

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la  
Recherche Scientifique  
Université A. M. OULHADJ – Bouira  
Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées  
Département de Génie électrique



MÉMOIRE  
Pour l'obtention du Diplôme de

## MASTER ACADEMIQUE

Option: Electromécanique et systèmes de commande

### THÈME

**Etude et conception d'un suiveur du soleil pour un  
générateur photovoltaïque.**

Présenté par :

- SINI BOUKROUT Abd El Raouf.
- LAMRI Mohamed Lamine.

Dirigé par :

- Mm.BENSMAIL. S
- Mr. KARI . DJ

Soutenance le : 26 septembre 2017

Devant le jury composé de :

Président :

Mr . LADJOUZI .

Examineur :

Mr . MOHAMMEDI

Examineur :

Mme . OUALI.

Année Universitaire : 2016/2017

## *Remerciements*

*Nous tenons à remercier en premier lieu ALLAH, tout puissant, de nous avoir donné le courage et la volonté pour bien mener ce modeste travail.*

*Tout d'abord, nous tenons à remercier nos professeurs Mm. Bensmail et Kari Djamel pour leur patience et, surtout, pour leur confiance, leurs observations et leurs conseils.*

*Nous voudrions également remercier les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail et pour toutes leurs remarques, ainsi que le personnel et les enseignants du département génie électrique de l'université de Bouria.*

*A tous mes enseignants qui m'ont initié aux valeurs authentiques*

*Merci à vous tous*

# Dédicace

*Mon père a le meilleur ami de la vie*

*La plus belle créature que Dieu a créé sur terre..*

*À cet source de tendresse, de patience et de générosité..*

*À ma mère*

*À tous mes frères et sœurs*

*À toute ma famille*

*À tous mes amis et collègues*

*À tous les étudiants de la promotion 2016/2017*

*Option : électromécanique et système commande*

*À tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer .....*

# Liste des abréviations

---

## Liste des abréviations

- PV** : Photovoltaïque.
- TSV** : Temps Solaire Vrai.
- TSM** : Temps Solaire Moyen.
- DC** : Courant Direct.
- FEM** : Force Electromotrice.
- MPPT**: Maximum Power Point Tracking.
- MPP** : Maximum Power Point.
- GPV** : Générateur Photovoltaïque
- LDR** : Light-Dépendent Résistor.

# Nomenclatures

---

## Nomenclatures

- $\lambda$  : Longitude.
- $\varphi$  : Latitude.
- $n$  : Le nombre de jours dans l'année.
- $W$  : Angle horaire.
- $\Delta$  : Hauteur angulaire du soleil.
- $w_S$  : Angle horaire de coucher du soleil .
- $\delta$  : La déclinaison solaire.
- $H_0$  : Rayonnement extraterrestre .
- $N$  : Nombre de jours dans l'année.
- $I_0$  : Courant de saturation de la diode.
- $I$  : Intensité de courant fournie par la cellule.
- $v$  : Tension aux bornes de la cellule.
- $I_{CC}$  : Le courant de court-circuit .
- $V_{CO}$ : Tension du circuit ouvert.
- $I_{pv}$  : Courant générer par la cellule photovoltaïque.
- $V_{pv}$  : Tension de Photovoltaïque.
- $I_d$  : Courant de diode.
- $I_{ph}$  : Courant photopile de la diode.
- $V_d$  : La tension de la diode.

# Nomenclatures

---

$V_{oc}$  : Tension à circuit ouvert.

$R_s$  : Résistance série de la cellule PV.

$R_{sh}$  : Résistance shunt.

$Q$  : Charge d'électron  $e=1.6*10^{-19}$  coulomb.

$A$  : Facteur de qualité de la diode.

$K$  : Constant de Boltzmann ( $K=1.3854*10^{-23}$  J/k).

$T$  : Temps solaire.

$\alpha$  : Angle de rotation.

$\gamma$  : Angle d'azimute.

$V_{in}$  : Tension de capteur d'alimentation.

$R_{LDR}$  : Résistance de LDR.

$V_{out}$  : Tension de la sortie du capteur.

### Liste des figures

| <b>Chapitre I</b>  | <b>Etat de l'art des systèmes photovoltaïques</b> |
|--|---|
| Figure I.1: variation solaire par rapport à la terre                       | 2   |
| Figure I.2: les coordonnées géographiques                                  | 3   |
| Figure I.3 : La déclinaison du soleil en fonction des jours                | 4   |
| Figure I.4 : les coordonnées horaires                                      | 4   |
| Figure I.5 : représentation des coordonnées horizontal                     | 5   |
| Figure 1.6 : Rayonnement global  | 7   |
| Figure I.7: le rayonnement extraterrestre en fonction des jours            | 7   |
| Figure I.8 : schéma idéal d'une cellule photovoltaïque                     | 8   |
| Figure I.9: Schéma des cellules photovoltaïques associées en parallèle     | 9   |
| Figure I.10: Schéma des cellules photovoltaïques associées en série        | 9   |
| Figure I.11 : schéma idéal d'une cellule photovoltaïque                    | 9   |
| Figure I.12 : schéma équivalent d'une cellule solaire                      | 10  |
| Figure I.13 : Caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque | 11  |
| Figure I.14 : Caractéristique P-V du module PV selon la température        | 12  |
| Figure I.15 : La caractéristique I-V du module PV selon la température     | 12  |
| Figure I.16: Schéma de principe du convertisseur MMPT                      | 13  |
| <b>Chapitre II</b>   | <b>Description d'un suivre solaire</b>            |
| Figure II.1 : Principe général de la commande du suiveur                   | 14  |
| Figure I.2 : Suiveur basé sur des capteurs de lumière                      | 15  |
| Figure II.3: Représentation de la latitude (hauteur) angulaire et l'azimut | 16  |
| Figure II.4 : définition de la position du soleil                          | 16  |

## Liste des figures

---

|  |   |
|--|---|
| Figure II.5: Représentation de l'orientation des panneaux solaire                | 17  |
| Figure II.6: suiveur solaire passif  | 18  |
| Figure II.7 : Orientation un axe   | 19  |
| Figure II.8 : Orientation deux axe   | 19  |
| Figure II.9: Suiveur à un seul axe avec angle d'inclinaison de Latitude          | 20  |
| Figure II.10 : Suiveur a deux axes avec angle d'inclinaison de Latitude          | 21  |
| Figure II.11 : Suiveur a deux axes Azimut/Elévation                              | 22  |
| <hr/>  |   |
| <b>Chapitre III</b>  | <b>réalisation système suivre solaire</b> |
| Figure III.1 : Schéma synoptique   | 25  |
| Figure III.2 : Schéma de fonctionnement du suiveur solaire                       | 26  |
| Figure III.3 : Structure mécanique réalisé                                       | 26  |
| Figure III.4 : Orientation horizontal du panneau photovoltaïques                 | 27  |
| Figure III.5 : Motoréducteur contrôler d'azimut                                  | 28  |
| Figure III.6 : Motoréducteur   | 28  |
| Figure III.7 : Le roulement à bille  | 29  |
| Figure III.8 : Liaison pivot   | 29  |
| Figure III.9 : Assemblage d'une liaison pivot assuré par des roulements à billes | 30  |
| Figure III.10 : Plaque de couplage du moteur                                     | 31  |
| Figure III.11 : Condensateur   | 31  |
| Figure III.12 : Schéma de câblage en triangle                                    | 32  |
| Figure III.13 : Relais statiques   | 32  |
| Figure III.14: Schéma d'un capteur de lumière                                    | 33  |
| Figure III.15 : Photoconducteur  | 34  |
| Figure III.16: Branchement de résistance LDR en diviseur de tension              | 34  |
| Figure III.17 : La carte Arduino Mega 2560                                       | 36  |



## Liste des figures

---

|  |    |
|--|----|
| Figure III.18 : Interface de logiciel Arduino                            | 37 |
| Figure III.19 : déclaration toutes les variables utilisées               | 38 |
| Figure III.20: configurées en entrées numérique ou en sorties numériques | 39 |
| Figure III.21 : l'écriture dans boucle void loop                         | 39 |

# Sommaire

---

|                        |         |
|------------------------|---------|
| Remerciements          |         |
| Dédicaces              |         |
| Liste des abréviations |         |
| Nomenclatures          |         |
| Liste des figures      |         |
| Introduction générale  | page 01 |

---

## Chapitre I

## Etat de l'art des systèmes photovoltaïques

---

|  |         |
|--|---------|
| I.1-Introduction                                 | page 02 |
| I.2-Position du soleil par rapport à la terre    | page 02 |
| I.3-Les coordonnées géographiques de terre       | page 02 |
| I.3-1-longitude                                  | page 02 |
| I.3-2-latitude                                   | page 03 |
| I.4-Les coordonnées horaires                     | page 03 |
| I.4.1-La déclinaison solaire                     | page 03 |
| I.4.2-Angle horaire( $w$ )                       | page 04 |
| I.4.3- Les coordonnées horizontales              | page 04 |
| I.4.3.1-Hauteur angulaire du soleil ( $\Delta$ ) | page 04 |
| I.4.3.2-Azimut                                   | page 05 |
| I.5-Temps solaires                               | page 05 |
| I.5-1-Temps solaires vrai                        | page 05 |
| I.5-2-Temps solaire moyen                        | page 05 |
| I.6-Angle horaire de coucher du soleil           | page 06 |
| I.7-Le rayonnement solaire                       | page 06 |
| I.7-1-Types des rayonnements                     | page 06 |

# Sommaire

---

|  |         |
|--|---------|
| I.7-1-1-Rayonnement direct                                     | page 06 |
| I.7-1-2-Rayonnement diffus                                     | page 06 |
| I.7-1-3-Rayonnement global                                     | page 06 |
| I.7-2-Rayonnement extraterrestre                               | page 07 |
| I.8-L'effet photovoltaïque                                     | page 07 |
| I.9-La cellule photovoltaïque                                  | page 08 |
| I. 9-1- Définition et principe                                 | page 08 |
| I.9-2-Les associations des cellules photovoltaïques            | page 08 |
| I. 9-2-1-Association des cellules photovoltaïques en parallèle | page 08 |
| I.9-2-2-Association des cellules photovoltaïques en série      | page 09 |
| I.9-3-Modèle d'une cellule solaire idéale                      | page 09 |
| I.9-4-Modèle d'une cellule solaire réelle                      | page 10 |
| I.9-4-1-Modèle à une diode (à une seule exponentielle)         | page 10 |
| I.9-4-2-Caractéristique courant – tension                      | page 10 |
| I.9-4-3-Influence de la Température                            | page 11 |
| I.10-La recherche du point de puissance maximale (MPPT)        | page 13 |
| I.11-Conclusion  | page 13 |

---

## Chapitre II

## Description d'un système de poursuite soleil

---

|   |         |
|---|---------|
| II .1-Introduction                      | page 14 |
| II .2-Principe général                  | page 14 |
| II.3-Importance de la poursuite solaire | page 14 |
| II.4-Les méthodes de poursuite          | page 15 |

# Sommaire

---

|  |         |
|--|---------|
| II.4-1-La méthode des capteurs de lumière                      | page 15 |
| II .4-2-La méthode astronomique                                | page 15 |
| II .5-Trajectoire apparente du soleil                          | page 16 |
| II.6-Orientations des panneaux solaires                        | page 17 |
| II.6-1-Choix de l'orientation du module                        | page 17 |
| II.6-2-Choix de l'inclinaison des modules                      | page 17 |
| II .7- Suiveur solaire   | page 17 |
| II.7-1-Les types de suiveur solaire                            | page 18 |
| II .7-1-1- Suiveur solaire passifs                             | page 18 |
| II.7-1-2-Suiveur solaire actifs                                | page 18 |
| II.7-1-2-1-Suiveur solaire mono-axe                            | page 19 |
| II.7-1-2-2-Suiveur solaire double axes                         | page 19 |
| II.8-Suiveur en boucle ouverte                                 | page 20 |
| II.8-1-Types de suiveur en boucle ouverte                      | page 20 |
| II.8-1-1- Suiveur à axe de suivi                               | page 20 |
| II.8-1-2- Suiveur équatorial                                   | page 21 |
| II.8-1-3-Suiveur azimuth/élévation                             | page 21 |
| II.9-Les Suiveur synchronisés                                  | page 22 |
| II.10- Suiveur en boucle fermée                                | page 22 |
| II.11-Les avantages et les inconvénients des suiveurs solaires | page 23 |
| II.11-1-Les inconvénients                                      | page 23 |
| II.11-2-Les avantages  | page 23 |
| II.12-Conclusion   | page 23 |

# Sommaire

---

## Chapitre III

## Réalisation d'un système suivre solaire

---

|  |         |
|--|---------|
| III.1-Introduction   | page 24 |
| III.2-Schéma synoptique  | page 24 |
| III.3-Réalisation du suiveur solaire                                 | page 25 |
| III.3.1-Partie mécanique   | page 25 |
| III.3-1-1-Description de la structure                                | page 26 |
| III.3-1-2-Orientation à l'axe horizontal (élévation)                 | page 27 |
| III.3-1-3-Orientation à l'axe vertical (l'azimut)                    | page 27 |
| III.3-1-4- motoréducteur   | page 28 |
| III.3-1-5-Roulement  | page 28 |
| III.3-1-6-Liaison pivot  | page 29 |
| III.3-1-7-Principe de conception d'une liaison pivot avec roulements | page 30 |
| III.4-Partie électrique  | page 31 |
| III.4-1-Couplage d'alimentation du motoréducteur                     | page 31 |
| III.4-2-Condensateur   | page 31 |
| III.4-3-Alimentation du motoréducteur ou réseau monophasé            | page 32 |
| III.4-4-Relais statiques   | page 32 |
| III.4-4-1-Avantages du relais statique                               | page 33 |
| III.4-4-2-inconvénient du relais statique                            | page 33 |
| III.4-5-capteur de lumière   | page 33 |
| III.4-5-1-La photorésistance   | page 33 |
| III.4-5-2-Fonctionnement   | page 34 |
| III.4-5-3-Réalisation  | page 34 |

# Sommaire

---

|   |         |
|---|---------|
| III.5-Partie de commande                          | page 35 |
| III.5-1-La carte Arduino Méga                     | page 35 |
| III.5-1-1-Spécifications techniques               | page 35 |
| III.5-1-2-Alimentation                            | page 36 |
| III.5-2-Programmation                             | page 37 |
| III.5-3-Description du programme                  | page 38 |
| III.5-3-1-Définition des variables                | page 38 |
| III.5-3-2-Configuration des entres et des sorties | page 38 |
| III.5-3-3-Programmation des interactions          | page 39 |
| III.5-4-Raison du choix  Arduino Mega 2560        | page 40 |
| III-6- Conclusion                                 | page 40 |
| Conciliation générale                             | page 41 |
| Bibliographique                                   |         |
| Annexe  |         |

# **Introduction**

## **générale**

# Introduction générale

---

## Introduction générale :

Les énergies renouvelables sont des énergies qui se renouvèlent assez rapidement pour être considérées comme inépuisable à l'échelle humaine du temps. Face aux prévisions d'épuisement inévitable des ressources mondiales en énergie fossile (pétrole, gaz, charbon....), en énergie d'origine thermonucléaire (uranium, plutonium.....). Une 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 consommation.

La science s'est tout naturellement intéressée aux renouvelés et notamment vers la plus ancienne, le soleil, qui déverse chaque jour l'équivalent de 100 000 milliards de TEP (Tonnes Equivalent Pétrole). Cette valeur est à comparer aux 9.58 milliards de TEP que représente la consommation annuelle mondiale en énergie primaire (1998).

Les premières applications des suiveuses solaire remontent vers les années 1750 ou le principe repose sur l'utilisation de l'héliostat. La rotation du miroir de l'héliostat est assurée par un mécanisme d'horlogerie dont la plus ancienne mention du système se trouve dans des publications datant de 1742 du physicien néerlandais Willem Jacobs Gravesande [1] .

L'Algérie a réservé une multitude d'investissements dans la technologie photovoltaïque et ses applications à titre d'exemple le projet de HASSI R'MEL.

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

Notre travail est organisé de la manière suivant :

- Dans le premier chapitre on va présenter quelques généralités sur les systèmes photovoltaïques, en donnant les différents consultants de base ainsi leur principe de fonctionnement.

A fin d'optimiser la puissance d'un panneau photovoltaïque on utilise un suiveur solaire. Pour cela le chapitre sera consacré à la disruption détaillé du fonctionnement d'un suiveur solaire, tout on étudiant les différents types existent dans la littérature, qui va nous permettre de bien choisis sur notre système à réalisé.

- Le chapitre troisièmes est réservé à la réalisation de notre suiveur solaire, pour ce fonction doit respecter d'abord le lieu d'installation qui est le site de Bouira, puis on



# Introduction générale

---

passer à la réalisation qui nécessite : une étude mécanique pour réaliser le support et les pièces mobiles.

Une étude électrique : qui permet le bon choix des moteurs assurent l'orientation ainsi le câblage entre les différentes parties du système.

La troisième partie est le noyau de ce travail, dont on va réaliser une carte de commande permet de donner l'ordre et l'angle optimal d'orientation du panneau pour le faire on a utilisé(Arduino).

# Chapitre I

## **Etat de l'art des systèmes photovoltaïques**

## I.1-Introduction :

Le soleil est une source énergétique quasiment illimitée, il pourrait couvrir plusieurs milliers de fois notre consommation globale d'énergie, L'énergie solaire photovoltaïque est une énergie électrique renouvelable, produite par les rayonnements du Soleil. La production de cette énergie peut se faire grâce aux cellules photovoltaïques, composants électriques qui, exposé à la lumière, produit de l'électricité.

## I.2-Position du soleil par rapport à la terre :

La Terre tourne autour du Soleil en une année et son plan de révolution définit le plan de l'écliptique. L'élément déterminant est que l'axe de rotation de la Terre sur elle-même, qui reste toujours parallèle à lui-même, n'est pas perpendiculaire au plan de l'écliptique mais est incliné par rapport à cette perpendiculaire d'un angle de  $\varepsilon = 23^\circ$ . Au cours de sa révolution autour du Soleil, la Terre ne présente donc pas toujours la même configuration au soleil : on dit que l'exposition solaire de la terre change et c'est ce qui explique les saisons [1].

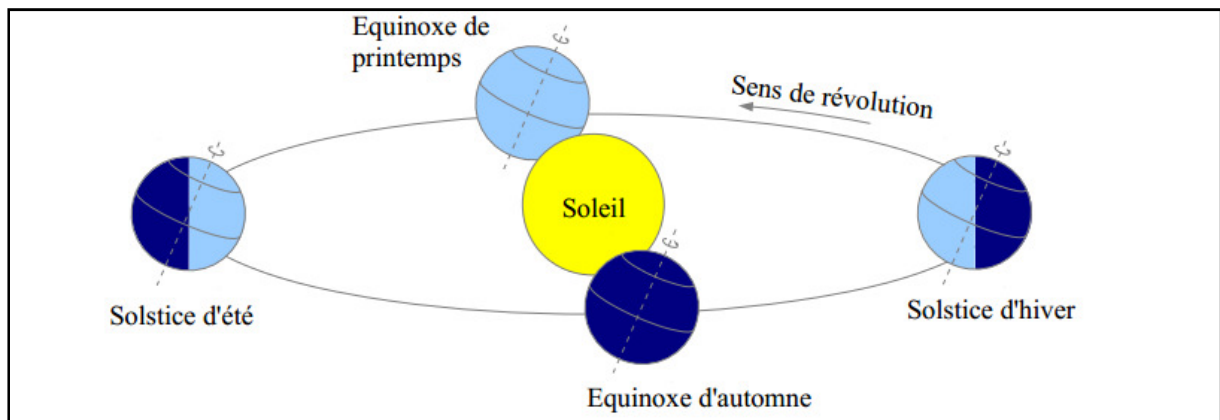


Figure I.1:variation solaire par rapport à la terre.

## I.3-Les coordonnées géographiques de la terre :

Pour repérer un point à la surface de la terre, deux coordonnées sont nécessaires :

### I.3-1-longitude:

La longitude d'un lieu correspondant à l'angle que fait le plan méridien passant par ce lieu avec un plan méridien retenu comme origine. On a choisi pour méridien origine le plan passant par l'observatoire de Greenwich. Par convention, on affecte du signe (+) les méridien situe à l'est, et du signe (-) les méridien situé à l'ouest .La longitude sera désigné ici par la lettre  $\lambda$ [2].

Avec :

$\lambda$  : longitude.

### I.3-2-latitude :

La latitude d'un lieu correspond à l'angle avec le plan équatorial, que fait le rayon joignant le centre de la terre à ce lieu. L'équateur terrestre est donc caractérisé par une latitude égale à le pôle nord par latitude.

Et le pôle sud par la latitude ( $-90^\circ$ ). Cette convention de signe effectue le signe (+) à tous les lieux de l'hémisphère Nord et le signe à tous les lieux de l'hémisphère Sud. La latitude sera désignée ici par lettre  $\varphi$  [2].

Avec :

$\varphi$  : latitude.

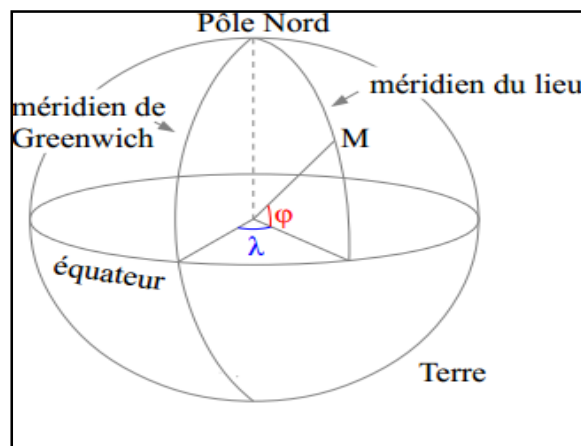


Figure I.2: les coordonnées géographiques

### I.4-Les coordonnées horaire :

#### I.4.1-La déclinaison solaire :

C'est l'angle formé par la direction du soleil et le plan équatoriale terrestre. Elle varie tout au long de l'année, entre deux valeurs extrêmes ( $-23^\circ 27'$  et  $+23^\circ 27'$  environ) et elle s'annule aux équinoxes de printemps et d'automne, sa valeur peut être calculé par la formule suivant [3]:

$$\delta = 23.54 \sin(360 \cdot (284 + n) / 365) \quad (I.1)$$

Avec :  $n$  : le nombre de jours dans l'année.

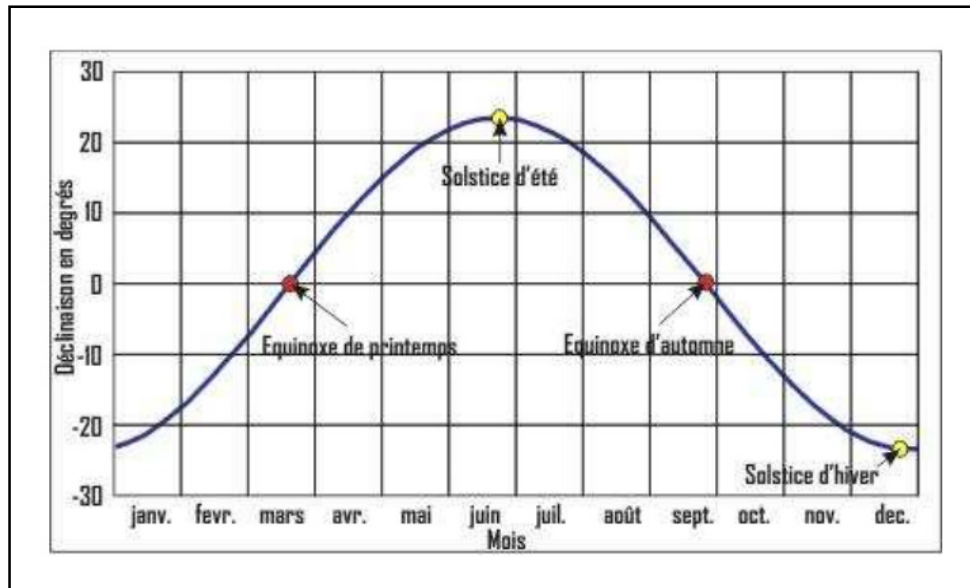


Figure I.3 : La déclinaison du soleil en fonction des jours.

#### I.4.2-Angle horaire( $w$ ) :

L'angle horaire du soleil c'est l'angle formé par le plan méridien du lieu et celui qui passer par direction du soleil si l'on prend comme l'origine de méridien Greenwich, l'angle horaire est compris entre 0 et 360 degrés, la valeur de l'angle horaire est nulle à midi, négative dans le matin, positive dans l'après midi et augmente de 15 par heure[3].

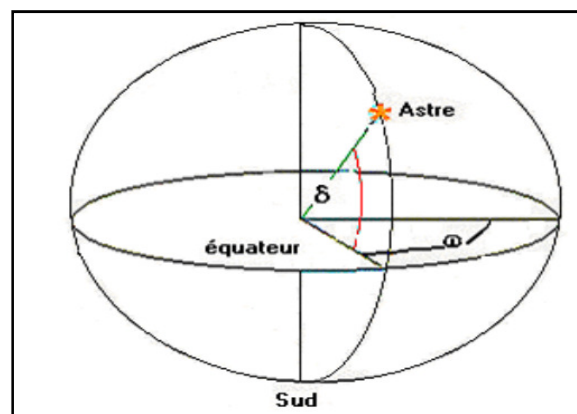


Figure I.4 : les coordonnées horaires.

#### I.4.3-Les coordonnées horizontales : [4]

Le repérage du soleil se fait par l'intermédiaire de deux angles :

##### I.4.3.1-Hauteur angulaire du soleil ( $\Delta$ ) :

C'est l'angle formé par le plan horizontal au lieu d'observation et la direction du soleil. Cette hauteur durant le jour peut varier de 0(soleil à l'horizon) à 90(soleil à zénith).

### I.4.3.2-Azimut :

C'est l'angle compris entre le méridien de lieu et le plan vertical passant sur le soleil. La connaissance de l'azimut du soleil est indispensable pour le calcul de l'angle d'incidence des rayons sur une surface non horizontal.

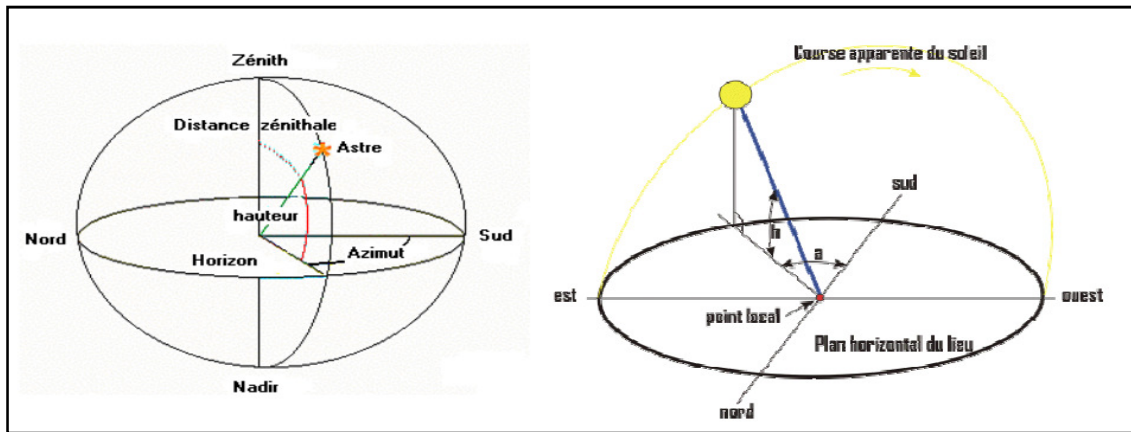


Figure I.5 : représentation des coordonnées horizontales.

## I.5-Temps solaires :

### I.5-1-Temps solaires vrai :

On appelle " Temps Solaire Vrai" (en abrégé TSV) en un lieu et à un instant donné, l'angle horaire par rapport du Soleil en ce lieu et à cet instant. C'est une notion qui traduit à la fois le mouvement de rotation de la Terre sur elle-même et son mouvement autour du Soleil. Son introduction est naturelle, car il est lié à l'alternance des jours et des nuits. C'est le TSV qui est indiqué sur les cadrans solaires [5].

La définition de TSV donnée ci-dessus est la définition en astronomie. En physique, on prend, par commodité,  $TSV = 12h$  pour la valeur nulle de l'angle horaire (c'est-à-dire midi). C'est cette dernière définition que nous utiliserons par la suite.  $TSV = 12 + (w/15)$  en heures.

### I.5-2-Temps solaire moyen :

La vitesse de la Terre sur son orbite n'est pas constante au cours de l'année. Pour avoir un temps qui " s'écoule " à vitesse constante (celui mesuré par les horloges), on définit donc un temps solaire moyen.

Historiquement, la journée solaire moyenne a été utilisée pour définir les unités de temps. On a encore avec une bonne précision 1 jour = 24h 00m 00s. L'écart entre TSV et TSM varie

selon la date, mais est nul en moyenne, par définition. L'expression de cet écart porte le nom de "équation du temps "[5].

### **I.6-Angle horaire de coucher du soleil :**

L'angle horaire du soleil est le déplacement angulaire du soleil autour de l'axe polaire. Dans sa course d'est en ouest, par rapport au méridien local. Il est donné par l'équation suivante[5] :

$$w_s = \arccos(-\tan(\varphi) \tan(\delta)). \quad (I.2)$$

Avec :

$w_s$  : l'angle horaire de coucher du soleil.

$\delta$ : la déclinaison solaire.

$\varphi$ :latitude.

### **I.7-Le rayonnement solaire :**

Le rayonnement solaire est un rayonnement thermique qui se propage sous la forme d'ondes électromagnétiques. En dehors de l'atmosphère terrestre, il donne un éclairage énergétique à peu près constant et égale à  $1367\text{W/m}^2$ , appelé de ce fait constante solaire.

#### **I.7-1-Types des rayonnements: [6].**

##### **I.7-1-1-Rayonnement direct:**

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

##### **I.7-1-2-Rayonnement diffus:**

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

##### **I.7-1-3-Rayonnement global:**

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

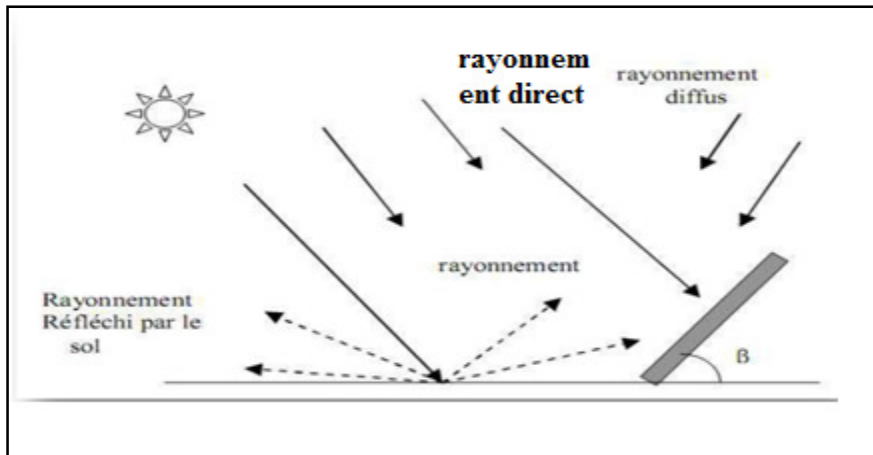


Figure 1.6 : Rayonnement global.

### I.7-2-Rayonnement extraterrestre :

Le rayonnement extraterrestre est le rayonnement solaire en dehors de l'atmosphère.

Pour un point donné, Il est formulé comme suit [7]:

$$H_0 = \frac{86400G}{\pi} \left( 1 + 0.033 \cos \left( 2\pi \frac{N}{365} \right) \right) (\cos\varphi \cos\delta \sin\omega_s + \omega_s \sin\varphi \sin\delta) \quad (I.3)$$

N : nombre de jours dans l'année.

G : constante solaire. (G =1367) (W/m<sup>2</sup>).

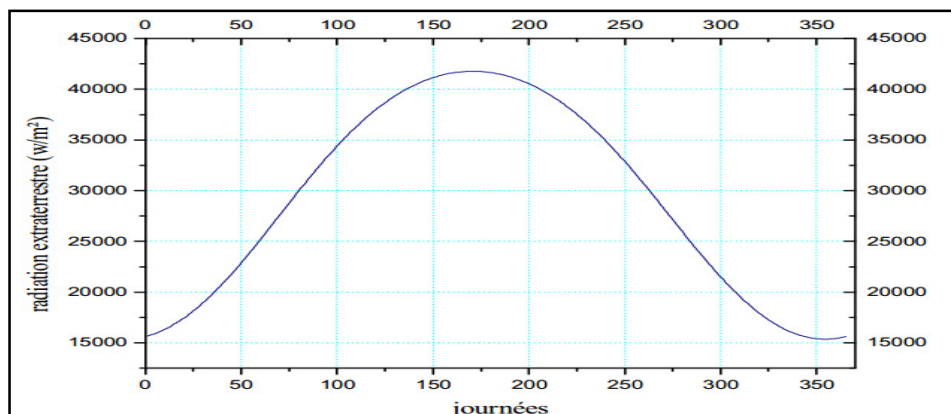


Figure I.7:le rayonnement extraterrestre en fonction des jours.

### I.8-L'effet photovoltaïque:

L'effet photovoltaïque a été découvert par Alexander Edmond Becquerel en 1839. qui a découvert des matériaux spécifiques produisent de petites quantités de courant électrique lorsqu'ils étaient exposés à la lumière. En 1905, Albert Einstein a décrit la nature de la lumière et l'effet photoélectrique sur lequel s'appuie la technologie photovoltaïque, ce qui lui a valu plus tard de remporter un Prix Nobel de physique.



Son principe réside en une collision des photons incidents (flux lumineux) avec les électrons libres et les électrons de valence en leur communiquant une énergie ( $h\nu$ ), si cette énergie est supérieure ou égale l'énergie de gap de ce semi-conducteur ( $E_g = E_c - E_v$ ) l'électron passe de la bande de valence à la bande de conduction en laissant un trou derrière lui, d'où l'apparition de paires électron-trou dans différent point de la jonction [8].

## I.9-La cellule photovoltaïque:

### I.9-1-Définition et principe :

Une cellule photovoltaïque est un capteur constitué d'un matériau semi-conducteur absorbant l'énergie lumineuse et la transformant directement en courant électrique. Le principe de fonctionnement de cette cellule fait appel aux propriétés d'absorption du rayonnement.

Lumineux par des matériaux semi-conducteurs. Ainsi, le choix des matériaux utilisés pour concevoir des cellules PV se fait en fonction des propriétés physiques de certains de leurs électrons susceptibles d'être libérés de leurs atomes lorsqu'ils sont excités par des photons provenant du spectre solaire et possédant une certaine quantité d'énergie selon leurs longueurs d'onde. Une fois libérés, ces charges se déplacent dans le matériau formant globalement un courant électrique de nature continu (DC). La circulation de ce courant donne alors naissance à une force électromotrice (FEM) aux bornes du semi-conducteur correspondant ainsi au phénomène physique appelé effet photovoltaïque .La figure (1.8) illustre la constitution d'une cellule photovoltaïque en silicium [9].

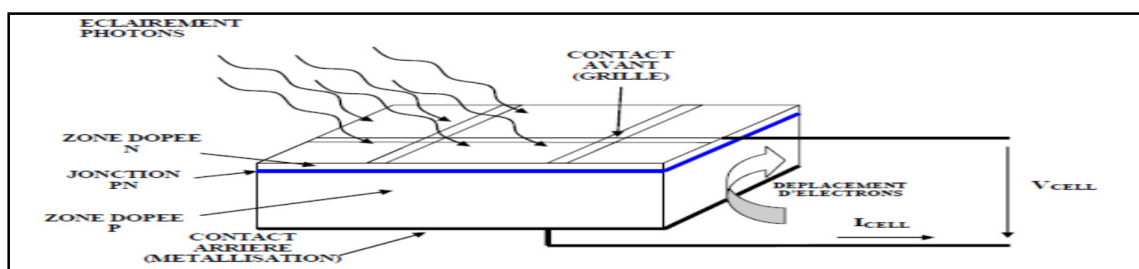


Figure I.8 : schéma idéale d'une cellule photovoltaïque.

### I.9-2-Les associations des cellules photovoltaïques :

#### I.9-2-1-Association des cellules photovoltaïques en parallèle :

Les propriétés du groupement en parallèle des cellules sont duales de celles du groupement en série. Ainsi, dans un groupement des cellules connectées en parallèle, les

cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants à tension donnée le figure (I.9) en associant en parallèle cellules identiques [9] :

$$I_{pcc} = N_p \times I_{cc} \text{ et } V_{pco} = V_c$$

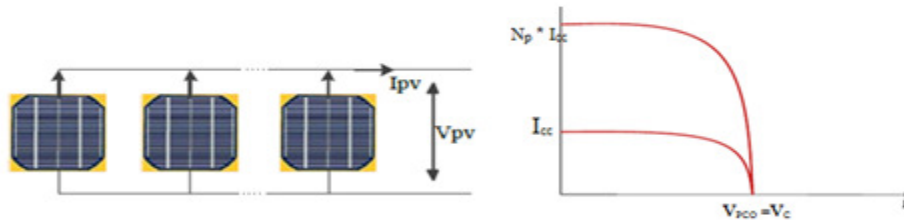


Figure I.9: Schéma de cellules photovoltaïques associées en parallèle.

**I.9-4-2-Association des cellules photovoltaïques en série:**

Dans un groupement en série, les cellules sont traversées par le même courant et la caractéristique résultante du groupement en série est obtenue par addition des tensions à courant donné. Les figures (I.10) montrent la caractéristique résultante ( $I_{scc}, V_{sco}$ ) obtenue en associant en série cellules identiques ( $I_{cc}, V_{co}$ ) [9] :

$$I_{scc} = I_{cc} \text{ et } V_{sco} = N_s \times V_{co}$$

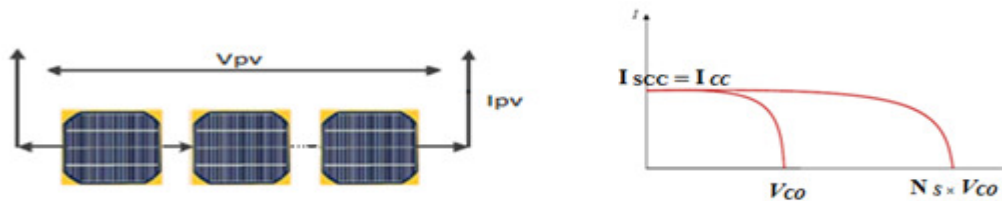


Figure I.10: Schéma de cellules photovoltaïques associées en série.

**I.9-3-Modèle d'une cellule solaire idéale :**

La cellule est un composant semi-conducteur qui délivre un courant en excitant ce dernier par des photons, donc en première approximation on a une source de courant, qui est court-circuit par une diode (car la photopile est une jonction p-n).

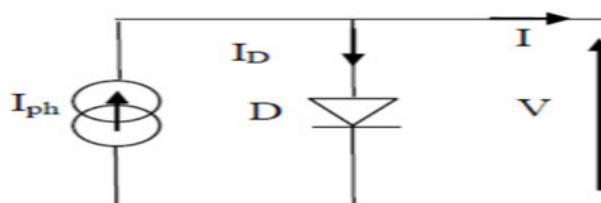


Figure I.11 : schéma idéale d'une cellule photovoltaïque.

### I.9-4-Modèle d'une cellule solaire réelle :

#### I.9-4-1-Modèle à une diode (à une seule exponentielle) :

Réellement il existe plusieurs influences des résistances parasites dans la production d'énergie électrique, et la cellule photovoltaïque est représentée généralement par le schéma suivant [9] :

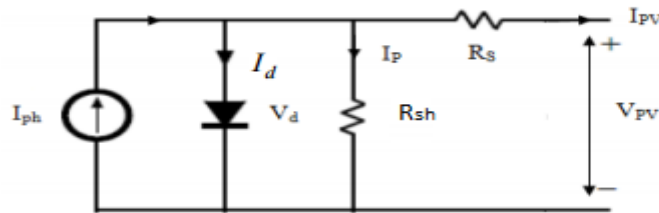


Figure I.12 : schéma équivalent d'une cellule solaire.

C'est le modèle le plus classique dans la littérature, il fait intervenir un générateur de courant pour la modélisation du flux lumineux incident, une diode pour les phénomènes physique dépolarisation et deux résistances (série et shunt).

Ces résistances auront une certaine influence sur la caractéristique **I-V** de la cellule:

- □ la résistance série est la résistance interne de la cellule; qui est celle du semi-conducteur utilisé, de la résistance de contact des grilles collectrices et de la résistivité des ces grilles.
- la résistance shunt est due à un courant de fuite au niveau de la jonction; elle dépend de la façon dont celle-ci a été réalisée.

Le courant de la diode est donné par :

$$I_d = I_{ph} - I_0 \left( e^{\frac{q \cdot (v + R_s I)}{A \cdot K \cdot T}} - 1 \right) \quad (I.4)$$

Le courant généré par la cellule PV est donné par la loi des mailles :

$$I = I_{PH} - I_d - I_{sh} \quad (I.5)$$

$$I = I_{PH} - I_0 \left( e^{\frac{q \cdot (v + R_s I)}{A \cdot K \cdot T}} - 1 \right) - \left( \frac{v + R_s I}{R_{sh}} \right) \quad (I.6)$$

Avec :

$I_d$  :courant de diode.

$I_{ph}$  : courant photopile de la diode.

$I_0$  : courant de saturation de la diode.

$I$  : intensité de courant fournie par la cellule.

$v$  : tension aux bornes de la cellule.

$R_{sh}$  : résistance shunt.

$T$  : temps solaire.

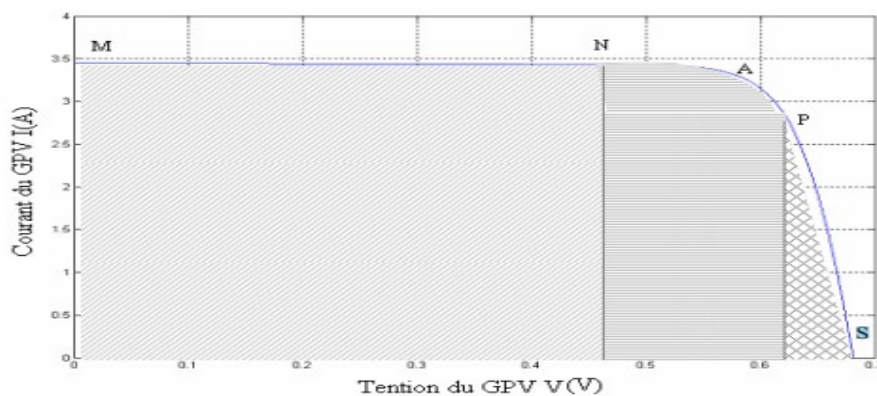
$K$  : constant de Boltzmann ( $K=1.3854*10^{-23}$  J/k).

$q$  :charge d'électron  $e=1.6*10^{-19}$  coulomb.

$A$  : facteur de qualité de la diode.

### I.9-4-2-Caractéristique courant – tension :

La caractéristique courant-tension, illustrée dans la figure (I.13), décrit le comportement de la cellule photovoltaïque sous l'influence des conditions standard (niveau d'éclairement en  $1000W/m^2$  et température ambiante  $25^0 C$ ) [9].



**Figure I.13** : Caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque.

La courbe caractéristique d'une cellule PV (figure I.13) représente la variation du courant qu'elle produit en fonction de la tension à ses bornes, depuis le court-circuit, point M (tension nulle correspondant au courant maximum produit) jusqu'au circuit ouvert, point S, (courant nul pour une tension maximale aux bornes de la cellule).

La courbe de la cellule solaire  $I=f(V)$  passe par trois points essentiels qui sont :

-Le courant de court-circuit  $I_{cc}$  en M.

- La tension de circuit ouvert  $V_{oc}$  en S .
- La puissance maximale en A .

En effet, la caractéristique de la cellule solaire  $I(V)$ , se divise en trois parties [9] :

La zone (MN) se distingue par le courant qui reste constant, quelle que soit la tension. Dans cette zone, le générateur photovoltaïque fonctionne comme un générateur de courant.

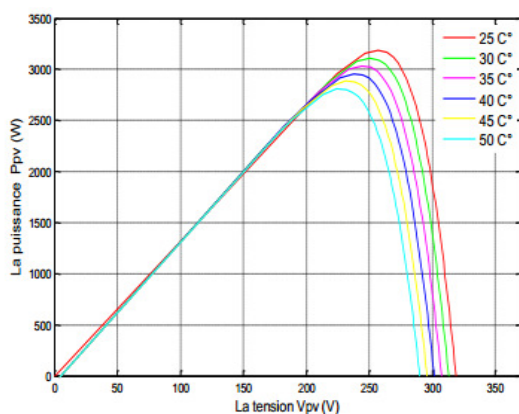
La zone (PS) se distingue par une variation du courant correspondant à une tension presque constante, et c'est dans cette région, que le générateur est assimilable à un générateur de tension.

La zone (NP) correspond au coude de la caractéristique. C'est la région intermédiaire entre les deux zones précédentes, et elle représente la région préférée pour le fonctionnement (le point optimal peut être déterminé).

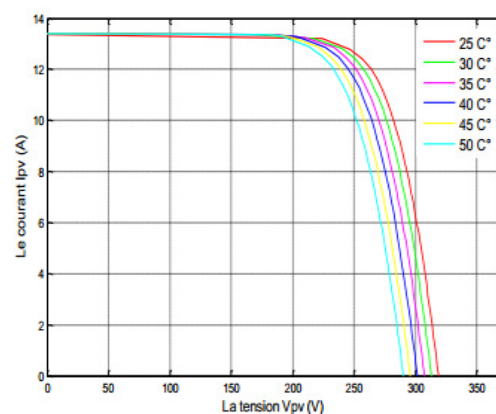
### I.9-4-3-Influence de la Température :

En faisant varier la température de  $25^{\circ}\text{C}$  et la caractéristique ( $I_{pv}=f(V_{pv})$ ) est donnée par les figures (I.(14,15)) . On remarque que la température à une influence négligeable sur la valeur du courant de court-circuit. Par contre, la tension en circuit ouvert baisse assez fortement.

Lorsque la température augmente, par conséquent la puissance extractible diminue. Lors du dimensionnement d'une installation, la variation de la température du site sera impérativement prise en compte [9] .



**Figure I.14 :** Caractéristique P-V du module PV selon la température.



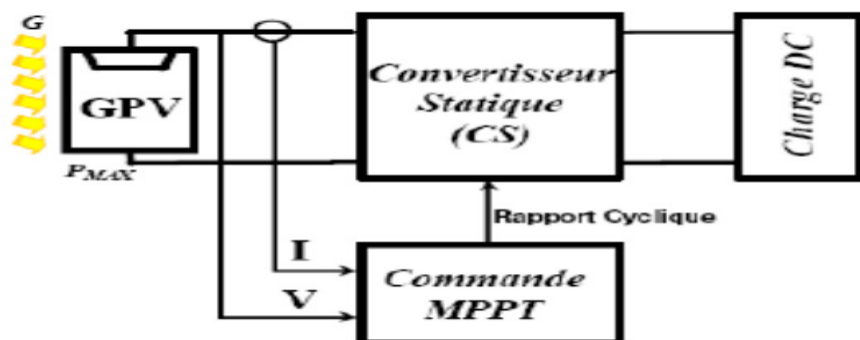
**Figure I.15 :** La caractéristique I-V du module PV selon la température.

### I.10-La recherche du point de puissance maximale (MPPT) :

Pour avoir la meilleur connexion entre le (GPV) une source non linéaire et une charge pour produire la meilleur puissance, le Maximum Power Point Tracking (MPPT) est développé.

Il forcera le générateur à travailler à son Maximum Power Point(MPP), induisant une amélioration globale du rendement du système.

La figure(I.16) représente le schéma de principe d'un convertisseur MPPT. La commande MPPT fait varier le rapport cyclique du convertisseur statique(CS), à l'aide d'un signal électrique approprié, pour tirer le maximum de puissance que le GPV peut fournir. L'algorithme MPPT peut être plus ou moins compliqué pour rechercher le MPP. En générale elle est basée sur la variation du rapport cyclique du CS en fonction de l'évolution des paramètres d'entrée de ce dernier (I et V et par conséquent de la puissance du GPV) jusqu'à l'atteinte du MPP [10].



**Figure I.16** : Schéma de principe du convertisseur MMPT.

### I.11-Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons donné un aperçu général sur le mouvement de la terre et les coordonnées géographiques, horaire et horizontales, ainsi que le principe de la convection d'énergie photovoltaïque.

Nous avons vu également les caractéristiques (courbes tensions), les rayonnements solaires et le temps solaire, sur la caractéristique (puissance tension) on a un point où la puissance est maximale, c'est le MPP.

## Chapitre II

### **Description d'un suivre solaire**

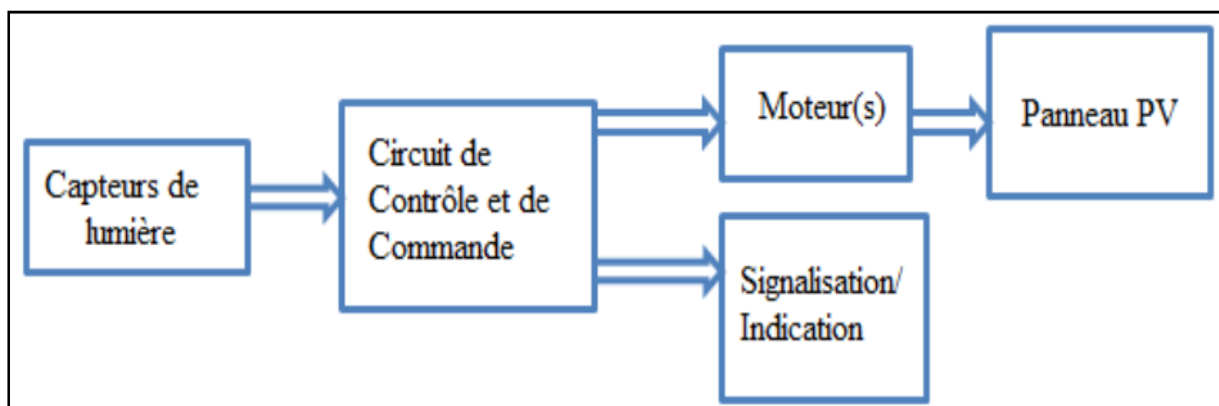
## II.1-Introduction :

L'orientation des capteurs est un problème important dans l'utilisation des capteurs à rayonnement concentré, En effet, le principe même de la concentration suppose que le rayonnement parvienne à la surface réfléchissante dans une direction déterminée.

Puisque la position apparente du soleil par rapport à un point de captation est constamment variable à l'échelle d'une journée, nous serons donc obligé de modifier constamment la position du concentrateur afin de suivre celle du soleil en utilisant un système de poursuite automatique.

## II.2-Principe général :

Le suiveur solaire qui existe s'appuie sur le même principe de poursuite, illustré dans la figure (II.1). La technique utilisée pour cette étude repose sur la différence d'éclairement incident sur les capteurs de lumière photorésistance ou LDR (Light-Dépendent-Résistor) séparés par des parois opaques et placés sur le panneau PV. Le circuit de contrôle et de commande assure la fonction de comparaison des signaux émis par les capteurs en calculant leurs différences, puis renvoie des impulsions au moteur pour repositionner le panneau perpendiculairement aux rayons solaire



**Figure II.1 :** Principe général de la commande du suiveur.

## II.3-Importance de la poursuite solaire :

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



précuisent. Une installation fixe, orientée dans le cas idéal, vers le sud délivre une puissance croît très lentement tout le matin et diminue fortement l'après midi.

#### II.4-Les méthodes de poursuite :

La technologie des systèmes de poursuites actuels sont différentes d'un concepteur à un autre. Il existe deux grandes méthodes pour assurer le suivi [3]:

##### II.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 figure (II-2). Dans ce type de techniques, la poursuite s'effectue indépendamment de la zone dans laquelle le système sera situé [3].

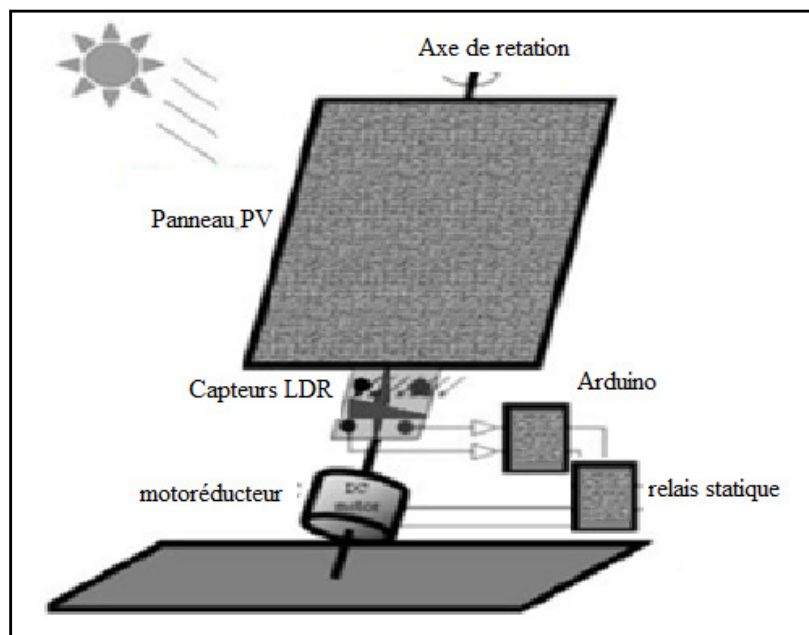


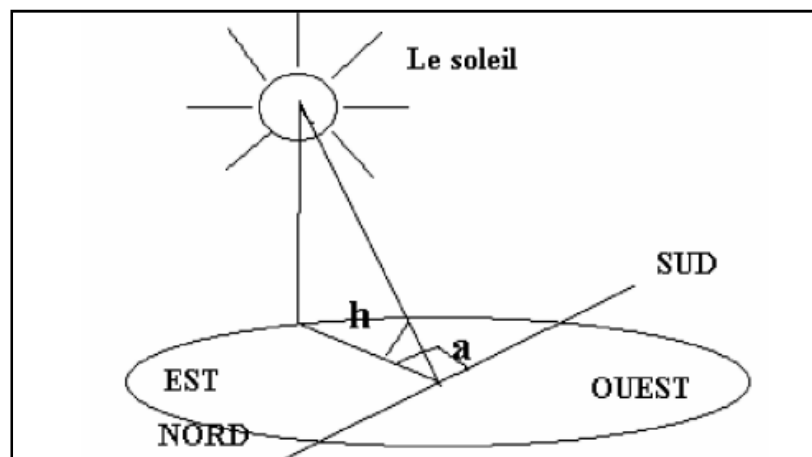
Figure II.2 : Suiveur basé sur des capteurs de lumière.

##### II.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 prédéfinies. Le système nécessite comme entrées, lors de l'installation, la latitude et la longitude du site, la date du jour et l'heure.

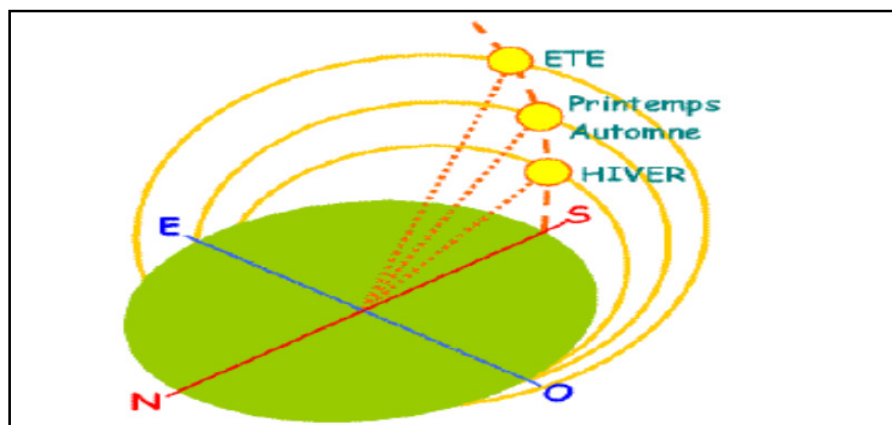
### II.5-Trajectoire apparente du soleil :

Pour un observateur situé sur la surface de la terre, le soleil décrit une trajectoire apparente dépend de la latitude (hauteur) et la longitude (azimut) du lieu où il se trouve. Rappelons que la latitude est la distance angulaire d'un point quelconque du globe par rapport à l'équateur (de 0 à 90 dans l'hémisphère nord). Quand à la longitude, c'est également un angle, donné par rapport au méridien de Greenwich en se déplace vers l'est figure (II.3) [11].



**Figure II.3:** Représentation de la latitude (hauteur) angulaire et l'azimut.

Le soleil se déplace au cours de la journée et suivant les saisons figure (II-4). Le panneau solaire, en revanche, se trouve généralement en position fixe, ce qui entraîne des pertes énergétiques précieuses. Une installation fixe, orientée, dans le cas idéal, vers le sud délivre une puissance qui croît très lentement tôt le matin et diminue fortement l'après-midi. Une part importante de l'énergie récupérable est ainsi perdue [11].



**Figure II.4 :** Définition de la position de soleil.

## II.6-Orientations des panneaux solaires:

### II.6-1-Choix de l'orientation du module:

L'orientation des modules doit être plein sud pour les sites de l'hémisphère nord et plein nord pour les sites de l'hémisphère sud l'utilisation d'une boussole est fortement recommandé pour éviter toute approximation qui risquerait d'introduire une perte de puissance consécutive à une mauvaise orientation [7].

### II.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 aux cours de l'année l'inclinaison des modules, on choisit généralement une valeur moyenne pour toute l'année [12].

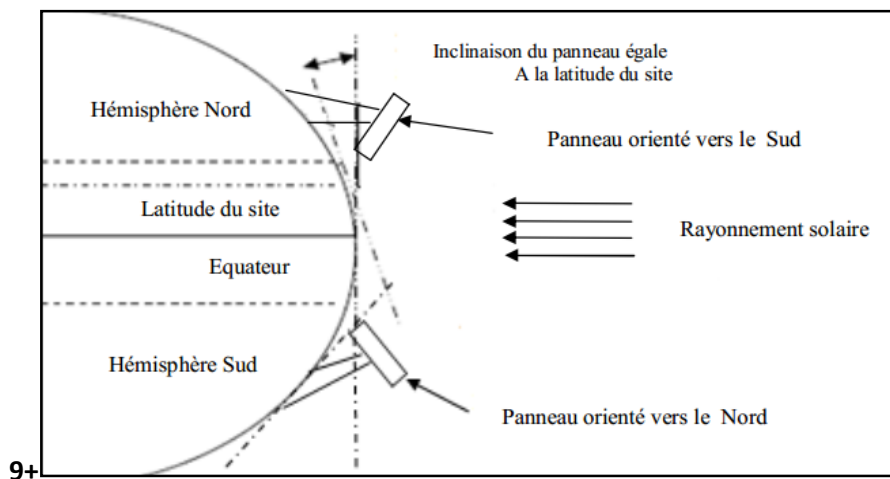


Figure II-5 : Représentation de l'orientation des panneaux solaire.

## II.7- Suiveur solaire :

Différentes conceptions des suiveurs solaires sont proposées, et le fonctionnement de la plupart dépend des capteurs, et du contrôle du temps. L'ancien type de suiveur exige que la position du soleil soit déterminée par des capteurs de photocellules, et la précision de ce type de commande dépend du nombre de capteurs dans tous les sens, tandis que le plus récent comporte la détermination locale de (latitude et longitude) du site de l'installation, ainsi que le jour et la période de l'année à l'aide des équations qui décrivent la voie de piste solaire dans le ciel, qui peut être estimé.

Des suiveurs solaires peuvent être divisés en deux types principaux selon le type de la commande et de la sensibilisation du système de positionnement qu'ils incorporent :

### II.7-1-Les types de suiveur solaire :

#### II.7-1-1-Suiveur solaire passifs :

Un suiveur solaire passif est constitué dans son architecture de deux tubes en cuivre monté sur les cotés est et ouest du capteur. Le tube de matière cuivre figure(II.6) est rempli de fluide chimique capable de se vaporiser à basse température. En effet, lorsque l'exposition au rayonnement solaire augmente, la température d'un coté 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 coté ombragé. Cette opération de transfert de masse ajuste l'équilibre du capteur en le faisant tourner vers la source des rayons solaires. Ce type de suiveur ne consomme aucune énergie pour le positionnement du panneau [13].

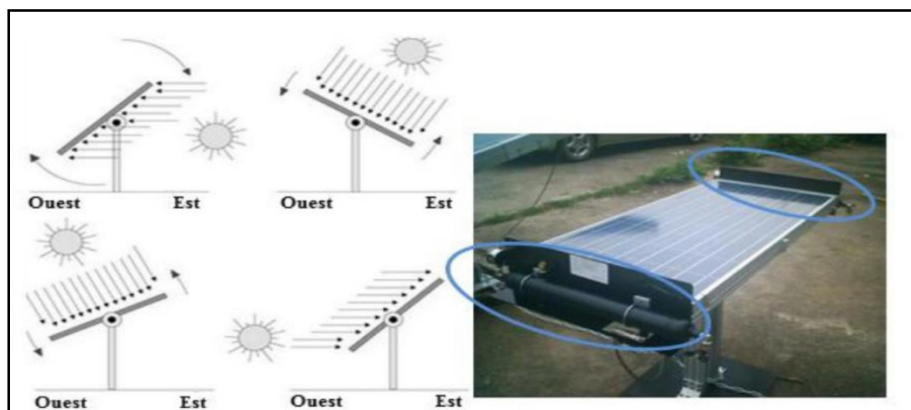


Figure II.6: Suiveur solaire passif.

#### II.7-1-2-Suiveur solaire actifs :

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 de cette famille : les suiveurs mono-axe et double axes. L'avantage de suiveur actif par rapport à suiveur passif c'est qu'il représente une meilleure précision de suivi et ne nécessitent aucune intervention manuelle pour les ajuster.

### II.7-1-2-1-Suiveur solaire mono-axe :

Le suiveur solaire mono-axe 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 fixé, il est placé selon l'angle le plus propice à recevoir le maximum de rayon du soleil durant toute l'année. est selon la latitude du lieu où le capteur est déposé. Ainsi l'angle d'inclinaison du panneau reste constant mais son azimut varie au cours de la journée. Le système de poursuit mono-axial est la solution la plus simple et la plus utilisée [14].

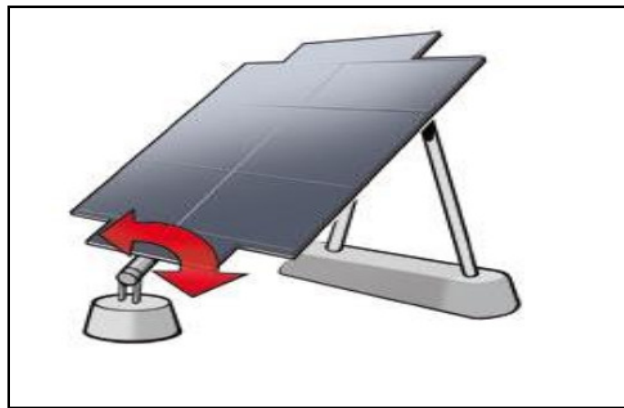


Figure II.7 : Orientation du suiveur mono-axe.

### II.7-1-2-2-Suiveur solaire double axes :

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 [14].



Figure II.8 : Orientation du suiveur double-axe.

## II.8-Suiveur en boucle ouverte:

Le suiveur en boucle ouverte détermine la position du soleil en utilisant des algorithmes commandés par ordinateur ou des systèmes de synchronisation, elles n'emploient aucune sensibilisation mais déterminent à la place la position du soleil par des données préenregistrées pour un emplacement particulier.

D'ailleurs le processus traqueur solaire peut être mis en application en utilisant un axe incliné près de l'angle de la latitude du site, et la rotation de suivi est déterminée par l'angle horaire ( $w$ ).

Cependant pour une précision plus élevée, un système de suiveur du soleil à deux axes est recommandé pour un système à deux axes, deux types sont différents: suiveur équatorial polaire et suivre 'azimut/élévation (altitude-azimut).

### II.8-1-Types de suiveur en boucle ouverte : [15]

Trois types de suiveurs sont considérés, suiveur équatorial et suiveur Azimut/élévation, en raison de leur importance et large utilisation, ces trois types incluent un plan fixe, un seul axe de suivi horizontal, un axe suiveur équatorial avec  $\beta = \varphi$  (support polaire), un suiveur de deux axes azimut/élévation.

#### II.8-1-1- Suiveur à axe de suivi :

Le plan de ce type de suiveur est incliné à un angle de latitude de lieu dirigé en plein sud et l'angle de suivi égal à l'angle horaire.

$$\rho_2 = \beta = \Phi : \text{angle de latitude} \quad \rho_1 = w : \text{angle horaire et } \theta_i = \sigma$$

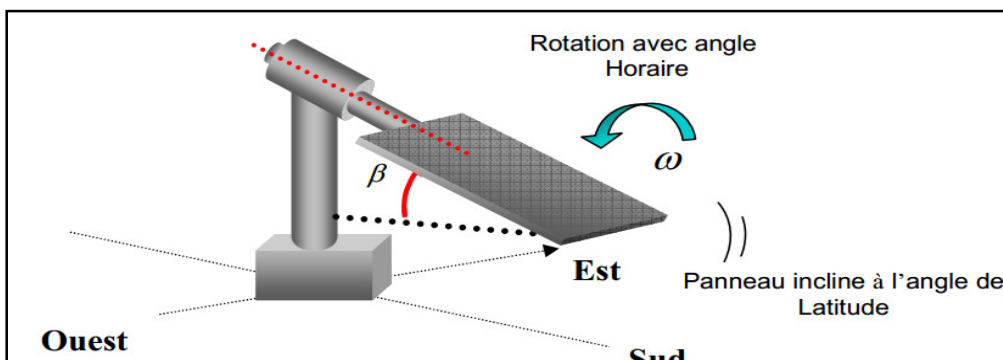


Figure II.9: Suiveur à un seul axe avec angle d'inclinaison de Latitude.

### II.8-1-2- Suiveur équatorial :

Dans ce type de suiveur le panneau est incliné par l'angle local  $\Phi$  (latitude), et l'angle de suivi  $\rho_1$  de cet axe tourne avec un angle égale à l'angle horaire  $\omega$  l'angle de suivi  $\rho_2$  du deuxième axe tourne avec un angle égale à l'angle de  $\rho_2 = \Phi - \delta$  la variation horaire de l'angle de déclinaison est considérée très lente : par conséquent l'orientation de ce dernier peut être ajustée une ou plusieurs fois par saison [15].

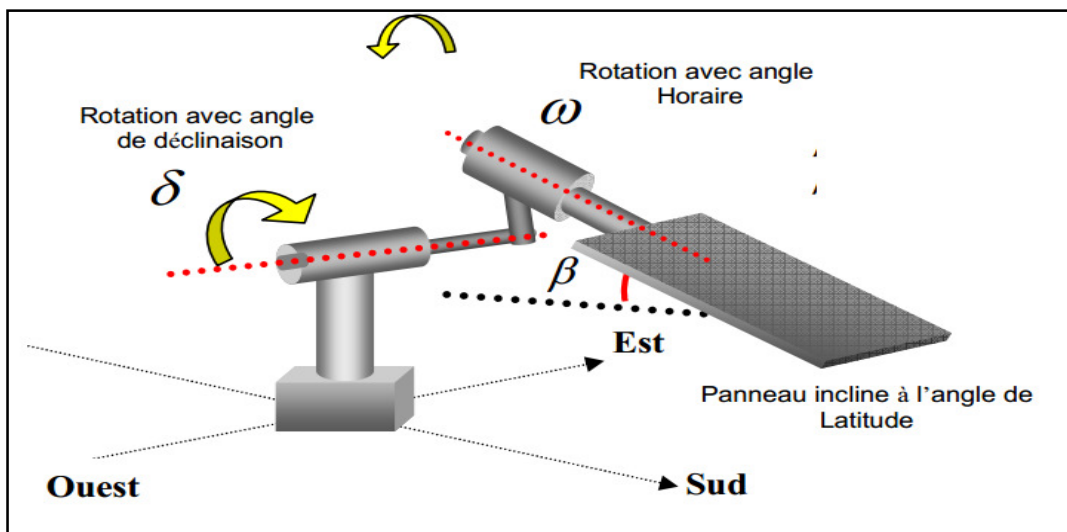
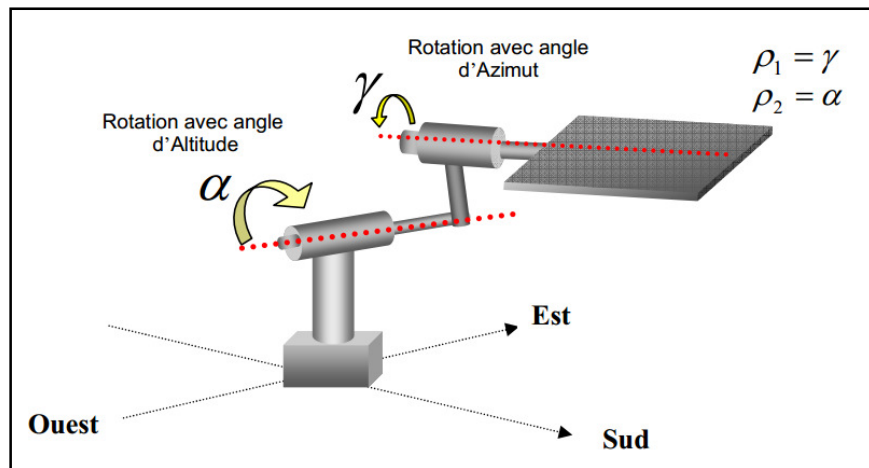


Figure II.10 : Suiveur a deux axes avec angle d'inclinaison de Latitude.

### II.8-1-3-Suiveur azimut/élévation :

L'idée consiste à la rotation d'axe autour de zénith avec un angle de rotation égal à l'angle d'azimut  $\rho_1 = \gamma$ . Tandis que l'autre axe est parallèle à la surface de la terre et tourne avec un Angle de rotation égale à l'angle d'altitude  $\rho_2 = \alpha$ .

Les suiveurs d'altitude/azimut emploient des données ou des algorithmes astronomiques de position du soleil pour déterminer la position du soleil pendant n'importe quelles heures et endroit donnés. Le lieu, la date et le temps de suiveur sont saisis par un micro contrôleur pour fixé la position du soleil [15].



**Figure II.11 :** Suiveur a deux axes Azimut/Elévation.

Une fois que la position est calculée par le microcontrôleur, les modules sont déplacés à l'aide des moteurs à courant continu. Cet avantage principal de ce système est que la position du soleil peut être déterminée indépendamment de la couverture du nuage.

En outre des variations saisonnières du position du soleil sont prises en considération.

### II.9- Les suiveurs synchronisés :

Ceux-ci emploient un temporisateur pour déplacer le suiveur à travers le ciel par accroissement des mouvements tout au long du jour. Les modules doivent être perpendiculaires aux rayons du soleil. Les suiveurs de ce type peuvent utiliser un ou deux axes selon le pas qui compte la variation saisonnière du position du soleil [15].

### II.10- Suiveur en boucle fermée:

Sont ceux qui utilisent des capteurs de lumière, les photocellules pour déterminer la partie plus lumineuse dans le ciel leur principe de fonctionnement est basé sur la différence de potentiel reçue de chacune.

Quand la différence n'est pas nulle, alors le panneau n'est pas aligné correctement et une différence de potentiel est générée pour commander le moteur vers la position dont la différence soit nulle, quand la différence est nulle alors aucun courant ne circule dans le moteur et le panneau devra être arrêté [15].



**II.11-Les avantages et les inconvénients des suiveurs solaires :****II.11-1-Les inconvénients :**

Le suiveur solaire présent les inconvénients suivant :

- Le cout d'investissement initial (surtout pour le suiveur à deux axes) est élevé.
- La maintenance des suiveurs, car les systèmes mécaniques atteignent rarement une durée de vie de 20 ans.
- Pour les raisons de sécurité, les panneaux solaires doivent être parallèles au sol lors de vent forts.

**II.11-2-Les avantages :**

Le suiveur solaire présent les avantages suivant :

- Les systèmes de suivi solaire sont utilisé pour orienté les capteurs continuellement vers le soleil et peuvent aider à minimiser l'investissement en augmentant le rendement des capteurs.
- La surface du parc solaire est réduite tout en grand le même potentiel.
- Exploitation optimal du rayonnement solaire même en présence des nuages.
- Gain intéressant, notamment aux heures de la journée les moins ensoleillées.
- Simplicité de mise en œuvre.

**II.12-Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons présenté les méthodes de poursuite mono-axe et doubles axes.

Nous avons aussi présenté un état de l'art sur les méthodes du système de poursuite, la méthode de capteur de lumière (LDR) et la méthode à base d'équation astronomique.

Dans ce chapitre, nous avons parlé sur les suiveurs solaires en boucle ouvert et boucle fermé.

# Chapitre III

## **Réalisation système suivre solaire**

### **III.1-Introduction :**

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

Dans ce chapitre, on présentera une vue d'ensemble du dispositif expérimental que nous avons réalisé suiveur solaire.

Ce système constitué de plusieurs parties mécanique et qui sert à supporter le panneau et le diriger vers le rayonnement perpendiculairement au soleil et également une partie électrique constituée d'un relais statique et des capteurs solaires. La partie commande est constituée d'une carte Arduino.

Donc, le bon fonctionnement de notre système se base essentiellement sur l'assemblage de différentes parties.

### **III.2-Schéma synoptique :**

Notre système de poursuite contrôle le mouvement d'un capteur solaire au moyen d'un programme informatique. Le module est orienté sur les deux axes automatiquement, le soleil sur une trajectoire bien définie grâce à des équations astronomiques traduit en programme réalisé à l'aide d'une carte électronique. Notre système de commande est expliqué par la figure (III-1). Il est constitué de deux parties : la partie commande et la partie opérative.

La partie commande comporte un microcontrôleur ArduinoMega298N, la partie opérative comporte un relais statique et sont liés avec deux motoréducteur, assurant le mouvement horizontal du module par la variation de l'angle azimut et l'autre assure le mouvement vertical par la variation de l'inclinaison.

Les informations concernant la trajectoire à suivre seront traitées par les Arduino Mega et envoyées sous forme d'impulsions peut être exécutées par un relais statique. Les entrées de ce dernier suivent une table logique les impulsions livrés par les sortie de Arduino Mega, lui permettent diriger les motoréducteurs de repositionner le panneau face au rayonnement solaire.

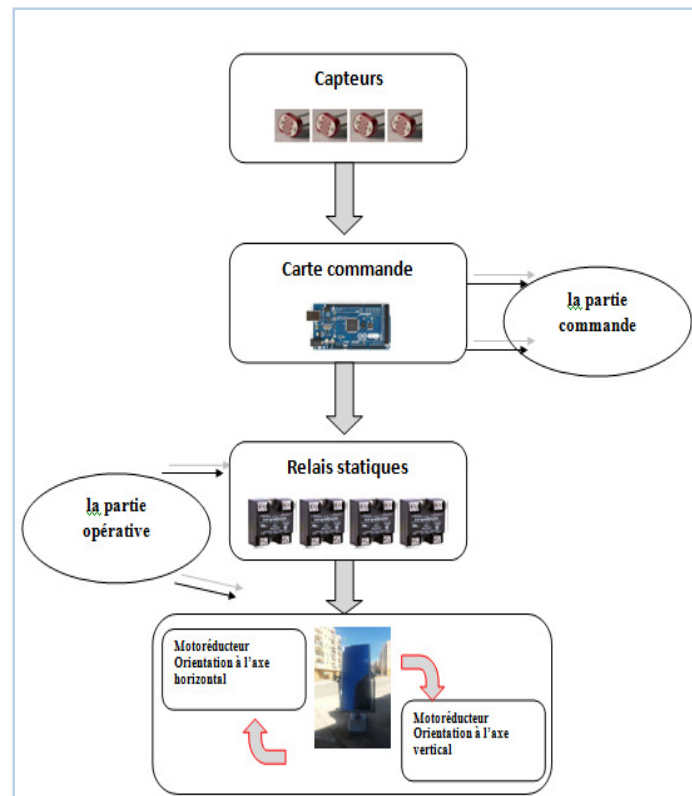


Figure III.1: Schéma synoptique.

### III-3.Réalisation du suiveur solaire:

Notre réalisation peut être décomposée en trois parties :

- Partie mécanique : support, les roulements, liaison pivot.
- Partie électrique : motoréducteur, câblage, condensateur.
- Partie commande : Arduino.

#### III.3-1-Partie mécanique :

Pour que la production photovoltaïque soit maximale, les rayonnements provenant directement du soleil doivent avoir un angle d'incidence égale à  $90^\circ$  illustre a la figure (III-2). Le pointage du panneau donc optimal lorsque la normale au plan du panneau, en son centre, est diriger vers le soleil.

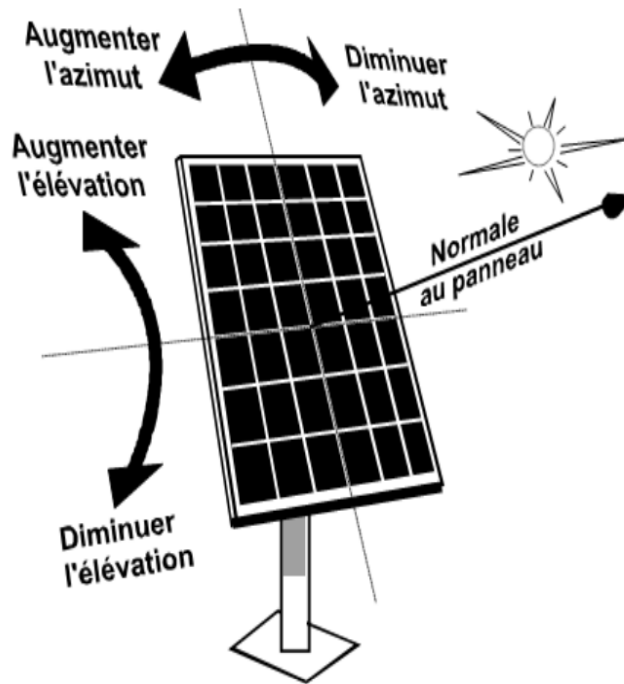


Figure III.2: schéma de fonctionnement de suiveur.

### III.3-1-1-Description de la structure :

Notre structure mécanique est constituée de deux parties mobiles. Une partie sur l'axe horizontal pour la variation de la déviation du panneau par rapport au soleil et l'autre partie sur l'axe vertical pour la variation d'azimut du panneau figure (III-3).



Figure III.3 : Structure mécanique du suiveur solaire.

### III.3-1-2-Orientation de l'axe horizontal (élévation) :

L'élévation minimale du soleil est obtenue à son lever et à son coucher et égale à  $0^\circ$  (horizontal). L'élévation maximale du soleil est fonction de latitude du soleil.

En fait, dans la configuration d'origine, les fins de courses des motoréducteurs d'élévation qui est réglées par rapport à l'élévation max et min du soleil figure (III-4).



Figure III.4 : Orientation horizontal du panneau photovoltaïque.

### III.3-1-3-Orientation de l'axe vertical (l'azimut) :

Le mouvement sur l'axe d'azimut est un angle varie entre  $[0^\circ, 180^\circ]$ . Au matin  $[0^\circ, 90^\circ]$  et l'après-midi de  $90^\circ$  à  $180^\circ$ . Il faut orienter le milieu de l'angle de mouvement sur l'axe vertical vers le sud ou l'azimut égal  $0^\circ$ . L'emplacement de la fin de cours est  $[0^\circ, 180^\circ]$  du point milieu figure (III-5).



Figure III.5 : Motoréducteur contrôler d'azimut.

### III.3-1-4-Motoréducteur:

Le motoréducteur est un appareil composé d'un moteur et d'un réducteur. Le but qu'on recherche en utilisant un motoréducteur est réduire la vitesse du moteur tout en augmentant le couple. On retrouve des axes moteurs déportés qui interviennent dans la réduction de la puissance. Les axes positionnés perpendiculairement par rapport à l'axe de sortie ont aussi une grande influence sur l'augmentation du couple et la réduction de la vitesse d'un motoréducteur **annexe 01** .

On distingue généralement trois grands types des motoréducteurs. Il s'agit du micro motoréducteur, des motoréducteurs moyens et des gros motoréducteurs. Chacun de ces motoréducteurs est utilisé dans la fabrication de certains appareils. Nous utilisons le motoréducteur moyens figure (III-6) Ce type est utilisé pour le couple, le poids, la tension.



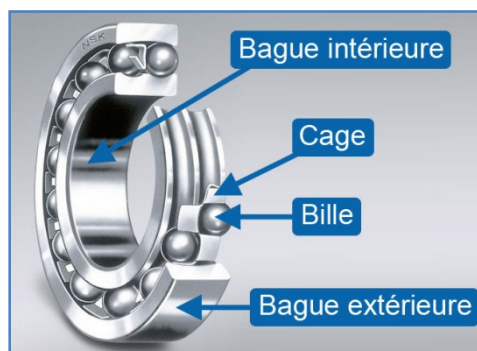
Figure III.6 : Motoréducteur

### III.3-1-5-Roulement :

En mécanique, un roulement est un dispositif destiné à guider un assemblage en rotation, c'est-à-dire à permettre à une pièce de tourner par rapport à une autre selon un axe de rotation défini. Le roulement est donc un palier. Par rapport aux paliers lisses, le roulement permet d'avoir une très faible résistance au pivotement tout en supportant des efforts importants. Il y en a plusieurs types on dans l'industrie utilisant Le roulement à billes illustre sur la figure (III-7), est un organe permettant la rotation d'un élément tournant, appelé aussi "arbre" ou "palier", par rapport à un élément fixe.

Les composants essentiels des roulements à billes les plus courants sont : la bague extérieure, la bague intérieure et les billes, le plus souvent en acier traité, et la cage, qui peut être en métal ou en matière plastique ou composite. La cage maintient les billes en position les unes par rapport aux autres et entre les deux bagues **annexe 02**.

La surface de contact entre les billes et une bague est appelée "chemin de roulement". Les billes roulent sur cette surface. Le tout est lubrifié à la graisse ou à l'huile, pour diminuer les frottements et l'usure. Le roulement peut être équipé de joints pour retenir le lubrifiant et empêcher l'entrée de poussières ou d'impuretés.



**Figure III.7 :** Le roulement à billes.

### III-3-1-5.Liaison pivot :

La liaison pivot est la plus rencontrée dans les systèmes mécaniques. Elle guide en rotation une pièce en ne permettant qu'une rotation autour de l'axe de la liaison illustre à la figure(III-8)



**Figure III.8 :** Liaison pivot



### III-3-1-5.Principe de conception d'une liaison pivot avec roulements :

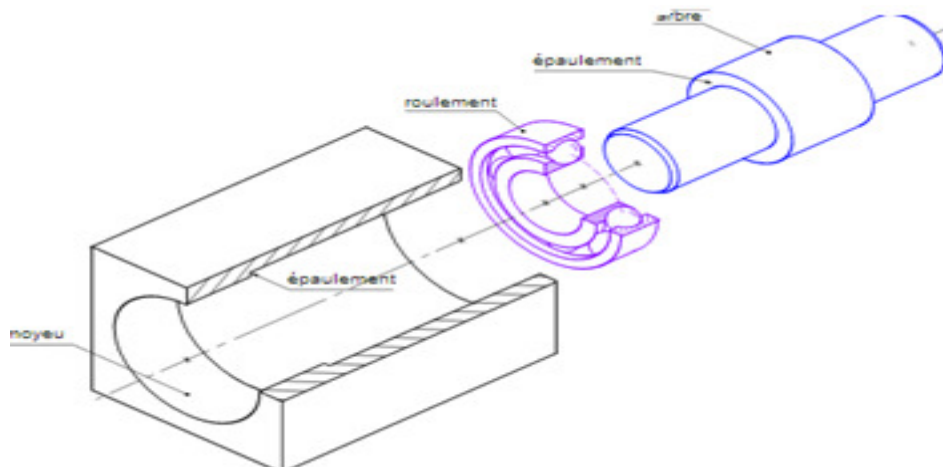
Le mécanisme considéré comporte deux composent (liaison pivot, roulement) tourner l'un par rapport à l'autre figure (III-9), nous sommes donc en présence d'une liaison pivot. La liaison se fait entre deux pièces cylindriques :

- une pièce mâle appelée « arbre ».
- un logement appelé « moyeu ».

Les roulements s'interposent entre l'arbre et le moyeu. Les efforts du mécanisme ont tendance à faire bouger l'arbre par rapport au moyeu. On distingue :

- les charges radiales : ce sont des forces perpendiculaires à l'axe de rotation, donc orientées selon les rayons des cylindres.
- les charges axiales : ce sont des forces parallèles à l'axe de rotation.

Les roulements sont faits pour s'opposer aux forces radiales, à l'exception des butées à billes. Pour que les roulements ne glissent pas sous l'effet des forces axiales, ils doivent être bloqués par des obstacles comme des épaulements ou des entretoises **annexe 03** ..



**Figure III.9** : Assemblage d'une liaison pivot assuré par des roulements à billes.

### III.4-Partie électrique :

#### III.4-1-Couplage d'alimentation du motoréducteur:

Les motoréducteurs sont des moteurs très robustes qui nécessitent peu d'entretien. Ils sont très utilisés dans l'industrie. Le motoréducteur dispose d'une plaque à bornes où sont disponibles les extrémités des enroulements du stator, On choisit le couplage étoile ou triangle en fonction des caractéristiques du moteur illustre à la figure (III-10). La plaque signalétique d'un motoréducteurs précise toujours deux tensions de fonctionnement possibles, on a utilisant couplage triangle lorsque la tension entre phases (tension composée) du réseau d'alimentation est égale à la tension de fonctionnement la plus basse.



Figure III.10 : Plaque de couplage du moteur .

#### III.4-2-Condensateur :

En domaine électrique, Le condensateur c'est très utilisé en électronique utilisé comme (stabilisation tension, filtre passe haut...), mais dans l'industrie de l'électrotechnique et l'électromécanique, elle assure le rôle de démarrage du moteur en générale **annexe 04** .



Figure III-11 : Couplage électrique utilise.

### III.4-3-Alimentation du motoréducteur ou réseau monophasé :

Pour que le motoréducteur fonctionne sur réseau monophasé on utilise le montage sur la figure (III-12), qui permet de faire fonctionner un motoréducteur triphasé sur un réseau monophasé par ajout d'un condensateur qui va créer une phase supplémentaire déphasé de  $90^\circ$ , ce montage provoque une baisse importante du couple sur l'arbre moteur.

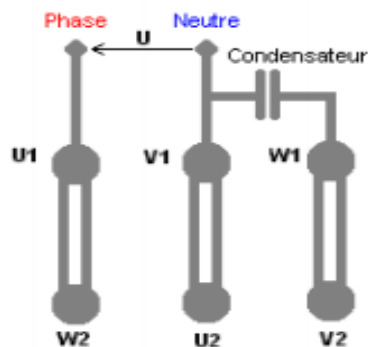


Figure III.12 : Schéma de câblage en triangle.

### III-4-4.Relais statiques :

Le relais statique est composé d'un assemblage de composants électroniques, en particulier des semi-conducteurs illustre sur la figure (III-13). Comme un relais électromécanique, il dispose au minimum, coté une paire de connexions pour la coté commande, et d'une ou plusieurs paires de pôles pour la puissance. Pour la partie commande, une isolation galvanique entre le circuit de commande et le circuit de puissance, tout en ne nécessitant qu'un courant de quelques dizaines de milliampères. Le circuit de puissance est constitué par des composants électroniques de puissance, tels que le thyristor, le GTO, le triac ou l'IGBT.



Figure III.13 : Relais statiques.

### III.4-4-1-Avantages du relais statique :

Le relais statique présente les avantages suivants :

- Courant de commande faible.
- Temps de réponse faible : précision du moment de commutation au niveau puissance.
- Commutation rapide : fréquence de commutation élevée.
- Excellente durée de vie.
- un fonctionnement pratiquement silencieux.

### III.4-4-2-Inconvénient du relais statique :

Le relais statique présente les inconvénients suivants :

- Difficulté d'inclure dans un même boîtier des contacts multiples.
- Pertes par effet joule importantes.
- Coût élevé dus à la complexité de fabrication.
- Echauffement selon les courants.

### III.4-5-Capteur de lumière :

Nous avons utilisé un capteur à base de photorésistance pour réduire le prix de revient, et simplifier le fonctionnement. Le principe que nous avons adopté est classique, il consiste à contrôler l'égalité d'éclairement de 4 détecteurs répartis dans les 4 quadrants deux capteurs de l'axe vertical et les deux autres de l'axe horizontal.

#### III.4-5-1-La photorésistance :

Les capteurs de lumière sont des composants réalisant la conversion de signal lumineux en signal électrique illustré à la figure (III-14).



**Figure III.14 :** Schéma d'un capteur de lumière.

### III.4-5-2-Fonctionnement :

Une photorésistance est un composant électronique dont la résistivité varie en fonction de l'augmentation de lumière qui l'attient. On peut également le nommer résistance photo-dépendant (light-dépendent resistor (LDR) ou photoconducteur illustre sur la figure (III-15).

Une photorésistance est composée d'un semi-conducteur à haut résistivité. Si la lumière incidente est de fréquence suffisamment élevée, les photons absorbés par le semi-conducteur donneront aux électrons liés assez d'énergie pour sauter dans la bande de conduction, les électrons libres (avec leur trous d'électron) ainsi produit abaissant la résistance de l'ensemble.

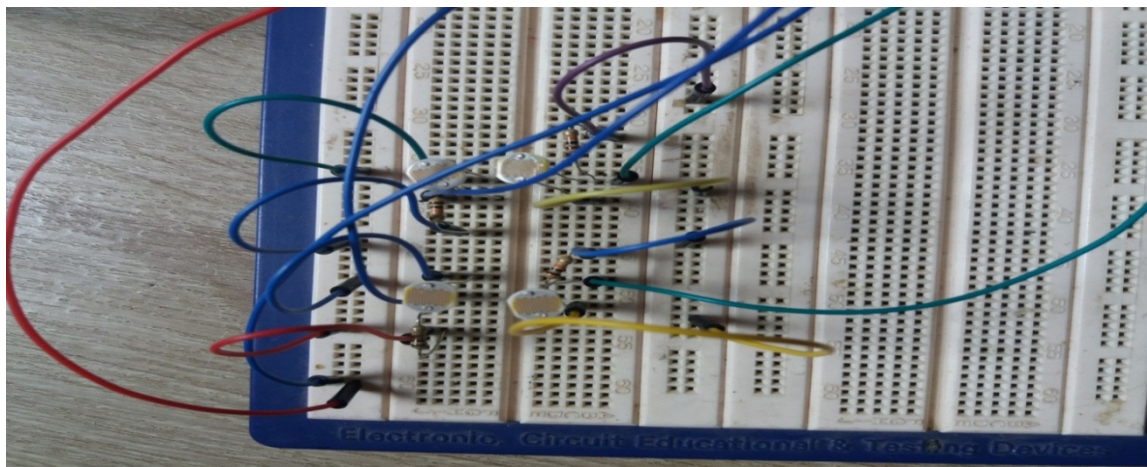


Figure III.15 : photoconducteur.

### III.4-5-3-Réalisation :

Le montage est basé sur un diviseur de tension figure (III-16).

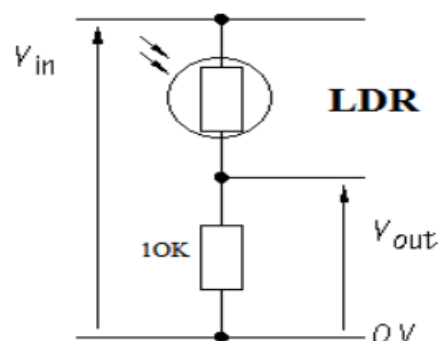


Figure III.16 : Branchement de résistance LDR en diviseur de tension.

Avec :

$$V_{\text{out}} = \frac{R}{R + R_{\text{LDR}}} R_{\text{LDR}} * V_{\text{in}}$$

$V_{\text{in}}$  : tension de capteur d'alimentation (5v).

$R_{\text{LDR}}$  : résistance de LDR.

R : 10000

$V_{\text{out}}$  : tension de la sortie du capteur (dépend de la lumière).

Les 4 capteurs sont posés sur le même plan.

### **III.5-partie de commande :**

Le partie commande de notre système est basé complètement sur un circuit programmable dit « Arduino », l'avantage de ce dernier est de minimiser la surface de la carte électronique donc en minimisant l'utilisation des quantités des composants électronique.

#### **III-5-1-La carte Arduino Méga : [16]**

##### **III.5-1-1-Spécifications techniques :**

La carte ArduinoMega 2560 est une carte à microcontrôleur basée sur un ATmega2560 illustre sur la figure (III-17) , elle dispose :

- 54 broches numériques d'entrée/sortie (dont 14 peuvent être utilisées en sorties PWM (largeur d'impulsion modulée)).
- 16 entrés analogiques (qui peuvent également être utilisées en broches entrées/sorties numériques).
- 4 UART (port série matériel).
- Une carte 16 Mhz.
- Une connexion USB.
- Un connecteur d'alimentation jack.
- Un connecteur ICSP (programmation "in-circuit").
- Un bouton de réinitialisation (reset).

- Une mémoire programme FLASH (de 256 KB dont 8KB sont utilisées par le boot loader).
- Une mémoire SRAM (mémoire volatile) de 8KB.

Elle contient tout ce qui est nécessaire pour le fonctionnement du microcontrôleur. Pour pouvoir l'utiliser, il suffit simplement de la connecter à un ordinateur à l'aide d'un câble USB.

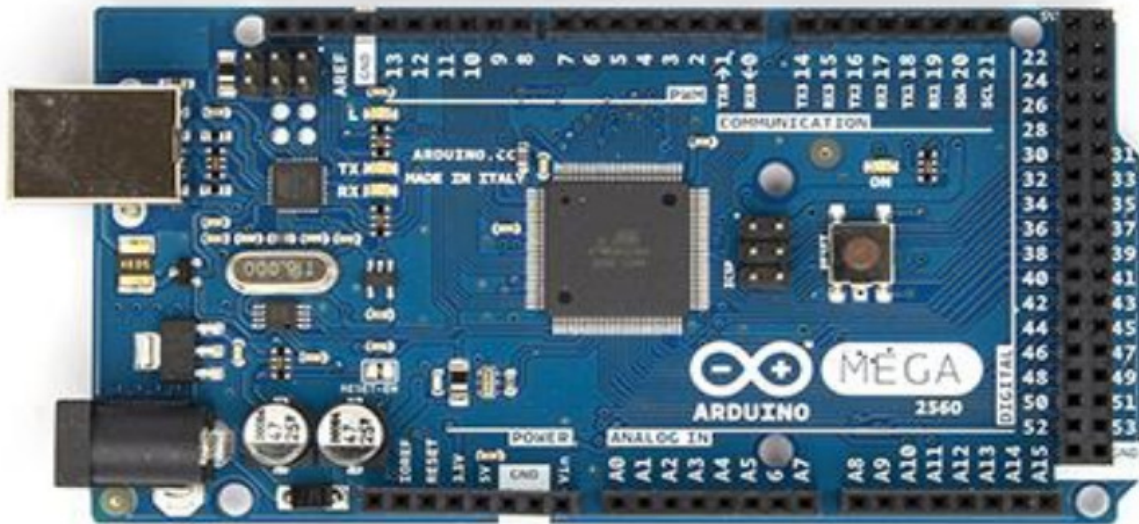


Figure III-17 : La carte Arduino Mega 2560.

### III.5-1-2-Alimentation :

La tension de fonctionnement de la carte ArduinoMega 2560 est de 5v et son courant maximal disponible par broche entrée/sortie et de 40 mA. Peut être alimentée via la connexion USB (qui fournit 5v jusqu'à 40 mA) soit à l'aide d'une connexion externe. La source d'alimentation est sélectionnée automatiquement par la carte.

L'alimentation externe (non-USB) peut être soit un adaptateur secteur (peut fournir typiquement 3v à12v sous 500mA) ou des piles (9v). L'adaptateur secteur peut être connecté en branchant une prise jack 2.1mm positive au centre dans le connecteur jack de la carte.

Les files en provenance de bloc des piles ou d'accus peuvent être insérées dans les connecteurs des broches de la carte appelée Gnd (masse ou 0v) et Vin (tension positif en entrée) du connecteur d'alimentation.

La carte peut fonctionner avec une alimentation externe de 6 à 20 volts. Cependant, la carte est alimentée avec moins de 7v, la broche 5V pourrait fournir moins de 5V et la carte pourrait être instable. Si on utilise plus de 12V, le régulateur de la carte pourrait chauffer et endommager la carte. Aussi, la plage idéale recommandée pour alimenter la carte est entre 7V et 12V.

### III.5-2-Programmation :

La carte ArduinoMega 2560 est une carte programmable, on peut la programmer avec le logiciel Arduino. Il suffit de sélectionner «'ArduinoMega'» dans le menu Outils» le type de la carte.

La figure (III-18) représente l'interface du logiciel Arduino.

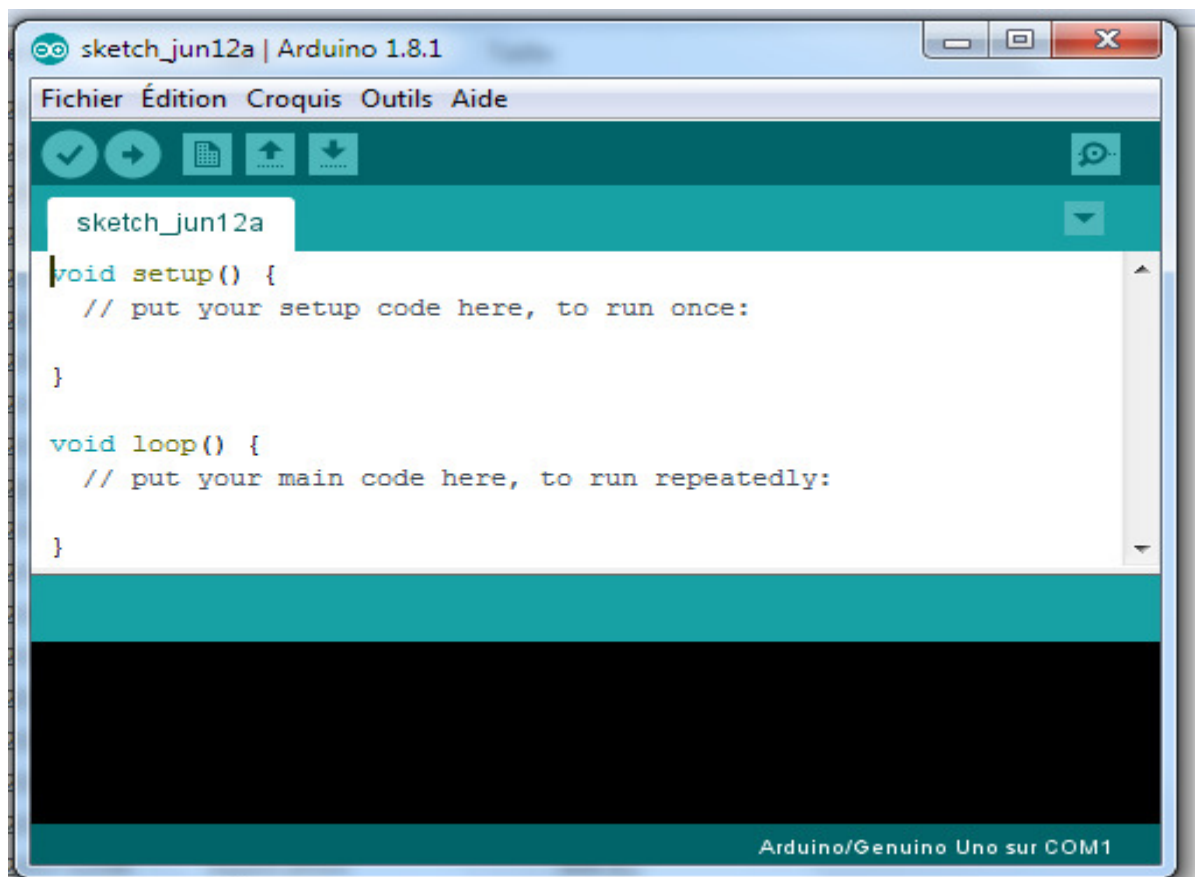


Figure III.18 : Interface de logiciel Arduino.



### III.5-3-Description du programme :

Un programme Arduino est une suite d'instructions élémentaires sous forme textuelle (ligne par ligne). La carte lit puis effectue les instructions les unes après les autres dans l'ordre défini par les lignes de codes, Nous avons suivi plusieurs façons d'écrire le programme, qui est divisé en trois modules de base, comme suite :

#### III.5-3-1-Définition des variables :

Au début, on déclare toutes les variables utilisées puis on initialise les ports de l'Arduino comme des sorties on déclare les variables et pin (broches) utilisés par les moteurs et déclaration des variables des capteurs broche et certaines conditions comme montre sur la figure (III-19) :

```
// attribution de la broche pour sens Azimute
int DroiteAz = 2;
int GaucheAz = 3;
// attribution des broches vitesse des deux moteurs ( Azimute et Hauteur)
int haut = 4;
int bas = 5;
// attribution des broches aux capteurs de lumière

int capteurEst = A2;
int capteurOuest = A3;
int capteurHaut = A4;
int capteurBas = A5;

// déclaration de la variable lumière pour le teste de lumière mini utile au programme
int lumiere = 0 ;
int soleil = 0 ;
int soleilMaxi = 1000;
```

Figure III.19 : déclarations toutes les variables utilisées.

#### III.5-3-2-Configuration des entrées et des sorties :

Les broches numériques de l'Arduino peuvent aussi bien être configurées en entrées numériques ou en sorties numériques, dans la boucle (**void setup**) on initialise les entrées on définit le sens des moteurs aussi la déclaration de communication ce qui signifie initialise la vitesse de communication avec le Pc pour le texte de vérification sur la figure (III-20).

```

void setup()
{
// declaration des broches en sortie :
pinMode (DroiteAz,OUTPUT);
pinMode (GaucheAz,OUTPUT);
pinMode (haut,OUTPUT);
pinMode (bas,OUTPUT);
//declaration de communication
Serial.begin (9600);initialise la vitesse de communication avec le pc pour le texte de vérification
}

```

**Figure III.20 :** configurées en entrées numérique ou en sorties numériques.

### III.5-3-3-Programmation des interactions :

Dans la boucle (**void loop**) on définit les opérations à effectuer dans l'ordre et autre fonctions relatives aux (entrées – sorties) numériques, aussi Il écrit certaines conditions et relations arithmétiques pour la réussite du programme illustre sur la figure (III-21).

```

void loop() {
// Prend la valeur des capteurs lumière
valeurCapteurEst = analogRead (capteurEst);// ajouter la constante 'ecart' si nécessaire après teste
valeurCapteurOuest = analogRead (capteurOuest);// ajouter la constante 'ecart' si nécessaire après teste
valeurCapteurHaut = analogRead (capteurHaut);// ajouter la constante 'ecart' si nécessaire après teste
valeurCapteurBas = analogRead (capteurBas);
//donne la variable lumière une moyenne à partir des capteur Est et Ouest pour apprécier s'il y a assez de lumière avec une valeur donné dans la boucle while
lumiere = ((valeurCapteurEst+valeurCapteurOuest)/2);
Serial.println (" si lumiere est inferieur a 100 le suiveur attend"); Serial.print ("La lumiere est egale a : ");
Serial.println ( lumiere );
delay (2000); // délai d'écriture sur le pc toute les 2 secondes
while (lumiere < 700) return;
// affiche les valeurs des capteurs de lumière
Serial.println ("Valeurs des capteurs de lumiere");
Serial.print ("Est- ");Serial.println(valeurCapteurEst); Serial.print ("Ouest- ");Serial.println(valeurCapteurOuest); Serial.print ("Haut- ");Serial.println(valeurCapteurHaut); Serial.print("Bas- ");Serial.println(valeurCapteurBas);
// nouveau la valeur des capteurs lumière
valeurCapteurEst = analogRead (capteurEst); valeurCapteurOuest = analogRead (capteurOuest); valeurCapteurHaut = analogRead (capteurHaut); valeurCapteurBas = analogRead (capteurBas);
//donne à la variable 'Soleil' une moyenne à partir de tous les capteurs pour la comparer avec la variable 'soleilMaxi' préalablement étalonné
soleil = (valeurCapteurEst + valeurCapteurOuest + valeurCapteurHaut + valeurCapteurBas ) / 4 ;
// serie d'écritures pour controle au PC
Serial.print("Le suiveur est en plein soleil si la moyenne est superieur a 500 : la moyenne est de : "); Serial.println ( soleil);

delay ( 2000); // délai d'écriture sur le pc toute les 2 secondes
// tourne en boucle tant que 'Soleil' est plus grande que la variable de comparaison 'soleilMaxi' étalonné
while (soleil > soleilMaxi)return ;
// les ligne suivantes permettent de définir quel moteur doit tourner pour être en pleine lumière et dans quel sens
}

```

**Figure III.21 :** l'écriture dans boucle void loop .

**III.5-4-Raison du choix ArduinoMega 2560:**

Nous avons utilisé la carte ArduinoMega 2560 pour les raisons suivantes :

- Elle offre décidément une capacité de mémoire et un nombre de broches numériques (entrée/sortie) impressionnants, à même de couvrir tous les besoins envisageables pour un développement complexe.
- Le logiciel Arduino compatible sous toutes les plateformes, à savoir : Windows, Linu, par contre la plupart des systèmes à microcontrôleur sont limité à Windows.
- La carte Mega 2560 a été conçue pour être compatible avec la plupart des circuits imprimés des modules prévus pour les cartes Uno, Diecimila ou Duemilanove.
- Un environnement de programmation clair et simple : l'environnement de programmation Arduino est facile.
- Elle est capable de supporter des programmes complexes qui contiennent les fonctions trigonométriques (cos, sin, arccos, arcsin), par contre, la carte ArduinoUno ne peut pas supporter ces fonctions complexes.

**III.6-Conclusion :**

La réalisation du suiveur du soleil nécessite une bonne conception mécanique et choix des composants électroniques utilisés pour ne pas compliqué le principe de commande et pour réduire la consommation de l'énergie consommé par le suiveur. Sans oublier l'efficacité du programme afin de bien suivre la position du soleil.

- Le bon choix du motoréducteur qui assure l'orientation optimale du panneau photovoltaïque.

# **Conclusion générale**

## Conclusion générale

---

### Conclusion générale :

Dans ce projet, nous avons concentré sur la conception et la réalisation d'un système de poursuite de soleil à l'aide des composants électroniques programmables (Arduino....) et des composants électriques (motoréducteur, condensateur....) et des composants mécaniques (roulement, liaison pivot....).

Le système de suivi solaire est utilisé pour diriger le capteur vers le soleil en continu, ce qui est essentiel pour les grands systèmes de mise au point et améliore considérablement les performances des capteurs.

Le but de ce projet réside au niveau de la mise en œuvre d'une solution technique permettant de transformer un panneau photovoltaïque fixe en un utilisant en un suiveur de soleil afin d'améliorer son rendement.

Notre solution consiste en l'utilisation de quatre de capteurs de lumière (LDR) placés selon une géométrie bien précise sur le support des panneaux photovoltaïques. Les signaux issus de ces quatre capteurs sont traités par l'Arduino qui commande les motoréducteurs à travers un circuit de commande.

Ce projet de fin d'étude m'a apporté de nouvelles connaissances dans le domaine des énergies renouvelable et en particulier l'énergie solaire qui est en plein essor.

Pour bien maîtriser la puissance pendant pour le panneau, on peut rajouter un contrôleur MPP qui peut extraire la puissance maximale.

# **Bibliographie**

# Bibliographie

---

## Bibliographie

[1] : 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.

[2] : MEZAIANI Faiza , «détermination du gisement solaire par traitement d'images MSG» ,Mémoire de Magister , Département d'électronique , Option :télétection , université mouloud mammeri de tizi-ouzou .

[3]:Arafa KADDOURI, «Conception et réalisation d'un suiveur solaire à deux axes», Ingénieur d'Etat en Système Electronique et Télécommunication, Université Mohamed Ben Abdellah Faculté des Sciences et Techniques Fès Département Génie Electrique, 2015.

[4] : MEKRELOUF Ali, BENYAMINA Abderrahmen, «étude et réalisation d un système suivre solaire à deux axes », diplôme licence, Département d électrotechnique, Option : commande électrique, 2011.

[5] : DUFFIE J.A., BECKMAN W.A., Solar energy thermal processes, John Wiley and Sons, New York, 1974.

[6] : ZEGHIB Ilhem, «Etude et Réalisation d'un Concentrateur Solaire», parabolique par Université MENTOURI-Constantine, 2005.

[7] : BENZAHIA Ayoub. «Réalisation d'un prototype d'un système de poursuite solaire. Master » .filière électrotechnique .option énergie renouvelable, université mouloud mammeri de tizi-ouzou,2013.

[8] : BELGHITRI Houda , «Modalisation, simulation et optimisation d'un système hybride éolien -photovoltaïque » , mémoire de Magister , département physique , option :physique énergétique , Université Abou-Bakr Belkaid de Tlemcen,2010.

[9] : LAMRI Mohamed Lamine. « Conception et modalisation d'un système photovoltaïque» .License.2015

Département génie électrique option : électromécanique, université bouira 2015/2014.

[10] : MEFLAH Aissa , « Modélisation et commande d'une chaine de pompage photovoltaïque » , Mémoire de magister , Département d électrotechnique , Université Abou-Bakr Belkaid de Tlemcen , 2011.

# Bibliographie

---

[11]: Yusie Rizala, Sunu Hasta Wibowoa , Feriyadi.application of solar position algorithm for suntracking system, international conference on Sustainable Energy Engineering and Application ELSEVIER energy procedia (32)2013p160-65.

[12]: A. Tsamda, K. Mahmoud «Développement d'un logiciel de dimensionnement des installations photovoltaïques », Mémoire d'Ingénieur d'Etat En Electrotechnique, Département de Génie Electrique, Promotion Juin 2007, Ecole Nationale Polytechnique Alger.

[13] : BOUZIANE Rabeh, Dokkar Ayoub, « Conception et Réalisation d'un Suiveur Solaire Bi-axial à Base De capteurs de lumière», Master Professionnel, Département d'électrotechnique, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, 2015/2016.

[14]: Site d'internet <http://www.solar-tracking.fr>.( consulté 06/2017).

[15] : BOUGHOUFLA Mohamed, « Conception et Réalisation d'un système de suivre solaire pour des systèmes photovoltaïques», magister en électronique, Université Mohamed Boudiaf ,2011.

[16] : Site d'internet <http://www.arduino.cc> (consultés (06/2017)).



**Annexe**

## Annexe 01 : Motoréducteur



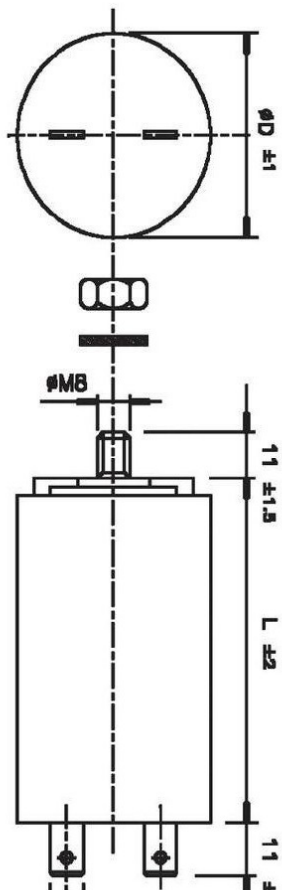
## Annexe 02 : Roulement



## Annexe 03 : Liaison pivot



## Annexe 04 : Condensateur .



## Résumé :

L'énergie solaire est une source importante d'énergies renouvelables. Nous utilisons des panneaux photovoltaïques pour convertir le rayonnement solaire en énergie électrique.

Le but de ce projet est d'améliorer la consommation de l'énergie électrique des panneaux solaires mobiles par rapport au système fixe. Nous avons utilisé une structure mécanique qui se déplace par deux motoréducteurs vers leurs circuits de commande, permettant la rotation du panneau solaire dans les directions horizontale et verticale de cette application. Nous avons également utilisé quatre capteurs de lumières et un relais statique. Ces capteurs enregistrent des tensions autant que l'intensité du rayonnement et les envoient au contrôleur (Arduino) Cet Arduino lire les valeurs des capteurs de lumières et compare ces valeurs puis donne des ordres au motoréducteur pour déplacer le système en fonction des valeurs de lecture.

**Mots clés :** suivi solaire, les capteurs de lumières, Arduino, motoréducteur, relais statique.

## ملخص:

تعتبر الطاقة الشمسية مصدرا هاما من مصادر الطاقات المتجددة حيث نستعمل الألواح الكهروضوئية لتحويل الإشعاع المنبعث من الشمس إلى طاقة كهربائية.

الهدف من هذا المشروع هو تحسين اكتساب الطاقة الكهربائية من الألواح الشمسية المتنقلة ونقارنها مع النظام الثابت.

قمنا باستعمال هيكل ميكانيكي يتحرك بواسطة اثنين من المحركات الموجهة مع دوائر التحكم الخاصة بهم مما يسمح بدوران لوحة في كل من الاتجاهين الأفقي والعمودي ، وقمنا أيضا باستعمال أربع حساسات ضوئية و مرحل سكوني تقوم هذه الحساسات بتسجيل توترات على قدر شدة الإشعاع المنبعث من الشمس وترسلها نحو المتحكم (الاردوينو) يقوم هذا الاردوينو بقراءة قيم الحساسات الضوئية ومقارنة هذه القيم وبعد ذلك يعطي أوامر للمحرك الموجه ليقوم بتحريك النظام حسب القيم المقروءة.

**الكلمات المفتاحية :** تتبع الشمسية، أجهزة الاستشعار الضوئية، اردوينو، محركات موجهة، مرحل سكوني.