

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

FACULTE DE LA NOUVELLE TECHNOLOGIE DE L'INFORMATION ET DE LA COMMUNICATION

DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE ET DES TELECOMMUNICATIONS



Mémoire MASTER PROFESSIONNEL

Filière : Electronique
Spécialité : Instrumentation pétrolière.

Présenté par :

✓ BOUZIANE RABEH

✓ DOKKAR AYOUB

Thème

Conception et Réalisation d'un Suiveur Solaire Bi-axial à Base De capteurs de lumière

Soutenu publiquement

le : 29 / 05 / 2016

Devant le jury :

Mr.	Benhlal Belkhir	MAA	Présidente	Université Kasdi Merbah Ouargla
Mme.	Souri Samira	MAA	Examineur	Université Kasdi Merbah Ouargla
Mr.	Abdessemed Djalel	MAA	Examineur	Université Kasdi Merbah Ouargla
Mr.	Rachedi Med Yacine	MAA	Rapporteur	Université Kasdi Merbah Ouargla

Année Universitaire:2015 /2016

Remerciement

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

Ainsi, nous remercions notre promoteur monsieur RACHEDI Med Yacine pour son soin exceptionnel et conseils judicieux.

Nous remercions Tous les enseignants du notre département, qui ont assurés notre formation durant tout cycle d'étude.

Enfin, nous remercions tous ceux qui nous ont aidé à accomplir notre travail, de près comme de loin.

Dédicas

*Je dédie ce modeste travail à ceux qui sont la source de mon
inspiration et mon courage.*

*A ma très cher mère, qui ma donne toujours l'espoir de vivre
et qui n'a jamais cessé de prier pour moi.*

*A mon très cher père, pour ses encouragements et son soutien,
Et surtout pour son sacrifice afin que rien n'entrave
le déroulement de mes études.*

A mes chers frères

A mes sœur

A tous mes amis

AYOUB

Dédicas

*Je dédie ce modeste travail à ceux qui sont la source de mon
inspiration et mon courage.*

*A ma très cher mère, qui ma donne toujours l'espoir de vivre
et qui n'a jamais cessé de prier pour moi.*

*A mon très cher père, pour ses encouragements et son soutien,
Et surtout pour son sacrifice afin que rien n'entrave
le déroulement de mes études.*

A mes chers frères

A mes sœur

A tous mes amis

RABEH

Sommaire

Sommaire

Sommaire	I
Liste des figures	III
Liste des tableaux	V
Nomenclature	VI
Introduction générale	3
Chapitre 1	5
I.1 Introduction	6
I.2 Mouvement du Globe terrestre	6
I.3 Spécification du site de Ouargla	7
I.4 Le rayonnement solaire	7
I.4.1 Types de rayonnements	7
I.4.1.1 Rayonnement direct	7
I.4.1.2 Rayonnement diffus	7
I.4.1.3 Rayonnement global	7
I.4.2 Rayonnement en Algérie	8
I.5 La cellule photovoltaïque	9
I.5.1 Définition et principe	9
I.5.2 Le rendement d'un panneau photovoltaïque	12
I.6 Etat de l'art des techniques de suivi	15
I.6.1 Les premières utilisations	16
I.6.2 Les types des suiveurs solaires	17
I.7 Conclusion	18
Chapitre 2	19
II.1 Introduction	20
II.2 Schéma synoptique	20
II.3 Etude des différents blocs	20
II.3.1 Les capteurs de lumière	20
II.3.2 Le circuit de commande	22
II.3.3 Circuit de puissance L293D	24
II.3.4 Les moteurs CC	25
II. 5 Conclusion	27
Chapitre 3	28

III.1 Introduction	29
III.2 Partie programmation	29
III.2.1 L'organigramme	29
III.2.2 Programmation	30
III.3 Partie simulation	31
III.4 Partie électrique	32
III.5 Partie mécanique	34
III.5 .1 Description de la structure	34
III.5.2 Orientation de l'axe horizontal (élévation) et l'axe vertical (l'azimute)	35
III.6 Validation expérimentale de notre suiveur	36
III.7 Conclusion	37
Conclusion Générale	39
Bibliographie	41
Annexe 1	44

Liste des figures**Chapitre I**

<i>Figure I.1 Variation saisonnière du rayonnement solaire</i>	6
<i>Figure I.2 Composantes du rayonnement global sur une surface inclinée</i>	8
<i>Figure I.3 les différentes zones énergétiques dans l'Algérie</i>	8
<i>Figure I.4 Centrale solaire photovoltaïque</i>	9
<i>Figure I.5 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque</i>	10
<i>Figure I.6 Circuit équivalent de la cellule photovoltaïque</i>	10
<i>Figure I.7 Cellule PV à concentration, rayons parallèles et réfléchis au foyer f</i>	12
<i>Figure I.8 Rendement pour différents types de technologies au cours des années</i>	12
<i>Figure I.9 Dépendance des performances d'un panneau PV de l'angle β</i>	13
<i>Figure I.10 Rendement en puissance solaire exploitée en fonction de l'angle β des rayons solaires</i>	14
<i>Figure I.11 Représentation de l'angle d'inclinaison θ</i>	14
<i>Figure I.12 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.</i>	15
<i>Figure I.13 modèle d'un héliostat dans ses premières applications</i>	16
<i>Figure I.14 champ d'héliostat -centrale solaire Thémis France.</i>	16
<i>Figure I.15 Types de suiveurs solaires</i>	17
<i>Figure I.16 Exemple et fonctionnement du suiveur passif</i>	17
<i>Figure I.17 Exemple et fonctionnement du suiveur actif</i>	18
Chapitre II	
<i>Figure II.1 Schéma synoptique</i>	20
<i>Figure II.2 Photo – Photorésistance LDR</i>	21
<i>Figure II.3 Circuit équivalent du capteur LDR utilisé</i>	21
<i>Figure II.4 Schéma du prototype des quatre capteurs LDR</i>	22
<i>Figure II. 5 La carte Arduino uno</i>	23
<i>Figure II. 6 Cable USB type A/B (Arduino UNO)</i>	23
<i>Figure II. 7 fils de pin d'arduino</i>	24
<i>Figure II. 8 plaque d'essai</i>	24
<i>Figure II.9 représentation du circuit intégré L293D à double pont en H</i>	25

<i>Figure II.10 Variation de sens du moteur par pont en H</i>	25
<i>Figure II. 11 principe de fonctionnement de moteur courant continu</i>	25
<i>Figure II.12 moteur courant continu utilisé dans ce projet</i>	26
<i>Figure II.13 le relai utilise</i>	26
Chapitre III	
<i>Figure III.1 Organigramme Principal</i>	30
<i>Figure III.2 Interface logiciel Arduino</i>	31
<i>Figure III.3 Montage de système sous proteus.</i>	31
<i>figures III.4 Réalisation en utilisant les LEDs</i>	32
<i>figures III.5 Réalisation avec petite moteurs a courant continue</i>	32
<i>figures III.6 Schéma du prototype des capteurs.</i>	33
<i>Figures III.7 Réalisation sur maquette avec les moteurs puissants (à vide)</i>	33
<i>figures III.8 schéma de fonctionnement du suiveur</i>	34
<i>Figures III.9 structure mécanique réalisée</i>	35
<i>figures III.11 moteur de contrôle d'azimut</i>	36
<i>figures III.12 moteur de contrôle d'élévation</i>	36
<i>Figures III.12 Panneau suiveur avec d'autres panneaux dans différentes positions</i>	37
<i>Figures III.13 Comparaison du rendement du panneau dans différentes positions</i>	37
Annexe 1	
<i>Figure A1.1 La résistance en fonction du flux de lumière (en lux)</i>	44
<i>Figure A1.2 Dimensions en (mm) du capteur LDR</i>	44
<i>Figure A1.3 Réponse spectrale du capteur LDR</i>	45

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1 Spécifications du site de Ouargla

page 7

Chapitre II

Tableau II.1 les alimentations utilisé

page 27

Nomenclature

Wh : Watt-heure (énergie consommée)

PV : Photovoltaïque

PEP: puissance électrique produite par le panneau PV

PSR : puissance solaire reçue par le panneau

L: Longitude

δ : Déclinaison solaire

φ : Latitude

Az : Angle Azimut

α : Angle d'altitude

ω : Angle horaire

θ_z : Angle de zénith

Ts : Temps solaire

TU: Temps universel

TL: Temps légal

Ts : Temps solaire)

RN : rendement

CCD : Charge Coupled Device

CMOS : Complementary Metal Oxide Semiconductor

LDR : light-dependent resistor

PIC: Peripheral Interface Contrôler

CC: Courant Continu

Mcc :Moteur à courant Continu

Hg : Capteur Haut gauche

Hd : Capteur Haut droit

Bg : Capteur Bas gauche

Bd: Capteur Bas droit

M1 :moteur 1

M2 moteur 2

Tr :Tolérance

Mh : moyenne haut

Mb: moyenne bas

Mg :moyenne gauche

Md :moyenne droit

Mt :moyenne total

Dvert: différence vertical

Dhoriz: différence horizontal

M(1,2) =0 : stop moteur

Sens 1 : Droit

Sens2 :gauche

Introduction générale

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 1m^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], [3].

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 [4].

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 dans lequel on va parler sur le rayonnement solaire, généralité sur le photovoltaïque et les suiveurs solaires.
- Le second chapitre porte sur la matérialisation du dispositif expérimental.
- Le troisième chapitre sera consacré à la conception et la réalisation du système de poursuite.

Pour la validation de notre travail, l'instrument qu'on a développé sera utilisé par les collègues d'Electrotechnique pour l'amélioration du rendement du panneau solaire. Les résultats obtenus seront présentés dans le troisième chapitre.

Enfin, on finalise notre travail par une conclusion générale et perspectives au future.

Chapitre 1

I.1 Introduction

L'énergie solaire photovoltaïque est une énergie électrique renouvelable, produite par les rayonnements du Soleil. La production de cette énergie peut se faire grâce aux cellules photovoltaïques, composant électrique qui, exposé à la lumière, produit de l'électricité en quantité proportionnelle à la puissance lumineuse incidente.

Dans ce chapitre, nous commençons par la présentation de quelques notions générales. Commençant par le mouvement du Globe terrestre et petit spécification du site de Ouargla, ensuite Le rayonnement solaire, puis en va parler un peut sur le photovoltaïque et on finalise ce chapitre par un état de l'art des techniques de suivi solaire.

I.2 Mouvement du Globe terrestre

La terre décrit autour du soleil une orbite elliptique quasi circulaire avec une période de 365,25 jours. Le plan de cette orbite est appelé plan de l'écliptique. C'est au solstice d'hiver (21 Décembre) que la terre est la plus proche du soleil, et au solstice d'été (22 Juin) qu'elle en est la plus éloignée.

La terre tourne sur elle-même avec une période de 24h. Son axe de rotation (l'axe des pôles) a une orientation fixe dans l'espace. Il fait un angle $\delta = 23^{\circ}27'$ avec la normale au plan de l'écliptique[5].

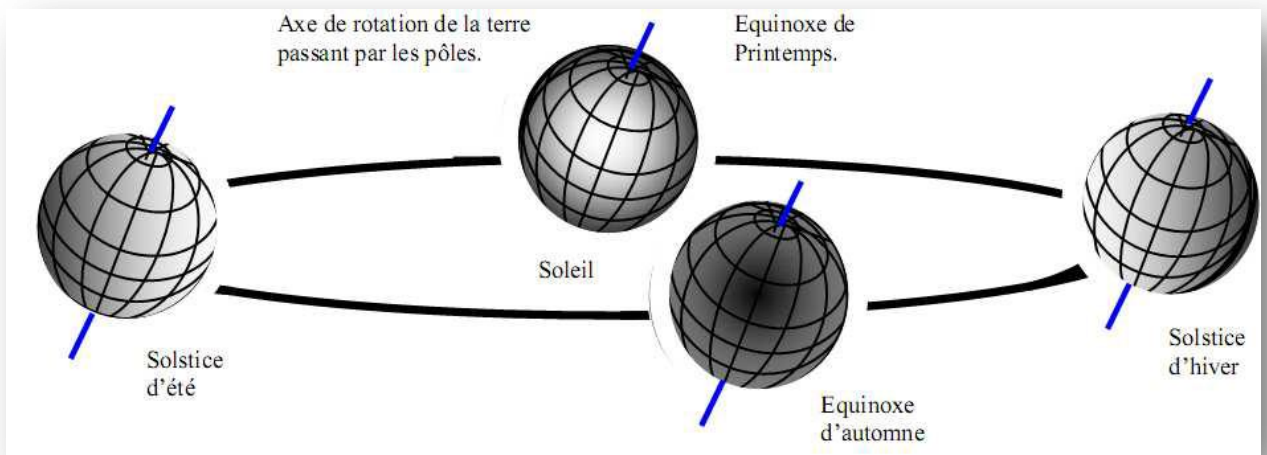


Figure (I.1) : Variation saisonnière du rayonnement solaire[5].

I.3 Spécification du site de Ouargla

Pour le site de Ouargla, les spécifications sont données par les grandeurs météorologiques suivantes [6]:

Tableau (I.1) : Spécifications du site de Ouargla.

Latitude : 31°57'N	Longitude : 5°24'E
Altitude : 141m	Albédo : 0.35

I.4 Le rayonnement solaire

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

I.4.1 Types de rayonnements

I.4.1.1 Rayonnement direct

Le rayonnement solaire direct se définit comme étant le rayonnement provenant du seul disque solaire. Il est donc nul lorsque le soleil est occulté par les nuages[5].

I.4.1.2 Rayonnement diffus

Dans sa traversée de l'atmosphère, le rayonnement solaire est diffusé par les molécules de l'air et les particules en suspension. Le rayonnement solaire diffus n'est donc nul que la nuit[5].

I.4.1.3 Rayonnement global

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

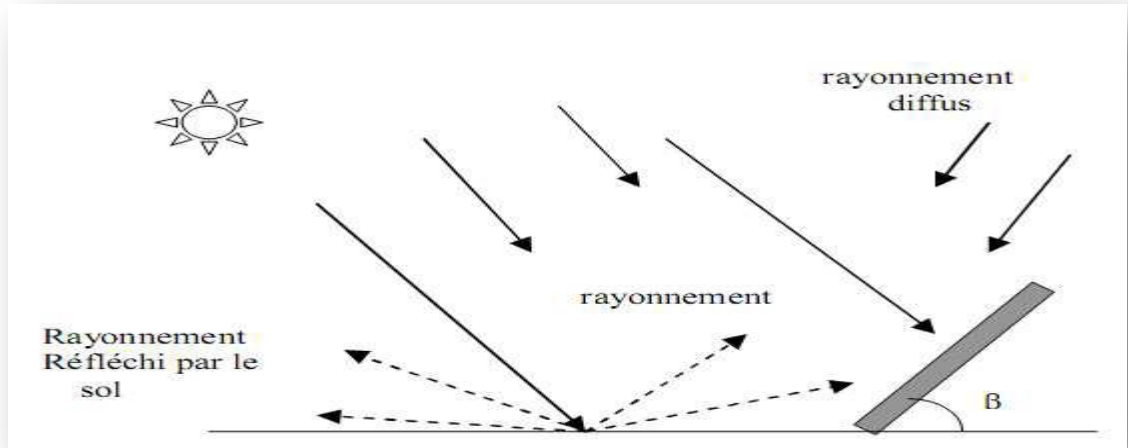


Figure (I.2) : Composantes du rayonnement global sur une surface inclinée[5]

I.4.2 Rayonnement en Algérie

L'Algérie possédant un gisement solaire important, de part son climat, la puissance solaire maximale en tout point de notre pays est d'environ 1Kw/m^2 . L'énergie journalière maximale moyenne (ciel clair, mois de Juillet) dépasse les 6Kw/m^2 et l'énergie annuelle maximale en Algérie est de l'ordre de 2500 Kw/m^2 [7]. La carte ci-dessous représente les différentes zones énergétiques de l'Algérie.

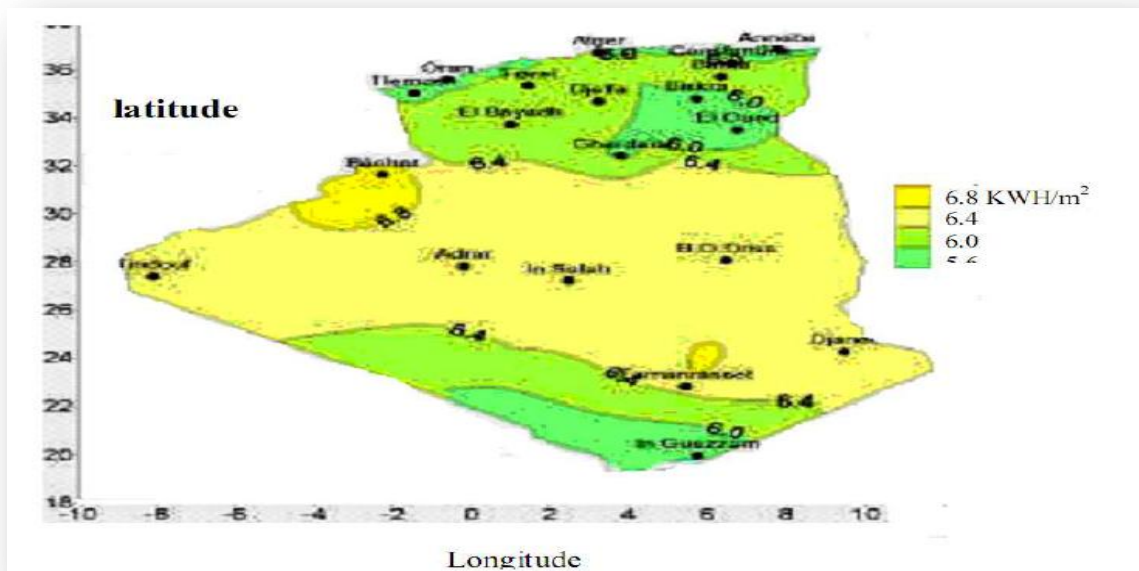


Figure (I.3) les différentes zones énergétiques dans l'Algérie[8]

I.5 La cellule photovoltaïque

I.5.1 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[9] (Figure (I.4)).



Figure (I.4) : Centrale solaire photovoltaïque[10]

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 ces paires formées dépend de l'énergie des photons incidents et du matériau utilisé [9].

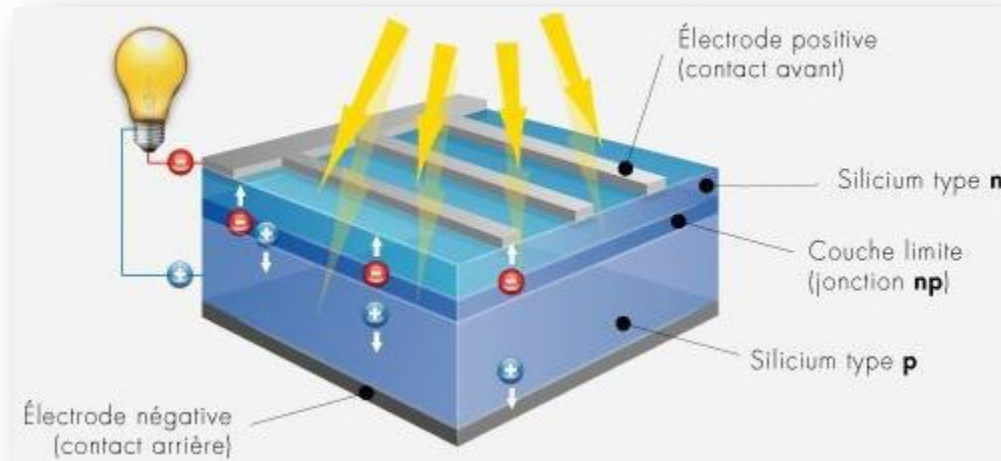


Figure (I.5) Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque[9].

Une cellule photovoltaïque est généralement représentée par le modèle électrique de la figure (I.6). Il est constitué d'une source de courant, I_{ph} , 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_s 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[9].

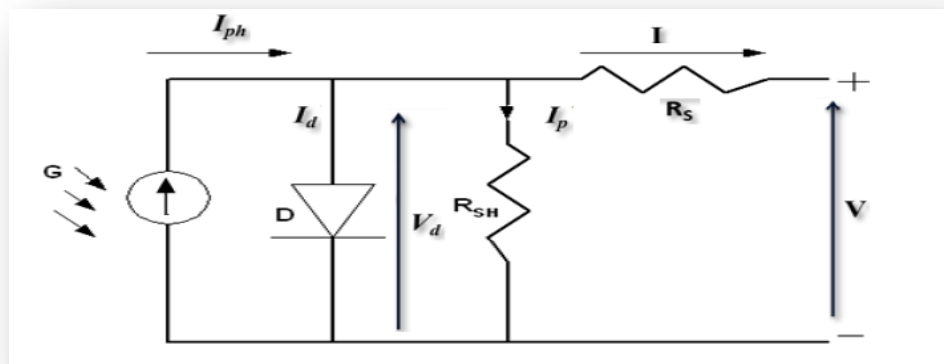


Figure (I.6) : Circuit électrique équivalent de la cellule photovoltaïque [9]

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

$$I = I_{ph} - I_d - I_p \quad (I.1)$$

Avec

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

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

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

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

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

$$I_{ph} = (I_{CC} + K_i . \Delta T) . \frac{G}{G_{ref}} \quad (I.4)$$

et $\Delta T = T - T_{ref}$

où :

I_s	le courant de saturation,
I_0	le courant inverse,
V_t	est la tension thermique,
k	la constante de Boltzmann,
K_i	Coefficient d' I_{CC} ,
T	la température effective de la cellule en Kelvin,
q	la charge de l'électron ($q = 1,6.10^{-19}$ C),
E_g	l'éclairage de référence,
n	le facteur de non idéalité de la jonction,
I	le courant fourni par la cellule,
V	la tension aux bornes de la cellule,
I_{CC}	le courant de court-circuit de la cellule dépendant de l'éclairement et de la température,
R_p	la résistance shunt caractérisant les courants de fuite de la jonction,
R_s	la résistance série représentant les diverses résistances des contacts et de connexions.
G_{ref}	l'éclairage de référence,
G	l'éclairement sur la cellule W/m^2

L'évocation de la cellule PV et la représentation de son schéma équivalent nous mène à préciser que dans une installation PV à concentrateurs les rayons solaires doivent être perpendiculaires comme illustré dans la figure ci-dessous, d'où l'obligation de l'utilisation d'un suiveur solaire[9].

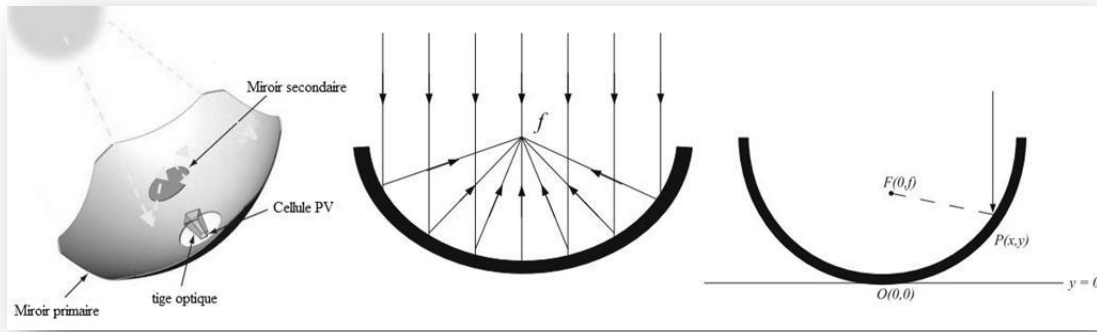


Figure (I.7) : Cellule PV à concentration, rayons parallèles et réfléchis f [9]

1.5.2 Le rendement d'un panneau photovoltaïque

■ 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) [11].

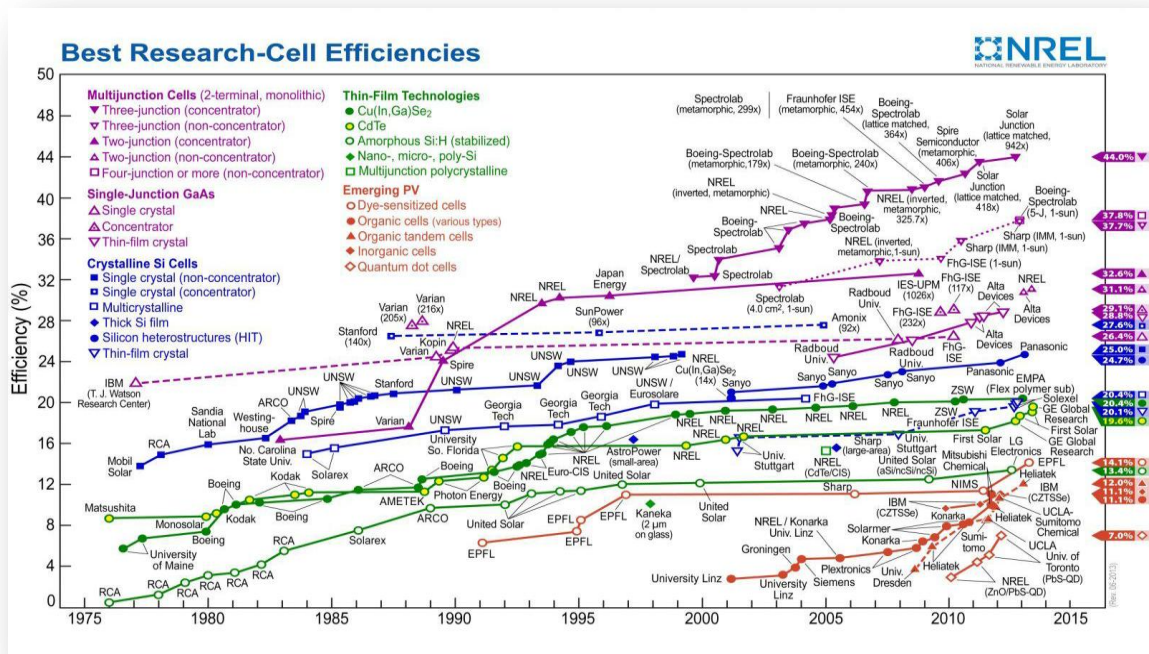


Figure (I.8) : Rendement pour différents types de technologies au cours des années [11]

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).

▪ Positionnement

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 solaires[9] (Figure (I.9)).

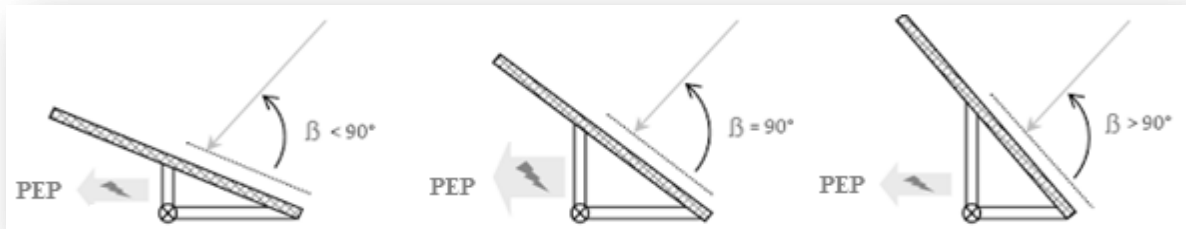


Figure (I.9) : Dépendance des performances d'un panneau PV de l'angle β [9]

Avec : β l'angle formé entre le plan du panneau et les rayons lumineux incidents, l'angle optimal correspond à un angle de 90° comme indiqué dans la figure (I.10).

Chaque fois que cet angle diminue ou augmente, la surface (m^2) 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 [9].

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

$$RN = \sin(\beta) \times 100 \quad (I.5)$$

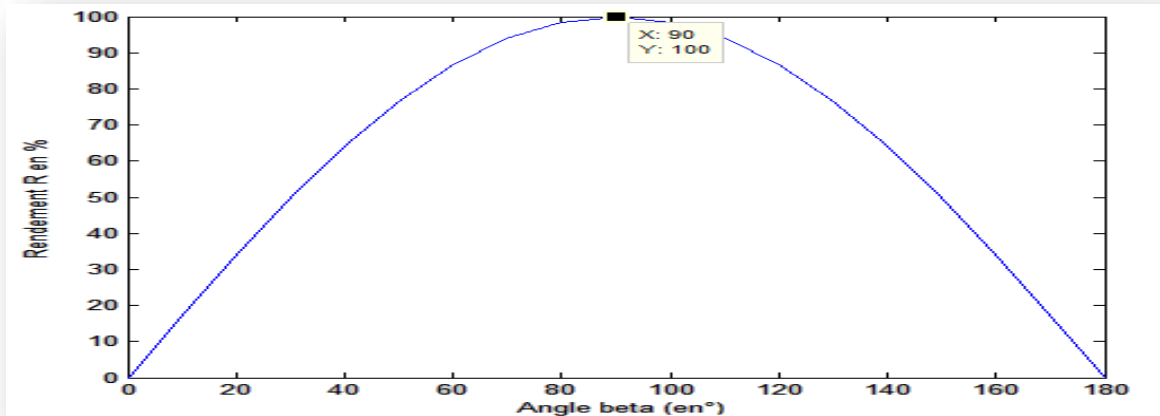


Figure (I.10) Rendement en puissance solaire exploitée en fonction de l'angle β des rayons solaires [9].

▪ Positionnement (angle d'inclinaison)

Un autre facteur qui influence sur les performances du panneau PV est l'angle d'inclinaison, qui correspond à l'angle formé par le plan du panneau solaire par rapport à l'horizontale (le plan du sol).



Figure (I.11) Représentation de l'angle d'inclinaison θ [9].

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.

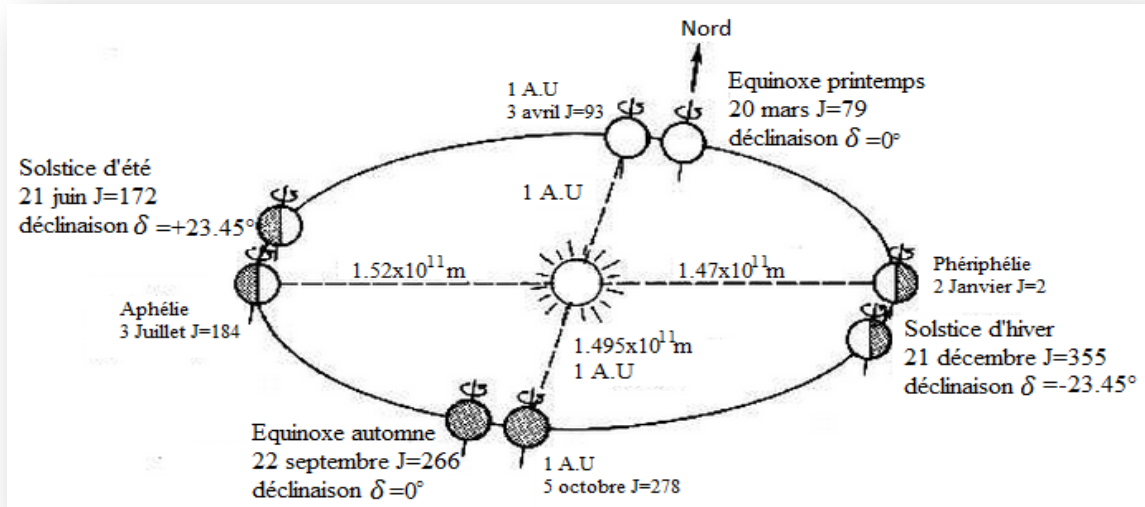


Figure (I.12) : Représentation des équinoxes et solstices et l'inclinaison de l'axe de rotation de la terre par rapport à son plan de translation autour du soleil[9].

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 [9].

I.6 Etat de l'art des techniques de suivi

Les panneaux photovoltaïques classiques (PV) ne sont généralement pas équipés de suiveur solaire et sont placés dans une inclinaison et une orientation fixes et bien déterminées selon le site d'installation et les conditions d'ensoleillement. Afin d'augmenter le rendement du panneau PV, on l'enrichit avec une structure portante

ayant deux degrés de liberté en rotation commandée par un algorithme de poursuite solaire[9].

I.6.1 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 (I.13)). 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 [4]. 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 appelés 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 [12].

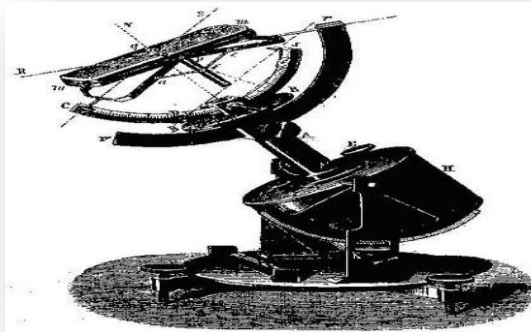


Figure (I.13) : Modèle d'un héliostat dans ses premières applications[4]



Figure (I.14) : Champ d'héliostat -centrale solaire Thémis France.

I.6.2 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 (I.15)).

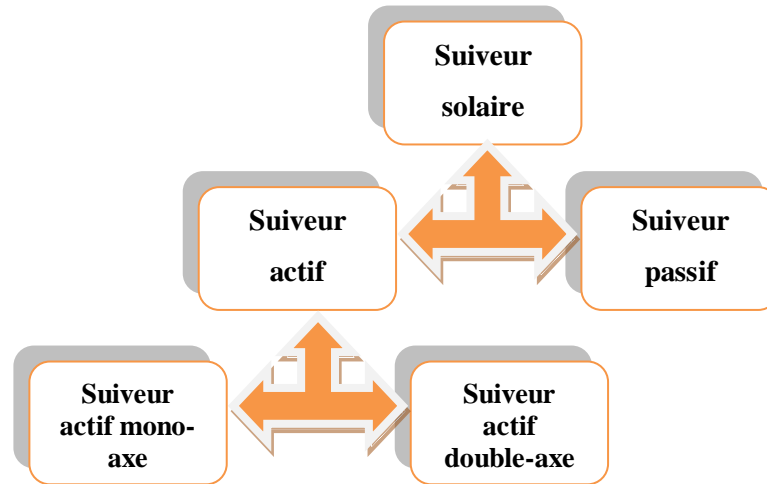


Figure (I.15) : Types de suiveurs solaires

Le premier type des suiveurs passifs est constitué dans son architecture de deux tubes en cuivre montés sur les côtés Est et Ouest du panneau PV. Le tube de matière cuivre (entouré dans la figure I.16) est rempli de fluides chimiques capable de se vaporiser à basse température. En effet, lorsque l'exposition au rayonnement solaire augmente la température d'un côté du panneau, le composé dans le tube en cuivre se vaporise[13]. La partie gazeuse du composé occupe un plus grand volume interne, et sa partie liquide est décalée vers le côté ombragé. Cette opération de transfert de masse ajuste l'équilibre du panneau PV en le faisant tourner vers la source des rayons solaires. Ce type de suiveur ne consomme aucune énergie pour le repositionnement du panneau.

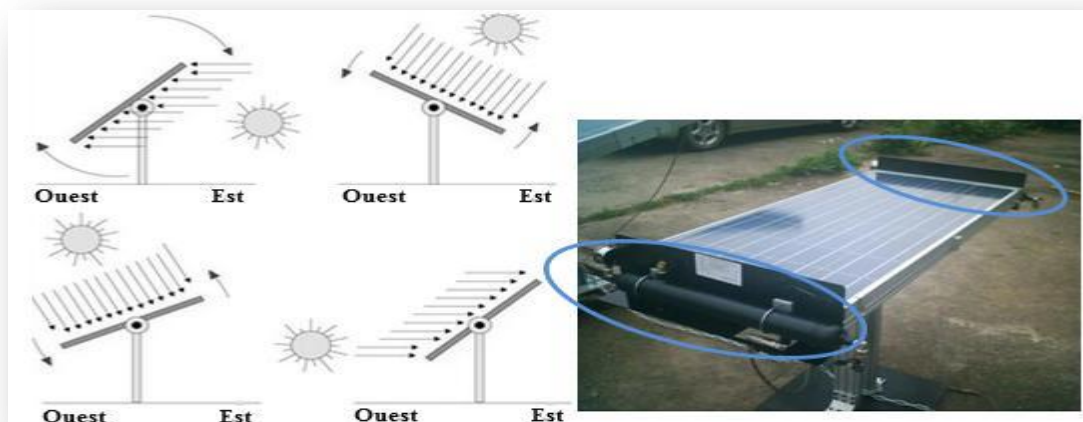


Figure (I.16) : Exemple et fonctionnement du suiveur passif [13]

Les suiveurs solaires actifs utilisent le principe de la détection de lumière, suivant la trajectoire solaire en cherchant à optimiser au maximum l'angle d'incidence du rayonnement solaire sur leur surface. Il existe deux types dans cette famille : les suiveurs mono-axe et double axe. L'avantage de ces derniers par rapports aux suiveurs passifs c'est qu'ils représentent une meilleure précision de suivi et ne nécessitent aucune intervention manuelle pour les ajuster [9].

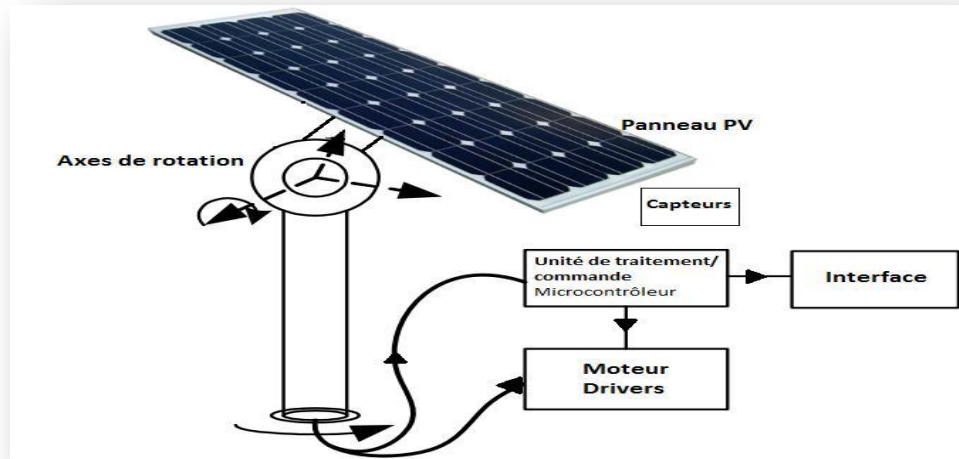


Figure (I.17) : Exemple et fonctionnement du suiveur actif [14]

I.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons démontré la nécessité de déterminer avec exactitude les trajectoires empruntées par le soleil, de manière à définir la meilleure façon avec laquelle sera effectué le suivi automatique. Nous avons aussi présenté un état de l'art sur les méthodes de suivi. Un intérêt particulier a été porté à la technique de suivi active ou asservi reposant sur le principe du repérage via des capteurs de lumière. C'est cette technique qu'on a adoptée et qui va être étudiée en vue d'une réalisation matérielle.

Dans le chapitre qui suit, nous allons parler sur le choix du matériels et les dispositifs utilisés afin de réaliser notre suiveur.

Chapitre 2

II.1 Introduction

Dans ce chapitre, on présentera une vue d'ensemble du dispositif expérimental que nous avons réalisé «**Suiveur Solaire Bi-axial à Base de capteurs de lumière**».

Ce système suiveur est constitué d'une partie mécanique qui sert à supporter le panneau et le diriger vers le rayonnement perpendiculaire du soleil et également une partie électronique constituée des capteurs solaires, une carte microcontrôleur « Arduino » et des moteurs électriques.

II.2 Schéma synoptique

La figure (II.1) présente 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 délivrer par des capteurs photovoltaïque et envoyer ces tension ver la carte microcontrôleur « Aduino ». Elles vont être converti dans cette dernière en valeur numérique puis on fait la comparaison et gère la commande des deux moteurs à fin de rétablir la position d'équilibre entre les capteurs pour avoir un grand rendement.

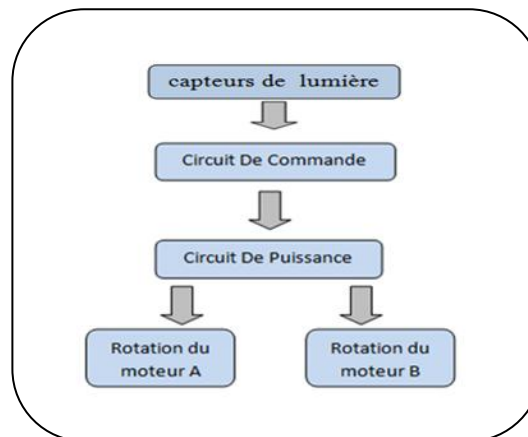


Figure (II.1) : Schéma synoptique.

II.3 Etude des différents blocs

II.3.1 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[15]. 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 (caractéristiques : annexe I).

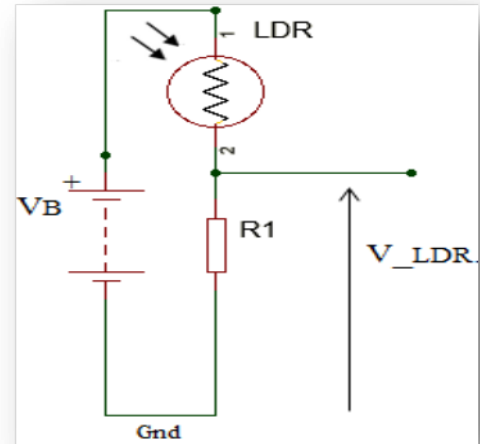


Figure (II.2) : Photo – Photorésistance LDR

Figure (II.3) : Circuit équivalent du capteur LDR

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

$$V\text{-LDR} = \frac{V_B \times R_1}{R\text{-LDR} + R_1} \quad (\text{II.1})$$

où : V_B : tension batterie (V)

$R\text{-LDR}$: résistance de la LDR (Ω)

- **suiveur mono-axe**

En partant du principe général précédent, on retrouve le suiveur mono-axe qui permet une rotation selon l'axe d'azimut seulement, et qui est le plus souvent utilisé en raison de sa simplicité.

- **suiveur double axe**

Le principe est le même pour le suiveur mono axe, il est basé sur la différence d'éclairement des quatre LDRs.

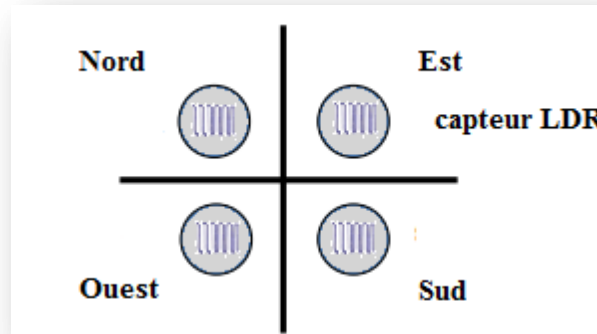


Figure (II.4) : Schéma du prototype des quatre capteurs LDR.

II.3.2 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**

L'Arduino uno est une carte microcontrôleur basée sur le ATmega328. Elle est dotée de 14 broches Entrées/Sorties numériques dont 6 en PWM et 6 configurables en entrées analogiques, d'un oscillateur à quartz 16 MHz, d'une connexion USB, d'un jack d'alimentation, d'un support ICSP et d'un bouton reset. La carte ARDUINO UNO est livrée prête à fonctionner, il suffit de la connecter à un ordinateur par le câble USB et de l'alimenter à l'aide d'un adaptateur USB ou de piles [16].

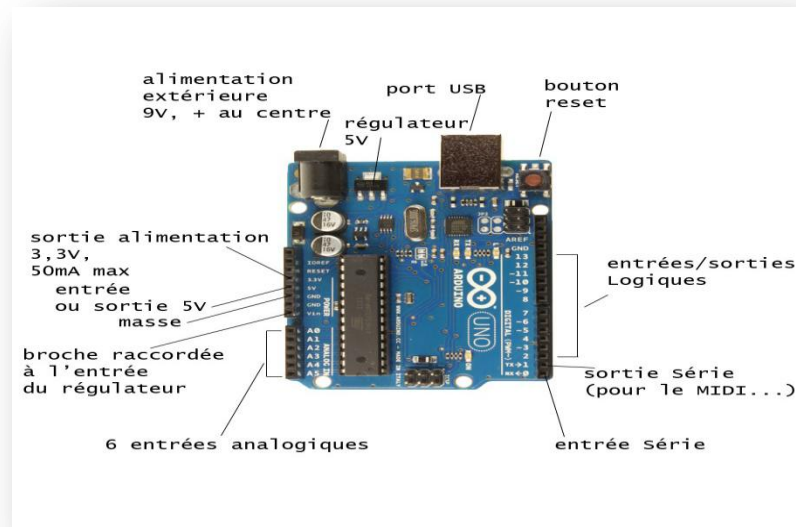


Figure (II. 5) : La carte Arduino uno.

Voici quelques accessoires d'Arduino utilisées dans ce projet

- **câble USB**



Figure (II. 6): 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 [17].

- **fils de pin d'arduino**



Figure (II. 7) : 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 est un dispositif qui permet de réaliser le prototype d'un circuit électronique elle est utilisé dans la plupart des expériences d'Arduino.

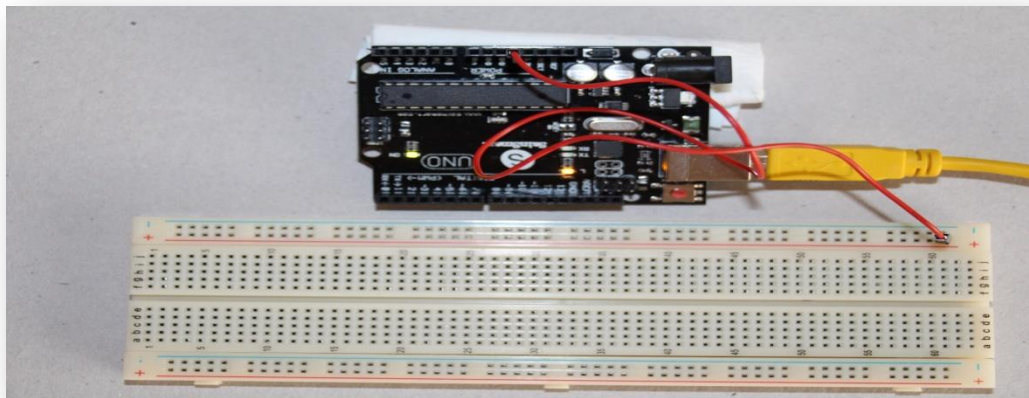


Figure (II.8) : Plaque d'essai

II.3.3 Circuit de puissance L293D

Le circuit de puissance est la partie intermédiaire qui relie le moteur et le microcontrôleur. L'Arduino génère en sortie 4 signaux. Pour piloter les deux moteurs à courant continu du suiveur solaire dans les deux sens, nous avons eu recours à un circuit de puissance L293D comme représenté sur la figure (II.9) en circuit intégré [18]. Il s'agit en fait d'un double pont en H à transistors bipolaires (figure (II.10)) pour charges inductives, comme le sont les moteurs CC.

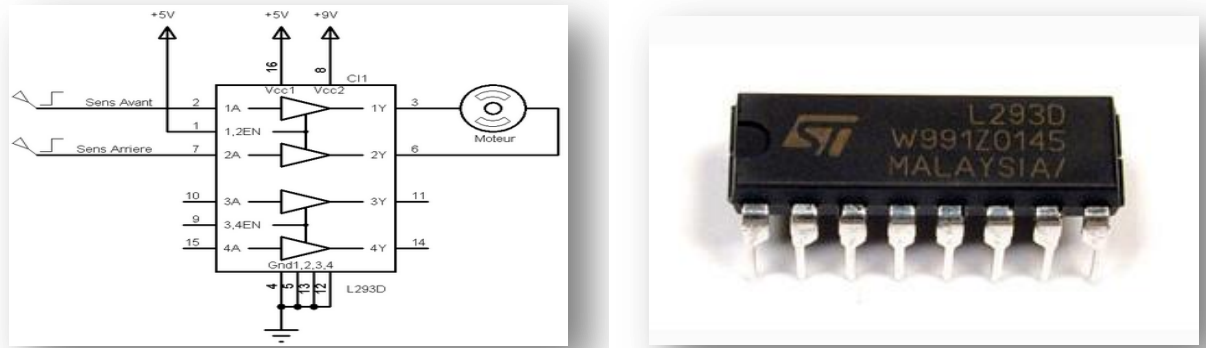


Figure (II.9) : Représentation du circuit intégré L293D à double pont en H [18]

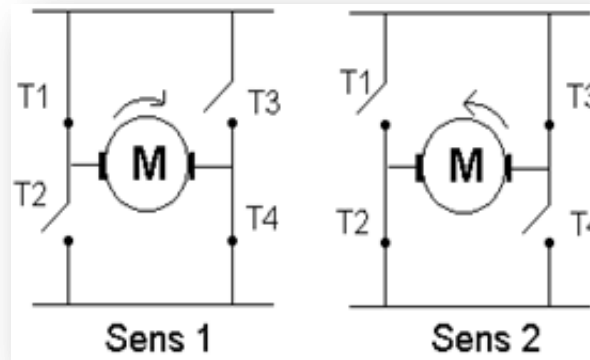


Figure (II.10) : Variation de sens du moteur par pont en H [18]

II.3.4 Les moteurs CC

Un moteur à courant continu 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.

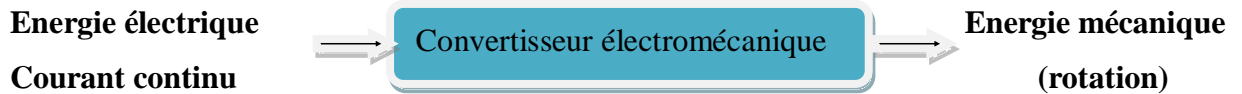


Figure (II.11) : Principe de fonctionnement du moteur à courant continu

Dans notre projet nous avons utilisé des moteurs à forte puissance (figure (II.12)) pour qu'ils puissent piloter les panneaux, mais le courant délivrer par l'hacheur

est plus faible par rapport à la puissances des moteurs , pour ce la nous avons utilisé une batterie à forte puissance et l'adaptation des puissances entre les deux est géré par des relais (figure (II.13)).



Figure (II.12) : Moteur à courant continu utilisé dans ce projet



Figure (II.13) : Le relai utilisé.

Enfin, les alimentations utilisées dans notre suiveur sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau (II.1) : Les alimentations utilisées

Dispositif	Énergie utile en (V)	Source d'alimentation
Arduino	5v	L'ordinateur
Driver moteur (1293d)	12v	transformateur
Moteur CC	12v	batterie

II. 5 Conclusion

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 le chapitre qui suit, nous allons avec les détails les étapes de réalisation de notre suiveur.

Chapitre 3

III.1 Introduction

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

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

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

III.2 Partie programmation

III.2.1 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.1)), il comportera plusieurs boucles dont la fin d'exécution succède toujours à son commencement.

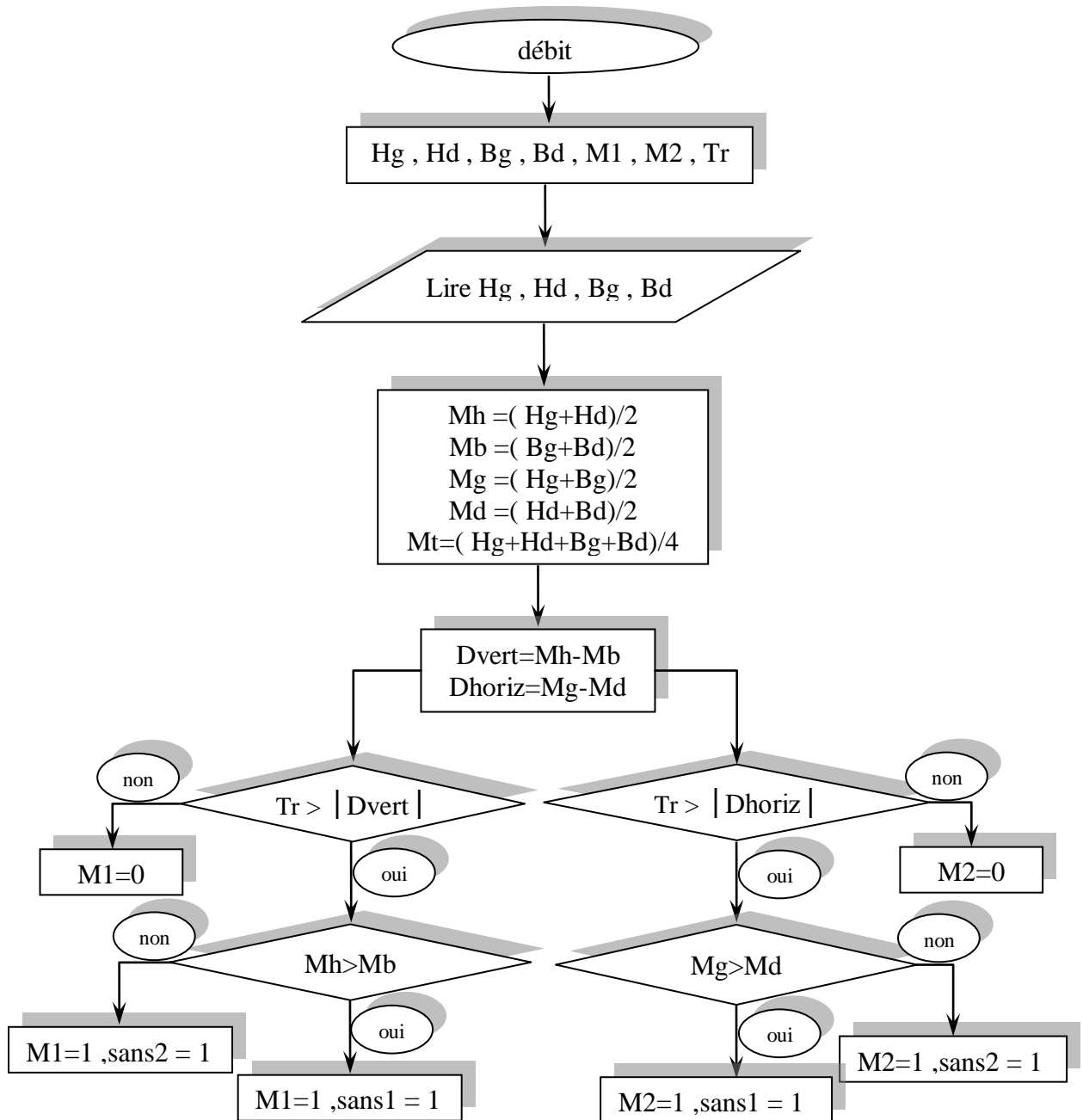
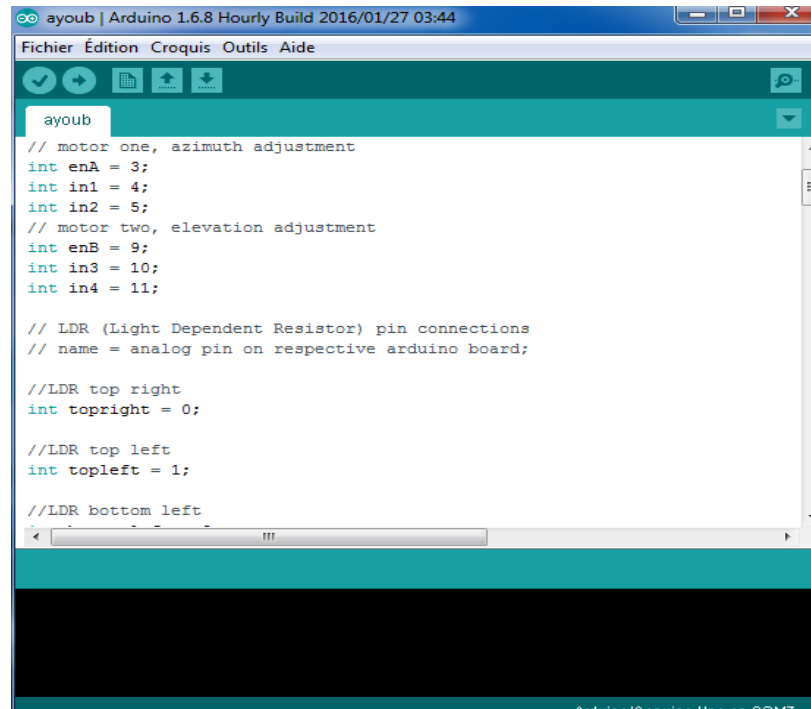


Figure (III.1) : Organigramme Principal

III.2.2 Programmation

La carte Arduino uno est une carte programmable, elle peut être programmée avec le logiciel Arduino représenté dans la figure (III.2).

Nous avons préféré de photographier l'interface du logiciel Arduino dans laquelle nous avons simulé notre programme.



```

ayoub | Arduino 1.6.8 Hourly Build 2016/01/27 03:44
Fichier Édition Croquis Outils Aide

ayoub
// motor one, azimuth adjustment
int enA = 3;
int in1 = 4;
int in2 = 5;
// motor two, elevation adjustment
int enB = 9;
int in3 = 10;
int in4 = 11;

// LDR (Light Dependent Resistor) pin connections
// name = analog pin on respective arduino board;

//LDR top right
int topright = 0;

//LDR top left
int topleft = 1;

//LDR bottom left

```

Figure (III.2) : Interface du logiciel Arduino.

III.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.3) montre notre montage simulé.

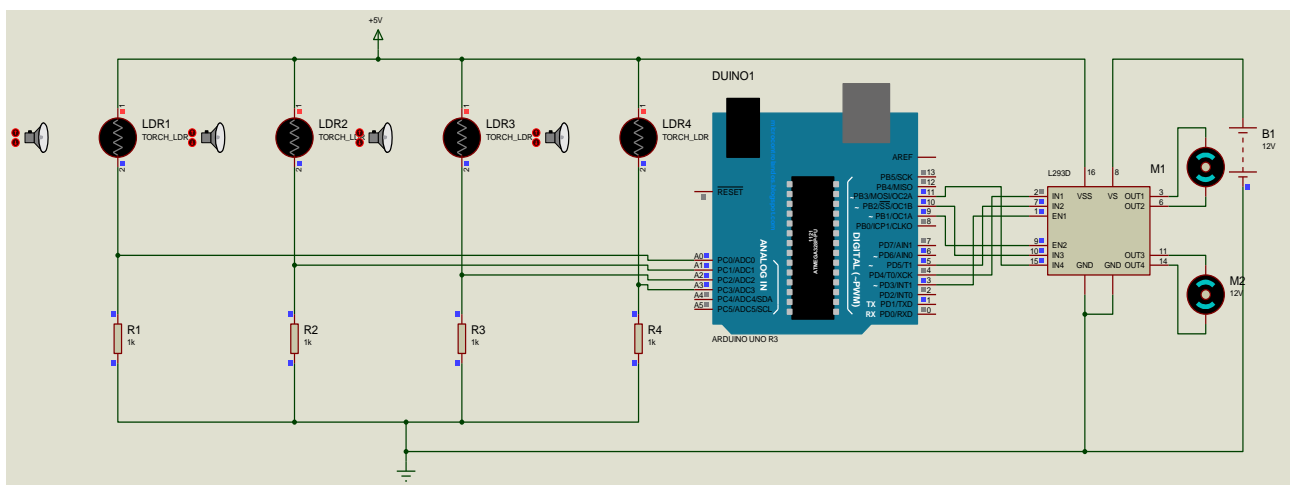
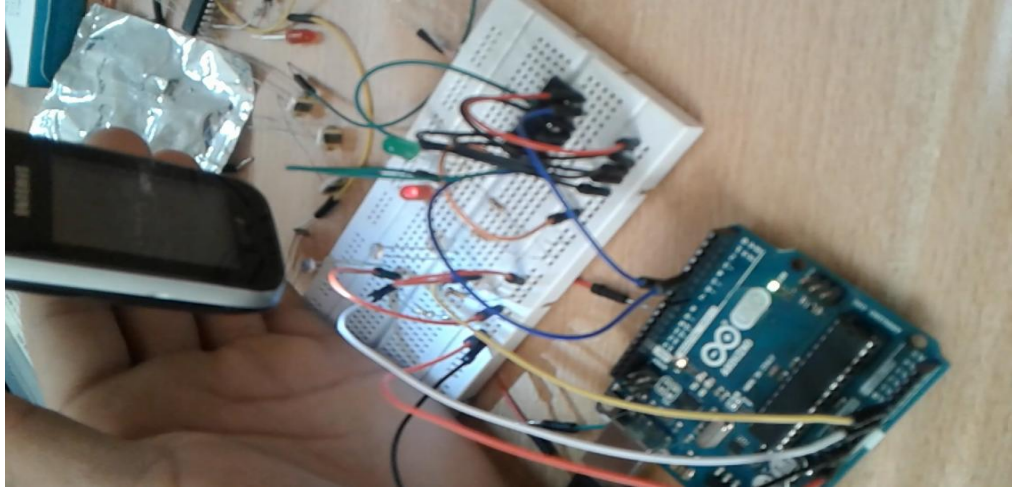


Figure (III.3) : Montage du système sous Proteus.

III.4 Partie électrique

Après le bon fonctionnement de la simulation sous PROTEUS, on a ensuite réalisé notre montage électrique sur la plaque d'essai par étapes.

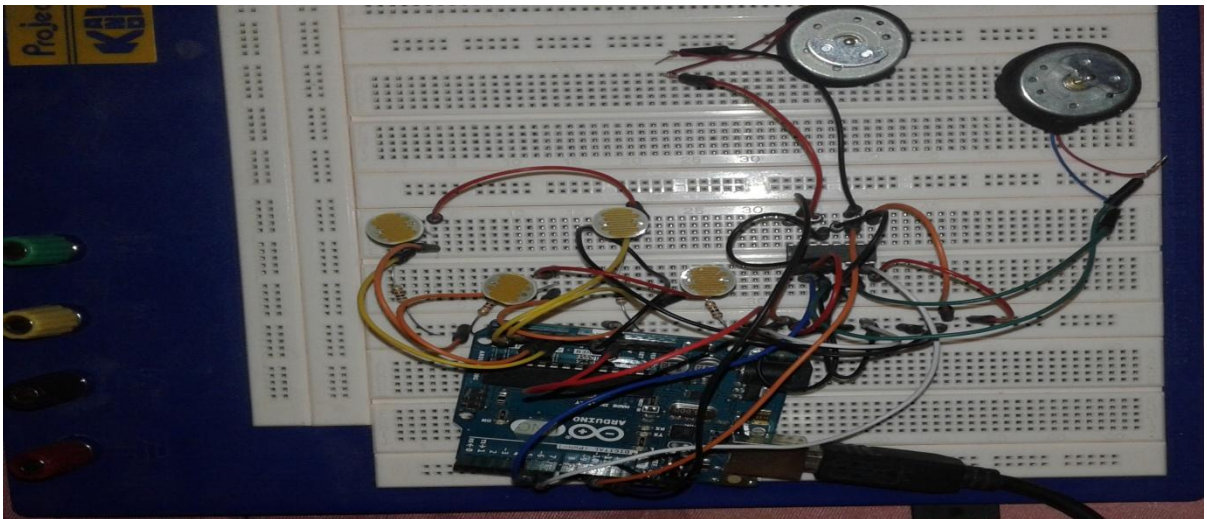
- **Etape1**



Figures (III.4) : Réalisation en utilisant les LEDs

Nous avons réalisé cette essai en premier lieu en utilisant quatre leds colorées (chaque led indique représente une direction de rotation des deux moteurs) pour tester la connexion entre les capteurs et les actionneurs (les signaux reçu des capteurs vert l'arduino pour traiter et leurs effet sur les actionneur (les moteurs))

- **Etape 2**

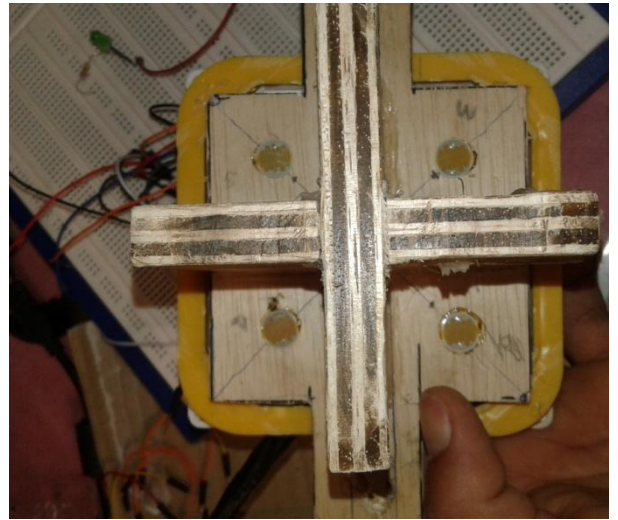
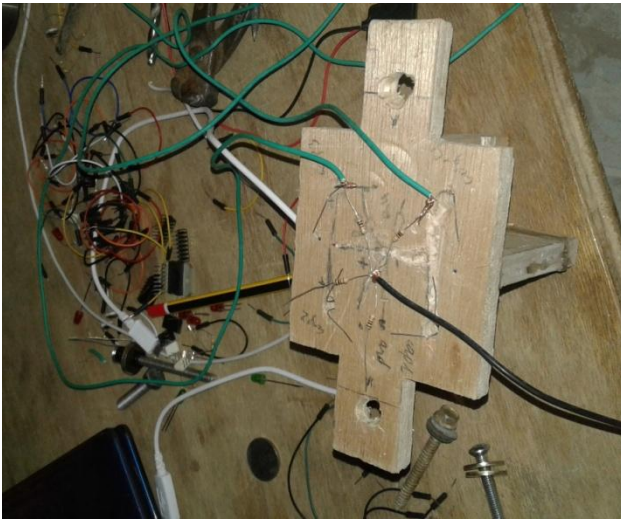


Figures (III.5) : Réalisation avec des petits moteurs à courant continue

Dans cette étape, nous avons réaliser cette essai en utilisant des petits moteur pour tester les sans du rotations des moteurs .

- **Etape 3**

Pour le fonctionnement de notre model, nous avons placé les capteurs dans chaque position, pour cela, on à utiliser une buche de forme plus (+) pré-calculée, afin d'isoler les capteurs et pour couvrir toutes les directions et avoir une meilleurs précision.



Figures (III.6) : Schéma du prototype des capteurs.

- **Etape 4**



Figures (III.7) : Réalisation sur maquette avec les moteurs puissants (à vide)

Dans cette étape, on a remplacé les petits moteurs par des moteurs puissants mais qu'ils tournent à vide.

III.5 Partie mécanique

Pour que la production photovoltaïque soit maximale, les rayons provenant directement du soleil doivent avoir un angle d'incidence égal à 90° . Le pointage du panneau est donc optimal lorsque la normale au plan du panneau, en son centre, est dirigée vers le soleil.

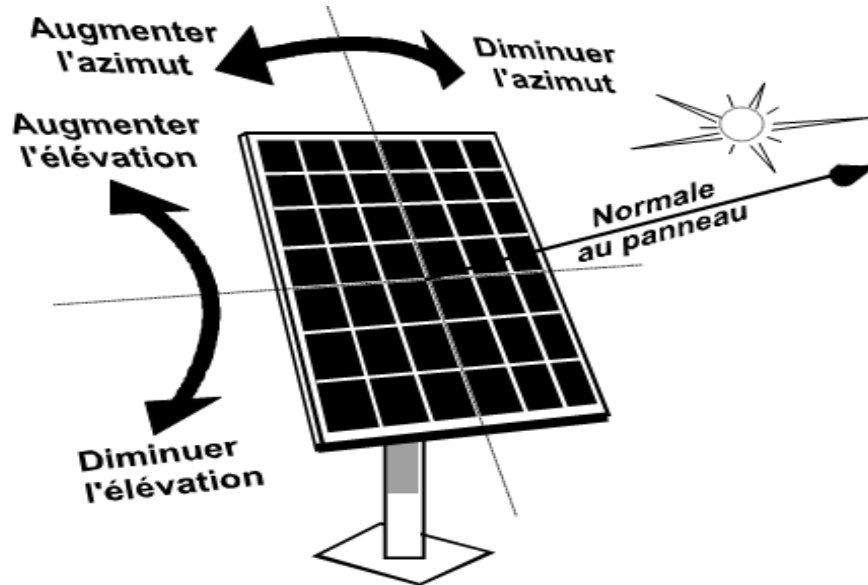


Figure (III.8) Schéma de fonctionnement du suiveur

III.5.1 Description de la structure

Notre structure mécanique est constituée de deux parties mobiles. Une partie sur l'axe d'horizon pour la variation d'élévation du panneau par rapport au soleil et l'autre partie sur l'axe vertical pour la variation d'azimut du panneau.



Figures (III.9) Notre suiveur réalisée.

III.5.2 Orientation de l'axe horizontal (élévation) et l'axe vertical (l'azimute)

Les deux moteurs utilisés sont à courant continu bidirectionnelle, l'un nous servira pour le déplacement azimutal et l'autre pour l'élévation. Les moteurs sont réglables se qui signifie qu'ils sont contrôlés par le programme d'Arduino après comparaison des tensions. Ce dernier leur ordonnera le sens, la direction du déplacement à effectuer pour trouver la position du rayonnement maximal et assurera la poursuite du point maximum. Une fois ce point est atteint les moteurs seront arrêtés.



Figures (III.10) : Moteur de contrôle d'azimut



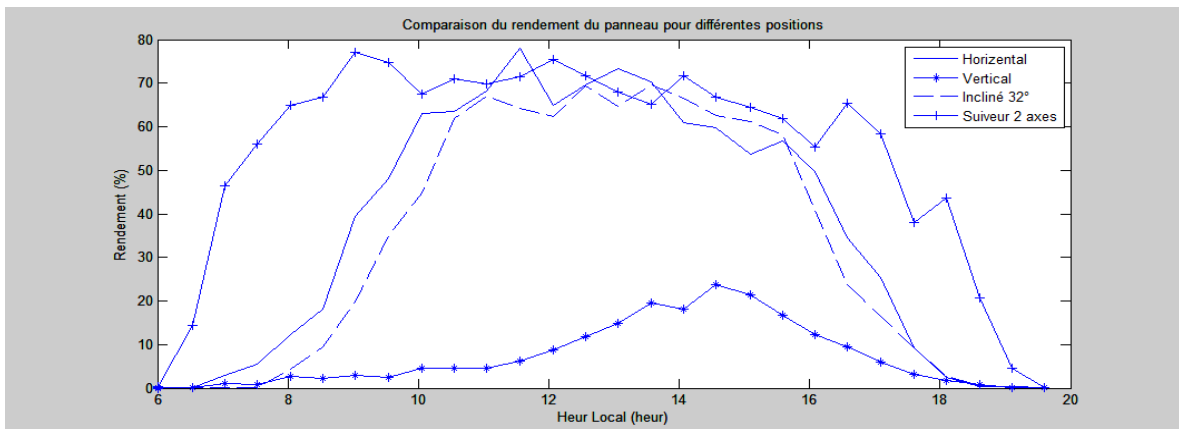
Figures (III.11) : Moteur de contrôle d'élévation

III.6 Validation expérimentale de notre suiveur

Comme on a mentionné précédemment, notre suiveur a été utilisé par les collègues Electrotechnicien, travail sous la direction de notre promoteur, pour améliorer le rendement d'un panneau solaire en comparant le rendement du panneau suiveur avec d'autres panneaux fixes dans différentes positions (figure (III.12)), les résultats obtenus étaient extraordinaires (figure (III.13)) où pour une journée de mesure (le 20/05/2016), la moyenne du taux d'amélioration du panneau suiveur par rapport au panneau horizontal fixe est de 9.7% et par rapport au panneau incliné fixe (d'un angle 32°) est de 71.5% surtout dans la matinée ce qui a donné une valeur à notre suiveur.



Figures (III.12) Panneau suiveur avec d'autres panneaux dans différentes positions.



Figures (III.13) Comparaison du rendement du panneau dans différentes positions.

III.7 Conclusion

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

Dans ce même chapitre on a effectué des tests par lampe électrique, les résultats ont été magnifiques et notre système suit la lumière avec fidélité. La validation expérimentale de notre suiveur par les collègues électrotechniciens est présentée en figure dans ce même chapitre.

Conclusion générale

Conclusion Générale

Le travail présenté dans ce rapport porte sur « la Conception et la Réalisation d'un Suiveur Solaire Bi-axial à Base de capteurs de lumière » à l'aide des composants électroniques programmable gérés par un microcontrôleur (arduino).

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. Pour cela, le système que nous avons pu réaliser s'est avéré capable de suivre la position du soleil et fonctionnel aux environ de 100% ou avec quelques imperfections, malgré les problèmes rencontrés durant la réalisation, parmi lesquels nous citons :

- Les contraintes mécaniques
- La non disponibilité des soudeurs.
- Les pris du tourneur qui sont très chères.
- Le manque des pièces électronique

Le but du projet était d'obtenir les résultats souhaités dans le temps imparti. Par conséquent, bon nombre des modifications applicables à la conception initiale. Cela montre que le système est un système expérimental et peut contenir de nombreux amendements. Notre instrument peut être utilisé dans toute application nécessitant la poursuite solaire notamment:

- Le séchage des produits agricoles.
- Le photovoltaïque.

Une de ces applications (Le photovoltaïque) a été réaliser par nous collègues électrotechniciens. Les résultats ont été extraordinaires ce qui à donné une valeur à notre travail.

Ce projet de fin d'études était pour nous l'occasions précieuse de faire un travail multidisciplinaire, associant l'instrumentation, l'électronique , l'automatique , la mécanique , la programmation et les énergies renouvelables et même le travail en collaboration avec des étudiants d'autre département sous la direction de notre promoteur.

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

bibliographie

Bibliographie

- [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] A. Gama et all « **Etude et réalisation d'un concentrateur cylindro-parabolique avec poursuite solaire aveugle**, **Revue des énergies renouvelables** » Vol 11, N°3, page 437-451, septembre 2008.
- [3] P. Roth, A. Georgiev and H. Boudinov « **Design and construction of a system for suntracking**, **Renewable Energy** », N 29, pages 393-402, June 2003.
- [4] 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
- [5] ZEGHIB ILHEM « **Etude et Réalisation d'un Concentrateur Solaire** » parabolique par UNIVERSITE MENTOURI – CONSTANTINE (2005)
- [6] M. Capderou, « **Atlas solaire de l'Algérie** », Office des publications universitaire
Tome 1' Tome 2, Algeria 1986.
- [7] MEKRELOUF Ali et BENYAMINA ABDERRAHMEN « **étude et réalisation d'un système suiveur solaire à deux axes** », Université de HASSIBA BEN BOUALI – CHLEF , 2011
- [8] SAHRA MOUHAMED et DJEDIAI LAZHARI Mémoire de fin d'étude « master Professionnel » « **Optimisation d'un Systeme poursuit solaire appliquée au champ photovoltaïque**» UNIVERSITE DE OUARGLA, 2011

- [9] Mlle BENMOHAMMADI Zahra Mémoire de fin d'étude « master » « **Étude, conception et réalisation d'une commande d'un tracker solaire (suiveur solaire)** ». Université Sidi Mohammed Ben Abdellah 2013/214
- [10] Zafrullah Jagoo (11/2012), “**Tracking Solar Concentrators A Low Budget Solution**”, University of Mauritius, Springer Briefs in Energy.
- [11] National Renewable Energy Laboratory (NREL) 2013 International Renewable Energy Conference
- [12] Practical Solar - Technology- février 2008.
- [13] Sukhraj Singh Cheema (06/2012) “**Simulation Studies on Dual Axis Solar Photovoltaic Panel Tracking System**”. Thapar University Patiala.
- [14] Yusie Rizala, Sunu Hasta Wibowoa, Feriyadi. “**Application of solar position algorithm for sun- tracking system**”. International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application ELSEVIER Energy Procedia (32) 2013; p. 160 – 65.
- [15] Optoelectronic detectors, Dr. Heiner Ryssel, Indian Institute of Technology, Madras 9th INDO –German Winter Academy 2010.
- [16] <http://www.gotronic.fr/art-carte-arduino-uno-12420.htm>. le 02/05/2016 -14:43
- [17] <http://shop.mchobby.be/cables-usb/68-cable-usb-type-a-b-arduino-uno-3232100000681.html>
le 02/05/2016 – 15 :10
- [18] Texas Instruments L293, L293D Quadruple H drivers SLRS008C
- [19] Data pack F Issued 232-3816 Light dependent resistors Datasheet NSL19-M51

Annexe

Annexe

➤ Caractéristiques de la LDR NSL-19M51 [19]

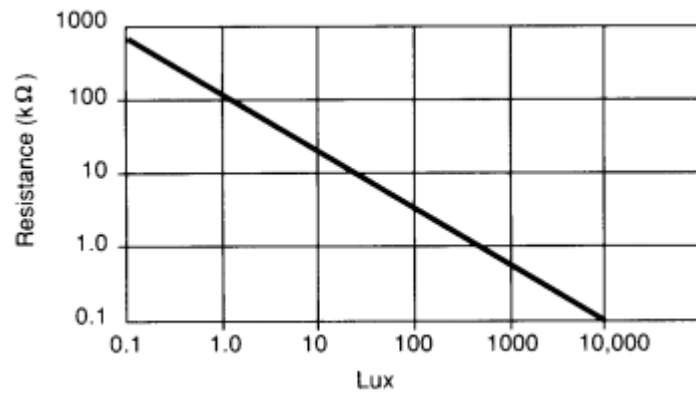


Figure A1.1 La résistance en fonction du flux de lumière (en lux)

avec : $1 \text{ w/m}^2 = 683 \text{ lux}$ (683 lumen/m^2)

Dimensions

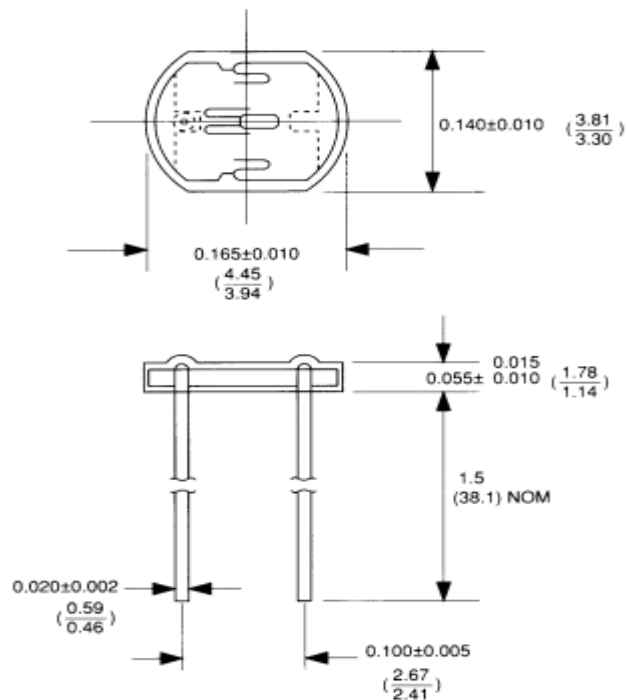


Figure A1.2 Dimensions en (mm) du capteur LDR

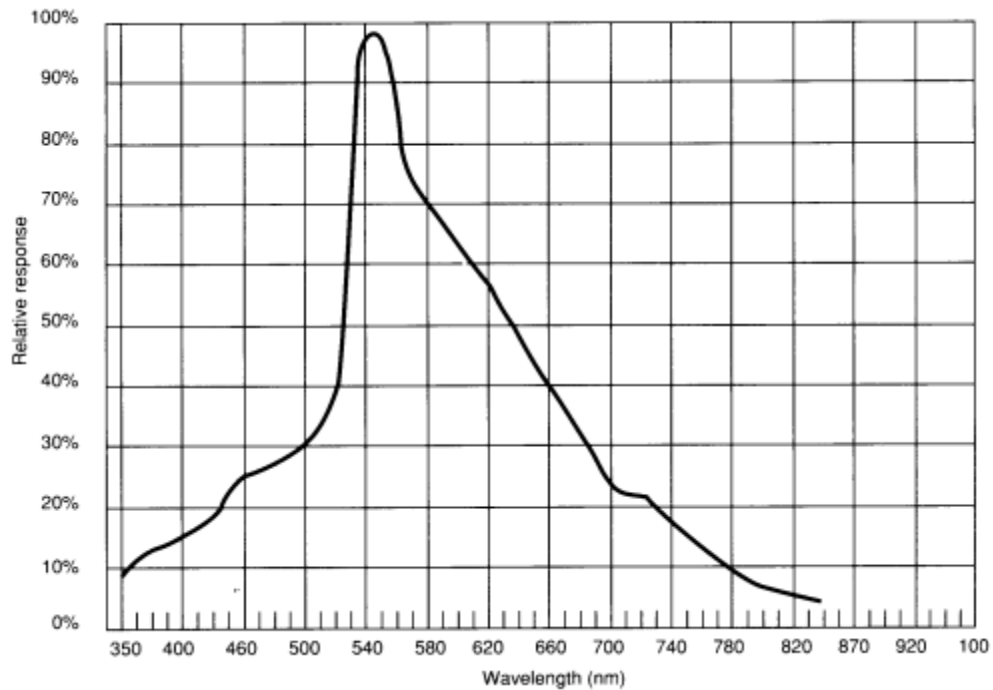


Figure A1.3 Réponse spectrale du capteur LDR

Résumé :

Notre travail ayant comme objectif l'amélioration du gain en énergie électrique du panneau solaire mobile par rapport au système fixe. Notre dispositif d'instrument sera fixé sur une structure mécanique que nous avons réalisé à base de deux moteurs à courant continu avec leurs circuits de commande permettant ainsi la rotation du panneau selon les deux directions horizontale et verticale. Pour cette application, nous avons réalisé une lunette à base de quatre capteurs photorésistifs 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 ' ATmega328' dans « arduino » qui permet la comparaison des niveaux de tensions pour la commande des deux moteurs. En outre , il permet l'orientation du panneau vers le soleil.

Enfin, le système que nous avons réalisé est capable de suivre fidèlement la position du soleil. En plus, notre instrument a été utilisé par les collègues électrotechniciens pour augmenter le rendement du panneau solaire mobile par rapport au système fixe, les résultats ont été extraordinaires.

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

ملخص:

مشروعنا هو " نظام التتبع التلقائي للشمس في اتجاهين باستعمال اللواقط الضوئية". إن هذا المشروع الذي تم تصميمه من أجل تحسين أداء الطاقة الشمسية عند استخدام نظام ملاحقة شمسية سنضمن إنتاج كمية أكبر من الطاقة الكهربائية للخلايا الشمسية المتحركة مقارنة بالثابتة وذلك بسبب بقاء مصفوفة الخلايا الشمسية على محاذاة من أشعة الشمس طوال فترة سطوعها. يتركز هذا العنصر على هيكل ميكانيكي يتحرك بواسطة محركين ذو تيار مستمر مع دائرة تحكم تسمح بتحرك المحركين في الاتجاهين الأفقي والعمودي . حيث نستعمل اربع حساسات ضوئية (مقاومة ضوئية) تقوم هذه الحساسات بتسجيل توترات على قدر شدة الاشعاع وترسل هذه التوترات نحو المتحكم (الاردوينو) يقوم هذا الاخير بقراءة قيم الحساسات الضوئية ومقارنة هذه القيم ثم يتم اعطاء أوامر للمحرك ليقوم بتحريك النظام حسب القيم العظمى المقروءة .

ومن أجل تثمين مشروعنا، قام الزملاء من قسم الكهرباء التقنية باستعماله لتحسين أداء منظومة شمسية والنتائج كانت مبهرة والله الحمد والمنة.

الكلمات المفتاحية: الألواح الشمسية، المتتبع الشمسي، اللواقط الضوئية، محرك التيار المستمر.