

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrique  
Filière : Electrotechnique.

Option : Energies renouvelables

Réf:.....

Mémoire de Fin d'Etudes  
En vue de l'obtention du diplôme:

**MASTER**

*Thème*

*Etude et simulation d'un suiveur solaire*

Présenté par :  
**Saad Abd Elmadjid**  
Soutenu le : 05 Juin 2017

Devant le jury compose de :

Mr. Ben meddour mostefa  
Pr.Moussi Ammar  
Mme.Tkouti nacira

M.C.B  
Pr  
M.A.A

President  
Encadreur  
Examineur

**Année universitaire : 2016 / 2017**

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrique  
Filière : Electrotechnique  
Option : Energies renouvelables

Mémoire de Fin d'Etudes  
En vue de l'obtention du diplôme:

**MASTER**

*Thème*

*Etude et simulation d'un suiveur solaire*

Présenté par :  
Saad Abd Elmadjid

Avis favorable de l'encadreur :  
Pr. Moussi Ammar

**Avis favorable du Président du Jury**

Mr. Ben meddour mostefa

**Cachet et signature**

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrique  
Filière : Electrotechnique  
Option : Energies renouvelables

*Thème :*

*Etude et simulation d'un suiveur solaire*

Proposé et dirigé : Pr. Moussi Ammar

## Résumé :

Notre travail ayant comme objectif l'amélioration du gain en énergie électrique du module Solaire mobile par rapport au système fixe. Notre dispositif d'instrument sera fixé sur Une structure mécanique que nous avons réalisée à base du moteur à courant continue avec des circuits de commande permettant ainsi la rotation du module.

Pour cette application, nous avons réalisé une lunette à base de trois capteurs photo résistif de type 'LDR' qui sont disposés de manière à ce que leurs éclaircissement ne Soit identique que si la lunette est pointée vers le soleil.

Les signaux issus des capteurs sont transmis aux entrées d'un microcontrôleur de type 'Arduino Uno' qui permet la Comparaison des niveaux de tensions pour la commande des du moteur. En outre, il permet L'orientation du panneau vers le soleil.

**Mots clés :** PV, Suiveur solaire, LDR, Arduino, MCC.

## ملخص:

مشروعنا هو " نظام التتبع التلقائي للشمس باستعمال اللواقط الضوئية "

ان هذا المشروع الذي تم تصميمه من اجل تحسين اداء الطاقة الشمسية عند استخدام نظام ملاحقة شمسية سنضمن انتاج اكبر كمية من الطاقة الكهربائية للخلايا الشمسية المتحركة مقارنة بالثابتة و ذلك بسبب بقاء مصفوفة الخلايا الشمسية على محاذاة من اشعة الشمس طوال فترة سطوعها . يتركز هذا العنصر على هيكل ميكانيكي يتحرك بواسطة محرك ذو تيار مستمر مع دائرة تحكم تسمح بتحريك المحرك. حيث نستعمل ثلاث حساسات ضوئية (مقاومة ضوئية) تقوم هذه الحساسات بتسجيل توترات على قدر شدة الاشعاع و ترسل هذه التوترات الى المتحكم (اردينو) يقوم هذا الاخير بقراءة قيم الحساسات الضوئية و مقارنة هذه القيم ثم يتم اعطاء اوامر للمحرك ليتحرك حسب القيم العظمى المقروءة

**الكلمات المفتاحية :** الألواح الشمسية ، المتتبع الشمسي ، اللواقط الضوئية ، محرك تيار مستمر

## *Dédicaces*

*Ce travail, je le dédie particulièrement à :  
Mon cher père qui a été mon soutien pour  
Atteindre ce niveau.*

*Ma mère a qui a été pour moi une lumière qui me  
guide vers mon chemin*

*Mon frères et mes sœurs qui n'ont pas hésité à m'aider et  
M'encourager*

*Mes amis Tous les enseignants et les étudiants de  
master O2 énergie renouvelable*

*Et à toute la famille.*

*MAGTD*

## *Remerciements*

*Avant toute chose, nous remercions ALLAH, le tout Puissant, pour nous avoir donné la force et la patience. Nous exprimons d'abord nos profonds remerciements et notre vive reconnaissance à Pr. Moussi Amar, enseignant au département génie électrique en Energie Renouvelable à l'université Mohamed Khider Biskra pour avoir encadrer et diriger ce travail*

*Il m'est particulièrement agréable de remercier Dr. Bakhouche lhaLed Docteur à l'université Mohamed Khider Biskra.*

*Enfin, nos plus sincères remerciements à nos familles et à tous nos amis, qui nous ont toujours soutenus et encouragés.*

*MAGTD*

## *Nomenclatures*

<b><math>\Phi</math></b> :	Latitude
<b><math>\delta</math></b> :	La déclinaison solaire
<b>W</b> :	Angle horaire
<b>T</b> :	Température de la cellule (Kelvin).
<b>I<sub>ph</sub></b> :	Courant photonique de la diode
<b>I<sub>0</sub></b> :	Courant de saturation de la diode (A)
<b>E</b> :	Ensoleillement dans le plan de la cellule (W/m <sup>2</sup> ).
<b>T</b> :	Température de la cellule (°C).
<b>I</b> :	Intensité de courant fournie par la cellule (A).
<b>V</b> :	Tension aux bornes de la cellule (V).
<b>V<sub>oc</sub></b> :	Tension à circuit ouvert
<b>I<sub>mp</sub>, V<sub>mp</sub></b> :	Le point de fonctionnement optimal
<b>R<sub>sh</sub></b> :	Résistance shunt
<b>C<sub>j</sub></b> :	Capacité de jonction
<b>I<sub>sc</sub></b> :	Courant de court-circuit
<b>I<sub>PV</sub></b> :	Courant d'entrée
<b>I<sub>C1</sub></b> :	Courant dans le condensateur
<b>PEP</b> :	Puissance électrique produite par le panneau PV
<b><math>\beta</math></b> :	L'angle formé entre le plan du panneau et les rayons lumineux incidents
<b>R<sub>s</sub></b> :	Résistance interne
<b>I<sub>s</sub></b>	Le courant de saturation,
<b>I<sub>0</sub></b>	Le courant inverse,
<b>V<sub>t</sub></b>	La tension thermique,
<b>k</b>	La constante de Boltzmann,
<b>K<sub>i</sub></b>	Coefficient d'I <sub>cc</sub> ,
<b>q</b>	Charge de l'électron (q = 1,6.10 <sup>-19</sup> C),
<b>E<sub>g</sub></b>	L'éclairage de référence,
<b>n</b>	Le facteur de non idéalité de la jonction,

## Liste des Abréviations

<b>PV :</b>	photovoltaïque
<b>DC :</b>	courant électrique de nature continu
<b>FEM :</b>	force électromotrice
<b>GPV :</b>	Générateur photovoltaïque
<b>MPPT :</b>	Maximum Power Point Tracking
<b>LDR :</b>	Light Dependent Resistor
<b>MPP :</b>	Maximum Power Point
<b>PWM :</b>	pulse with modulation):
<b>Arduino :</b>	Microcontrôleur

## Liste des figures

### Chapitre I

<b>Figure I-1:</b> Centrales à miroirs cylindro-paraboliques.....	5
<b>Figure I-2:</b> Centrales solaires à miroirs de Fresnel.....	6
<b>Figure I-3:</b> Tour solaire à concentration.....	7
<b>Figure I-4:</b> Centrales à miroir parabolique Dish-Stirling.....	7
<b>Figure I-5 :</b> cellule photovoltaïque .....	9
<b>Figure I-6 :</b> Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....	10
<b>Figure I-7 :</b> Circuit équivalent de la cellule photovoltaïque.....	10
<b>Figure I-8 :</b> <i>Caractéristiques <math>I=f(V)</math></i> d'un panneau photovoltaïque.....	15
<b>Figure I-9:</b> Caractéristiques courant – tension $I= f(V)$ d'un panneau PV à éclairement.....	16
<b>Figure I-10 :</b> Courbes de puissance en fonction de la tension aux bornes d'un panneau PV Source Ecosystèmes.....	17
<b>Figure I-11:</b> Dépendance des performances d'un panneau PV de l'angle.....	17
<b>Figure I-12 :</b> Rendement en puissance solaire exploitée en fonction de l'angle $\beta$ des rayons.....	18
<b>Figure I-13 :</b> Angle d'inclinaison des modules photovoltaïques.....	18
<b>Figure I-14 :</b> Représentation des équinoxes et solstices et l'inclinaison de l'axe de rotation.....	19
<b>Figure I-15 :</b> Rendement pour différents types de technologies au cours des années (NREL).....	20

### Chapitre II

<b>Figure II-1:</b> diagramme de comparaison entre la production avec suiveur et la production avec système fixe.....	23
<b>Figure II-2 :</b> Modèle d'un héliostat dans ses premières applications.....	24
<b>Figure II-3:</b> Champ d'héliostat -centrale solaire Thémis France.....	24
<b>Figure II-4 :</b> Types de suiveurs solaires.....	25
<b>Figure II-5 :</b> définition de la position de soleil.....	26
<b>Figure II-6 :</b> orientation 1 axe .....	26
<b>Figure II-7:</b> orientation 2 axe.....	26
<b>Figure II-8:</b> la photodiode .....	27
<b>Figure II-9 :</b> Chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque.....	28
<b>Figure II-10</b> Recherche et recouvrement du Point de Puissance Maximale. ....	29
<b>Figure II-11</b> Caractéristique PPV(VPV) d'un panneau solaire.....	31
<b>Figure II-12</b> Algorithme type de la méthode P&O.....	32
<b>Figure II-13</b> Relation entre PPV et le rapport cyclique D du convertisseur statique.....	33
<b>Figure II-14</b> Algorithme type de la commande Hill Climbing.....	34
<b>Figure II.15 :</b> Schéma de principe de la commande Hill Climbing.....	34
<b>Figure II-16 :</b> Organigramme de l'algorithme MPPT de l'incrémentale de la conductance.....	36

### Chapitre III

<b>Figure.III.1 :</b> principe de fonctionnement de suiveur.....	38
<b>Figure III.2 :</b> le module photovoltaïque.....	39
<b>Figure III-3 :</b> variation de l'éclairement.....	40
<b>Figure III-4 :</b> schéma de montage.....	41
<b>Figure III.5 :</b> caractéristique $I=f(V)$ .....	42
<b>Figure III.6 :</b> caractéristique $I=f(V)$ .....	43
<b>Figure III-7 :</b> caractéristique $I(V)$ pour différent valeur d'éclairement	45

(température).....	
<b>Figure III-8</b> : caractéristique $I=f(V)$ éclairement fixe et température variable.....	46
<b>Figure III-9</b> : caractéristique $I=f(V)$ température fixe et éclairement variable.....	46
<b>Figure III-10</b> : caractéristique $P=f(V)$ éclairement fixe et température variable....	47
<b>Figure III-11</b> : caractéristique $V=f(I)$ température fixe et l'éclairement variable...	47
<b>Figure III-12</b> : Schéma synoptique.....	48
<b>Figure III-13</b> : Photorésistance LDR .....	49
<b>Figure III-14</b> :Circuit équivalent du capteur LDR.....	49
<b>Figure III-15</b> : La carte Arduino Uno.....	51
<b>Figure III-16</b> : Cable USB type A/B (Arduino UNO).....	51
<b>Figure III-17</b> : Fils de pin d'Arduino.....	52
<b>Figure III-18</b> : Plaque d'essai.....	52
<b>Figure III-19</b> : Représentation du circuit intégré L298N à double pont en H.....	53
<b>Figure III-20</b> : module du circuit L298N.....	54
<b>Figure III-21</b> : Principe de fonctionnement du moteur à courant continu.....	54
<b>Figure III-22</b> : Moteur à courant continu utilisé dans ce projet (vérin).....	55
<b>Figure III-23</b> : Organigramme principal.....	56
<b>Figure III-24</b> : Interface du logiciel Arduino.....	57
<b>Figure III-25</b> : Montage du système sous Proteus.....	57
<b>Figure III-26</b> : Fonctionnement des capteurs embarqués.....	58
<b>Figure III-27</b> : le circuit réalisé.....	59
<b>Figure III-28</b> : le panneau solaire avec le suiveur.....	60

## Liste de tableaux

<b>Tableau I.1</b> Comparaison des trois principales technologies des cellules.....	14
<b>Tableau III.1</b> : caractéristique du module.....	39
<b>Tableau III.2</b> : Relevé pratique de la caractéristique $I=f(V)$ .....	41
<b>Tableau III.3</b> : Relevé pratique de la caractéristique $P=f(V)$ .....	42

## Sommaire

Introduction générale.....	1
<b>Chapitre I : System photovoltaïque</b>	
Introduction .....	3
I-1-Définition de l'énergie renouvelable.....	3
I -2Utilisations de l'énergie solaire.....	3
I-2-1 : Thermodynamique.....	4
I-2-1-1 : Définition et catégories.....	4
I-2-1-1-1 : Le principe de concentration.....	4
I-2-1-1-2 : Le fonctionnement des centrales solaires thermodynamiques.....	4
I-2-1-2Fonctionnement technique ou scientifique.....	5
I-2-1-2-1Les différents types de centrales .....	5
➤ Centrales à miroirs cylindro-paraboliques.....	5
➤ Centrales solaires à miroirs de Fresnel.....	5
➤ Centrales à tour.....	6
➤ Centrales à miroir parabolique Dish-Stirling.....	7
I-3-L'énergie solaire photovoltaïque.....	8
I-3-1 : Principe de fonctionnement.....	8
I-4-La cellule photovoltaïque .....	8
• Historique.....	8
I-4-1 Définition et principe.....	9
I-5- Module solaire photovoltaïque.....	12
I-5-1-Association des cellules en série.....	12
I-5-2-/ Diodes « by-pass ».....	13
I-5-3- Comparaison des trois principales technologies des cellules.....	14
I-6- panneaux photovoltaïques.....	15
I-6-1 -Caractéristiques électriques d'un panneau photovoltaïque.....	15
Caractéristiques $I=f(V)$ .....	15
I-6-2 Effet de la température .....	16
Caractéristiques $P=f(V)$ .....	16
I-7- Orientation d'un module solaire .....	17
I-7-1- L'angle d'inclinaison .....	18
I-7-2-Le rendement d'un panneau photovoltaïque.....	20

I-7-2-1- Puissance produite .....	20
I-8- Avantage et inconvénients du solaire photovoltaïque.....	21
I-8-1- Avantage .....	21
I-8-2 -Inconvénients .....	21
Conclusion.....	21
<b>Chapitre II :Technique de L'optimisation d'energier</b>	
Introduction.....	23
II-1- importance du suiveur solaire .....	23
II-2 Les premières utilisations .....	23
II-2-1 Les types des suiveurs solaires.....	25
II-3- Orientations des panneaux solaires.....	25
II-3-1Choix de l'orientation des modules.....	25
II-3-2 Choix de l'inclinaison des modules.....	25
II-3-3 Trajectoire apparent de soleille.....	25
III-4 – type d'orientation .....	26
Orientatino 1 axe .....	26
Orientation 2 axe .....	22
III-5- type de capteur.....	27
II-5-1- la photorésistance LDR.....	27
II-5-2- la photodiode.....	27
II-5-3- le phototransistor .....	27
II-6- la recherche du point de puissance maximale(MPPT) .....	28
II-6-1- Principe de la recherche du point de puissance maximale(MPPT) .....	28
II -7- Synthèse des différentes MPPT rencontrées dans la littérature.....	30
II-7-1 Les types conventionnels de commandes MPPT.....	30
a- Principe des commandes “Perturb and Observe” (P&O).....	30
b- Principe des commandes " Hill Climbing".....	32
c- Méthode d'incrémentation de la conductance.....	35
Conclusion .....	36
<b>Chapitre III : Realisation du system suiveur</b>	
Introduction.....	38
III-1 Gestion du projet .....	38
III-2. Organisation générale du suiveur.....	39
III-2-1- le panneau photovoltaïque .....	39

III-2-1-1. Caractéristique du module .....	39
III-2-1-2. Relevé des caractéristiques électriques des panneaux .....	40
• Mesure de l'éclairement .....	41
• Caractéristique $I=f(V)$ .....	42
• Caractéristique $P=f(V)$ .....	43
III-3- releve de la caractéristique $I=f(V)$ du module avec oscilloscope.....	45
III-4 caractéristique $I=f(V)$ du module avec PVSYS.....	46
III-5 caractéristique $P=f(V)$ du module avec PVSYS.....	47
III-3- Schéma synoptique de suiveur solaire .....	48
III-4 Etude des différents blocs.....	49
II-4-1 Les capteurs de lumière.....	49
III-4-2 Le circuit de commande .....	49
• Définition de la carte Arduino.....	49
• Arduino Uno.....	50
• câble USB.....	51
• Fils de pin d'Arduino.....	52
• La plaque d'essai.....	52
III-4-3 Circuit de puissance L298N.....	52
III-4-4 Les moteurs CC.....	54
III.5 Partie programmation.....	56
III-5-1 L'organigramme.....	56
III.5.2 Programmation.....	57
III-5 -3 Partie simulation.....	57
III-5-4: Partie électrique .....	58
Conclusion .....	60
Conclusion générale.....	61
Références Bibliographiques.....	62
Annex.....	64

## Introduction Générale

Les énergies renouvelables sont des énergies qui se renouvellent assez rapidement pour être considérées comme inépuisables à l'échelle humaine du temps.

L'énergie solaire est disponible, non polluante et gratuite. C'est pourquoi, elle est de plus en plus utilisée, comme alternative aux combustibles, dans la production d'électricité. L'Algérie possède l'un des gisements solaires les plus élevés au monde, avec une durée d'ensoleillement sur la totalité du territoire national pouvant atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de  $1\text{m}^2$  est de l'ordre de 5 kWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de  $1700\text{KWh}/\text{m}^2/\text{an}$  au Nord et  $2263\text{ kWh}/\text{m}^2/\text{an}$  au Sud du pays [1].

L'Algérie a réservé une multitude d'investissements dans la technologie photovoltaïque et ses applications à titre d'exemple le projet HASSI R'MEL. Ce dernier consiste à mettre à profit des concentrateurs solaires cylindro-parabolique muni des systèmes de poursuite solaire[2].

Les premières applications des suiveurs solaires remontent vers les années 1750 où le principe repose sur l'utilisation de l'héliostat. La rotation du miroir de l'héliostat est assurée par un mécanisme d'horlogerie dont la plus ancienne mention du système se trouve dans des publications datant de 1742 du physicien néerlandais Willem Jacob 's Gravesande [2].

Dans ce contexte, notre motivation dans ce travail développé en chapitres est de construire un instrument permet d'optimiser l'énergie fournie par les panneaux photovoltaïques dans le but de maximiser la quantité d'éclairement absorbé par les panneaux photovoltaïques en suivant le mouvement du soleil pendant la journée.

Afin d'aboutir au but, on a organisé notre mémoire de la manière suivante :

- Le premier chapitre Nous avons parlé de system photovoltaïque (énergies renouvelables en générale et détaille le énergie solaire photovoltaïque).

Le second chapitre porte sur le suiveur solaire et la recherche du point de puissance maximale(MPPT)

- Le troisième chapitre sera consacré à la réalisation du système de suiveur

Enfin, on finalise notre travail par une conclusion générale

**Chapitre I :**  
*System photovoltaïque*

## **Introduction**

L'énergie est une base essentielle pour le développement social et économique. Les États doivent garantir aux populations de leur pays une fourniture d'énergie en quantité suffisante tout en assurant la durabilité de cet approvisionnement, c'est-à-dire avec des coûts miniums et des effets réduits sur l'environnement. L'approvisionnement énergétique représente un déficit permanent pour nos sociétés, d'autant plus que le besoin des États africains ne cesse d'augmenter. Les stratégies appliquées jusqu'ici doivent être révisées.

Toutes les énergies utilisées par l'homme proviennent de l'une des sources suivantes :

- l'énergie rayonnante émise par le Soleil (énergie solaire), principalement sous deux formes :
  - l'énergie solaire directe
  - l'énergie solaire capturée sous la forme de combustibles biomasse ou fossiles
- l'énergie géothermique de l'intérieur de la Terre
- l'énergie des marées provenant de l'attraction de la lune
- l'énergie nucléaire. La forme prédominante est l'énergie solaire. Elle est mille fois plus importante que toutes les autres et inépuisable tant que le Soleil brillera (des estimations projettent 4,9 millions d'années).[3]

### **I-1-Définition de l'énergie renouvelable**

Les énergies sont dites "renouvelables" tant qu'elles dépendent du système écologique de la Terre, de l'insolation et de l'énergie géothermique de la Terre. En pratique, les sources énergétiques renouvelables font allusion à :

- la puissance hydraulique ;
- l'énergie biomasse
- l'énergie solaire
- l'énergie éolienne
- l'énergie géothermique
- l'énergie de la mer.

### **I -2Utilisations de l'énergie solaire**

En plus des utilisations ci-dessus, il est possible de transformer l'énergie solaire en énergie électrique. Il existe trois principales techniques.

**I-2-1 : Thermodynamique****I-2-1-1 : Définition et catégories**

Un système solaire à concentration thermodynamique exploite le rayonnement du Soleil en orientant, au moyen de miroirs, les flux de photons. Ce système thermique concentré permet d'atteindre des niveaux de température bien supérieurs à ceux des systèmes thermiques classiques non concentrés.

Alors que les chauffe-eau domestiques produisent une eau à une cinquantaine de degrés, il est possible, par la concentration, de chauffer des fluides à des températures de l'ordre de 250 à 1 000°C. Il devient alors envisageable de les utiliser dans des processus industriels comme la génération d'électricité (on parle parfois « d'électricité solaire thermodynamique »). D'autres utilisations directes ou indirectes des fluides chauds sont possibles comme le dessalement de l'eau de mer, le refroidissement ou encore la génération d'hydrogène [19]

**I-2-1-1-1 : Le principe de concentration**

Le principe de la concentration de l'irradiation solaire est connu depuis l'Antiquité, comme l'illustre le mythe des « miroirs ardents » d'Archimède. Le plus souvent grâce à des miroirs réfléchissants ou des loupes, un système à concentration réoriente le rayonnement solaire collecté par une surface donnée sur une cible de dimension plus réduite : le démarrage d'un feu de feuilles mortes avec une loupe utilise ce principe.

**I-2-1-1-2 : Le fonctionnement des centrales solaires thermodynamiques**

Les centrales solaires thermodynamiques utilisent une grande quantité de miroirs qui font converger les rayons solaires vers un fluide caloporteur chauffé à haute température. Pour ce faire, les miroirs réfléchissants doivent suivre le mouvement du soleil afin de capter et de concentrer les rayonnements tout au long du cycle solaire quotidien. Le fluide produit de l'électricité par le biais de turbines à vapeur ou à gaz. Il existe quatre grands types de centrales solaires thermodynamiques : les centrales à miroirs cylindro-paraboliques et leur variante à miroirs de Fresnel<sup>(1)</sup>, les centrales à tour et enfin les concentrateurs paraboliques Dish-Stirling.

### I-2-1-2 Fonctionnement technique ou scientifique

Le rayonnement solaire est concentré sur un ou plusieurs tube(s) absorbeur(s) installé(s) le long de la ligne focale des miroirs. Ce tube contient un fluide caloporteur porté à une température de l'ordre de 250 à 500°C.

#### I-2-1-2-1 Les différents types de centrales

##### ➤ Centrales à miroirs cylindro-paraboliques:

C'est la technologie la plus répandue aujourd'hui. Le foyer d'une parabole est un point, celui d'un miroir cylindro-parabolique est un axe, sur lequel est placé un tube absorbeur (le récepteur) de couleur noire, pour capter un maximum de rayonnement. Dans ce tube circule le fluide caloporteur, qui se réchauffe jusqu'à une température d'environ 500°C et qui es

En suite centralisé et transporté jusqu'au bloc de génération électrique. L'ensemble miroir cylindro-parabolique/récepteur suit le mouvement du Soleil.



**Figure I-1:** Centrales à miroirs cylindro-paraboliques

##### ➤ Centrales solaires à miroirs de Fresnel:

Plutôt que de courber les miroirs (processus industriel coûteux), les miroirs de Fresnel « miment » la forme cylindro-parabolique avec des miroirs très légèrement incurvés, et placés à un même niveau horizontal. Seuls les miroirs bougent, la structure et le tube absorbant sont tous deux stationnaires. Les coûts des centrales solaires à miroirs de Fresnel sont donc

inférieurs à ceux des centrales à miroirs cylindro-paraboliques tant à l'installation qu'à la maintenance. La focalisation est toutefois dégradée dans ce système (puisque la parabole n'est pas parfaite) : le pari est donc que la baisse de coût « compense » la dégradation de l'efficacité d'un point de vue économique. Ce type de système est encore relativement peu répandu.



**Figure I-2:** Centrales solaires à miroirs de Fresnel

➤ **Centrales à tour:**

Des centaines de miroirs suivant la course du soleil (les « héliostats ») réfléchissent et concentrent le rayonnement solaire sur un récepteur central situé au sommet d'une tour, dans lequel circule le fluide caloporteur. Comme dans les systèmes cylindro-paraboliques, la chaleur du fluide est alors transférée à un cycle classique à vapeur pour générer de l'électricité. Par rapport à un système cylindro-parabolique, la tour solaire offre l'avantage de ne pas avoir à faire circuler de fluide dans l'ensemble du champ de miroirs : les pertes thermiques sont donc significativement réduites. Par ailleurs, le niveau de concentration de l'irradiation peut être bien supérieur et l'efficacité du cycle thermodynamique s'en trouve augmentée.

Il reste que ces gains techniques doivent aussi se traduire par un gain technico-économique, limité par le coût de construction de la tour.

Exemples : Crescent Dunes au Nevada (110 MW), Solar Tres en Espagne (19,9 MW), projet PEGASE sur le centre français de Thémis (Pyrénées-Orientales).



**Figure I-3:** Tour solaire à concentration

➤ **Centrales à miroir parabolique Dish-Stirling:**

Une parabole concentre le rayonnement sur un foyer en son point focal afin d'actionner un moteur dit « Dish-Stirling ». Une fois chauffé dans un circuit fermé, le gaz qu'il contient actionne un piston qui récupère l'énergie mécanique produite. Cette technologie n'est pas adaptée à une production industrielle de masse du fait de son coût élevé, d'où le retard de son développement. Cependant, c'est la seule technologie thermodynamique qui puisse être mise en œuvre dans des sites isolés de petite taille.[19]



**Figure I-4:** Centrales à miroir parabolique Dish-Stirling

### I -3-L'énergie solaire photovoltaïque

On distingue trois grands types d'applications susceptibles d'être alimentées par l'énergie photovoltaïque, à savoir :

- ❖ les systèmes de production autonomes pour l'alimentation de sites ou d'équipements isolés et non raccordés au réseau électrique,
- ❖ les systèmes de pompage pour l'adduction d'eau,
- ❖ les systèmes de production raccordés au réseau de distribution de l'électricité.

Dans la seconde partie de ce guide, nous n'aborderons que les installations photovoltaïques raccordées au réseau de distributions [4]

#### I-3-1 : Principe de fonctionnement

Les modules photovoltaïques produisent de l'électricité à partir de l'ensoleillement (les photons de la lumière du soleil), il ne faut donc pas les confondre avec les panneaux solaires thermiques qui produisent de la chaleur transmise par un fluide caloporteur.

Actuellement, il existe essentiellement deux technologies en photovoltaïque : le silicium mono ou poly cristallin (technologie dite de première génération) et le silicium amorphe.

D'autres technologies sont en phase de début de commercialisation ou de recherche : silicium cristallin couche mince, Cuivre-Indium-Sélénium - CIS, Tellurure de Cadmium - CdTe (technologies dites de deuxième génération, avec le silicium amorphe) et cellules organiques, cellules de Grätzel et cellule multi-jonction (technologies dites de troisième génération).

Découverte il y a presque 200 ans, cette technologie utilise des cellules de silicium. Sous l'action des photons, ces cellules créent un déplacement d'électrons, qui n'est autre que le courant électrique. Son rendement est assez mauvais : ~12% de la lumière arrivant sur la cellule photovoltaïque est transformé en électricité.

#### I -4-La cellule photovoltaïque

- **Historique**

Quelques dates importantes dans l'histoire du photovoltaïque :

- **1839** : Le physicien français Edmond Becquerel découvre le processus de l'utilisation de l'ensoleillement pour produire du courant électrique dans un matériau solide. C'est l'effet photovoltaïque.
- **1875** : Werner Von Siemens expose devant l'Académie des Sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs. Mais jusqu'à la Seconde Guerre Mondiale, le phénomène reste encore une curiosité de laboratoire.
- 1954 : Trois chercheurs américains, Chapin, Pearson et Prince, mettent au point

une cellule photovoltaïque à haut rendement au moment où l'industrie spatiale naissante cherche des solutions nouvelles pour alimenter ses satellites.

- **1958** : Une cellule avec un rendement de 9 % est mise au point. Les premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace.
- **1973** : La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'Université de Delaware.
- **1983** : La première voiture alimentée par énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4 000 km en Australie.

La première cellule photovoltaïque (ou photopile) a été développée aux États-Unis en 1954 par les chercheurs des laboratoires Bell, qui ont découvert que la photosensibilité du silicium pouvait être augmentée en ajoutant des "impuretés". C'est une technique appelée le "dopage" qui est utilisée pour tous les semi-conducteurs. Mais en dépit de l'intérêt des scientifiques au cours des années, ce n'est que lors de la course vers l'espace que les cellules ont quitté les laboratoires. En effet, les photopiles représentent la solution idéale pour satisfaire les besoins en électricité à bord des satellites, ainsi que dans tout site isolé.[5]

### I-4-1 Définition et principe

La cellule photovoltaïque est le composant électronique à la base des installations produisant l'énergie électrique à partir du rayonnement solaire. Elle fonctionne selon le principe de l'effet photoélectrique. Plusieurs cellules sont reliées entre elles pour former ce qu'on appelle un module solaire photovoltaïque, par la suite, plusieurs modules sont regroupés pour former une installation ou même une centrale solaire photovoltaïque



**Figure I-5:** cellule photovoltaïque

La conversion directe de l'énergie solaire en électricité se fait par l'intermédiaire d'un matériau semi-conducteur -généralement le silicium que l'on trouve en abondance sur Terre (extrait de

la silice compris dans le sable). Lorsque les photons sont absorbés par un matériau semi-conducteur, ils cèdent toute leur énergie aux atomes appartenant à la jonction **PN**, ceci donne naissance à plusieurs paires électrons/trous. Le nombre de paires e/t formées dépend de l'énergie des photons incidents et du matériau utilisé.

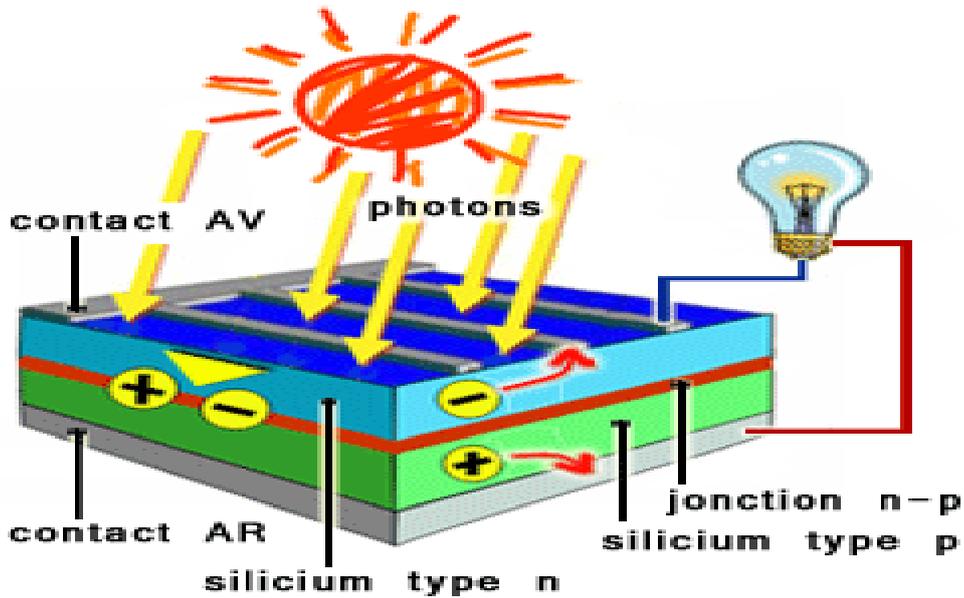


Figure I-6 : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est généralement représentée par le modèle électrique de la figure (I.7). Il est constitué d'une source de courant, **I<sub>ph</sub>**, qui dépend de la radiation solaire et de la température, d'une diode en parallèle qui représente la jonction **PN** dont l'intensité de saturation inverse dépend aussi de la température, une résistance en série **R<sub>s</sub>** due aux contacts entre les semi-conducteurs et les parties métalliques permettant d'utiliser la cellule. La résistance shunt représente l'effet du courant qui traverse le cristal. [4]

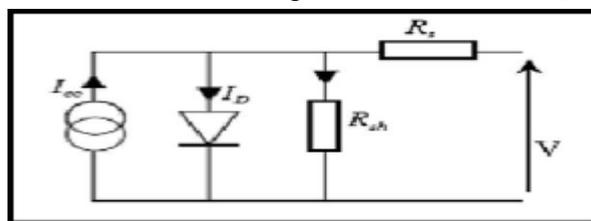


Figure I-7: Circuit équivalent de la cellule photovoltaïque

A partir de ce circuit on peut tirer les équations suivantes :

$$I = I_{ph} - I_d - I_p \tag{I.1}$$

avec :

$$I_p = \frac{V_d}{R_p} = \frac{V + I.R_s}{R_p} \quad \text{courant traversant la résistance shunt}$$

$$I_d = I_s \left( \exp\left(\frac{V + I.R_s}{n.V_t}\right) - 1 \right) \quad \text{courant traversant la diode}$$

$$\text{L'équation (I.1) devient : } I = I_{ph} - I_s \left( \exp\left(\frac{V + I.R_s}{n.V_t}\right) - 1 \right) - \frac{V + I.R_s}{R_p} \quad (\text{I.2})$$

$$\text{Avec : } V_t = \frac{kT}{q}$$

$$I_s = I_0 \left( \frac{T}{T_0} \right)^{3/2} \exp \left[ \left( \frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T} \right) \frac{E_g}{nV_t} \right] \quad (\text{I.3})$$

$$I_{ph} = (I_{cc} + k_i \cdot \Delta T) \cdot \frac{G}{G_{ref}} \quad (\text{I.4})$$

$$\text{et } \Delta T = T - T_{ref} \quad (\text{I-5})$$

## I-5- Module solaire photovoltaïque

### I-5-1-Association des cellules en série

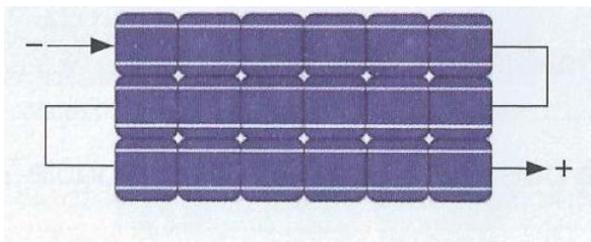
Les caractéristiques électriques d'une seule cellule sont généralement insuffisantes pour alimenter les équipements électriques. Il faut associer les cellules en série pour obtenir une tension plus importante : le module solaire ou panneau photovoltaïque.

Un panneau photovoltaïque est un assemblage en série de cellules permettant d'obtenir une tension de 12 volts.

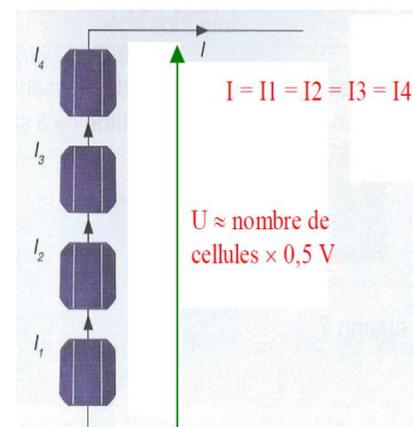
La puissance d'un panneau solaire est fonction de sa surface, c'est à dire du nombre de cellules photovoltaïques.

Un panneau constitué de 24 cellules photovoltaïques va donc délivrer une tension  $U$  de 12 V, et cela quel que soit l'ensoleillement.

Mais pour faire fonctionner des appareils électriques, c'est l'intensité  $I$  du panneau, variant en fonction de l'ensoleillement, qui va déterminer l'énergie électrique.



**Exemple :** 6 cellules placées sur 3 rangées constituent un module solaire de 18 cellules en série. La tension fournie par ce module est de  $18 \times 0,5 = 9$  V.



### I-5-2-/ Diodes « by-pass »

La mise en série des cellules peut être dangereuse lorsque l'une d'entre elles se retrouve à l'ombre. Elle va s'échauffer et risque de se détruire.

En effet, une cellule "masquée" voit l'intensité qui la traverse diminuer. De ce fait, elle bloque la circulation de l'intensité "normale" produite par les autres modules. La tension aux bornes de cette cellule "masquée" augmente, d'où apparition d'une surchauffe.

C'est l'effet d'autopolarisation inverse. Une telle cellule est appelée "Hot spot".

Pour supprimer ce problème et protéger la cellule « masquée », on place des diodes « bypass » en antiparallèles sur 18 ou 24 cellules de façon à court-circuiter les cellules ombrées.

Un panneau solaire dispose d'une à trois diodes by-pass, en fonction de son nombre de cellules (en moyenne 36 cellules pour 3 diodes bypass). En cas de masque :

- 1 diode : 100 % du module est en by-pass,
- 2 diodes : 50 % du module est en by-pass,
- 3 diodes : 33 % du module est en by-pas

I-5-3- Comparaison des trois principales technologies des cellules

Technologie	Monocristallin	Polychristallin	Amorphe
Cellule et module			
Caractéristiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Très bon rendement : <b>14 à 20 %.</b></li> <li>• Durée de vie : <b>importante (30 ans)</b></li> <li>• Coût de fabrication : <b>élevé.</b></li> <li>• Puissance : <b>100 à 150 Wc/m<sup>2</sup>.</b> 7 m<sup>2</sup>/kWc.</li> <li>• Rendement faible sous un faible éclairement.</li> <li>• perte de rendement avec l'élévation de la température.</li> <li>• Fabrication : élaborés à partir d'un bloc de silicium fondu qui s'est solidifié en formant un seul cristal</li> <li>• Couleur <b>bleue</b> uniforme.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bon rendement : <b>11 à 15 %.</b></li> <li>• Durée de vie : <b>importante (30 ans)</b></li> <li>• Coût de fabrication : <b>meilleur marché que les panneaux monocristallins</b></li> <li>• Puissance : <b>100 Wc/m<sup>2</sup>.</b> 8 m<sup>2</sup>/kWc.</li> <li>• Rendement faible sous un faible éclairement.</li> <li>• perte de rendement avec l'élévation de la température.</li> <li>• Fabrication : élaborés à partir de silicium de qualité électronique qui en se refroidissant forme plusieurs cristaux.</li> <li>• Ces cellules sont bleues, mais non uniforme : on distingue des motifs créés par les différents cristaux.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rendement faible : <b>5 à 9 %.</b></li> <li>• Durée de vie : <b>assez importante (20 ans)</b></li> <li>• Coût de fabrication : <b>peu onéreux par rapport aux autres technologies</b></li> <li>• Puissance : <b>50 Wc/m<sup>2</sup>.</b> 16 m<sup>2</sup>/kWc.</li> <li>• Fonctionnement correct avec un éclairage faible.</li> <li>• Peu sensible aux températures élevées.</li> <li>• Utilisables en panneaux souples.</li> <li>• Surface de panneaux plus importante que pour les autres panneaux au silicium.</li> <li>• Rendement faible en plein soleil.</li> <li>• Performances diminuant avec le temps.</li> <li>• Fabrication : couches très minces de silicium qui sont appliquées sur du verre, du plastique souple ou du métal, par un procédé de vaporisation sous vide.</li> </ul>
Part de marché	43 %	47 %	10 %

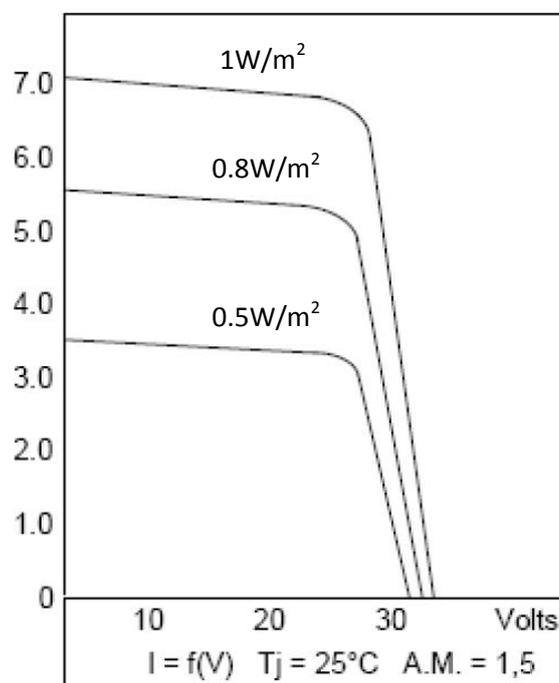
Tableau I.1 Comparaison des trois principales technologies des cellules

**I-6- panneau photovoltaïques**

Panneau photovoltaïques est qui fonctionne comme un générateur électrique de courant continu constitué d'un ensemble de cellules photovoltaïques reliées entre elles électriquement, qui sert de module de base pour les installations photovoltaïques et notamment les centrales solaires photovoltaïques.

**I-6-1 -Caractéristiques électriques d'un panneau photovoltaïque****Caractéristiques  $I=f(V)$** 

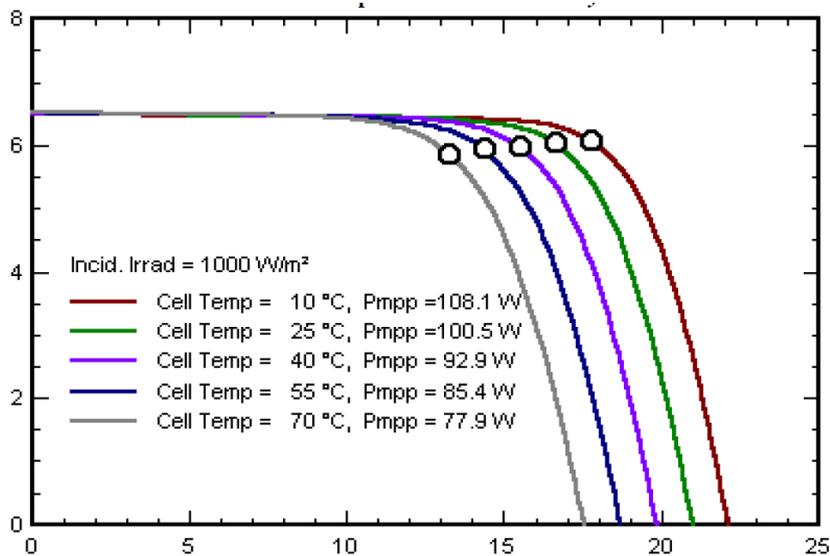
Réseau de caractéristique  $I=f(U)$  suivant un éclairement variable (pour un température de jonction de  $25^{\circ}\text{C}$  et une répartition spectrale du rayonnement dit AM 1,5



**Figure I-8 :** Caractéristiques  $I=f(V)$  d'un panneau photovoltaïque

### I-6-2 Effet de la température :

La température du module a une forte influence sur la tension à vide du module. Plus la température du module augmente, plus la tension à vide  $V_{oc}$  diminue. Par contre, la température du module influence très peu le courant de court-circuit  $I_{cc}$

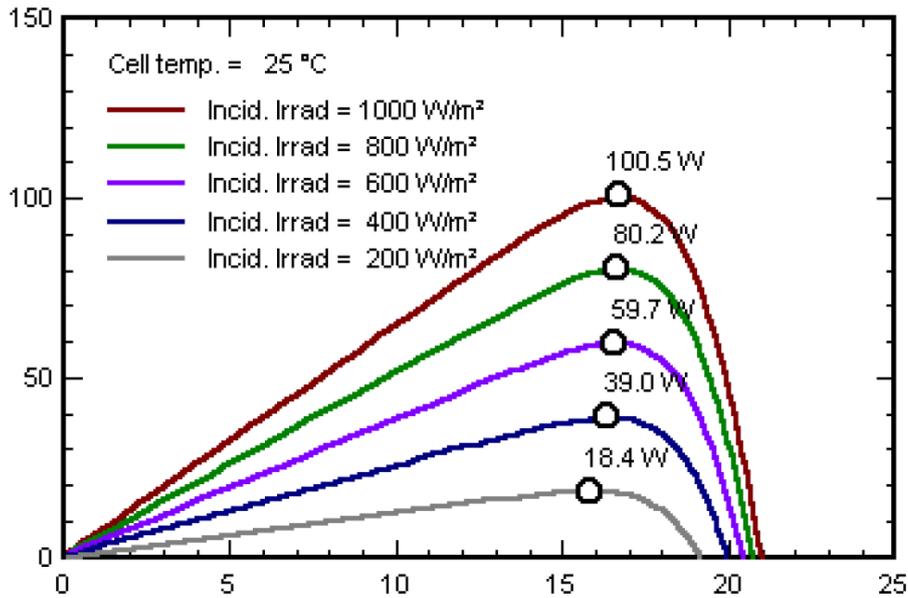


**Figure I-9 :** Caractéristiques courant – tension  $I=f(V)$  d'un panneau PV à éclairement constant en fonction de la température – Source Ecosystèmes

- *Caractéristiques  $P=f(V)$*

La puissance crête d'une cellule PV, notée  $W_c$  (Watt crête) ou  $W_p$  (Watt peak), représente la puissance électrique maximum délivrée dans les conditions suivantes dites conditions standard :

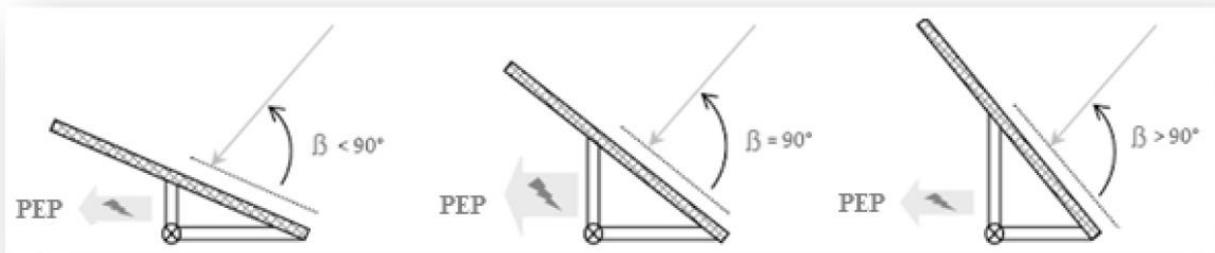
- éclairement solaire de 1W/m<sup>2</sup>;
- température de la cellule PV égale à + 25 °C



**Figure I-10 :** Courbes de puissance en fonction de la tension aux bornes d'un panneau PV Source Ecosystèmes

### I-7- Orientation d'un module solaire

Comme mentionné auparavant, l'énergie fournie par le panneau **PV** dépend fortement de la quantité d'éclairement solaire absorbée par ce dernier. Cette quantité dépend de l'orientation du panneau par rapport au soleil. Pour collecter le maximum d'énergie, le panneau **PV** doit être constamment orienté perpendiculairement aux rayons



**Figure I-11:** Dépendance des performances d'un panneau PV de l'angle  $\beta$ .

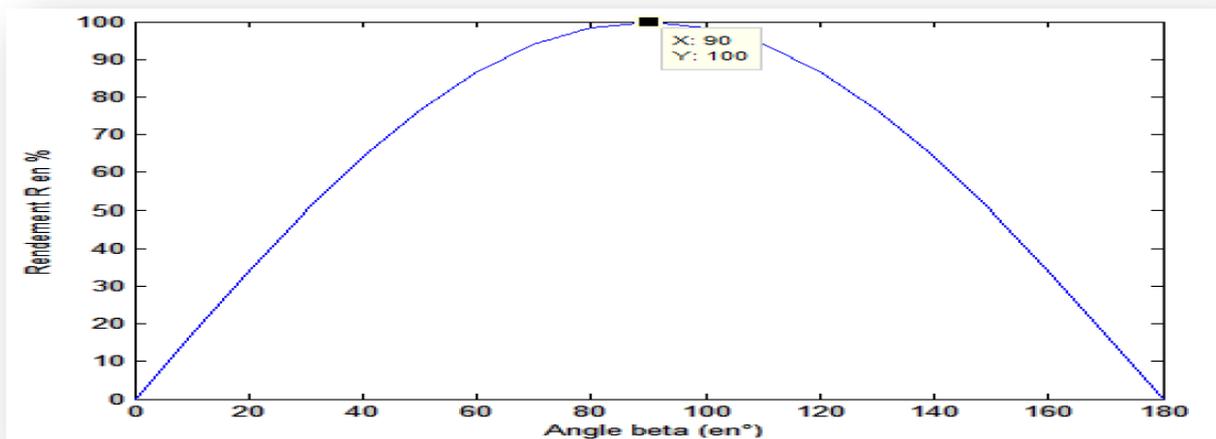
**PEP:** puissance électrique produite par le panneau PV

Avec :  $\beta$  l'angle formé entre le plan du panneau et les rayons lumineux incidents, l'angle optimal correspond à un angle de  $90^\circ$  comme indiqué dans la **figure I.12**.

Chaque fois que cet angle diminue ou augmente, la surface (m<sup>2</sup>) du panneau exposée aux rayons diminue et donc en partant de la puissance produite, le rendement diminue aussi, d'où l'importance de l'orientation des panneaux par rapport à la position du Soleil. [4]

Le rendement en puissance solaire exploitée peut être calculé à l'aide de l'équation suivante :

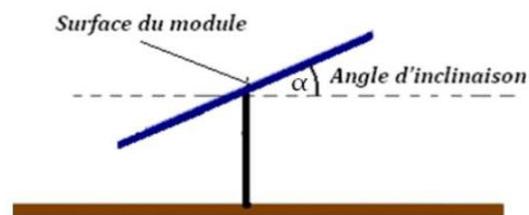
$$R = \sin(\beta) \times 100 \quad (\text{I-6})$$



**Figure I-12 :** Rendement en puissance solaire exploitée en fonction de l'angle  $\beta$  des rayons

### I-7-1- L'angle d'inclinaison

L'angle d'inclinaison correspond à l'angle formé par le plan du module solaire par rapport à l'horizontale.



**Figure I-13 :** Angle d'inclinaison des modules photovoltaïques

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

$$\alpha = L - \sin^{-1}\left(0.4 \times \left(\frac{N \times 360}{365}\right)\right) \quad (\text{I-7})$$

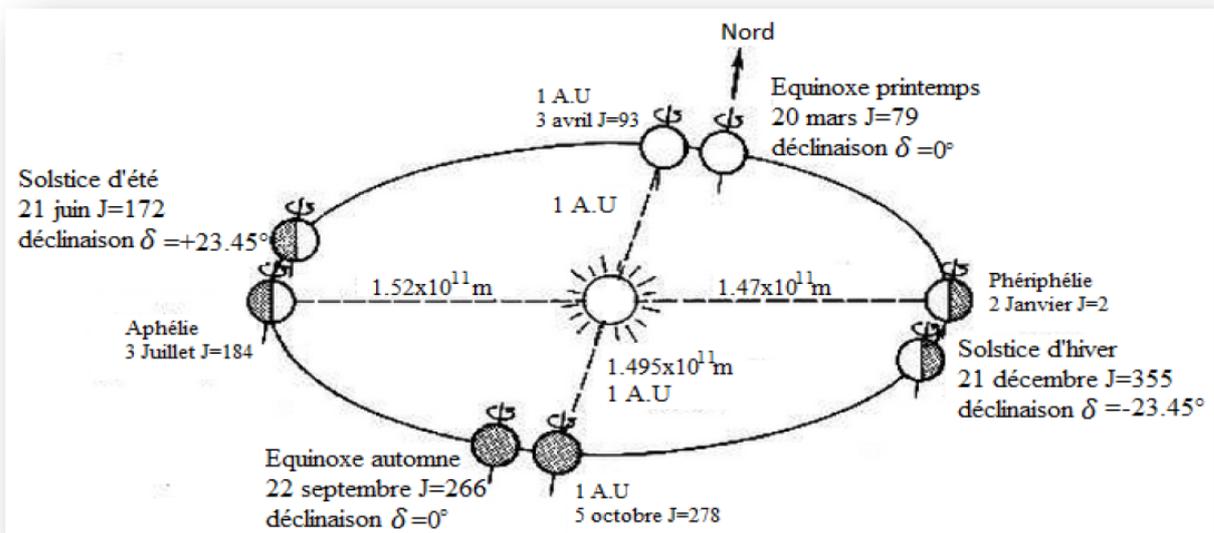
Avec  $L$  latitude du lieu  $N$  nombre de jour entre l'équinoxe de printemps (21 mars de chaque année) et le jour considéré. Cette relation permettant un rendement supérieur n'est valable que lorsque le module solaire en question est muni d'un système qui lui permet de s'incliner. Or on ne trouve ce système que très rarement.

En effet, l'évolution de la trajectoire du soleil varie selon les saisons (l'inclinaison de la terre varie), l'angle d'inclinaison est plus réduit en été et plus important en hiver.

**Note :** Aux équinoxes du 21 mars et du 21 septembre, le soleil est perpendiculaire à l'Equateur.

Au solstice d'été du 21 juin, il est perpendiculaire au tropique du Cancer (hémisphère nord).

Au solstice d'hiver du 21 décembre, il est perpendiculaire au tropique du Capricorne (hémisphère sud) [4]



**Figure I-14 :** Représentation des équinoxes et solstices et l'inclinaison de l'axe de rotation

De la terre par rapport à son plan de translation autour du soleil. Cependant si l'on désire maximiser la puissance générée par un panneau PV et avoir un rendement optimal, il faut tenir compte de tous ces paramètres et contraintes liées à l'orientation du module ainsi que la position du soleil. Ceci peut être assurée par un système de poursuite solaire (suiveur soleil ou encore dit tracker solaire (appellation courante)) permettant de suivre le soleil tout au long de la journée. Pour cela, la structure possède deux degrés de liberté : une rotation horizontale pour régler l'azimut et une rotation verticale pour l'inclinaison. Ce système permet ainsi, aux

panneaux photovoltaïques de suivre continuellement et en temps réel la trajectoire du soleil pour assurer une production électrique maximale, d'où la nécessité de définir avec exactitude les trajectoires empruntées par le soleil, de manière à définir la meilleure façon avec laquelle sera effectué le suivi automatique

### I-7-2-Le rendement d'un panneau photovoltaïque

#### I-7-2-1- Puissance produite

Le rendement d'un panneau solaire photovoltaïque dépend des technologies utilisées lors de sa fabrication. Il existe plusieurs types dont les plus connus sont les panneaux PV à base de cellules en silicium poly cristallin, silicium monocristallin, silicium amorphe, les cellules multi-jonctions, etc. Chacune de ces technologies présente des avantages et des inconvénients. En particulier, le rendement, qui est généralement le critère de choix, dépend des conditions climatiques du lieu d'installation (dans les régions caractérisées par des températures élevées, les systèmes au silicium amorphe sont préférés à ceux au mono ou poly cristallin [7])

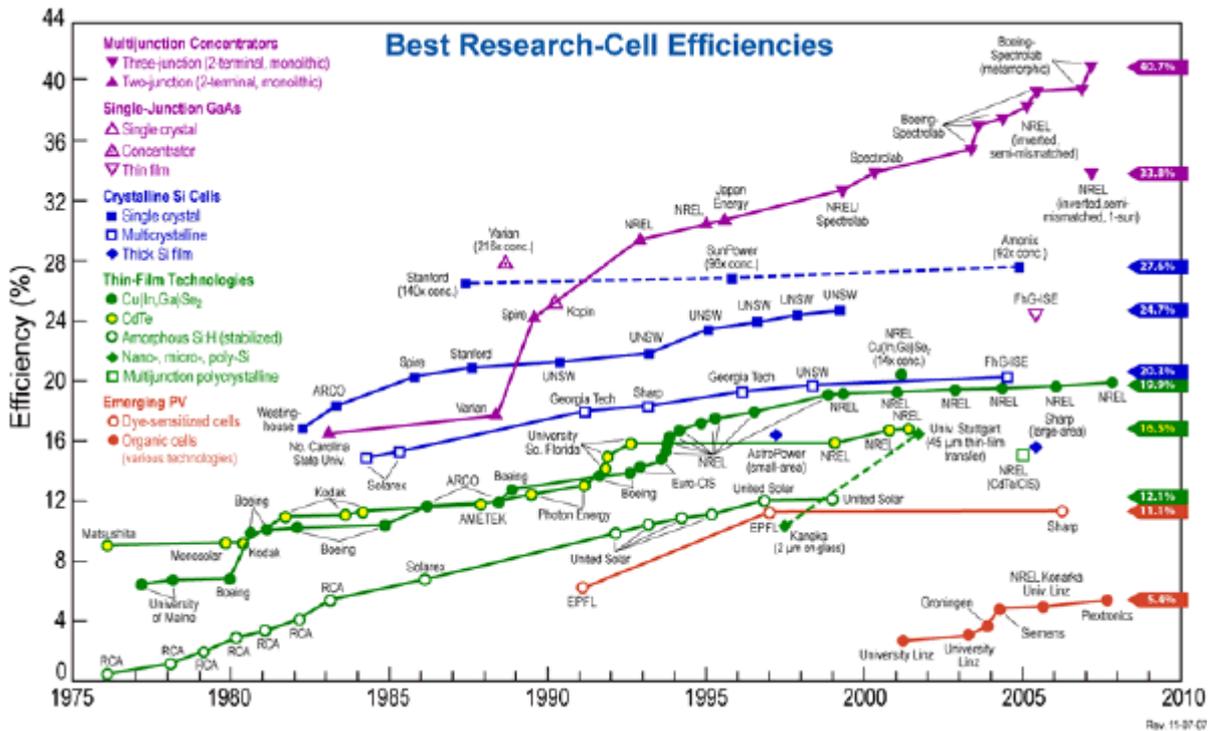


Figure I-15 : Rendement pour différents types de technologies au cours des années (NREL)

Pour un panneau PV, le rendement, R exprimé en pourcent (%), est défini par le rapport de la puissance électrique produite par le panneau PV (PEP) à la puissance solaire reçue (PSR)

$$R = \frac{PEP}{PSR} \tag{I.5}$$

**I-8- Avantage et inconvénients du solaire photovoltaïque :****I-8-1- Avantage :**

- ressource gratuite et énorme potentiel réparti sur la terre
- moyen décentralisé de production, autonomie
- grande fiabilité et peu d'entretien (pas de pièces mobiles)
- pas de pollution durant l'utilisation
- grande souplesse de production, du milliwatt au mégawatt

**I-8-2 -Inconvénients :**

- investissement élevé , nécessité d'aides , dépendance aux décisions politiques
- disponibilité intermittente (réseau électrique ou stockage ou énergie d'appoint )
- source diffuse , grande surface de capteur , difficulté d'intégration bâti /paysagères
- technologie de fabrication poussée , énergivore, utilisation de produits chimiques
- difficulté à recycler des composants qui doivent résister plus de 20 ans aux intempéries

**Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons présenté le principe de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique par les cellules photovoltaïques. L'étude du rayonnement solaire s'avère nécessaire pour le choix du meilleur site en vue d'une installation d'un système de captation solaire. Le rayonnement reçu par un capteur solaire dépend également du niveau d'ensoleillement du site considéré et de son orientation par rapport au soleil. Un capteur solaire fixe reçoit le maximum d'énergie lorsqu'il est orienté vers le sud et est incliné selon un angle pratiquement égal à la latitude du lieu. Pour que le rayonnement solaire soit perpendiculaire au panneau solaire, et afin d'optimiser tout le système de captation, il est nécessaire de recourir à la technique de poursuite du soleil. Ainsi on propose dans notre étude de réalisation un système de poursuite solaire "solar tracker" auquel on va ajouter un circuit de maximisation de puissance MPPT (si le temps le permet) pour au maximum l'énergie produite par notre source PV.

# **Chapitre II :**

## ***Les Techniques d'optimisation d'energie***

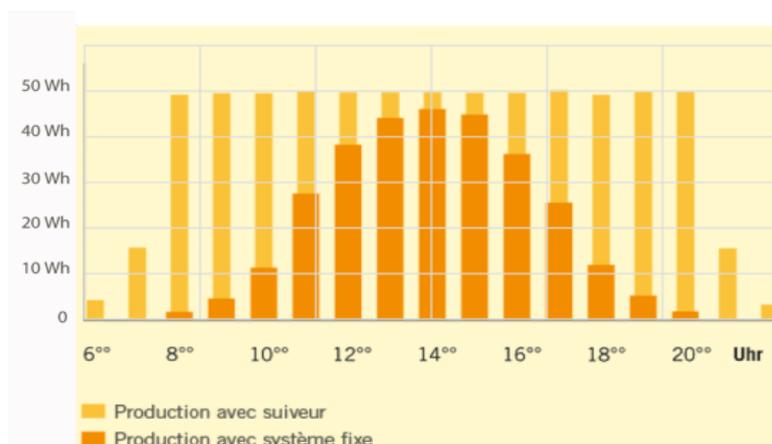
## Introduction

La puissance électrique produite par un panneau photovoltaïque dépend fortement de l'ensoleillement et à un degré moins important de la température des cellules. Ces deux variables influençant sur le comportement du système et présentent des fluctuations quotidiennes et saisonnières. Pour ces raisons, le panneau photovoltaïque ne peut fournir une puissance maximale que pour une tension particulière et un courant bien déterminé ; ce fonctionnement à puissance maximale dépend de la charge à ses bornes. A cet effet et en fonction du type de cette charge, un dispositif de contrôle devra être intégré dans le circuit de commande du convertisseur. Ce dernier doit être capable de faire fonctionner le panneau photovoltaïque à sa puissance maximale. La méthode de suivi ou "Tracking" connue sous le nom **MPPT** (Maximum Power Point Tracking) est basée sur l'utilisation d'un algorithme de recherche du maximum de la courbe de puissance du panneau photovoltaïque.

Afin de collecter le maximum d'énergie, on utilise aussi des dispositifs dits systèmes de poursuite solaire . Le système de poursuite solaire doit être ajusté de sorte que la source **PV** soit toujours visé avec précision face au soleil [12]

### II-1- importance du suiveur solaire :

Le soleil se déplace au cours de la journée et suivant les saisons. Le panneau solaire, en revanche, se trouve généralement en position fixe, ce qui entraîne des pertes énergétiques précieuses. Une installation fixe, orientée, dans le cas idéal, vers le sud délivre une puissance qui croît très lentement tôt le matin et diminue fortement l'après-midi. [13]

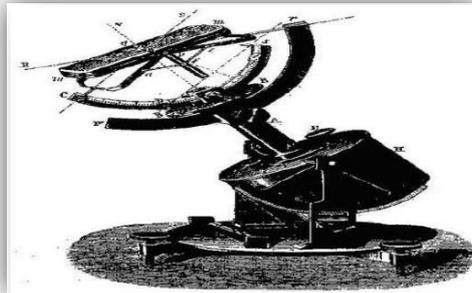


**Figure II-1:**diagramme de comparaison entre la production avec suiveur et la production avec système fixe.[13]

Le rôle mécanisme de poursuite est d'adapter la position du capteur de manière à ce que la radiation solaire incidente soit toujours perpendiculaire au réflecteur pour capter le maximum de rayon incident

## II-2 Les premières utilisations

Les premières applications des suiveurs solaires remontent vers les années 1750 où le principe repose sur l'utilisation de l'héliostat (figure (II-2)). La rotation du miroir de l'héliostat est assurée par un mécanisme d'horlogerie dont la plus ancienne mention du système se trouve dans des publications datant de 1742 du physicien néerlandais Willem Jacob 's Gravesande. Un champ d'héliostats repère le mouvement du soleil en convergeant les rayons lumineux vers un même point, concentrant ainsi la lumière incidente en employant des miroirs de réflexion, tout au long de la journée. Ce dernier se rencontre dans diverses installations utilisant l'énergie solaire, notamment les centrales solaires à concentration appelées champs d'héliostats. Un exemple en France de la centrale solaire Thémis qui après avoir fonctionné de 1983 à 1986, fait l'objet d'une nouvelle expérimentation depuis 2007 [14]



**Figure II-2 :** Modèle d'un héliostat dans ses premières applications



**Figure II-3:** Champ d'héliostat -centrale solaire Thémis France

### II-2-1 Les types des suiveurs solaires :

On distingue principalement deux grandes familles de suiveurs solaires: les passifs et les actifs qui comportent les suiveurs mono-axe et double axe. (Figure (II-4)).

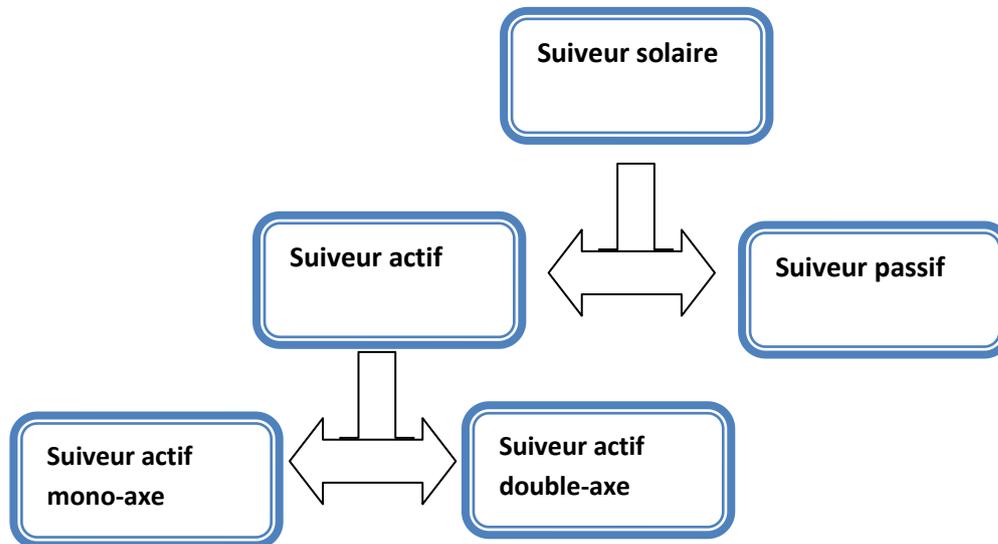


Figure II-4 : Types de suiveurs solaires

## II-3- Orientations des panneaux solaires

### II-3-1 Choix de l'orientation des modules

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

### II-3-2 Choix de l'inclinaison des modules

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

### II-3-3 Trajectoire apparent de soleil

Une part importante de l'énergie récupérable est ainsi perdue. Si l'installation s'oriente constamment en direction du soleil, elle génère un maximum d'électricité. Une installation fixe de 1 kW et orientée de façon optimale, produit par jour d'ensoleillement, environ 5 kWh d'électricité solaire. La même installation de 1 kW avec « suiveur » fournit en revanche jusqu'à 10 kWh par jour. Le rendement des panneaux solaires dépend ainsi de leur orientation.

L'angle d'incidence des rayons du soleil détermine le rendement du panneau solaire. L'angle d'incidence  $\theta$  [13]

Optimal est de  $90^\circ$ . Le rendement du panneau solaire est défini selon l'équation suivante :

$$R = 100 \cdot \sin \theta \quad \theta : \text{Angle d'incidence en degrés} \quad R : \text{Rendement en \%}$$

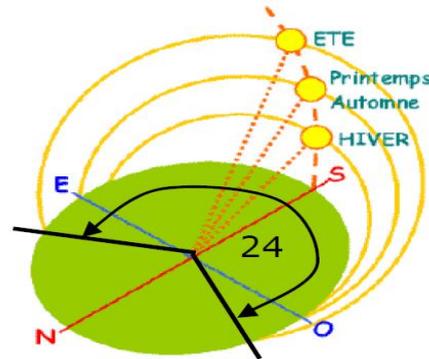


Figure II-5 : définition de la position de soleil

### III-4 – type d'orientation

- **Orientation 1 axe :** un moteur assure la rotation d'un arbre lequel le panneau cela donc permettra au panneau d'aller de l'est à l'ouest.

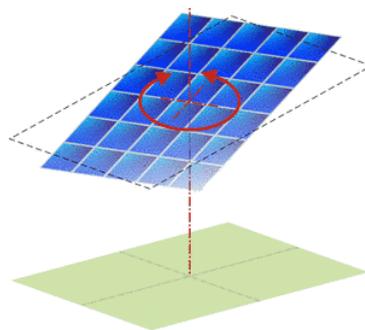


Figure II-6 : orientation 1 axe

- **Orientation 2 axe :** pour une rotation à deux axe il faut utilisée deux moteur . le premier assure la rotation est /ouest le deuxième le position nord/sud .

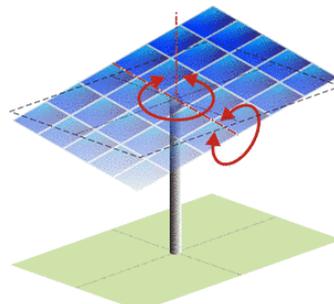


Figure II-7: orientation 2 axe

### III-5- type de capteur

#### II-5-1- la photorésistance LDR

Une photorésistance est un composant dont la valeur en ohms dépend de la lumière à laquelle il est exposé.

La principale utilisation de la photorésistance est la mesure de l'intensité lumineuse (appareil photo, systèmes de détection, de comptage et d'alarme...). Elle est fortement concurrencée par la photodiode dont le temps de réponse est beaucoup plus court. Les matériaux utilisés sont généralement du sulfure ou du séléniure de cadmium qui se comportent comme des semi-conducteurs.[15]

#### II-5-2- la photodiode :

Une photodiode est un composant semi-conducteur ayant la capacité de détecter un rayonnement du domaine optique et de le transformer en signal électrique. Une photodiode peut être représentée par une source de courant  $I_{ph}$  (dépendant de l'éclairement), en parallèle avec la capacité de jonction  $C_j$  et une résistance shunt  $R_{sh}$  d'une valeur élevée (caractérisant la fuite de courant), l'ensemble étant en série avec une résistance interne  $R_s$ .

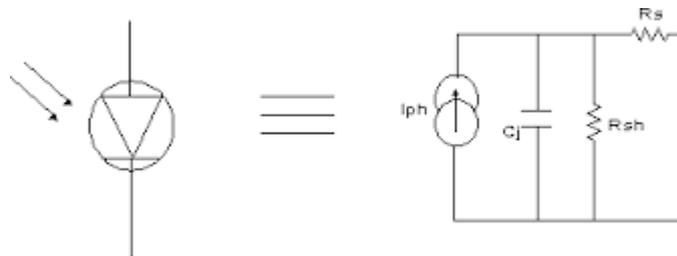


Figure II-8: la photodiode

#### II-5-3- le phototransistor :

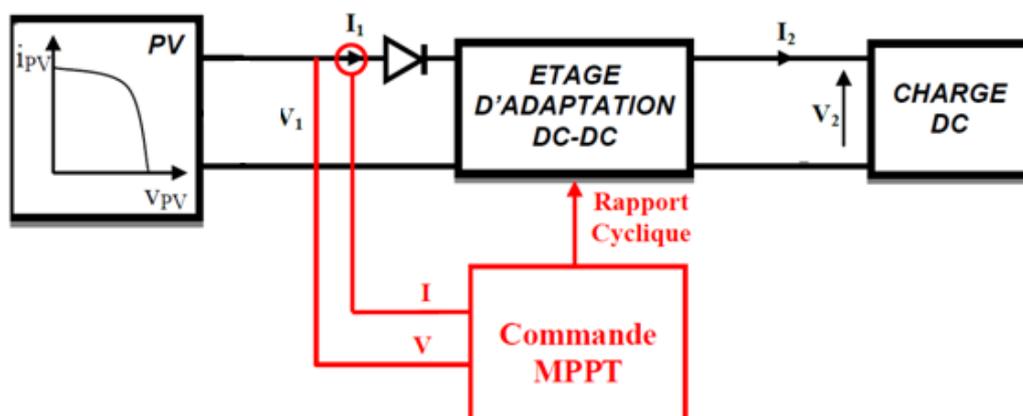
Un phototransistor est un composant électronique capable de réagir à la lumière (photo en grec) en laissant passer plus ou moins de courant. Comme les transistors, le phototransistor est conçu selon une base, émetteur, un collecteur. Mais la base est sensible à la lumière et contrôle donc le passage du courant dans le collecteur. Certains modèles de transistors peuvent d'ailleurs être limités jusqu'à faire apparaître leur base pour que la lumière agisse dessus. Le phototransistor est beaucoup plus sensible qu'une photodiode. Un montage classique à base de phototransistor est le Darlington : un phototransistor contrôle un transistor classique, très efficace pour des barrières lumineuses ou des détections d'obstacles [16]

## II-6-La recherche du point de puissance maximale(MPPT) :

### II-6-1- Principe de la recherche du point de puissance maximale(MPPT) :

Des lois de commandes spécifiques existent pour amener des dispositifs à fonctionner à des points maximums de leurs caractéristiques sans qu'a priori ces points soient connus à l'avance, ni sans que l'on sache à quel moment ils ont été modifiés ni qu'elles sont les raisons de ce changement. Pour le cas de sources énergétiques, cela se traduit par des points de puissance maximum. Ce type de commande est souvent nommé dans la littérature « Recherche du Point de Puissance Maximum » (MPPT). Le principe de ces commandes est d'effectuer une recherche du point de puissance maximal (PPM) tout en assurant une parfaite adaptation entre le générateur et sa charge de façon à transférer le maximum de puissance.

La figure II.9 représente une chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque élémentaire associée à une commande MPPT. Pour simplifier les conditions de fonctionnement de cette commande, une charge DC est choisie. Comme nous pouvons le voir sur cette chaîne, la commande MPPT est nécessairement associée à un quadripôle possédant des degrés de liberté qui permettent de pouvoir faire une adaptation entre le GPV et la charge. Dans le cas de la conversion solaire, le quadripôle peut être réalisé à l'aide d'un convertisseur DC-DC de telle sorte que la puissance fournie par le GPV corresponde à la puissance maximale ( $P_{max}$ ) qu'il génère et qu'elle puisse ensuite être transférée directement à la charge. [5]



**Figure II-9** : Chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque

La technique de contrôle communément utilisée consiste à agir sur le rapport cyclique de manière automatique pour amener le générateur à sa valeur optimale de fonctionnement

Qu'elles que soient les instabilités météorologiques ou variations brutales de charges qui peuvent survenir à tout moment. La figure II.10 illustre trois cas de perturbations. Suivant le type de perturbation, le point de fonctionnement bascule du point de puissance maximal **PPM** vers un nouveau point P de fonctionnement plus ou moins éloigné de l'optimum.

Pour une variation d'ensoleillement (cas a), il suffit de réajuster la valeur du rapport cyclique pour converger vers le nouveau point de puissance maximum **PPM**. Pour une variation de charge (cas b), on peut également constater une modification du point de fonctionnement qui peut retrouver une nouvelle position optimale grâce à l'action d'une commande. Dans une moindre mesure, un dernier cas de variation de point de fonctionnement peut se produire lié aux variations de température de fonctionnement du GPV (cas c). Bien qu'il faille également agir au niveau de la commande, cette dernière n'a pas les mêmes contraintes temporelles que les deux cas précédents. En résumé, le suivi du PPM est réalisé au moyen d'une commande spécifique nommée MPPT qui agit essentiellement sur le rapport cyclique du convertisseur statique (CS) pour rechercher et atteindre le **PPM** du **GPV**.

Il existe plusieurs principes de fonctionnement des commandes **MPPT** plus ou moins performantes basées sur les propriétés du **GPV**. Une synthèse des principaux modes de recherche du **PPM** existants dans ce chapitre

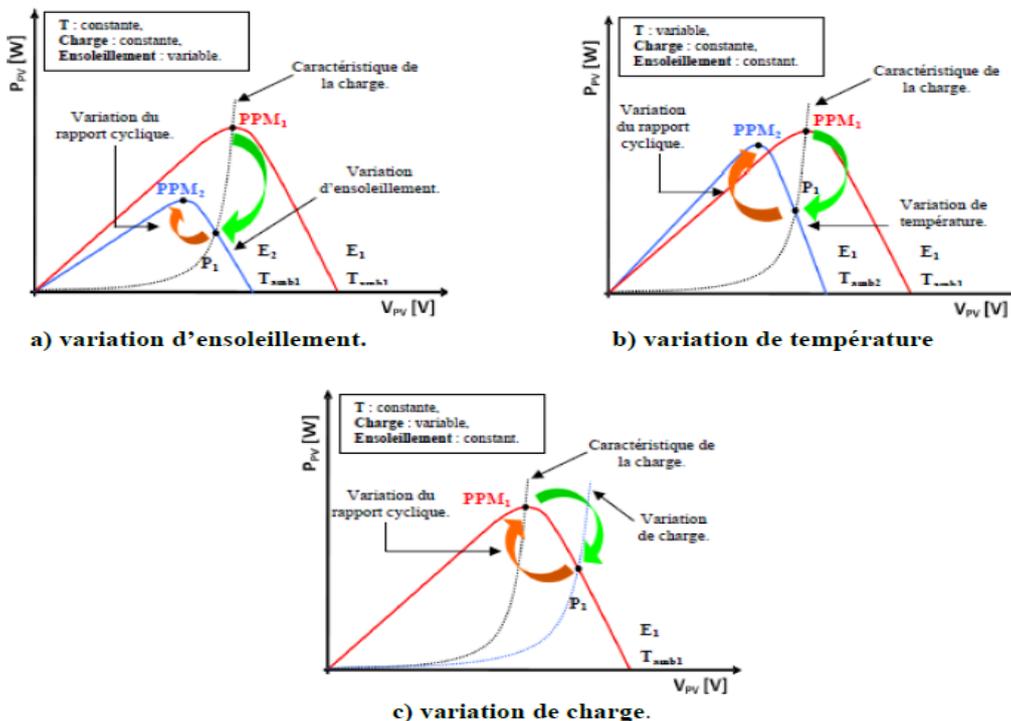


Figure II-10 Recherche et recouvrement du Point de Puissance Maximale. [7]

- a) suite à une variation d'ensoleillement,
- b) suite à une variation de charge,
- c) suite à une variation de température

## II -7- Synthèse des différentes MPPT rencontrées dans la littérature.

Diverses publications sur les commandes assurant un fonctionnement de type commande MPPT apparaissent régulièrement dans la littérature depuis 1968, date de publication de la première loi de commande de ce genre, adaptée à une source d'énergie renouvelable de type photovoltaïque. Étant donné le grand nombre de publications dans ce domaine, nous avons fait une classification des différentes MPPT existantes en les regroupant selon leur principe de base. La classification, en plus du principe, s'est effectuée selon des critères comme la précision de la recherche ou sa rapidité pour en faire une évaluation comparative. Seuls les algorithmes qui nous semblent décrire une méthode de recherche spécifique sont reportés dans ce manuscrit et brièvement analysés [11]

Dans la littérature, nous pouvons trouver différents types d'algorithmes effectuant la recherche du PPM. Les trois méthodes les plus couramment rencontrées sont communément appelées respectivement Hill Climbing, Perturb & Observ (P&O) et l'incrément de conductance (Inc.Cond.)

### II-7-1 Les types conventionnels de commandes MPPT

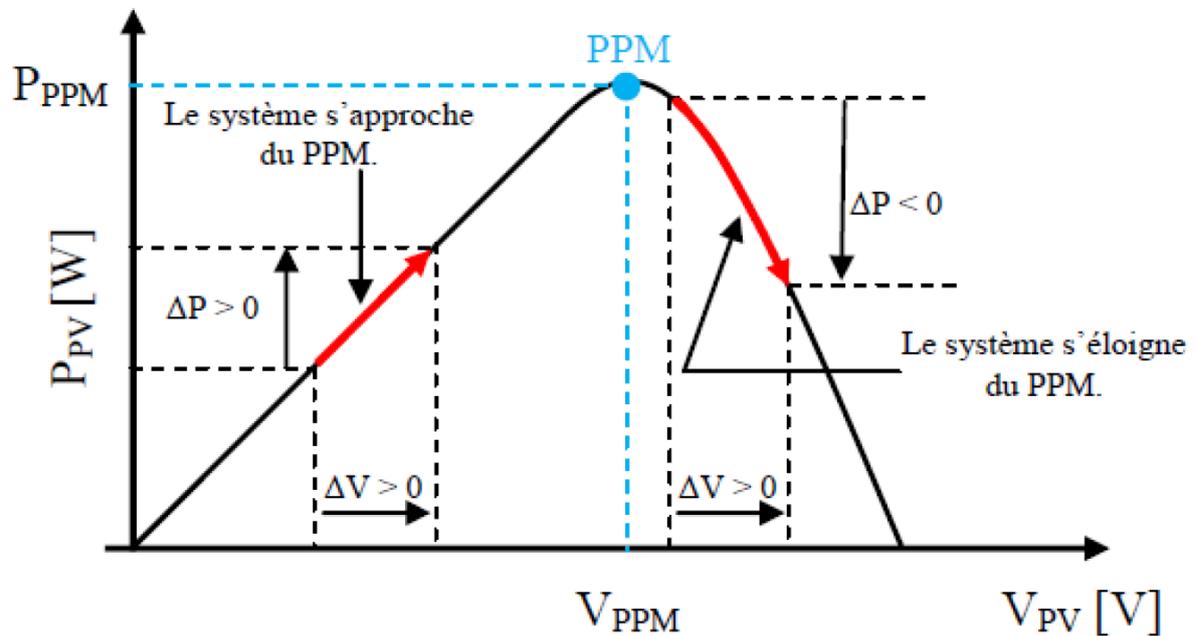
#### a- Principe des commandes "Perturb and Observe" (P&O).

Le principe des commandes MPPT de type **P&O** consiste à perturber la tension  $VPV$  d'une faible amplitude autour de sa valeur initiale et d'analyser le comportement de la variation de puissance  $PPV$  qui en résulte. Ainsi, comme l'illustre la figure 2.13, on peut déduire que si une incrémentation positive de la tension  $VPV$  engendre un accroissement de la puissance  $PPV$ , 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. À partir de ces diverses analyses sur les conséquences d'une variation de tension sur la caractéristique  $PPV(VPV)$ , 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.

En résumé, si suite à une perturbation de tension, la puissance  $PV$  augmente, la direction de perturbation est maintenue. Dans le cas contraire, elle est inversée pour reprendre.

la convergence vers le nouveau PPM [8]



**Figure II-11** Caractéristique PPV(VPV) d'un panneau solaire

La figure II.12 représente l'algorithme classique associé à une commande MPPT de type P&O, où l'évolution de la puissance est analysée après chaque perturbation de tension. Pour ce type de commande, deux capteurs (courant et tension du GPV) sont nécessaires pour déterminer la puissance du PV à chaque instant.

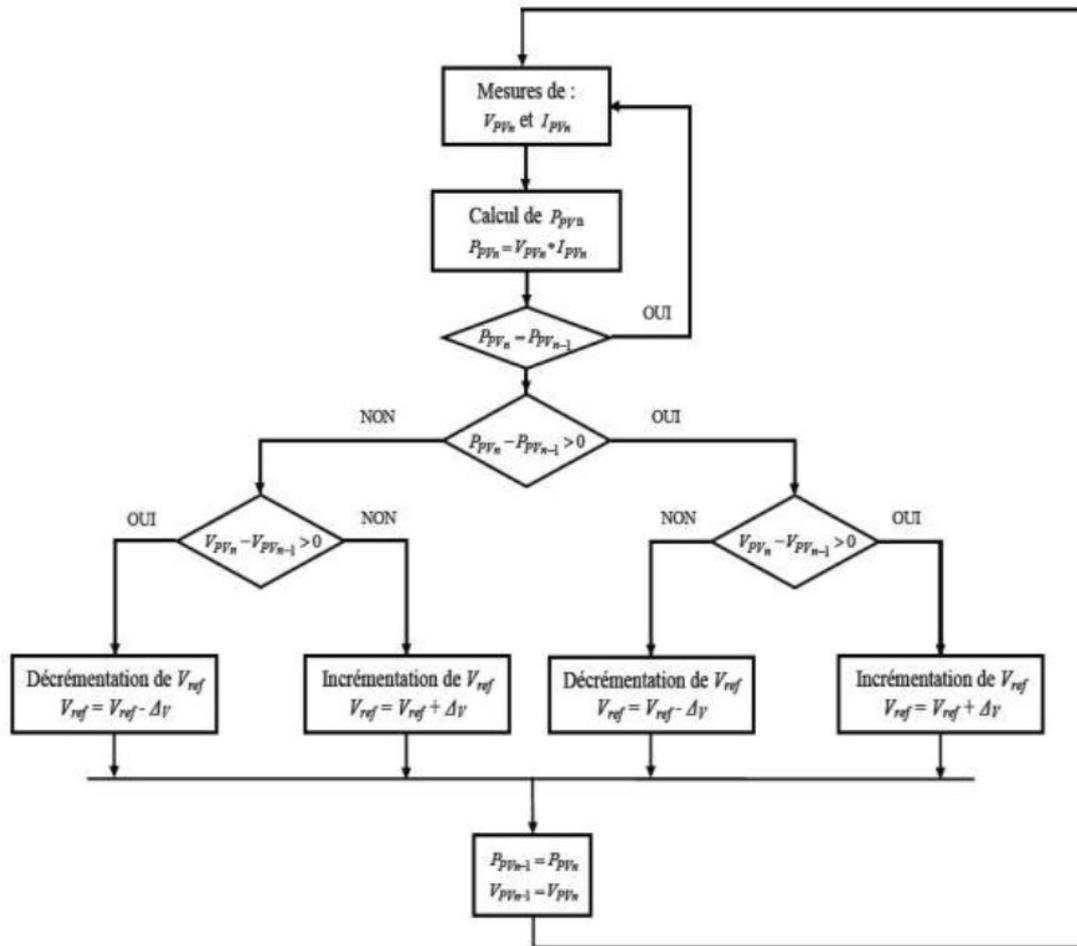
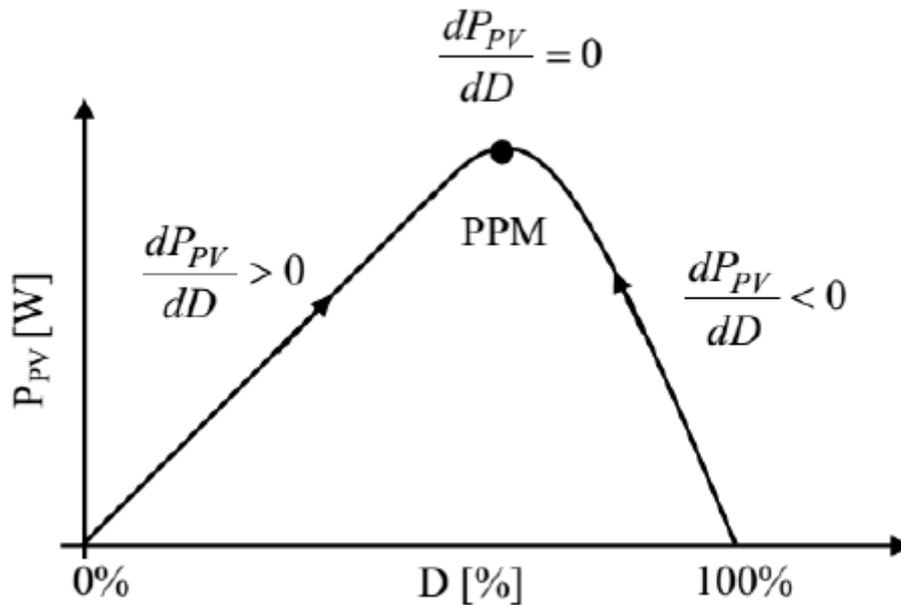


Figure II-12 Algorithme type de la méthode P&O

### b- Principe des commandes " Hill Climbing"

La technique de contrôle nommée Hill Climbing[9] consiste à faire « monter » le point de fonctionnement le long de la caractéristique du générateur présentant un maximum. Pour cela, deux pentes sont possibles. La recherche s'arrête théoriquement quand le point de puissance maximal est atteint. Cette méthode est basée sur la relation entre la puissance du panneau et la valeur du rapport cyclique appliqué au CS. Mathématiquement, le PPM est atteint lorsque  $dPPV/dD$  est forcé à zéro par la commande, comme le montre la figure( II.13.)



**Figure II-13** Relation entre PPV et le rapport cyclique D du convertisseur statique.

L'algorithme de cette méthode est illustré sur la figure II.14. La variable Slope correspond à une variable qui prend la valeur «1» ou «-1» suivant la direction que l'on doit donner à la recherche pour augmenter la puissance en sortie du panneau. D et PPV représentent respectivement le rapport cyclique et la puissance du générateur,  $\Delta D$  symbolise la variable d'incrément du rapport cyclique. Périodiquement, la puissance  $PPV_n$  est comparée à la valeur déterminée précédemment  $PPV_{n-1}$ , en fonction du résultat de la comparaison, le signe de la valeur Slope change ou reste identique. Ce qui a pour effet d'incrémenter ou de décrémenter la valeur du rapport cyclique. Une fois le PPM atteint, le système oscille autour de ce dernier indéfiniment rejoignant alors les compromis à faire entre rapidité et précision comme la méthode précédente et les pertes liées à ces oscillations

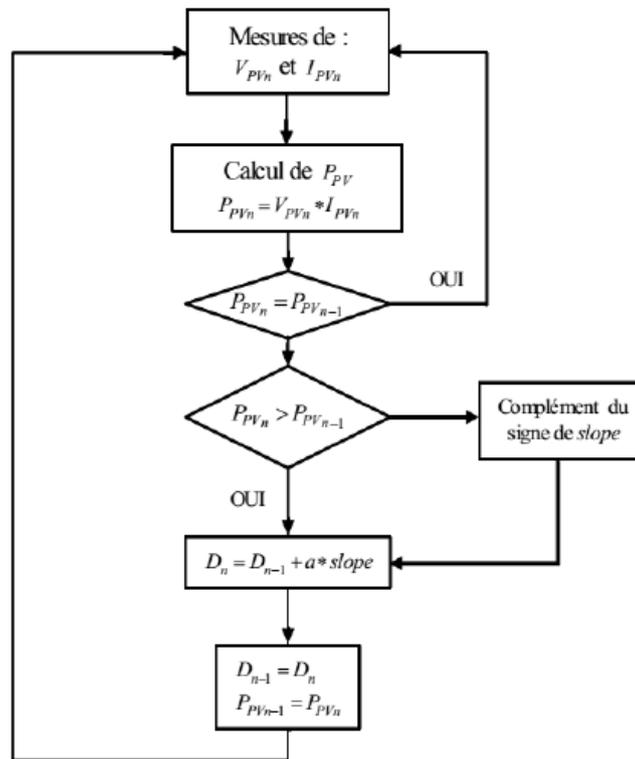


Figure II-14 Algorithme type de la commande Hill Climbing.

Le fonctionnement de cette commande est illustré sur la figure II.15 en reprenant la chaîne de conversion PV élémentaire.

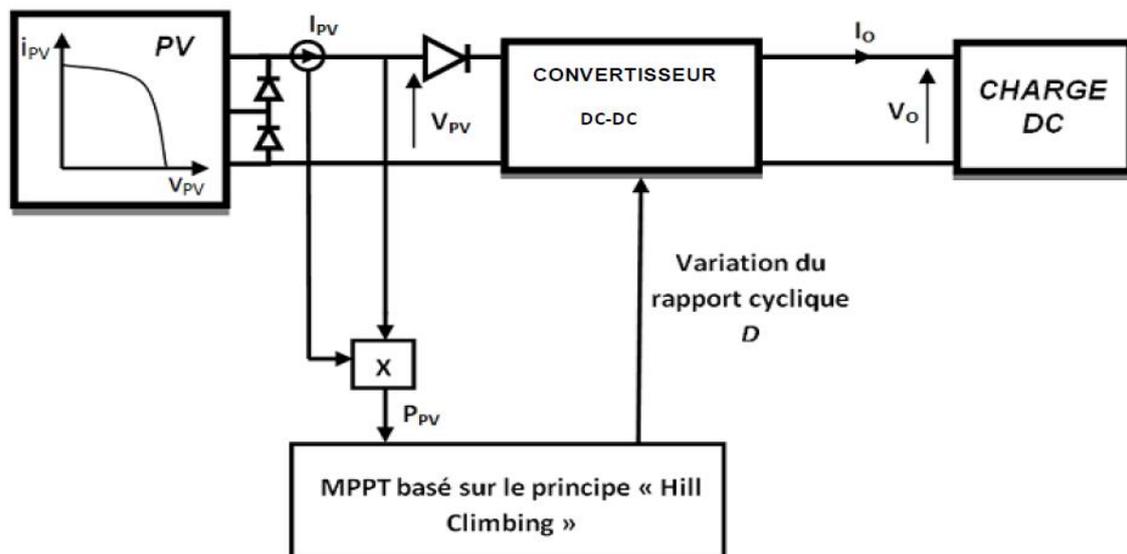


Figure II.15 :Schéma de principe de la commande Hill Climbing.

L'avantage de cette dernière technique est qu'elle est simple à mettre en oeuvre. Par contre, elle possède les mêmes inconvénients que la méthode P&O concernant des oscillations autour du PPM en régime établi et une perte occasionnelle de la recherche du PPM lors de changement rapide des conditions climatiques

### c- Méthode d'incrémentation de la conductance

L'algorithme d'incrémentation de la conductance est basé sur le fait que le point de puissance maximale (MPP) n'est atteint que si  $dP / dV$  est nulle. Les caractéristiques du module photovoltaïque sur la figure 6 prouvent plus loin que la dérivée est supérieure à zéro à gauche du MPP et inférieure à zéro à droite du MPP. Ceci mène à l'ensemble d'équations suivant:

$$(dP / dt) = 0 \quad \text{pour} \quad V = V_{mp} \quad (\text{II-1})$$

$$(dP / dt) > 0 \quad \text{pour} \quad V < V_{mp} \quad (\text{II-2})$$

$$(dP / dt) < 0 \quad \text{pour} \quad V > V_{mp} \quad (\text{II-3})$$

Sachant que  $P = I \times V$ , la dérivée du produit par rapport à la tension donne la relation suivante:

$$\frac{dp}{dV} = \frac{d(V \times I)}{dV} = I \times \frac{dV}{dI} + V \times \frac{dI}{dV} = I + V \times \frac{dI}{dV} \quad (\text{II-4})$$

Ce qui revient à écrire:

$$\frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} \quad (\text{II-5})$$

Les changements par accroissement nécessaires  $dV$  et  $dI$  sont obtenus en comparant les valeurs mesurées les plus récentes pour  $V$  et  $I$  à ceux mesurés durant le cycle précédent:

$$dV(k) \approx V(k) - V(k-1) \quad (\text{II-6})$$

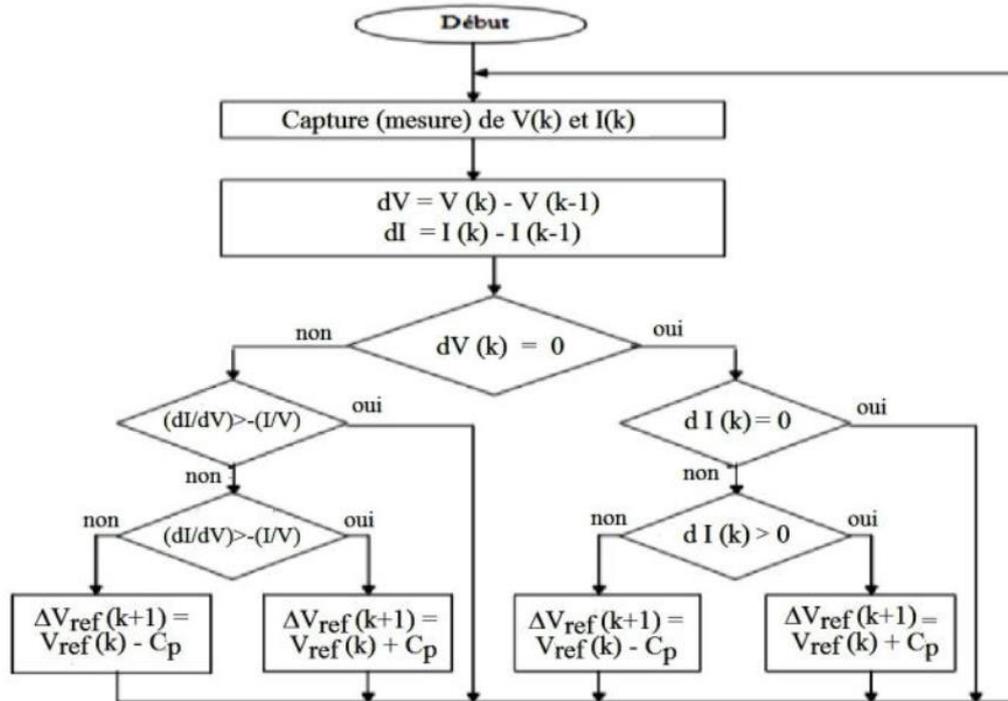
$$dI(k) \approx I(k) - I(k-1) \quad (\text{II-7})$$

La fonction centrale pour trouver le MPP utilise les conditions suivantes:

$$\frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} \quad (\text{II-8})$$

$$\frac{dI}{dV} > -\frac{I}{V} \quad (\text{II-9})$$

Si la relation (8) est vraie, le MPP est atteint et aucun changement de la tension  $V(k)$  n'est nécessaire. Si la relation (8) est fausse, selon que  $V(k)$  est supérieure ou inférieure à  $V_{mp}$ , la tension  $V(k)$  est ajustée en conséquence



**Figure II-16 :** Organigramme de l'algorithme MPPT de l'incrémentale de la conductance[16]

Si le système fonctionnait au MPP pendant le cycle précédent, le changement par accroissement de la tension de fonctionnement sera zéro ( $dV(k) = 0$ ). Ceci mènerait à une division par l'erreur zéro. Si  $dI = 0$ , l'ajustement de la tension du système est évité. Si  $dI \neq 0$  les équations (2) et (3) sont employées pour déterminer si le système fonctionne au-dessus ou au-dessous de  $V_{mp}$  et un ajustement correspondant à la tension de fonctionnement sera réalisé en conséquence.[17]

## Conclusion

Dans ce chapitre nous rappelons brièvement le system de poursuite solaire et étudie la problématique de la recherche du **PPM** en établissant une classification des commandes **MPPT** présentes dans la littérature

# **Chapitre III :**

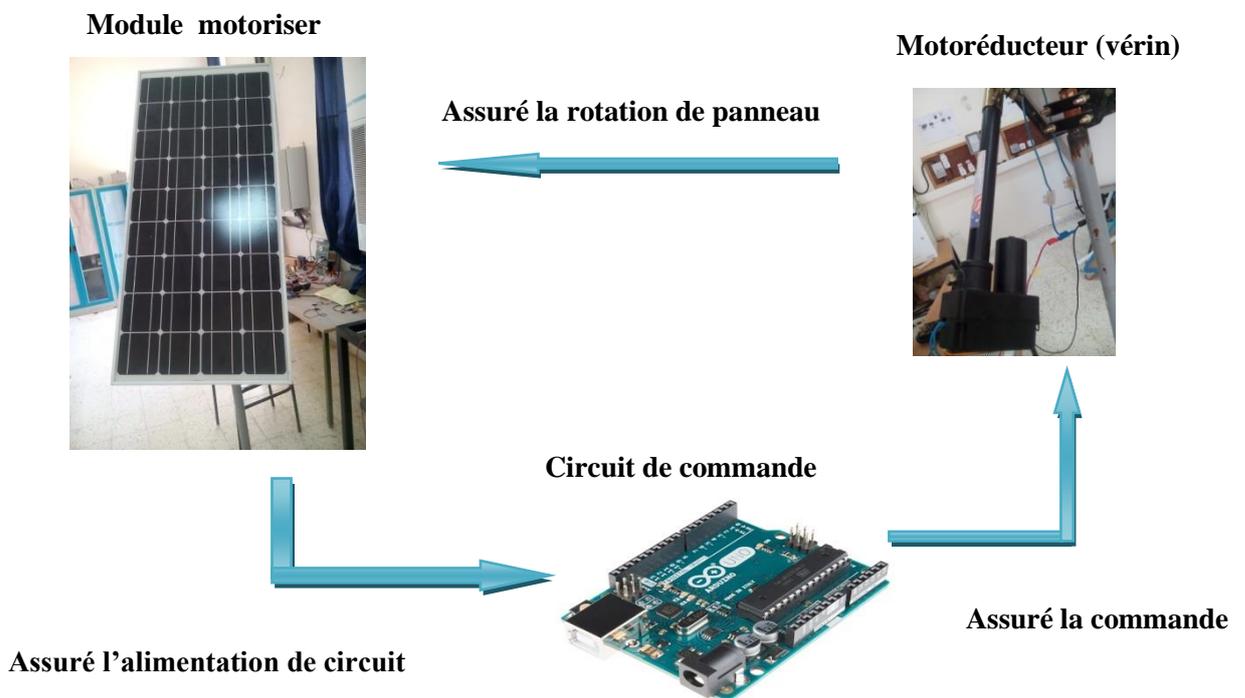
*Realisation du system  
suiveur*

## Introduction

Les panneaux solaires fonctionnent à paramètres optimaux quand ils sont à l'angle droit parfait au soleil. Malheureusement, cela se fait seulement si les panneaux solaires sont en rotation par le soleil. C'est le but de ce système traqueur solaire

### III-1 Gestion du projet

L'analyse fonctionnelle du système nous permet d'indéfinir les fonctions à assurer pour que le produit réponde au cahier des charge. Le schéma synoptique préliminaire est représenté dans la figure ci-dessous



**Figure.III.1** : principe de fonctionnement de suiveur

On définit le principal élément suivant :

- Module **PV**
- Mécanisme d'entraînement
- Circuit de commande

## III-2. Organisation générale du suiveur

### III-2-1- le panneau photovoltaïque

Le module photovoltaïque utilisateur figure (III-2)



**Figure III.2** : le module photovoltaïque

#### III-2-1-1. Caractéristique du module

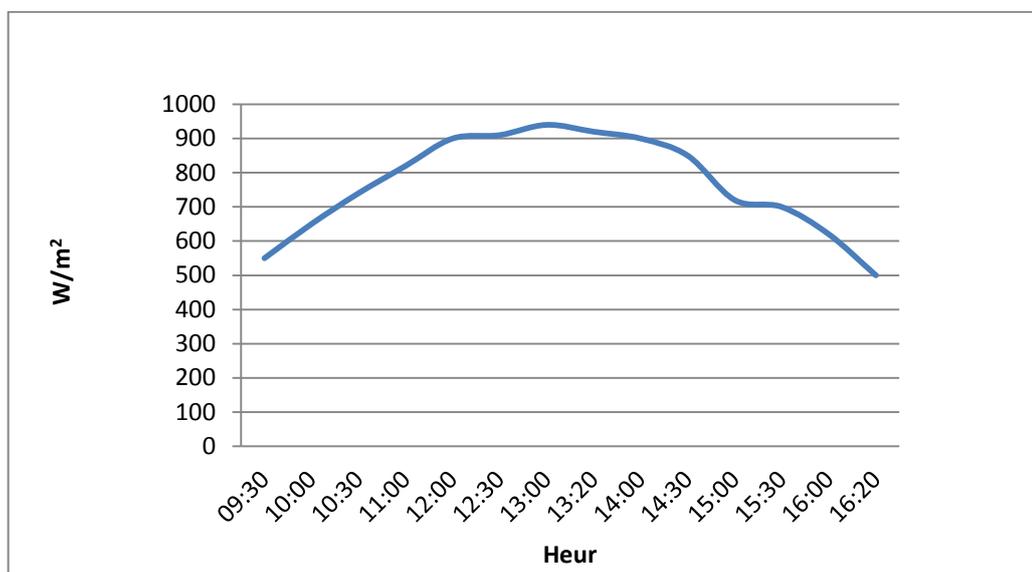
Type de module : ALPV85 125-36M	
Grandeur	Valeur
Puissance nominale (sous conditions STC)	85W
Tension de circuit ouvert (Voc/V)	21,83
Tension nominale (Vmp/V)	17,27
Courant de court circuit (Isc/A)	5,33
Courant nominal (Imp/A)	4,93
Dimension (Lg x Lr x H)	1225x545x35
Nombre de cellules	36 (9x4)
Temperature de cellule	25°
Poids (Kg)	8,5

**Tableau III.1** : caractéristique du module

### III-2-1-2. Relevé des caractéristiques électriques des panneaux

- **Mesure de l'éclairement**

L'appareil utilisé pour mesurer l'énergie du soleil est un pyranomètre. Le pyranomètre mesure le rayonnement global solaire. Il est la somme du rayonnement diffus et du rayonnement solaire direct. On mesure l'énergie reçue par une surface plane. L'unité est donc des watts /mètre carré ( $W / m^2$ ). La courbe ci-dessous présente la variation de l'éclairement pendant la journée au site expérimentale (champs en face du laboratoire des énergies renouvelable) 04/04/2017



**Figure III-3** : variation de l'éclairement

Pour pouvoir déterminer expérimentalement la caractéristique IV des modules utilisés on recourt au schéma électrique ci-dessous pour relever les courbes  $I=f(V)$ .

En plaçant une charge variable (rhéostat) comme charge aux bornes du module PV et en variant sa valeur, on mesure le courant et la tension ainsi produit.

Bien sûr, cette action doit se faire pendant un temps court pour éviter la variation de l'éclairement pendant ce laps de temps et obtenir ainsi des résultats correctes.

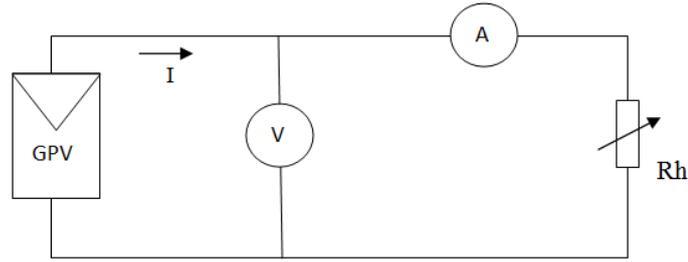
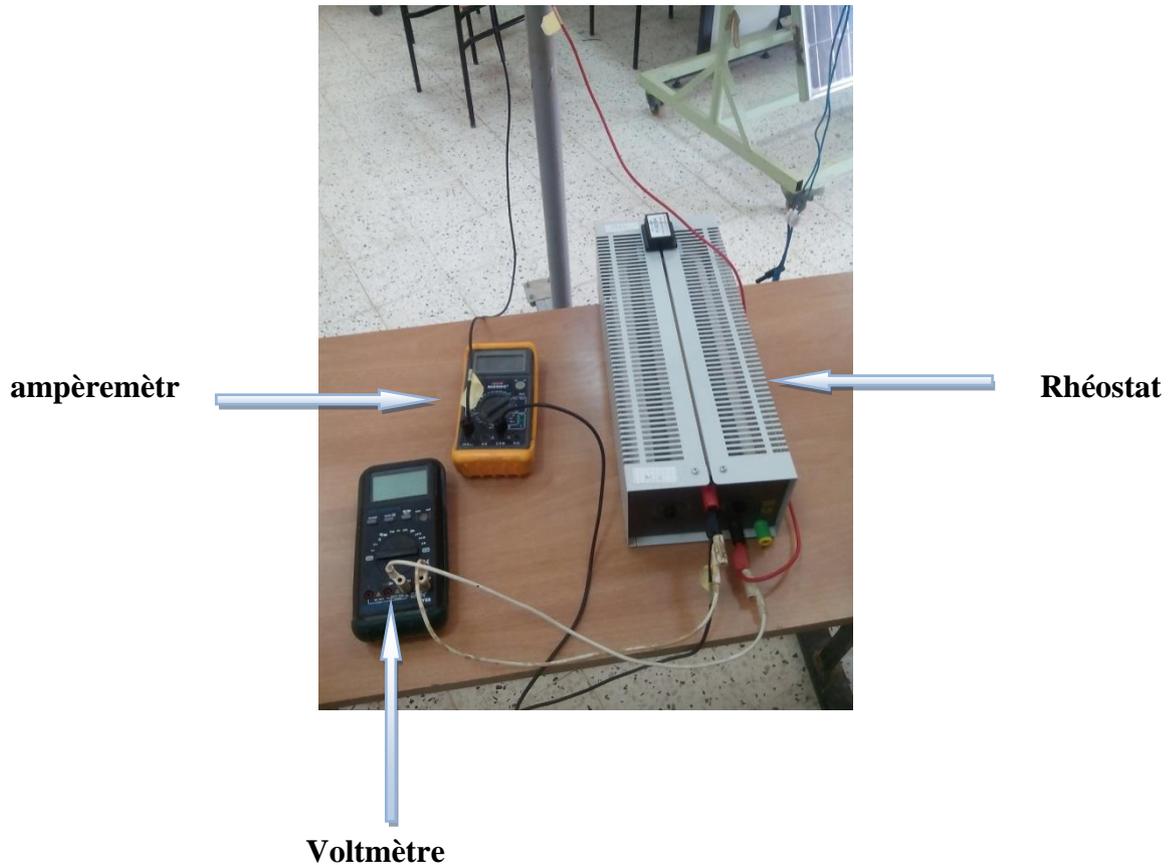


Figure III-4 : schéma de montage

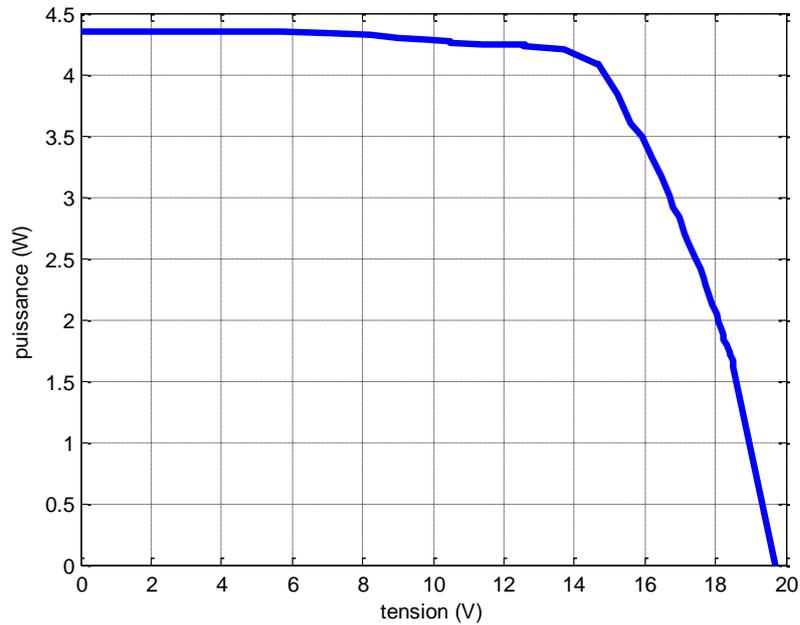


- Caractéristique  $I=f(V)$  :

$E=770 \text{ w/m}^2$								
V(v)	0	5.67	12.59	16.97	17.23	18.04	18.39	19.7
I(A)	4.35	4.09	3.5	2.28	2.12	1.69	1.61	0

Tableau III.2 : Relevé pratique de la caractéristique  $I=f(V)$

La forme générale de la caractéristique courant-tension d'un module est donnée ci-dessous :



**Figure III.5** : caractéristique  $I=f(V)$

- **Caractéristique  $P=f(V)$**

Nous pouvons aussi tracer la caractéristique puissance-tension du module photovoltaïque qui s'obtient simplement en multipliant la tension par l'intensité à partir de la caractéristique courant-tension :

$E=770 \text{ w/m}^2$								
<b>V(v)</b>	<b>0</b>	<b>5.67</b>	<b>12.59</b>	<b>16.97</b>	<b>17.23</b>	<b>18.04</b>	<b>18.39</b>	<b>19.7</b>
<b>P(W)</b>	<b>0</b>	<b>24.66</b>	<b>53.38</b>	<b>48.02</b>	<b>45.48</b>	<b>36.80</b>	<b>31.81</b>	<b>0</b>

**Tableau III.3** : Relevé pratique de la caractéristique  $P=f(V)$

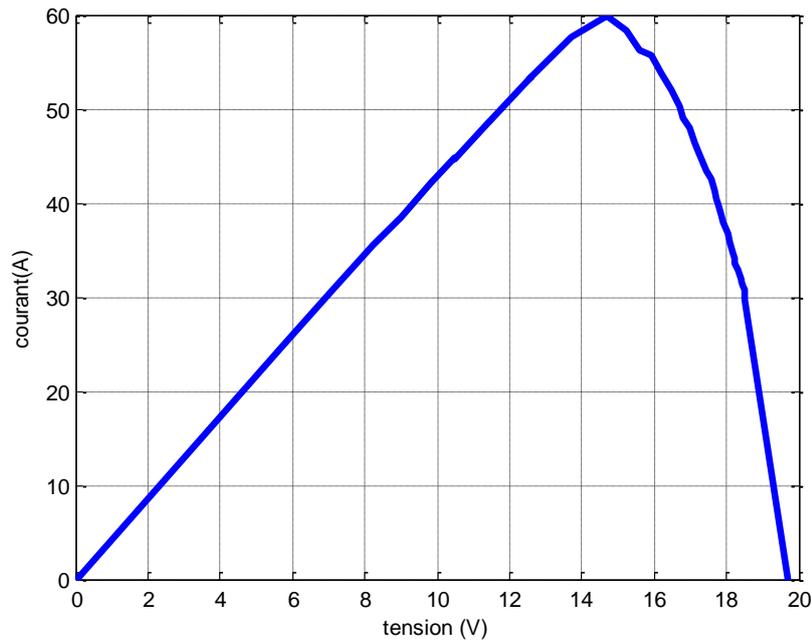


Figure III.6 : caractéristique  $I=f(V)$

### III-3- relevé de la caractéristique $I=f(V)$ du module avec oscilloscope:

La manipulation précédente doit faire pendant un temps très court adite pour éviter de l'éclairement pendant la mesure ce qui est difficile .d'ou on essaye de prendre cette caractéristique en utilisant un oscilloscope numérique

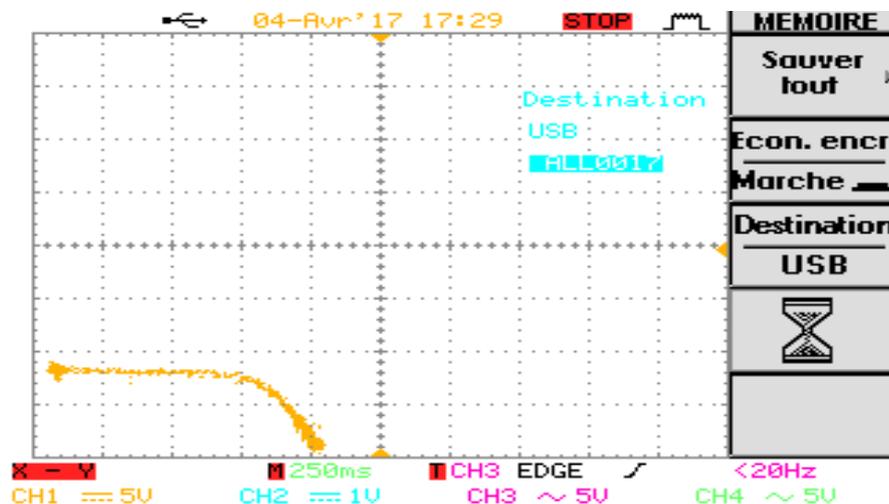
Canal 1 : tension

Canal 2 : courant

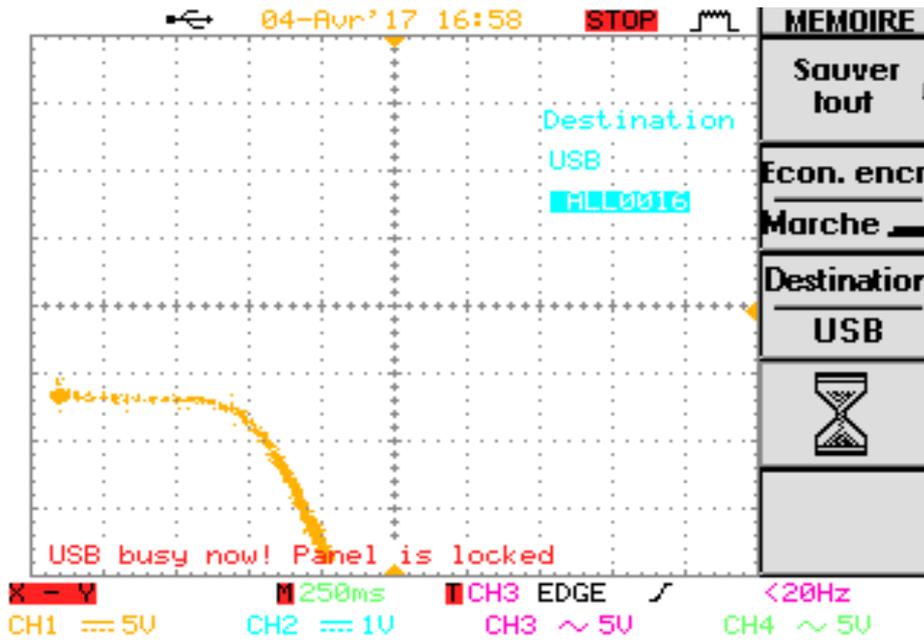
Resistance shunt  $1\Omega$

Et a obtenu les résultats suivants :

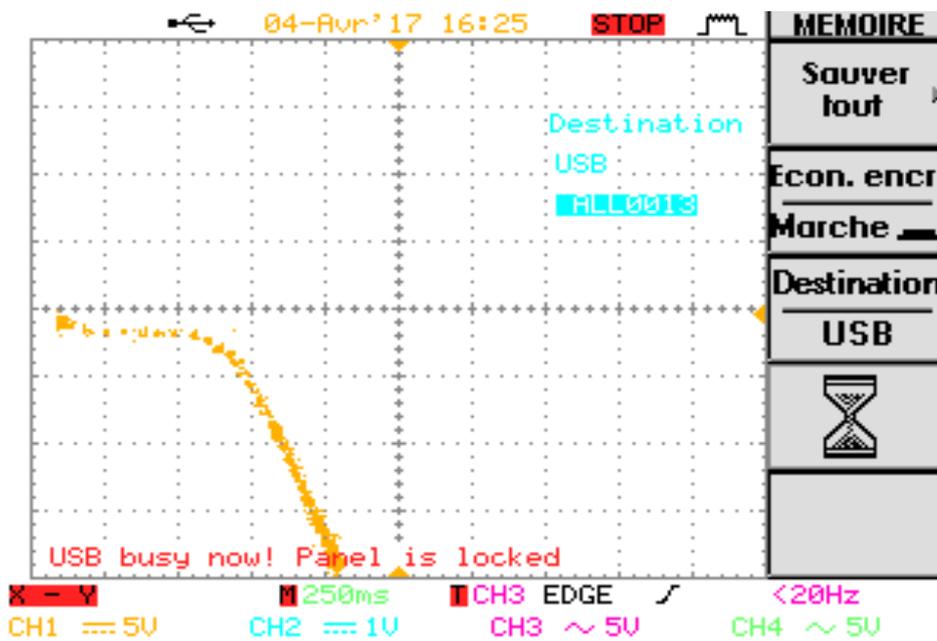
$$E = 270W/m^2$$



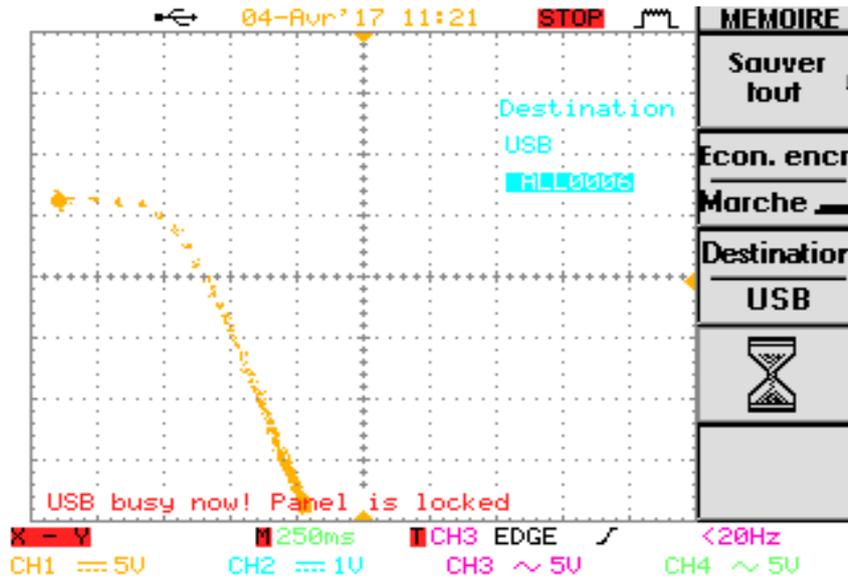
$E = 440 \text{ W/m}^2$



$E = 600 \text{ W/m}^2$



$E = 830 \text{ W/m}^2$



$E = 1050 \text{ W/m}^2$

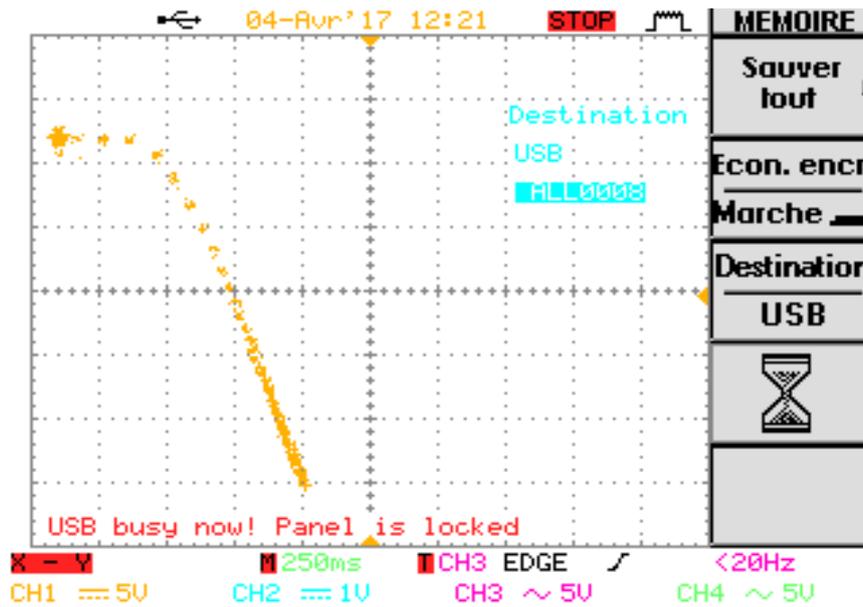
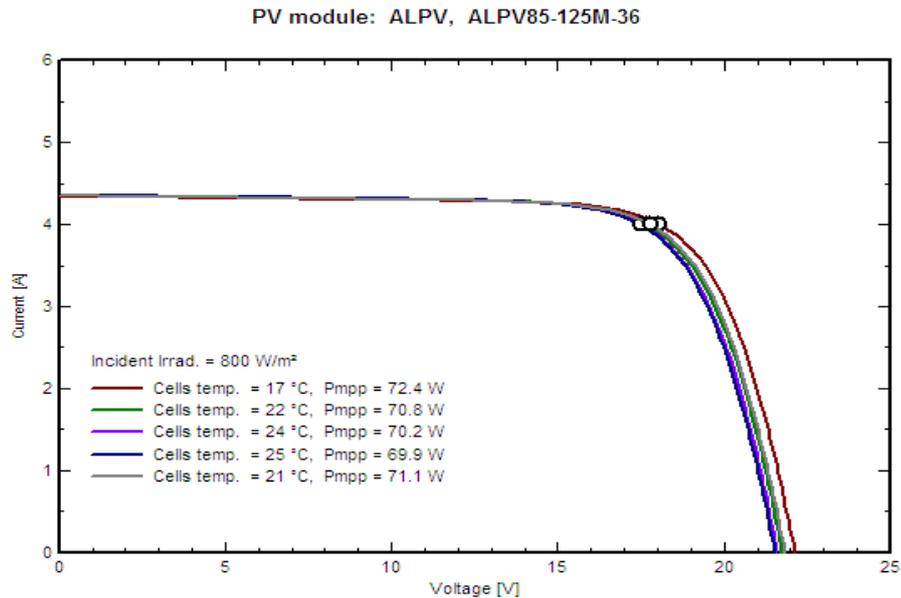


Figure III-7 : caractéristique I(V) pour différent valeur d'éclairement (température)

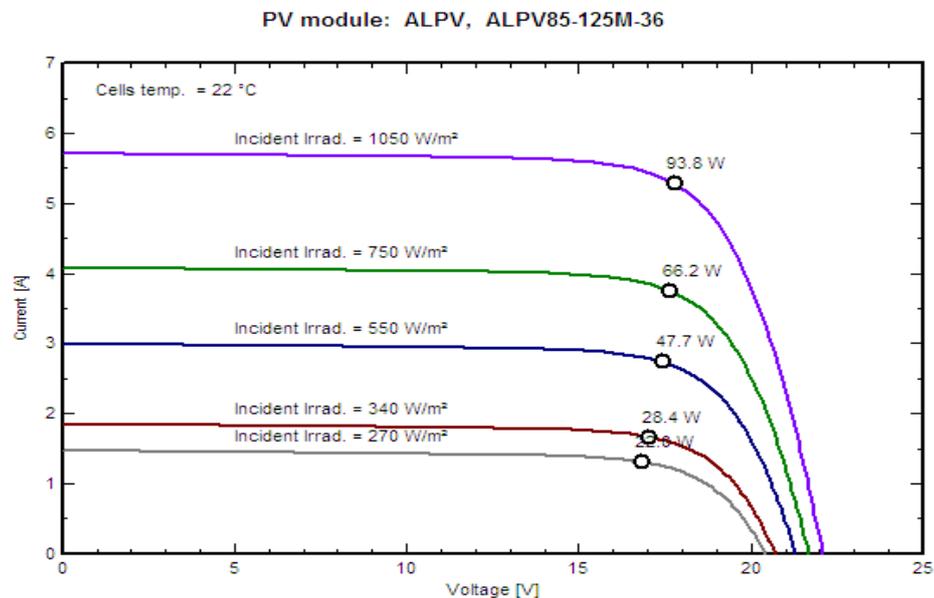
### III-4 caractéristique $I=f(V)$ du module avec PVSYS

On a essayé de tracer les courbes  $I=f(V)$  du module utilisé, en utilisant le logiciel

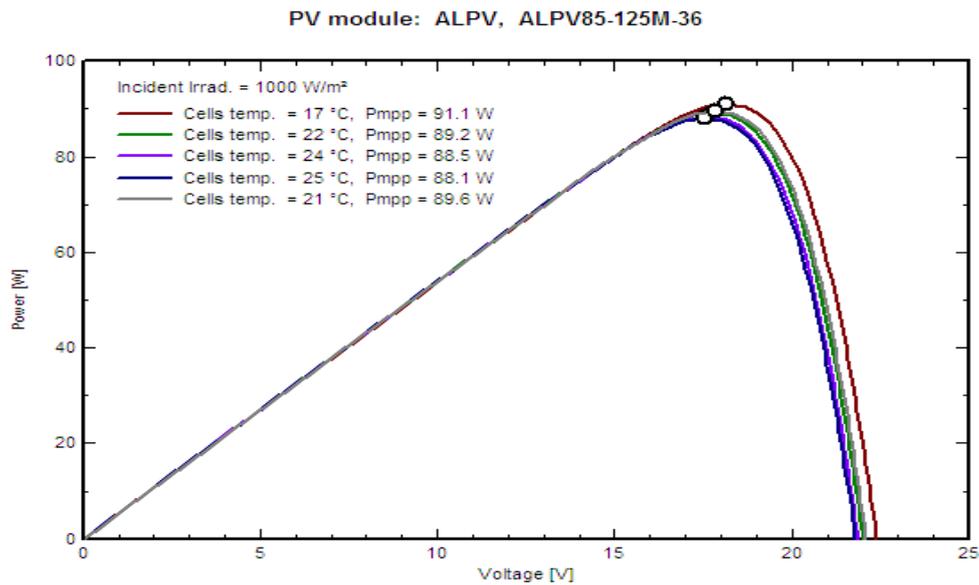
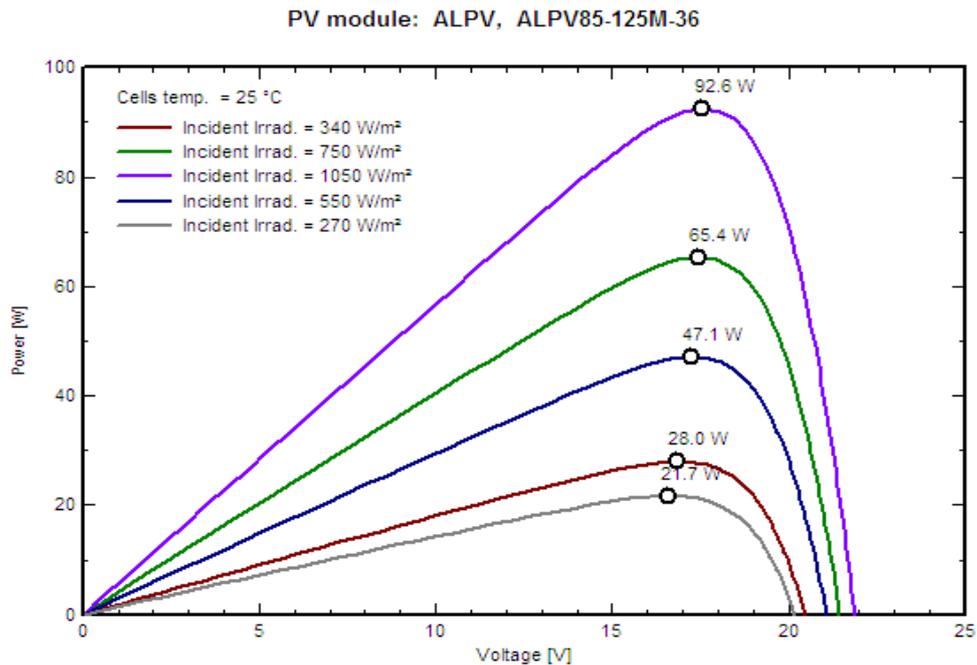
PV-syt .Après avoir relevé les paramètres caractéristique du module qui sont donnés par le constructeur (Voir fiche technique ‘Annex ‘) ou peut tracer les allures théorique de toutes les courbes tel que  $I(V)$  ,  $P(V)$



**Figure III-8 :** caractéristique  $I=f(V)$  éclaircissement fixe et température variable



**Figure III-9:** caractéristique  $I=f(V)$  température fixe et éclaircissement variable

III-5 caractéristique  $P=f(V)$  du module avec PVSYSFigure III-10 : caractéristique  $P=f(V)$  éclaircissement fixe et température variableFigure III-11 : caractéristique  $V=f(I)$  température fixe et l'éclaircissement variable

L'augmentation de l'éclaircissement provoque le déplacement de la caractéristique suivant l'axe Des courants, car l'accroissement du courant de court-circuit est plus important que celui de la Tension de circuit ouvert parce que le premier est une fonction linéaire et le second est une Fonction logarithmique.

Si la température de la cellule augmente, le courant généré augmente par suite de la diminution de la largeur de la bande interdite du matériau. Cette augmentation est de  $0.190 \text{ V}/^\circ\text{C}$ , le courant direct dans la jonction augmente aussi, mais beaucoup plus vite, il s'ensuit une diminution de la tension de circuit ouvert de l'ordre de 2 millivolts par degré et la puissance maximale disponible diminue de 0.35% par ( $^\circ\text{C}$ ). Ce faisceau de courbe se trace à un éclairement fixe,  $E=1000 \text{ W/m}$  [20]

### III-3- Schéma synoptique de suiveur solaire

La figure (III.12) présente le schéma synoptique général de notre réalisation. Le système suiveur du soleil que nous proposons pour améliorer le rendement du panneau photovoltaïque est illustré par un schéma synoptique.

Ce système est basé sur la comparaison des tensions délivrées par des capteurs photovoltaïques et envoyer ces tensions vers la carte microcontrôleur « **Arduino** ». Elles vont être converties dans cette dernière en valeur numérique puis on fait la comparaison et gère la commande de moteur à fin de rétablir la position d'équilibre entre les capteurs pour avoir un grand rendement.

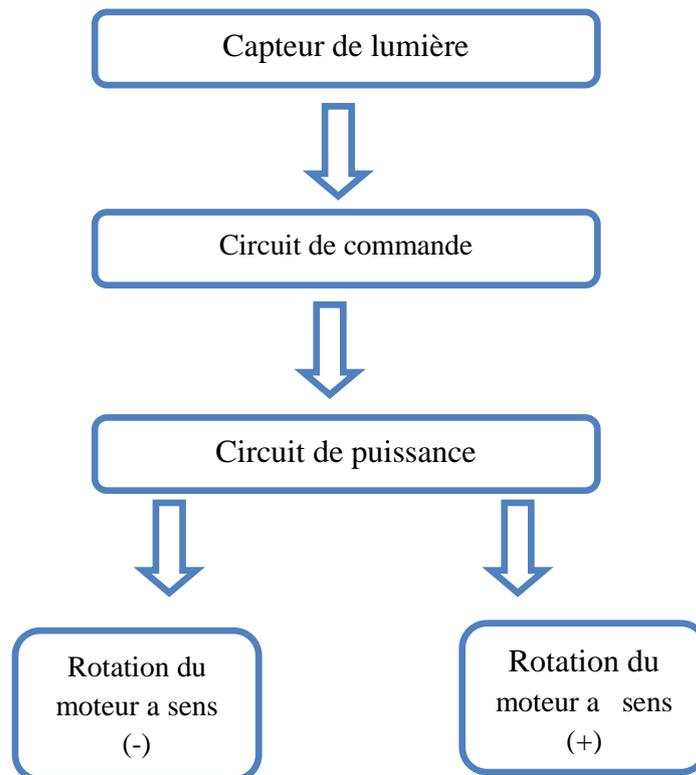
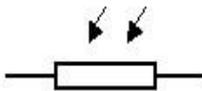


Figure III-12: Schéma synoptique.

### III-4 Etude des différents blocs

#### II-4-1 Les capteurs de lumière

Le capteur qu'on a utilisé est la photorésistance ou **LDR**. C'est un composant dont la valeur en Ohms dépend de la lumière à laquelle elle est exposée. En effet, sa résistance varie en fonction du flux lumineux incident, elle est inversement proportionnelle à la lumière reçue. Le choix s'est porté sur cette dernière vu que son temps de réponse est beaucoup plus court par rapport à la photodiode



Symbole d'une photorésistance



Figure III-13 : Photorésistance LDR

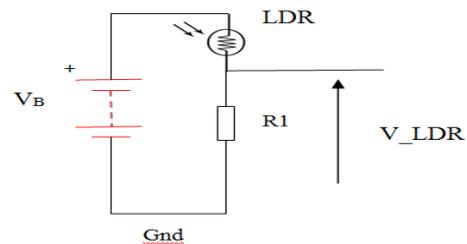


Figure III-14: Circuit équivalent du capteur LDR

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

$$V_{LDR} = \frac{V_B \times R_1}{R_{LDR} + R_1} \quad (\text{III-1})$$

où :

$V_B$  : tension batterie (V)

$R_{LDR}$  : résistance de la LDR ( $\Omega$ )

#### III-4-2 Le circuit de commande :

Le circuit de commande de notre système est basé complètement sur un circuit programmable dit « Arduino », l'avantage de ce dernier est de minimiser la surface des cartes électriques donc on minimise l'utilisation des quantités des composants électroniques.

- **Définition de la carte Arduino**

Arduino est une plate-forme de prototypage d'objets interactifs à usage créatif constituée d'une carte électronique et d'un environnement de programmation.

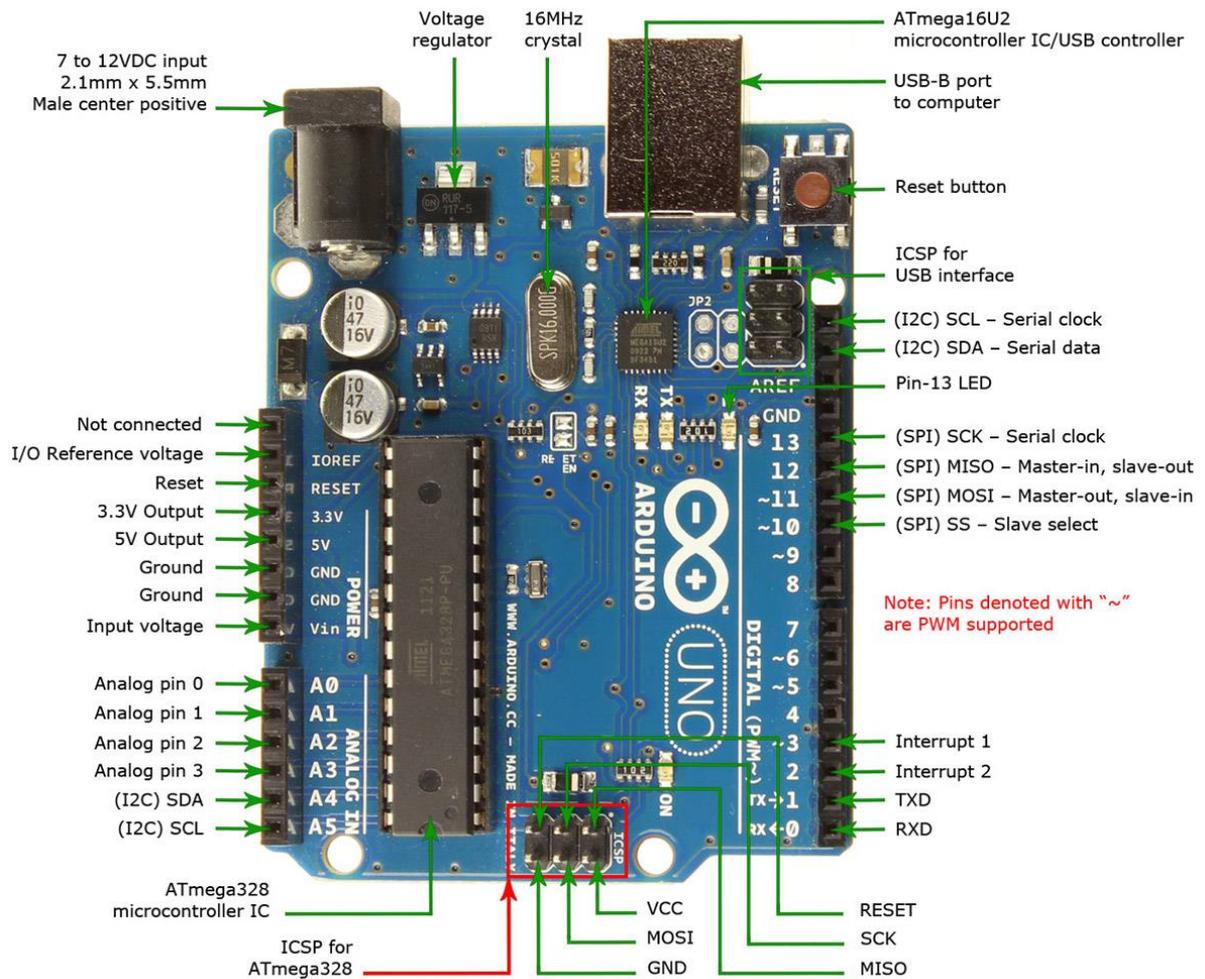
- **Arduino Uno**

La carte Arduino Uno est une carte à microcontrôleur basée sur l'ATmega328 (voir la fiche technique).

Elle dispose :

- de 14 broches numériques d'entrées/sorties (dont 6 peuvent être utilisées en sorties PWM (largeur d'impulsion modulée)),
- de 6 entrées analogiques (qui peuvent également être utilisées en broches entrées/sorties numériques),
- d'un quartz 16Mhz,
- d'une connexion USB,
- d'un connecteur d'alimentation jack,
- d'un connecteur **ICSP** (programmation "in-circuit"),
- et d'un bouton de réinitialisation (reset).

Elle contient tout ce qui est nécessaire pour le fonctionnement du microcontrôleur; Pour pouvoir l'utiliser et se lancer, il suffit simplement de la connecter à un ordinateur à l'aide d'un câble USB (ou de l'alimenter avec un adaptateur secteur ou une pile, mais ceci n'est pas indispensable, l'alimentation étant fournie par le port USB). [18]



**Figure III-15:** La carte Arduino Uno

Voici quelques accessoires d'Arduino utilisées dans ce projet

- **câble USB**



**Figure III-16 :** Cable USB type A/B (Arduino UNO).

Le câble USB permet à la fois d'alimenter un projet Arduino, de programmer la carte (via Arduino IDE) mais aussi d'utiliser le Moniteur Série.

- Fils de pin d'Arduino.

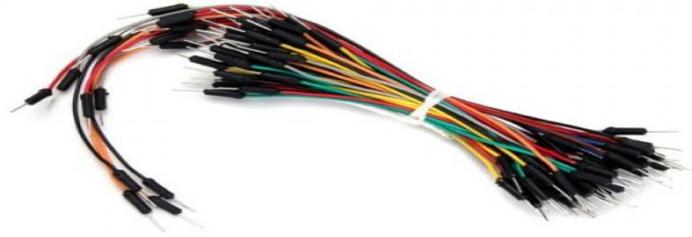


Figure III-17 : Fils de pin d'Arduino

Ces fils males sont utilisés pour brancher et connecter l'Arduino avec d'autre pièce et pour les testes.

- La plaque d'essai

La plaque d'essai est un dispositif qui permet de réaliser le prototype d'un circuit électronique elle est utilisé dans la plupart des expériences d'Arduino.

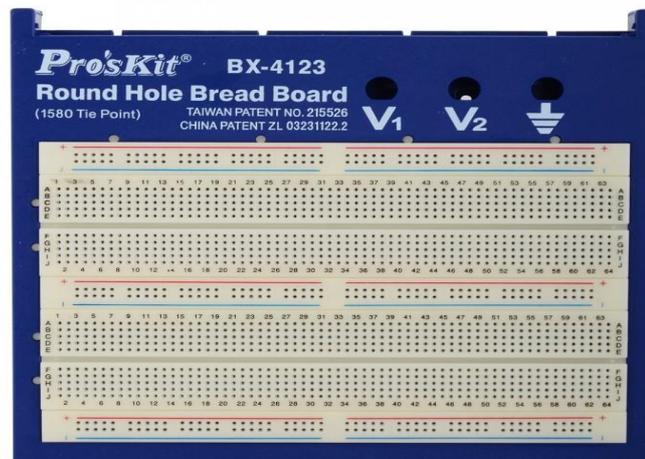
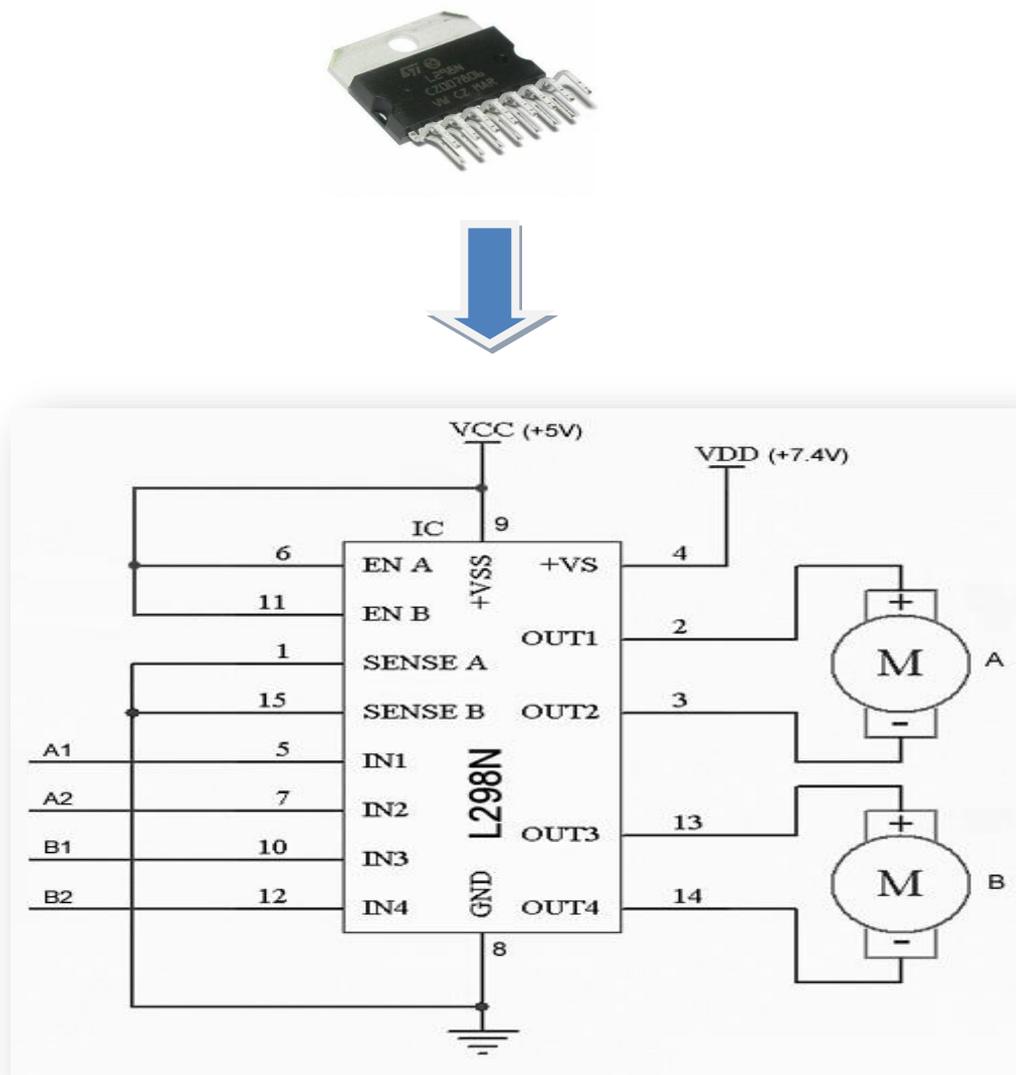


Figure III-18 : Plaque d'essai

### III-4-3 Circuit de puissance L298N

L293N est un Double Pont-H destiné au contrôle de moteur continu (H-Bridge Motors Driver). Il est basé sur le composant **L298N** qui est un double Pont-H conçu spécifiquement pour ce cas d'utilisation. C'est un module extrêmement utile pour le contrôler de robots et ensembles mécanisés. Il peut contrôler deux moteur courant continu ou un moteur pas-à-pas 4

fil 2 phases. il est conçu pour supporter des tensions plus élevées, des courants importants tout en proposant une commande logique **TTL** (basse tension, courant faibles, idéal donc pour un microcontrôleur). Il peut piloter des charges inductives comme des relais, solénoïdes, moteurs continus et moteurs pas-à-pas. Les deux types de moteurs peuvent être contrôlés aussi bien en vitesse (**PWM**) qu'en direction. Toutes les sorties en puissance sont déjà protégées par des diodes anti-retour.



**Figure III-19** : Représentation du circuit intégré L298N à double pont en H

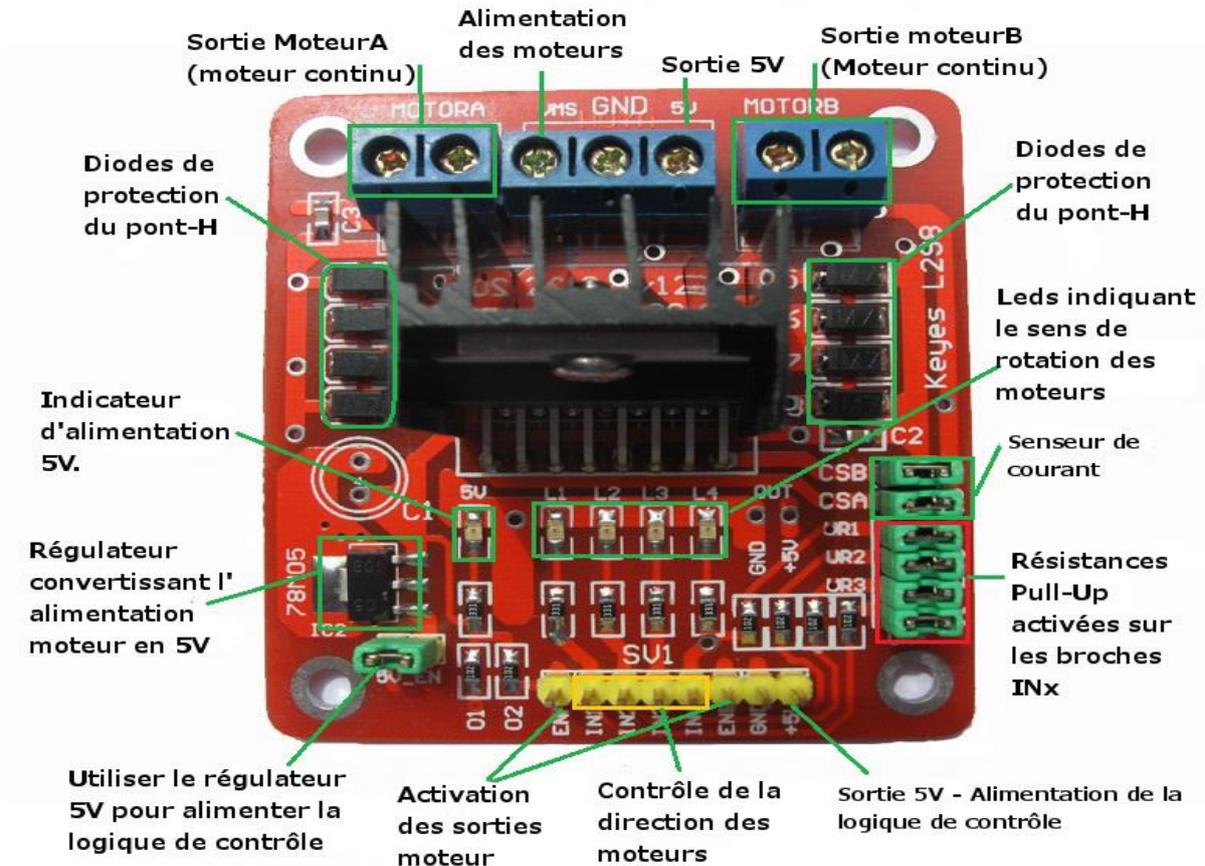


Figure III-20 : module du circuit L298N

#### III-4-4 Les moteurs CC

Un moteur à courant continu **CC** est une machine électrique. Il s'agit d'un convertisseur électromécanique permettant la conversion bidirectionnelle d'énergie entre une installation électrique parcourue par un courant continu et un dispositif mécanique ; selon la source d'énergie.

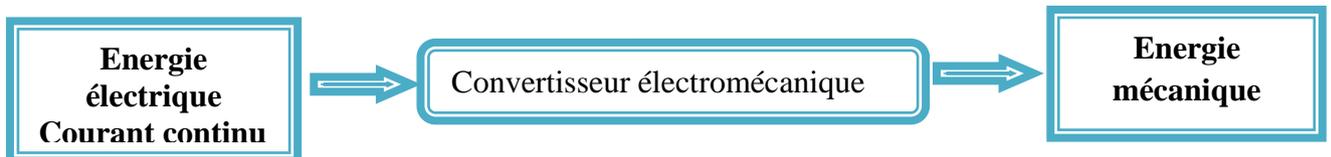


Figure III-21 : Principe de fonctionnement du moteur à courant continu

Dans notre projet nous avons utilisé du moteur à forte puissance (figure (III.22))



**Figure III-22:** Moteur à courant continu utilisé dans ce projet (vérin)

Dans cette partie, nous avons présenté les différents éléments constitutifs du dispositif que nous sommes amenés à réaliser qui permet d'optimiser les performances d'un panneau **PV** classique et d'assurer le bon fonctionnement de celui à concentrateurs, en faisant en sorte que les rayons solaires y soient perpendiculaires.

Dans la partie qui suit, nous allons avec les détails les étapes de réalisation de notre suiveur.

Après avoir décrit la partie matérielle de notre système, nous sommes arrivés à la partie la plus importante de notre mémoire qui est la conception et la réalisation du système de poursuite. Notre réalisation se décompose en quatre parties principales :

- Partie programmation;
- Partie simulation;
- Partie électrique ;

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

### III.5 Partie programmation

#### III-5-1 L'organigramme

Avant de passer à la programmation, nous devons réaliser un organigramme qui explique le déroulement des différentes séquences, tant intérieures qu'extérieures (Figure (III.23)), il comportera plusieurs boucles dont la fin d'exécution succède toujours à son commencement.

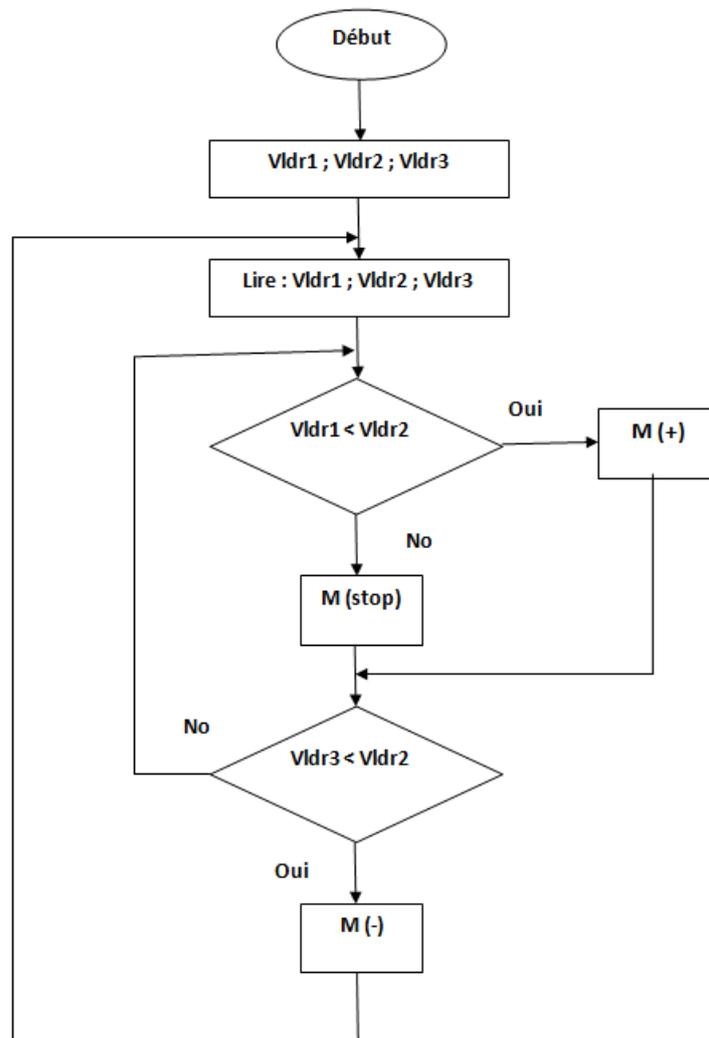
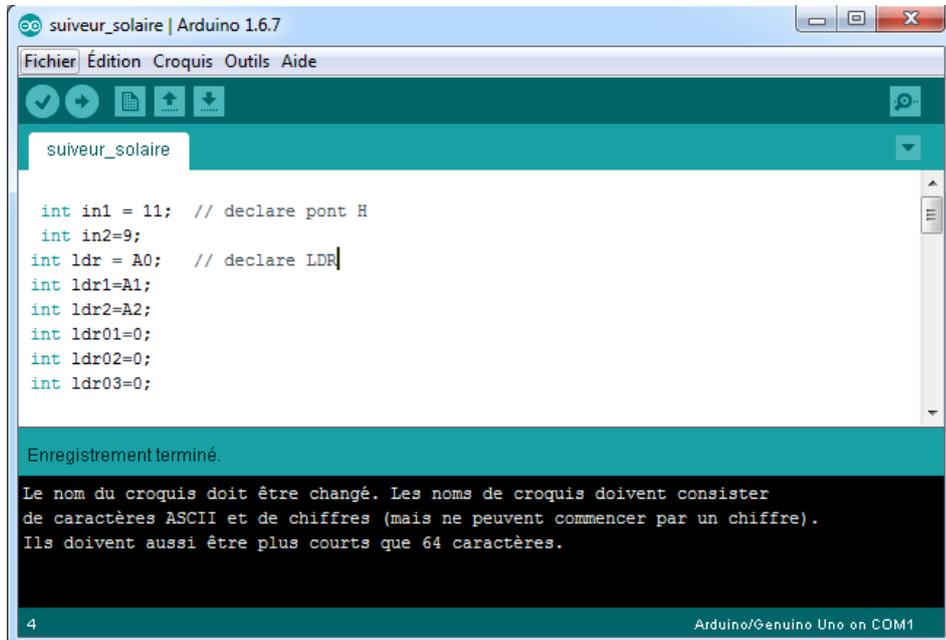


Figure III-23: Organigramme principal

### III.5.2 Programmation

La carte Arduino Uno est une carte programmable, elle peut être programmée avec le logiciel Arduino représenté dans la figure (III.23).



```

suiueur_solaire | Arduino 1.6.7
Fichier Édition Croquis Outils Aide
suiueur_solaire

int in1 = 11; // declare pont H
int in2=9;
int ldr = A0; // declare LDR
int ldr1=A1;
int ldr2=A2;
int ldr01=0;
int ldr02=0;
int ldr03=0;

Enregistrement terminé.

Le nom du croquis doit être changé. Les noms de croquis doivent consister
de caractères ASCII et de chiffres (mais ne peuvent commencer par un chiffre).
Ils doivent aussi être plus courts que 64 caractères.

4 Arduino/Genuino Uno on COM1

```

Figure III-24 : Interface du logiciel Arduino.

### III-5 -3 Partie simulation

La simulation de notre montage globale a été fait à l'aide du logiciel **PROTEUS\_ISIS** qui permet de tester et récupérer en temps réel les résultats de la simulation. La figure (III.25) montre notre montage simulé

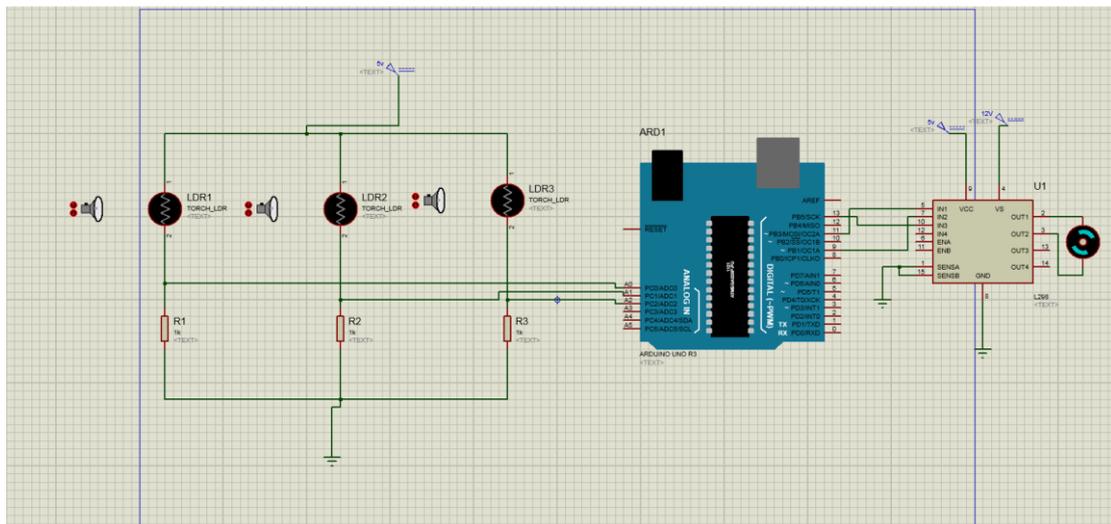


Figure III-25: Montage du système sous Proteus.

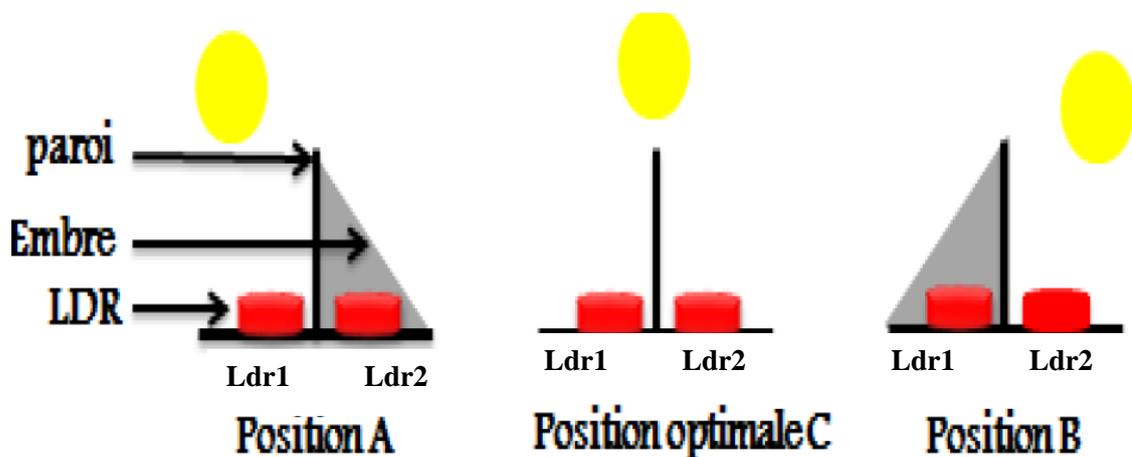
**III-5-4: Partie électrique :**

Le principe utilisé pour le capteur plan repose sur l'exploitation du déséquilibre créé entre les deux cellules séparées par une paroi opaque. La résistance **LDR** varie sa résistance en fonction de l'éclairement ainsi une paroi de **LDR** montrée sur la Figure ( III-26)

nous permet de poursuivre le mouvement du soleil selon l'ombrage produit par la paroi qui est séparée.

Les **LDR** envoient un signal électrique à la carte conditionnement qui fait l'interfaçage entre **LDR** et le **Arduino**

- Arduino lit la tension borne de LDR et compare la tension



**Figure III-26:** Fonctionnement des capteurs embarqués

**Position A :**  $V_{ldr1} < V_{ldr2}$        $\Rightarrow$       **Moteur marche**

**Position B :**  $V_{ldr2} < V_{ldr1}$        $\Rightarrow$       **Moteur marche**

**Position C :**  $V_{ldr1} = V_{ldr1}$        $\Rightarrow$       **Moteur Arrête**

Nous avons LDR3 responsable de retour de moteur à position 0 À fixer et en tube Et vers l'Ouest.

$V_{ldr3} < V_{ldr2}$        $\Rightarrow$       **Moteur marche sens inverse (-)**

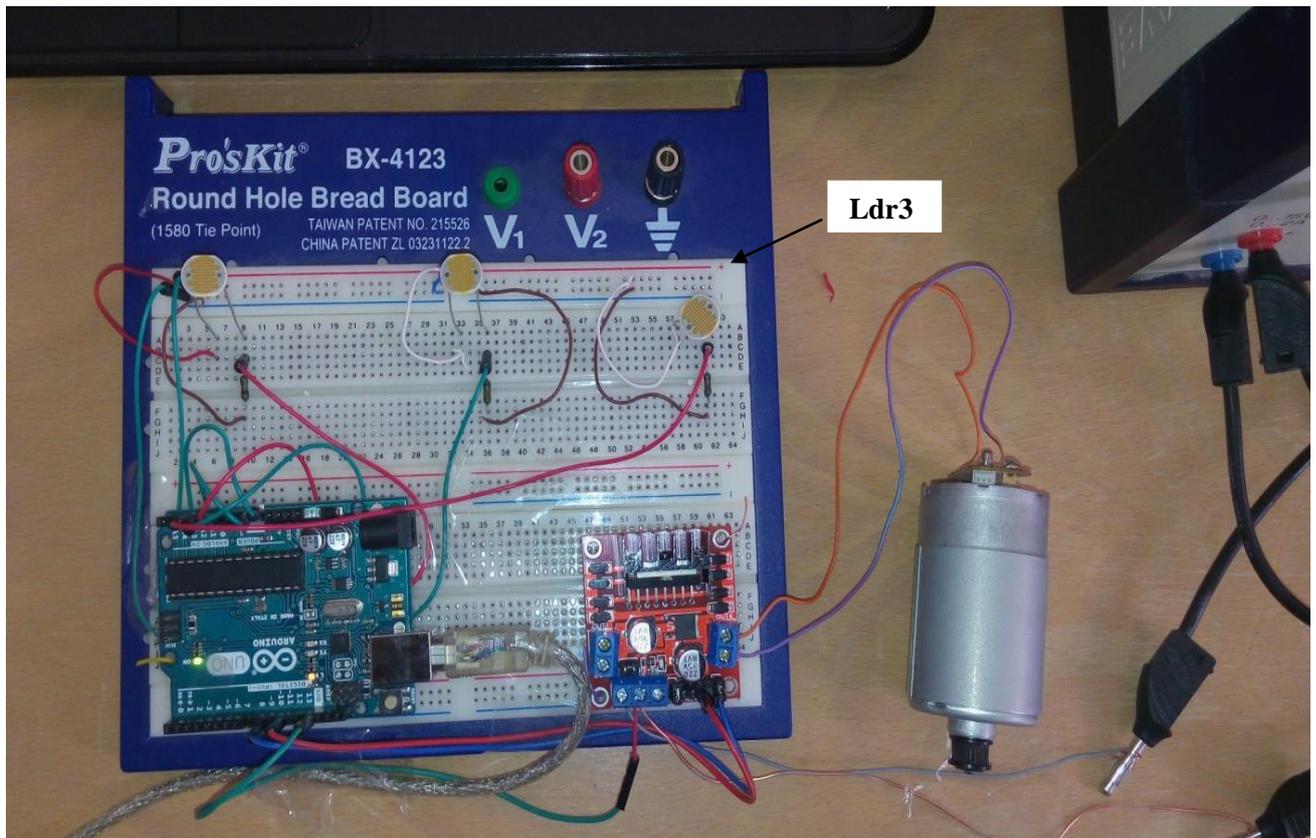


Figure III-27: le circuit réalisé



**Figure III-28** : le panneau solaire avec le suiveur

### **Conclusion**

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

## Conclusion générale

Le travail présenté dans ce projet porte sur «étude et simulation du suiveur solaire » à l'aide des composants électroniques programmable gérés par un microcontrôleur (Arduino).

Pour faciliter la réalisation, le module est en première lieu simulé sous logiciel ' ' proteus isis ' ', puis réaliser sur maquette électronique.

Le but de ce travail réside dans la mise en œuvre d'une solution technique permettant de transformer un panneau photovoltaïque fixe en un panneau mobile afin d'améliorer son rendement

Ce projet de fin d'études était pour nous l'occasion précieuse de faire un travail multidisciplinaire, associant l'instrumentation, l'électronique, l'automatique la programmation et les énergies renouvelables

Nous avons utilisé ce travail (L298N) qui est un contrôleur de mouvement et de la vitesse de moteur. Il actionne le moteur par l'exécution des ordres qu'il reçoit de l'Arduino.

Dans ce travail, la partie simulation sous proteus a bien fonctionné, aussi le circuit réduit a aussi fonctionné au laboratoire, par contre, lors de la réalisation finale et branchement du moteur du vérin, le module électronique est grillé sans pouvoir déceler la cause faute de l'absence d'une fiche technique explicative du fournisseur.

A ce stade, et vue la limite du temps, le projet a pris fin.

On espère que le travail aura une continuité pour pouvoir résoudre le problème d'utilisation de ce module ou son remplacement.

## Références Bibliographiques

- [1] J.BELLALA, « Contribution à l'optimisation des systèmes de conversion d'énergie : Application aux systèmes photovoltaïques », thèse de Doctorat en science, faculté des sciences de l'ingénieur, Département Génie industriel, Université de BATNA, 2008, 163p.
- [2] True Thomas B. Greenslade, Jr., « Heliostats », Jules-Célestin Jamin — « Cours de physique de l'École polytechnique. Tome 3 - Fasc. 2 » Gauthier-Villars et fils (Paris) - 1885-1906
- [3] les energie ronouvelables , les bases ,la technologier et le potentiel au sénégál PERACOD DAKAR ,AVRIL ,2011
- [4] Mlle BENMOHAMMADI Zahra Mémoire de fin d'étude « master » « Etude, conception et réalisation d'une commande d'un tracker solaire (suiveur solaire) ». Université Sidi Mohammed Ben Abdellah 2013/214
- [5] Energie solaire photovoltaïque.doc / B. Flèche - D. Delagnes / juin 07
- [6] National Renewable Energy Laboratory (NREL) 2013 International Renewable Energy
- [7] Cédric CABAL, "Optimisation énergétique de l'étage d'adaptation électronique dédié à la conversion photovoltaïque.", UNIVERSITE TOULOUSE III – PAUL SABATIER U.F.R. Physique Chimie Automatique.
- [8] Ahmed azi ala eddine contribution au développement s'un outil d'aide au diagnostic de performances des MPPT dans la chaine de conversion photovoltaïque ; option commande des systemes electro energ étiques 15/12/2014
- [9] D. Sera, T. Kerekes, R. Teodorescu, F. Blaadbjerg, "Improved MPPT Algorithms for rapidly Changing Environmental Conditions", Power Electronics and Motion Control Conference, 2006, EPE-PEMC 2006. 12th International, pp. 1614-1619, Aug. 2006.
- [10] T. ESRAM, P. L. Chapman, "Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques", IEEE Transactions On, Energy Conversion, Vol. 22, pp. 439-449, Jun. 2007.
- [11] L. M. Fraas, V. Sundaram, P. Gruenbaum, M. Kuryla, D. Pietila, and A. Thompson, "Tandem gallium concentrator solar cells : 1922 review", Eleventh European Photovoltaic Solar Energy Conference, pp. 135-141, 1992.
- [12] T. Bendib, B. Barkat, F. Djeflal, N. Hamiaet A. Nidhal Commande automatique d'un système de poursuite solaire à deux axes à base d'un microcontrôleur PIC16F84A Revue des Energies Renouvelables Vol. 11 N°4 (2008) 523 – 532
- [13] Dossier Technique Panneau solaire asservi , Société DMS - Département STI Copyright DMS 2007

[14] Bouzian rabeah , dokkar ayoub ; Conception et Réalisation d'un Suiveur Solaire Bi-axial à Base De capteurs de lumière Université Kasdi merbah ouargla2016

[15] <http://f5zv.pagesperso-orange.fr/RADIO/RM/RM24/RM24B/RM24B10.html>  
01/05/2017 14 :15

[16] <http://www.pobot.org/+-phototransistor+.html> 01/05/2017 14 :39

[17] N. Aouchiche, M.S. Aït Cheikh et A. Malek Poursuite du point de puissance maximale d'un système photovoltaïque par les méthodes de l'incrémentation de conductance et la perturbation & observation Revue des Energies Renouvelables Vol. 16 N°3 (2013) 485 – 498

[18][http://www.mon-club-elec.fr/pmwiki\\_reference\\_arduino/pmwiki.php?n=Main.MaterielUno](http://www.mon-club-elec.fr/pmwiki_reference_arduino/pmwiki.php?n=Main.MaterielUno) 13/05/2017 14 :21

[19]<http://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/solaire-thermodynamique-concentration> 17/05/2017 23 :33

[20] cour centrale solaire Filière : Electrotechnique ; Faculte de science et de la technologie département de génie électrique , Filière : Electrotechnique, Université Mohamed khider de Biskra 2015-2015