afin d'en récupérer le maximum possible.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion Générale

Le travail présenté dans ce rapport porte sur la «Réalisation d'un Suiveur Solaire à Base d'une carte arduino UNO» à l'aide des composants électroniques programmable gérés par un microcontrôleur (Arduino).

Le but de ce travail réside dans la mise en œuvre d'une solution technique permettant de transformer un panneau photovoltaïque fixe en un panneau mobile afin d'améliorer son rendement. Pour cela, le système que nous avons pu réaliser s'est avéré capable de suivre la position du soleil et fonctionnel aux environ de 100% ou avec quelques imperfections, malgré les problèmes rencontrés durant la réalisation.

Ce projet de fin d'études était pour nous l'occasions pour examiner les connaissances acquises au cours de notre cursus et de faire un travail multidisciplinaire, associant l'instrumentation, l'électronique, la mécanique, la programmation et les énergies renouvelables et même le travail en collaboration avec des étudiants d'autre département.

En perspective, on souhaite d'améliorer notre instrument on lui ajoutant des systèmes de protection contre le changement brusque du climat et qu'il soit autonome.



BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

OUVRAGES

- Detectors, Dr. Heiner Ryssel, Indian Institute of Technology, Madras 9th INDO – German Winter Academy 2010.
- Thomas B. Greenslade, Jr., « Heliostats », Jules-Célestin Jamin — « Cours de physique de l'École polytechnique. Tome 3 - Fasc. 2 » Gauthier-Villars et fils (Paris) - 1885-1906
- SIMON Landranlt, HIPPOLYTE Weisslinger, «Premier pas en informatique embarquée», Edition CC BY-NC-SA, 01 Juin 2014, 268p.
- Christian Tavenir, «Arduino, maîtrisez sa programmation et ces cartes d'interface (Schields)», Collection Dunod, Mars 2014, 256p.
- Massimo Banzi, Michael Shiloh «Getting started with Arduino », 3rd Edition, Décembre 2014, 245p.

MÉMOIRES

- Sukhraj Singh Cheema, « **Simulation Studies on Dual Axis Solar Photovoltaic Panel Tracking System** ».Thapar University Patiala 2012.
- Mr Arafa Kaddouri, « **Conception et réalisation d'un suiveur solaire à deux axes** ». Projet de fin d'étude, Université sidi Mohammed ben Abdallah, Fès, Maroc 2015.
- Mr Slama Fateh, « **Modélisation d'un système multi générateurs photovoltaïques interconnectés au réseau électrique** ». Projet de fin d'étude, Université Ferhat Abbas - Setif- 2011
- Mr Bouziane Rabeh, Dokkar Ayoub, « **Conception et Réalisation d'un Suiveur Solaire Bi-axial à Base De capteurs de lumière** » Projet de fin d'étude, Université Kasdi Merbah , Ouargla, 2016.
- Mr Boughoufala Mohamed, « **Conception et réalisation d'un systeme de Suiveur Solaire pour des systèmes photovoltaïques** » Université Mohamed Boudiaf, Oran, 2011.
- Mr Bouayed Abderrahmane, « **Commande à deux axes d'un panneaux photovoltaïque** » Université Abou Beker Belkaid, Tlemcen, 2014.

- K. Kassmi, M. Hamdaoui et F.Olivie, «**Conception et modélisation d'un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT analogique** » Université Mohamed Boudiaf, Oran , Décembre 2007.
- Mr Dharif Ilias, « **Optimisation du rendement énergétique d'un panneau solaire par un support suiveur** » Université Sidi Mohamed Ben Abdallah, Fès, Maroc ,2014.

SITES INTERNET

- <http://planet-terre.ens-lyon.fr/article/bilan-radiatif-terre2.xml>.
- <http://www.meteolafleche.com/rayonnement.html>
- http://www.ecosources.info/dossiers/Types_de_cellules_photovoltaiques.
- <https://www.doc-etudiant.fr/Sciences/Physique/L-effet-photovoltaique.html>.
- <http://tpe-energie-solaire.e-monsite.com/pages/science-et-technique/l-energie-photovoltaique/avantages-et-inconvenients-du-photovoltaique.html>.
- <https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16690>
- http://www.mon-club-elec.fr/pmwiki_reference_arduino/pmwiki.php?n=Main.MaterielUno.
- <https://www.generationrobots.com/fr/152-arduino>
- <http://www.supinfo.com/articles/single/296-qu-est-ce-qu-servomoteur>

Résumé :

Notre travail ayant comme objectif l'amélioration du gain en énergie électrique du panneau solaire mobile par rapport au système fixe. Notre dispositif d'instrument sera fixé sur une structure mécanique que nous avons réalisée à base de deux servomoteurs. Pour cette application, nous avons réalisé un système de photorésistance du type 'LDR' qui sont disposés de manière à ce que leurs éclairément ne soit identique que si ce système est perpendiculaire avec le soleil. Les signaux issus des capteurs sont transmis aux entrées d'un microcontrôleur de type ' ATmega328' dans « arduino » qui permet la comparaison des niveaux de tensions pour la commande des deux servomoteurs. En outre, il permet l'orientation du panneau vers le soleil.

Enfin, le système que nous avons réalisé est capable de suivre fidèlement la position du Soleil. En plus, pour augmenter le rendement du panneau solaire mobile par rapport au système fixe, les résultats ont été extraordinaires.

Mots clés : PV, Suiveur solaire, LDR, Arduino, SM.