

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique
UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI OUZOU



**FACULTÉ DU GÉNIE ÉLECTRIQUE ET DE L'INFORMATIQUE
DÉPARTEMENT D'ÉLECTRONIQUE**

***Mémoire de fin d'étude de
Master Académique***

Spécialité : Microélectronique

Présenté par :

M^{lle} ABBAS Nassima

Thème :

**Conception et réalisation d'un suiveur
solaire à base d'une carte Arduino nano**

Mémoire soutenu le 26/09/2018 devant le jury composé de :

M^{me} NEMMAR. F

M^{me} BOUGHIAS. O

M^{me} BOUDIA.O

M.C.B

M.A.A

M.A.A

UMMTO

UMMTO

UMMTO

Présidente

Rapporteur

Examinatrice

Remerciements

Avant tout, Je tiens à remercier

M^{me} Boughias Ouiza pour l'encadrement dans ce mémoire.

*J'adresse mes remerciements aux membres de jury pour avoir examiner et
juger ce travail.*

*Je tiens aussi à remercier ma chère famille pour son soutien,
encouragements et la bienveillance de mon bien-être et succès.*

Je tiens à remercier mes amis(e)s pour leur sincère amitié et confiance.

Je leur dois toute ma reconnaissance et mon attachement.

*A tous ces intervenants, je présente mes sincères remerciements, mon
respect et ma gratitude.*

ABBAS.N

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail a :

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études, grâce a eux que je suis arrivée jusque la aujourd'hui, j'espère qu'un jour je serai capable de leur donner au moins le minimum car quoi qu'il arrive on arrivera jamais à leur rendre tout.

*A mes chers frères, Nadjib et Houssam pour leur appui et leur encouragement,
A ma belle-sœur, Jedjiga pour son soutien moral.*

A mes chères cousines, Lynda et Céline sans elles je n'aurai jamais tenu jusque la,

A mes amis (es), pour tous les bons moments passés et a venir inchallah.

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible,

Merci d'être toujours là pour moi.

Nassima.

SOMMAIRE

Introduction générale	01
------------------------------------	----

Chapitre I : Les généralités sur les systèmes photovoltaïques

1 Introduction.....	02
2 Composants d'un système photovoltaïque (PV).....	02
2.1 Principe de fonctionnement	03
3- Générateur photovoltaïque	04
3.1 Principe.....	04
3.2 Cellules Photovoltaïques	05
a) Structure d'une cellule Photovoltaïque.....	05
b) Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque	05
c) Différents types de Cellules Photovoltaïques	07
d) Modélisation d'une cellule photovoltaïque	08
3.3- caractéristique électrique d'un générateur Photovoltaïque.....	09
a) Caractéristique courant – tension	09
b) Rendement de la conversion	11
c) Puissance délivrée par une cellule PV	12
4 - Influence de la température et du rayonnement	13
4.1 Influence de la température	13
4.2 Influence du rayonnement	14
5 Module photovoltaïque	15
5.1 Composition d'un module solaire photovoltaïque	15
5.2 Caractéristiques d'un module solaire	16
5.3 Module et groupement de cellules en série	17

5.4 Module et groupement de cellules en parallèle	18
6 Panneaux solaires	19
7 Champs photovoltaïque (PV)	20
8 Orientation des panneaux solaires.....	21
8.1 Choix de l'orientation des modules	21
8.2 Choix de l'inclinaison des modules.....	21
8.3 Trajectoire apparente du soleil	22
9 Intérêt des panneaux solaires photovoltaïques mobiles par rapport aux panneaux fixes...	23
10 Conclusion.....	24

Chapitre II : Le gisement solaire

1 Introduction.....	25
2 Le soleil.....	25
2.1 Rayonnement solaire.....	25
2.2 Les différents types de rayonnement solaire	25
2.2.1 Rayonnement global.....	25
2.2.2 Rayonnement diffus.....	26
2.2.3 Rayonnement direct.....	26
2.3 Les coordonnées du soleil.....	26
2.3.1 Coordonnées équatoriales.....	27
2.3.2 Coordonnées horizontales.....	27
2.4 Le coordonnée géographiques.....	29
2.4.1 La latitude.....	29
2.4.2 La longitude.....	29

2.4.3 L'altitude.....	29
2.5 Principes fondamentaux des suiveurs.....	29
2.6 Les types de suiveur solaire	30
2.6.1 Suiveur actif	30
3 conclusion.....	31

Chapitre III : Réalisation du suiveur solaire

Introduction.....	32
-------------------	----

PARTIE A : DESCRIPTION DES COMPOSANTS DU SYSTÈME.

1. Définition de l'Arduino.....	32
1.1 Les différentes gammes de carte Arduino.....	32
1.2 La constitution de la carte Arduino Nano.....	34
1.3 Pourquoi l'Arduino Nano.....	34
1.4 Caractéristiques techniques de l'Arduino Nano	36
2 Servomoteur	37
2.1 Le fonctionnement interne d'un servomoteur	38
3 Capteur LDR.....	40
3.1 Principe de fonctionnement	40
4 Mini Câble USB.....	42

PARTIE B : REALISATION DU SUIVEUR SOLAIRE.

1 Carte de commande de suiveur solaire	43
2 le câblage et le fonctionnement du système.....	44
3 l'organigramme.....	45
4 la programmation.....	50
5 le schéma final de notre suiveur	51
6 conclusion.....	52
Conclusion générale	53

Tableaux :

- **Tableau (III.1) :** Les différentes gammes de carte Arduino.
- **Tableau (III.2) :** Caractéristiques technique de l'Arduino Nano.

Les figures :

CHAPITRE I

- **Figure I.1 :** types d'énergie solaire.
- **Figure I -2 :** schéma synoptique du système photovoltaïque.
- **Figure I -3 :** présentation schématique d'une cellule solaire.
- **Figure I.4 :** principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.
- **Figure I.5 :** Circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque.
- **Figure I.6 :** Caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque.
- **Figure I.7:** Courbe de puissance maximale et caractéristique courant-tension.
- **Figure I.8 :** Effet de la température sur la caractéristique I-V.
- **Figure I.9 :** Évolutions de la caractéristique courant-tension avec l'énergie reçue.
- **Figure I.10 :** Module photovoltaïque.
- **Figure I.11 :** Composition d'un module PV.
- **Figure I.12.** Association de N_s cellules en série.
- **Figure I.13 :** Caractéristique $I (v)$ d'un groupement de N_s cellules en série.
- **Figure: I.14:** schéma d'un module fermé d'un groupement N_p en parallèle.
- **Figure I.15 :** Caractéristique $I (v)$ d'un groupement de N_p cellules en parallèle.
- **Figure I.16:** Exemple d'un panneau solaire.
- **Figure I.17 :** Champ de panneaux montés en série parallèle.
- **Figure I.18:** Angle d'inclinaison des modules photovoltaïques.
- **Figure I.19:** Système de coordonnées plan horizontales.
- **Figure I.20:** diagramme de comparaison entre la production avec suiveur et la production avec système fixe

CHAPITRE II

- **Figure II.1:** Rayonnement direct, diffus et global.
- **Figure II.2:** Angle horaire du soleil H .
- **Figure II.3:** Repère horizontal.
- **Figure II.4 :** représentation des angles zénith, azimut et altitude.
- **Figure II.5 :** types de suiveur solaire.
- **Figure II.6 :** suiveur mono-axe.
- **Figure II.7 :** suiveur double-axe.

CHAPITRE III

- **Figure III.1** Constitution de la carte Arduino Nano.
- **Figure III.2 :** Servomoteur chinois 9g.
- **Figure III.3 :** Servomoteur Artiom FEDOROV.
- **Figure III.4** Illustration du signal de contrôle d'un servomoteur.
- **Figure III.5** Symbole et capteur LDR.
- **Figure III.6 :** Circuit équivalent du capteur LDR utilisé
- **Figure III.7 :** Micro câble USB.

ABREVIATIONS

PV : photovoltaïque

L : Longitude

δ : Déclinaison solaire

φ : Latitude

ω : Angle horaire

Az : Angle d'altitude

θ_z : Angle de zénith

h : Hauteur solaire

β : Angle d'inclinaison

LDR : Light-dependent- resistor

IDE : Interface logiciel Arduino

ms : Milliseconde

PWM : La modulation de largeur d'impulsions

RCO : Rapport Cyclique d'Ouverture

V : Volt

Ko : Kilo octet

MHZ: Mégahertz

mA : Milliampère

DC : Direct courant

AC : Alternatif courant

INTRODUCTION GENERALE :

Depuis l'avènement de l'ère industrielle, l'homme n'a cessé de consommer ses réserves en énergies fossiles, jusqu'à se rendre compte que l'épuisement de celles-ci n'est qu'une question de siècles, voire d'années. Surtout que nos besoins en énergie croissent exponentiellement.

La question énergétique étant au centre des préoccupations actuelles, il faut aujourd'hui trouver un équilibre entre les besoins désormais vitaux en approvisionnement énergétique, la préservation de l'écologie et la maîtrise des ressources à notre disposition.

C'est dans ce contexte plus que critique, que notre intérêt pour les énergies renouvelables s'est éveillé. Celles-ci étant propres, très rapidement renouvelables voire inépuisables, elles devraient en théorie répondre à tous les besoins actuels et des générations à venir.

Parmi ces sources inépuisables, la lumière du soleil est la plus abondante. Des estimations affirment qu'en une année celui-ci diffuse vers la terre plus de 40000 fois l'énergie consommée par la population mondiale. Autrement dit, l'exploitation correcte de cette source infinie constitue aujourd'hui un enjeu de taille, car les propriétés de cette énergie répondent aux attentes environnementales comme aux attentes industrielles.

La conversion de la lumière solaire en électrique est appelé effet photovoltaïque, et la maîtrise de ce phénomène est devenue cruciale pour faire du soleil une source d'énergie fiable. En effet les pertes sont considérables ce qui fait que l'énergie reçue par les panneaux est souvent insuffisante.

Ce travail sera consacré à la conception et à la réalisation d'un suiveur solaire à base d'une carte Arduino Nano. Son objectif sera de suivre le soleil toute la journée pour maximiser la quantité d'éclairement, et ainsi optimiser le taux d'énergie électrique fournit par les panneaux photovoltaïques.

Le mémoire se déroulera en trois chapitres. Dans le premier seront présentés des généralités sur les systèmes photovoltaïques. Le deuxième chapitre se focalisera sur les propriétés du soleil que ce soit son rayonnement ou sa géométrie, nous y citerons aussi les types de suiveur et leurs principes fondamentaux. Pour finir, le troisième chapitre constituera la partie pratique du travail, nous y décrirons les étapes de conception et de réalisation de notre suiveur.

Nous terminerons ce mémoire par une conclusion et une bibliographie.

Chapitre 1 :
Généralités sur les systèmes
photovoltaïques

1. Introduction :

L'étude de l'énergie solaire nous révèle deux technologies l'une c'est l'énergie solaire thermique et l'autre l'électricité également appelée énergie solaire photovoltaïque (voir la figure1.1) [1]. Nous allons nous intéresser à l'énergie photovoltaïque car l'objectif de cette étude consiste en la réalisation d'un suiveur solaire qui est constitué de panneaux photovoltaïques.

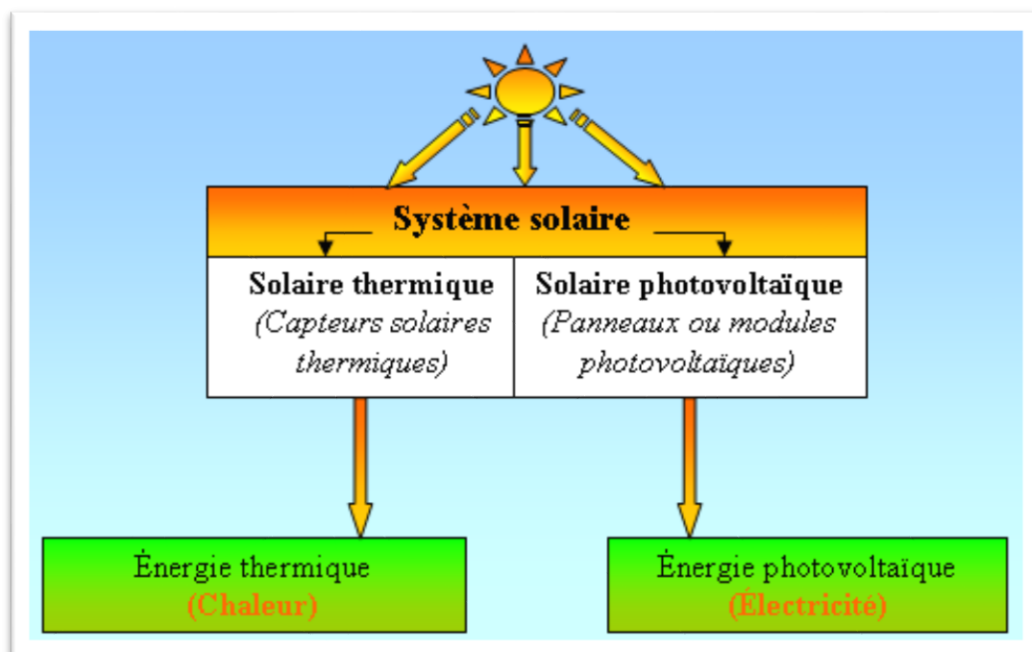


Figure 1.1 : différents types d'énergie solaire.

a) L'énergie thermique :

Le concept est de produire de la chaleur à partir du rayonnement solaire qui ce fait grâce aux capteurs thermiques [1].

b) L'énergie photovoltaïque :

Ce type d'énergie consiste en la production d'électricité grâce aux cellules solaires qui constitue un module solaire à base du silicium par exemple (figure1) [2].

2. Un système photovoltaïque (PV) :

Comme dans tout système photovoltaïque, nous avons besoin d'un module photovoltaïque mais, ce dernier ne fonctionne pas tout seul car il ne suffit pas pour alimenter une application donnée. Ceci revient à plusieurs raisons :

- Le rayonnement solaire reçu par le générateur photovoltaïque est variable sur la journée, donc le courant électrique est aussi variable.
- Le type d'énergie fourni par le générateur PV est continu alors qu'il existe des applications qui s'alimentent avec l'alternatif d'où le rôle d'un onduleur.
- Le soleil n'est pas présent la nuit alors qu'il faut alimenter toujours une application d'où le rôle des batteries.

Un système photovoltaïque est formé d'un ensemble de composants indispensables au fonctionnement de l'application. Il est constitué d'un régulateur, des batteries, d'un onduleur. La figure 2 présente un schéma synoptique d'un système photovoltaïque [3].

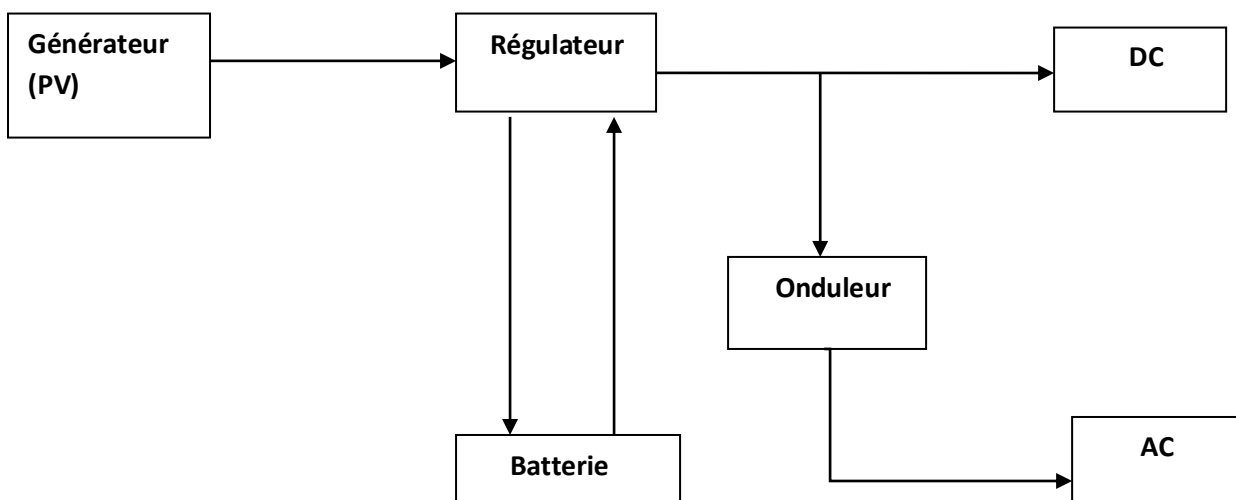


Figure 1-2 : schéma synoptique d'un système photovoltaïque.

3. 1. Principe de fonctionnement :

Le courant continu disponible aux bornes du module peut être utilisé de différentes manières en raccordant ces bornes à un circuit électrique qui l'achemine vers un ensemble de composants qui forment un « système photovoltaïque » conçu et dimensionné en fonction de l'application et de l'usage [4].

Dans un système photovoltaïque, on trouve :

- 1) une structure porteuse ou de fixation : qui sert à supporter le poids des panneaux et résister aux contraintes environnementales.
- 2) des panneaux photovoltaïques qui assurent la :
 - conversion directe du rayonnement solaire en courant continu.
 - une fonction de couverture (dans le cas d'une toiture).

3- Les composants de distribution courant continu (DC) ou alternatif (AC):

- raccorde les chaînes de panneaux entre elles.
- protège les chaînes de panneaux et les intervenants des risques électriques et atmosphériques.
- assurer l'acheminement du courant produit vers les postes de conversion.

4- L'onduleur a pour rôle de :

- convertir le courant continu en un courant alternatif
- protéger les circuits de distribution DC et les intervenants des risques électriques et atmosphériques.
- générer un courant alternatif de qualité.

5-Le système de supervision permet de:

- suivre le fonctionnement et la performance de l'installation.
- d'optimiser la production (détection d'anomalie).

6-Le compteur de production : rassure de suivre la production du système.

7-Une batterie : alimente la charge et assure le stockage de l'électricité.

3-Générateur photovoltaïque :

3-1 principes :

Un générateur (PV) est un système complet qui assure la production et la gestion de l'électricité fournie par les capteurs photovoltaïques.

L'énergie est stockée dans des accumulateurs et/ou transformée en courant alternatif suivant le type d'application [2].

3-2 Structure et principe de fonctionnement des cellules photovoltaïques :

Une cellule solaire photovoltaïque est une jonction PN éclairée. Lorsque la première partie n est mise en contact avec la deuxième partie P du même monocristal, les électrons majoritaires du côté n diffusent vers le côté p ou ils sont minoritaires en laissant derrière eux des atomes donneurs ionisés positivement. Les trous majoritaires du côté p diffusent vers le côté n ou ils sont minoritaires en laissant derrière eux des atomes accepteurs ionisés négativement. Au niveau de la jonction, création d'une zone de charge dépourvue de porteurs majoritaires libres. Cette zone de charge d'espace (ZCE) crée un champ électrique interne qui s'oppose au déplacement des porteurs majoritaires ainsi l'équilibre thermodynamique s'établit. En ajoutant des contacts métalliques sur les zones n et p, une diode est obtenue. Ces contacts métalliques doivent assurer un contact ohmique avec le semi-conducteur. Lorsque la jonction est éclairée, les photons d'énergie égale ou supérieure à la largeur de la bande interdite communiquent leur énergie aux atomes. Chacun fait passer un électron de la bande de valence vers la bande de conduction en laissant aussi un trou capable de se mouvoir et en engendrant ainsi une paire électron-trou. Lorsque cette paire est créée dans la jonction ou proche de celle-ci, elle sera séparée par le champ électrique interne.

Si une charge est placée aux bornes de la cellule, les électrons de la zone n rejoignent les trous de la zone p via la connexion extérieure, donnant naissance à une différence de potentiel (ddp) ainsi, un courant électrique circule.

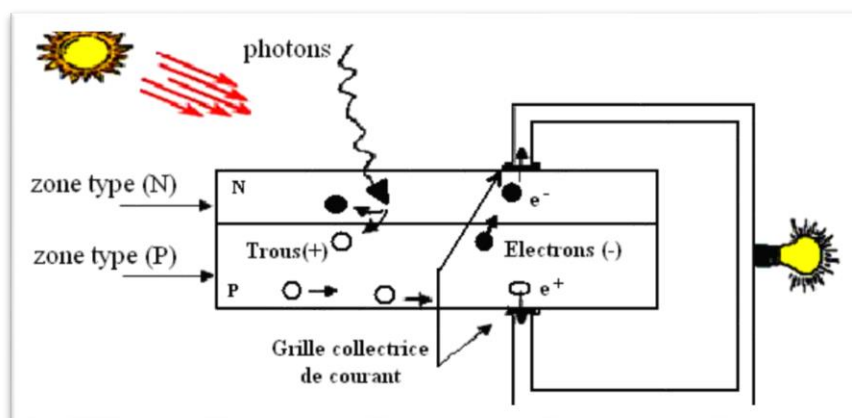


Figure 1-3 : principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

3.3 - Différents types de cellules PV :

Il existe trois types de cellules PV :

- **Cellules au silicium monocristallin** : c'est des cellules qui ont le meilleur rendement 11 à 18% (24.7% en laboratoire) avec une durée de vie de 20 à 30 ans et une très bonne performance avec une stabilité de production , utilisées principalement pour les toits et façades ,cependant elles sont très couteuses et laborieuses.
- **Cellules au silicium poly cristallin** : son rendement est plus faible 11 à 15% (19.8% en laboratoire) , durée de vie de 20 à 30 ans adaptées à la production à grande échelle avec une stabilité d'w plus de 50% du marché mondial, principalement utilisées pour les toits, façades et générateurs.
- **Cellules au silicium amorphes** : rendement très faible 5 à 8% (13% en labo) durée de vie indéterminée, peut fonctionner sous la lumière fluorescente, faible luminosité, par temps couvert ou encore partiellement à l'ombre .Sa puissance de sortie varie dans le temps, elles sont en début de vie et leurs puissances délivrées est de 15 à 20% supérieure a la valeur minimale et se stabilise âpres quelques mois, adaptées aux appareils électroniques (montres, calculatrices...) [6]

d - Modélisation d'une cellule photovoltaïque :

Une cellule photovoltaïque reste l'élément de base de tout générateur photovoltaïque quelle que soit la puissance considérable demandée. Le schéma équivalent de la cellule solaire est présenté dans la figure (1.5), qui consiste en une source de courant idéale, branchée avec une diode en parallèle, deux résistances pour tenir compte des pertes interne [3].

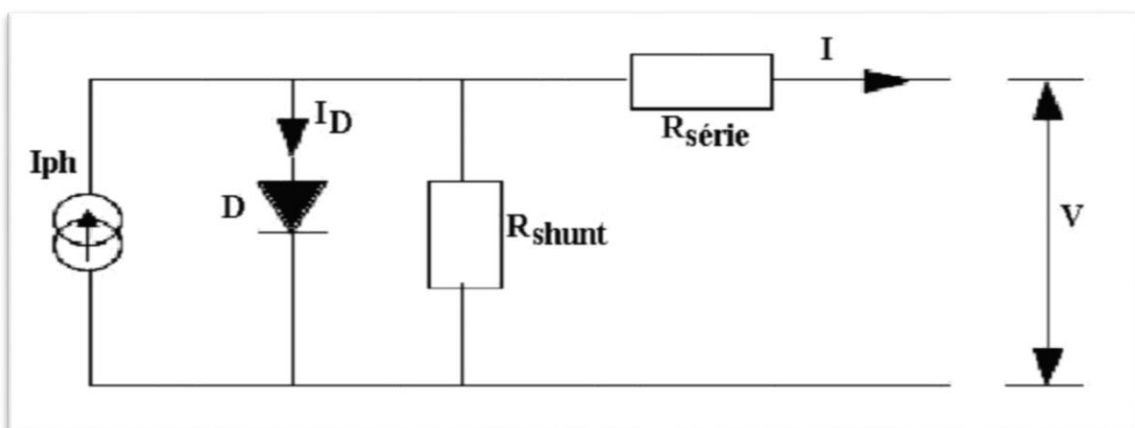


Figure 1.5 : Circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque.

R série (R_s) représente la résistance série qui tient compte des pertes ohmiques du matériau semi-conducteur, R shunt (R_{sh}) représente une résistance parallèle (ou résistance de fuite) provenant de courants parasites entre le dessus et le dessous de la cellule par le bord en particulier et à l'intérieur du matériau par des irrégularités ou impuretés. Pour prévoir ses performances, il est très important de connaître son modèle mathématique.

Selon la figure (1.5), le courant généré par la cellule photovoltaïque I est donné par :

$$I = I_{ph} - I_D - I_{Rsh} \quad (1.2)$$

Où :

I_{Rsh} le courant qui traverse R_{sh} :

$$I_{Rsh} = \frac{V + R_s \times I}{R_{sh}} \quad (1.3)$$

I_D : Le courant traversant la diode est donné par :

$$I_D = I_s \left[\exp \times q \left(\frac{V + R_s \times I}{A \times k \times T} - 1 \right) \right] \quad (1.4)$$

Avec :

I : courant fourni par une cellule (Ampère)

I_{ph} : Photo courant (Ampère)

I_D : courant diode (Ampère)

I_s : courant de saturation de la diode (Ampère)

V : tension aux bornes de la cellule (Volt)

q : la charge de l'électron ($q = 1.602 \times 10^{-19}$ C)

k : la constante de Boltzmann, $k = 1,38 \times 10^{-23}$ J/K

T : la température effective de la cellule en Kelvin (K)

A : le facteur de non idéalité de la jonction ($1 < A < 3$)

R_{sh} : la résistance shunt caractérisant les courants de fuite de la jonction

R_s : la résistance série représentant les diverses résistances des contacts et de connexions

3.3- Caractéristique électrique d'un générateur Photovoltaïque :

a- Caractéristique courant – tension :

La caractéristique courant-tension, illustrée dans la figure (1.6), décrit le comportement de la Cellule photovoltaïque sous l'influence des conditions standard (niveau d'éclairement 1000W/m^2 et température ambiante 25°C) [3].

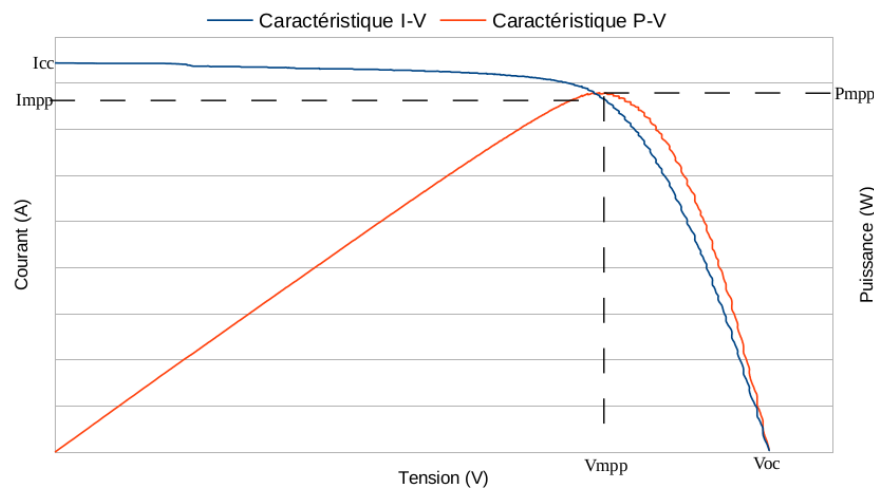


Figure 1.6 : Caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque.

La courbe caractéristique d'une cellule PV (figure 1.6) représente la variation du courant qu'elle produit en fonction de la tension à ses bornes, depuis le court-circuit, (tension nulle correspondant au courant maximum produit) jusqu'au circuit ouvert, (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 (figure 1.6) :

- Le courant de court-circuit I_{cc} ;
- La tension de circuit ouvert V_{oc} ;
- La puissance maximale p_{mpp} ;

Cette caractéristique $I = f(V)$ se met sous la forme mathématique à partir des équations (1.2), (1.3) et (1.4) précédentes comme suit [1] :

$$I = I_{ph} - I_s \left[\exp \left[q \times \frac{V + R_s \times I}{A \times K \times T} \right] - 1 \right] - \frac{V + R_s \times I}{R_{sh}} \quad (1.5)$$

Le courant de court-circuit I_{cc} de la cellule photovoltaïque est exprimé par l'expression suivante, lorsque la tension est nulle ($V=0$) [1] :

$$I_{cc} = I_{ph} - I_s \left[\exp \left[q \times \frac{R_s I}{A \times K \times T} \right] - 1 \right] - \frac{R_s I}{R_{sh}} \quad (1.6)$$

A un niveau d'éclairement standard (1 kW/m^2), l'effet de la résistance série est négligeable (Point M de la figure (1.6)). Dans ce cas, le courant de court-circuit peut être considéré comme étant équivalent au photo-courant I_{ph} , c'est-à-dire proportionnel à l'éclairement [1].

$$I_{cc} = I_{ph} \quad (1.7)$$

* Tension de circuit ouvert

Dans le cas du circuit ouvert (point S de la figure (1.6)), la tension du circuit ouvert peut être exprimée analytiquement selon la formule suivante: [1]

$$V_{oc} = \frac{A \times K \times T}{q} \times \ln \left(\frac{I_{ph} + I_s}{I_s} \right) \quad (1.8)$$

b - Rendement de la conversion :

Le rendement de conversion d'énergie est le rapport de la puissance générée et de la puissance du rayonnement solaire incident P_0 qui est normalisée à 100 mW.cm^{-2} pour un spectre d'AM1.5. On appelle rendement maximal, le rapport entre la puissance maximale et la puissance P_0 .

$$\eta = \frac{V_m \times I_m}{P_0} \quad (1.9)$$

Avec:

$$P_m = V_m \times I_m$$

$$p = E \times S$$

E = l'éclairement en w/m^2

S = surface de module

C - Puissance délivrée par une cellule PV:

La puissance électrique délivrée par une cellule photovoltaïque est le produit de la tension par le courant qu'elle génère. Ces deux grandeurs, courant et tension, dépendent à la fois des propriétés électriques de la cellule mais aussi de la charge électrique à ses bornes.

Les propriétés électriques de la cellule sont synthétisées dans un graphe qu'on appelle caractéristique courant-tension, tout dipôle électrique est entièrement défini par sa caractéristique courant-tension, qui lui est propre. Cette caractéristique courant-tension est une relation entre la tension et le courant délivrés par la cellule photovoltaïque, deux données importantes sont à relever.

***Le courant de court-circuit noté I_{cc} :**

Il s'agit du courant qui traverse la cellule photovoltaïque lorsque celle-ci est en court-circuit, c'est-à-dire lorsque le pôle (+) est relié au pôle (-) la tension à ses bornes est alors nulle. Dans ce cas, la puissance fournie par la cellule $P = U \times I$ est nulle.

***La tension en circuit ouvert notée U_{co} :**

Il s'agit de la tension aux bornes de la cellule lorsque celle-ci est en circuit ouvert, c'est-à-dire lorsque le pôle (+) et le pôle (-) sont isolés électriquement de tout autre circuit électrique (le courant la traversant est alors nul). Dans ce cas, la puissance fournie par la cellule $P = U \times I$ est nulle [3].

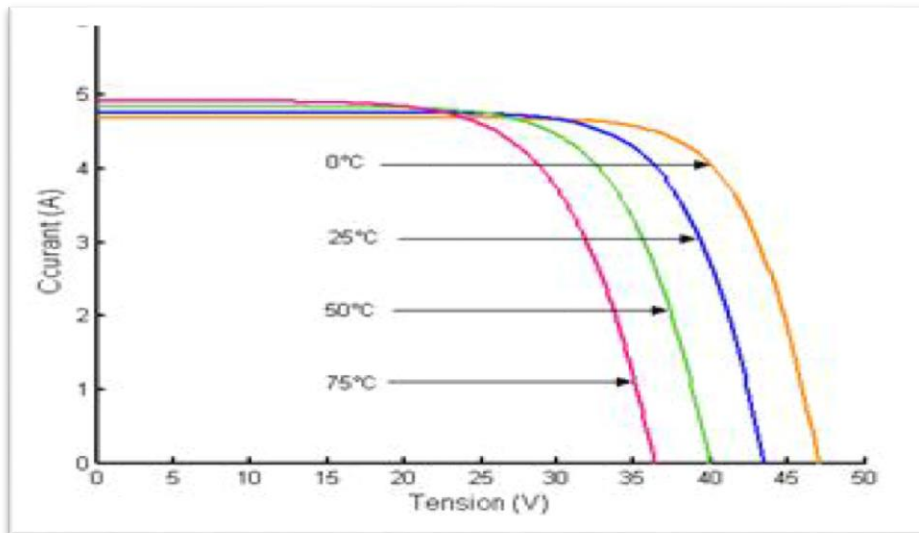


Figure 1.8 : Effet de la température sur la caractéristique I-V.

On constate une variation considérable de la tension, contrairement à la variation de l'intensité lorsque la température augmente; ceci peut être expliqué par une meilleure absorption de la lumière.

4.2-Influence du rayonnement :

Pour l'influence du rayonnement, on remarque que le courant du court circuit I_{CC} augmente fortement avec l'éclairement, contrairement à la tension V_{Co} qui ne varie que très peu. La variation de la caractéristique I(V) est représentée dans la figure suivante [3]

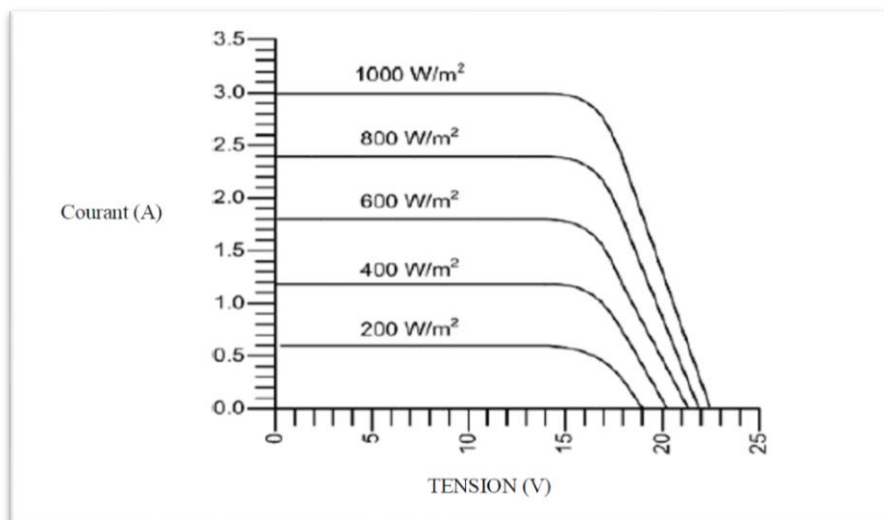


Figure 1.9 : Évolutions de la caractéristique courant-tension avec l'énergie reçue.

Pour différents niveaux d'éclairement figure (1.9), on remarque que le courant est directement proportionnel à l'irradiation à ces niveaux d'éclairement. La tension par contre n'est pas très dégradée lorsque l'irradiation baisse ; donc a température constante :

- I_{cc} est proportionnel à l'ensoleillement,
- V_{co} diminue légèrement avec l'ensoleillement ;
- P_{max} est en première approximation proportionnelle à l'ensoleillement.

5 – Module photovoltaïque:

Pour produire plus de puissance il faut envisager un assemblage de plusieurs cellules (PV) Soit en série, soit en parallèle. Cet assemblage forme ce qu'on appelle « module photovoltaïque ». Un module photovoltaïque est composé donc de plusieurs cellules solaires reliées les unes aux autres [9]



Figure 1.10 : Module photovoltaïque

5.1- Composition d'un module solaire photovoltaïque :

Un module solaire photovoltaïque est composé généralement de cinq éléments:

- Verre solaire fin (2 mm)
- Couche de l'EVA (EVA: éthylène-acétate de vinyle) : pour résister aux intempéries et à l'humidité

- Cellule photovoltaïque
- Couche de l'EVA (EVA: éthylène-acétate de vinyle)

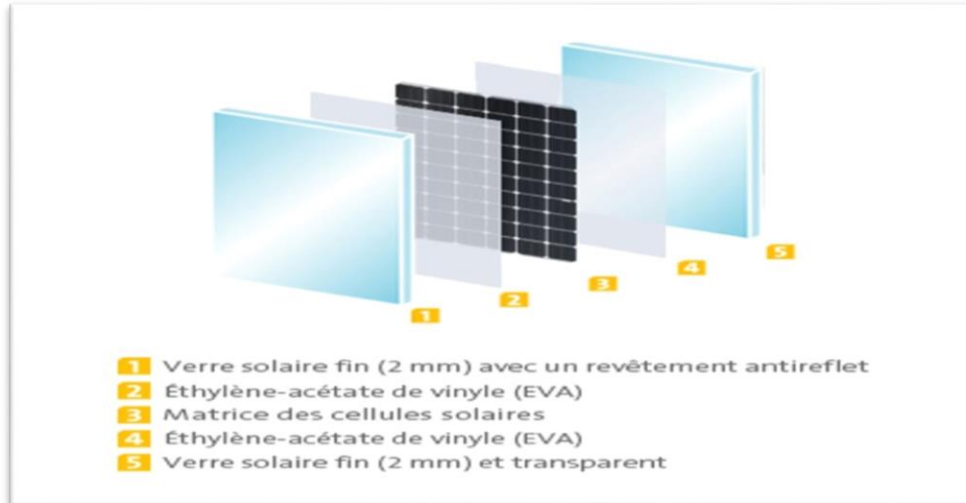


Figure 1.11 : Composition d'un module PV

5.2 - Caractéristiques d'un module solaire PV :

➤ Puissance de crête, P_c :

C'est la puissance électrique maximum que peut fournir le module dans les conditions standards (25°C et un éclairement de 1000 W/m²). Exprimée en watt-crête (Wc).

➤ La caractéristique I/V :

Courbe représentant le courant (I) débité par le module en fonction de la tension (V) aux bornes de celui-ci.

➤ Tension à vide, V_{co} :

Tension aux bornes du module en l'absence de tout courant, pour un éclairement « plein Soleil ».

➤ Courant de court-circuit, I_{cc} :

Courant débité par un module en court-circuit pour un éclairement « plein soleil ».

➤ **Point de fonctionnement optimum, (V_m, I_m) :**

Lorsque la puissance de crête est maximum en plein soleil, $P_m = V_m \cdot I_m$

➤ **Rendement :**

Le rendement de conversion est exprimé en pourcentage, désigne le rendement de conversion en puissance. Il est défini comme étant le rapport entre la puissance maximale délivrée par la cellule et la puissance lumineuse incidente P_{inc}

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{inc}} = \frac{FF \cdot I_{cc} \cdot V_{oc}}{P_{inc}}$$

Ce rendement peut être amélioré en augmentant le facteur de forme, le courant de court-circuit et la tension à circuit ouvert.

➤ **Facteur de forme :**

Les valeurs V_{max} et I_{max} sont définies de telle sorte que le produit $|V_{max} \cdot I_{max}|$ soit maximum (figure II-4). Ce produit correspond à la puissance maximale P_{max} qui peut être délivrée par la cellule photovoltaïque. Ce point P_{max} est obtenu en modifiant la valeur de la résistance externe, quand l'aire du rectangle défini par les axes O_x, O_y et les droites $x = I_m$ et $y = V_m$ passe par un maximum.

Le nom facteur de forme (fill factor) dérive de la représentation graphique. Il est égal au rapport de la surface du rectangle P_{max} sur celle du rectangle dont les côtés mesurent V_{co} et I_{cc} . Il est donné par la relation suivante :

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{oc} \cdot I_{cc}} = \frac{V_m \cdot I_m}{V_{oc} \cdot I_{cc}}$$

Plus le Facteur de Forme est élevé, l'efficacité de conversion est meilleure. En dehors de ce point de fonctionnement P_m particulier, la diminution du courant par recombinaison intervient à des points de fonctionnement ayant V_x supérieur à V_m et des pertes par chauffage (effet joule) des résistances séries apparaissent dans le cas où $I > I_m$. [7]

5.3 - Module et groupement de cellules en série:

Lorsque l'on associe N_s cellules PV en série, les tensions de ces cellules s'additionnent et le courant généré est le même dans toute la branche. La caractéristique I-V du groupement G est obtenue en multipliant point par point et pour un même courant, la tension individuelle V_i par N_s . On note aussi que l'impédance optimale de l'association sera N_s fois plus grande que celle de la cellule de base. La figure (1.12) montre le schéma d'un module de cellules en série fermé sur sa résistance R [9].

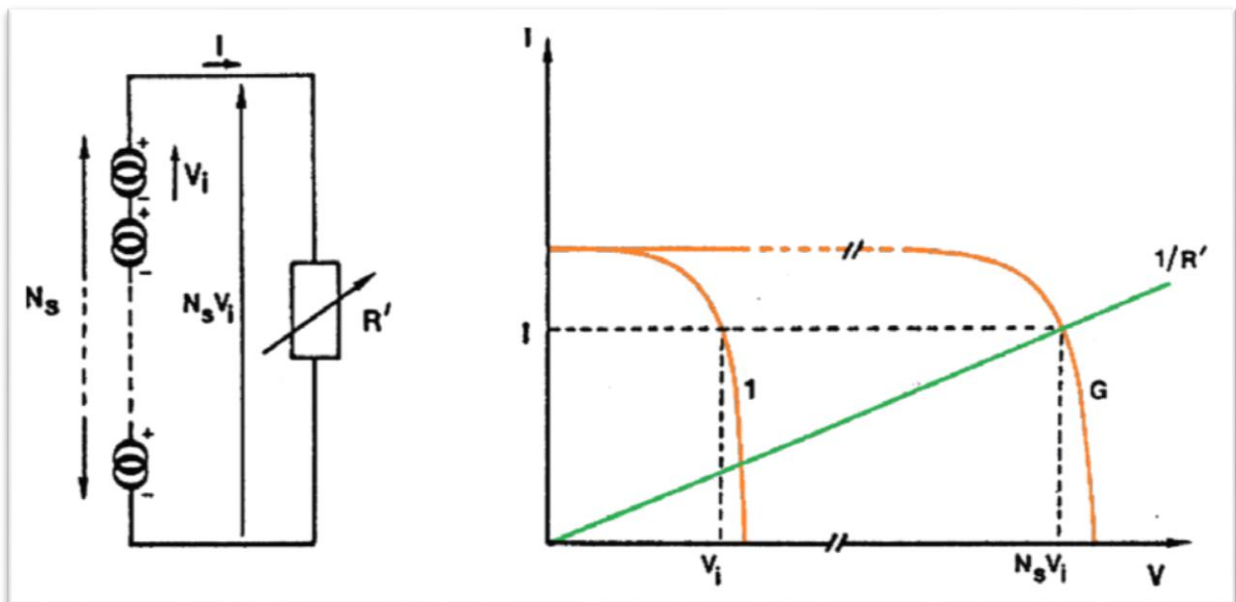


Figure 1.12. Association de N_s cellules en série.

Figure 1.13 : Caractéristique $I (v)$ d'un groupement de N_s cellules en série.

Avec :

N_s : nombre de cellule en série

G : groupement de N_s cellules

R' : la charge

5.4 - Module et groupement de cellules en parallèle

Une association parallèle de (N_p) cellule est possible et permet d'accroître le courant de sortie du générateur ainsi créé. Dans un groupement de cellules identiques Connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue [9]

Avec : $G = N_p \times I_i$

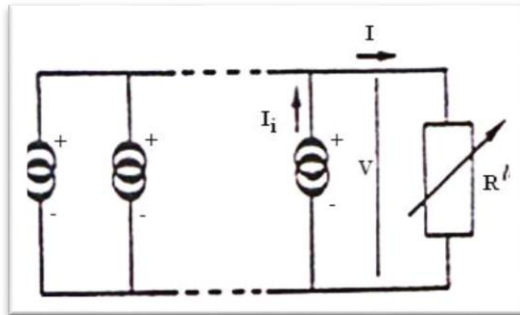


Figure: 1.14: schéma d'un module fermé d'un groupement N_p en parallèle

Les générateurs de courant représentent soit des cellules individuelles, soit des cellules en série (modules), soit des modules en série (branches). On constate dans ce cas que la tension générée est la même pour toutes les cellules (ou tous les modules ou toutes les branches) Donc il ne faudra connecter en parallèle que des cellules, des modules, ou des branches identiques. La figure (1.15), présente la courbe de puissance résultante (G) pour le groupement parallèle considéré [9].

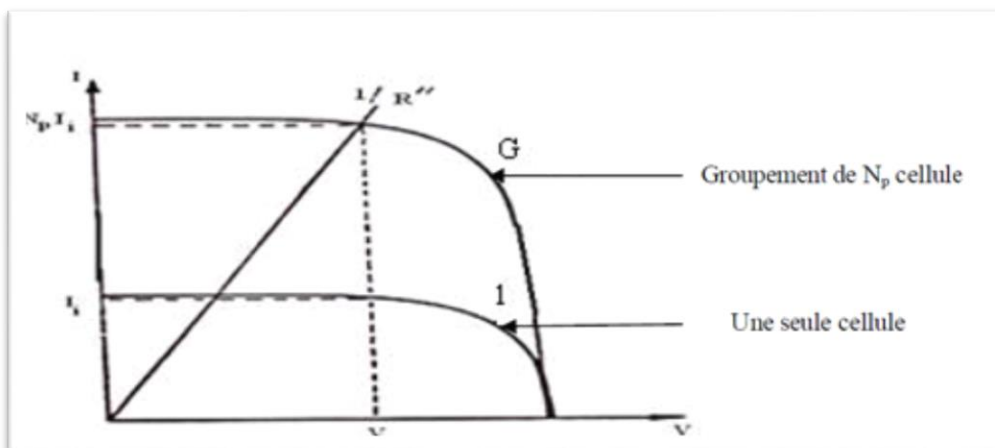


Figure 1.15 : Caractéristique $I (v)$ d'un groupement de N_p cellules en parallèle.

Avec :

N_p : Nombre de cellule en parallèle

G : groupement de N_p cellules

R'' : la charge

Cette courbe (figure 1.15) est obtenue en multipliant point par point par N_p (nombre d'éléments en parallèle) et pour chaque valeur de la tension, le courant de la courbe correspondant à une cellule élémentaire fermé sur une résistance R'' . Le groupement parallèle délivrera le courant $N_p \cdot I_i$ Sous la tension V . Chacune des N_p branché en parallèle génère le courant I_i . la construction graphique de la figure (1.15) suppose que la connexion en parallèle n'introduit pas des résistances parasites (série ou shunt) supplémentaires. L'impédance optimale pour le groupement parallèle est N_p fois plus faible que l'impédance optimale pour une branche [9].

6 – Panneaux solaire:

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 [1].

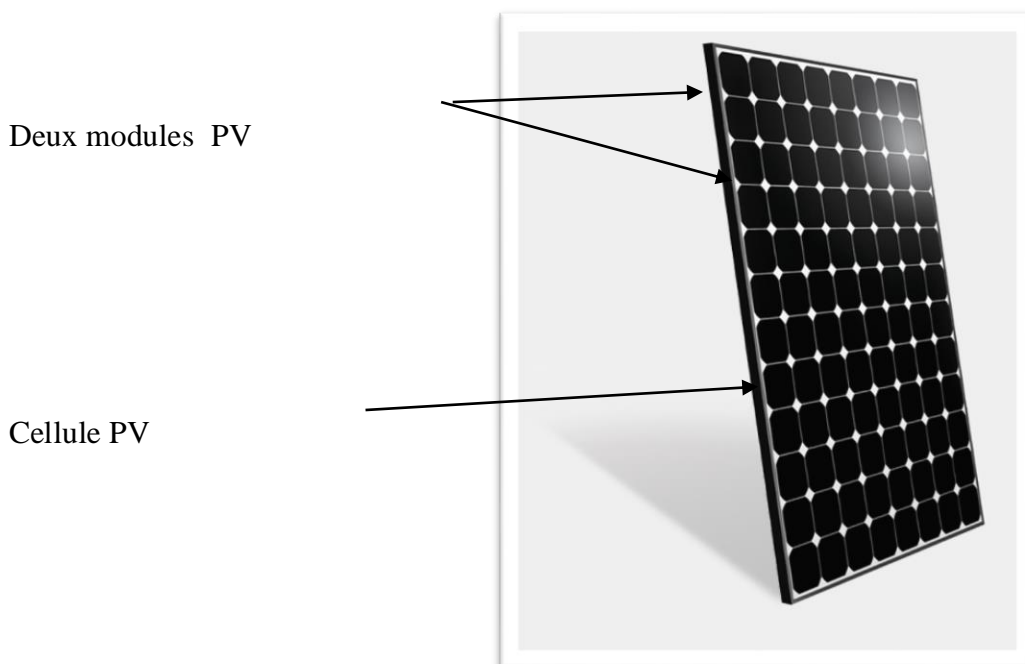


Figure 1.16: Exemple d'un panneau solaire

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.
- Besoins en électricité.

La puissance délivrée par un panneau est importante dans les heures d'ensoleillement maximal, ce qui nécessite un élément de stockage [1].

7 - Champs photovoltaïque (PV):

Un champ photovoltaïque est donc constitué de modules associés électriquement entre elles (Figure 1.17). En général, les cellules d'un panneau PV ne sont pas identiques, mais pour la détermination de la caractéristique (I-V) de l'ensemble, on considère que toutes les cellules, d'un même module, sont identiques et travaillent dans les mêmes conditions de température et d'éclairement. Les chutes de tension dans les conducteurs qui assurent l'interconnexion des cellules sont négligeables. En se basant sur ces suppositions, la caractéristique I-V d'un générateur PV est obtenue directement de celle des cellules en considérant que :

$$I_G = N_p * I \quad (1.11)$$

$$V_G = N_s * V \quad (1.12)$$

Où :

- I_G et V_G : sont le courant et la tension du générateur.
- N_p et N_s : sont le nombre de cellules associées en parallèle et en série dans un module photovoltaïque et pour un champ photovoltaïque.

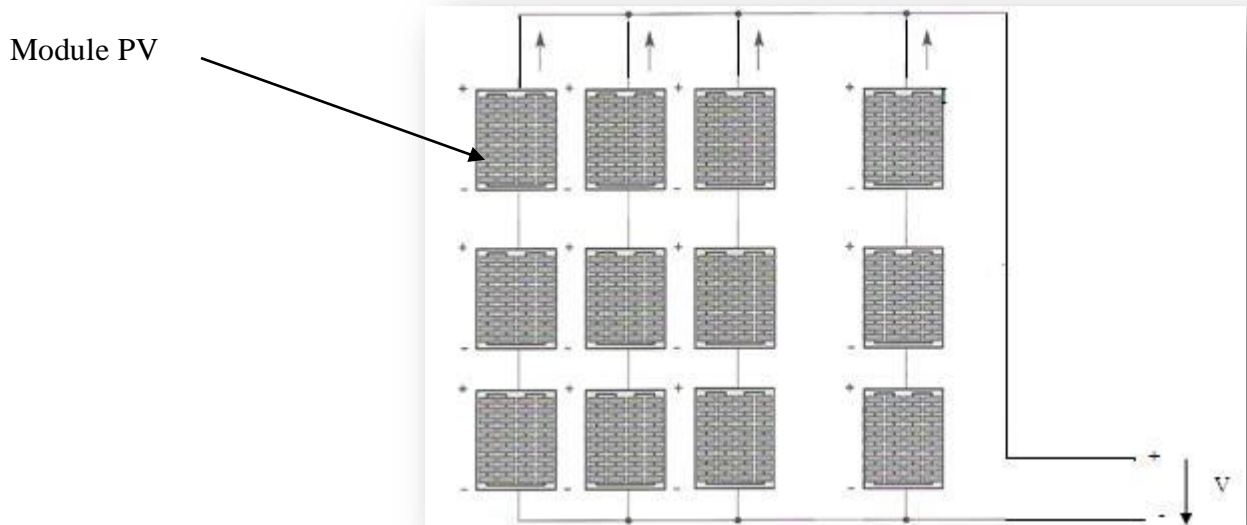


Figure 1.17 : Champ de panneaux montrés en série parallèle.

8 - Orientation des panneaux solaires

8.1 - Choix de l'orientation des modules

Cette partie est relativement simple. Les panneaux devront être orientés vers le sud, dans l'hémisphère nord, et à l'inverse, vers le nord, dans l'hémisphère sud. Plus on se rapprochera de l'Équateur et moins l'orientation sera importante, car quasi horizontale. 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 [8].

8.2- 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. L'angle d'inclinaison correspond à l'angle formé par le plan du module solaire par rapport à l'horizontale [8].

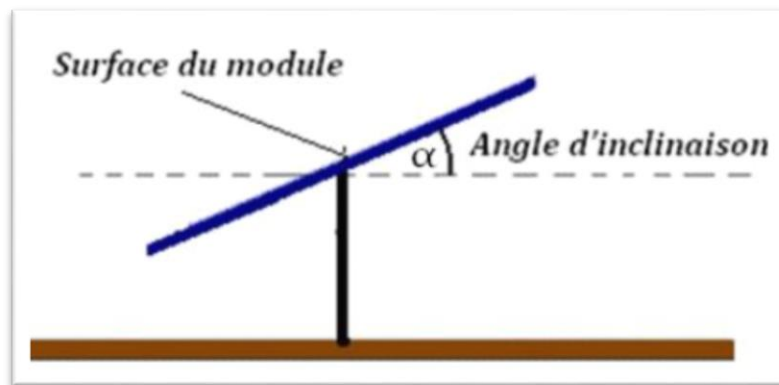


Figure 1.18: Angle d'inclinaison des modules photovoltaïques

L'évolution de la trajectoire du soleil variant selon les saisons, l'angle d'inclinaison (pour un module photovoltaïque n'étant pas muni d'un système rotatif) est plus réduite en été et plus importante en hiver. L'inclinaison d'un module photovoltaïque par rapport à l'horizontale est donnée par la relation suivante :

$$\alpha = L - \sin^{-1} \left(0.4 \times \left(\frac{N \times 360}{365} \right) \right) \quad (1.13)$$

Avec:

L : latitude du lieu.

N: nombre de jour entre l'équinoxe de printemps (21 mars de chaque année) et le jour considéré.

8.3- Trajectoire apparente du soleil

La terre décrit autour du soleil une trajectoire légèrement elliptique dont le soleil occupe un foyer et tourne sur elle-même autour d'un axe nord-sud incliné de $23^{\circ}27'$ par rapport au plan de la trajectoire. Pour un observateur sur terre, le soleil aura donc une trajectoire apparente qui varie au cours de l'année et dont il est essentiel de connaître la position pour estimer son apport en énergie [8].

La figure 1.20 correspond à la vision qu'un observateur a du ciel, en un point donné sur la surface de la terre défini par sa longitude, sa latitude, φ , et son altitude.

On situe alors le soleil dans l'espace grâce à son azimut, ψ , (angle entre la direction nord-sud et la direction de l'objet) et sa hauteur solaire (hauteur angulaire au-dessus de l'horizon). L'angle zénithal, θ_z , est le complément de la hauteur solaire pour atteindre le zénith [9].

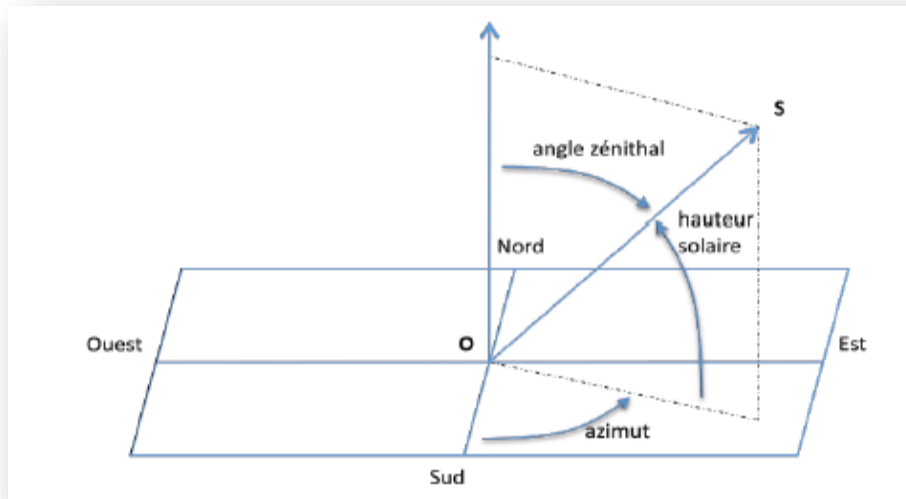


Figure 1.19: Système de coordonnées plan horizontales

9 - Intérêt des panneaux solaire photovoltaïques mobiles

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. La meilleure inclinaison est de 35° en plein 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, Si l'installation s'oriente constamment en direction du soleil, elle génère un maximum d'électricité. Une installation fixe de 1 kW et orientée de façon optimale, produit par jour d'ensoleillement, environ 5 kWh d'électricité solaire. La même installation de 1kW avec «suiveur» fournit en revanche jusqu'à 10 kWh par jour. C'est à dire 50% de gains d'énergie en plus. Ainsi, seule une rotation automatique peut permettre au panneau solaire de délivrer une puissance maximale [3].

Donc, les modules photovoltaïques placés sur des suiveurs solaires ont un rendement énergétique qui augmente de manière appréciable par rapport aux installations fixes

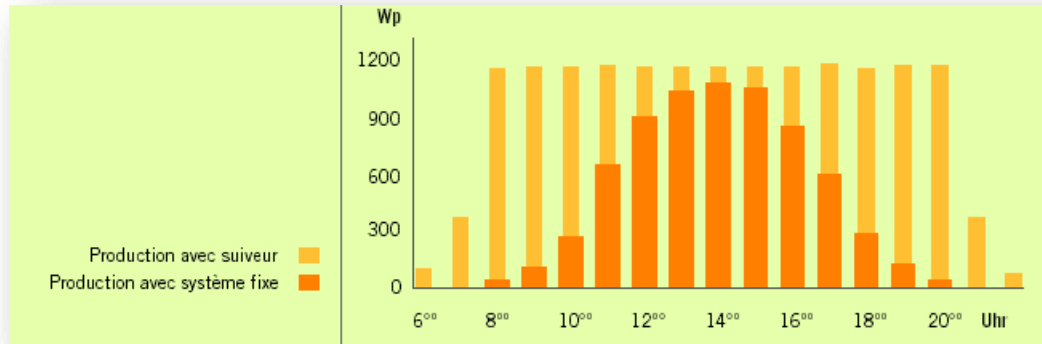


Figure 1.20: diagramme de comparaison entre la production avec suive et la production avec système fixe

10- Conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu général sur le domaine photovoltaïque. On a commencé par donner l'essentiel sur les cellules solaires. La liaison de ces cellules (série et/ou parallèle) a été également traitée. Cette liaison constitue le module photovoltaïque; alors que la liaison de ces modules aboutit au panneau ou générateur photovoltaïque. Nous avons vu aussi les caractéristiques courant-tension. De même, nous avons donné un bref aperçu sur l'intérêt de panneau photovoltaïque mobile par rapport au panneau photovoltaïque fixe, et la différence du rendement de l'énergie entre les deux panneaux.

Chapitre 2 :

Le gisement solaire

1 Introduction :

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

2 Le soleil :

Le soleil est une étoile du système solaire, composée quasiment d'hydrogène à 80% et de 19% d'hélium, le 1% restant est un mélange de plus de 100 éléments. Son diamètre est de 139100 km (100 fois le diamètre de la terre), sa masse est de l'ordre de 2.1027 tonnes, situé à une distance de la terre égale à environ 150 millions de km.

Sa puissance émise sous forme de photons est égal à $10 \times 10^{26} \text{ w}$, mais seul 1.7×10^{17} de cette puissance est interceptée par la terre, elle nous parvient sous forme d'ondes électromagnétique, Sa source d'énergie est la réaction thermo- nucléaire, elle transforme à chaque seconde 564.106 tonnes d'hydrogène qui donne une énergie totale de $36 \times 10^{22} \text{ km/ m}^2$ et la terre reçoit $1.8 \times 10^{14} \text{ Kwh /m}^2$ d'énergie [10].

2.1 Rayonnement solaire :

C'est l'ensemble des ondes électromagnétiques émises par le soleil, composé de toute la gamme de rayonnement et caractérisé par une vitesse, une fréquence et une longueur d'onde. Une faible partie du rayonnement solaire parvient jusqu'à la surface de la terre, l'atmosphère

absorbe environ 15% du rayonnement, une partie est réémise dans toutes les directions sous forme de rayonnement diffus Et environ 6% du rayonnement réfléchi par l'atmosphère vers l'espace. Le rayonnement global au niveau du sol est la somme du rayonnement direct et du rayonnement diffus [11].

2.2 Les différents types de rayonnement solaire :

2.2.1 Rayonnement global:

C'est le rayonnement reçu sur une surface horizontale provenant du soleil, il se décompose en rayonnement direct et diffus qui sont exploités par les panneaux solaires, ils sont reliés par la relation suivant [10] :

$$G = I \times \sin (h) + D \quad (2.1)$$

Avec:

G : rayonnement global

h: la hauteur du soleil

I: rayonnement direct

D : rayonnement diffus

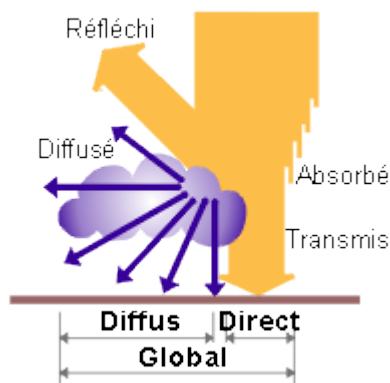


Figure II.1: Rayonnement direct, diffus et global.

2.2.2 Rayonnement diffus:

C'est le résultat de la diffraction de la lumière par les molécules atmosphériques et de sa réfraction par le sol. Il n'a pas de direction privilégiée [11].

2.2.3 Rayonnement direct:

C'est la lumière parvenant directement du soleil, il traverse l'atmosphère sans subir de modifications [10].

2.3 Les coordonnées du soleil:

2.3.1 Coordonnées équatoriales:

- **Déclinaison du soleil (δ)**

C'est l'angle que forme le vecteur reliant le centre de la terre au soleil et le plan équatorial de la terre. Elle est exprimée en degrés, minute et seconde d'arc. Cette déclinaison est due à l'inclinaison de l'axe des pôles terrestres par rapport au plan écliptique ce qui nous donne les différentes saisons.

- **Angle horaire du soleil H**

C'est l'angle que font les projections de la direction du soleil avec la direction du méridien du lieu, l'angle varie à chaque instant de la journée [14].

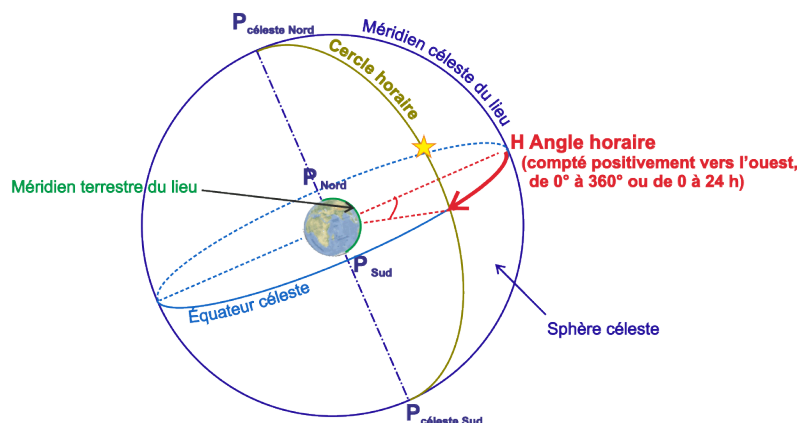


Figure II.2: Angle horaire du soleil H.

2.3.2 Coordonnées horizontales :

Le système de coordonnées horizontales, également appelé système local ou système de coordonnées alt-azimutales est un système de coordonnées céleste utilisé en astronomie par un observateur au sol. Le système sépare le ciel en deux hémisphères ; l'un situé au-dessus de l'observateur et l'autre situé au-dessous, caché par le sol. Le grand cercle séparant les deux hémisphères situe le plan horizontal, à partir du quel sont établis une altitude et un azimut, qui constituent les deux principales coordonnées de ce système.

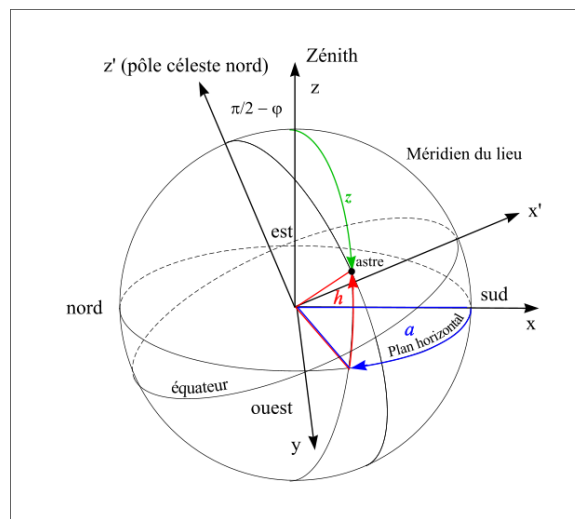


Figure II.3: Repère horizontal.

- **La hauteur du soleil (h)**

C'est l'angle formé entre la direction apparente du soleil avec sa projection sur le plan horizontal, il est donné par la relation suivante [10] :

$$\text{Sin (h)} = \text{sin } (\varphi) \times \text{sin } (\delta) + \text{cos } (\varphi) \times \text{cos } (\delta) \tag{2.2}$$

Avec:

φ : La latitude.

- **Azimet du soleil (a) :**

L'angle est mesuré dans le sens des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère nord et dans le sens contraire dans l'hémisphère sud, en utilisant les projections sur le plan horizontal du point d'observation [14].

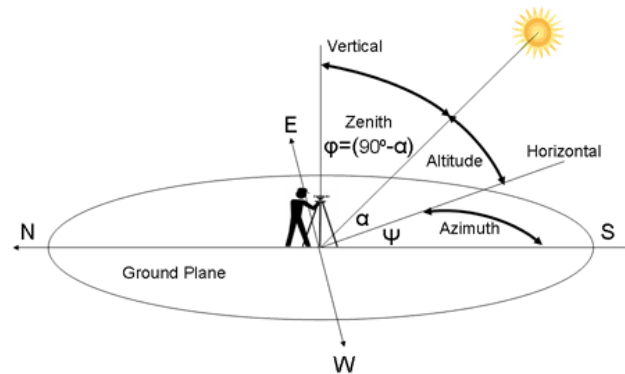


Figure II.4 : représentation des angles zénith, azimet et altitude.

2.4 Les coordonnées géographiques :

Les coordonnées géographiques d'un lieu définissent sa position sur Terre. Ils sont décomposés en trois éléments : la latitude, la longitude et l'altitude.

2.4.1 La latitude :

La latitude d'un point donné est l'angle formé par l'arc du méridien entre l'équateur et le rayon terrestre passant par ce point. Elle est comptée de 0° à 90° depuis l'équateur vers le pôle pour chaque hémisphère Nord et Sud.

2.4.2 La longitude :

La longitude d'un point donné est l'angle formé entre le méridien de référence et le méridien passant par ce point. Elle est comptée de 0° à 180° depuis le méridien d'origine vers le méridien du lieu en précisant la direction Ouest ou Est.

2.4.3 L'altitude :

L'altitude est la hauteur d'un point choisi par rapport à un niveau de référence (généralement le niveau de la mer, désigné comme (altitude 0) [15].

2.5 Principes fondamentaux des suiveurs:

Également appelé le tracker solaire qui est un système de production d'énergie solaire qui met en œuvre le principe de l'héliostat (ou tournesol). Une telle installation permet d'orienter les panneaux solaires en fonction de la course du soleil et ainsi d'en augmenter la productivité et le rendement. Selon les saisons et les heures de la journée, la position du soleil varie. L'utilisation d'un suiveur solaire permet de positionner en permanence les panneaux solaires selon la meilleure inclinaison possible, généralement perpendiculaire au soleil, afin qu'ils soient exposés au maximum.

On estime que, par rapport à une installation solaire fixe orientée plein sud, la mise en place d'un suiveur solaire permet d'améliorer le rendement des panneaux solaires jusqu'à 40 %. Afin de permettre au suiveur solaire d'être orienté de la façon la plus optimale, il est possible de le faire selon deux axes :

- **Suivre le soleil « en azimut »**, soit d'est en ouest, au fur et à mesure de la journée : c'est le cas des suiveurs qui s'orientent selon un seul axe. Le rendement est alors augmenté d'environ 25 %.
- **Suivre le soleil en hauteur** : il s'agit de jouer sur la hauteur des panneaux solaires, au fur et à mesure de la journée et également en fonction des saisons, afin d'optimiser l'incidence des rayons du soleil. Les suiveurs solaires qui prennent en compte ce paramètre s'orientent selon deux axes. Le rendement est alors augmenté d'environ 40 % [12].

2-6 Les types de suiveur solaire.

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

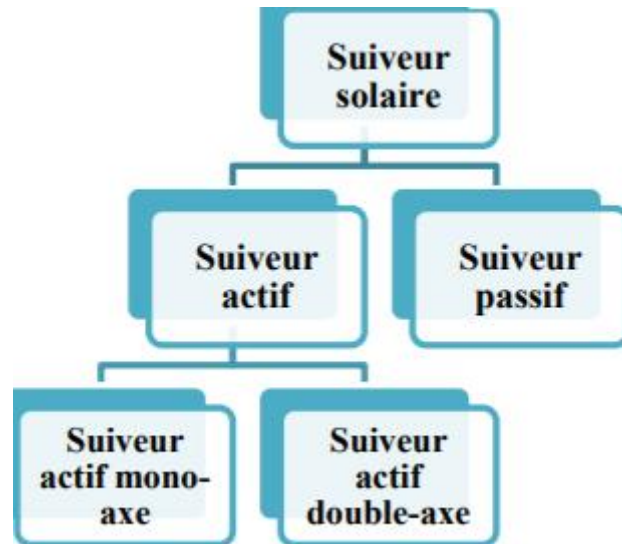


Figure II.5 : types de suiveur solaire.

2.6.1 Suiveur actif :

Il détecte la lumière suivant la trajectoire solaire en cherchant à optimiser au maximum l'angle d'incidence du rayonnement solaire sur leur surface. On trouve deux types de suiveur mono-axe et double -axe.

- **Suiveur solaire mono-axe:**

Il permet une rotation selon l'axe d'azimut seulement, c'est-à-dire d'est en ouest, L'angle d'inclinaison du panneau est fixe. Il est placé selon l'angle le plus propice a recevoir un maximum de rayons de soleil, il est le plus souvent utilisé en raison de sa simplicité.[13]

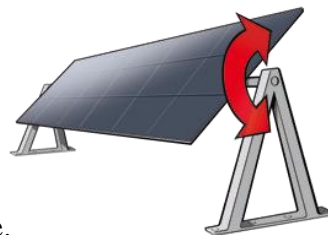


Figure II.6 : suiveur mono-axe.

- **Suiveur solaire double-axe:**

Contrairement au suiveur mono-axe ce type de suiveur possède deux axes: un horizontal et un autre vertical, qui lui permet de suivre les mouvements en azimut et en inclinaison. Ce type de système fournit de meilleures performances, et est généralement employé pour commander les télescopes astronomiques [10].

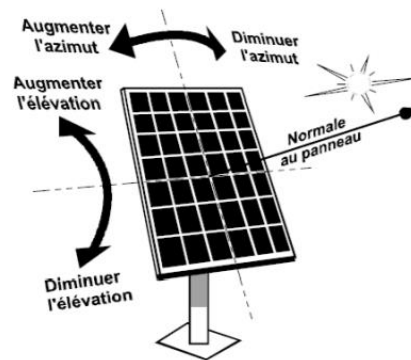


Figure II.7 : suiveur double-axe.

7- Conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons présenté les bases indispensables à la compréhension du sujet traité. Nous avons rappelé quelques notions sur le rayonnement solaire, et son application dans le domaine photovoltaïque. Aussi, nous avons exposé les différents types de suiveur solaire ainsi que leur rôle.

Chapitre 3 :

Réalisation du panneau solaire suiveur

Introduction :



Le dernier chapitre est consacré à la réalisation d'un suiveur solaire à base de la carte Arduino nano, Le dispositif électronique réalisé se compose d'un servomoteur, d'un circuit de commande Microcontrôleur Arduino Nano et d'un panneau solaire. Le système d'orientation est basé sur une programmation de déplacement du panneau solaire à des intervalles de temps prédéfinis (entre le lever et le coucher du soleil) avec le logiciel Arduino conformément à la trajectoire du soleil au cours de la journée, de manière à garder la surface active du panneau perpendiculaire aux radiations solaires.

PARTIE A : DESCRIPTION DES COMPOSANTS DU SYSTÈME.**1. Définition d'Arduino :**

L'Arduino est un circuit imprimé programmable, autrement dit un circuit électronique auquel on communique une suite logique d'instructions à suivre qu'on appelle le script et qui détermine son fonctionnement. L'exécution de ce dernier permet d'obtenir (virtuellement) un circuit électronique [16].

1.1 Les différentes gammes de carte Arduino :

Actuellement, il existe plus de 20 versions de carte Arduino, nous allons citer les plus utilisées dans le domaine de l'électronique afin de voir leur évaluation [17] :

Type de carte	Les figures	La description
UNO		C'est la carte idéale pour découvrir l'environnement ARDUINO. Elle permet à tout débutant de se lancer dans tous ses premiers petits projets,
Leonardo		C'est la carte qui est prévue pour succéder à la carte Arduino UNO en présentant des caractéristiques équivalentes mais une ergonomie revue et une stabilité plus éprouvée. Sa diffusion moins importante limite le support utilisateur disponible sur le net.





Mega		La carte Arduino Méga est la carte la plus diffusée après la carte Arduino UNO. Elle offre un nombre d'entrées/sorties beaucoup plus important (54 contre 14), un processeur plus puissant doté d'une mémoire plus vaste qui permet d'exploiter des algorithmes plus complexes.
Due		La carte Arduino Due est une évolution de la carte Arduino Méga qui offre des performances réputées 3 fois supérieures. Elle permet de manipuler rapidement des algorithmes lourds particulièrement utiles dans le monde de la robotique par exemple.
Nano		La carte Arduino nano est une carte Arduino UNO miniaturisée. Sa taille et son poids réduits la destinent à une utilisation dans des espaces réduits (en textile par exemple) ou dans des applications de robotique ou de modélisme pour lesquels le poids et la taille sont des facteurs déterminant (hélicoptères, drones...)
Yun		La carte Arduino Yun, récemment proposée par Arduino, est conçue pour contrer les avantages de la carte Raspberry. Elle est un dérivé de la carte Leonardo et a pour objectif de combiner la puissance de Linux avec la facilité d'utilisation d'une carte Arduino. Elle est également la première carte Arduino à être dotée nativement d'un wifi intégré

Tableau (III.1) : Les différentes gammes de carte Arduino.

Parmi ces cartes citées, nous avons choisi de travailler avec une carte Arduino Nano ceci dans le but de faciliter la mise en place d'une commande qui sera détaillée par la suite. L'Arduino fournit un environnement de développement grâce aux outils open source comme interface de programmation. L'introduction du programme déjà converti par l'environnement sous forme d'un code dans la mémoire du microcontrôleur se fait via un micro câble USB.

1.2 La constitution de la carte Arduino Nano :

La figure suivante représente les différents composants électroniques qui constitue une carte Arduino de type Nano.

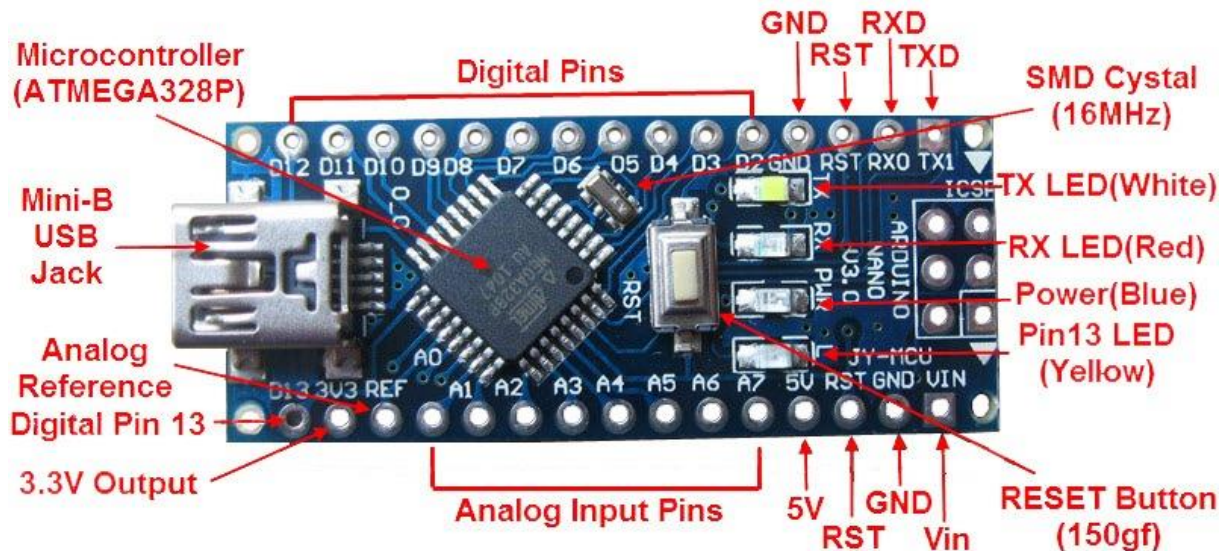


Figure III.1 Constitution de la carte Arduino Nano.

1.3 Pourquoi l'Arduino Nano [18] :

La carte Arduino présente plusieurs avantages par rapport à d'autres cartes, citons les plus important :

- L'Arduino Nano est une carte avec des dimensions plus faible (45mm×18 mm).
- L'Arduino Nano est plus légère, elle présente un poids de 5g.
- Elle est moins chère et plus puissante qu'une UNO avec ses 14 pins digitaux sur lesquelles elle fournit 40 mA maximum (par pins digitaux), 8 pins analogiques (2 de plus que la carte UNO ainsi que 32 Ko de mémoire Flash et 2 Ko de mémoire dynamique).
- Cette carte se veut vraiment minimaliste, en plus de son empattement réduit, contrairement à la UNO, elle ne dispose pas du connecteur DC de 2.5 mm ...

Cette carte sera parfaite pour travailler sur des projets qui présentent des espaces restreint. Aussi pour des projets qui exigent la légèreté des systèmes. Autre avantage de la Nano, c'est qu'elle se connecte au PC via un câble micro-USB et elle peut s'utiliser sur une breadboard.

- **Simplicité d'utilisation** : la carte Arduino est simple à utiliser pour un électronicien. Un projet d'un suiveur solaire est réalisé à l'aide une carte Arduino Nano.

- **Communauté** : une communauté existe pour faciliter les échanges entre les utilisateurs sur les différentes cartes. Il existe de nombreux forums et de nombreuses documentations en ligne pour pouvoir utiliser la carte et surmonter les problèmes que vous pourrez rencontrer.

- **Multiplateforme** : pour programmer une carte Arduino et lui introduire ce qu'on veut, il faut la relier à un ordinateur avec l'utilisation de l'IDE Arduino. Le logiciel permet de programmer toutes les cartes Arduino disponible sous Windows, Mac OSX et Linux.

- **Aucune limite** : utiliser une Arduino n'est pas limité. Vos projets de conception sur Arduino ne sont pas limité, citons à titre d'exemple, de nombreuses imprimantes 3D fonctionnent à base d'Arduino.

1.4 Caractéristiques techniques de l'Arduino Nano [19]:

Microcontrôleur	ATmega328
Architecture AVR Tension de fonctionnement	5V
Mémoire Flash	32 Ko
RAM	2 Ko
Vitesse d'horloge	16 MHz
Entrées analogiques	8
EEPROM	1 Ko
Courant continu par broches d'E / S	40 mA
Tension d'entrée	7-12 V
Broches E / S numériques	22
Sortie PWM	6
Consommation électrique	19 mA
Taille du circuit imprimé	18 x 45 mm
Poids	7 g
Code produit	A000005
Fabrication	Italie

Tableau (III.2) : Caractéristiques technique de l'Arduino Nano.

2. Servomoteur :

Un servomoteur est un système qui a pour but de produire un mouvement précis en réponse à une commande externe, C'est un actionneur (système produisant une action) qui rassemble différents domaines : l'électronique, la mécanique et l'automatique.

Un servomoteur est composé d'un :

- moteur à courant continu.
- axe de rotation.
- capteur de position de l'angle d'orientation de l'axe (très souvent un potentiomètre)
- carte électronique pour le contrôle de la position de l'axe et le pilotage du moteur à courant continu.

Un servomoteur est capable d'atteindre des positions prédéterminées dans les instructions qui lui ont été données, puis de les maintenir.

Le servomoteur a l'avantage d'être asservi en position angulaire, cela signifie que l'axe de sortie du servomoteur respectera la consigne d'instruction que vous lui avez envoyée à son entrée.

Si, un obstacle sur la route essaye de faire changer les coordonnées de la trajectoire du servomoteur, ce dernier conservera la position programmée.

Pour un ajustement précis de la position, le moteur et son réglage sont équipés d'un système de mesures qui détermine la position habituelle [20].



Figure III.2 : Servomoteur chinois 9 g

Il existe plusieurs types de servomoteurs de taille, de poids et de toutes puissances différents. En général, la sortie varie entre 0 et 180° (standard).

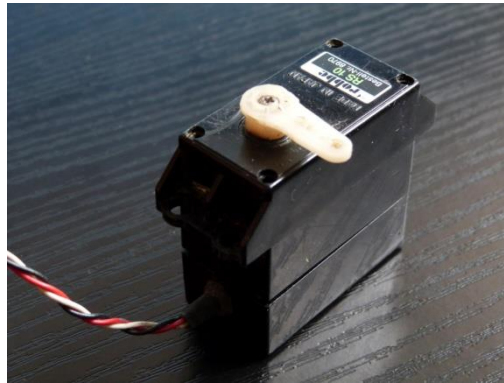


Figure III.3 : Servomoteur Artiom FEDOROV.

2.1 Le principe de fonctionnement interne d'un servomoteur :

Les servomoteurs contiennent un petit moteur connecté via des engrenages à un axe de sortie. L'axe de sortie qui pilote le bras du servomoteur est aussi connecté à un potentiomètre afin de fournir une rétroaction (feedback) de la position à un circuit de contrôle interne.

La partie électrique d'un servomoteur ne dispose que de 3 fils codés par couleur, pour des servomoteurs type modélisme 5 fils pour des servomoteurs de grosse puissance comme Mastodon 9944 et Mammoth 38055, qui permettent d'alimenter le moteur et de lui transmettre des ordres de positions sous forme d'un signal codé en largeur d'impulsion plus communément appelés **PWM** ou **RCO**. Cela signifie que c'est la durée des impulsions qui détermine l'angle absolu de l'axe de sortie et donc la position du bras de commande du servomoteur. Le signal est répété périodiquement, en général toutes les 20 millisecondes, ce qui permet à l'électronique de contrôler et de corriger continuellement la position angulaire de l'axe de sortie, cette dernière est mesurée par le potentiomètre.

Lorsque le moteur tourne, l'axe du servomoteur change de position, ce qui modifie la résistance du potentiomètre. Le rôle de l'électronique est de commander le moteur pour que la position de l'axe de sortie soit conforme à la consigne reçue : c'est un asservissement

- Une impulsion de 1 milliseconde correspondant à un angle de 0° .
- Une impulsion de 2 millisecondes correspond à un angle de 180° .
- En envoyant une impulsion d'une longueur intermédiaire, on obtient des angles différents, 90° avec une impulsion de 1,5 milliseconde par exemple [21].

PWM : La modulation de largeur d'impulsions

RCO : Rapport Cyclique d'Ouverture

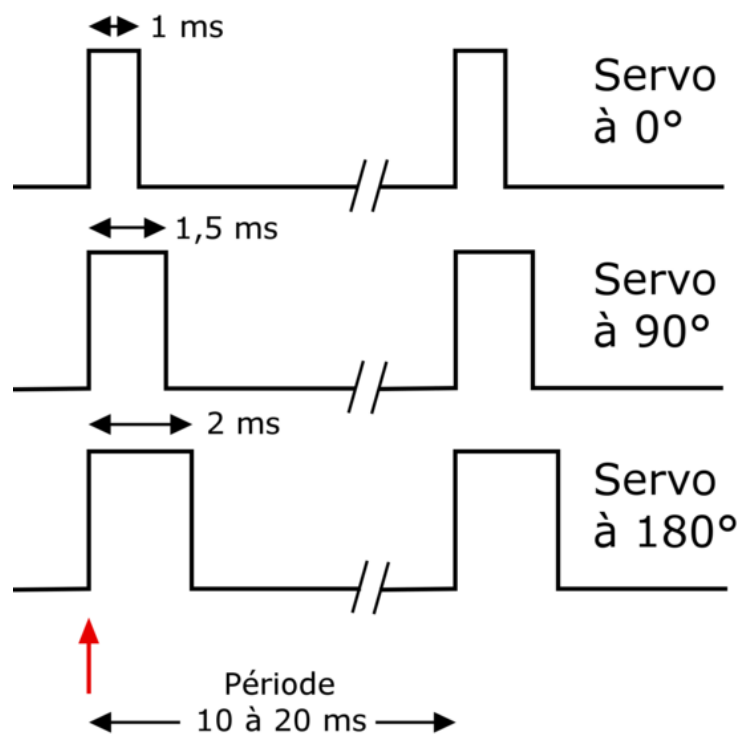


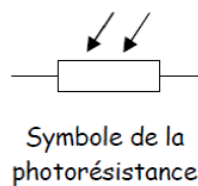
Figure III.4 Illustration du signal de contrôle d'un servomoteur.

3 Capteur LDR :

Une photorésistance (PhotoCells en anglais) est un composant électronique avec une résistance qui dépend du flux lumineux auquel il est exposé. Elles se nomment aussi LDR (Light-Dependent Résistor) ou encore cellules photoconductrices. Elles permettent de détecter la lumière. On l'utilise principalement pour mesurer l'intensité lumineuse, la valeur de cette dernière diminue quand l'intensité de la luminosité augmente et vice-versa.

Ces capteurs répondent à des lumières de longueur d'onde variant entre 400 nm (violet) et 600 nm (orange), avec un pic à environ 520 nm (vert). On peut donc les utiliser pour capter la lumière visible (dont la longueur d'onde λ se situe entre 400 et 600 nm).

Ils sont également de petite taille (quelques centimètres carrés), économiques, tout en étant faciles à mettre en place dans un montage. Les photorésistances sont notamment utilisées dans le déclenchement automatique d'éclairage. Ils sont alors insérés dans des relais optiques [22].



Symbole de la photorésistance



Figure III.5 Symbole et capteur LDR.

3.1 Principe de fonctionnement :

Un cristal semi-conducteur à une température basse contient peu d'électrons libres. La conductivité du cristal est très faible, proche de celle d'un isolant. Lorsque la température du cristal augmente on aura de plus en plus d'électrons libres car les électrons de valence reçoivent une énergie thermique assez importante pour briser les liaisons covalentes et se libérer de l'atome pour participer à la conduction électrique

A une température constante si, le même cristal semi-conducteur est soumis à une radiation lumineuse, l'énergie apportée par les photons peut suffire à libérer certains électrons utilisés dans les liaisons covalentes entre les atomes du cristal. Plus le flux lumineux sera intense, plus le nombre d'électrons disponibles pour assurer la conduction sera grand, ainsi la résistance de la LDR est inversement proportionnelle à la lumière reçue. La sensibilité dépend de la fréquence de la radiation lumineuse, la figure suivante représente un circuit diviseur de tension ou un capteur LDR est utilisé [23].

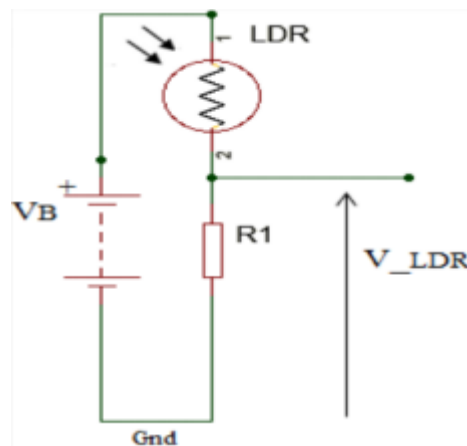


Figure III.6 : Circuit équivalent du capteur LDR utilisé

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

$$V_{LDR} = V_B \times \frac{R1}{R1 + R_{LDR}}$$

Avec :

V_B : Tension de batterie (V).

R_{LDR} : Resistance de la LDR (ohm).

4 Mini Câble USB :

Le mini câble USB permet la connexion entre la carte Arduino nano et l'ordinateur.



Figure III.7 : Micro câble USB.

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce rapport porte sur la réalisation d'un suiveur solaire à base d'une carte Arduino NANO, à l'aide des composants électroniques programmables gérés par un microcontrôleur Arduino.

L'objectif de ce travail réside dans la mise en œuvre d'une solution technique permettant de réaliser un panneau photovoltaïque mobile autour d'un axe azimut afin d'améliorer son taux d'absorption du rayonnement solaire. Pour cela, le système que nous avons pu réaliser s'est avéré capable de suivre la position du soleil.

Ce projet était pour nous l'occasion 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.

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

Bibliographies

- [1] <http://www.aros-solar.com/>
- [2] <https://www.climamaison.com/lexique/generateur-pv.htm>
- [3] G.Farid, S.Amel «Commande De Panneau Solaire A L'aide D'une Carte A Pic » Mémoire De Fin D'études, En vue de Préparation de diplôme
Ingénieur d'état en électronique, Université Mohamed Khider Biskra, Juin 2010.
- [4] <http://www.photovoltaique.info/les-systemes-photovoltaiques-et.html>
- [5] L'énergie Solaire Photovoltaïque_ Comment Ça Marche _ Par Jamy Gourmaud.
- [6] [www.google.com/types de cellules Photovoltaiques.](http://www.google.com/types%20de%20cellules%20photovoltaiques)
- [7]Mr. Bouklifa hamza, « dimensionnement technique d'une installation photovoltaïque de 300kw » mémoire de master, université Mohamed boguera, boumerdes 2017.
- [8] Mr.adouane et Mr Haddadi «évaluation de l'influence de l'inclinaison des modules photovoltaïques sur la production d'énergie d'un système hybride », revue des énergies renouvelables SIENR '14 Ghardaïa (2014) 87-92
- [9] Thomas Mambriani « Caractérisation de panneaux solaires photovoltaïques en condition réelles d'implantation et en fonction des différentes technologies » thèse de doctorat université paris sud 2014
- [10]Dahmane Boursliia, « étude et réalisation d'un suiveur de soleil a base d'une carte Arduino méga », Master professionnel, UMMTO, 2015.
- [11]Cherifi Younes, « étude et réalisation d'un suiveur de soleil a base d'un micro contrôleur, Master académique, télécommunication et réseaux, UMMTO, 2015.
- [12]<https://panneau-solaire.ooreka.fr/astuce/voir>.
- [13] Mlle benmohammadi Zahra, « étude, conception et réalisation d'une commande d'un tracker solaire (suiveur solaire) », Master Systèmes Microélectroniques, de Télécommunications et de l'Informatique Industrielle, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah ,Faculté Des Sciences et Techniques Fès,2014.
- [14] Belkbir katia, « conception et réalisation d'un suiveur de soleil a base d'une carte Arduino UNO, mémoire de fin d'études de master professionnel, électronique industrielles, UMMTO, 2017.
- [15]https://www.bibliothequesclermontmetropole.eu/cartographie/index.php?option=com_content&view=article&id=120&Itemid=120
- [16] Sami Bachir, « commande vitesse moteur »,ESIEE PARIS ,E2,2015.
- [17] <http://blewando.dlinkddns.com/elv/Promo2018/th14/pag6.html>
- [18] <http://www.robot-maker.com/ouvrages/tuto-arduino/choisir-carte-arduino-adaptee/>
- [19] <https://store.arduino.cc/arduino-nano>
- [20] www.supinfo.com/articles/single/296-qu-est-ce-que-servomoteur
- [21]<http://www.redohm.fr/2015/12/lesservomoteurs/#Principe%20de%20fonctionnement%20d'un%20servomoteur-001>
- [22] Mathieu Bour / Émilie Laurent / Marine Maton, magazine picsou, les capteurs, Lycée Fabert
- [23] Belkbir katia, « conception et réalisation d'un suiveur de soleil a base d'une carte Arduino UNO, mémoire de fin d'études de master professionnel, électronique industrielles, UMMTO, 2017.