

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي - برج بوعريريج

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département électromecanique

MÉMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER**

filière : électromecanique

Spécialité : électromecanique

Par : - Mokhtar Ahdouga Mohamed El-amine - Khoudour Mohamed
- Bennia islam - Geuddoudj samir

Sujet

Etude, conception et réalisation d'un tracker solaire pour l'éclairage public,
(suiveur solaire)

Soutenu publiquement, le / / , devant le jury composé de :

Mr BENHENICHE A/HAK	MCA	Univ-BBA	Président
Mr MERABET ELKHEIR	Pr	Univ-BBA	Examineur
Mr ZEBIRI FOUAD	MCB	Univ-BBA	Encadrant

Remerciements

Avant tout, nous remercions le bon Dieu tout puissant qui nous donne de la foi, du courage et de patience durant toutes nos années d'étude.

Nous remercions également nos familles pour les sacrifices qu'elles ont consentis afin que nous puissions terminer nos études. Nous remercions cordialement Monsieur **FOUD ZEBIRI** pour nous avoir encadrés, qui n'a pas cessé de nous donner ses conseils.

De même, nous remercions Monsieur **BENHENICHE A/HAK** qui nous a fait l'honneur de présider le jury pour la soutenance de notre PFE.

Nous remercions également Monsieur **MERABET ELKHEIR** l'examineur, qui a eu l'honneur d'accepter nos sympathies pour siéger dans notre jury. Nous remercions tous les professeurs qui nous ont enseigné depuis le premier jour d'école.

Liste des figures

<u>Figure 1.1 Flux énergétique en fonction des longueurs d'ondes [2]</u>	3
<u>Figure 1.2 Répartition du rayonnement Solaire [2]</u>	4
<u>Figure 1.3 Les différents types de rayonnement solaire [3]</u>	5
<u>Figure 1.4 Schéma d'une installation Photovoltaïque connectée au réseau [4]</u>	8
<u>Figure 1.5 Cellule Photovoltaïque [4]</u>	9
<u>Figure 1.6 Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque [6]</u>	10
<u>Figure 1.8 Schéma électrique d'une cellule Photovoltaïque réel [21]</u>	11
<u>Figure 1.9 Caractéristique $I = f(v)$ de CPV [21]</u>	13
<u>Figure 1.10 Caractéristique $P = f(v)$ de CPV [21]</u>	13
<u>figure 2 1 :schéma de fonctionnement de suiveur</u>	16
<u>figure 2 2 : les repères d'un point de la terre</u>	17
<u>figure 2 3 : l'azimut et la hauteur de déplacement du soleil</u>	17
<u>figure 2 4 : la production électrique.</u>	18
<u>figure 2 5: Suiveur solaire passif</u>	19
<u>figure 2 6 : types de suiveurs actifs.</u>	19
<u>figure 2 7: Suiveur solaire mono-axe.</u>	20
<u>figure 2 8:Suiveur solaire double axe</u>	20
<u>figure 2 9: Commande en boucle ouverte.</u>	21
<u>figure 2 10: commande en boucle fermée</u>	21
<u>figure 2 11 : Capteurs en quatre quadrants en forme(+).</u>	21
<u>figure 2 12 Capteurs en quatre quadrants en forme(\times)</u>	22
<u>figure 2 13 : deux capteurs séparés.</u>	22
<u>figure 2 14 : Moteur linéaire [19]</u>	23
<u>figure 2 15 : le moteur à courant continu [20]</u>	24

<u>figure 3 1 schéma synoptique.....</u>	26
<u>figure 3 2 : le branchement électrique des quatre LDRs à l'Arduino.</u>	27
<u>figure 3 3 : le branchement électrique des deux servomoteurs.....</u>	28
<u>figure 3 4 Schéma électrique global.....</u>	28
<u>figure 3 5 organigramme de programme de suiveur</u>	29
<u>figure 3 6 : La base de suiveur solaire.</u>	30
<u>figure 3 7 Les deux plaques rondes en MDf</u>	30
<u>figure 3 8 Les colonnes en bois deuxième servomoteur</u>	31
<u>figure 3 9 le montage des LDRs.....</u>	31
<u>figure 3 10 Le montage des composants sur la plaque d'essais [25].....</u>	32
<u>figure 3 11 la connexion des différents composants</u>	32
<u>figure 3 12 Schéma de Principe du convertisseur MPPT</u>	33
<u>figure 3 13 le schéma block de PV Array utilisé.....</u>	34
<u>figure 3 14 les paramètres de PV Array.....</u>	34
<u>figure 3 15 Caractéristique $I=f(V)$</u>	34
<u>figure 3 16 Caractéristique $P=f(V)$.....</u>	35
<u>figure 3 17 Convertisseur Boost: fonctionnement et formes d'onde</u>	35
<u>figure 3 18 Forme d'onde du courant d'inductance</u>	36
<u>figure 3 19 l'inductance utilisé dans ce projet</u>	37
<u>figure 3 20 capacitance utilisé dans ce projet.....</u>	37
<u>figure 3 21 Image de l'optocoupleur HCPL-3120 figure 3 22 Diagramme fonctionnel d'Optocoupleur</u>	
.....	38
<u>figure 3 23 diode utilisée dans notre projet.....</u>	38
<u>figure 3 24 Schéma du hacheur Boost réalisé</u>	39
<u>figure 3 25 Recherche du PPM par la méthode (P&O).</u>	40
<u>figure 3 26 Algorithme type de la méthode P&O.</u>	41
<u>figure 3 27 Schéma bloc sous Simulink du convertisseur Boost avec l'MPPT</u>	41
<u>figure 3 28 les différentes variations d'éclairage de PV</u>	42
<u>figure 3 29 Caractéristique $P(t)$ de GPV avec MPPT</u>	42
<u>figure 3 30 caractéristique $V(t)$ de GPV avec MPPT.....</u>	43
<u>figure 3 31 Caractéristique $I(t)$ de GPV MPPT</u>	43
<u>figure 3 32 Caractéristique $V(t)$ de batterie avec MPPT.....</u>	44
<u>figure 3 33 Schéma général de contrôleur de charge solaire MPPT</u>	44
<u>figure 3 34 Schéma du système photovoltaïque réalisé.....</u>	45

DÉDICACE

Je dédie ce travail à la super femme la mère réussie, ma mère MANSOURI DALILA,

Sans votre amour et vos sacrifices,

je ne serais jamais ici.

Je voudrais exprimer mes sincères remerciements à mes sœurs, mon père, mon binôme et tous mes proches et amis, qui m'ont accompagné, aidé, soutenu et encouragé tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Mokhtar-abdouga mohammed elamine

Merci Allah (mon dieu) de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir,
la force d'y croire, et la patience. Je dédie ce modeste travail à ceux qui
m'ont donné la vie, le symbole de tendresse, qui ont sacrifié pour mon bonheur
et ma réussite, à mes parents Que dieu les garde et les protège. A mes
adorables sœurs et frères, A mes amies. A tous ceux qui me sont chères. A tous
ceux qui m'aiment. A tous ceux que j'aime. Je dédie ce travail.

mohammed -Samir -islam

Résumé

Notre travail ayant comme objectif ; le premier, est de l'amélioration du gain en énergie électrique du panneau solaire mobile par rapport au système fixe. Notre dispositif d'instrument sera fixé sur une structure mécanique que nous avons réalisé à base de deux moteurs à courant continue avec leurs circuits de commande permettant ainsi la rotation du panneau selon les deux directions horizontale et verticale. Pour cette application, nous avons réalisé une lunette à base de quatre capteurs de lumière de type 'LDR'. Les signaux issus des capteurs sont transmis aux entrées d'un Arduino de type « MEGA 2560 » qui permet la comparaison des niveaux de tensions pour la commande des deux moteurs. Le deuxième ; réaliser un contrôleur de charge de type MPPT pour une batterie au plomb-acide basé sur une carte Arduino. Ce chargeur adopte principalement un convertisseur élévateur (Boost) DC_DC.

ملخص

مشروعنا هو صنع متتبع شمس تلقائي باستعمال حساسات ضوئية, يهدف مشروعنا إلى هدفين، الأول هو تحسين المكاسب في الطاقة الكهربائية للوحة شمسية المتحركة مقارنة بالنظام الثابت. سيتم تثبيت جهازنا بواسطة هيكل ميكانيكي يتحرك بواسطة محركين ذو تيار مستمر من نوع سيرفو مع دوائر التحكم الخاصة بهم مما يتيح تدوير اللوحة في الاتجاهين الأفقي والعمودي. بالنسبة لهذا التطبيق ، لقد صنعنا متتبعاً مكوناً من أربعة أجهزة استشعار مقاومة للضوء من نوع "LDR" يتم نقل الإشارات الصادرة من أجهزة الاستشعار إلى مدخلات متحكم من نوع "MEGA 2560" الذي يسمح بمقارنة مستويات الجهد للسيطرة على المحركين مما يسمح بتوجيه اللوحة نحو الشمس. ثانيًا: هو صنع وحدة تحكم شحن من نوع MPPT لبطارية حمض الرصاص بناءً على لوحة Arduino يعتمد هذا الشاحن بشكل أساسي على

محول Boost DC_DC

Abstract

Our work has two objectives; the first is to improve the electrical energy gain of the solar panel compared to the fixed system. Our instrument device will be fixed on a mechanical structure that we realized based on two motors with continuous current with their control circuits allowing the rotation of the panel in both horizontal and vertical directions. For this application, we have created a bezel based on four light sensors of type 'LDR'. The signals from the sensors are transmitted to the inputs of an Arduino of type «MEGA 2560» which allows the comparison of the voltage levels for the control of the two motors. The second, a MPPT-type charge controller for an Arduino-based lead-acid battery. This charger mainly adopts a DC_DC Boost converter.

Liste des notations et abréviations

C : Vitesse de la lumière avec $C=300.000 \text{ k/s}$.

UV: Rayonnement ultraviolet .

UVC : Rayonnement ultraviolet type C.

UVB: Rayonnement ultraviolet type B.

UVA: Rayonnement ultraviolet type A .

λ : La longueur d'onde.

IR : Rayonnement infra rouge .

ZCE : Zone de charge d'espace .

P : Couche P .

N : Couche N .

N-P : Jonction N-P .

UT : Tension thermique .

K : Constante de Boltzmann avec $k = 1.38 \times 10^{-23}$.

Q : Charge de l'électron avec $q = 1.602 \times 10^{-19}$.

I_s : Courant de saturation de la diode.

I_{ph} : Photo courant.

A : Le facteur d'idéalité de la jonction ($1 < A < 3$).

I₀ : Courant de diode.

R_p : Résistances shunt représente les fuites autour de la jonction P-N .

T_c : Température de jonction (K).

T : La température ambiante.

E_g : Eclairement .

NOCT: (Nominal operating cella temperature), Température nominal de fonctionnement de la cellule .

P_m : Puissance maximale.

I_m : Courant maximal.

V_m : Tension maximale.

P_p : La puissance parallèle du panneau solaire.

N_p : Nombre de cellules parallèles .

P_s : puissance série du panneau solaire .

N_s : Nombre de cellules série ,

P_p : La puissance parallèle- série du panneau solaire.

I_m : Le courant maximum.

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

V_{co} : La tension de circuit ouvert Le facteur de forme.

η : Le rendement du panneau solaire.

Φ : Latitude du lieu [°].

PV : Phtovoltaïque.

ISIS: Intelligent Schematic Input System.

LDR : Light Dépendent Résistor.

GND: Ground

USB : Universal Serial Bus

MPPT: Maximum Power Point Tracker.

AC: Courant Alternatif (Alternative Current).

DC: Courant Continu (Direct Current)

CC : Courant Continu.

DC-DC : Continue/Continue

GPV: Générateur Photovoltaïque

PPM: Le point de puissance maximum

P&O: Perturbation ET Observation

Table des matières

1	RAYONNEMENT ET CONVERSION DE L'ENERGIE SOLAIRE.....	2
1.1	Introduction.....	2
1.2	Le Rayonnement solaire :.....	2
1.2.1	Définition	2
1.2.2	Les différents types de rayonnement solaire	4
1.3	La Conversion d'énergie solaire.....	5
1.3.1	II.1.Définition	5
1.3.2	Le thermique à basse température	5
1.3.3	Le thermique à concentration.....	6
1.3.4	L'énergie solaire thermodynamique	6
1.4	L'effet photovoltaïque.....	6
1.4.1	Définition et Historique.....	6
1.4.2	Domaines d'application des panneaux solaires	7
1.5	La Cellule Photovoltaïque	8
1.5.1	Définition	8
1.5.2	Principe de fonctionnement.....	9
1.5.3	Schéma électrique d'une cellule photovoltaïque.....	11
1.5.4	La puissance d'un panneau solaire	12
1.5.5	Le rendement d'un panneau solaire.....	14
1.5.6	Types de cellules photovoltaïques	14
	Conclusion	15

2	Les suiveurs solaires	16	
2.1	Introduction.....	16	
2.2	Les suiveurs solaires.....	16	
2.2.1	Définition et fonctionnement.....	16	
2.2.2	Les angles qui rentrent en jeu pendant l'orientation des PV Le déplacement du soleil	17	
2.2.3	L'intérêt des suiveurs solaires.....	18	
2.3	Types des Suiveurs solaire	18	
2.3.1	Suiveurs solaire passif.....	18	
2.3.2	Suiveurs solaire actif	19	
2.4	Les moteurs utilisés comme actionneurs dans les suiveurs	22	
2.4.1	Moteurs linéaires	23	
2.4.2	Machines tournantes	23	
2.5	Conclusion.....		25
3	La conception et réalisation de projet	26	
3.1	Introduction :.....	26	
3.2	Conception et la réalisation de suiveur solaire	26	
3.2.1	Les blocs de notre système	26	
3.2.2	Implémentation le système suiveur sous le logiciel ISIS	28	
3.2.3	L'organigramme	29	
3.2.4	Réalisation de suiveur	29	
3.2.5	Tests et essais expérimentaux	32	
	Conception et réalisation d'un chargeur solaire MPPT.....	33	

3.3	33
3.3.1 Principe De La Commande MPPT	33
3.3.2 Simulation d'un GPV	34
3.3.3 Convertisseur DC/DC	35
3.3.4 Simulation du système photovoltaïque 5w	39
3.3.5 Simulation de MPPT par MATLAB.....	41
3.3.6 la réalisation de contrôleur de charge solaire par MPPT avec la carte arduino	44
3.4 Conclusion	46

Liste des figures

Figure 1.1 Flux énergétique en fonction des longueurs d'ondes [2].....	3
Figure 1.2 Répartition du rayonnement Solaire [2].....	4
Figure 1.3 Les différents types de rayonnement solaire [3].....	5
Figure 1.4 Schéma d'une installation Photovoltaïque connectée au réseau [4].....	8
Figure 1.5 Cellule Photovoltaïque [4].....	9
Figure 1.6 Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque [6]	10
Figure 1.8 Schéma électrique d'une cellule Photovoltaïque réel [21]	11
Figure 1.9 Caractéristique $I = f(v)$ de CPV [21]	13
Figure 1.10 Caractéristique $P = f(v)$ de CPV [21]	13
figure 2 1 :schéma de fonctionnement de suiveur	16
figure 2 2 : les repères d'un point de la terre	17
figure 2 3 : l'azimut et la hauteur de déplacement du soleil.....	17
figure 2 4 : la production électrique.	18
figure 2 5: Suiveur solaire passif.....	19
figure 2 6 : types de suiveurs actifs.	19
figure 2 7: Suiveur solaire mono-axe.	20
figure 2 8:Suiveur solaire double axe.....	20
figure 2 9: Commande en boucle ouverte.	21
figure 2 10: commande en boucle fermée.....	21
figure 2 11 : Capteurs en quatre quadrants en forme(+).	21
figure 2 12 Capteurs en quatre quadrants en forme(\times)	22
figure 2 13 : deux capteurs séparés.	22
figure 2 14 : Moteur linéaire [19].....	23
figure 2 15 : le moteur à courant continu [20].....	24

figure 3 1 schéma synoptique.....	26
figure 3 2 : le branchement électrique des quatre LDRs à l'Arduino.	27
figure 3 3 : le branchement électrique des deux servomoteurs.....	28
figure 3 4 Schéma électrique global.....	28
figure 3 5 organigramme de programme de suiveur	29
figure 3 6 : La base de suiveur solaire.	30
figure 3 7 Les deux plaques rondes en MDf	30
figure 3 8 Les colonnes en bois deuxième servomoteur	31
figure 3 9 le montage des LDRs.....	31
figure 3 10 Le montage des composants sur la plaque d'essais [25].....	32
figure 3 11 la connexion des différents composants	32
figure 3 12 Schéma de Principe du convertisseur MPPT	33
figure 3 13 le schéma block de PV Array utilisé.....	34
figure 3 14 les paramètres de PV Array.....	34
figure 3 15 Caractéristique $I=f(V)$	34
figure 3 16 Caractéristique $P=f(V)$	35
figure 3 17 Convertisseur Boost: fonctionnement et formes d'onde	35
figure 3 18 Forme d'onde du courant d'inductance	36
figure 3 19 l'inductance utilisé dans ce projet	37
figure 3 20 capacitance utilisé dans ce projet.....	37
figure 3 21 Image de l'optocoupleur HCPL-3120 figure 3 22 Diagramme fonctionnel d'Optocoupleur	38
.....	38
figure 3 23 diode utilisée dans notre projet.....	38
figure 3 24 Schéma du hacheur Boost réalisé	39
figure 3 25 Recherche du PPM par la méthode (P&O).	40
figure 3 26 Algorithme type de la méthode P&O.	41
figure 3 27 Schéma bloc sous Simulink du convertisseur Boost avec l'MPPT	41
figure 3 28 les différentes variations d'éclairement de PV	42
figure 3 29 Caractéristique $P(t)$ de GPV avec MPPT	42
figure 3 30 caractéristique $V(t)$ de GPV avec MPPT	43
figure 3 31 Caractéristique $I(t)$ de GPV MPPT	43
figure 3 32 Caractéristique $V(t)$ de batterie avec MPPT.....	44
figure 3 33 Schéma général de contrôleur de charge solaire MPPT	44
figure 3 34 Schéma du système photovoltaïque réalisé.....	45

INTRODUCTION

GENERALE

Introduction générale

La communauté scientifique est contrainte de trouver d'autres sources d'énergie en raison de l'épuisement des sources d'énergie naturelles non renouvelables, notamment le charbon, le pétrole et le gaz, ainsi que de leurs effets néfastes sur l'environnement. En fait, les sources d'énergie renouvelables, ou comme on les appelle parfois, les « sources d'énergie autogénérées », sont de plus en plus utilisées. Les progrès technologiques ont permis de convertir la chaleur et la lumière transportées par le rayonnement solaire en énergie électrique [1].

Nous nous concentrons sur l'effet photoélectrique qui apparaît sur le capteur de lumière d'une cellule photovoltaïque, souvent appelé panneaux, comme l'une des méthodes de conversion de l'énergie solaire en électricité. Les systèmes photovoltaïques (PV) produisent de la tension électrique en transférant l'énergie des photons de lumière frappant un matériau semi-conducteur aux électrons [2].

Cependant, pour que ces PV fonctionnent au mieux, ils doivent être orientés perpendiculairement vers le soleil, ce qui n'est pas possible sans un système de transfert d'énergie solaire.

Le principe de cette technologie repose sur la rotation des panneaux solaires afin de maximiser la puissance et le rendement, c'est-à-dire le suivi continu du trajet du soleil en temps réel pour garantir une production maximale d'énergie électrique. Ces travaux ont couvert une partie de la technologie photovoltaïque, qui est le successeur du solaire (leur utilisation remonte à l'année 1750) [2].

Notre objectif est de réaliser un prototype qui nous permettra de maximiser la quantité de lumière et de puissance (suiveur plus un contrôleur de puissance). À cette fin, nous diviserons notre mémoire en trois chapitres:

Dans le premier chapitre, nous présenterons les différentes sources d'énergie renouvelables tout en analysant de manière approfondie la production d'électricité par l'effet photovoltaïque.

Le deuxième chapitre sera consacré à la compréhension d'un suiveur solaire en décrivant les nombreux types, stratégies et modes opératoires de ces systèmes.

Ensuite, nous commencerons le troisième chapitre, nous allons présenter les différentes étapes de la conception de notre suiveur avec chargeur Solaire et l'implémentation des différents dispositifs utilisés dans ce projet.

Enfin on conclure notre mémoire par une conclusion générale.

CHAPITRE 1

**RAYONNEMENT ET
CONVERSION
DE L'ENERGIE SOLAIRE**

1 RAYONNEMENT ET CONVERSION DE L'ENERGIE SOLAIRE

1.1 Introduction

L'épuisement futur des ressources naturelles est causé par la surexploitation des capacités de la terre. Le moment est venu de se concentrer sur le recyclage ou l'utilisation de ressources renouvelables. Le seul domaine où la terre reçoit un apport extérieur renouvelable est l'énergie solaire.

En outre, la technologie photovoltaïque est l'un des meilleurs moyens d'exploiter cette énorme ressource naturelle à l'aide d'une infrastructure mise à jour et établie de longue date qui maximise la production d'énergie tout en exigeant moins d'argent et en assurant une meilleure couverture et une meilleure assurance des besoins humains.

1.2 Le Rayonnement solaire :

1.2.1 Définition

Un réacteur de fusion nucléaire qui fonctionne depuis cinq milliards d'années est le soleil. Il libère d'énormes quantités d'énergie dans l'espace en convertissant l'hydrogène en hélium (sa puissance est estimée à 63 500 kW/m²). Ces radiations voyagent à travers l'espace à une vitesse constante de $C = 300000$ km/s et mettent 8 minutes pour atteindre la Terre [1].

Ils sont émis dans toutes les directions. Avec une puissance d'environ 1,4 kW/m², le rayonnement solaire parcourt une distance d'environ 150 millions de kilomètres avant d'atteindre la surface de l'atmosphère terrestre. C'est ce qu'on appelle la constante solaire.

La relation suivante décrit l'énergie émise par un photon :

$$E [J] = h\nu = h \cdot \frac{c}{\lambda} \quad (1.1)$$

- h : constante de Planck.
- λ : longueur d'onde [m].
- c : vitesse de la lumière dans le vide.
- ν : fréquence [Hz].

La longueur des ondes électromagnétiques formées par le flux de particules, ou plus précisément les photons, détermine leur niveau de risque.

Les plus courtes longueurs d'onde de la lumière (rayons gamma et rayons X) sont les plus agressives, étant si énergiques qu'elles peuvent "ioniser" les atomes de la matière qu'elles traversent (voir Figure 1. 1).

Ces rayonnements, également appelés rayonnements ionisants ou rayonnements radioactifs, sont les mêmes que ceux qui se trouvent souvent dans les centrales nucléaires et les réservoirs de stockage nucléaires. Ils sont heureusement arrêtés par l'atmosphère terrestre car autrement aucune vie ne serait concevable sur Terre. Bien que considérés comme non ionisants, les autres rayonnements émis par le Soleil ne sont pas encore sans impact [2].

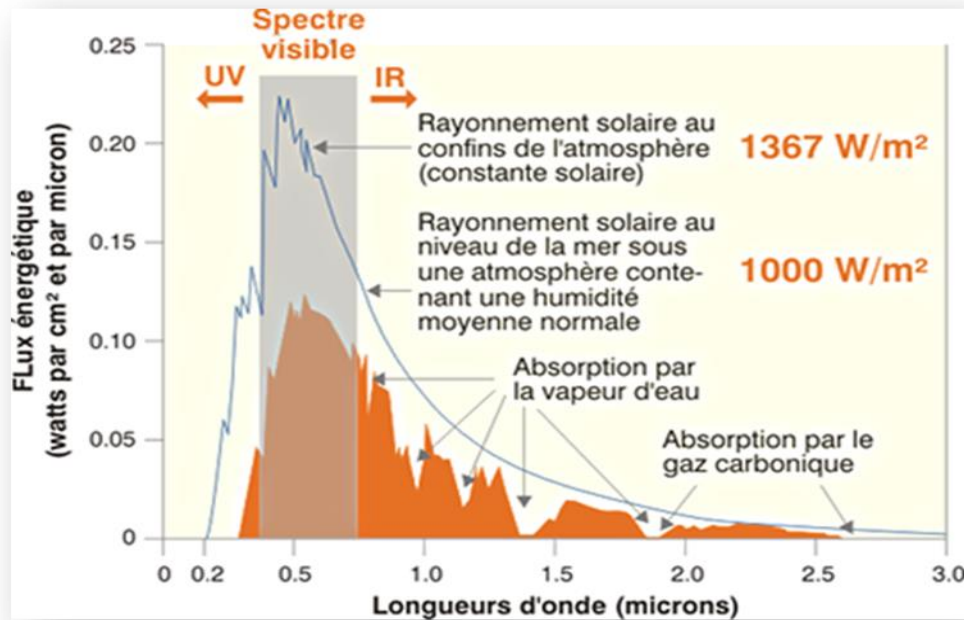


Figure 1.1 Flux énergétique en fonction des longueurs d'ondes [2]

- UV: Les Ultraviolets Les non-calories invisibles se divisent en trois catégories:
 - Les rayons UVC les plus dangereux (de 100 à 280 nm) sont totalement absorbés par la couche d'ozone.
 - Les rayons UVB (d'une longueur d'onde de 280 à 320 nm) sont partiellement bloqués par la couche d'ozone et peuvent provoquer des cancers de la peau et accélérer le vieillissement des tissus (peau, cristallin). . .
 - Les UVA (entre 320 et 400 nm), moins filtrés que les UVB, sont également cancérigènes.

- Les micro-ondes

Ils ne sont pas particulièrement énergiques, mais ils ont la capacité unique de chauffer et de déplacer les molécules d'eau à travers un phénomène connu sous le nom de « résonance ». Parce qu'à la faible proportion qu'elles représentent, ces micro-ondes solaires ne constituent pas une menace pour la Terre.

- Les ondes radio

Tout à fait comparables à celles émises par les émetteurs de programmes radiophoniques et télévisés.

- Les Infrastructures

Le rayonnement infrarouge, dont la longueur d'onde varie de 800 à 3200 nm, représente 50% du rayonnement solaire atteignant la Terre. Ils libèrent d'importantes quantités d'énergie en appuyant sur l'hypoderme, qui se transforme en chaleur palpable.

- La lumière visible

La majeure partie de la lumière visible (entre 400 et 800 nm) traverse l'atmosphère et, si elle n'est pas bloquée par la poussière ou les vapeurs, elle représente 40% du rayonnement solaire au niveau du sol, alors que 60% du rayonnement solaire est absorbé par l'atmosphère.

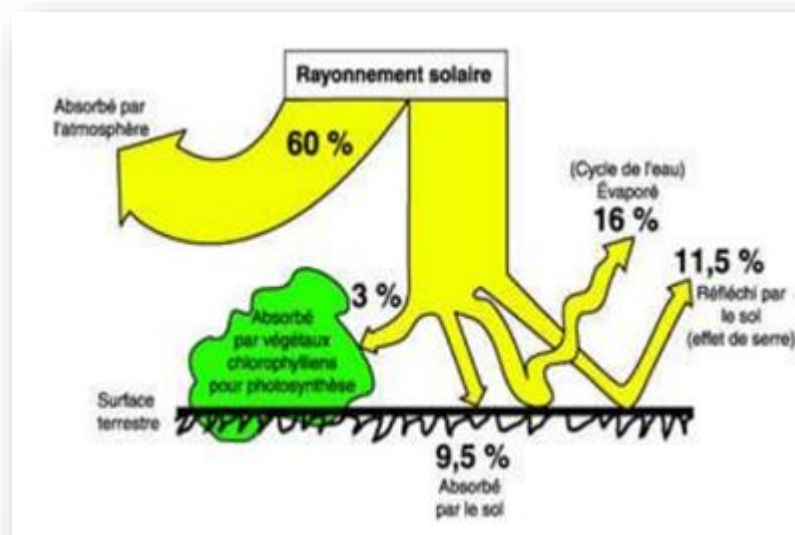


Figure 1.2 Répartition du rayonnement Solaire [2]

1.2.2 Les différents types de rayonnement solaire

1.2.2.1 Le rayonnement direct

Ce sont les rayons UV du soleil. Ces systèmes à concentration (quatre centrales solaires, thermodynamiques et photovoltaïques) utilisent ce type de rayonnement [1] [2].

1.2.2.2 Le rayonnement diffus

Que ça ait l'air bon ou pas, ce sont des radiations atmosphériques. Les rayons lumineux du soleil traversent les nuages et s'étendent sur toute la surface de la Terre. Contrairement au rayonnement direct, ils contribuent à l'illumination mais ne peuvent pas être focalisés [1] [2].

1.2.2.3 Le rayonnement global

Il s'agit de la quantité totale de rayonnement direct et diffus. C'est ce qui alimente les panneaux solaires thermiques et photovoltaïques (aussi appelés "systèmes sans concentration") illustrés à (Figure 1. 3) [1] [2].

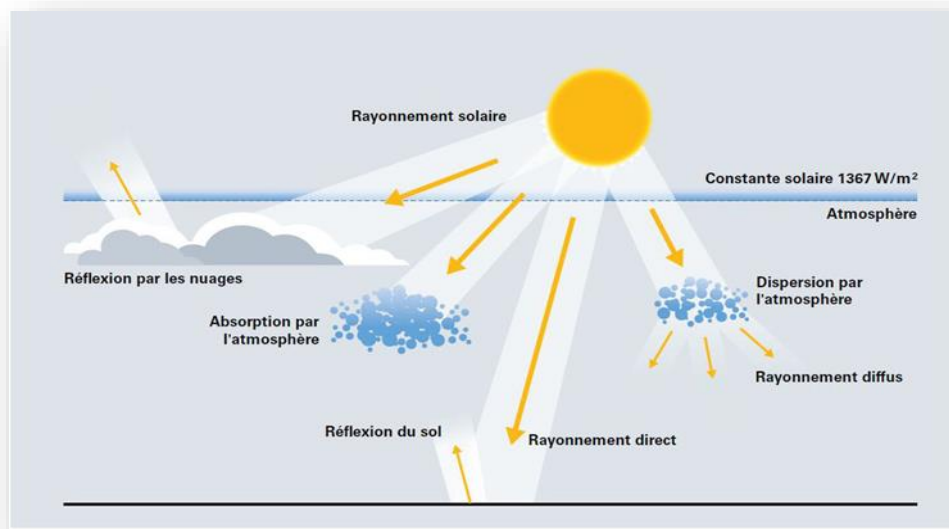


Figure 1.3 Les différents types de rayonnement solaire [3]

1.3 La Conversion d'énergie solaire

1.3.1 Définition

L'énergie solaire est l'énergie que le soleil rayonne. De nombreux phénomènes physiques, y compris la photosynthèse, le vent et le cycle de l'eau, sont entraînés par cette énergie. Elle provient de la fusion nucléaire qui se déroule au cœur du Soleil [2]. L'énergie solaire est transportée à travers l'espace sous forme de rayonnement électromagnétique. Les minuscules particules énergétiques appelées photons composent ce rayonnement. Cette énergie a fait l'objet de quelques stratégies de transformation en fonction des besoins. Aujourd'hui, il y a trois façons principales d'utiliser l'énergie solaire, qui sont décrites ci-dessous.

1.3.2 La thermique à basse température

L'utilisation directe de la chaleur produite par le Soleil est possible [2].

Il s'agit d'équipements fonctionnant à basse température (moins de 100 °C) pour des applications résidentielles, commerciales et industrielles. Le monde est actuellement dominé par l'énergie solaire.

Afin de capter l'énergie solaire et de la transférer dans un fluide qui circule vers les lieux d'utilisation, des capteurs thermiques sont utilisés. Plusieurs types de capteurs vont de la plus simple pour un usage domestique à la plus sophistiquée pour des installations commerciales.

1.3.3 Le thermique à concentration

L'énergie solaire utilisée dans les systèmes photovoltaïques convertit directement le rayonnement solaire en électricité. Le capteur solaire thermique capte la chaleur. Cette énergie peut être utilisée aussi bien localement que dans les grandes installations industrielles grâce à une variété de méthodes. Ensuite, on se tourne vers d'énormes centrales souterraines appelées centrales thermodynamiques [2].

Le rayonnement solaire est concentré et converti en chaleur extrêmement chaude par des dispositifs miroirs installés dans les centrales thermodynamiques. Selon un procédé analogue à celui des centrales nucléaires, cette chaleur est convertie en énergie mécanique, puis en électricité.

1.3.4 L'énergie solaire thermodynamique

En outre, en utilisant l'énergie thermodynamique du soleil, l'électricité peut être produite. Le principe de fonctionnement est le même que celui d'une centrale électrique classique : production de gaz ou de vapeur à haute pression, puis turbine pour produire de l'électricité [2].

Cette méthode nécessite des températures élevées (entre 250 °C et plus de 1 000 °C), qui sont obtenues en focalisant la lumière solaire à travers des miroirs sur un fluide caloporteur permettant le stockage de l'énergie sous forme de chaleur. Ce stockage permet d'atténuer les effets de l'énergie solaire intermittente, par exemple en permettant la production d'électricité après le coucher du soleil.

1.4 L'effet photovoltaïque

1.4.1 Définition et Historique

Le mot "photovoltaïque" est une combinaison du mot grec "photos" (lumière) et du nom du physicien italien Alessandro Volta, qui a inventé le réseau électrique et a donné son nom à la Volt (unité de mesure de la tension électrique). L'expression « effet photovoltaïque » ou « effet photoélectrique » fait référence à la capacité d'un matériau à convertir l'énergie du rayonnement solaire en électricité. Le silicium est un exemple de ces matériaux.

Antoine Becquerel (1788–1878) découvre le phénomène photovoltaïque et crée le pieu photovoltaïque en 1839. Le premier capteur cylindrique a été mis en service en 1912 par le physicien anglais Charles Vernon Boys (1855–1944). Le chimiste français Félix Trombe (1906-1985) développe des systèmes de chauffage solaire passif, dont le « mur Trombe » en 1949. Il contribue également à la construction des panneaux solaires successifs du site.

Le lancement de Vanguard I, le premier satellite photovoltaïque, a eu lieu en 1959. Dans les années 1970, les deux chocs pétroliers ont provoqué un regain d'intérêt pour l'énergie solaire. Dans les années 80, les développements sont ralentis par des raisons de rentabilité liées, par exemple, à une technologie coûteuse. En 2012, l'énergie photovoltaïque connectée au réseau mondial a dépassé le seuil des 100 GW.

1.4.2 Domaines d'application des panneaux solaires

Les panneaux solaires sont utilisés ou intégrés dans une variété d'industries, telles que :

- Industrie isolée

La technologie photovoltaïque est de plus en plus intégrée dans les programmes nationaux d'électrification rurale (ménages, écoles, centres de santé, télécommunications, etc.). Plusieurs applications professionnelles exigent une source d'électricité hautement fiable, indépendante, sans entretien et inflammable. Le générateur photovoltaïque est de loin l'alternative la plus attrayante ; il est utilisé avec succès dans les systèmes de communication tels que la télévision, la radio, le téléphone et les boîtes à appareils.

- Centrale de puissance

Avec les applications photovoltaïques raccordées au réseau électrique national, une nouvelle tendance qui a de fortes chances de s'étendre aux pays industrialisés est en train d'émerger.

- Urban résidence

L'installation de panneaux solaires sur les toits et les façades des bâtiments est une autre utilisation urbaine du générateur photovoltaïque connecté au réseau.

- Biens de consommation :

L'électronique moderne ne nécessite que des milliwatts à des dizaines de watts de puissance, ce qui permet à une petite surface de cellules photovoltaïques d'alimenter un grand nombre de petits dispositifs, comme le montre (figure 1.4). Les utilisations les plus connues sont sans doute les calculatrices et les montres. D'autres exemples incluent les chargeurs de batteries, les radios, les lampes de poche, l'éclairage extérieur, les systèmes de sécurité, les jouets, les fontaines, les torches à gaz, etc. Cette liste n'est pas exhaustive.

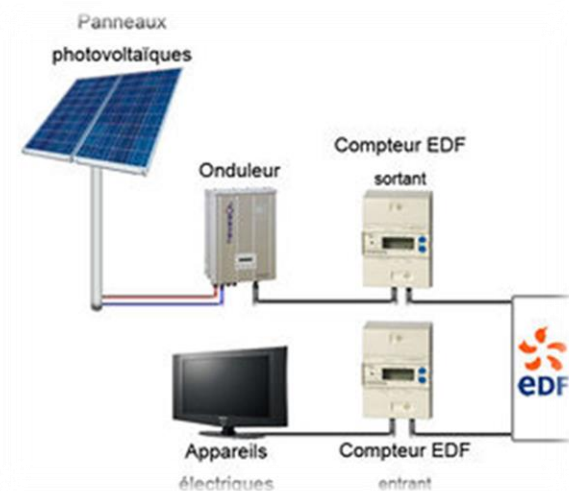


Figure 1.4 Schéma d'une installation Photovoltaïque connectée au réseau [4]

1.5 La Cellule Photovoltaïque

1.5.1 Définition

Un composant électronique appelé cellule photovoltaïque (également appelée cellule solaire) produit de l'électricité lorsqu'il est exposé à la lumière (photons) grâce à l'effet photovoltaïque qui en est responsable un phénomène. La puissance obtenue est proportionnelle à la puissance lumineuse incidente et dépend des performances de la cellule [4], figure I.5. Généralement, les cellules solaires ont une forme carrée ou légèrement arrondie, sont extrêmement petites, de couleur bleue et sont disposées horizontalement sur des modules. Un flux continu d'électrons traverse le circuit électrique parce que le courant généré par les cellules est un courant continu. Chacune de ces cellules génère une certaine tension (0,8V pour les cellules amorphes et 0,55V pour les cellules monocristallines, en conditions

STC). Ainsi, pour obtenir une tension de dégagement plus élevée, un certain nombre de cellules doivent être raccordées en série.

Les colonnes représentées sur les modules sont représentées par les cellules ainsi organisées. Par exemple, pour fabriquer un module monocristallin avec une tension de 14V, il faudrait 26 colonnes cellulaires ($26 \times 0,55 = 14,3$).

Cette tension peut varier en fonction de la température. Une augmentation de la température provoque une diminution de tension de 0,4% par degré Celsius. Pour cette raison, il est essentiel de ventiler les modules pour éviter qu'ils ne perdent trop de tension. Le nombre de cellules en série peut être modifié lorsque les variations de tension liées à la température sont inévitables. Par conséquent, les panneaux spécifiques à la zone chaude ont plus de cellules pour compenser cette diminution de tension.

L'intensité varie en fonction de la clarté (exprimée en W/m^2 ou lux). L'intensité augmente à mesure que l'intensité lumineuse augmente. En réalité, ce sont les photons de lumière qui transfèrent leur énergie aux électrons et les libèrent. Ainsi, selon le jour, différentes quantités d'électricité sont produites. Lorsque le soleil est à son point culminant, ou « midi », la luminosité et la production cellulaire sont à leur apogée.

Ainsi, les conditions idéales pour le fonctionnement d'une cellule sont la lumière maximale et la basse température. Comme les modules peuvent facilement atteindre 50 degrés et plus tout au long de la journée, ces exigences sont sans aucun doute difficiles à satisfaire.

Fabrication de la première cellule solaire à l'état solide (ou cellule solaire à l'état solide, en anglais *solid state*) a été donnée à Charles Fritts en 1883. Plus tard, on a ajouté du sélénium et du silicium (qui ont finalement remplacé le cadmium-tellure ou le cadmium-indium-sélénium également testés) pour des raisons de coût) se sont révélées capables de produire les premières cellules photovoltaïques.

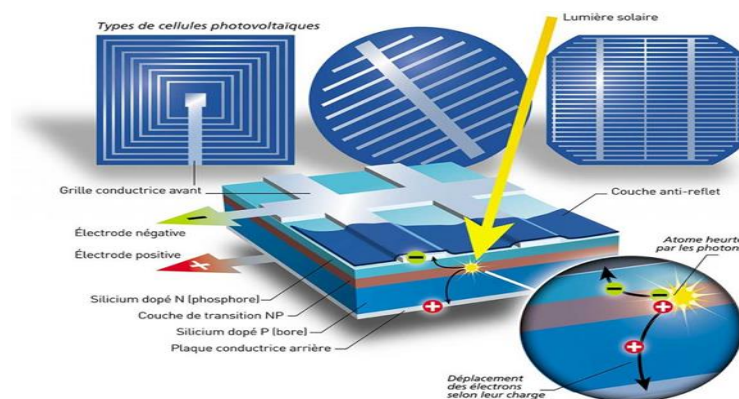


Figure 1.5 Cellule Photovoltaïque [4]

1.5.2 Principe de fonctionnement

La capacité de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque dépend de la présence d'une tension électrique entre ses surfaces supérieure et inférieure lorsqu'il y a de la lumière. Cette tension est rendue possible par la superposition de deux couches semi-conductrices, généralement le silicium, dont l'une est renforcée par des atomes avec un excès d'électrons libres pour la rendre négative (couche N) et l'autre est dopée positivement par une pénurie d'électrons (couche P), ce qui entraîne la création d'un "trou" où les électrons libres font défaut, comme le montre (figure 1.6) [6].

Ces deux surfaces enrichies en silicium sont électriquement neutres. Dans chaque couche, le rapport des protons aux électrons est équilibré. Pourtant, les électrons libres de la couche N tentent de boucher les trous de la couche P. Ainsi, une partie de la couche N devient chargée positivement, tandis qu'une partie de la couche P devient chargée négativement. La composante intermédiaire entre N et P devient alors un champ électrique. Cette zone d'échange est connue sous le nom de ZCE, ou zone d'espace chargé. Cette région est cruciale pour le fonctionnement de la cellule photovoltaïque car les électrons ne peuvent aller que dans une direction, de P à N, à l'intérieur de celle-ci. Par conséquent, le fonctionnement de la jonction P-N semble être semblable à celui d'une diode.

le processus. Lorsque l'électron est tiré du ZCE, il ne peut pas entrer dans les trous puisqu'ils ont déjà été comblés. En raison de sa charge négative (les opposés sont attirés), l'électron en arc se déplace vers le pôle positif (le canapé en forme de N).

D'autre part, parce que l'électron projeté a une charge positive, le trou qu'il laisse pointera dans une direction négative. Les électrons sont forcés de s'accumuler dans la couche N par le champ électrique; ils n'ont pas le choix.

C'est pourquoi la cellule se comporte comme une diode : les électrons dispersés du ZCE vont automatiquement dans la direction de la couche N, et le courant a une direction unique.

L'étape suivante consiste à monter des capteurs électriques sur les canapés N et P et à mettre en place un circuit électrique pour alimenter, par exemple, une lumière. L'excès d'électrons dans la couche N cherche à joindre les trous de la couche P-excès, mais ils ne peuvent pas le faire à travers la jonction P-N. Ils doivent donc compléter le circuit et mettre en marche un courant électrique. Ainsi, la cellule photovoltaïque est convertie en générateur.

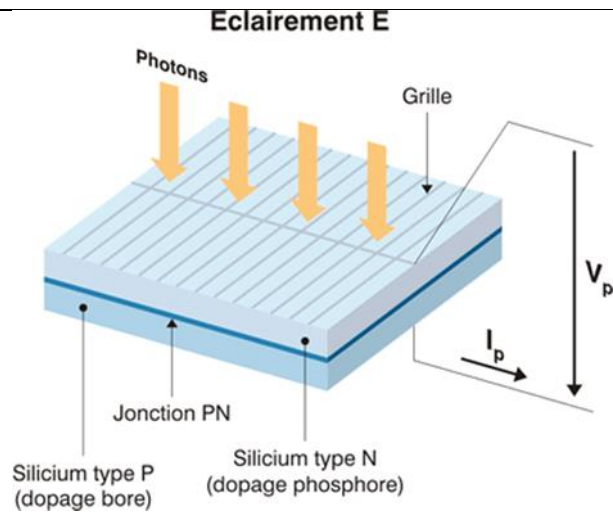


Figure 1.6 Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque [6]

1.5.3 Schéma électrique d'une cellule photovoltaïque

1.5.3.1 Circuit électrique réel

L'équivalent électrique d'une cellule photovoltaïque réelle est illustré à (figure 1.8) et se compose d'un générateur de courant, d'une diode parallèle, de résistances en série et en parallèle et d'autres composants. [21]

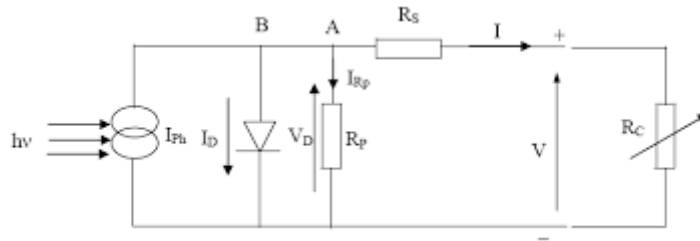


Figure 1.7 Schéma électrique d'une cellule Photovoltaïque réel [21]

La tension de courant caractéristique pour une température spécifique et un éclairement solaire fixe est donnée ci-dessous [21]:

Le courant généré par la cellule s'exprime comme suite :

$$I_{Rs} = I_{ph} - I_d - I_{Rp} \quad (1.2)$$

$$I_d = I_0 \cdot \left(e^{\frac{q(V + R_s I_{Rs})}{A \cdot K \cdot T_c}} - 1 \right) \quad (1.3)$$

$$I_{Rp} = \frac{(V + R_s I_{Rs})}{R_p} \quad (1.4)$$

$$I = I_{ph} - I_0 \cdot \left(e^{\frac{q(V + R_s I_{Rs})}{A \cdot K T_c}} - 1 \right) - \frac{(V + R_s I_{Rs})}{R_p} \quad (1.5)$$

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

I_{ph} : Photo courant créé par la cellule (proportionnel au rayonnement incident)

I_0 : Courant de diode, représente le courant de fuite interne à une cellule causée par la Jonction

P-N de la cellule.

R_p : Résistances shunt représente les fuites autour de la jonction P-N dues aux impuretés et sur les coins de cellule.

R_s : Résistance série symbolise la résistance de masse du matériau semi-conducteur, ainsi les résistances ohmique et de contact au niveau des connections des cellules.

q: La charge de l'électron ($1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$).

K: Constant de Boltzmann ($1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$).

T_c : Température de jonction (K).

$$T_c = T + (\text{NOCT} - 20) \frac{E_g}{800}.$$

T : la température ambiante.

E_g : Éclairement.

NOTC:(Nominal operating cella température), température nominal de fonctionnement de la cellule qui est mesurée sous les conditions suivantes :

- Journée claire d'ensoleillement moyenne $800 \text{ (w/m}^2\text{)}$.
- Température ambiante de (20°C).
- Vitesse moyenne du vent (1 m/s).

En négligeant le terme $(V+R_s.I)/R_p$ pour une résistance shunt très grande, il vient que le courant généré par la cellule devient :

$$I = I_{ph} - I_0 \cdot \left(e^{\frac{q(V+R_s.I)}{A.K.T_c}} - 1 \right) \quad (1.6)$$

1.5.4 La puissance d'un panneau solaire

Comme l'utilisateur s'intéresse davantage à l'aspect de la tension de courant qui génère de l'énergie, ni le point de tension en circuit ouvert ni le point de tension en circuit fermé ne fourniront d'énergie puisque l'énergie est produite par le courant, (figures 1.9 et 1.10) montrent la tension.

Ainsi, la puissance maximale de la cellule est produite [21]:

$$P_m = I_m \times V_m \quad (1.7)$$

A/La puissance du panneau constitué de cellules parallèle :

$$P_p = I \times N_p \times V \quad (1.8)$$

B/La puissance du panneau constitué des cellules série :

$$P_s = I \times N_s \times V \quad (1.9)$$

C/La puissance du panneau constitué des cellules série et parallèle :

$$P_{p,s} = I \times N_p \times V \times N_s \quad (1.10)$$

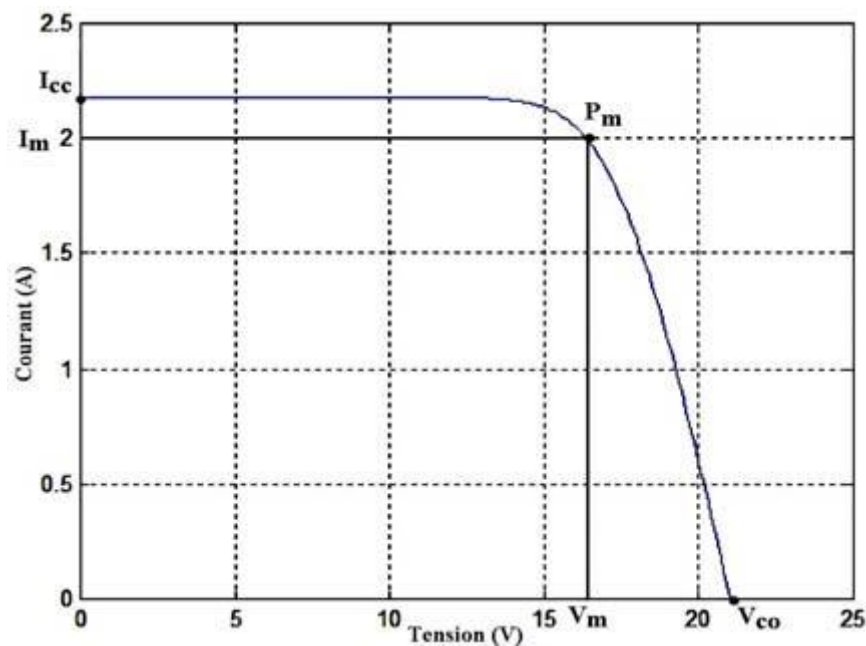
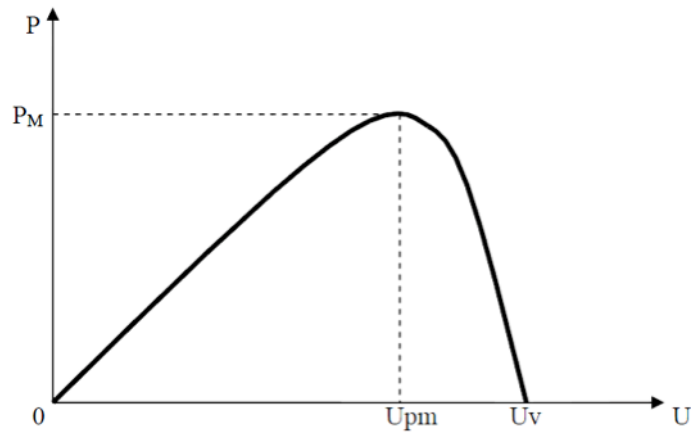


Figure 1.8 Caractéristique $I = f(v)$ de CPV [21]

Figure 1.9 Caractéristique $P=f(v)$ de CPV [21]

P_m : La puissance maximale.

I_m : Le courant maximum.

V_m : La tension maximale.

N_s : Le nombre des cellules associé en série.

N_p : Le nombre des cellules associé en parallèle P_m

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

Si le courant généré par la cellule lorsque la tension à ses bornes est nulle, en pratique ce courant est assez semblable au courant I_{ph} de la cellule photovoltaïque.

- La tension de circuit ouvert V_{co} :

C'est la tension qui apparaît aux bords de la cellule lorsque la dette actuelle est nulle.

- Le facteur de forme:

Qui indique le degré d'idéalité de la caractéristique ou de la relation:

$$FF = \frac{P_m}{V_{co} \cdot I_{cc}} \quad (1.11)$$

1.5.5 Le rendement d'un panneau solaire

Le symbole exprime la production d'énergie d'une cellule sous la forme du rapport entre la puissance maximale fournie par la cellule et la puissance incidente (P_i):

$$\eta = \frac{P_m}{P_i} \quad (1.12)$$

1.5.6 Types de cellules photovoltaïques

1.5.6.1 Cellules Multi-jonction

Les cellules multi-jonction sont constituées de plusieurs couches qui leur permettent de convertir différentes parties du spectre solaire et d'obtenir ainsi les meilleurs taux de conversion.

1.5.6.2 Cellule en Silicium monocristallin

Le silicium liquide fond et se solidifie à mesure qu'il refroidit, formant un seul gros cristal. Le cristal est ensuite brisé en petits morceaux, révélant les cellules. Elle bénéficie d'un bon retour sur investissement et d'un grand nombre de fabricants. Néanmoins, elle est coûteuse, a de moins bonnes performances en éclairage tamisé ou diffus, et voit ses performances diminuer à mesure que la température augmente [8].

1.5.6.3 Cellule en Silicium Poly-cristallin

Pendant le refroidissement du silicium, il se forme plusieurs cristaux. Ce type de cellule est également bleu, mais pas uniformément; au lieu de cela, des patrons distincts produits par plusieurs critères peuvent être observés. Bon rendement de conversion, bien qu'encore légèrement inférieur à celui de la monocristalline.

1.5.6.4 Cellule sans Silicium en couche mince CIS

La prochaine génération de cellules solaires, appelées « cellules CIS », est constituée de couches minces du type cuivre-indium-sélénium (CIS). Les matériaux initiaux nécessaires à la création des cellules CIS sont plus faciles à obtenir que la silice utilisée dans ces cellules les cellules photovoltaïques conventionnelles. En outre, elles présentent actuellement le rendement de conversion énergétique le plus élevé pour les cellules photovoltaïques à couche mince [8].

1.5.6.5 Cellule en Silicium Amorphe en couche mince

Au cours de sa transition, la silice émet un gaz qui est projeté sur une feuille de verre. La paroi de la cellule de silicium est très souple ou de couleur marron. La forme de cellule la plus populaire et la plus coûteuse est la cellule "solaire" utilisée dans les calculatrices et les montres autonomes [8].

1.5.6.6 Utilisation Des Cellules Photovoltaïques

Bien que les applications des cellules photovoltaïques soient nombreuses et variées, voici un résumé de certaines d'entre elles :

- Les cellules photovoltaïques sont parfois utilisées seules (pour l'éclairage de jardin, les calculatrices, etc.) ou bien combinées sur des panneaux solaires photovoltaïques.
- Ils sont souvent utilisés à la place des tas.
- Ils sont utilisés pour produire de l'électricité pour de nombreuses applications différentes.

Il est assez difficile de capter l'énergie solaire pour la convertir en électricité ou en chaleur, et il est encore plus difficile de la stocker. L'utilisation de cette source d'énergie est très nouvelle, et elle se développe rapidement dans les zones qui reçoivent beaucoup de lumière solaire. Pourtant, elle reste chère. De nombreux projets de recherche sont en cours pour accroître l'efficacité des nouveaux systèmes de collecte de l'énergie solaire.

Conclusion : Dans ce chapitre, nous avons couvert les fondamentaux de la conversion de l'énergie photovoltaïque ainsi que les nombreuses technologies utilisées dans les cellules solaires. Nous avons également abordé le fonctionnement de base des cellules photovoltaïques ainsi que leurs principales caractéristiques, avantages et inconvénients.

CHAPITRE 2

LES SUIVEURS SOLAIRES

2 Les suiveurs solaires

2.1 Introduction

L'énergie solaire peut être utilisée autant que possible, grâce au suiveur de soleil, c'est la meilleure exploitation d'une richesse solaire.

Aujourd'hui les suiveurs sont plus en plus couramment utilisés grâce à la technologie moderne.

Le principe de fonctionnement des suiveurs solaires est d'abord présenté dans ce second chapitre. Ensuite, nous nous attacherons à décrire les différents types de suiveurs ainsi que les techniques de suivi utilisées pour l'exploitation des suiveurs solaires.

Enfin, nous incluons les personnes qui ont travaillé sur la conception et la construction de capteurs solaires.

2.2 Les suiveurs solaires

2.2.1 Définition et fonctionnement

- Un traqueur solaire, également connu sous le nom de suiveur solaire, est un dispositif mécanique qui permet aux installations de production d'énergie solaire de suivre le soleil à l'aide du principe de l'héliostat. Ces structures peuvent être équipées de moteurs électriques qui permettent cela. mieux positionner les panneaux solaires afin d'augmenter leur rendement [12].

- Comme la position du soleil varie constamment et de façon unique en fonction de la latitude tout au long de la journée et de l'année (selon les saisons), des suiveurs sont utilisés pour orienter le PV en temps réel vers le soleil afin d'améliorer la performance des panneaux (voir figure 2.1) [12].

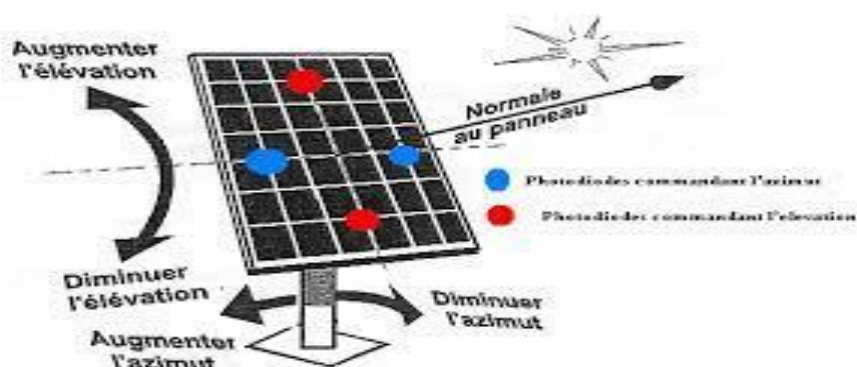


figure 2.1 schéma de fonctionnement de suiveur

2.2.2 Les angles qui rentrent en jeu pendant l'orientation des PV Le déplacement du soleil

La position du soleil par rapport à un observateur placé à un endroit particulier de la Terre doit être prise en compte lors du calcul du mouvement du soleil. Où chaque point de la terre est déterminé par deux angles:

Latitude : L'angle ϕ entre le point et le plan équatorial est déterminé par le nord ou le sud.

Longitude: L'angle λ par rapport au méridien de Greenwich, indiquant s'il est à l'est ou à l'ouest de la référence à un moment donné [13].

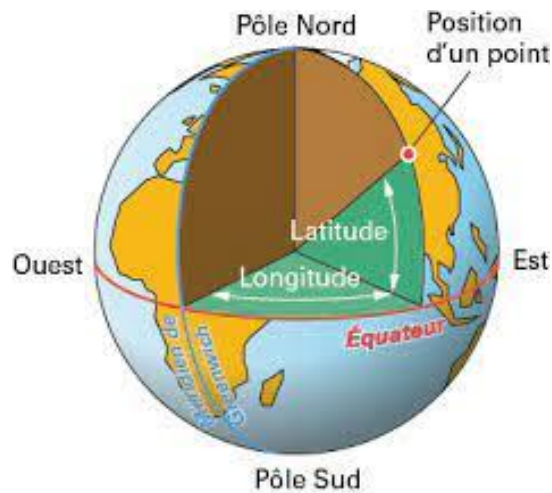


figure 2.2 les repères d'un point de la terre

Nous nous appuyons également sur deux angles pour déterminer la position du soleil par rapport à l'observateur:

L'azimut du soleil est l'angle formé par l'alignement vertical du soleil avec le plan méridien local.

L'angle formé par la direction du soleil avec le plan horizontal est appelé la hauteur du soleil (élévation) [13].

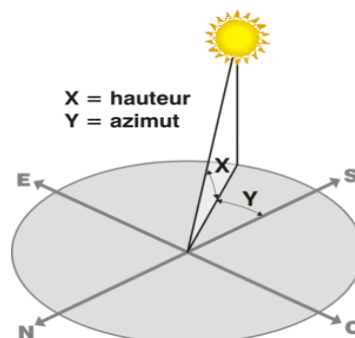


figure 2.3 : l'azimut et la hauteur de déplacement du soleil.

2.2.3 L'intérêt des suiveurs solaires

La plus grande partie de l'énergie électrique est produite par les panneaux photovoltaïques lorsque la lumière du soleil est perpendiculaire aux panneaux.

Lorsque les panneaux sont immobiles, leur rendement n'est pas constant tout au long de la journée; de même, lorsque le soleil se déplace, l'angle d'éclairage change continuellement, ce qui fait varier la production de l'aube au crépuscule. C'est là qu'intervient l'attrait des systèmes d'aspiration, car ils permettent l'entretien continu de panneaux solaires pointés perpendiculairement aux rayons du soleil.

Un diagramme comparatif de la production électrique entre une installation fixe et une installation avec un suiveur est présenté sur l'image ci-dessous [14].

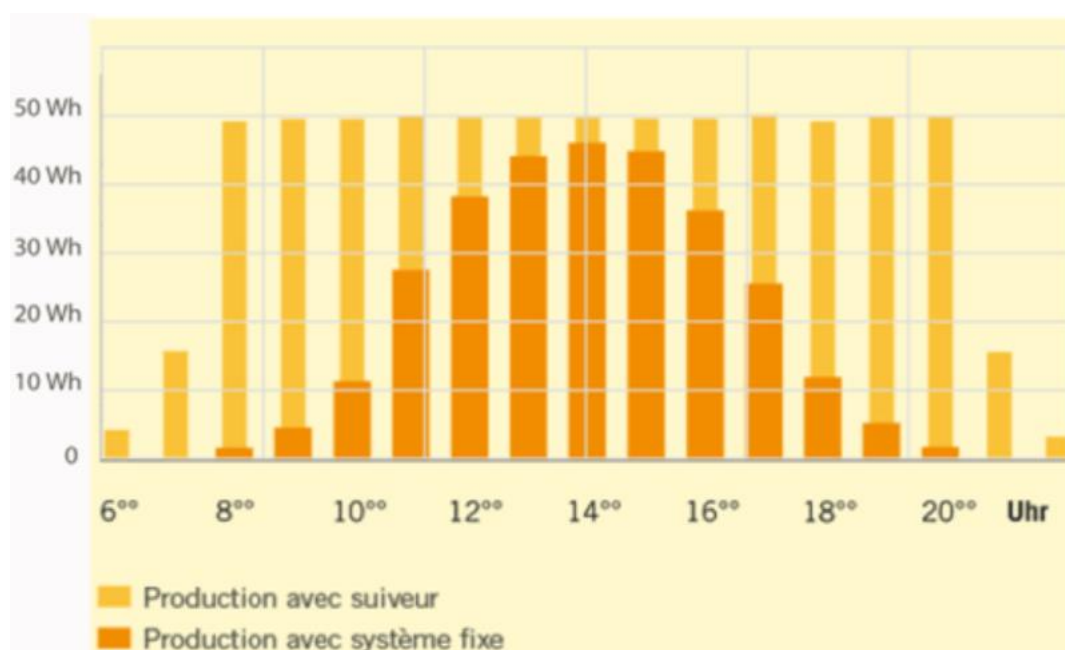


figure 2.4 la production électrique

2.3 Types des Suiveurs solaire

2.3.1 Suiveurs solaire passif

Cette forme de capteur solaire a deux tubes de cuivre qui sont montés sur les côtés est et ouest du PV. Ils sont remplis de liquides chimiques qui s'évaporent à la suite de l'augmentation de température provoquée par l'exposition au rayonnement solaire. Le grand est L'espace interne est partiellement occupé par la vue, et la quantité de liquide se déplace vers le côté obstrué. Par conséquent, un processus de transfert de masse contrôle la façon dont le PV se déplace. Pour que le PV soit orienté, cette méthode ne nécessite aucune énergie [15].



figure 2.5 Suiveur solaire passif

2.3.2 Suiveurs solaire actif

Afin de maximiser l'angle d'incidence du rayonnement solaire sur la surface du suiveur à l'aide de systèmes automatisés, ce type de suiveur offre une plus grande précision. Il existe deux types de combinaisons différentes dans cette catégorie : les combinaisons à un axe et les combinaisons à deux axes [16].

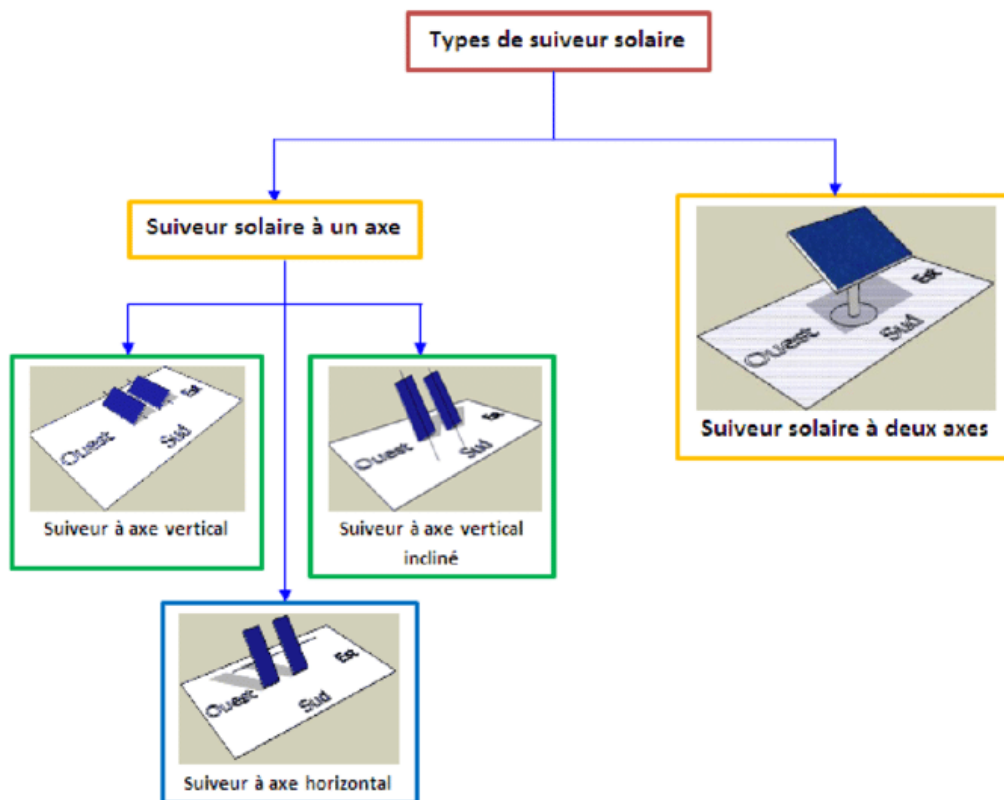


figure 2.6 types de suiveurs actifs

2.3.2.1 Classification des suiveurs actifs

2.3.2.1.1 selon le nombre des axes de rotation

a) Suiveur solaire mono-axe

Ce genre de suiveurs est utilisé pour permettre l'orientation dans une seule direction et avoir un seul degré de liberté. Au cours de la journée, cette hache se déplacera d'est en ouest. L'angle d'inclinaison du panneau est fixe. Il est nécessaire de positionner le PV selon le meilleur angle afin de recevoir le plus de rayonnement solaire tout au long de l'année. Il est positionné en fonction de la latitude du lieu [16].

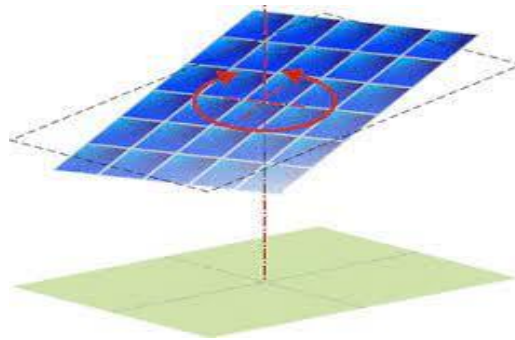


figure 2.7 Suiveur solaire mono-axe

b) Suiveur solaire double axe

Comparé à un suiveur mono-axe, celui-ci est plus impressionnant et offre de meilleures performances. Ce type de télescope solaire est à l'opposé du précédent en ce sens qu'il a deux axes, ce qui lui permet de suivre les mouvements d'azimut et d'inclinaison pendant la journée. Cela permet au PV de maintenir une orientation solaire constante [16].

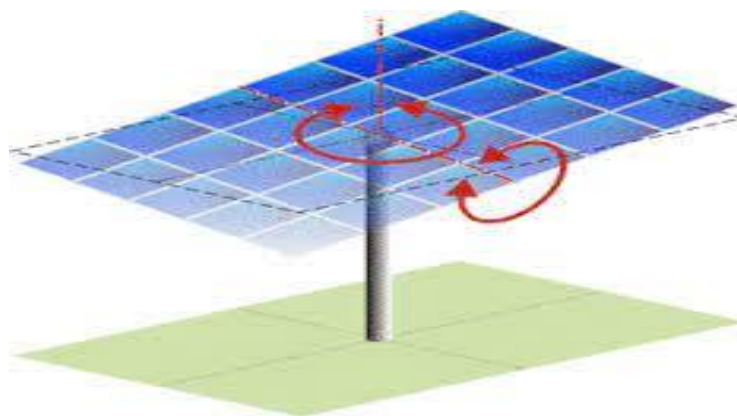


figure 2.8 Suiveur solaire double axe

2.3.2.1.2 Selon le principe de suivi

a) Suiveur à boucle ouverte

Cette méthode utilise des calculs astronomiques pour déterminer la position du soleil; les coordonnées GPS de l'heure et de la position sont utilisées pour fournir les coordonnées du suiveur. Il utilise également la latitude et la longitude comme points d'entrée. Toutefois, cette approche est vulnérable aux erreurs de calcul et aux perturbations des modèles [17].

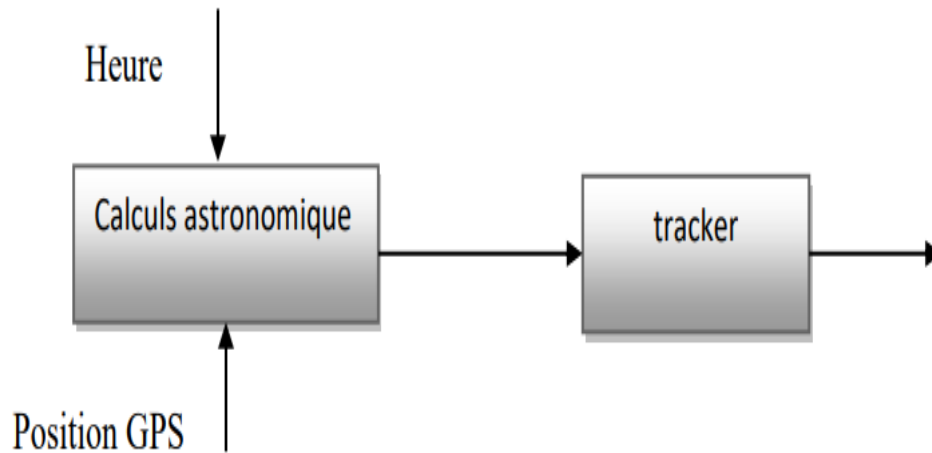


figure 2.9 Commande en boucle ouverte

b) Suiveur à boucle fermée

Cette méthode repose sur la collecte d'informations provenant de dispositifs de capture de la lumière du type photodétecteur afin de régler les actionneurs du suiveur. Il permet une surveillance en temps réel du soleil ainsi qu'un guidage efficace des panneaux solaires [17].

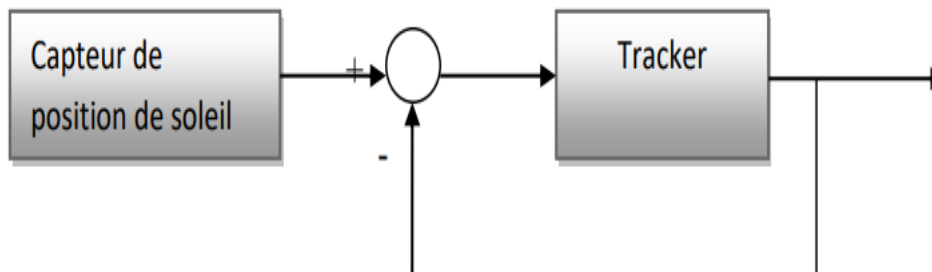


figure 2.10 commande en boucle fermée

Emplacement des LDR sur les PV:**➤ Position pour les suiveurs à double axe**

• (figure 2 . 11) utilise quatre capteurs espacés par deux plantes (forme +) pour illustrer la position dans quatre quadrants.

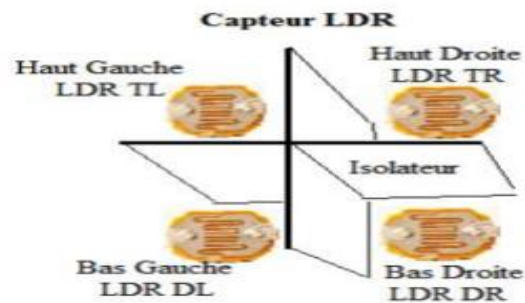


figure 2.11 : Capteurs en quatre quadrants en forme(+).

• (figure 2.12) illustre l'emplacement en quatre quadrants en utilisant quatre capteurs séparé par deux plants (forme ×).



figure 2.12 Capteurs en quatre quadrants en forme(×)

➤ **Position pour les suiveurs mon-axe**

- Deux capteurs séparé par un plant (utiliser dans les suiveurs mono-axe)(voir figure 2.14).

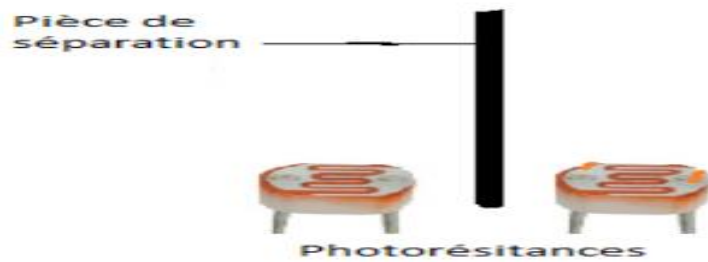


figure 2.13 deux capteurs séparés

c) **Suiveur hybride**

2.4 Les moteurs utilisés comme actionneurs dans les suiveurs

Les moteurs électriques sont utilisés pour assurer le mouvement mécanique des PV.

Il y a deux sortes de moteurs qui sont utilisés.

2.4.1 Moteurs linéaires

Ils peuvent générer un mouvement translationnel parce que le rotor et le stator sont montés sur une surface plane (voir Figure 2.15) [18].

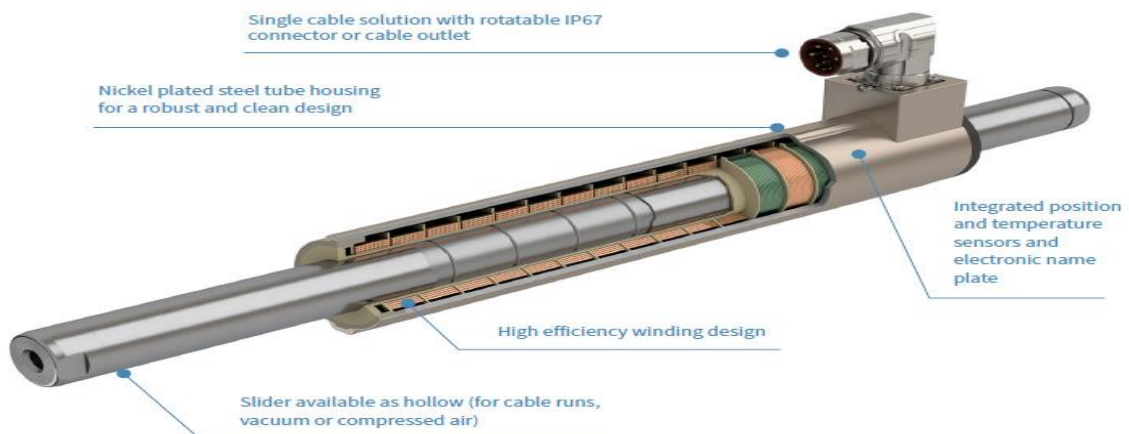


figure 2.14 : Moteur linéaire [19].

Ces moteurs se déclinent en deux variétés :

- les moteurs à grande vitesse.
- les moteurs à vitesse limitée, parfois appelés actionneurs linéaires.

2.4.2 Machines tournantes

Le mouvement de rotation produit par les machines rotatives provoque la rotation du dispositif connecté. Une caractéristique commune à toutes les machines rotatives est la présence d'une partie fixe appelée « stator » et d'une partie mobile appelée « rotor ». Il existe différents types de machines rotatives[18]:

- Machines fonctionnant en continu : elles s'adaptent facilement à nos différents besoins.

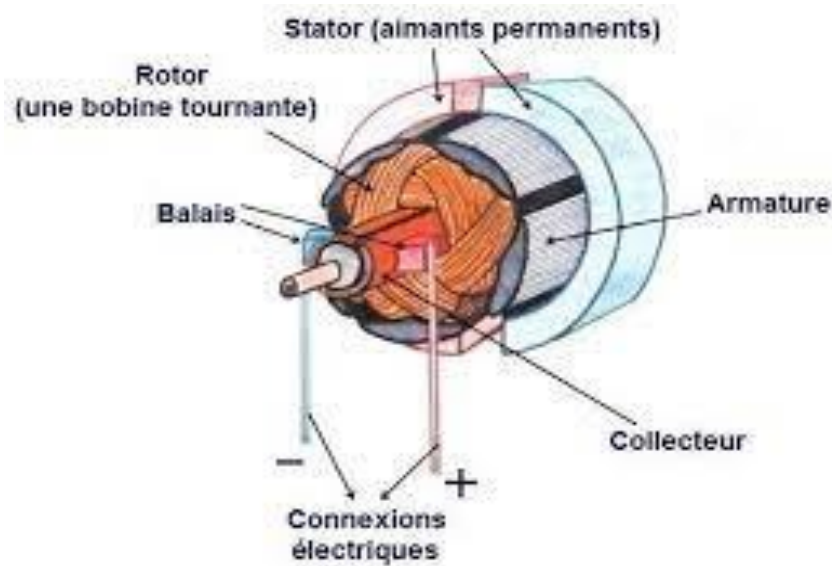


figure 2.15 le moteur à courant continu [20]

- Le terme "Brushless" désigne les moteurs à courant continu sans collecteurs et donc sans balais. En outre, un système de commande a été mis en place pour garantir la commutation de l'enroulement (voir figure 2.17).

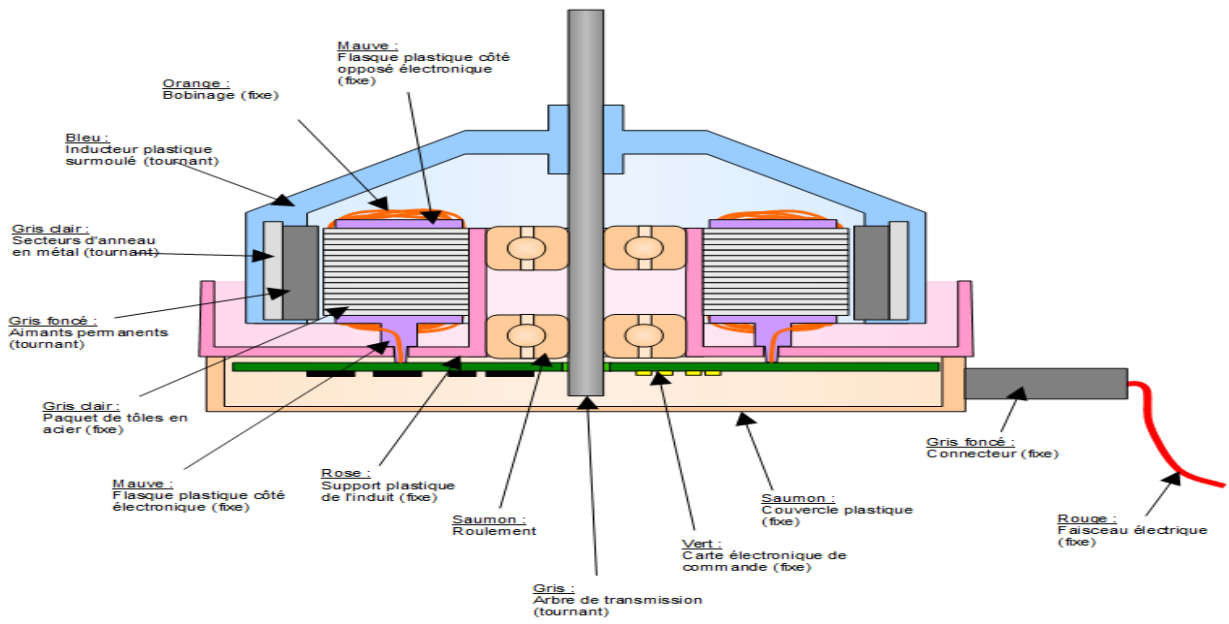


figure 2.16 Le moteur brushless (sans balais)[21]

- Les générateurs de courant alternatif sont particulièrement utilisés dans les applications de faible et moyenne puissance.

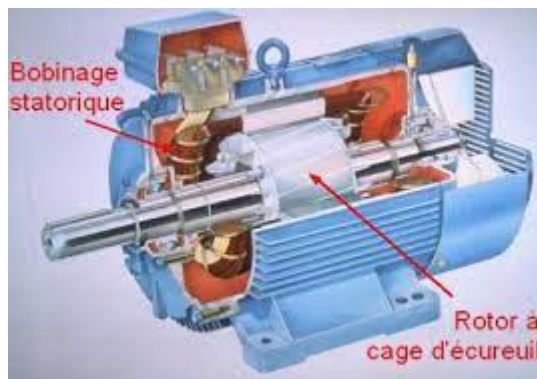


figure 2.17 : Machine à courant alternatif [22].

- Moteurs pas-à-pas: Ce type de moteur est généralement commandé par l'électronique numérique. Avec précision, il permet la définition d'angle.

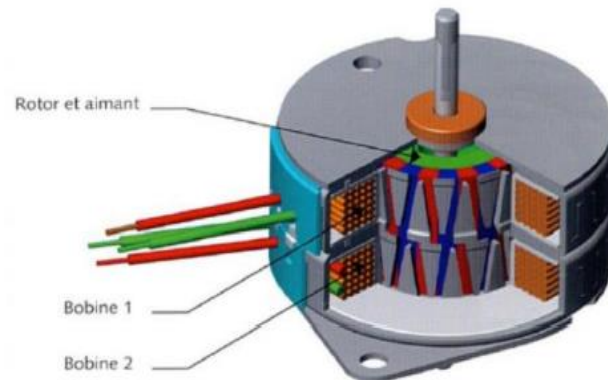


figure 2.18 : Moteur pas à pas [23].

2.5 Conclusion

Dans ce deuxième chapitre nous avons présenté le rôle crucial du système de poursuite solaire qui permet vraiment d'améliorer le rendement des PV. Ce système permet de préserver de façon instantanée les PV en position perpendiculaire aux rayons incidents du soleil. Puis, nous avons décrit les différents types des suiveurs ainsi les méthodes adoptées de poursuites, à savoir la méthode à boucle ouvert, la méthode à fermer et la méthode hybride. Nous avons, également représenté les différents emplacements des capteurs LDR sur les PV. Enfin, nous avons cité présenté les différents moteurs électriques employés afin de délivrer le mouvement mécanique à ces PV.

CHAPITRE 3

LA CONCEPTION ET
REALISATION DE PROJET

3 La conception et réalisation de projet

3.1 Introduction :

Après avoir introduit chaque composant de notre système, nous avons atteint la tâche finale et la plus importante dans cette mémoire, qui est la conception et la réalisation de suiveur solaire avec un chargeur solaire MPPT. Nous avons divisé notre chapitre en trois grandes sections :

Une partie qui s'intéresse sur le bloc de système, la simulation et la réalisation de suiveur solaire, la deuxième de phase sur contrôleur de charge solaire par MPPT.

3.2 Conception et la réalisation de suiveur solaire

3.2.1 Les blocs de notre système

Notre projet porte sur l'étude et la réalisation d'un prototype d'un suivi solaire à double axe pour une génération photovoltaïque avec un chargeur solaire MPPT ; l'orientation de ce suiveur vers l'est, l'ouest, nord et sud pour capter le maximum d'énergie solaire pendant la journée. Ce système est commandé par une carte Arduino MEGA 2560 d'un microcontrôleur qui sert à manipuler les différents blocs constitutifs de ce système.

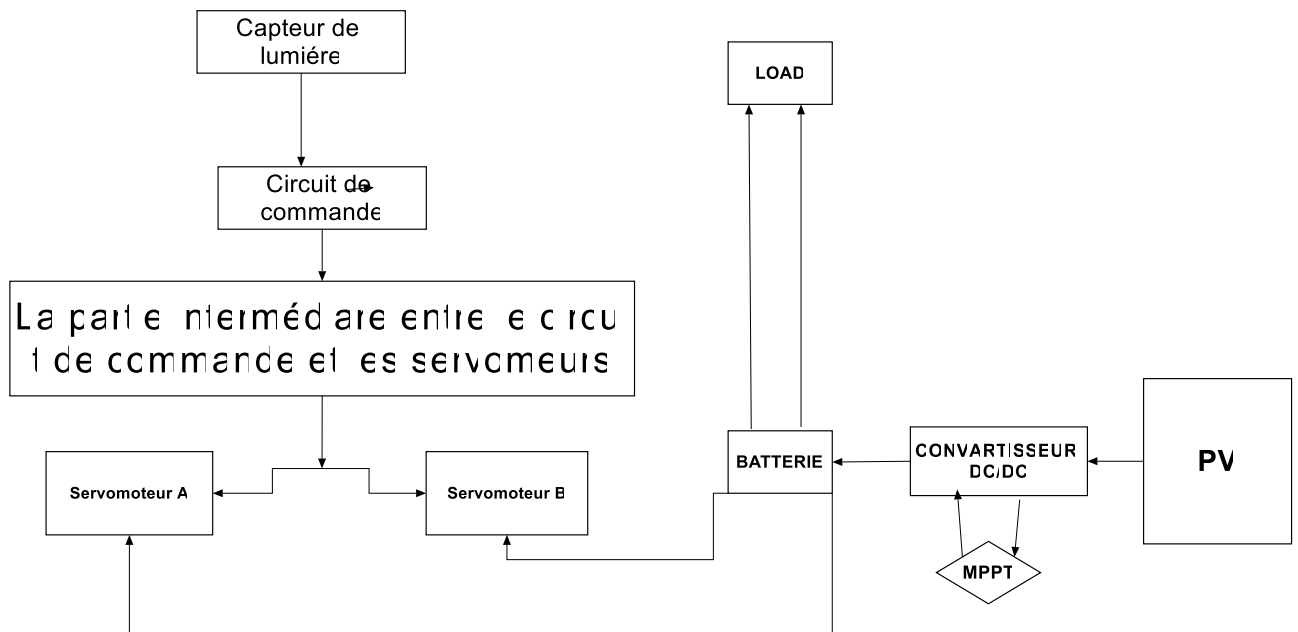


figure 3.1 : schéma synoptique.

3.2.1.1 Capteurs de lumières (LDR)

Comme nous l'avons déjà expliqué dans le chapitre II, le capteur de lumière ou la photorésistance est une résistance variable en fonction du flux lumineux et la variation de la lumière provoque un signal. Les quatre capteurs (LDR) sont branchés aux entrées

analogiques (A0, A1, A2, A3) de circuit de commande qui est l'Arduino comme montrer dans (figure 3.2).

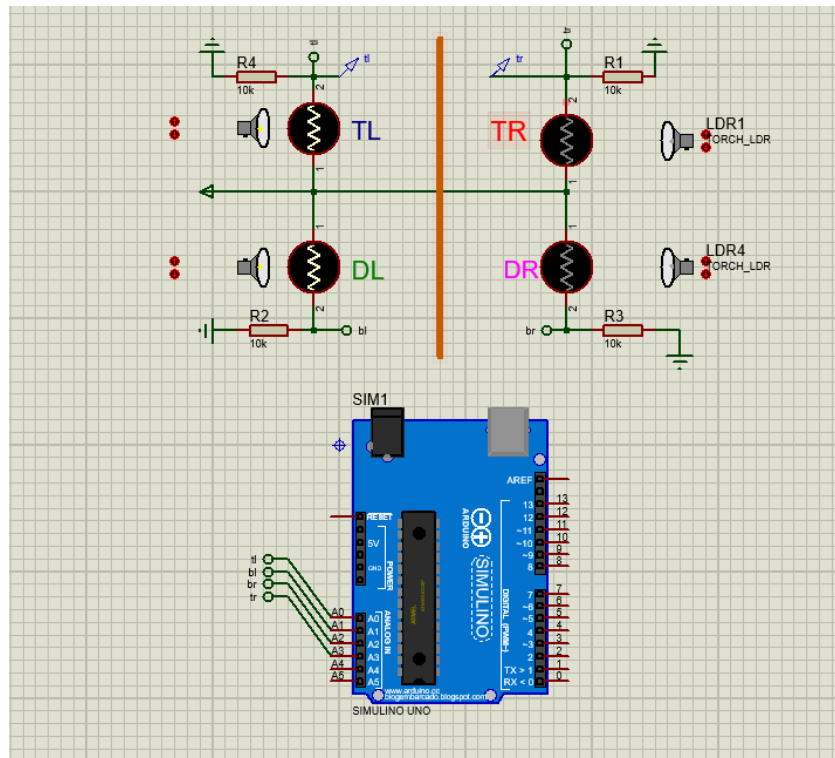


figure 3.2 : le branchement électrique des quatre LDRs à l'Arduino.

3.2.1.2 Servomoteurs

Pour que notre suiveur peut s'orienter il est besoin de deux moteurs, dans notre système en a choisi les servomoteurs qui sont des moteurs à courant continu ayant un couple et une vitesse bien déterminer (les caractéristiques de ce servomoteur sont cités dans l'annexes A).

La commande des deux servomoteurs est effectuée à l'aide d'un programme exécuté au niveau de la carte Arduino qui reçoit des signaux électriques émis par les quatre photorésistances ou les deux potentiomètres. Au niveau des sorties actives de la carte les signaux agissent directement sur les deux servomoteurs ce qui provoque le mouvement de suiveur selon les deux axes (horizontale et verticale).

Dans notre cas nous avons utilisé deux servomoteurs de type MG 996R, qui sont branchés comme suit avec la carte Arduino :Le premier est branché à la broche D9, et le deuxième à la broche D10 et V_{cc} ensuite vers GND (figure 3.3).

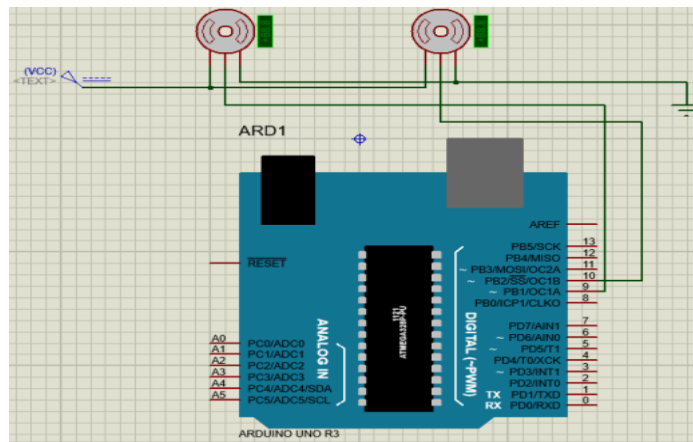


figure 3.3 : le branchement électrique des deux servomoteurs.

3.2.2 Implémentation le système suiveur sous le logiciel ISIS

Après avoir étudié les différents blocs dans la première partie de ce chapitre, nous passons à la simulation de notre système suiveur solaire bi-axial pour donner un aperçu du logiciel de simulation et de programmation.

Avant de passer à la réalisation de notre projet nous commençons tout d'abord par une simulation sur le logiciel ISIS (figure 3.4) afin de tester le fonctionnement de notre système.

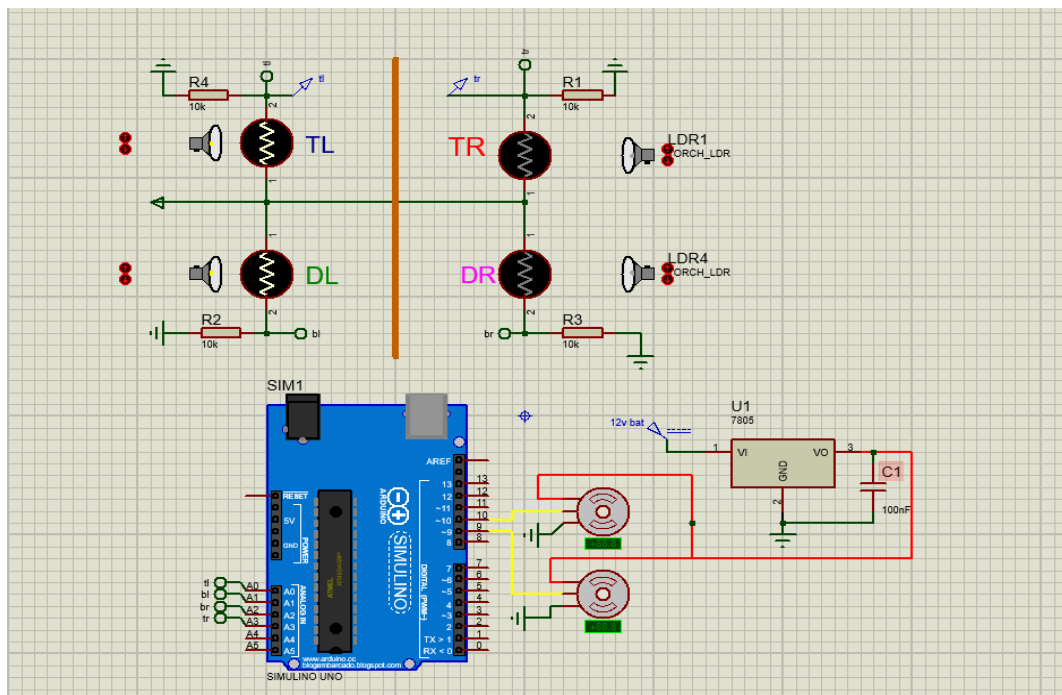


figure 3.4 : Schéma électrique global

Après avoir simulé notre programme en constatant que notre suiveur suit le soleil d'une manière autonome pendant la présence de flux lumineux et peut aussi faire la rotation manuelle par une variation au niveau des photorésistances.

3.2.3 L'organigramme

Avant de passer à la programmation, présentons un organigramme qui va expliquer le processus des différentes séquences de notre projet. Comme le montre (figure 3.5) qui suit.

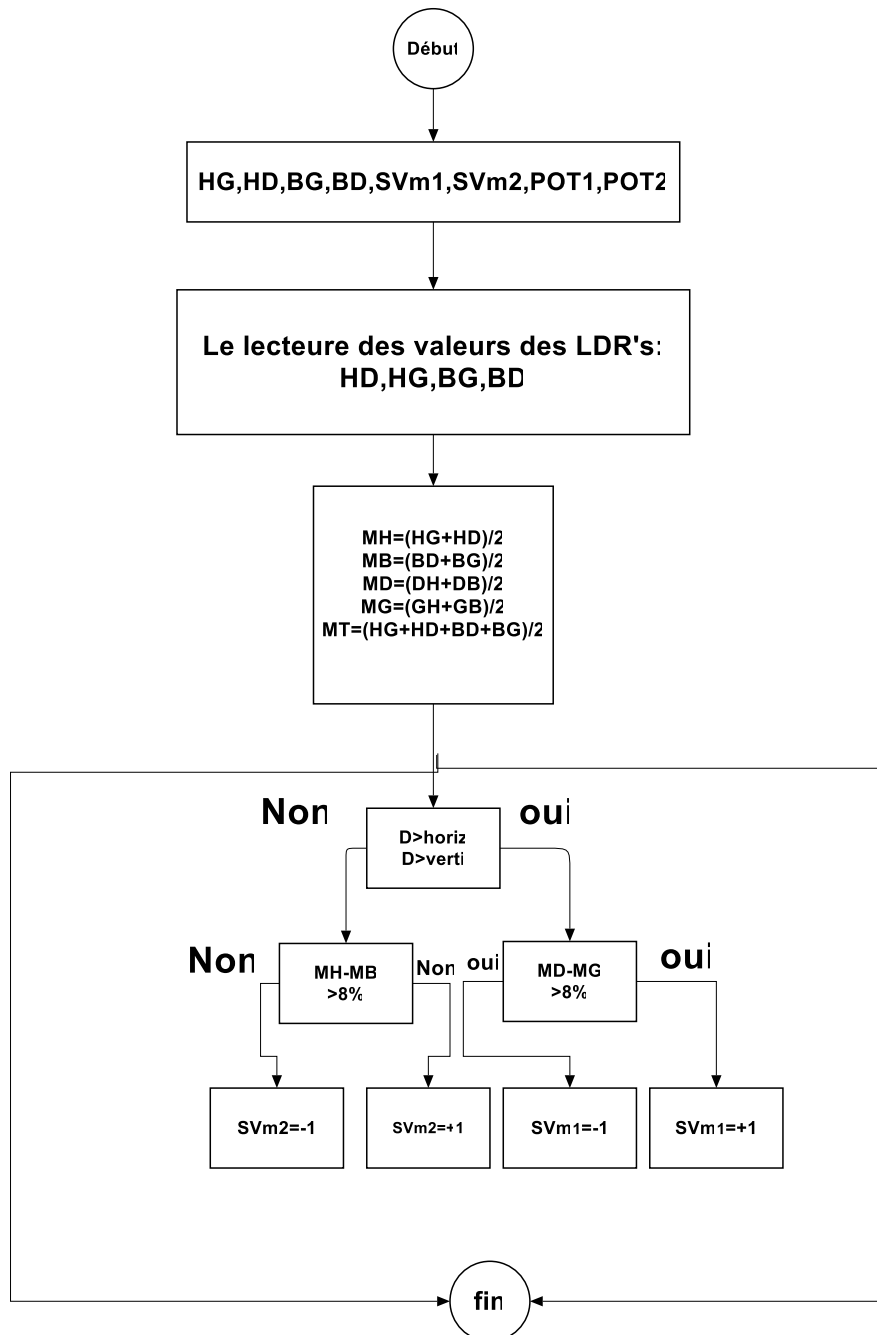


figure 3.5 : organigramme de programme de suiveur

3.2.4 Réalisation de suiveur

3.2.4.1 La partie mécanique

Cette partie consiste à réaliser le support de panneau solaire c'est pour cela on a utilisé plusieurs plaques en MDF avec différentes démentions. Les dimensionnements des éléments de cette partie étaient réalisé par le programme SOLIDWORKS.

➤ **La base**

C'est une plaque en MDF, de 55cm de longueur et 33cm de largeur cette pièce représente la base de notre projet (suiveur solaire) c'est la première plaque de notre maquette ou on va poser notre suiveur et toute la partie électrique responsable sur leur fonctionnement.

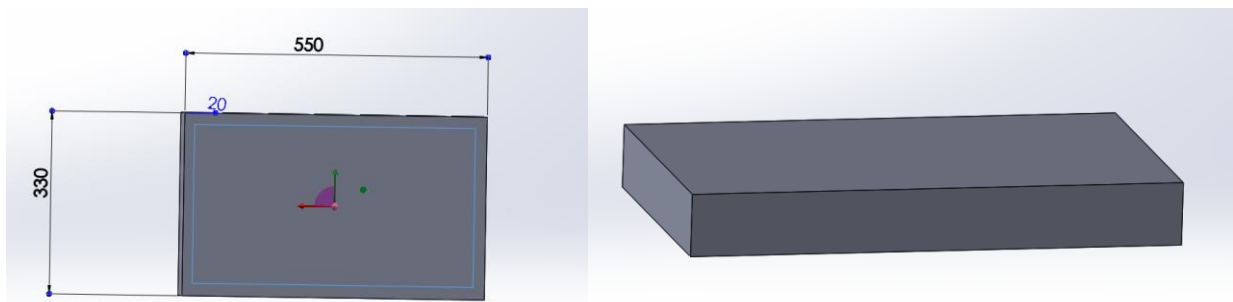


figure 3.6 : La base de suiveur solaire.

➤ **La première partie tournante (droite et gauche)**

Ces deux plaques ont le même diamètre $\varnothing = 17\text{ cm}$ et même épaisseur mais leur rôle est différent :

La 1^{ère} plaque ronde (1) : C'est la plaque qui représente la deuxième base de notre suiveur solaire qui est déposée sur les colonnes de la première base de la carcasse, cette plaque ronde (1) porte le premier servomoteur.

La 2^{ème} plaque ronde (2) : C'est la plaque tournante, elle peut faire une rotation allant jusqu'à 180° , grâce au servomoteur sur le quel est montée.

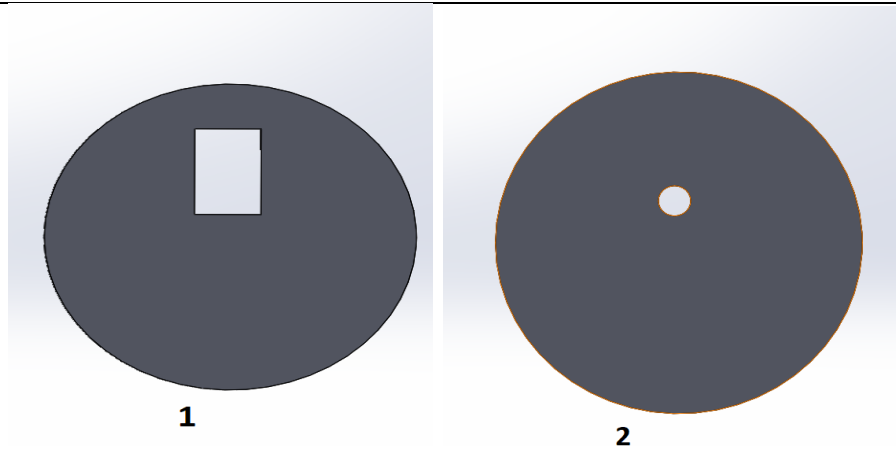


figure 3.7 : Les deux plaques rondes en MDf

➤ **Les deux colonnes porteuses du deuxième servomoteur**

Ces deux colonnes sont responsables sur le mouvement haut et bas de notre panneau solaire.

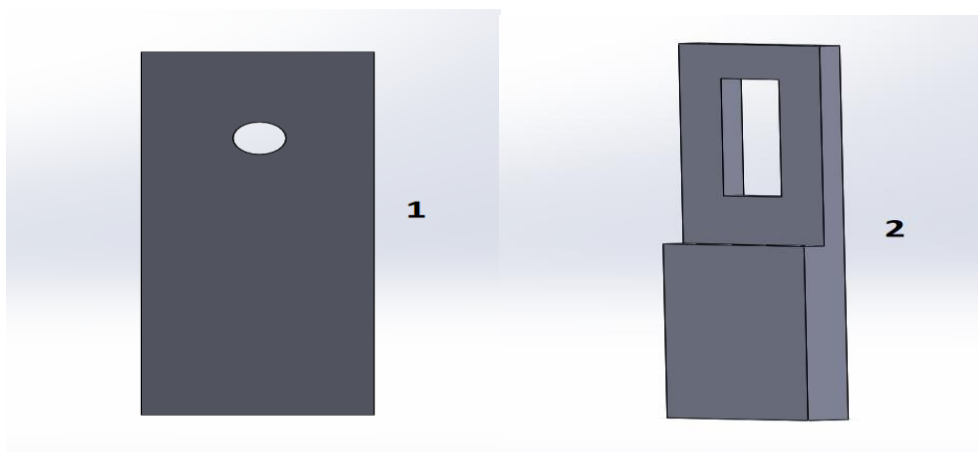


figure 3.8 : Les colonnes en bois deuxième servomoteur

3.2.3.2 La partie électriques

Dans cette partie nous avons réalisé et tester notre circuit électrique qui contient les différentes blocs citer dans le début de ce chapitre.

➤ **Le montage des photorésistances**

Le montage des photorésistances qui nous ont choisi et le support en forme de plus (+) est montre dans (figure 3.9).

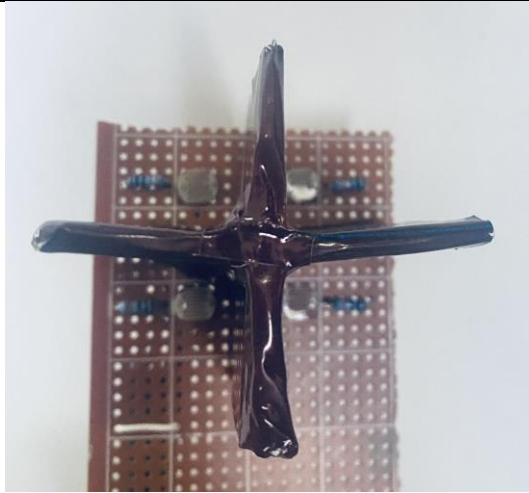


figure 3.9 :le montage des LDRs

➤ **La connexion des différents composants avec l'Arduino**

(figure 3.10) présente la connexion des différents composants (LDR, résistance, ...) sur la carte Arduino et la plaque d'essai qui est l'intermédiaire entre l'Arduino, réalisée.

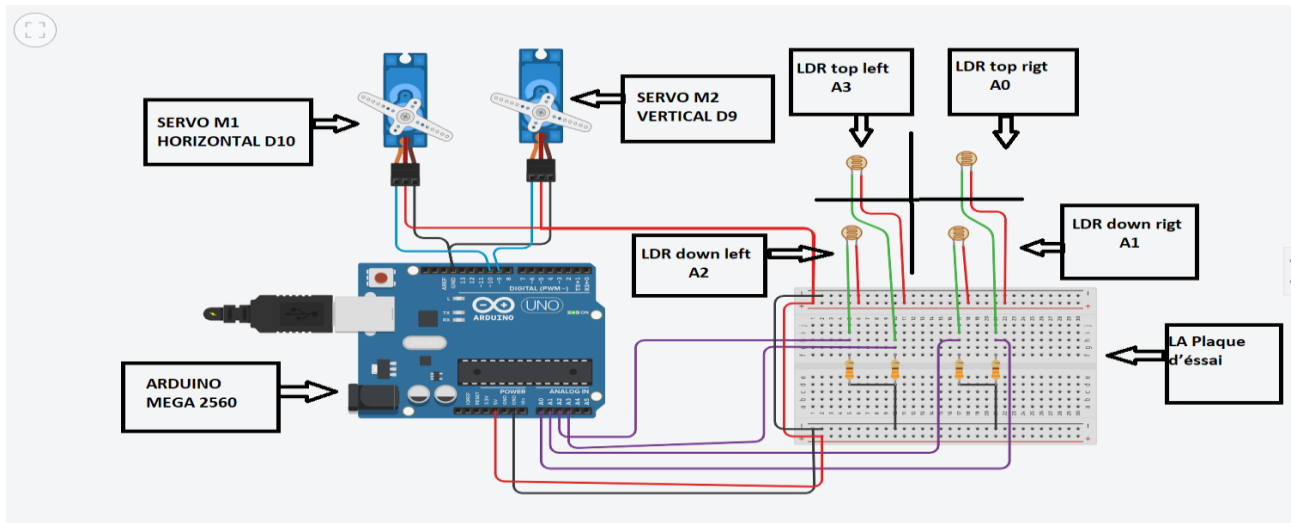


figure 3.10:Le montage des composants sur la plaque d'essais [25]

3.2.5 Tests et essais expérimentaux

L'étape finale de cette partie consiste à valider le fonctionnement du système. Les tests nécessaires sont faits afin de vérifier le bon fonctionnement du suiveur solaire.

Le banc d'essai est représenté à l'aide du schéma synoptique montré par (figure 3.11).

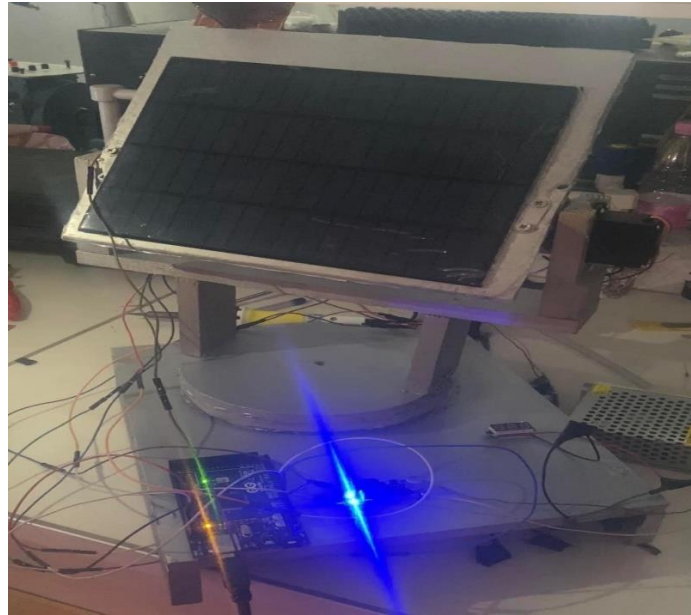


figure 3.11 :la connexion des différents composants

3.3 Conception et réalisation d'un chargeur solaire MPPT

Le chargeur solaire est un élément très efficace dans les installations solaire malgré son faible cout (5% de coût total) [23], cet élément contrôle les flux d'énergie, pour protéger la batterie d'accumulation et maximiser sa durée de vie, et évites les surcharges et les décharges. Au plus le régulateur peut régler la recharge par autre source

Il y a plusieurs technique ; parmi ces techniques, on trouve la technique de la Poursuite du Point de Puissance Maximale MPPT. Cette partie fera l'objet suivant.

3.3.1 Principe De La Commande MPPT

Par définition, une commande MPPT, associée à un étage intermédiaire d'adaptation, permet de faire fonctionner un générateur PV (GPV) de façon à produire en permanence le maximum de sa puissance. Ainsi, Quel que soit les conditions météorologiques (température et irradiation), la commande du convertisseur place le système au point de fonctionnement maximum. La chaîne de conversion photovoltaïque sera optimisée à travers un convertisseur statique (CS) commandé par une MPPT [26]. La Figure 3.12 donne le schéma block de notre system photovoltaïque étudié avec l'ensemble des étages simulés : GPV, DC-DC et MPPT.[23]

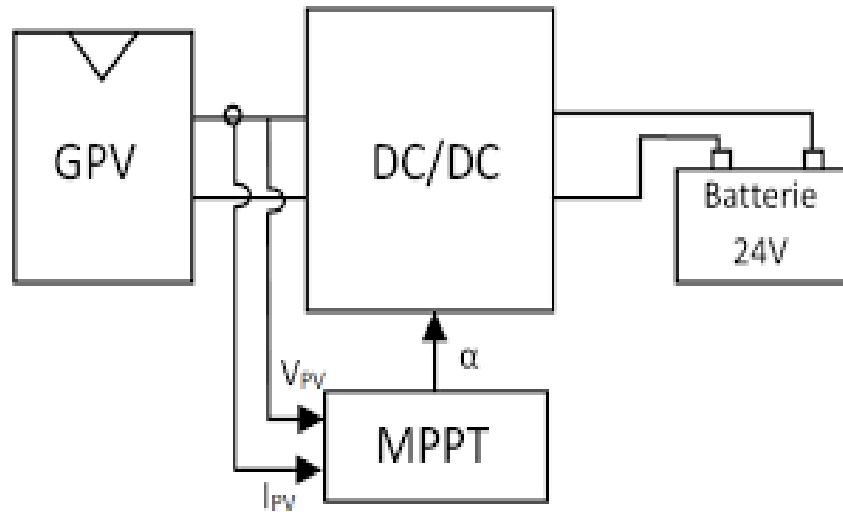


figure 3.12 :Schéma de Principe du convertisseur MPPT

3.3.2 Simulation d'un GPV

Pour réaliser cette modélisation, nous avons utilisé MATLAB comme outil de test et de simulation. Nous avons choisi le modèle photovoltaïque SPM005P-R (voir annexe).

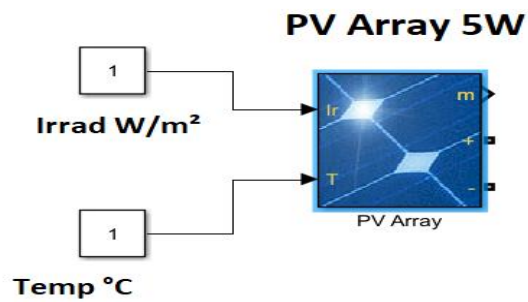


figure 3.13 :le schéma block de PV Array utilisé

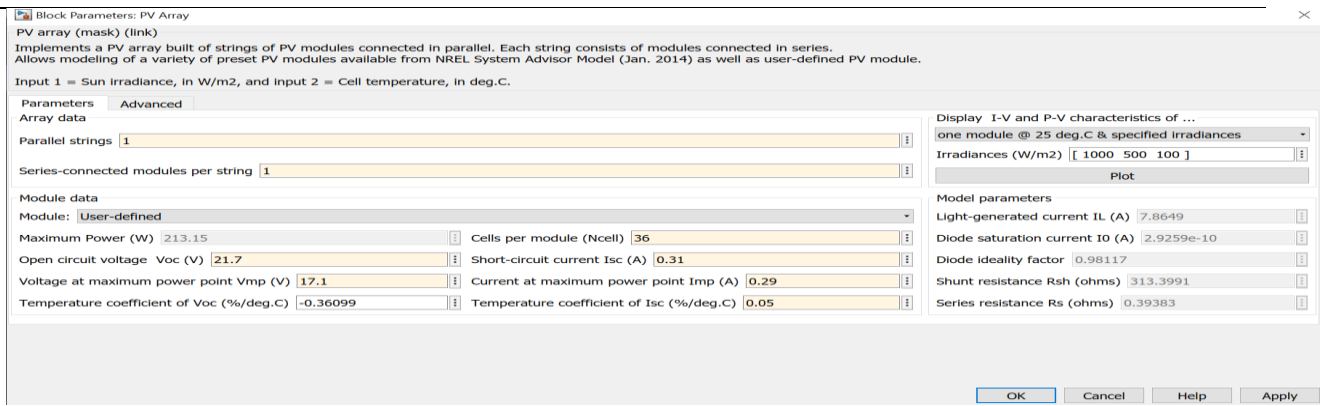


figure 3.14 : les parameters de PV Array

Les figures ci-dessous représentent les performances des modules SPM005P-R typiques mesurés sur leurs bornes de sortie. Les données sont basées sur des mesures effectuées. Conformément à la norme ASTM E1036 corrigée en CRS (conditions de rapport standard, également appelées CES ou conditions d'essai standard), qui sont :

- Éclairement est 1 kW/m²;
- Température de la cellule est 25°C.

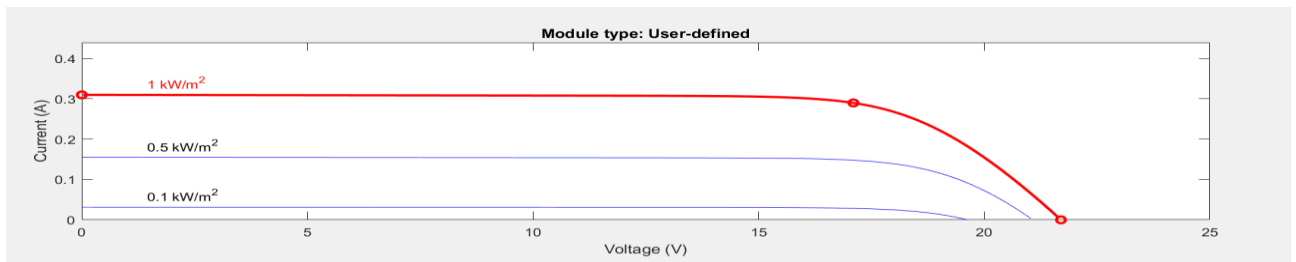


figure 3.15 :Caractéristique I=f(V)

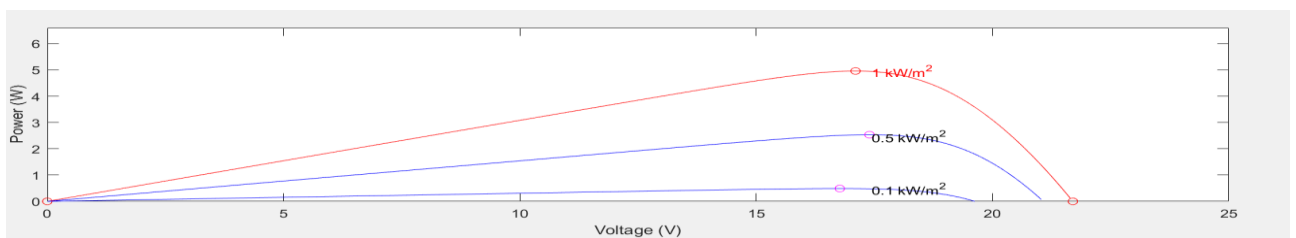


figure 3.16 : Caractéristique P=f(V)

Nous proposons un MPPT pour maximiser la production d'énergie GPV grâce au contrôle du rapport cyclique du convertisseur Boost. La sortie du convertisseur DC-DC est reliée directement au batterie

3.3.3 Convertisseur DC/DC

Les hacheurs sont des convertisseurs de type continu-continu permettant de contrôler la puissance électrique dans des circuits fonctionnant en courant continu avec une très grande souplesse et un rendement élevé. [27]

Le circuit du convertisseur élévateur (boost) est représenté sur (figure 3.17) La tension de sortie V_o est toujours supérieure à la tension d'entrée V_{in} pour un fonctionnement en régime permanent. Il augmente la tension à un niveau supérieur. Le convertisseur est constitué d'une inductance, d'un interrupteur statique de puissance (IGBT, MOSFET), d'une diode et d'un condensateur de filtrage. L'interrupteur statique est *ON* ou *OFF* selon la fréquence de commutation $f_s=1/T_s$; avec le rapport cyclique $D= T_{ON}/T_s$, où T_{ON} est l'intervalle de temps lorsque l'interrupteur statique est *ON*.

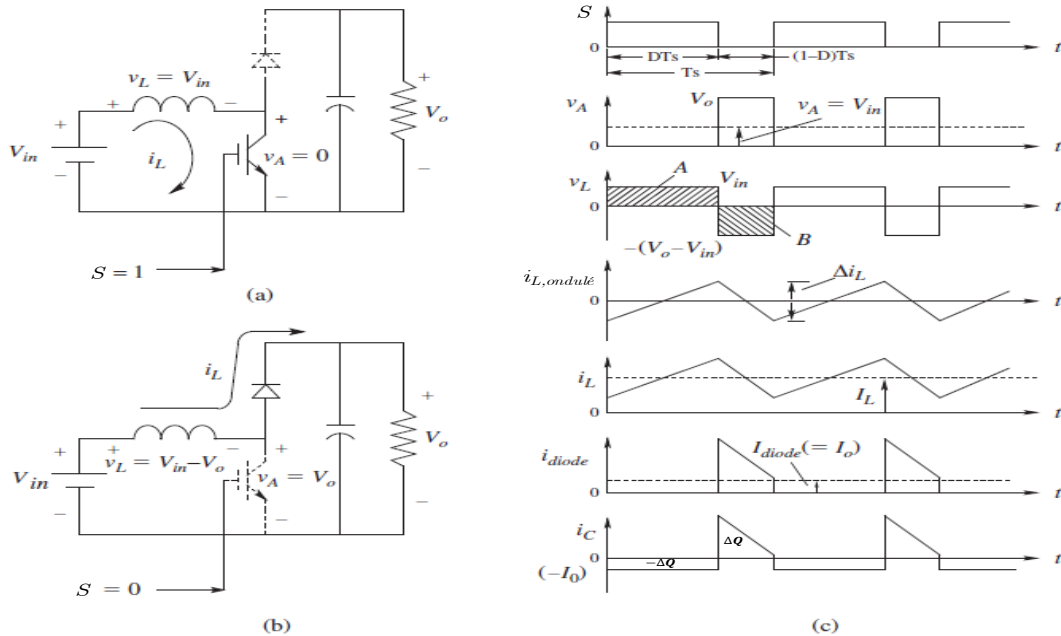


figure 3.17 : Convertisseur Boost: fonctionnement et formes d'onde

3.3.3.1 Dimensionnement des composants :

Spécifications : d'après la datasheet de la panneau solaire :

$V_{in}=17.1-21.7$ V, $V_o =24$ V, puissance nominal =5w, fréquence de commutation $f_s=20$ KHz, Ondulation du courant maximale $\Delta i_{L,max} = 5\%$, et Ondulation de tension $\Delta V = 1\%$

➤ Calcul de inductance

Calcul théorique

A partir de la formule de l'ondulation du courant :

$$L_{\min} = \frac{V_0}{4 \cdot f_s \cdot \Delta i_{L,\max}}$$

$$\text{AN : } L_{\min} = 0.06H = 6mH$$

Calcul pratique

La figure suivante montre le courant d'inductance.

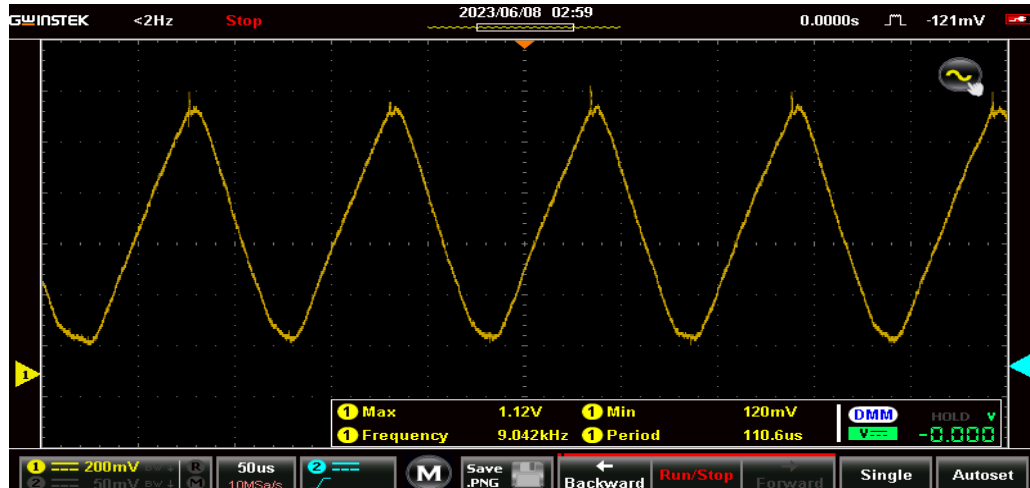


figure 3.18 : Forme d'onde du courant d'inductance

Pour calculer l'inductance, nous utilisons la formule de tension d'inductance

$$V_L = L \frac{di}{dt} \Rightarrow \frac{V_{L_moy}}{L} = \frac{di}{dt} \text{ Avec } \frac{\Delta i}{\Delta t} = \text{la pente}$$

De la Fig 3 .20 nous obtenons la valeur de $\Delta t=51mS$.

Le changement de tension d'inductance $V_{L_moy} = 0.043$ et le changement de courant d'inductance $\Delta i = 0.2$.

$$\left\{ \begin{array}{l} L_2 = V_L / \text{pente} \\ L_2 = \frac{0.043}{3.9216} \\ L_2 = 0.011H = 11mH \end{array} \right.$$

Nous avons utilisé l'inductance de la valeur : **11 mH**

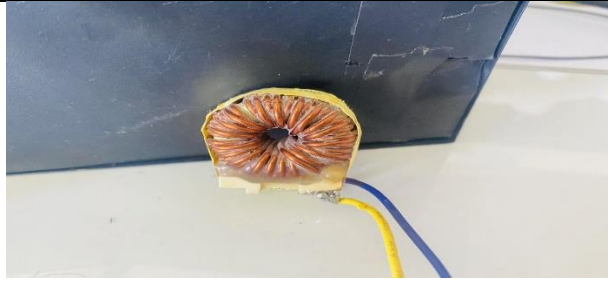


figure 3.19 : l'inductance utilisé dans ce projet

➤ Calcul de capacité

La capacité requise en termes d'ondulation de tension spécifiée est donnée par :

$$C_{\min} = \frac{I_o \cdot V_o - V_{in}}{\Delta V_o \cdot V_o \cdot f_s} C$$

AN : C = 4196 μf

Nous avons utilisé le condensateur de capacité 4700 μf illustré dans la figure ci-dessous.



figure 3.20 : capacitance utilisé dans ce projet

➤ Choix du MOSFET :

Les MOSFET utilisés dans notre application ont été choisis de type N, ayant un $R_{DS(on)}$ le plus faible possible et tenant au moins 200V. Ce type de MOSFET possède également une diode intégrée interne dont les caractéristiques lui permettent un fonctionnement adéquat en pont ; De plus, vu le fonctionnement de convertisseur DC-DC en commutation, le MOSFET doit être capable de supporter une grande énergie lors des commutations. Un bon compromis performance/prix est le IRFP260N qui tient 200V, supporte un courant moyen de 30A, possède un $R_{DS(on)}$ de 75m Ω et assure toutes les autres conditions citées auparavant. [31]

➤ Le driver

Il est nécessaire d'isoler toutes les entrées et sorties de l'Arduino quelle que soit l'application.

Dans notre projet réalisé nous avons choisi le driver HCPL3120 pour commander le

MOSFET et assure l'isolation galvanique entre les sorties de l'Arduino et la partie puissance.

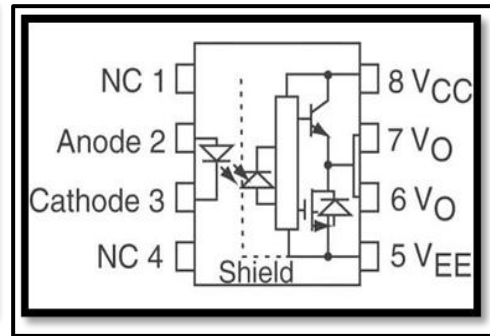
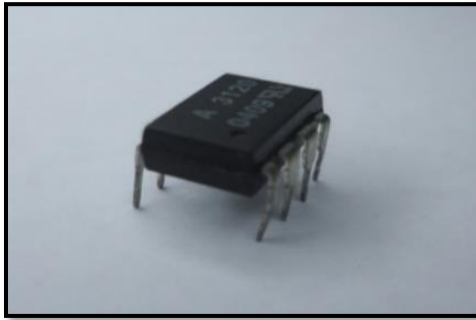


figure 3.21 : Image de l'optocoupleur HCPL-3120 figure 3.22 : Diagramme fonctionnel d'Optocoupleur

➤ Diode

Elle doit être suffisamment rapide pour suivre les variations de l'interrupteur, limiter les pertes et protéger l'interrupteur. Notre choix s'est porté sur une diode rapide R30 avec une tension de seuil de $V_F = 1.25V$.



figure 3.23 : diode utilise dans notre projet

➤ **La Réalisation de convertisseur**

Il a permis de concevoir le convertisseur Boost DC-DC tel qu'il est représenté sur (figure 3.24.) On distingue les deux parties: hacheur et son circuit de commande.

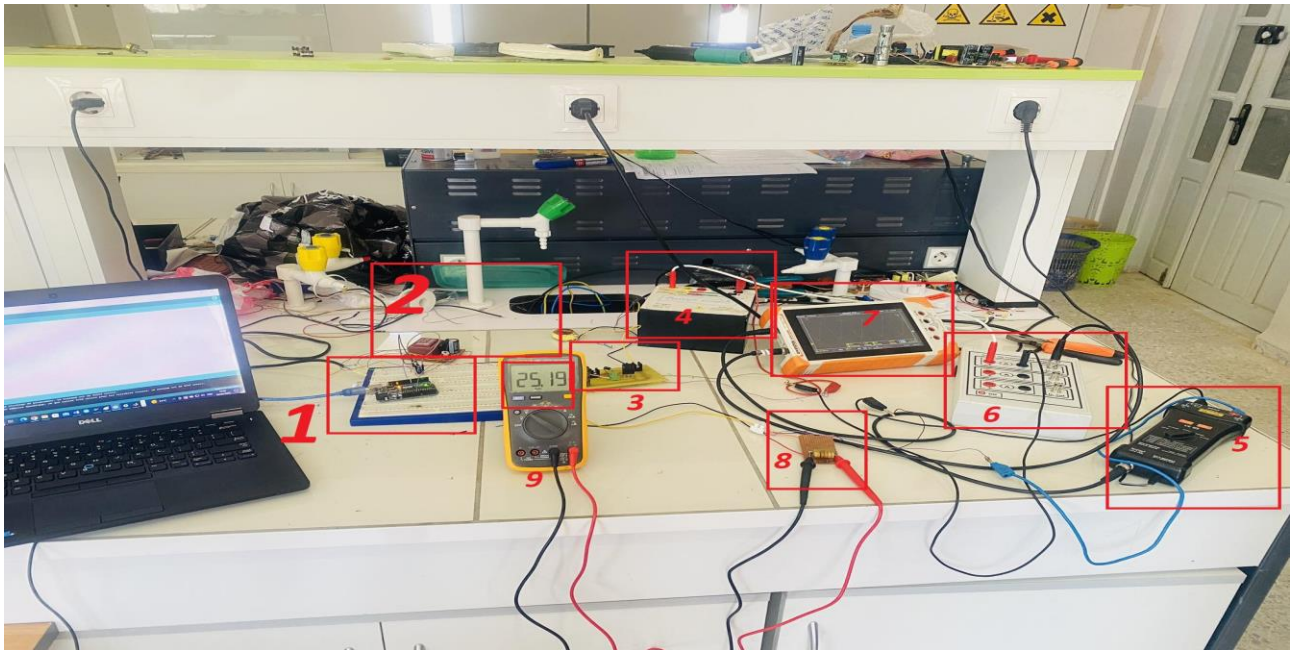


figure 3.24 : Schéma du hacheur Boost réalisé

1. Circuit de commande.
2. Alimentation de circuit de commande.
3. Circuit puissance.
4. Alimentation d'entrée V_{in} .
5. Capteur de tension.
6. Capteur de courant.
7. Oscilloscope.
8. Résistance de charge.
9. La valeur numérique de tension de sortie.

3.3.4 Simulation du système photovoltaïque 5w

3.3.4.1 Les Algorithmes MPPT

Il existe plusieurs principes de fonctionnement des commandes MPPT plus ou moins performantes basées sur les propriétés du GPV.

3.3.4.1.1 Méthode Perturbation Et Observation (P&O, Perturb And Observe)

La méthode P&O est généralement la plus utilisée en raison de sa simplicité et sa facilité de réalisation. Comme son nom l'indique, cette méthode repose sur la perturbation (une augmentation ou une diminution) de la tension V_{ref} , ou du courant I_{ref} , et l'observation de la conséquence de cette perturbation sur la puissance mesurée ($P=VI$) [32].

Le principe de commande P&O consiste à provoquer une perturbation de faible valeur sur la tension V_{PV} , ce qui engendre une variation de la puissance [34]. Figure 3.25 montre qu'on peut déduire que si une incrémentation positive de la tension V_{pv} engendre un accroissement de la puissance P_{pv} , cela signifie que le point de fonctionnement se trouve à gauche du PPM. Si au contraire, la puissance décroît, cela implique que le système a dépassé le PPM. Un raisonnement similaire peut être effectué lorsque la tension décroît. A partir de ces diverses analyses sur les conséquences d'une variation de tension sur la caractéristique $P(V)$, il est alors facile de situer le point de fonctionnement par rapport au PPM, et de faire converger ce dernier vers le maximum de puissance à travers un ordre de commande approprié.

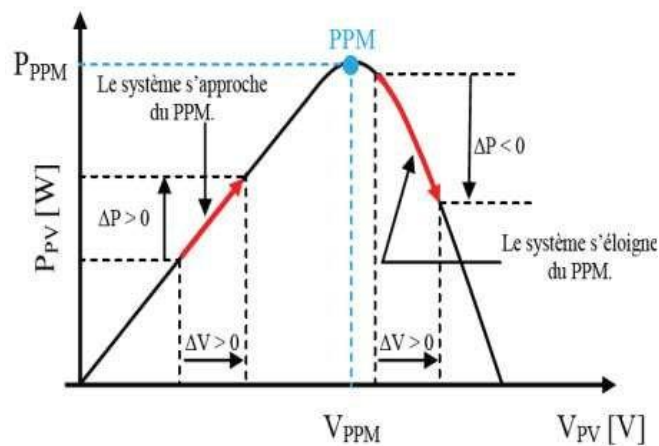


figure 3.25 : Recherche du PPM par la méthode (P&O).

La Figure 3.26 représente l'algorithme classique d'une commande MPPT de type P&O, où l'évolution de la puissance est analysée après chaque perturbation de tension.

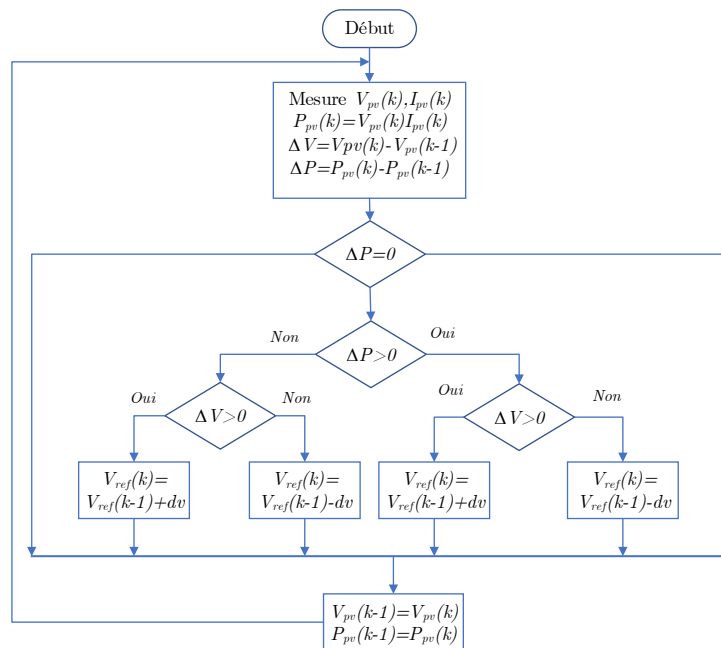


figure 3.26 : Algorithme type de la méthode P&O.

3.3.5 Simulation de MPPT par MATLAB

La Figure 3.27 donne le schéma block de notre system photovoltaïque étudié avec l'ensemble des étages simulés: GPV, DC-DC et MPPT.

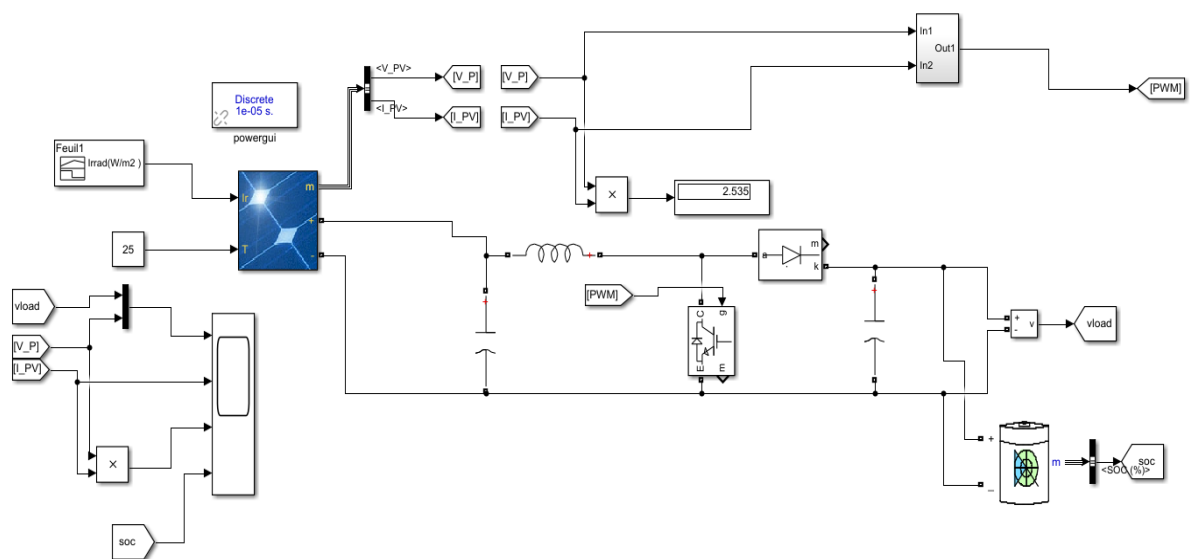


figure 3.27 : Schéma bloc sous Simulink du convertisseur Boost avec l'MPPT .

Les figures suivantes représentent les résultats de simulation de convertisseur avec un panneau photovoltaïque contrôlé par la commande MPPT « P&O » pour différentes variations selon l'éclairement (régime dynamique) avec une température fixe 25°C.

A partir des résultats illustrés par (figure 3.28), on peut remarquer que la grandeur optimale de puissance du GPV est atteinte pour différentes variations d'éclairement.

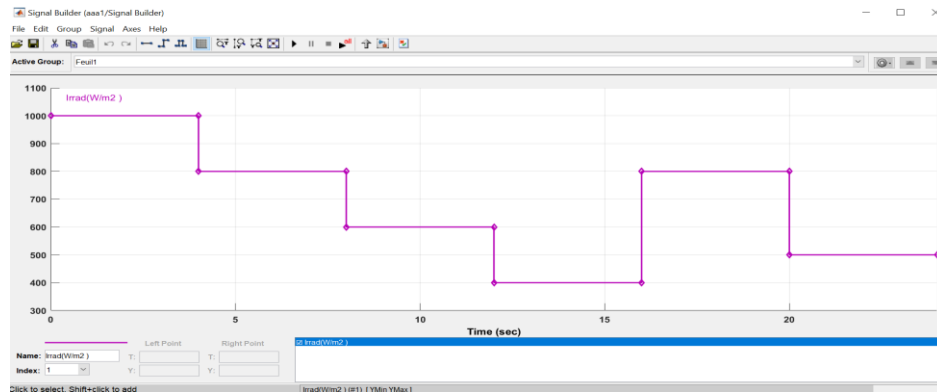


figure 3.28 : les différents variations d'éclairement de PV

3.3.5.1 Résultats de simulation

A partir des résultats illustrés par (la figure 3.29), on peut remarquer que la grandeur optimale de puissance du GPV est atteinte pour différentes variations d'éclairement.

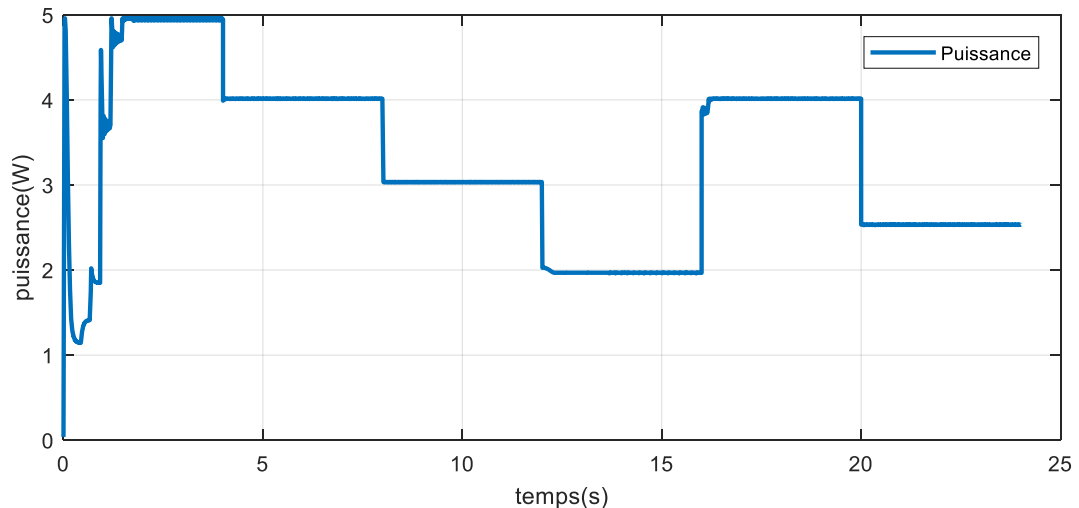


figure 3.29 : Caractéristique P(t) de GPV avec MPPT

A partir des résultats illustrés par (figure 3. 30) on peut remarquer que la grandeur de tension par la charge et canstant grace a l'MPPT.

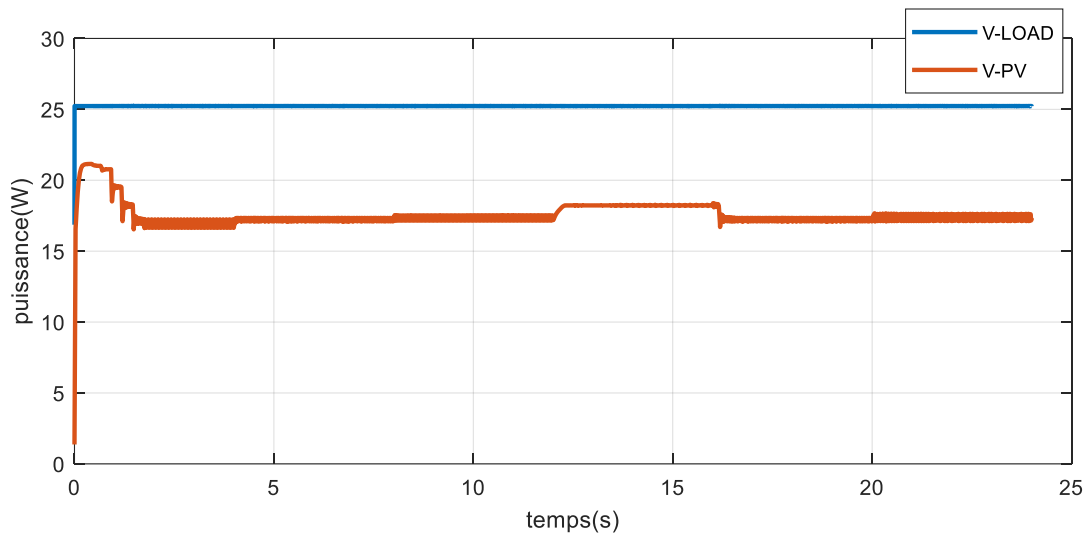


figure 3.30 : caractéristique $V(t)$ de GPV avec MPPT

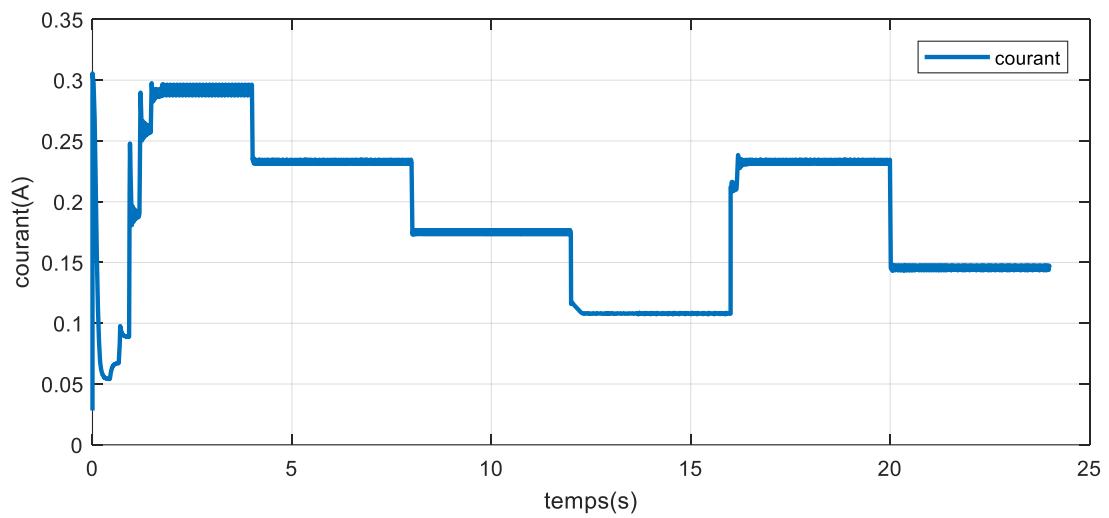


figure 3.31 : Caractéristique $I(t)$ de GPV MPPT

A partir des résultats illustrés par (figure 3. 32). on peut remarquer que la BATTERIE est charger .

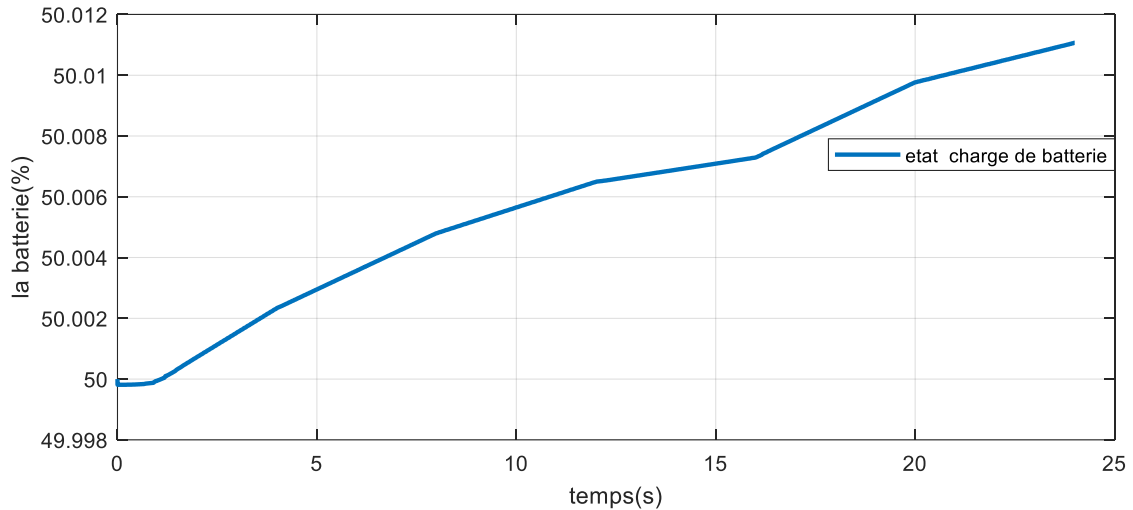


figure 3.32 : Caractéristique $V(t)$ de batterie avec MPPT

3.3.6 la réalisation de contrôleur de charge solaire par MPPT avec la carte arduino

Une fois la partie simulation est achevée, nous passons maintenant à la partie réalisation de notre prototype. En effet, afin de réaliser le contrôleur MPPT il est nécessaire de réaliser les principaux blocs qui constituent le circuit électronique (voir figure 3.36).

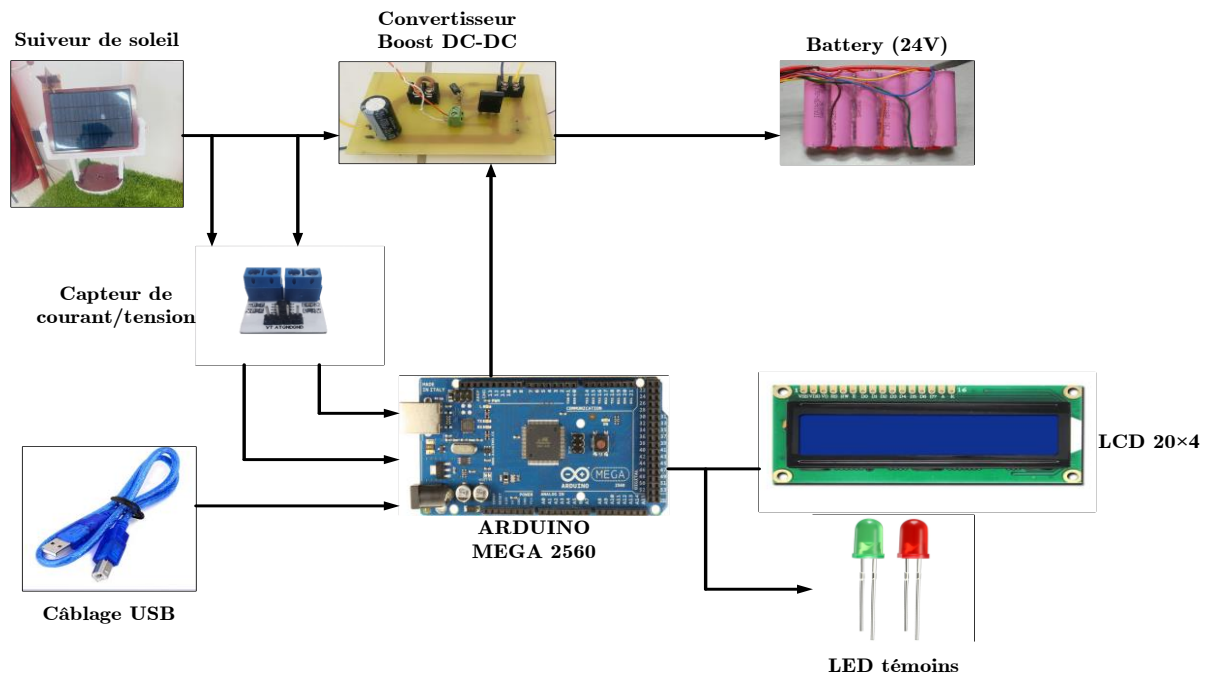


figure 3.33 : Schéma général de contrôleur de charge solaire MPPT

3.3.6.1 Tests pratiques du système PV réalisé

La figure (3.37) représente le schéma global du système photovoltaïque réalisé. Il est composé d'un module photovoltaïque de type SPM005P-R, convertisseur survolteur, résistance, capteur de courant et tension MAX471, carte Arduino Mega 2650 à base d'un microcontrôleur du type Mega 2650 qui est connectée à un ordinateur PC, multimètres.

Les résultats de tests montrent que le système photovoltaïque fonction bien. La commande perturbation et observation adapte le générateur PV à la charge par le transfert de la puissance maximale fournie par le module PV Le mieux est de charger la batterie.

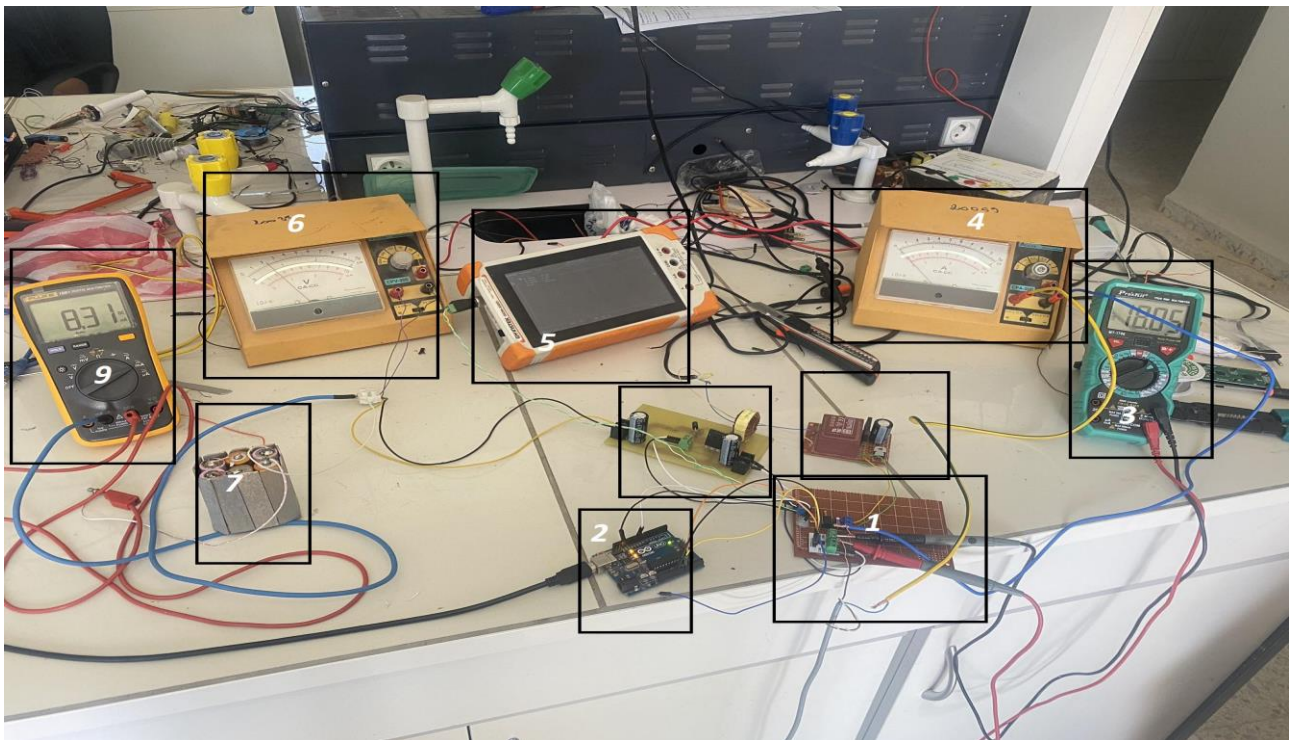


figure 3.34 : Schéma du système photovoltaïque réalisé

- 1-2 Partie commande (driver /capteur courant tension /arduino).
- 3- la valeur numérique de tension de PV.
- 4- l'affichage de courant de PV.
- 5- l'affichage de l'oscilloscope de sortie à partie commande.
- 6- la fichage de tension de la batterie.
- 7- la valeur numérique de courant de batterie.

3.4 Conclusion

Dans ce chapitre, Nous avons énuméré les démarches suivies pour la réalisation, la programmation et les différentes étapes essentielles pour la réalisation de notre suiveur avec contrôleur MPPT.

Le dimensionnement et l'implémentation de notre système dans l'espace MATLAB était validé avant l'entamé la partie réalisation. La programmation de suiveur et La méthode MPPT par la méthode (P&O) implémentée à l'aide d'une carte Arduino MEGA 2650.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

La réalisation de ce projet de fin d'étude est un grand bénéfice pour nous dans plusieurs aspects, il nous a permis d'enrichir et améliorer nos connaissances en énergie photovoltaïque, la nature du domaine traité et le projet a réalisera sont conformes à notre parcours de master ,ce qui nous a encouragé a travailler sérieusement d'un côté afin d'atteindre les objectifs fixés pour ce projet ,et d'un autre pour développer et améliorer nos connaissances d'électronique, électronique de puissance ,informatique et de mécanique.

L'étude et la création d'un système de poursuite solaire avec un contrôleur MPPT à l'aide d'une carte Arduino. Le but de cette entreprise est de mettre en place un système de suivi solaire afin d'augmenter la productivité et la puissance des panneaux photovoltaïques (PV).

En effet, Avec le suiveur solaire ; le deuxième objectif de notre projet était de réaliser un contrôleur de charge solaire MPPT et stocker cette énergie dans une batterie.

Les résultats obtenus montrent une bonne efficacité du système pour charger une batterie de 24V. C'est vrai que les objectifs que nous avons fixés pour ce projet ont été atteints, et que le projet a été testé, mais notre ambition reste toujours d'avoir l'occasion d'utiliser réellement notre projet dans une poursuite réelle.

Les perspectives qui découlent de ce mémoire portent sur le développement de notre circuit sont :

- La réalisation de régulateur MPPT avec d'autre type d'algorithme
- L'utilisation d'autres types de convertisseur.

Références bibliographiques :

- [1] Hadj Belkacem. M, 2011, « Modélisation et étude expérimentation d'un capteur solaire non vitré et perforé », Mémoire de Master, Université Abou-Bekr-Belkaid deTlemcen,P1.
- [2] Mekki Walid Badr-Eddine et Mohammed Belhadj Abdelkader Walid, 2019, « Conception et réalisation d'un panneau solaire à base d'Arduino », mémoire de Master 2, Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent,P1.
- [3] www.clipsol.com. L'énergie solaire : Tout savoir sur l'énergie solaire (article scientifique) consulté le 12/02/2017.
- [4] www.planete-energies.com/Les deux formes du solaire le solaire photovoltaïque et le solaire thermique (article scientifique) consulté le 20/02/2017.
- [5] https://fr.wikipedia.org/wiki/Cellule_photovoltaïque(article scientifique) consulté le 04/03/2017.
- [6] www.les_énergies_renouvelables.eu: «comment fonctionne le panneau solaire photovoltaïque et fonctionnement de la cellule-photovoltaïque » consulté le 20/02/2017.
- [7] Khoudrane Ismail : mémoire fin étude « Etude d'un système de poursuite solaire pour les panneaux photovoltaïques» UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA.
- [8] www.ecosources.info:Types de cellules photovoltaïques.
- [9] Dihaj.A et Zenguila.K, 2016, « Etude et réalisation d'un suiveur solaire photovoltaïques », mémoire de Master, université d'Adrar, P 16.
- [10] Dharye.I, 2014, « Optimisation du rendement énergétique d'un panneau solaire par un support suiveur », mémoire de Master, université Sidi Mohamed Ben Abdellah, P 28- 31.

- [11] Foundou.A et Hassan.S, 2018, « pilotage automatique d'un système photovoltaïques », mémoire de Master, université Aboubakr Bekaïd Tlemcen, P 38- 39.
- [12] Sukhraj Singh Cheema, 2012, « Simulation Studies on Dual Axis Solar Photovoltaic Panel Tracking System ». THAPAR UNIVERSITY PATIALA.
- [13] Sini Boukrout.A et Lamr Mohamed.L, 2017, « Etude et conception d'un suiveur du soleil pour un générateur photovoltaïques », mémoire de master, université A.M.Oulhadj-Bouira, P 18-19.
- [14] Boujnane.S, 2016, Tracker solaire à deux axes, mémoire de mastre, université Sidi Mohamed ben Abdellah.
- [15] Kadri.I, « Etude, Conception et Réalisation d'un Suiveur de Soleil », Mémoire de Master, Université Abou-Bekr Belkaid Tlemcen, Soutenu le : lundi 25 juin 2018.
- [22] M. LAKHDARI.F , Introduction à la simulation et routage des circuits avec le logiciel PROTEUS V7 et V8 , UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE D'ORAN FACULTE DU GENIE ELECTRIQUE,2016/2017.
- [23] Hajar Bagheri “advances in electric power engineering” publisher: lulu (usa), 2015
- [24] M. LAKHDARI.F , Introduction à la simulation et routage des circuits avec le logiciel PROTEUS V7 et V8 , UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE D'ORAN FACULTE DU GENIE ELECTRIQUE,2016/2017.
- [26] Yassine LASMI. Optimisation de la poursuite du point de puissance maximale (MPPT) d'un système photovoltaïque par les techniques intelligentes. Université Sétif -1 (ALGERIE).

[27] Goar Nouredine et Mahmoudi Abdelkader, «Réalisation d'un convertisseur DC/DC dans une chaine de conversion d'énergie photovoltaïque», Université Larbi Ben M'Hidi - Oum El Bouaghi -, 2017.

[28] ACHOUR Abderraouf, « Analyse et commande d ' un hacheur Buck- boost », mémoire de master: Université Mohamed Khider de Biskra, 2018.

[29] Chekaf Ikram et Bouziane Mohammed Amine, «Etude et modélisation des hacheurs boost multi-niveaux dédiés aux systèmes photovoltaïques», Ecole Supérieure En Sciences Appliquées--Telemcen--, 2019.

[30] TAHRI G , "contribution a la Modélisation et a la commande d'un COVERTISSEUR CC/CC de types élévateur " mémoire de MAGISTER département d'Electronique Université D'ORAN .

[31] EL MELOUANI K " dimensionnement d'un hacheur survolteur " 2009-2010.

[32] Akihiro Oi, " design and simulation of photovoltaic water pumping system", faculty of cali- fornia polytechnic state university, 2005

[33] Hajar Bagheri "advances in electric power engineering" publisher: lulu (usa), 2015

[34] Dalia Al Maamoury, Muhamad Bin Mansor, Ali Assim Al Obaidi ,,, "active power control for a single-phase grid connected pv system " , international journal of scientific & technology research vol 2, issue 3, 2013.

Sites internet :

[16] www.slideplayer.fr/slide/2580184.

[17] www.astuces-pratiques.fr/electronique/le-moteur-a-courant-continu-principe .

[18] www.eric-aeromodelisme974.unblog.fr/2023/04/20/le-brushless-ou-moteur-synchrone-triphas.

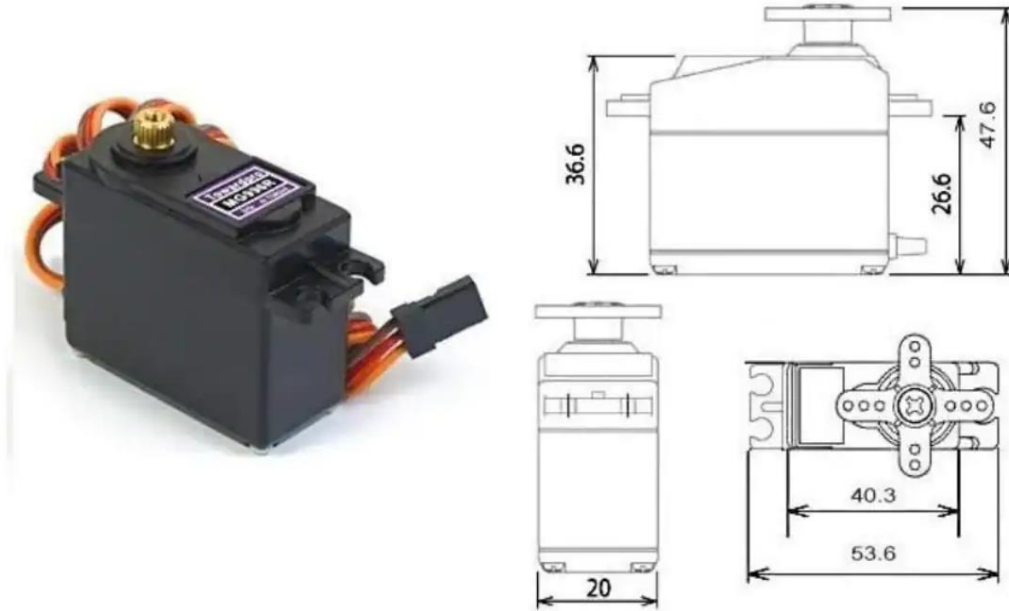
[19]

www.pedagogie.ac-limoges.fr/sti_si/accueil/FichesConnaissances/Sequence3SSI/co/S3B22_Association_modele_composant_33.html.

[21] www.mdp.fr/documentation/lexique/pas-a-pas/composition.html.

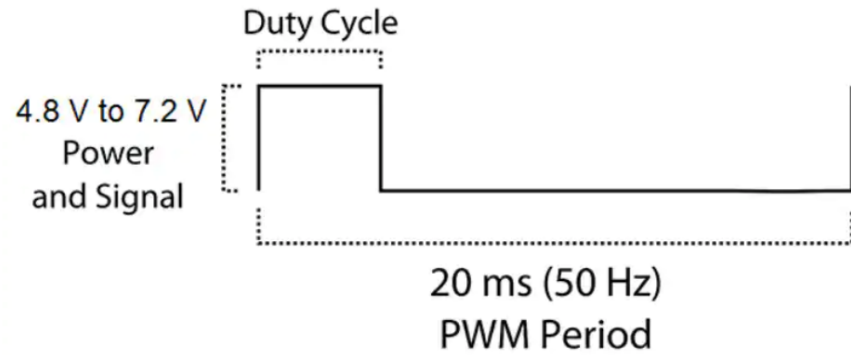
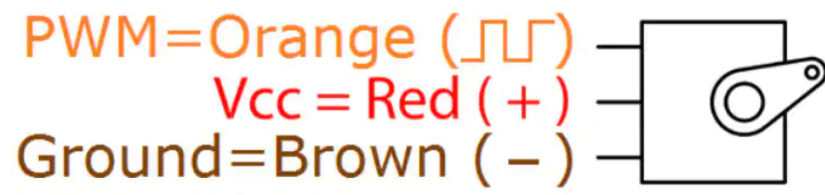
[25] www.tinkercad.com/dashboard.

MG996R High Torque Metal Gear Dual Ball Bearing Servo



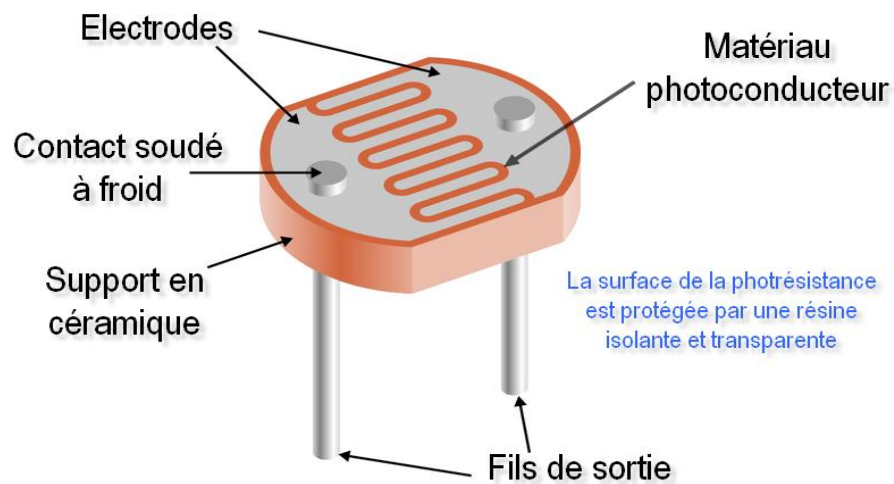
Spécifications :

- Weight: 55 g
- Dimension: 40.7 x 19.7 x 42.9 mm approx.
- Stall torque: 9.4 kgf·cm (4.8 V), 11 kgf·cm (6 V)
- Operating speed: 0.17 s/60° (4.8 V), 0.14 s/60° (6 V)
- Operating voltage: 4.8 V a 7.2 V
- Running Current 500 mA
- Stall Current 2.5 A (6V)
- Dead band width: 5 μs
- Stable and shock proof double ball bearing design
- Temperature range: 0 °C
- 4.8 V a 7.2 V - 900 mA (6V)
- double ball bearing design 55 °C



ANNEXE B : La photorésistance (LDR)

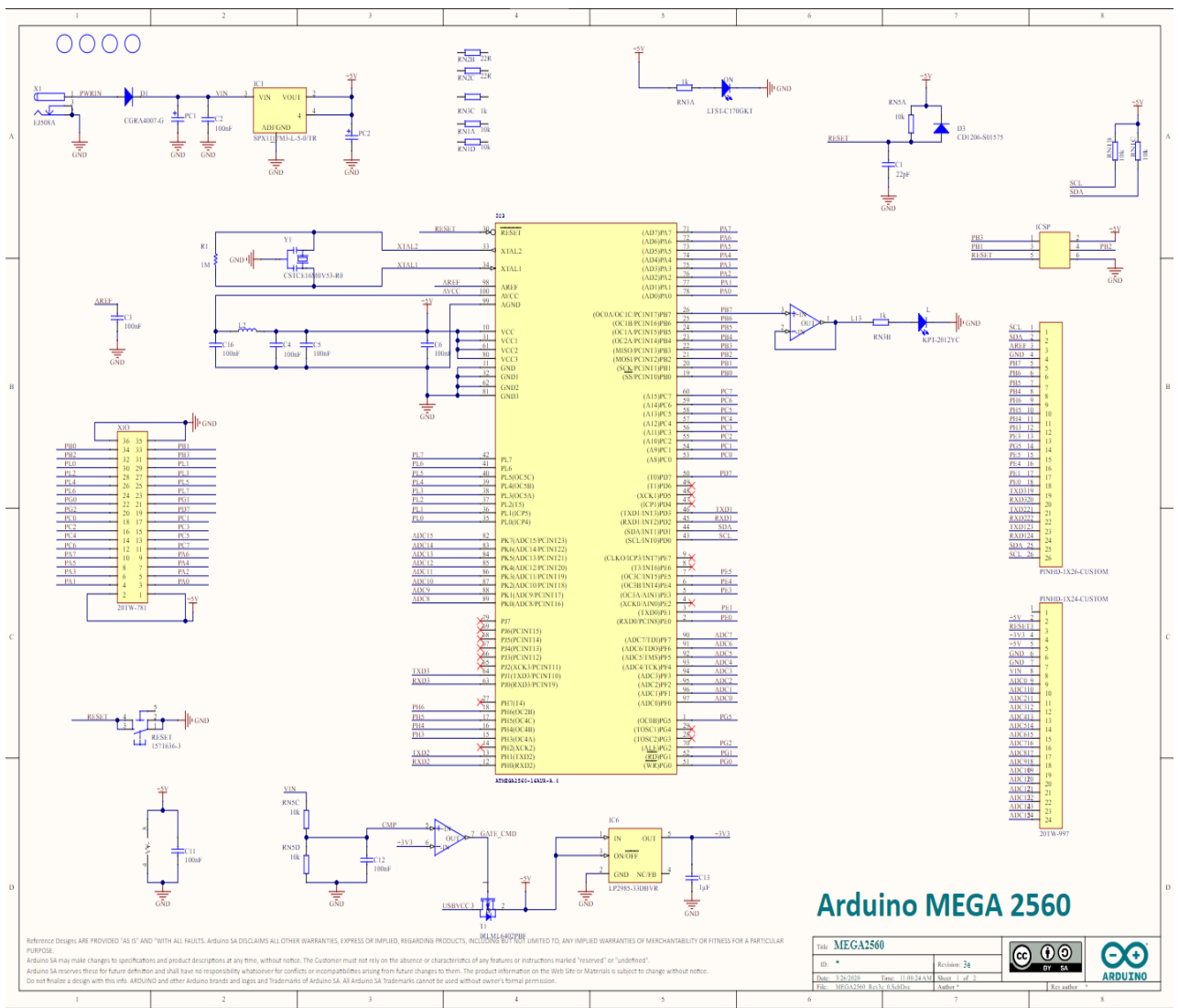
Module équipé d'un capteur résistif (LDR) dont la valeur dépend de la lumière. La surface sensible du capteur réagit à la lumière visible (longueur d'onde environ 400 à 700 nm) et fournit une tension proportionnelle à l'intensité lumineuse. Il se connecte sur une entrée analogique du boîtier de commande AutoProgCe capteur permet de mesurer un niveau de lumière. On exploite la valeur de la tension provenant de ce module en la convertissant en une valeur numérique sur une échelle de 0 à 255. Cette valeur numérique est stockée dans une variable. Une instruction de test ou de calcul permet d'exploiter la valeur stockée dans la variable.



ANNEXE C : L'Arduino UNO

L'Arduino Mega 2560 est un microcontrôleur basé sur l'ATmega2560. Il dispose de 54 pins d'entrée/sortie numériques (dont 15 peuvent être utilisés comme sorties PWM), 16 entrées analogiques, 4 UARTs (ports série matériel), un oscillateur de cristal 16 MHz, une connexion USB, un jack d'alimentation, un en-tête ICSP et un bouton de réinitialisation. Il contient tout ce dont vous avez besoin pour prendre en charge le microcontrôleur; il suffit de le connecter à un ordinateur avec un câble USB ou de l'alimenter avec un adaptateur AC-to-DC ou une batterie pour démarrer. La carte Mega 2560 est compatible avec la plupart des boucliers conçus pour la Uno et les anciennes cartes Duemilanove ou Diecimila.

Schéma électrique de la carte Arduino UNO



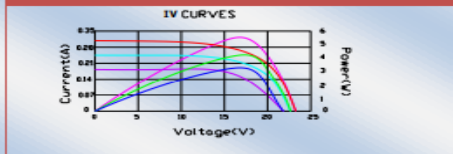
ANNEXE D : Panneau solaire

Model Number
SPM005P-R

Electrical Characteristics

Max power(Pm)	5W
Maximum power voltage(Vpm)	17.1V
Maximum power current (Ipm)	0.29A
Short circuit current (Isc)	0.31A
Open circuit voltage (Voc)	21.7V
Module efficiency	6.4%
Tolerance	±5%
Nominal Voltage	12V
Temperature coefficient of Voc	-0.36%/K
Temperature coefficient of Pm	-0.46%/K
Temperature coefficient of Isc	0.05%/K
NOCT	48°C±2°C
Maximum series fuse rating	10A
Maximum system voltage	600V

IV Curves



Warranty

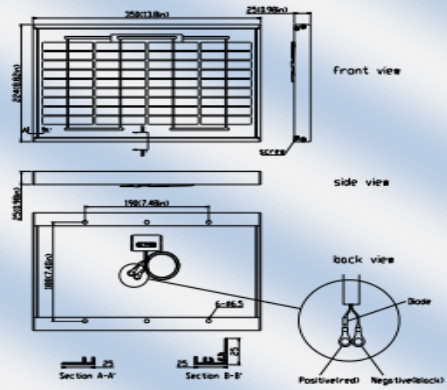
25-year limited warranty of 80% power output;
12 year limited warranty of 90% power output;
2-year limited warranty of materials and workmanship*

Certifications

UL 1703 certification
ETL Class I, Division 2, Groups C and D certification

Mechanical Characteristics

Construction	Tempered glass, silicon cell, EVA, Polyester with Tedlar
Solar Cells	36 cells (78mm x 15.6mm) in a 4x9 matrix connected in series
Front Cover	High transmission 3.2mm(1/8") glass
Encapsulant	EVA(Double layers)
Back Cover	White polyester
Frame	Anodized aluminum
Junction Box	IP65, UL94-5VA material
Diodes	Schottky by-pass diodes
Terminal	3m (9feet) 18 AWG Wire with blocking diode and ring terminal
Dimensions	13.8in (350mm)x8.82in (224mm)x0.98in (25mm)
Weight	2.86lb (1.3kg)
Operating Temperature	-40°C ~ 90°C
Storage Humidity	<90%



ANNEXE E : Capteur de courant et tension MAX471

Description:

-Mesure la tension et le courant dans le circuit.

-Adopte la puce MAX471, le module utilise directement l'alimentation électrique détectée.

-L'entrée de tension minimale détectée par ce module est de 3V.

-Le principe du test de tension basé sur le principe de la conception du diviseur de tension résistif, qui réduit la tension à l'entrée d'interface de terminal de 5 fois. La tension d'entrée analogique est un maximum de 5V, puis la tension d'entrée du module de détection de tension ne peut pas être supérieure à $5V \times 5 = 25V$ (si vous utilisez un système de 3.3V, la tension d'entrée ne peut pas être supérieure à $3,3v \times 5 = 16.5V$).

Spécification:

-Taille: env. 23.8x22x14mm/0.93x0.86x0.55 pouces.

-VT: broche de détection de tension, la tension détectée est de 1/5 de la tension d'entrée.

-AT: broche de détection de courant.

-GND: se connecter à GND.

-VOUT/VIN: $VOUT = VIN$.

-Plage de détection de tension: 3-25V (tension de fonctionnement: 5V) ou 3-16.5V (tension de fonctionnement: 3.3v); Plage de détection de courant: 0-3A, précision: 200; rapport de conversion courant/tension: 1V/A.



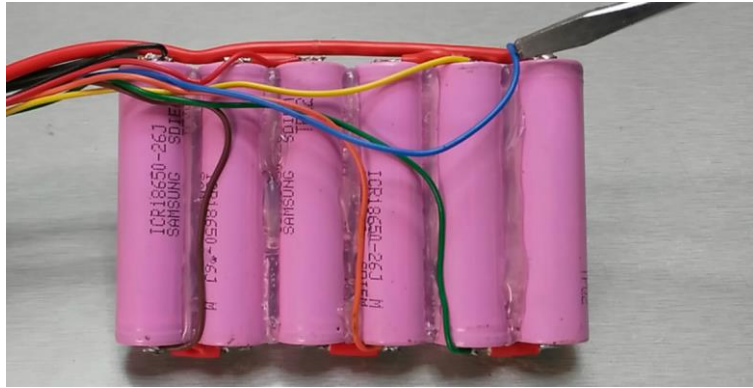
Annexes

ANNEXE F : batterie**Description:**

TAILLE	18650
TECHNOLOGIE	Li-Ion
TENSION	3.6V
CAPACITÉ	3450mAh
SPÉCIFICITÉS	résiste aux courants élevés, à tête plate
TENSION DE CHARGE MAX.	4.2V
COURANT DE CHARGE MAX.	1500mA
TENSION DE DÉCHARGE FINALE	2.5V
COURANT DE DÉCHARGE (MAX.)	8A
TEMPÉRATURE MIN.	-10°C
TEMPÉRATURE MAX.	+60°C
HAUTEUR	65mm
DIAMÈTRE	18.5mm
POIDS	50g
CONTENU	1pc(s)
TYPE	INR18650-35E
RECHARGEABLE	oui
DIM.	(Ø x H) 18.5 mm x 65 mm
TYPE DE PRODUIT	Pile rechargeable spéciale

Annexes

On pose 6 batterie en serie pour produire **24 volts**.

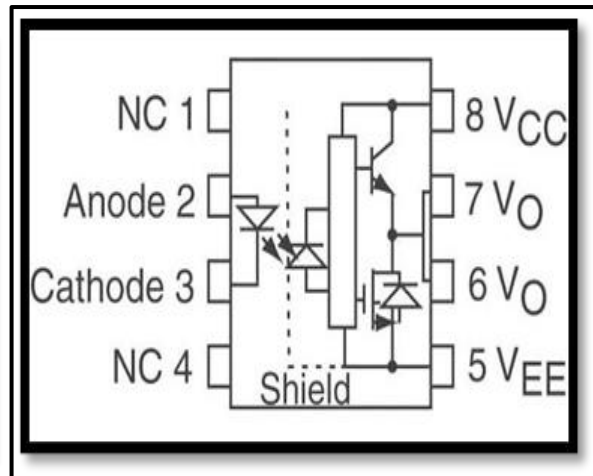
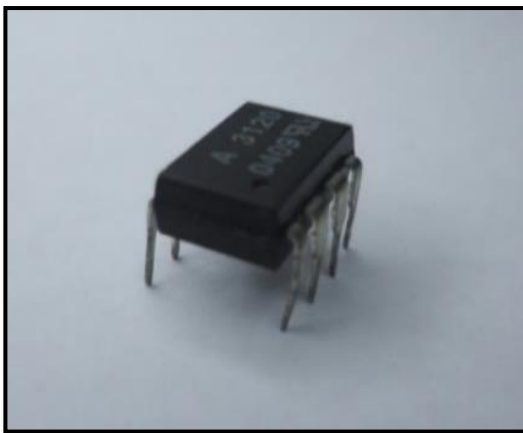


ANNEXE G: Afficheur LCD 1602

Les afficheurs à cristaux liquides, autrement appelés afficheurs LCD (Liquid Crystal Display), sont des modules compacts intelligents et nécessitent peu de composants externes pour un bon fonctionnement. Ils consomment relativement peu (de 1 à 5 mA), sont relativement bons marchés et s'utilisent avec beaucoup de facilité.

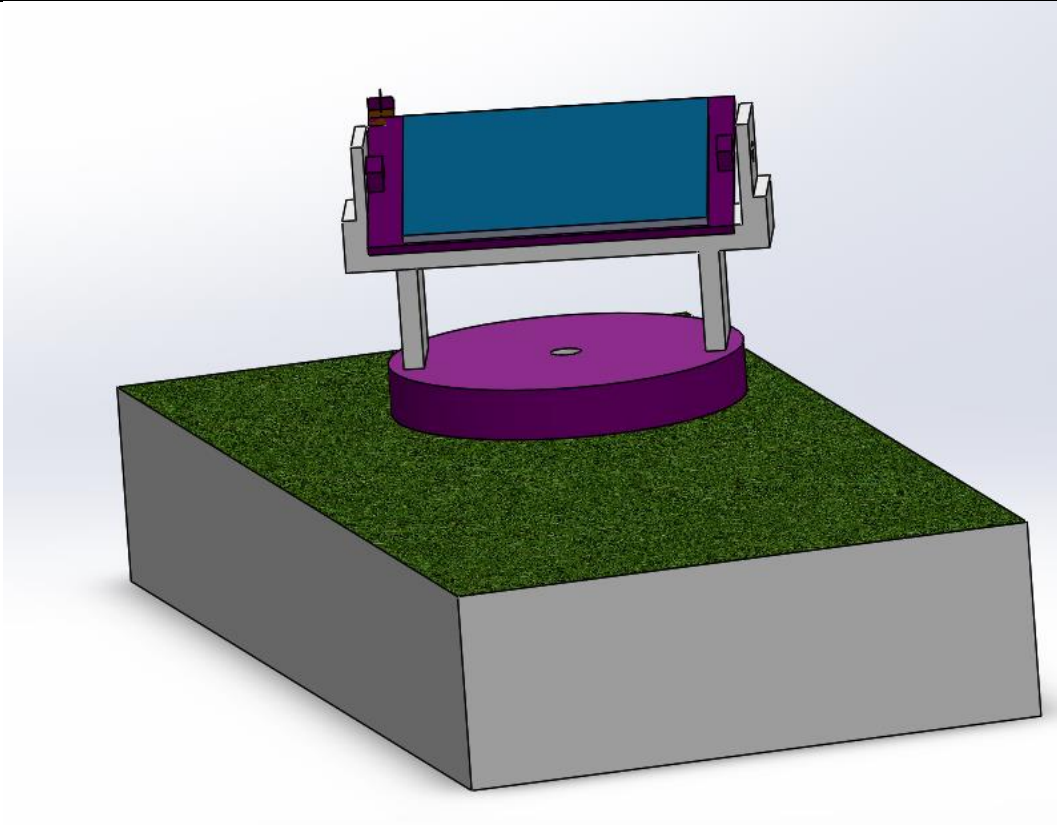


ANNEXE H : Le driver HCPL 3120 :



ANNEXE I : Prototype

Nous créons le prototype grâce à le programme **SolidWorks**



ANNEXE J : programme D'ARDUINO

```
#define sensorsensitivity 66
```

Annexes

```
#include <LiquidCrystal.h>

LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);

#include <Servo.h>

Servo servohori; //horizontal servo(BOTTOM SERVO)

int servoh = 0; //assign servo at 0 degree

int servohLimitHigh = 240; //maximum range of servo is 240 degree(it is variable you
can also change)

int servohLimitLow = 10; //minimum range of servo is 10 degree(it is variable you
can also change)

Servo servoverti; //vertical servo(TOP SERVO)

int servov = 0;

int servovLimitHigh = 240;

int servovLimitLow = 10;

int ldrtopr = 0; //top right LDR A1 pin

int ldrtopl = 3; //top left LDR A2 pin

int ldrbotr = 1; // bottom right LDR A0 pin

int ldrbotl = 2; // bottom left LDR A3 pin

int sensorValue = 0;

int outputValue = 0;

float current ;

float tension ;

float old_voltage; ;

float old_current ;

float value_voltage=0 ;

float dv =12.7; //....

float voltage=0; ;
```

Annexes

```
float duty_cycle =127.5; //...

float old_p=0 ;//.....

float P ;

float pwm = 9 ; // connect to pin 9 ;

void setup() {

    servohori.attach(10); //horizontal servo connected to arduino pin 10

    servohori.write(90);

    servoverti.attach(7); //vertical servo connected to arduino pin 7

    servoverti.write(124);

    delay(250); //delay

    TCCR1A = _BV(COM1A1) | _BV(WGM11);

    TCCR1B = _BV(WGM13) | _BV(WGM12) | _BV(CS10);

    // Set the frequency (10 kHz) by adjusting the ICR1 register

    ICR1 = 799; // F_CPU / (2 * prescaler * desired_frequency) - 1

    // Set pin 7 (OC1A) as output

    pinMode(9, OUTPUT);

    lcd.begin(16, 2);

    pinMode (current, INPUT );

    pinMode (tension, INPUT );

    pinMode (pwm, OUTPUT );

    Serial.begin(9600);

}

void loop() {

    servoh = servohori.read();

    servov = servoverti.read();

    int topl = analogRead(ldrtopl); //read analog values from top left LDR
```

Annexes

```
int topr = analogRead(ldrtopr); //read analog values from top right LDR

int botl = analogRead(ldrbotl); //read analog values from bottom left LDR

int botr = analogRead(ldrbotr); //read analog values from bottom right LDR

int avgtop = (topl + topr) / 2; //average of top LDRs

int avgbot = (botl + botr) / 2; //average of bottom LDRs

int avgleft = (topl + botl) / 2; //average of left LDRs

int avgright = (topr + botr) / 2; //average of right LDRs

if (avgtop < avgbot)
{
    servoverti.write(servov -1);

    if (servov > servovLimitHigh)
    {
        servov = servovLimitHigh;
    }

    delay(1);
}

else if (avgbot < avgtop)
{
    servoverti.write(servov +1);

    if (servov < servovLimitLow)
    {
        servov = servovLimitLow;
    }

    delay(1);
}

else
```

Annexes

```
{
  servoverti.write(servov);
}
if (avgleft > avgright)
{
  servohori.write(servoh -1);
  if (servoh > servohLimitHigh)
  {
    servoh = servohLimitHigh;
  }
  delay(1);
}
else if (avgright > avgleft)
{
  servohori.write(servoh +1);
  if (servoh < servohLimitLow)
  {
    servoh = servohLimitLow;
  }
  delay(1);
}
else
{
  servohori.write(servoh); // write means run servo
}
delay(1);
```

Annexes

```
analogWrite(pwm, duty_cycle);

//capteur de tension

int value_voltage= analogRead (A5);

double voltage= ((value_voltage*25)/1023);

//value_voltage =0 ;

old_voltage =voltage ;

//capteur de courant

int value_current =analogRead (A4);

double current = (voltage/60);

old_current =current ;

lcd.begin(16, 2);

double puissance=current*voltage;

lcd.print("Ppv=");

lcd.print(puissance);

lcd.print("W");

lcd.setCursor(0, 1);

lcd.print("V=");

lcd.print(value_voltage);

lcd.print("V I=");

p_and_o(old_voltage ,old_current);

Serial.print("current: ");

Serial.print(current);

Serial.println("mA");

Serial.print("voltage: ");

Serial.print(voltage);

Serial.println("V");
```

Annexes

```
Serial.print("puissance: ");

Serial.print(puissance);

Serial.println("w");

delay(1);

OCR1A = ICR1 * duty_cycle / 100; // 50% duty cycle (OCR1A = ICR1 *
duty_cycle / 100)

}

float p_and_o(float v, float i) {

P = v*i;

float changeP = P - old_p;

float changeV = v -old_voltage ;

if (changeP != 0) {

if (changeP > 0) {

if (changeV > 0) {

if (0 <= duty_cycle && duty_cycle < 241.3) {

duty_cycle = duty_cycle + dv;

}

else {

duty_cycle = 254;

} }

else {

if (0 <= duty_cycle && duty_cycle < 255) {

duty_cycle = duty_cycle - dv;

}

else {

duty_cycle = 241.3;
```

} } }

else {

if (changeV > 0) {

if (0 <= duty_cycle && duty_cycle < 255) {

duty_cycle = duty_cycle - dv;

}

else {

duty_cycle = 241.3;

} }

else {

if (0 <= duty_cycle && duty_cycle < 241.3) {

duty_cycle = duty_cycle + dv;

}

else {

duty_cycle = 254;

} } }

}

else {

duty_cycle = duty_cycle;

}

old_voltage = v;

old_p = P;

return P;