



# Mémoire de Master

## Présenté au

**Département** : Génie Électrique

**Domaine** : Sciences et Technologies

**Filière** : Electronique

**Spécialité** : Electronique des systèmes embarqués

## Réalisé par :

**AIT CHALAL IMAD**

Et

**ADDAD FARES**

## Thème

---

# Conception et Réalisation d'un suiveur solaire commandé par ARDUINO

---

Soutenu le: **30/10/2021**

Devant la commission composée de :

Mr : R.KASMI	M.C.A	Univ. Bouira	Président
Mme : H.SMAIL	M.A.B	Univ. Bouira	Examinateur
Mr : M.BENZIANE	M.A.A	Univ. Bouira	Encadreur

## **Remerciements**

Ce travail a été effectué au sein du département du génie électrique de la faculté des Sciences et sciences appliquées de l'Université de Bouira.

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 Mr Benziane Mourad. Enseignant à UAMOB, pour nous avoir orienté et donné de précieux conseils.

Nous apportons aussi nos vifs remerciements aux personnels enseignants de l'Université Akli Mohand Oulhadj Bouira

Nous remercions chaleureusement les membres du jury pour leur regard critique et plus que pertinent sur l'ensemble de notre travail.

Enfin, nous associons ces remerciements à tous ceux qui ont contribué à réaliser ce travail.

## ***Résumé :***

Notre travail a comme objectif l'amélioration du gain en énergie électrique du panneau solaire PV mobile par rapport au système fixe et donc du rendement photovoltaïque. Notre dispositif instrumental sera fixé sur une structure mécanique que nous avons réalisée à base de deux servomoteurs avec leurs circuits de commande permettant ainsi la rotation du panneau PV selon les deux directions horizontale et verticale. Pour cette application, nous avons réalisé une lunette à base de quatre capteurs photo résistifs de type " LDR " qui sont disposées de manière à ce que leurs éclairagements ne soient identique que si la lunette est pointée vers le soleil. Les signaux issus des capteurs sont transmis aux entrées d'une carte Arduino UNO qui permet la comparaison des niveaux de tensions pour la commande des deux servomoteurs ainsi que des photodiodes nous indiquant les sens de leurs rotations.

**Mots clés :** PV, suiveur solaire, Arduino, Servomoteur, LDR

# Sommaire

Remercîment.....	I
Résumé.....	II
Table des matières.....	III
Liste des figures.....	VI
Liste des Tableau.....	VII
Liste des acronymes et symboles.....	VIII
Introduction générale.....	1
<b>Chapitre I : GENERALITES SUR L'ENERGIE SOLAIRE</b>	
1. Introduction.....	2
2. Energie solaire.....	2
2.1. Energie solaire photovoltaïque.....	2
2.2. Rayonnement solaire.....	3
3. Effet photovoltaïque.....	5
3.1. Cellule photovoltaïque.....	5
3.2. Principe de fonctionnement.....	5
3.3. Rendement d'une cellule photovoltaïque.....	6
3.4. Types de cellules photovoltaïques.....	7
3.5. Caractéristique courant-tension d'une cellule solaire.....	7
3.6. Paramètres d'une cellule solaire.....	8
4. Panneaux solaires photovoltaïques.....	8
4.1. Raccordement des cellules entre elles.....	9
5. Stockage d'énergie et autoconsommation.....	11
6. Différents types de systèmes photovoltaïques.....	11
6.1. Systèmes autonomes.....	13
7. Principe de fonctionnement d'un régulateur solaire.....	13
7.1. Régulation PWM.....	13
7.2. Régulateur MPPT.....	14
8. Conclusion.....	15

## **Chapitre II: SUIVEURS SOLAIRES**

1. Introduction.....	16
2. Mouvement globale terrestre .....	16
2.1. Coordonnées terrestres .....	17
2.2. Coordonnées du soleil .....	17
2.2.1. Coordonnées équatoriales .....	17
2.2.2. Coordonnées horizontales .....	18
3. Suiveurs solaires .....	19
3.1. Principe fondamental des suiveurs solaires .....	20
3.2. Types de suiveurs solaires .....	20
3.2.1. Suiveurs passifs .....	21
3.2.2. Suiveurs actifs .....	21
4. Classification des suiveurs actifs .....	23
4.1. Suiveurs en boucle ouverte .....	23
4.2. Suiveurs en boucle fermée .....	24
5. Intérêt des panneaux mobiles par rapport aux panneaux fixes .....	24
6. Orientation des panneaux solaires.....	25
6.1. Choix de l'orientation des modules .....	26
6.2. Choix de l'inclinaison des modules .....	27
7. Conclusion .....	28

## **Chapitre III: Réalisation du projet.**

Introduction .....	29
1. ARDUINO UNO R3 .....	29
2. Fritzing .....	30
3. Servo-moteur SG-90 .....	30
4. Photorésistance(LDR) .....	31
5. Step-Up POWER module.....	32
6. TP4056 .....	33
Partie II :.....	34
1. Carte de commande de suiveur solaire.....	34
2. Câblage et fonctionnement de système .....	34
3. L'organigramme .....	36

4. Sous programme .....	37
5. Partie programmation .....	40
6. Partie mécanique .....	40
7. Orientation des axes (horizontal (élévation) vertical (l'azimute)) .....	41
8. Position des capteurs (LDR).....	41
9. Partie alimentation .....	42
10. Schéma final de suiveur.....	43
11. Conclusion .....	43
<b>Conclusion Générale</b> .....	<b>44</b>
<b>Références</b> .....	<b>45</b>
<b>Annex</b> .....	<b>47</b>

# Liste des figures

## Chapitre I : GENERALITES SUR L'ENERGIE SOLAIRE

Figure 1.1: Définition de la masse d'air .....	3
Figure 1.2 : Composantes du rayonnement solaire au sol : Global = direct + diffus + albédo .....	4
Figure 1.3: L'effet « cosinus » .....	4
Figure 1.4: Description d'une cellule photovoltaïque .....	5
Figure 1.5: principe de cellule photovoltaïque .....	6
Figure 1.6 : caractéristique courant-tension à l'obscurité et sous éclairage d'une cellule solaire ..	8
Figure 1.7 : Exemple panneau solaire .....	9
Figure 1.8 : Caractéristique courant-tension des cellules monté en série .....	9
Figure 1.9 : Caractéristique courant-tension des cellules monté en parallèle .....	10
Figure 1.10: Caractéristique global courant-tension des cellules .....	10
Figure 1.11 : Symbole d'une batterie.....	11
Figure 1.12 : Système photovoltaïque au fil du soleil .....	12
Figure 1.13 : Système de pompage de l'eau au fil du soleil .....	12
Figure 1.14: Système photovoltaïque avec stockage .....	13

## Chapitre II : SUIVEURS SOLAIRES

Figure 2.1 : Coordonnées terrestres .....	17
Figure 2.2 : Coordonnées équatoriales .....	18
Figure 2.3 : Représentation de la hauteur et de l'azimut .....	19
Figure 2.4 : Suiveur en panneaux solaire .....	20
Figure 2.5 : Les types de suiveurs solaire .....	20
Figure 2.6: Exemple de suiveur passif .....	21
Figure 2.7 : Suiveur à axe vertical incliné .....	22
Figure 2.8 : Suiveur à axe horizontal .....	22
Figure 2.9 : Suiveur à deux axes .....	23
Figure 2.10 : Commande en boucle ouverte d'un suiveur PV .....	24
Figure 2.11 : Commande en boucle fermée d'un suiveur PV .....	24
Figure 2.12 : Comparaison entre un suiveur et un système fixe .....	25
Figure 2.13 : Définition de la position du soleil (latitude et azimut) .....	26
Figure 2.14 : Représentation de la latitude (hauteur) angulaire et l'azimut .....	26
Figure 2.15 : Orientation des panneaux solaires .....	27
Figure 2.16 : Facteurs de correction pour une inclinaison et une orientation données .....	28

### **Chapitre III: REALISATION DU PROJET**

Figure3.1 :UNE carte ARDUINO UNO R3 .....	30
Figure 3.2 : Dimensions et spécifications de servo-moteur SG90.....	31
Figure 3.3 : Une photorésistance .....	31
Figure 3.4 : Module STEP-UP POWER .....	32
Figure 3.5 : Branchement de TP4056 avec une source de tension et batterie .....	33
Figure 3.6 : Schéma de simulation par logiciel PROTEUS .....	35
Figure 3.7 : Schéma de circuit alimentation par logiciel FRITZING .....	35
Figure 3.8 : Interface Arduino IDE.....	40
Figure 3.9 : Châssis de TRACKER Solaire .....	41
Figure 3.10 : Le positionnement des capteurs LDR .....	42
Figure 3.11 : Le panneau solaire photovoltaïque et le circuit alimentation de ROBOT .....	42
Figure 3.12 : Présentation de notre TRACKER finalisée .....	43

### **Liste de Tableau :**

Tableau 1.1 : la différence entre régulateurs de charge PWM et MPPT .....	14
---	----



## *Liste des Acronymes*

AM	Nombre de masse d'air
PV	Photovoltaïque
DC	Courant Continu
AC	Courant Alternatif
PWM	Pulse Width Modulation
MPP	Maximum Power Point Tracking
GCR	Ground Coverage Ratio
GPS	Global Positioning System
LDR	Résistance Variable Avec La Lumière
USB	Universal Serial Bus
PCB	Printed Circuit Board
LED	Light-Emitting Diode
MOS	Mosfet
SOP	Standard Operating Procedure
GND	Ground
W/m <sup>2</sup>	Watts par mètre carré
W <sub>c</sub>	Watt crête
V <sub>m</sub>	Tension maximale
P <sub>m</sub>	Puissance maximale
J(ma/cm <sup>2</sup> )	Current density
I <sub>sc</sub>	Courant de court-circuit
V <sub>co</sub>	Tension de circuit ouvert
I <sub>m</sub>	Courant maximale
I <sub>cc</sub>	Courant traversant une cellule
I <sub>sc</sub>	Courant traversant N <sub>s</sub> cellules en série

$I_{pcc}$	Courant traversant $P_n$ cellules en parallèle
$V_{pco}$	Tension traversant $P_s$ cellules en parallèle
$V_{sco}$	Tension traversant $N_s$ cellules en séries
$X$	Hauteur du soleil
$Y$	Azimut
Hz	Hertz

### ***Liste des Symboles***

$\lambda$	Longitude
$\varphi$	Latitude
$\alpha$	Angle horaire

# *Introduction générale*

# INTRODUCTION GENERALE

Un des grands challenges qui menacent la vie future de l'humanité est la pollution, l'eau et l'énergie. Ces deux derniers sont considérés comme l'élément porteur de toute civilisation. Pour cette raison, l'homme de l'âge moderne doit rationaliser leur utilisation et se trouve dans l'obligation de découvrir des solutions alternatives capables de remédier à la situation actuelle de pollution d'eau, d'atmosphère qui est généré essentiellement des rejets d'industrialisation, de transport ainsi que d'usage domestique.

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 km<sup>2</sup> (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.

Dans ce contexte, notre motivation dans ce travail est d'optimiser l'énergie fournie par les panneaux photovoltaïques dans le but de maximiser la quantité d'éclairement absorbée par ces panneaux en suivant le mouvement du soleil pendant la journée. Notre but est donc de réaliser un suiveur solaire qui est monté sur une structure mécanique portant le panneau PV, le suivi est assuré grâce à la mesure l'éclairement par des photocellules et de chercher la meilleure position garantissant un maximum d'éclairement sur le panneau PV à travers deux moteur permettant de contrôler la position horizontale et verticale, le fonctionnement est géré par une carte Arduino UNO.

Le mémoire est structuré en trois chapitres :

- Le premier chapitre donnera des généralités sur l'énergie solaire.
- Le deuxième chapitre présentera les suiveurs solaires d'une manière générale.
- Le troisième est consacré à la réalisation pratique et ces différentes étapes.

Une conclusion générale finalisera ce mémoire.

**Chapitre I**  
**GENERALITES SUR L'ENERGIE**  
**SOLAIRE**

## **Chapitre I**

# **GENERALITES SUR L'ENERGIE SOLAIRE**

## **1. Introduction**

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la conversion directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique et effectuée 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 exposée à la lumière.

Ce chapitre plutôt introductif, est consacré à la présentation des concepts de base relatifs au domaine de l'énergie solaire photovoltaïque ainsi que le principe de fonctionnement d'une installation et ces différents éléments.

## **2. Energie solaire**

Le rayon solaire est la source d'énergie la plus abondante sur la terre. La quantité d'énergie libérée par le soleil et reçue par la terre, en une heure pourrait être capable de fournir les besoins d'énergie 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  $1367\text{W/m}^2$ . La partie d'énergie reçue sur la surface de la terre dépend de l'épaisseur de l'atmosphère à traverser [1].

### **2.1. Energie solaire photovoltaïque**

Provient de la conversion de la lumière du soleil en électricité au sein de matériaux semi-conducteurs comme le silicium ou recouverts d'une mince couche métallique. Ces matériaux photosensibles ont la propriété de libérer leurs électrons sous l'influence d'une énergie extérieure, c'est donc l'effet photovoltaïque. L'énergie est apportée par les photons (composants de la lumière)

qui heurtent les électrons et les libèrent, induisant par conséquent un courant électrique. Ce courant continu de micro puissance calculé en watt crête ( $W_c$ ) peut être transformé en courant alternatif grâce à un onduleur. L'atmosphère terrestre reçoit ce rayonnement à une puissance moyenne de 1,37 kilowatt au mètre carré ( $kW/m^2$ ), à plus ou moins 3 %, selon que la terre s'éloigne ou se rapproche du soleil dans sa rotation autour de celui-ci [1].

## 2.2. Rayonnement solaire

La part 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.

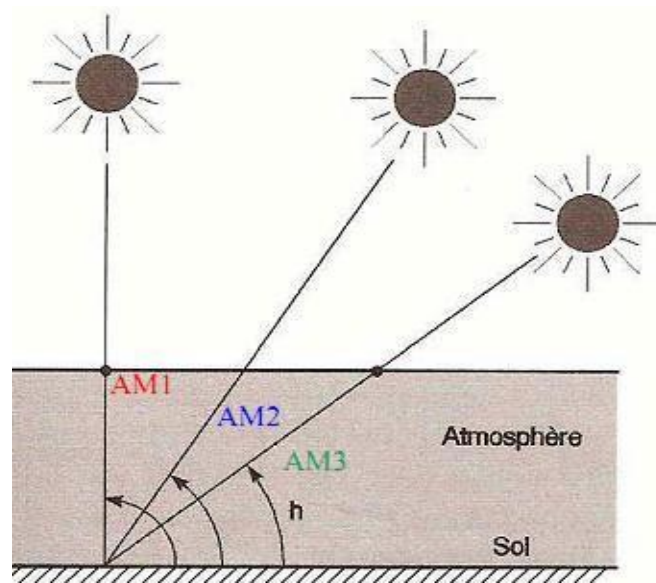


Figure 1.1: Définition de la masse d'air [20].

Le rayonnement qui atteint le niveau de la mer à midi dans un ciel clair est de  $1000 W/m^2$  et est décrit en tant que rayonnement de la masse d'air.

**Composants du rayonnement :** En traversant l'atmosphère le rayonnement solaire est absorbé et diffusé au sol, on distingue plusieurs composantes :

- **Rayonnement direct :** Le rayonnement direct est reçu directement du soleil, sans diffusion par l'atmosphère.
- **Rayonnement diffus :** Le rayonnement diffus est constitué par la lumière diffusée par l'atmosphère (air, nébulosité, aérosols).
  - **Albédo :** L'albédo est la partie réfléchiée par le sol.

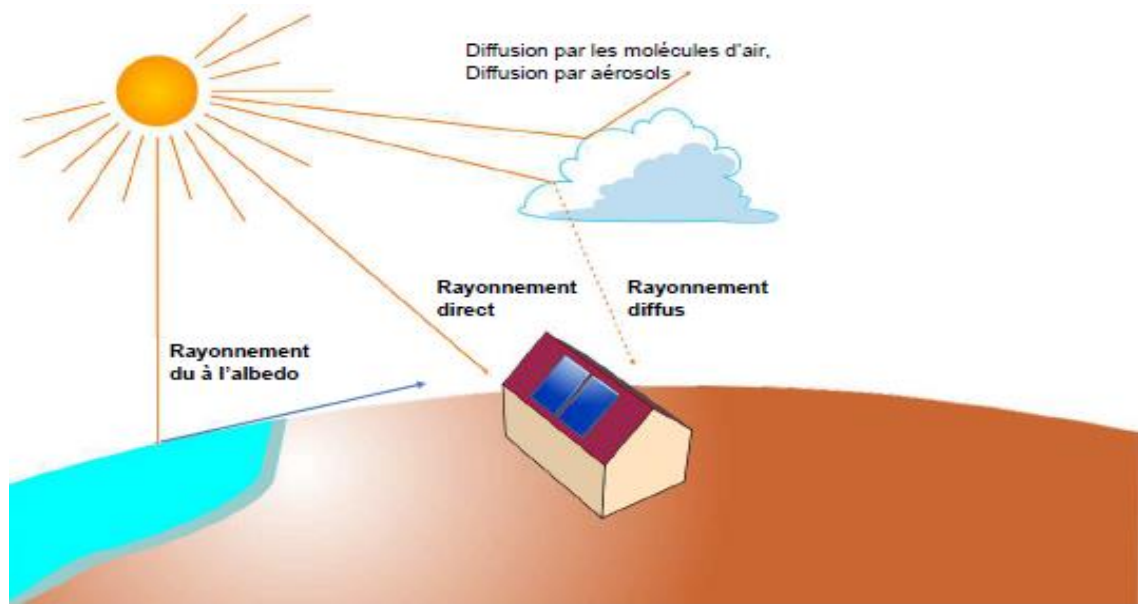


Figure 1.2 : Composantes du rayonnement solaire au sol : Global = direct + diffus + albédo [20].

Notons enfin que le rayonnement direct sur un plan horizontal est toujours inférieur au rayonnement dans le plan perpendiculaire au soleil. Par contre, le rayonnement diffus peut être supérieur car le plan horizontal "voit" une plus grande part de la voûte céleste.

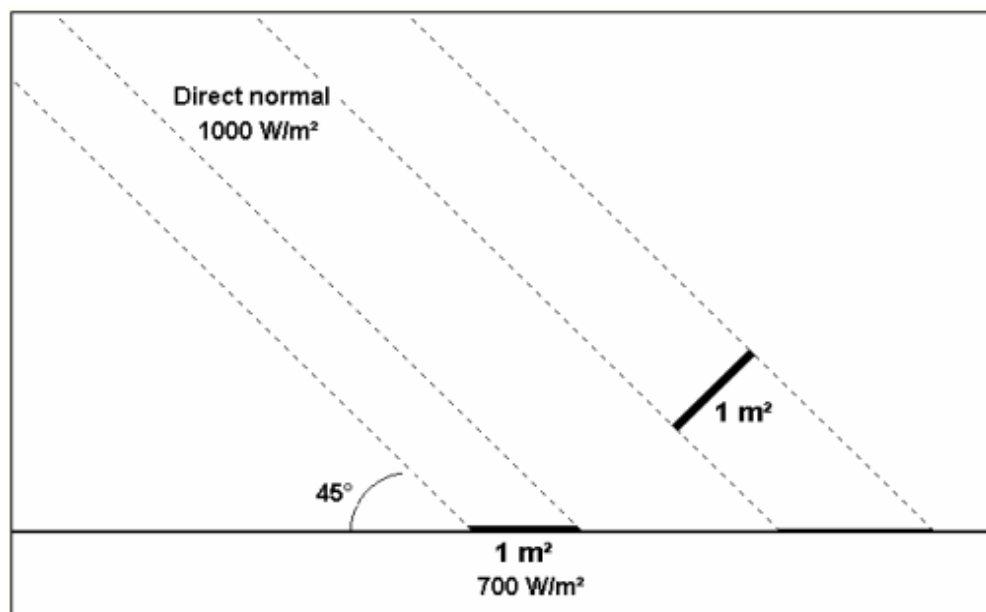


Figure 1.3: L'effet « cosinus » [20].



### 3. 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.

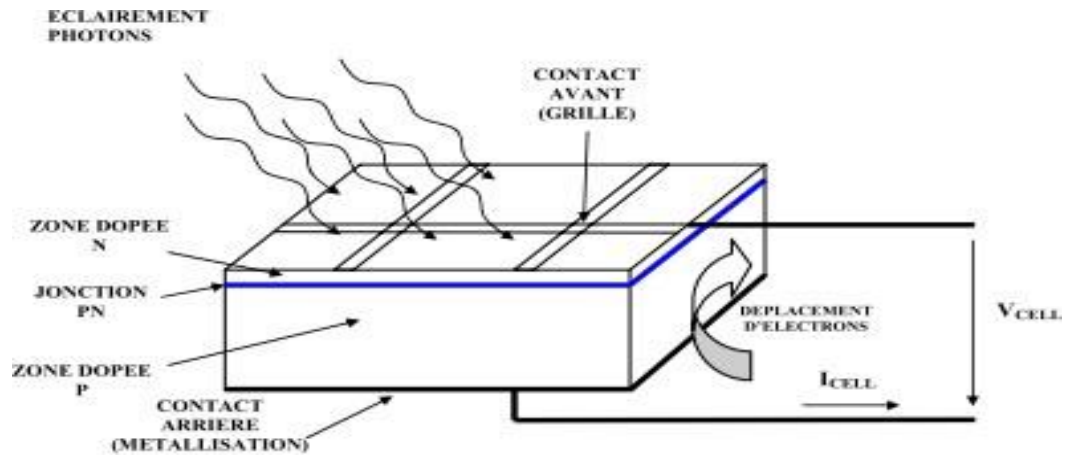


Figure 1.4: Description d'une cellule photovoltaïque [6].

#### 3.1. Cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est un composant électronique qui est exposé aux photons de la lumière et produit de l'électricité. Cet effet photovoltaïque fut découvert en 1839 par le physicien français Antoine Becquerel. Il faut attendre les années 1960 et les satellites spatiaux pour que les cellules trouvent de réelles applications. Les panneaux solaires, formés par des assemblages de cellules, commencent à arriver sur les toits à la fin des années 1980. L'essor du photovoltaïque, avec de grands parcs de production électrique, n'a plus cessé depuis le début du XXI<sup>ème</sup> siècle [6].

#### 3.2. Principe de fonctionnement

Le fonctionnement de la cellule photovoltaïque est fondé sur les propriétés des semi-conducteurs qui sont percutés par les photons, mettent en mouvement un flux d'électrons. Les photons sont des particules élémentaires qui transportent l'énergie solaire à 300 000 km/s. Lorsqu'ils frappent un élément semi-conducteur comme le silicium, ils arrachent des électrons à ses atomes. Ces électrons se mettent en mouvement de façon désordonnée à la recherche d'autres « trous » où se repositionner. Mais pour qu'il y ait un courant électrique, il faut que ces mouvements d'électrons aillent tous dans

le même sens. Pour les aider, il faut associer deux types de silicium, la face exposée au soleil est « dopée » avec des atomes de phosphore qui comportent plus d'électrons que le silicium, l'autre face est dopée avec des atomes de bore qui comportent moins d'électrons. Cette double face devient une sorte de pile: le côté très chargé en électrons devient la borne négative (N), le côté avec moins d'électrons devient la borne positive (P). Entre les deux il se crée un champ électrique.

Quand les photons viennent exciter les électrons, ceux-ci vont migrer vers la zone N grâce au champ électrique, tandis que les « trous » vont vers la zone P. Ils sont récupérés par des contacts électriques déposés à la surface des deux zones avant d'aller dans le circuit extérieur sous forme d'énergie électrique. Un courant continu se crée. Une couche antireflet permet d'éviter que trop de photons se perdent en étant réfléchis par la surface [6].

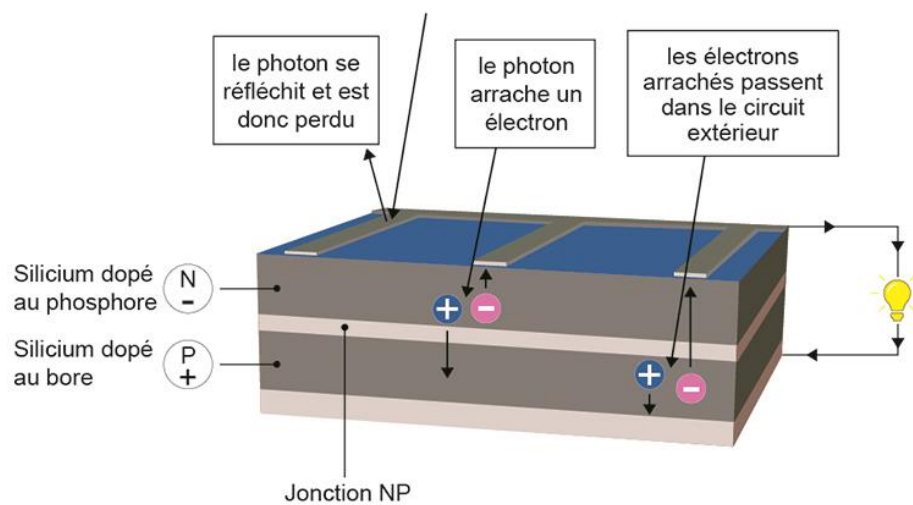


Figure 1.5: principe de cellule photovoltaïque [6].

### 3.3. Rendement d'une cellule photovoltaïque

Le rendement est le rapport entre la puissance électrique produite et la puissance lumineuse qui tombe sur la cellule. Pour définir celui-ci, les cellules, rassemblées en modules puis en panneaux, sont étalonnées en étant placées face à un simulateur solaire qui reproduit les conditions optimales : un ensoleillement de 1 000 W de lumière par mètre carré et une température ambiante de 25° C. La puissance électrique créée, dite puissance crête, est un pourcentage de la puissance solaire reçue. Si un panneau d'1 m<sup>2</sup> produit une puissance électrique de 200 W, son rendement sera de 20 %. Le rendement de ce type de cellules ne peut pas dépasser une limite théorique d'environ 33%, appelé « limite de Shockley-Queisser ».

Dans les conditions réelles, la quantité d'électricité que produira la cellule, appelée le « productible », sera calculée en tenant compte de son rendement et du niveau d'ensoleillement moyen de la région sur un an et des conditions de l'installation [6].

### **3.4. Types de cellules photovoltaïques**

On distingue trois grandes familles de cellules, leurs rendements sont en perpétuel progrès :

#### ➤ **Les cellules au silicium cristallin :**

Le silicium est extrait de la silice, dont une des formes est le quartz, très abondant dans les sables. Les cellules au silicium constituent plus de 95 % du marché et leur rendement moyen, pour les produits commerciaux, va de 16,5 % à 22 % selon leur technologie. Avec un traitement à froid, le silicium est formé de plusieurs cristaux (polycristallin). Il est facile à produire et atteint un rendement dépassant 22 % en laboratoire. Fondu, le silicium peut être reconstitué en un grand cristal (monocristallin), avec un rendement jusqu'à 26,6 % en laboratoire. Le prix de ces cellules silicium est devenu très compétitif avec d'autres solutions de production d'électricité ces dernières années.

#### ➤ **Les cellules en couches minces :**

Au lieu de couper le silicium en fines plaquettes d'environ 200 microns, il est possible de déposer des matériaux semi-conducteurs en couches d'une épaisseur de quelques microns sur un substrat, par exemple du verre ou du plastique. On peut utiliser du tellure de cadmium ou du CIGS (cuivre / indium / gallium / sélénium). Les rendements en laboratoire sont proches de ceux du silicium (22,1 % et 23,3 % respectivement). Le silicium peut également être utilisé en couches minces s'il est sous sa forme « amorphe » (non cristallisée). C'est la technologie rencontrée depuis longtemps dans les petites calculatrices mais le rendement est plus faible.

### **3.5. Caractéristique courant-tension d'une cellule solaire**

La caractéristique courant-tension d'une cellule solaire est montrée dans la figure 1.6, on remarque que sous obscurité cette caractéristique ressemble à celle d'une diode qui passe par l'origine, le produit ( $I \cdot V$ )  $> 0$ , elle absorbe donc tout le temps de l'énergie. Pour une cellule solaire sous éclairage, la caractéristique ne passe pas par l'origine. Dans la région hachurée le produit ( $I \cdot V$ )  $< 0$  donc la cellule fournit de l'énergie [4].

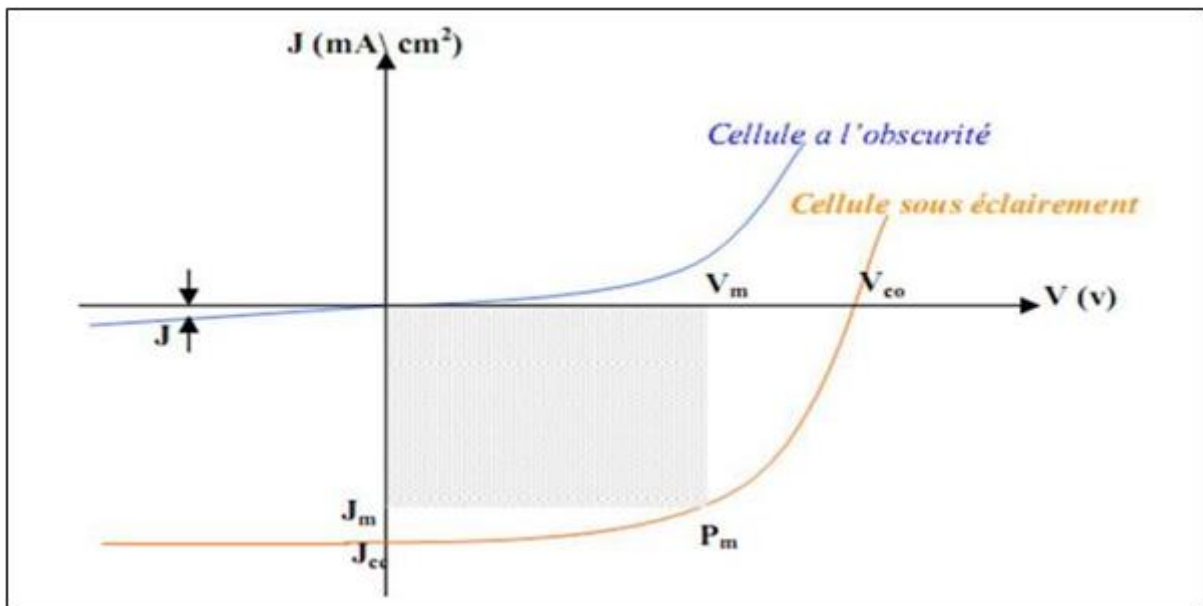


Figure 1.6 : caractéristique courant-tension à l'obscurité et sous éclairement d'une cellule solaire [4].

### 3.6. Paramètres d'une cellule solaire

La caractéristique I-V de la cellule solaire permet de déduire les paramètres photovoltaïques propres à la cellule :

- Courant de court-circuit ( $I_{sc}$ ) : c'est le courant débité par la cellule sous éclairement en court-circuitant les bornes de la cellule. C'est-à-dire que :

$$I_{sc} = I(V=0) \quad (1.1)$$

- Tension de circuit ouvert ( $V_{co}$ ) : c'est la différence de potentiel mesurée aux bornes de la cellule lorsque la sortie est en circuit ouvert. C'est-à-dire :

$$V_{co} = V(I=0) \quad (1.2)$$

- Puissance maximale ( $P_m$ ) : la puissance débitée par une cellule solaire est maximale quand le produit ( $V * I$ ) est maximum. Si  $V_m$  et  $I_m$  sont la tension et le courant pour lesquels on obtient ce maximum, la puissance maximale est la surface du plus grand rectangle de côté  $V_m$  et  $I_m$  qu'on peut inscrire sous la courbe ( $V$ ).

$$P_m = (I_m * V_m) \quad (1.3)$$

## 4. Panneaux solaires photovoltaïques

Le panneau solaire est un groupement de plusieurs modules, ces modules sont montés sur une armature métallique qui permet de supporter le champ solaire avec un angle d'inclinaison spécifique.

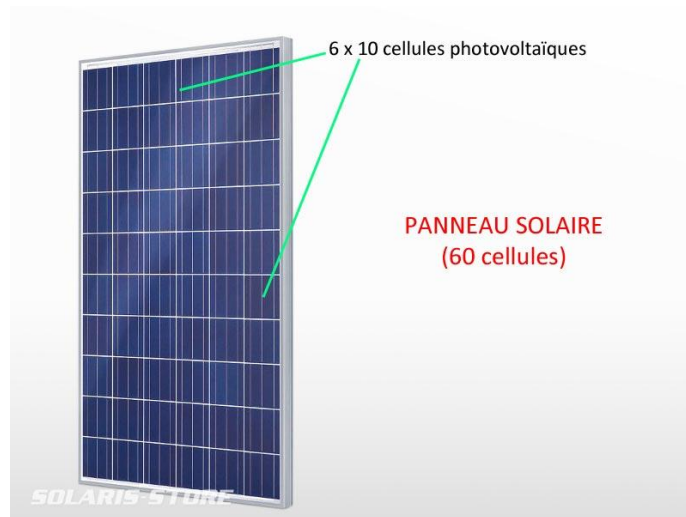


Figure 1.7 : Exemple panneau solaire [7].

La quantité d'électricité dans l'ensemble des composants des panneaux PV dépend de :

- La taille du panneau.
- L'ensoleillement du lieu d'utilisation.
- La saison d'utilisation.
- Les besoins en électricité.
- La puissance délivrée par un panneau est importante dans les heures d'ensoleillement maximal, ce qui nécessite un élément de stockage.

#### 4.1. Raccordement des cellules entre elles

##### ➤ Association en série (en chaîne)

Les cellules sont traversées par le même courant et la tension résultante correspond à la somme des tensions générées par chacune des cellules (Figure 1.8).

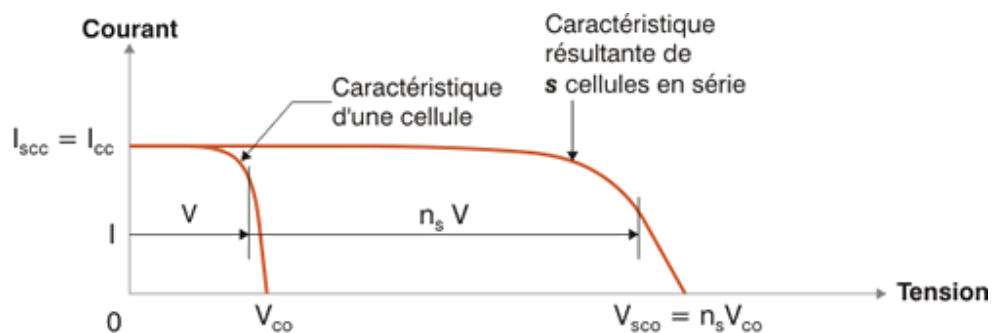


Figure 1.8 : Caractéristique courant-tension des cellules monté en série [19].

➤ Association en parallèle

Par association en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et le courant résultant correspond à la somme des courants générés par chacune des cellules (Figure 1.9).

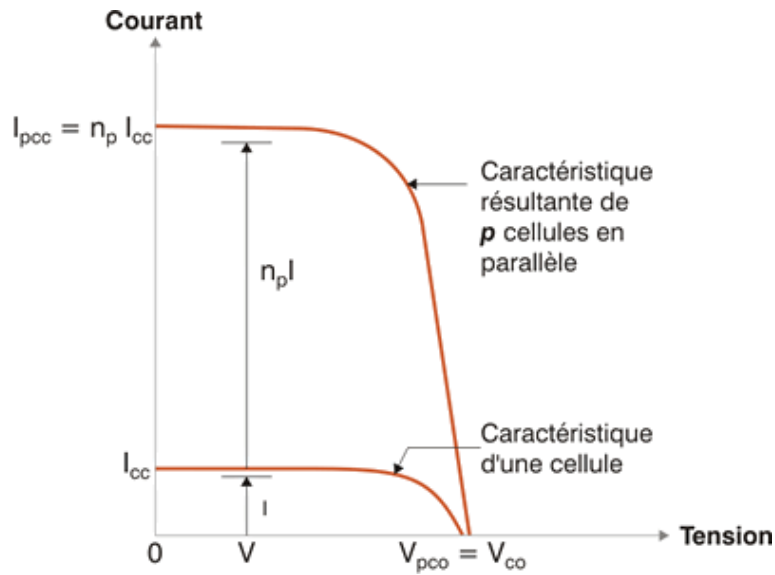


Figure 1.9 : Caractéristique courant-tension des cellules monté en parallèle [19].

Les caractéristiques globales d'une installation se déduisent donc d'une combinaison des caractéristiques des constituants des  $n_s \cdot n_p$ . (Figure 1.10).

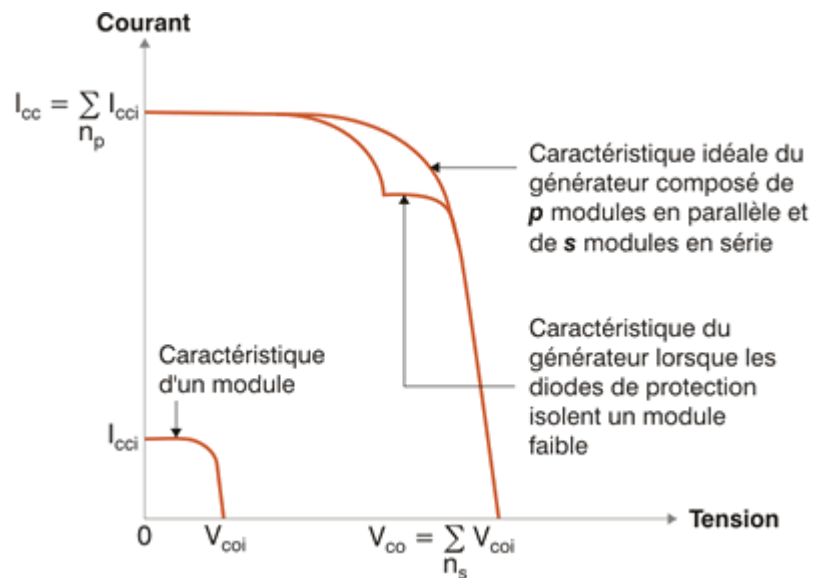


Figure 1.10: Caractéristique global courant-tension des cellules [19].

## 5. Stockage d'énergie et autoconsommation

Avec une installation de panneaux solaires, il est possible de produire jusqu'à 100% de besoins annuels en électricité dans un foyer, c'est ce qu'on appelle « l'autosuffisance ». Cependant, sans moyen de stockage, une partie de cette énergie produite est perdue en étant renvoyée directement sur le réseau. En effet, si l'énergie produite par les panneaux n'est pas consommée directement par les besoins, cette énergie transitera sur le réseau avant d'être réutilisée par la suite. Avec une batterie de stockage, on peut stocker cette production solaire pour l'utiliser plus tard dans la journée.

La batterie se recharge pendant la journée grâce à la production des panneaux solaires pour mettre l'énergie produite à disposition le soir. **Cela permet ainsi de stocker l'excédent d'énergie produite et de le réutiliser ensuite, c'est ce qu'on appelle « l'autoconsommation ».**

Sans batterie de stockage, on estime le taux moyen d'autoconsommation d'un ménage entre 30 et 40%. Cette autoconsommation peut augmenter jusqu'à 60 voire 70% avec une batterie. Ce taux peut même être amélioré en le combinant avec une utilisation judicieuse des appareils ménagers et/ou un boiler thermodynamique. Ainsi, on peut devenir plus autonome avec notre propre production d'énergie [12].

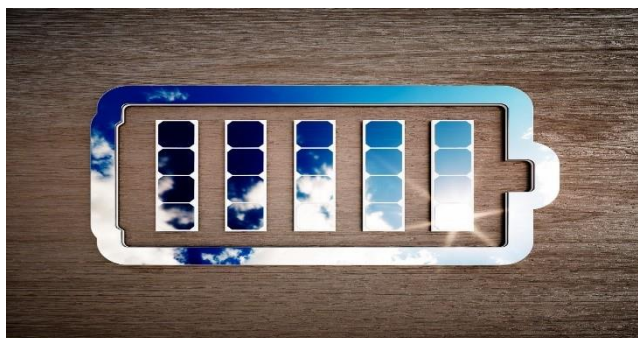


Figure 1.11 : Symbole d'une batterie.

## 6. Différents types de systèmes photovoltaïques

On rencontre généralement trois types de systèmes photovoltaïques, les systèmes autonomes, les systèmes hybrides et les systèmes connectés à un réseau. Les deux premiers sont indépendants du système de distribution d'électricité, on les retrouve souvent dans les régions éloignées [20].

## 6.1. Systèmes autonomes

### ➤ Systèmes autonomes au fil du soleil « couplage direct »

Ces systèmes l'énergie photovoltaïque sont utilisés directement à partir des panneaux. On peut les trouver dans les deux cas suivants :

#### ➤ Alimentation directe

L'appareil alimenté ne fonctionnera qu'en présence d'un rayonnement lumineux et dès que l'éclairement sera suffisant pour atteindre la puissance demandée, s'il y a de la lumière cela fonctionne sinon cela s'arrête.

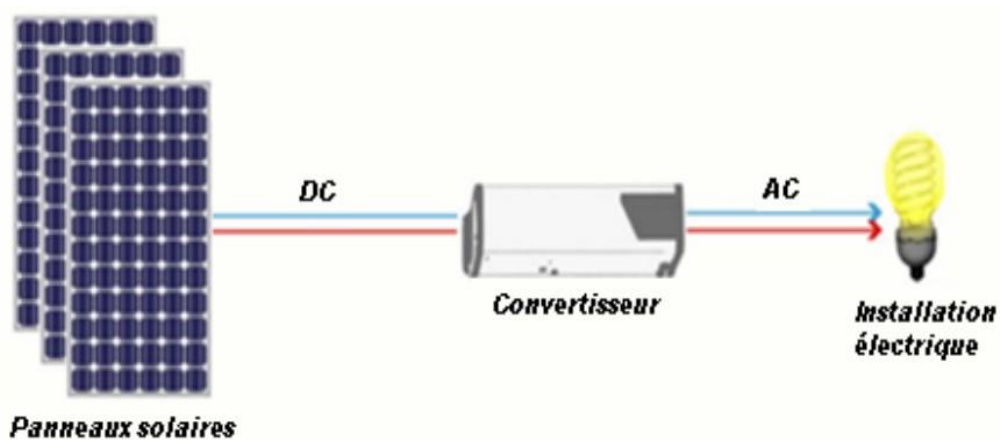


Figure 1.12 : Système photovoltaïque au fil du soleil [20].

- **Le pompage**

Un système de pompage à couplage direct est un groupe d'équipements interactifs conçu pour : (i) collecter et convertir le rayonnement solaire en énergie électrique (courant continu) ; et (ii) convertir l'énergie électrique en énergie mécanique pour fournir suffisamment de couple mécanique pour faire tourner une pompe ou un ensemble de pompes afin de faire circuler le fluide [20].



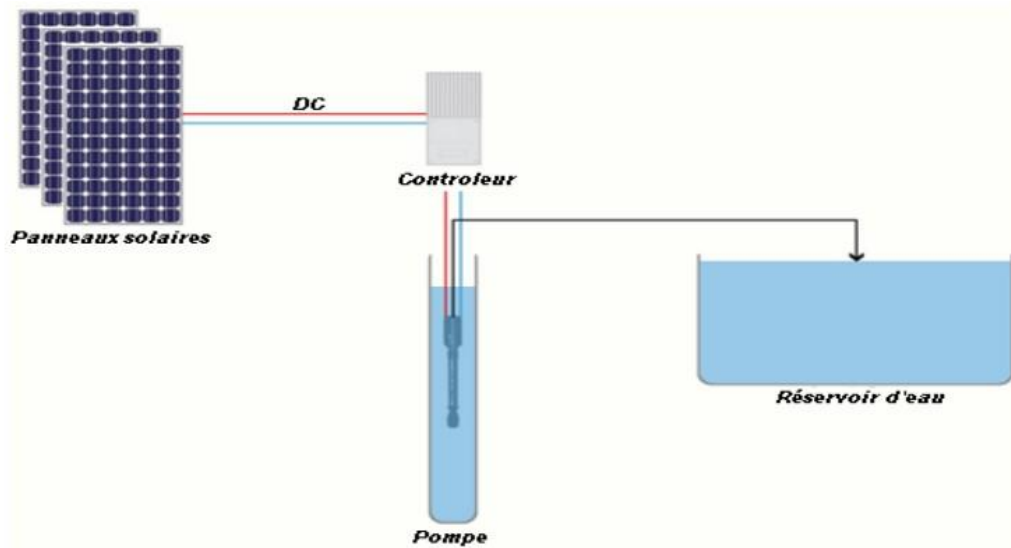


Figure 1.13 : Système de pompage de l'eau au fil du soleil [20]

➤ **Systèmes autonomes avec stockage « couplage indirect »**

C'est la configuration la plus courante des systèmes photovoltaïques autonomes que les anglophones appellent *Stand alone Systems*, l'ensemble est le plus souvent en courant continu (DC). La batterie d'un tel système se charge le jour et sert de réservoir d'énergie en permanence.

Les appareils alimentés sont donc câblés sur la batterie au travers du régulateur de charge. Lorsque la batterie est pleine, ce dernier, coupe la charge pour éviter qu'elle souffre de surcharge. Quand un récepteur doit nécessairement fonctionner en courant alternatif. On recourt à une conversion DC/AC (de courant continu en alternatif) en sortie de batterie [20].

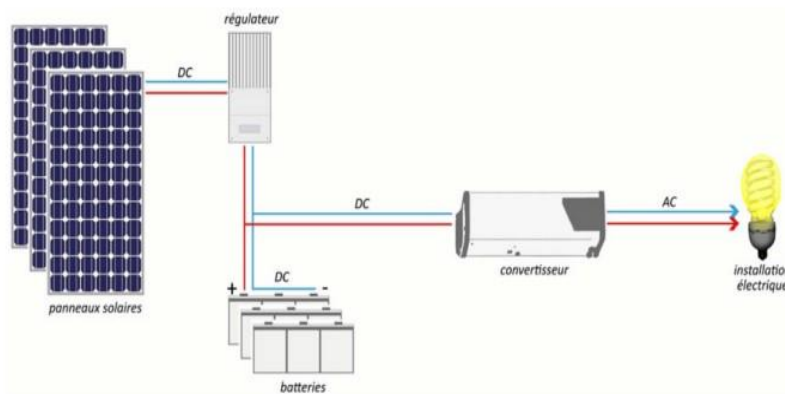


Figure 1.14: Système photovoltaïque avec stockage [20].

## 7. Principe de fonctionnement d'un régulateur solaire

Le régulateur de charge/décharge est associé à un générateur photovoltaïque, il a pour rôle, entre autres, de contrôler la charge de la batterie et de limiter sa décharge. Sa fonction est primordiale car elle a un impact direct sur la durée de vie de la batterie [12].

### 7.1. Régulation PWM

Le régulateur est inséré entre le champ photovoltaïque et la batterie. Il est composé d'un interrupteur électronique fonctionnant en MLI, Modulation de Largeur d'Impulsion, PWM en anglais (*Pulse Width Modulation*) et d'un dispositif anti-retour (diode).

L'ouverture et la fermeture de l'interrupteur électronique s'effectuent à une certaine fréquence, ce qui permet de réguler le courant de charge en fonction de l'état de charge avec précision. Lorsque la tension batterie est inférieure à la tension de limitation du régulateur, l'interrupteur est fermé, la batterie se charge alors avec le courant correspondant à l'ensoleillement, on est en phase « *Bulk* ».

Lorsque la tension batterie atteint un seuil de régulation prédéterminé, l'interrupteur s'ouvre et se ferme à une fréquence fixe pour maintenir un courant moyen injecté dans la batterie. La batterie est chargée, on est en phase « *Floating* ».

### 7.2. Régulateur MPPT (*Maximum Power Point Tracking*)

Le champ solaire est connecté à l'entrée du régulateur et la batterie à sa sortie. Lorsque la tension batterie est inférieure à la tension de régulation, le régulateur fait fonctionner le générateur photovoltaïque à puissance maximale et transfère cette puissance à la sortie.

Le régulateur MPPT permet un gain de production de **5 à 30%** par rapport à un régulateur PWM. Ce gain augmentera en hiver et pendant les périodes de faible ensoleillement [12].

Tableau 1.1 : la différence entre régulateurs de charge PWM et MPPT [12].

Contrôleur de charge PWM	Contrôleur de charge MPPT
Couplage direct de champ PV sur la batterie.	Charge de la batterie via un convertisseur abaisseur de tension.
La tension nominale de la chaîne PV doit être compatible avec la tension batterie.	La tension nominale de la chaîne PV peut être supérieure à la tension batterie.
Optimisation énergétique lorsque la température des modules est élevée et que la batterie est presque chargée.	Gain énergétique maximal lorsque la température des modules est basse et que la batterie est faiblement chargée.
Typiquement adapté pour les petits systèmes PV < 200Wc.	Plus adapté pour les puissances PV > 200Wc.
Nécessite l'utilisation des modules de 36 ou 72 cellules.	Possibilité d'utiliser des modules quel que soit le nombre de cellules.
Champ PV dimensionné en courant (basé sur le courant de charge de la batterie)	Champ PV dimensionné en puissance (basé sur le courant max de charge $\times$ la tension batterie).
Câble PV de grosse section et nécessite une boîte de jonction quand la puissance le justifie.	Possibilité de s'affranchir de boîte de jonction dans certains cas et de réduire la section des câbles.

## 8. Conclusion

L'énergie solaire photovoltaïque est une énergie renouvelable qui est produite par la conversion de la lumière du soleil en électricité au sein des matériaux bien particuliers tels que les semi-conducteurs. 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.

Dans ce chapitre, nous avons présenté des notions importantes sur l'énergie solaire et le rayonnement solaire. Nous avons présenté également l'effet photo électrique qui se manifeste dans les panneaux photovoltaïques ainsi que l'élément fondamental qui est la cellule solaire. Le chapitre suivant va être consacré aux suiveurs solaire objet de notre réalisation.

# **Chapitre II**

## **SUIVEURS SOLAIRES**

## **Chapitre II**

# **SUIVEURS SOLAIRES**

### **1. Introduction**

Comme nous le savons, la conversion de l'énergie solaire dépend fortement de la quantité de rayonnement solaire que le capteur solaire intercepte. La situation idéale pour une absorption maximale du rayonnement est que le rayonnement tombe perpendiculairement à la surface du collecteur afin d'augmenter la quantité de rayonnement reçu. En effet, le Soleil change de position tout au long de la journée, l'angle d'incidence des rayons avec les panneaux augmente et l'éclairage n'est donc pas optimal. C'est pourquoi nous nous basons sur le modèle du tournesol qui suit le trajet du soleil afin d'accéder au meilleur ensoleillement possible pour assurer la photosynthèse. un suiveur solaire est inspiré de ce concept, il s'agit donc d'un panneau solaire qui tente de suivre la position du soleil afin d'obtenir un maximum d'énergie solaire convertie.

Dans ce chapitre nous allons présenter les notions de base des panneaux solaires avec suiveurs, leur principe de fonctionnement ainsi que leurs avantages par rapport aux panneaux solaires fixes.

### **2. Mouvement globale terrestre**

La terre tourne autour du soleil sur une orbite elliptique presque circulaire dans une période de 365,25 jours (une année). 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 loin [4].

La terre tourne sur elle-même avec une période de 24 heures. Son axe de rotation (l'axe des pôles) à une orientation fixe dans l'espace. Il fait un angle  $\delta = 23^{\circ}27'$  avec la normale au plan de l'écliptique (Figure 2.1).

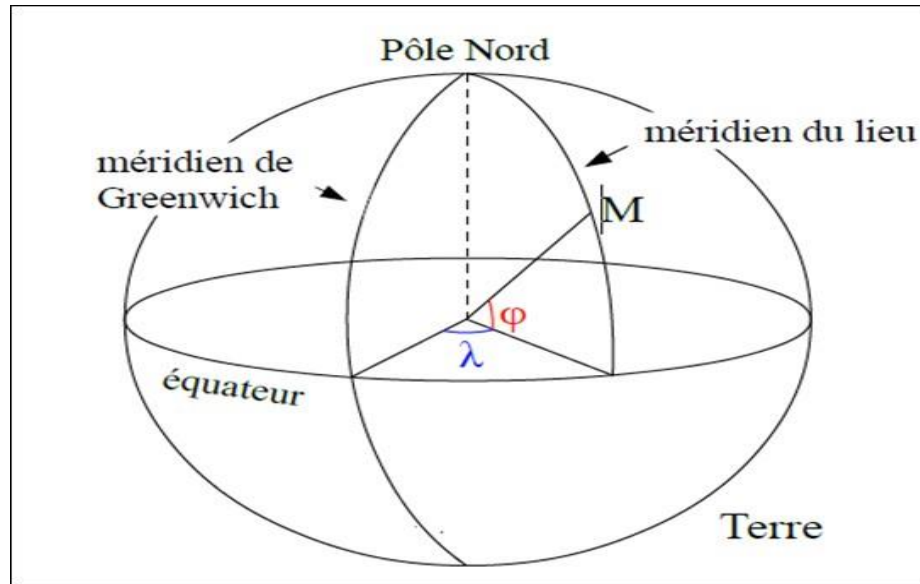


Figure 2.1 : Coordonnées terrestres [4].

## 2.1. Coordonnées terrestres

Ce sont les coordonnées angulaires qui permettent le repérage d'un point sur la terre [1].

### ➤ Longitude $\lambda$

C'est un angle qui exprime la position est-ouest d'un point sur la terre, dont la référence est le méridien de Greenwich avec une étendue de  $-180^\circ$  ( $180^\circ$  ouest) à  $+180^\circ$  ( $180^\circ$  Est).

### ➤ Latitude $\varphi$

C'est la distance angulaire d'un point quelconque du globe par rapport à l'équateur (de  $0^\circ$  à  $90^\circ$  dans l'hémisphère nord et de  $0^\circ$  à  $-90^\circ$  dans l'hémisphère sud).

## 2.2. Coordonnées du soleil

C'est la position apparente du soleil par rapport à un observateur placé à un point du globe terrestre peut être repérée par deux systèmes de coordonnées différents :

### 2.2.1. Coordonnées équatoriales

Les coordonnées équatoriales ont l'avantage de pouvoir situer précisément le soleil dans le ciel de n'importe quel endroit sur terre. En effet, la déclinaison et l'angle horaire sont le résultat de la projection de la latitude et de la longitude sur la sphère céleste de l'équateur de la terre.

➤ **Déclinaison solaire**

On appelle déclinaison l'angle formé par la direction du soleil avec le plan équatorial (figure 2.2). Cette déclinaison varie tout le long de l'année entre  $-23,45^\circ$  et  $+23,45^\circ$ . Elle est nulle aux équinoxes d'automne (21 septembre) et du printemps (21 Mars), minimale au solstice d'Eté (21 décembre) et maximale au solstice d'hiver (21 janvier).

➤ **Angle horaire  $\alpha$**

Est l'angle qui mesure le mouvement du soleil par rapport à midi qui est l'instant où le soleil passe au plan méridien du lieu (zénith). Cet angle horaire est négatif si le temps solaire est inférieur à 12h et varie entre  $180^\circ$  et  $-180^\circ$ .

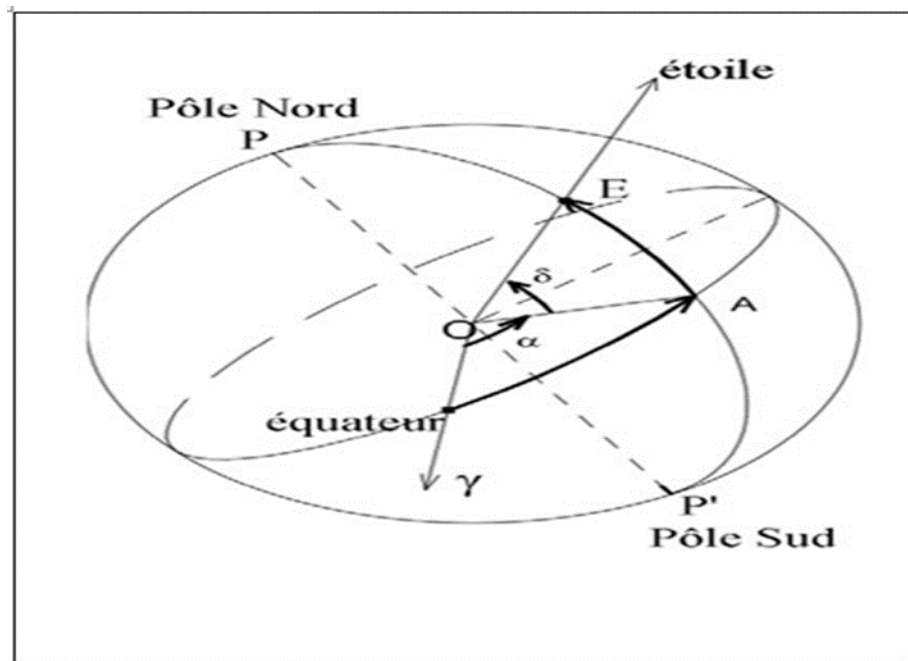


Figure 2.2 : Coordonnées équatoriales [4].

### 2.2.2. Coordonnées horizontales

➤ **Hauteur du soleil (x)**

C'est l'angle formé par le plan horizontal au lieu d'observation et la direction du soleil (figure 2.3). Cette hauteur peut varier durant le jour de  $0$  (soleil à l'horizon) à  $90^\circ$  (soleil au zénith) [4].

➤ **Azimet (y)**

C'est l'angle sur le plan horizontal mesuré à partir du sud avec la projection horizontale des rayons directs du soleil (figure 2.3). 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

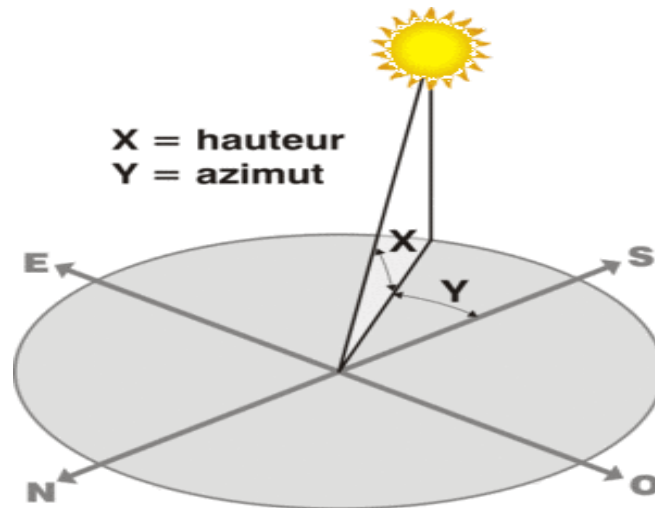


Figure 2.3 : Représentation de la hauteur et de l'azimet [4].

### 3. Suiveurs solaires

Un suiveur solaire permet de maintenir une orientation optimale des panneaux par rapport aux rayons du soleil. Cette orientation optimale permet de maximiser la production d'électricité des panneaux photovoltaïques. Ce type de structure permet d'augmenter la production d'électricité par rapport aux panneaux fixes [17].





Figure 2.4 : Suiveur en panneaux solaire [17]

### 3.1. Principe fondamental des suiveurs solaires

Un suiveur solaire est un dispositif qui est utilisé pour aligner un panneau PV avec le soleil (*tracker* en anglais). 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 suiveur qui doit être employé. Un système bien conçu qui utilise un suiveur aura besoin de moins de panneaux pour augmenter l'efficacité, ayant pour résultat une réduction de coûts initiaux d'installation [12].

### 3.2. Types de suiveurs solaires

On distingue principalement deux grandes familles de suiveur solaire, comme le montre la figure 2.5 [12].

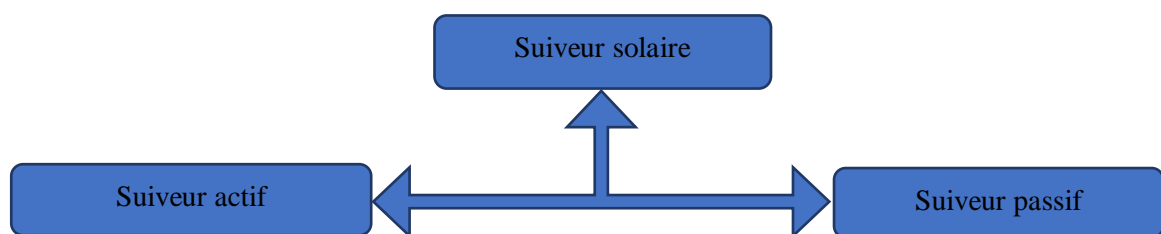


Figure 2.5 : Les types de suiveurs solaire [12].

### 3.2.1. Suiveurs passifs

Le premier type des suiveurs passifs est constitué dans son architecture de deux tubes en cuivre montés sur les côtés Est et Ouest du panneau PV. Le tube est rempli de fluides chimiques capable de se vaporiser à basse température. En effet, lorsque l'exposition au rayonnement solaire augmente la température d'un côté du panneau, 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 l'équilibre du panneau PV en le faisant tourner vers la source des rayons solaires. Ce type de suiveur ne consomme aucune énergie pour le repositionnement du panneau.

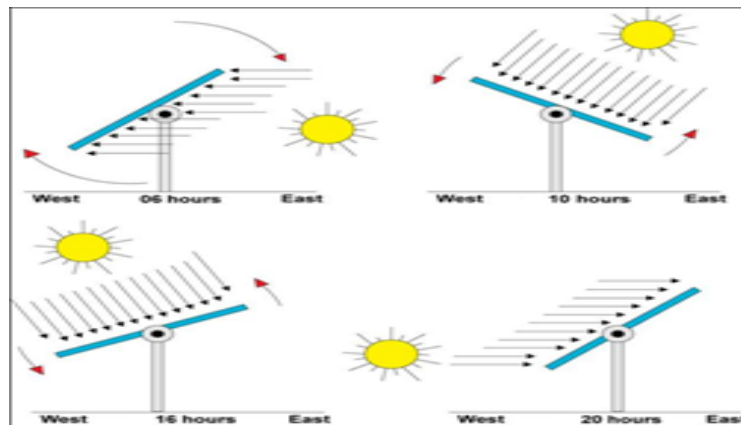


Figure 2.6: Exemple de suiveur passif [12].

### 3.2.2. Suiveurs actifs

Ce type du suiveur représente une meilleure précision en cherchant à optimiser au maximum l'angle d'incidence du rayonnement solaire sur la surface du suiveur à travers des systèmes automatisés. Cette catégorie de suiveurs possède plusieurs types :

➤ **Suiveurs mono-axe**

Ce type de suiveurs possède un seul degré de liberté et ils sont utilisés pour permettre une orientation dans une seule direction. Le trajet que suit cet axe en azimut de l'Est vers l'Ouest au fil de la journée. L'angle d'inclinaison du panneau est fixe. Pour recevoir le maximum de rayons du

soleil durant toute l'année il faut placer le panneau PV selon l'angle le plus adéquat. Il est placé selon la latitude du lieu où est disposé le panneau PV.

➤ **Suiveurs à axe vertical incliné**

Ce type de suiveurs n'apporte que très peu de gain par rapport aux systèmes fixes. Il est plus intéressant d'utiliser les suiveurs à axe vertical qu'à axe horizontal surtout dans les régions aux latitudes élevées.

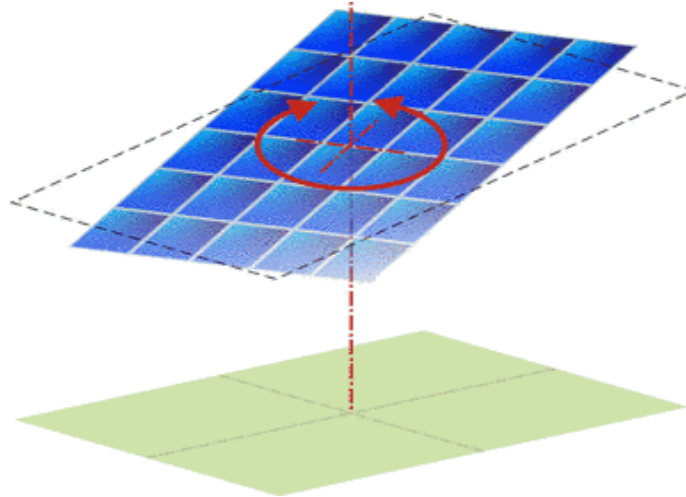


Figure 2.7 : Suiveur à axe vertical incliné [12].

➤ **Suiveurs à axe horizontal**

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

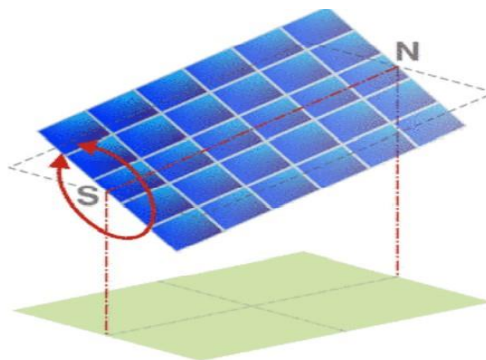


Figure 2.8 : Suiveur à axe horizontal [12].

### ➤ Suiveurs double axe

Contrairement aux précédents, 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. Ces types de suiveur sont très imposant et fournit de meilleures performances par rapport au suiveur mono-axe.



Figure 2.9 : Suiveur à deux axes [12].

## 4. Classification des suiveurs actifs

On peut classer les suiveurs actifs selon le principe de suivi :

### 4.1. Suiveurs en boucle ouverte

La commande dite en boucle ouverte (figure 2.10) est une commande active de poursuite basée uniquement sur des calculs astronomiques de la position du soleil (calcul d'éphémérides), sans mesure de la position du soleil. En fait, elle permet de générer les consignes de la trajectoire de poursuite du suiveur (dans notre cas l'angle d'azimut et l'élévation) à partir de l'heure et des coordonnées GPS d'une centrale. Comme toute commande en boucle ouverte, elle est très sensible aux perturbations et aux erreurs de modélisation [18].

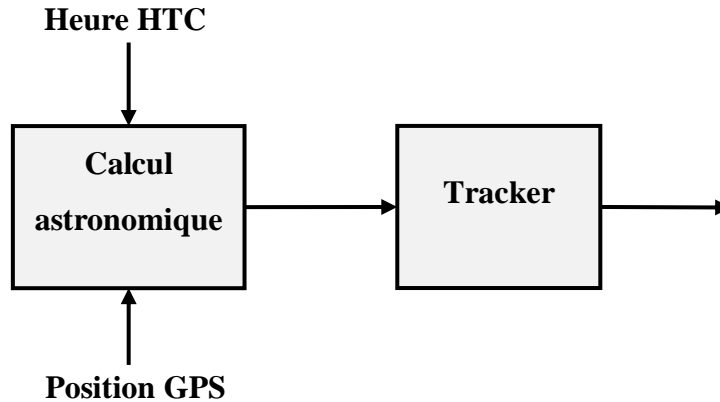


Figure 2.10 : Commande en boucle ouverte d'un suiveur PV [18].

#### 4.2. Suiveurs en boucle fermée

La commande en boucle fermée est une commande active qui se base sur une mesure de l'erreur de poursuite réelle pour contrôler les actionneurs du suiveur. Cette mesure de l'erreur (Figure 2.11) est fournie généralement par un capteur solaire, aussi appelé viseur solaire. Dans certains cas, le retour n'est pas une erreur de poursuite mais une puissance produite par le module. En effet, cette stratégie consiste à orienter les suiveurs suivant la position du suiveur le mieux orienté, en partant de n'importe quelle position (position aléatoire) [18].

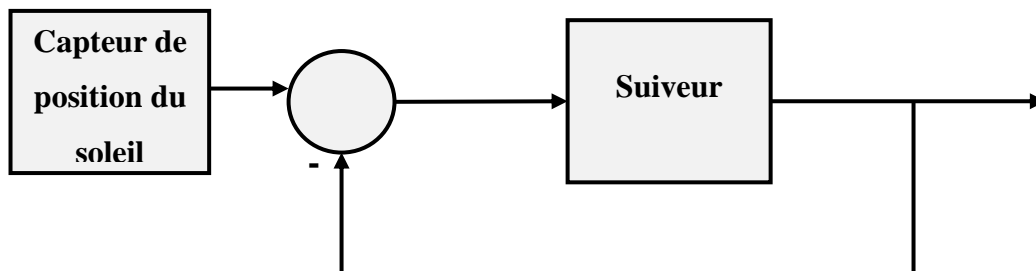


Figure 2.11 : Commande en boucle fermée d'un suiveur PV [18].

## 5. 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 2.13. 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 PV 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'énergie [14].

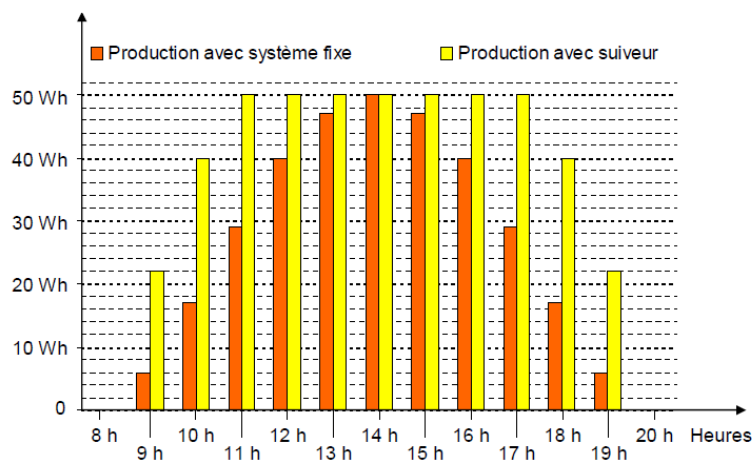


Figure 2.12 : Comparaison entre un suiveur et un système fixe [14]

## 6. Orientation des panneaux solaires

Le soleil se déplace au cours de la journée et suivant les saisons. Le panneau solaire, en revanche, se trouve généralement en position fixe, ce qui entraîne des pertes énergétiques précieuses [14].

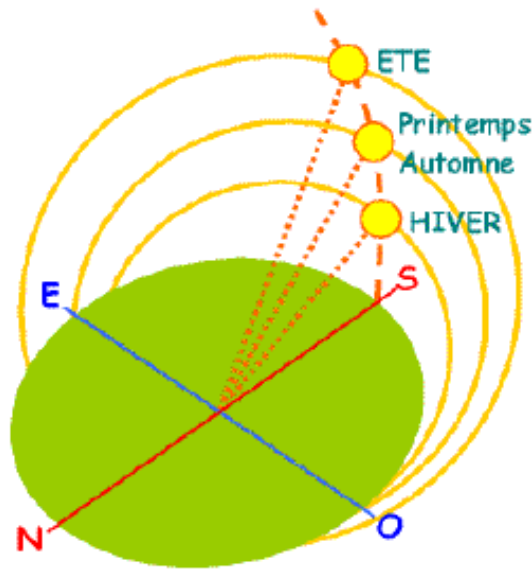


Figure 2.13 : Définition de la position du soleil (latitude et azimut) [14].

Pour un observateur situé en un lieu précis de la surface terrestre (latitude + longitude), la position du soleil dans le ciel, à un instant donné (date + heure), peut être repérée par deux coordonnées angulaires (Figure 2.13).

- AZIMUT : angle mesuré par rapport au sud dans un plan horizontal, à mesure de l'avancée de la journée.
- ELEVATION : angle mesuré par rapport à l'horizontale dans un plan vertical, selon la saison et, l'avancée de la journée.

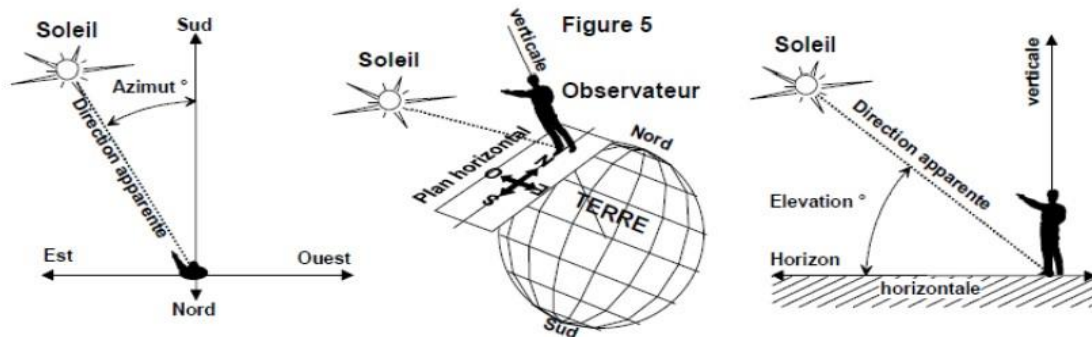


Figure 2.14 : Représentation de la latitude (hauteur) angulaire et l'azimut [14]

L'orientation des panneaux solaires pour garantir un meilleur rendement doit se faire en jouant sur deux paramètres :

- **L'inclinaison** : est l'angle entre le plan du panneau solaire et le sol. Un panneau incliné à  $0^\circ$  est à plat contre le sol ou horizontal, un panneau à  $90^\circ$  est à la verticale.
- **L'orientation** : est l'angle entre le panneau solaire et l'axe plein Sud. À  $0^\circ$  l'angle d'orientation correspond à un panneau faisant face au Sud, à  $90^\circ$  à l'Est ou l'Ouest, à  $180^\circ$  au Nord.

### 6.1. Choix de l'orientation des modules

L'orientation des modules doit être en plein sud pour les sites de l'hémisphère Nord et en plein nord pour les sites de l'hémisphère sud (Figure 2.15). L'utilisation d'une boussole est fortement recommandée pour éviter toute approximation qui risquerait d'introduire une perte de puissance consécutive à une mauvaise orientation [14].

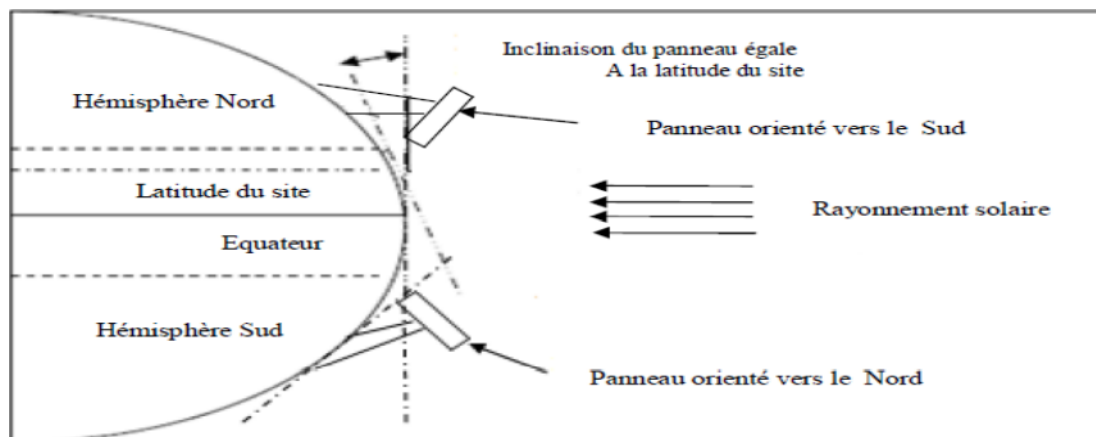


Figure 2.15 : Orientation des panneaux solaires [14].

### 6.2. Choix de l'inclinaison des modules

Pour que les modules produisent un maximum d'énergie, il faut que leur surface soit perpendiculaire aux rayons solaires. On doit donc incliner les modules pour qu'ils soient face au soleil. La valeur d'inclinaison correspond à l'angle que font les modules avec l'horizontale. Comme il est difficile de modifier plusieurs fois au cours de l'année l'inclinaison des modules, on choisit généralement une valeur moyenne pour toute l'année (figure 2.16). [15]



INCLINAISON \ ORIENTATION	0°	30°	60°	90°
EST	93%	90%	78%	55%
SUD - EST	93%	96%	88%	66%
SUD	93%	100%	91%	68%
SUD - OUEST	93%	96%	88%	66%
OUEST	93%	90%	78%	55%

Figure 2.16 : Facteurs de correction pour une inclinaison et une orientation données [15].

## 7. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté d'une manière générale ce qui c'est un suiveur solaire et son un intérêt qui se résume dans le fait d'augmenter le rendement d'une installation de production d'électricité basée sur les panneaux PV ainsi que ses avantages surtout économiques par rapport au cas où on utilise des panneaux solaires sans suiveurs.

Le chapitre suivant sera consacré à l'étude et la réalisation pratique d'un prototype de suiveur solaire.

## **Chapitre III**

# **RÉALISATION DU PROJET**

## ***Chapitre III***

# **RÉALISATION DU PROJET**

## **1. Introduction**

Dans ce chapitre nous allons présenter dans un premier temps les différents éléments matériels et logiciels qui nous ont permis de réaliser notre suiveur solaire ensuite nous allons expliquer à travers des schémas et des organigrammes le principe de fonctionnement de chaque partie.

## **2. Composants utilisés**

### **2.1. Arduino UNO**

Arduino UNO est une carte microcontrôleur basée sur l'*ATmega328P*. Il dispose de 14 broches d'entrée/sortie numériques (dont 6 peuvent être utilisées comme sorties PWM), 6 entrées analogiques, un résonateur céramique 16 MHz, une connexion *USB*, une prise d'alimentation, un en-tête *ICSP* et un bouton de réinitialisation. Il contient tout le nécessaire pour prendre en charge le microcontrôleur ; on le connecte simplement à un ordinateur avec un câble *USB* ou on l'alimente avec un adaptateur *AC-DC* ou une batterie [2].



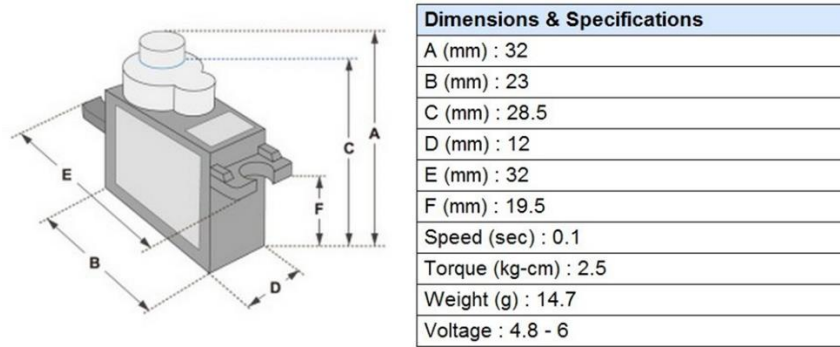


Figure 3.2 : Dimensions et spécifications de servomoteur SG90[9]

La position "0" (impulsion de 1,5 ms) est au milieu, "90" (impulsion d'environ 2 ms) est au milieu, est complètement à droite, "-90" (impulsion d'environ 1 ms) est complètement à gauche.

Les servomoteurs en général contient 3 branches : Vcc(rouge) et GND(noire) et PWM(orange) cette dernière branche est attachée dans les PIN 9 et 10 dans la carte Arduino [9].

**2.4. Photorésistance (LDR) :**

La photorésistance LDR (Light Dépendent Résistor ou résistance dépendant de la lumière) est une résistance constituée d'un matériau semi-conducteur, et la conductance change avec la variation de luminance. La photorésistance peut être fabriquée avec différentes figures et zones éclairées en fonction de cette caractéristique. La photorésistance est largement utilisée dans de nombreuses industries, telles que les jouets, les lampes, appareil photo, etc [10].



Figure 3.3 : Une photorésistance [10].

## 2.5. Step-Up Power Module

Puce de gestion de l'alimentation pour le 134N3P ce sont exactement les mêmes paramètres de fonction.

Le programme 134n3p de carte de protection de charge de batterie au lithium de carte de suralimentation 5V peut être un chargeur de bricolage avec un port de charge de téléphone Android et un port de sortie USB.

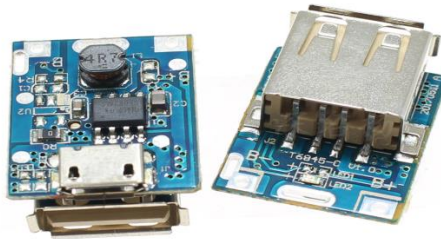


Figure 3.4 : module STEP-UP POWER [13]

### Caractéristiques :

- Tension d'arrêt de décharge de BAT : 2,9 V.
- Efficacité de décharge : 85 % (entrée 3,7 V, sortie 5 V/1 A).
- Indication de charge et de décharge.
- Puissance de charge et de décharge MOS installée en interne.
- Tension de charge pré réglée de 4,2 V, précision  $\pm 1$  %.
- Courant de veille max 8uA.
- Intégration de la gestion de la charge et de la gestion de la décharge.
- Contrôle intelligent de la température et protection contre la surchauffe.
- Protection contre les surtensions de sortie d'intégration, protection contre les
- Protection contre les surcharges et les décharges excessives d'intégration.
- Prend en charge le mode d'entretien et la charge à tension nulle.[13]

## 2.6. TP4056

Est un chargeur linéaire complet à courant constant/tension constante pour les batteries lithium-ion à cellule unique. Son package et son faible nombre de composants externes font du TP4056 l'outil idéal pour les applications portables. De plus, le TP4056 peut fonctionner avec un adaptateur USB et mural [14].

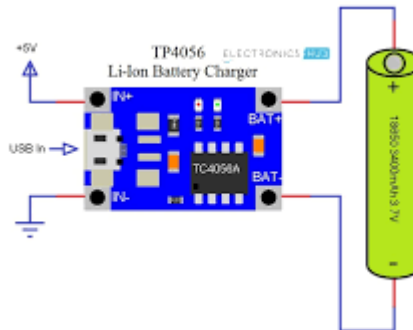


Figure 3.5 : Branchement de TP4056 avec une source de tension et batterie [14]

### Caractéristiques :

- Courant de charge programmable jusqu'à 1000mA
- Aucun MOSFET, résistance de détection ou diode de blocage requis
- Chargeur linéaire complet dans un emballage SOP-8 pour batteries lithium-ion à cellule unique
- Constant-Courant/Constant-Tension
- Charge les batteries Li-Ion à cellule unique directement à partir du port USB
- Tension de charge pré réglée de 4,2 V avec une précision de 1,5%
- Recharge automatique
- deux broches de sortie d'état de charge
- C/10 Fin de charge
- Seuil de charge d'entretien de 2,9 V
- Le démarrage progressif limite le courant d'appel
- Radiateur disponible dans un ensemble SOP à 8 dérivations, le radiateur doit être connecté à GND ou imminent.

### **3. Réalisation et analyse de fonctionnement**

Après la définition de l'ensemble du matériel utilisé dans notre système, on arrive donc à la partie important dans notre projet qui est la réalisation de notre système.

Nous allons donc présenter à la mise en œuvre du matériel et du technique adopté dans cette étude, c'est-à-dire l'électronique qui assurera le contrôle de tous.

Pour ce faire, il est essentiel de définir la technologie ainsi que les blocs qui seront utilisés.

Notre choix s'est porté sur l'utilisation de la carte Arduino comme circuit intégré pour exécuter le programme qui sera en langage C.

#### **3.1. Câblage et fonctionnement de système**

Le système vise à orienter en temps réel le panneau PV vers le soleil, plaçant le panneau dans la relation optimale avec le ratio de rayonnement solaire car tout au long de la journée et de l'année le soleil change continuellement et de manière différente selon la position.

Le principe consiste à noter que la lumière reçue par la photorésistance est identique dès que le capteur est dans l'axe de la lumière. Il est donc nécessaire de mesurer la lumière reçue de chaque type en mesurant la tension à leurs bornes. Cette mesure se fait par la connexion des broches analogiques 0, 1, 2 et 3 de la carte Arduino. Le programme compare ensuite ces tensions en leur demandant de tourner dans la direction des photorésistances qui reçoivent plus de lumière.

Pour allument notre système en utilise une batterie lithium-ion pour stocké l'énergie électrique produite par le panneau PV.

On utilise le module TP4056 pour charger la batterie et le module step-up pour augmenté la tension de batterie résultant de 3.7 V à 5 V et allument la carte Arduino.



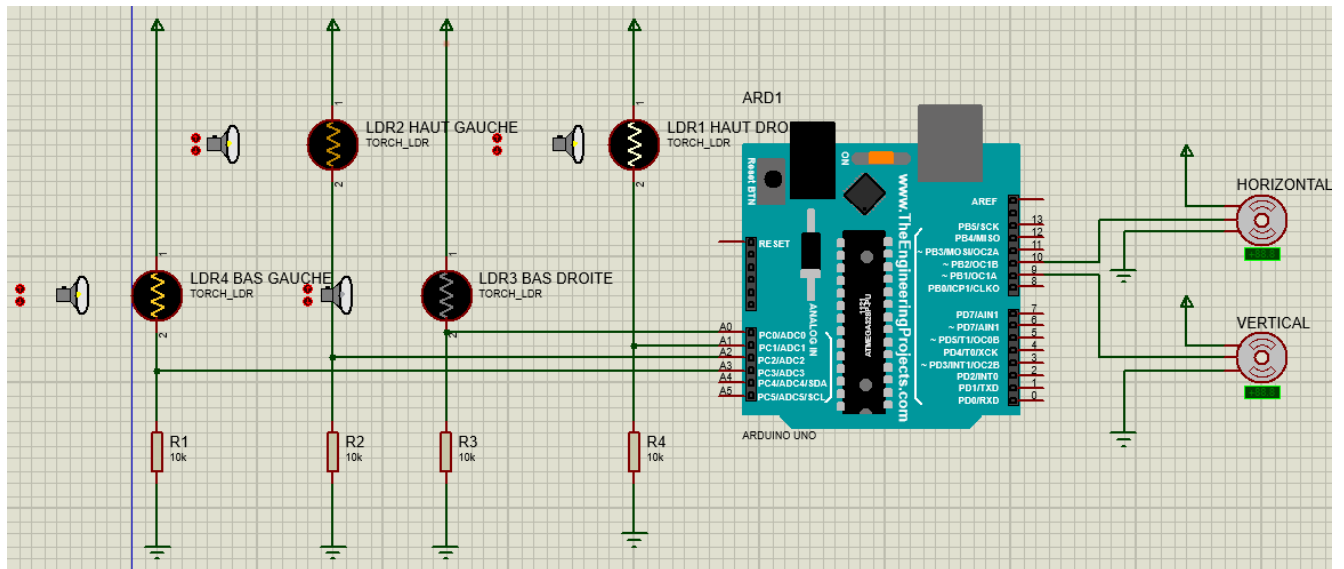


Figure 3.6 : Schéma de simulation par logiciel PROTEUS.

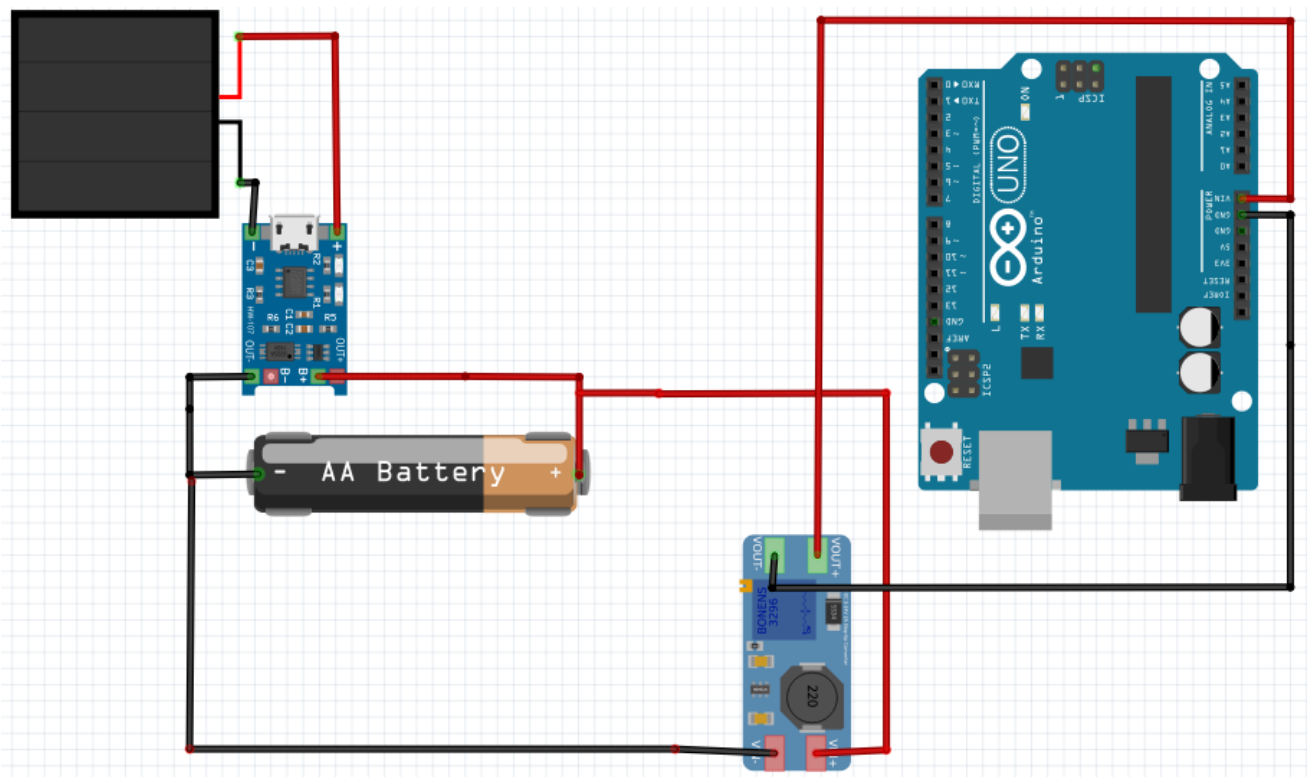
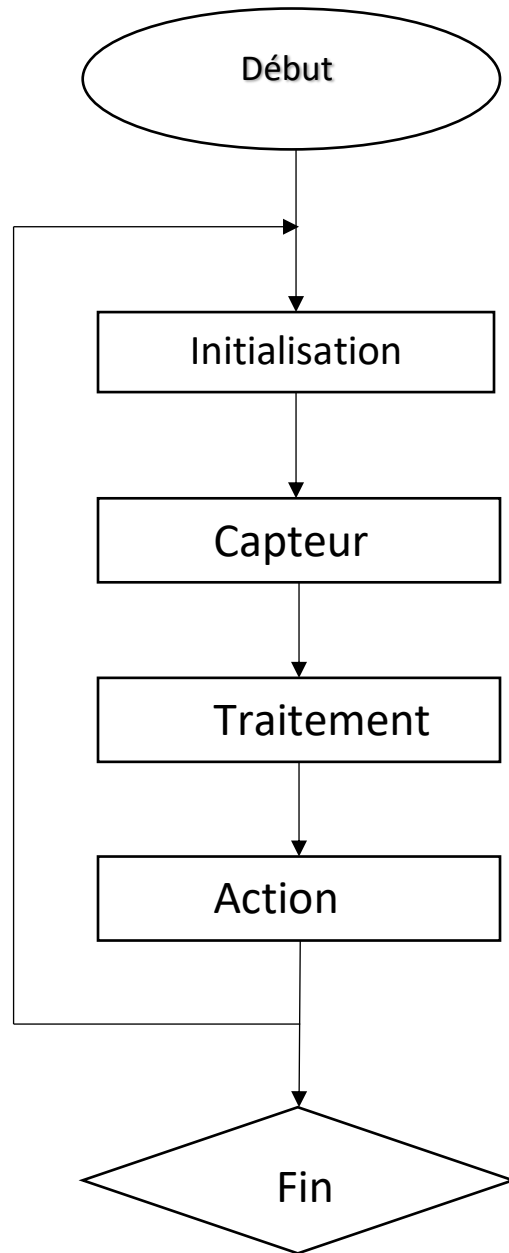


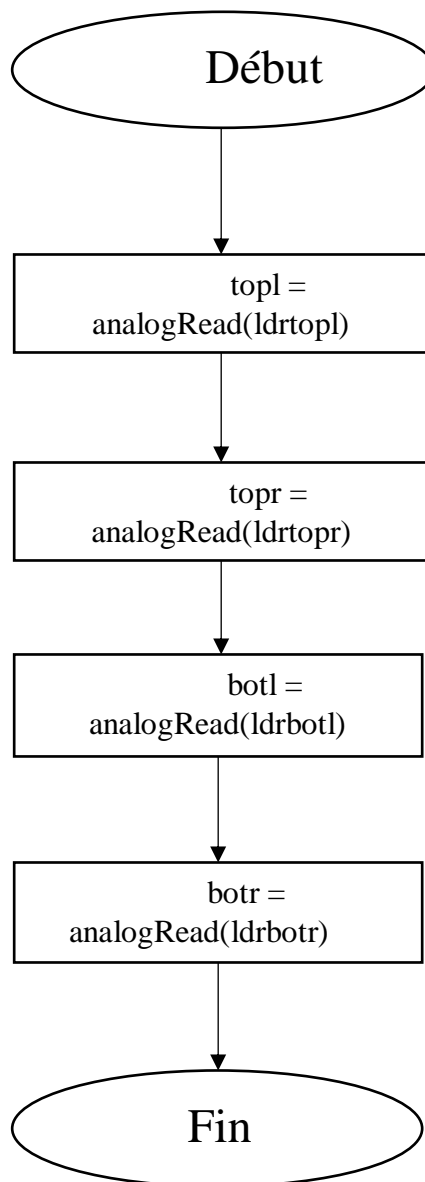
Figure 3.7 : Schéma de circuit alimentation par logiciel FRITZING

3.2. Organigrammes

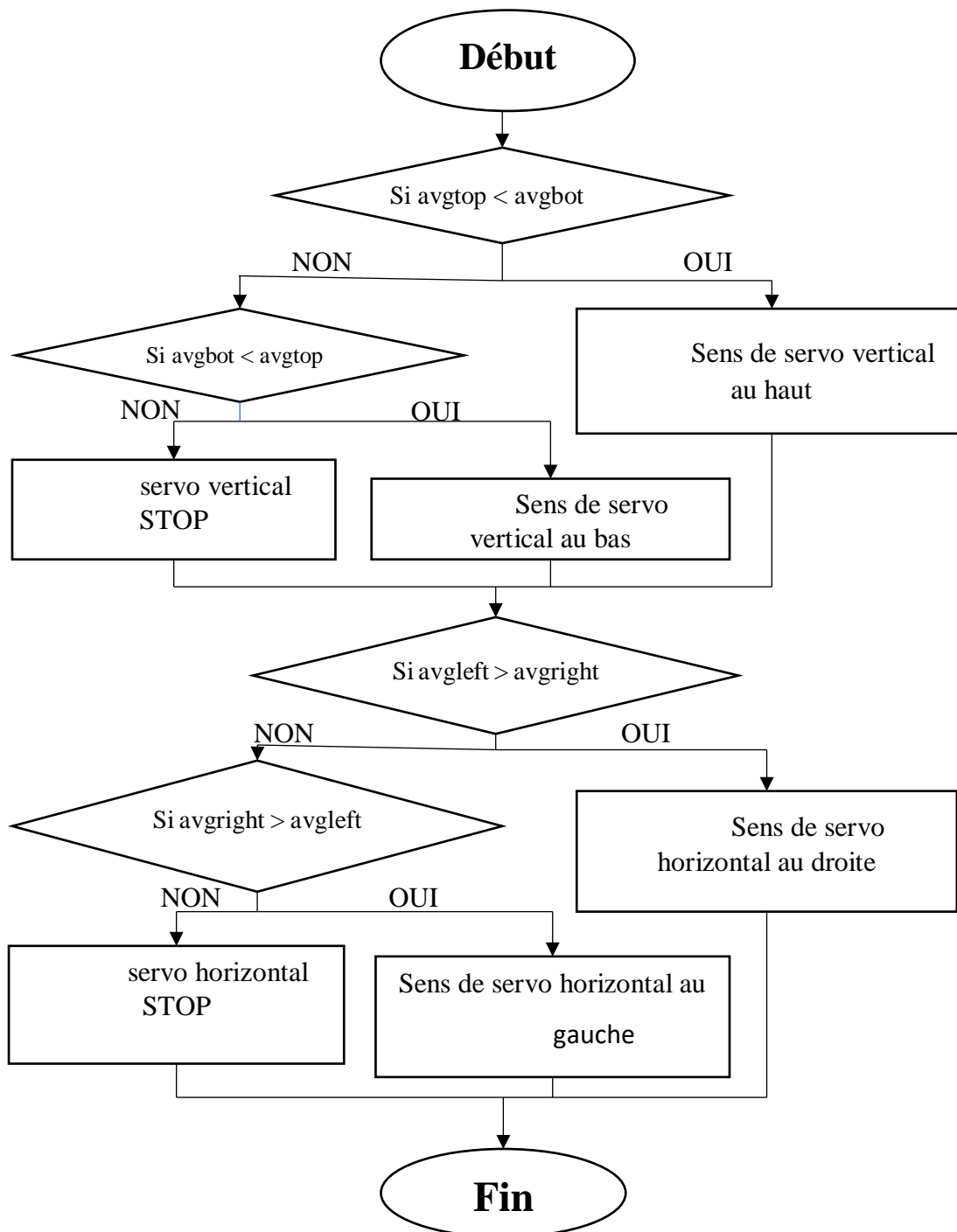


3.1.1. Sous Programmes

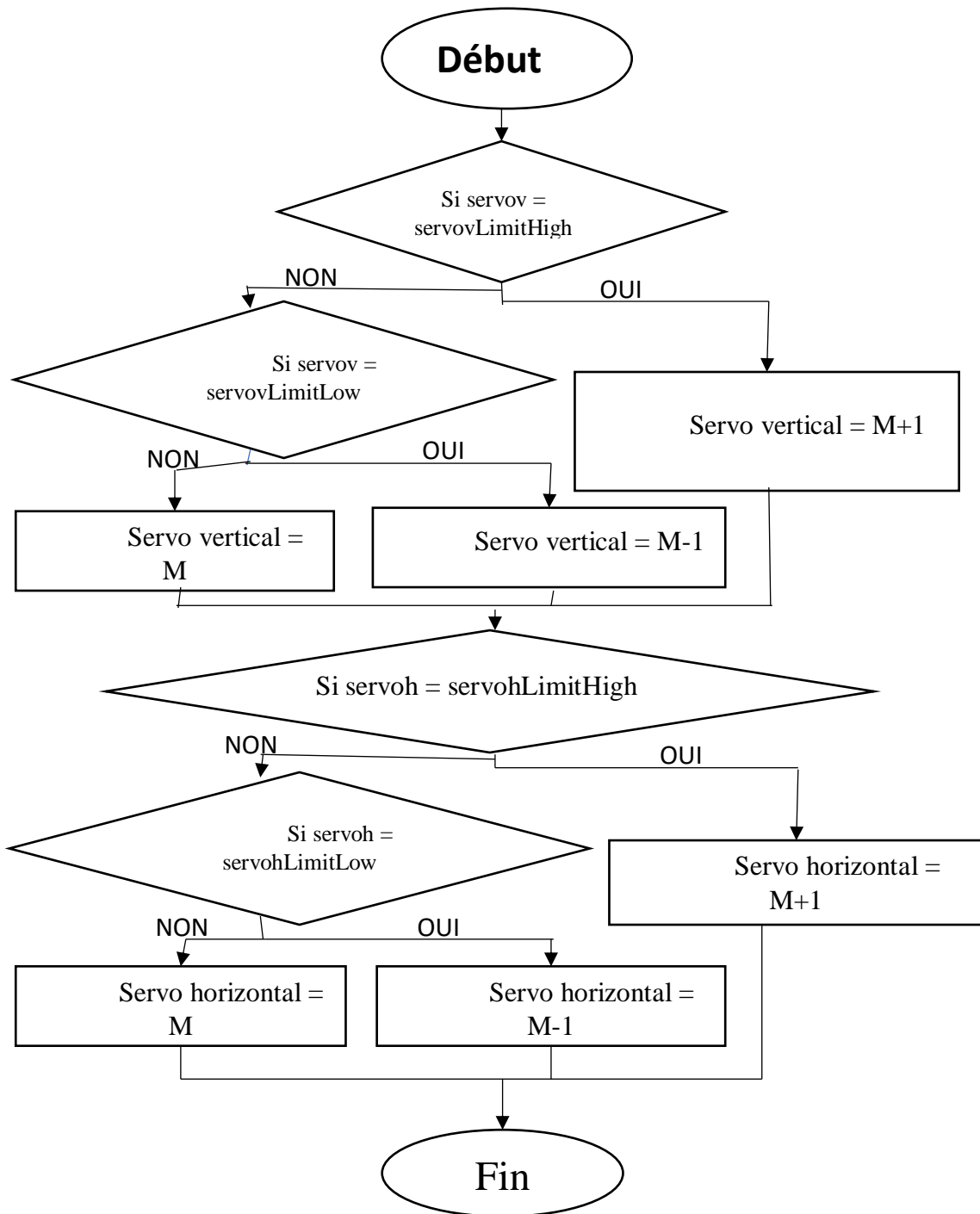
- Capteur :



- Traitement



- Action :



### 3.2. Partie programmation

La carte Arduino UNO est une carte programmable, elle peut être programmée avec le logiciel Arduino IDE représenté dans (Figure 3.8).

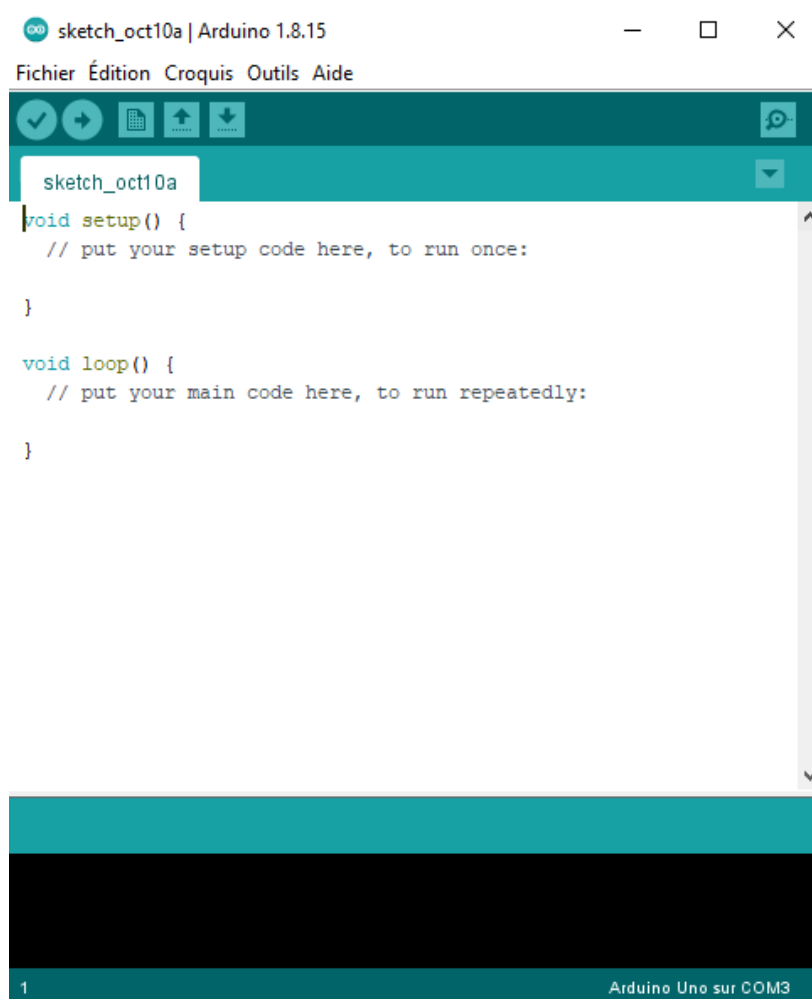


Figure 3.8 : Interface Arduino IDE

### 3.3. Partie mécanique

Nous avons utilisé une structure mécanique constituée par 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.

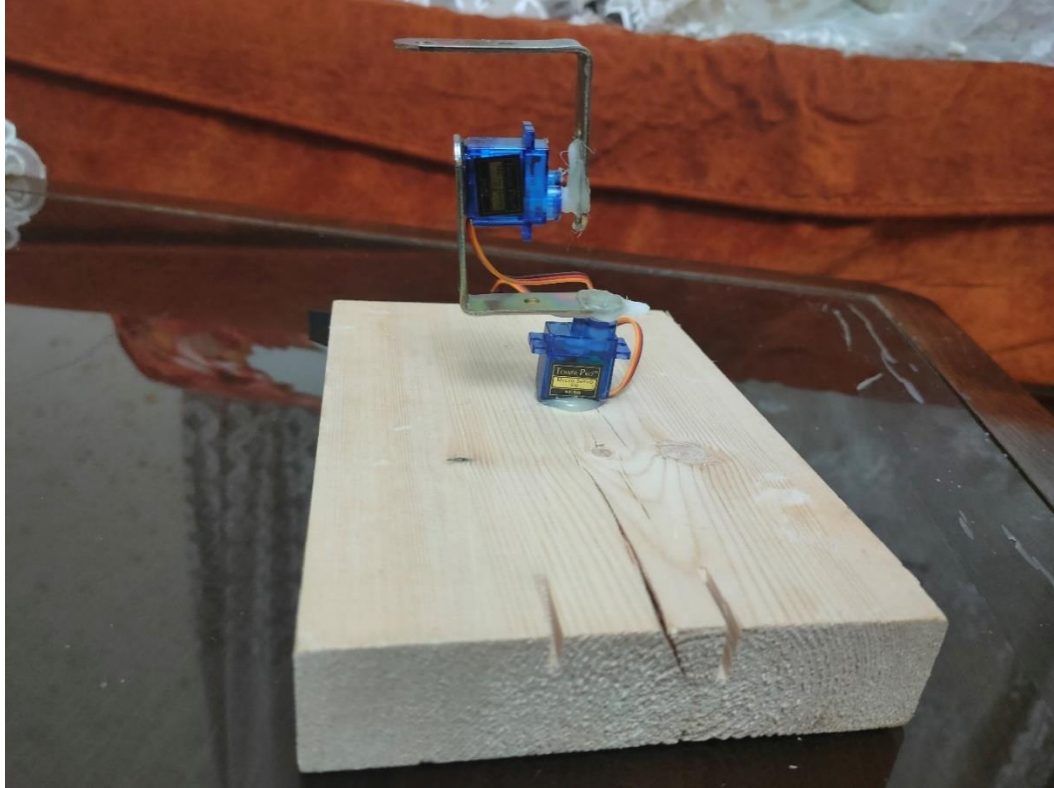


Figure 3.9 : Châssis de TRACKER Solaire

### 3.4. Orientation des axes

Nous avons utilisé deux servomoteurs, 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 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.

### 3.5. Position des capteurs LDR

Pour le fonctionnement de notre model, nous avons placé les capteurs dans chaque position, pour cela, nous avons utilisé une boucle de forme plus (+) pré-calculée, afin d'isoler les capteurs et pour couvrir toutes les directions et avoir une meilleure précision. Pour déterminer le sens de suivre le programme calcul le potentiel entre les 2 capteurs LDR sont sur au même ligne (les capteurs sont placés d'une forme carrée).

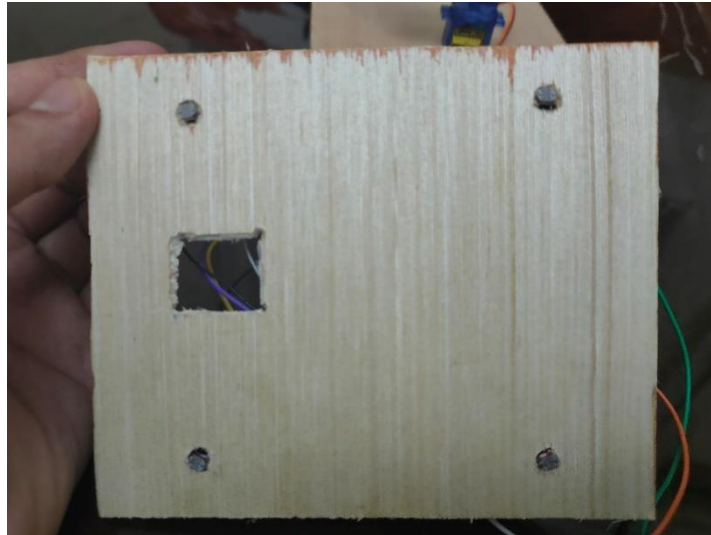


Figure 3.10 : Positionnement des capteurs LDR

### 3.6. Partie alimentation

Nous avons utilisé l'énergie solaire photovoltaïque produite par un panneau solaire qui fournit 5V à puissance de 0.75watt. Cette énergie électrique est ensuite stockée dans une batterie de 3.7V par un module TP4056 ensuite la tension fournie par la batterie est amplifiée grâce au module step-up (booster) jusqu'à 5V qui alimente finalement la carte Arduino.

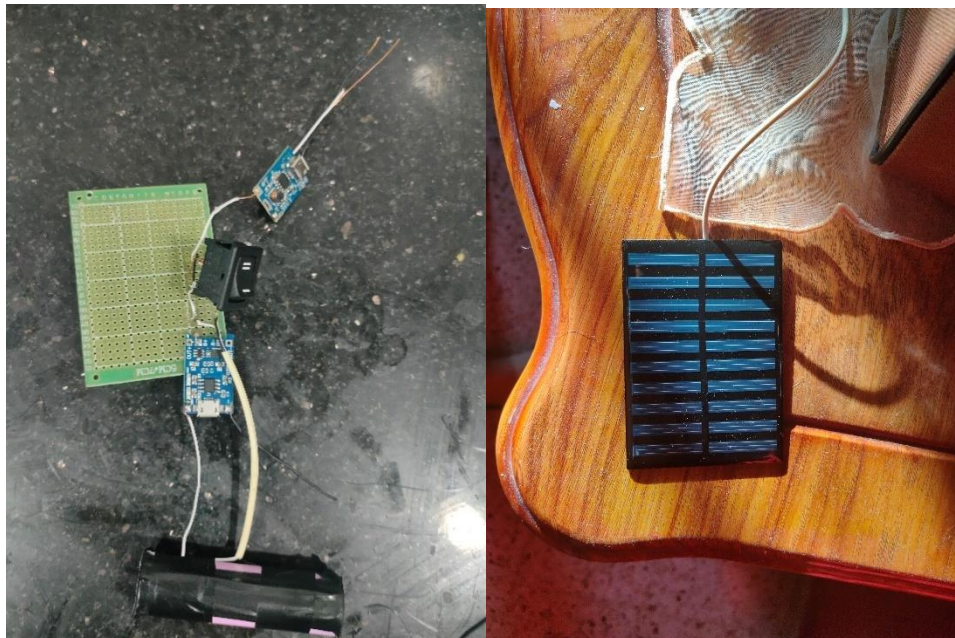


Figure 3.11 : Panneau solaire photovoltaïque et le circuit d'alimentation.



#### **4. Schéma final de suiveur**

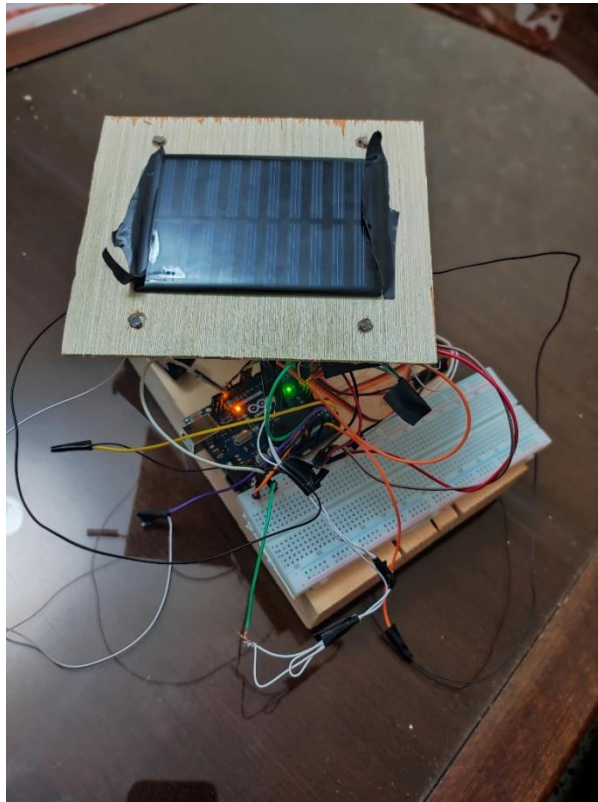


Figure 3.12 : Présentation de notre TRACKER finalisée.

#### **5. Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons présenté la partie la plus importante de notre projet qui est la réalisation pratique en passant par les étapes de réalisation, les différents éléments matériels et logiciels ainsi que le principe de fonctionnement de chaque partie.

## **CONCLUSION GÉNÉRALE**

Le travail présenté dans ce mémoire est la réalisation d'un suiveur solaire à l'aide des composants électroniques programmable gérés par un microcontrôleur (ARDUINO).

Le but de ce travail est d'obtenir 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 il fonctionne bien avec quelques imperfections.

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.

Le projet reste ouvert à d'autres améliorations future à savoir l'augmentation sa précision et la réalisation d'un prototype de grand échelle.

## ***Référence :***

- [1] BELKEBIR KATIA, CHAABI SIHAM mémoire fin d'étude master « Conception et Réalisation d'un Suiveur de Soleil à Base d'une Carte Arduino UNO » UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU 2017/2017
- [2] <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>
- [3] BENSOUCHA Seyf , DJLOUD Snoussi mémoire fin d'étude master «Réalisation d'un suiveur solaire à base d'Arduino » Université de M'sila 2019/2020
- [4] BECHOU Makhlouf mémoire fin d'étude master « Réalisation d'un tracker solaire commandé par un carte ARDUINO » Université SAAD DAHLED BLIDA 1 2016/2017
- [5] <https://fritzing.org/>
- [6] <https://www.planete-energies.com/fr/medias/decryptages/la-cellule-photovoltaïque-comment-ca-marche>.
- [7] GUESSOUMI FARID Mémoire de Fin d'Etudes « COMMANDE DE PANNEAU SOLAIRE A L'AIDE D'UNE CARTE A PIC » Université Mohamed Khider Biskra juin 2010
- [8] BARA Meriem BENNOURI Sabrina Projet de Fin d'Etude préparé En vue de l'obtention du diplôme de MASTER « Etude et conception d'un suiveur solaire pour application photovoltaïque » Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf -Mila 2019/2020
- [9] Servo-moteur SG90 DATASHEET et USERMANUEL
- [10] GL55 Series Photoresistor DATASHEET
- [11] <https://energieplus-lesite.be/theories/photovoltaïque6/caracteristiques-electriques-des-cellules-et-des-modules-photovoltaïques/>
- [12] <https://www.solaris-store.com/content/44-principe-de-fonctionnement-d-un-regulateur-solaire>
- [13] <https://fr.aliexpress.com/item/32845791869.html>
- [14] TP4056 DATASHEET

- [15] <https://www.energreen.be/actualites/le-stockage-de-lenergie-solaire>
- [16] Thomas Mambrini. Caractérisation de panneaux solaires photovoltaïques en conditions réelles d'implantation et en fonction des différentes technologies. Météorologie. Université Paris Sud-Paris XI, 2014. Français. NNT:2014PA112380
- [17] 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.
- [18] Mohamed Aymen Sahnoun. Contribution à la modélisation et au contrôle de trajectoire de Trackers photovoltaïques à haute concentration (HCPV). Automatique / Robotique. Ecole nationale supérieure d'arts et métiers - ENSAM, 2015. Français. NNT : 2015ENAM0043
- [19] BRAHAMI IMEN SOUHILA thèse Doctorat en Électrotechnique « Optimisation du fonctionnement d'un générateur photovoltaïque par guidage automatique des panneaux solaires » UNIVERSITE DJILLALI LIABES DE SIDI-BEL-ABBES 2018
- [20] Cours université Bouira module énergie renouvelable 2021

# **ANNEXE**

## ***Le programme :***

```
#include <Servo.h>
//definition Servos
Servo servohori;
int servoh = 0;
int servohLimitHigh = 160;
int servohLimitLow = 20;

Servo servoverti;
int servov = 0;
int servovLimitHigh = 160;
int servovLimitLow = 20;
//Association LDRs
int ldrtopl = A2; //top left LDR green
int ldrtopr = A1; //top right LDR yellow
int ldrbotl = A3; // bottom left LDR blue
int ldrbotr = A0; // bottom right LDR orange

void setup ()
{
  servohori.attach(10);
  servohori.write(0);
  servoverti.attach(9);
  servoverti.write(0);
  Serial.begin(9600);
  delay(500);
}

void loop()
{
  servoh = servohori.read();
  servov = servoverti.read();
  //capteurs analogiques valeurs de chaque LDR
  int topl = analogRead(ldrtopl);
  int topr = analogRead(ldrtopr);
  int botl = analogRead(ldrbotl);
  int botr = analogRead(ldrbotr);
  // calculatation de potentiel
  int avgtop = (topl + topr) / 2; //average of top LDRs
  int avgbot = (botl + botr) / 2; //average of bottom LDRs
  int avgleft = (topl + botl) / 2; //average of left LDRs
  int avgright = (topr + botr) / 2; //average of right LDRs
  Serial.println(avgtop);
  if (avgtop < avgbot)
  {
    servoverti.write(servov +1);
    if (servov > servovLimitHigh)
    {
      servov = servovLimitHigh;
    }
    delay(10);
  }
  else if (avgbot < avgtop)
  {
```

```
servoverti.write(servov -1);
  if (servov < servovLimitLow)
  {
    servov = servovLimitLow;
  }
  delay(10);
}
else
{
  servoverti.write(servov);
}

if (avgleft > avgright)
{
  servohori.write(servoh +1);
  if (servoh > servohLimitHigh)
  {
    servoh = servohLimitHigh;
  }
  delay(10);
}
else if (avgright > avgleft)
{
  servohori.write(servoh -1);
  if (servoh < servohLimitLow)
  {
    servoh = servohLimitLow;
  }
  delay(10);
}
else
{
  servohori.write(servoh);
}
delay(50);
}
```

**Résumé :** Notre travail a comme objectif l'amélioration du gain en énergie électrique du panneau solaire PV mobile par rapport au système fixe et donc du rendement photovoltaïque. Notre dispositif instrumental sera fixé sur une structure mécanique que nous avons réalisée à base de deux servomoteurs avec leurs circuits de commande permettant ainsi la rotation du panneau PV selon les deux directions horizontale et verticale. Pour cette application, nous avons réalisé une lunette à base de quatre capteurs photo résistifs de type " LDR " qui sont disposés de manière à ce que leurs éclairagements ne soient identiques que si la lunette est pointée vers le soleil. Les signaux issus des capteurs sont transmis aux entrées d'une carte Arduino UNO qui permet la comparaison des niveaux de tensions pour la commande des deux servomoteurs ainsi que des photodiodes nous indiquant les sens de leurs rotations.

**Mots clés :** PV, suiveur solaire, Arduino, Servomoteur, LDR

**Abstract:** Our work is to improve the electrical energy gain of the mobile PV solar panel in relation to the fixed system and therefore the photovoltaic efficiency. Our instrumental device will be fixed on a mechanical structure that we have made based on two servo motors with their control circuits thus enabling the PV panel to rotate in both horizontal and vertical directions. For this application, we have produced a bezel based on four photoresist sensors of type LDR which are arranged so that their illumination is identical only if the bezel is pointed towards the sun. The signals coming from the sensors are transmitted to the inputs of an "Atmega328" microcontroller in "Arduino UNO" which allows the comparison of the voltage levels for the control of the two servomotors as well as the photodiodes indicating the senses of their rotations.

**Key-words:** PV, Tracker solaire, Arduino, Servomoteur, LDR

**المخلص:** مشروعنا عبارة عن انجاز "نظام تتبع للشمس عبر محورين باستعمال 4 لواقظ ضوئية". تم تصميم و انجاز هذا المشروع لتحسين أداء الألواح الفوتو ضوئية مقارنة بالثابتة عن طريق بقاء مصفوفة الخلايا الضوئية التي تتكون منها الألواح الضوئية بمحاذاة أشعة الشمس طوال فترات النهار. يعتمد ها النظام على هيكل ميكانيكي يتحرك عن طريق محركين سيرفوموتور في اتجاهين مختلفين (عمودي و أفقي). بحيث نستعمل أربع مستشعرات ضوئية (مقاومات ضوئية) تقوم بتسجيل توترات على قدر شدة الاشعاعات التي تتلقاها ترسل هذه التوترات الى دائرة التحكم (الأردوينو) حيث يقوم بقراءة قيم التوترات المرسله من طرف الحساسات الضوئية و يقوم بمقارنة هذه القيم و منها يقوم بإعطاء أوامر للمحركين لتحريك النظام حسب القيم العظمى المقروءة. و في النهاية قمنا بتزويد النظام بأربع صمامات ضوئية بحيث يقوم كل صمام بإشارة الى أي من المحركين في حالة تشغيل و في أي جهة يقوم بتدوير الهيكل.

**الكلمات المفتاحية :** الألواح الشمسية , نظام التتبع الشمسي , الأردوينو , المقاومة الضوئية , المستشعرات الضوئية الضوئية , محركات السيرفوموتور .



