

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ DJILALI BOUNAMA

FACULTÉ DE SCIENCES ET DE TECHNOLOGIE

MÉMOIRE DE MASTER

SPÉCIALITÉ : AUTOMATIQUE

THÈME :

ETUDE ET RÉALISATION D'UN SUIVEUR  
SOLAIRE PAR UNE CARTE ARDUINO

● PRÉSENTÉ PAR :

SEREIR EL HIRTSI MED AMINE

● PROMOTEUR :

MR.FEKIR

ANNÉE UNIVERSITAIRE : 2019 – 2020

## **Remerciements :**

Nous tenons à remercier en premier lieu ALLAH,

Nous a aidé à continuer ce travail et nous a donné le courage et la volonté pour le réussir,

Mes remerciement vont à mon encadreur monsieur **Fekir** , pour m'avoir permis de traiter ce sujet et également pour son soutien et conseils.

Je tiens également à remercier tous les enseignants qui ont contribué à ma formation.

Mes remerciements vont également aux membres de jury qui ont pris de leur temps pour examiner ce travail.

## **Dédicace :**

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 ma sœur

A tous mes amis (zinou makhati, meriem rais )

**Amine**

## **Sommaire :**

<b>I Introduction</b>	<b>2</b>
<b>I.1 LE SOLEIL</b>	
<b>I.2 Coordonnées géographiques d'un point sur Terre</b>	
<b>I.2.1 Latitude</b>	<b>3</b>
<b>I.2.2 Longitude</b>	
<b>I.2.3 L'altitude</b>	
<b>I.2.5 Coordonnées horaires</b>	
<b>I.2.6 Les coordonnées horizontales</b>	<b>4</b>
<b>I.2.7 Temps solaires</b>	
<b>I.2.8 Le rayonnement solaire</b>	
<b>I.3 Les panneaux solaires</b>	<b>5</b>
<b>I.3.1 Les composantes d'un system photovoltaïque (PV)</b>	<b>6</b>
<b>I.3.1.1 Les cellules photovoltaïques</b>	
<b>I.3.1.2 Le rendement d'un panneau solaire (<math>\eta</math>)</b>	<b>7</b>
<b>I.4 Conclusion</b>	<b>8</b>
<b>II.1 Introduction</b>	<b>9</b>
<b>II.2 Système suiveur du soleil</b>	
<b>II.2.1 Fonctionnement et définition</b>	
<b>II.3 Type des suiveurs solaires</b>	<b>10</b>
<b>II.4 L'orientation de la surface de panneau solaire</b>	
<b>II.5 Différents types de monture</b>	<b>11</b>
<b>Conclusion</b>	<b>12</b>
<b>III.1 Introduction</b>	<b>13</b>
<b>III.2 Partie dispositifs</b>	<b>14</b>

<b>III.2.1 Capteur de la lumière(LDR)</b>	
<b>III.2.2 Le servo moteur</b>	<b>15</b>
<b>III.2.3 La carte arduino uno</b>	<b>17</b>
<b>III.3 Partie de logiciel</b>	<b>19</b>
<b>Conclusion</b>	<b>21</b>
<b>IV.1 Introduction</b>	<b>22</b>
<b>IV.2 Partie mécanique</b>	
<b>IV.2.1 Réalisation de la paroi</b>	
<b>IV.2.2 Création des arbres de rotation</b>	
<b>IV.3 Partie électronique</b>	<b>23</b>
<b>IV.4 Partie logiciel</b>	<b>25</b>
<b>IV.5 Conclusion</b>	<b>28</b>

## Listes des figures :

### Chapitre 01

<b>FigureI.1:</b> <i>les coordonnées terrestres</i>	3
<b>FigureI.2:</b> <i>types du rayonnement global sur une surface inclinée</i>	5
<b>FigureI.3 :</b> <i>l'énergie PV</i>	6
<b>FigureI.4 :</b> <i>l'énergie thermique</i>	

### Chapitre 02

<b>FigureI.1 :</b> <i>model de héliostat en(1742)</i>	9
<b>Figure II.2 :</b> <i>système poursuite mono-axe (vertical)</i>	10
<b>FigureIII.3 :</b> <i>système poursuite mono-axe (horizontal)</i>	11
<b>FigureIV.4 :</b> <i>système poursuit soleil bi-axial 16</i>	

### Chapitre 03

<b>FigureV.1 . :</b> <i>Schéma électrique suiveur solaire</i>	14
<b>FigureVI.2 :</b> <i>une photorésistance</i>	15
<b>FigureVII.3 :</b> <i>schéma diviseur de tension</i>	15
<b>Figure VIII.4 :</b> <i>le servomoteur</i>	16
<b>FigureIX.5 :</b> <i>amorçage et quantification d'un signal de tension</i>	17
<b>FigureX.6 :</b> <i>La carte Arduino Uno R3</i>	18
<b>FigureXI.7 :</b> <i>interface principale de l'éditeur arduino</i>	19
<b>FigureXII.8 :</b> <i>câble USB type A/B(arduino uno)</i>	21
<b>Figure XIII.9 :</b> <i>fil de pin d'arduino</i>	

### Chapitre 04

<b>FigureXIV.1 :</b> <i>fonction LDR par paroi</i>	22
<b>FigureXV.2 :</b> <i>Structure mécanique réalisée</i>	23

<b>FigureXVI.3:</b> <i>la liaison et les pins de commande des entrées</i>	23
<b>FigureXVII.4 :</b> <i>liaison de schéma d'un suiveur solaire</i>	24
<b>FigureXVIII.5 :</b> <i>schéma d'un suiveur sur isis</i>	25
<b>FigureXIX.6 :</b> <i>organigramme d'un suiveur solaire</i>	26

## Liste des tableaux :

<i>Tableau I.1 : représente les différentes cellules</i>	<i>7</i>
<i>Tableau II.1:Les performances de chaque suiveur</i>	<i>12</i>
<i>Tableau III.1: Caractéristique de la photorésistance</i>	<i>14</i>
<i>Tableau III.2 : caractéristique d'un servo moteur</i>	<i>17</i>
<i>TableauIII.3: caractéristique d'une carte Arduino</i>	<i>19</i>
<i>Tableau III.4: Les avantages d'arduino</i>	
<i>Tableau III.5 : principales instructions</i>	<i>20</i>

## **Nomenclature :**

**Pv** : panneau photovoltaïque

**Wh** : watt-heur

**Pep** : Puissance électrique produite par le panneau PV

**Psp** : Puissance solaire reçue par le panneau

$\sigma$  ; déclinaison solaire

$\Phi$  : latitude

**Az** : angle Azimut

$\alpha$  : angle d'attitude

$\omega$  : Angle horaire

$\theta_z$  : Angle zénith

**Ts** ; temps solaire

**Tu** : temps universelle

**Tl** : temps légal

$\eta$  : rendement

**LDR** : light dépendent resistor

**Cc** : courant continu

**MCC** : moteur à courant continu

**Ch** : capteur ldr haut

**Cb** : capteur ldr bas

**Cg** : capteur gauche

**Cd** : Capteur droite

**M1** : moteur 1

**M2** : moteur 2

## Résumée :

Le traquer ou bien suiveur solaire permettre l'augmentation le rendement d'un panneau solaire, qui agir sur deux arbres l'un pour l'inclinaison azimute et l'autre pour l'inclinaison d'élévation par deux servomoteur grâce une rotation angulaire permettre de control le positionnement a la affectation des rayonnements solaire sensible a des capteurs de lumière qui s'appelle des photorésistances on le control d'après une carte arduino fonction par un programme écrit sur logiciel « arduino ».

**Mots clés :** champs lexical c'est panneau voltaïque, suiveur solaire,

Elévation (horizontal), azimute(vertical), photorésistance, arduino et servomoteur.

## المخلص:

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 بتحريك المحركين في الاتجاهين الأفقي والعمودي. حيث نستعمل اربع حساسات ضوئية (مقاومة ضوئية) تقوم هذه الحساسات بتسجيل توترات على قدر شدة الأشعاع وترسل هذه التوترات نحو المتحكم (الاردوينو) يقوم هذا الأخير بقراءة قيم الحساسات الضوئية ومقارنة هذه القيم ثم يتم اعطاء أوامر للمحرك ليقوم بتحريك النظام حسب القيم العظمى المقروءة

## **Introduction générale :**

La vie quotidienne d'un humain Neandertal nécessite plusieurs conditions ou bien plusieurs facteurs pour continuer sa vie comme : (l'eau, l'air et la nourriture) mais tout ça il ne devient pas insuffisant dans notre époque contemporaine ou bien modern qui a besoin d'autres circonstances telles : ( l'électricité, gaz et pétrole ).

L'admiration sur les énergies fossiles et leur consommation excessive par les usines industrielle et les automobiles il se réduites , ceux énergies sont non renouvelable parce qu'il dépende de milles d'années pour le reproduire .

La diminution de cette énergie fossile nous oblige a trouver d'autres sources de remplacement.

Dans cette optique, aujourd'hui le domaine énergétique est en perpétuelle évolution et d'autre sources d'énergie saines et renouvelables apparaissent telles : (solaire, éolienne, géothermie, biomasse)

L'énergie solaire a été devenue une solution pour augmenter le productivité électrique et devienne parmi le meilleur changement pour limiter l'achèvement sur l'énergie fossile puisque elle est non inépuisable par l'échelle humain du temps et non pollué pour l'environnement.

Cette énergie capté par un panneau solaire est transformé a une énergie électrique par un semi-conducteur telle que le silicium ,ces matériaux photosensible on la propriété de libérer leurs électrons sous l'influence de l'énergie lumineuse.

Dans cette mémoire, en veut réaliser un système mécanique permettant de capter et de suivre l'énergie lumineuse pendant toute la journée pour augmenter le rendement de panneau solaire

# CHAPITRE 1 : Etat de l'art

**Objectif :** L'objectif de ce chapitre est de présenter le panneau photovoltaïque, l'intérêt du suiveur solaire par rapport aux performances de ce dernier, les méthodes de poursuites utilisées de nos jours, ainsi que la détermination des équations qui permettent de repérer la position du soleil par rapport à une surface située en un lieu géographique donné.

## I. Introduction :

Tous d'abord l'énergie solaire ou bien le soleil c'est parmi les termes nécessaire de base de vie humaine moderne par ce qu'il tourne autour de la planète terre qui intéresse les chercheur et devient un thème très vaste pour eux.

Le soleil et une source énergétique renouvelable naturelle devenue non pollue pour l'environnement ou bien l'écosystème qui prenait une grande importance dans l'éducation des scientifiques ou bien des chercheurs pour la connaissance de l'utilisation de soleil et leur impact sur nos vis.

Dans notre étude à propos de comment va faire pivoter la terre autour du soleil et pivoter autour lui-même qui va permettre de distinguer les différents coordonnées pour calculer la trajectoire de n'importe quel point sur la terre.

### I.1 LE SOLEIL:

Le soleil ce défini comme un étoile centralisée le système solaire a un diamètre équatorial de 1.392.000 km qui soit plus que de la terre à 109 fois et une masse de  $2 \cdot 10^{30} \text{kg}$  c'est lui le géant devant les autres étoiles a un pourcentage de **99.97%** avec une puissance rayonnée totale presque  $4 \cdot 10^{26} \text{kg m}^{-3}$ .

La partie chimique de cette étoile est composée par trois quart en hydrogène et le reste par l'hélium, l'oxygène, le carbone, l'azote, le silicium et d'autres matières.

C'est le plus proche pour notre planète terre et rayonnée a une énergie lumineuse et autre thermique, cette planète tourne autour du soleil en 365.25 jours et la rotation de la terre sur l'axe dans une durée de 24h ou bien un jour <sup>[1]</sup>[2].

### I.2 Coordonnées géographiques d'un point sur Terre :

#### I.2.1 Latitude :

---

<sup>1</sup> lilensten jean ,blelly pierre-louis.(2000).ouvrage,du soleil a la terre.grenoble.

<sup>2</sup>AHAITOUF.A et MECGAQRANE.A «conception et réalisation d'un suiveur solaire a deux axes », Thèse de master, Université sidi mohamed ben abdelah , 2015

La latitude est une coordonnée géographique sont des circuits d'affichage imaginaires sont-elles 180 circuit 90 au sud de l'équateur et 90 au nord, que l'équateur représente le zéro degré.

### I.2.2 Longitude :

Les Longitudes sont des lignes ou bien demi-cercles au nombre de 360, chacune est représentée par un degré angulaire, la première longitude de zéro degré s'appelle le méridien de Greenwich qui affiche un point sur terre qui décompose telle Est-West [3].

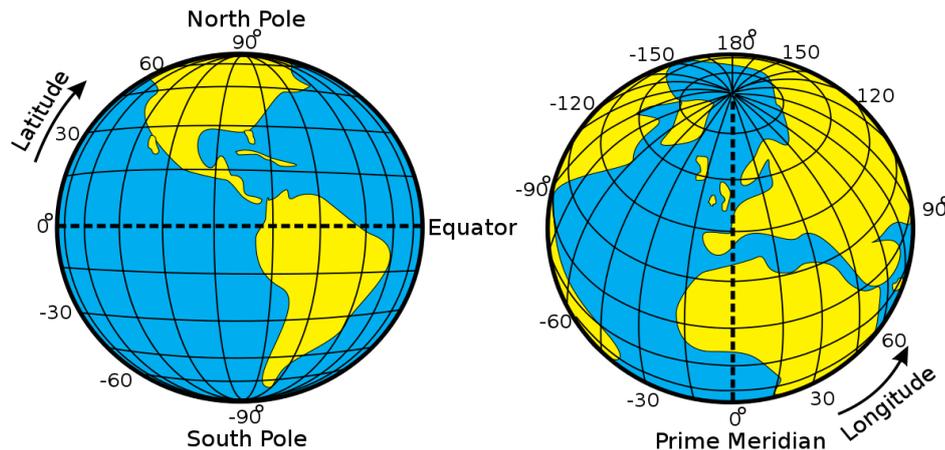


Figure I.1: les coordonnées terrestres

### I.2.3 L'altitude :

L'altitude est la position et l'élévation verticale d'un lieu ou d'un objet par rapport un repère référence [4].

### I.2.4 Mouvement global terrestre :

Ce terme définit la rotation de notre planète terre par rapport au soleil à cette orbite pendant 365.25 jours dans laquelle la terre est plus proche du soleil le 21 décembre (l'hiver) et plus éloignée le 22 juin (l'été)[5][6].

### I.2.5 Coordonnées horaires :

Sont-elles [7]:

<sup>3</sup> RACHIDIOU.L et HAMROUN.A « étude et réalisation d'un concentrateur parabolique avec une poursuite automatique », Thèse de master, Université abdelrahman mira-bedjia, 2017

<sup>4</sup> BENMOHAMADI.Z « étude, conception et réalisation d'une commande d'un Tracker solaire (suiveur solaire) », Thèse de master, Université sidi mhammed benabdelah de fes maroc, 2014

<sup>5</sup> Anne labouret, michel villoz.(2003).ouvrage,énergie solaire photovoltaïque.paris

<sup>6</sup> MKRELOUF.A et BENYAMINA.A « étude et réalisation d'un système suiveur solaire » à deux axe, Thèse de master, Université hassiba ben bouali chlef, 2011

<sup>2.1</sup> AHAITOUF.A et MECGAQRANE.A «conception et réalisation d'un suiveur solaire à deux axes », Thèse de master, Université sidi mohamed ben abdelah, 2015

- **La déclinaison solaire :**

La déclinaison solaire est l'angle formé par la droite reliant la terre au soleil et le plan équatorial.

$$\delta = 23.45 \sin(360. (284 + n)/365) \dots \dots \dots (I.1)$$

Avec :  $n$  Numéro du jour dans l'année.

- **Angle horaire ( $w$ ) :**

L'angle horaire du soleil est l'angle formé par le plan méridien du lieu et celui qui passe par la direction du soleil.

$$\omega = 360 \times \frac{TSV-12}{24} \dots \dots \dots (I.2)$$

Avec :  $W$  : en degré.

### I.2.6 Les coordonnées horizontales :

Sont-elles [<sup>8</sup>]:

- **Hauteur angulaire du soleil ( $h$ ):**

C'est l'angle formé par un plan horizontal au lieu d'observation et la direction du soleil.

$$h = \arcsin(\sin(\varphi) \times \sin(\delta) + \cos(\varphi) \times \cos(\delta) \times \cos(w)) \dots (I.3)$$

- **Azimut :**

C'est l'angle compris entre le méridien du lieu et le plan vertical passant par le soleil.

### I.2.6 Temps solaires :

Lequel [<sup>9</sup>]:

- **Temps solaire vraie :**

On appelle « temps solaire vraie » abrégé TSV, en un lieu et un instant donnée, un angle horaire du soleil dans le même lieu et même instant.

- **Angle horaire de coucher le soleil :**

L'angle horaire du soleil est le déplacement angulaire du soleil autour de l'axe polaire, dite et en ouest.

Il donne par l'équation suivante :

$$ws = \arccos(-\tan(\varphi) \tan(\delta)) \dots \dots \dots (I.3)$$

Avec :  $\delta$ : *déclinaison solaire*,  $\varphi$ : *latitude*

<sup>8</sup> SHAIB.S « étude et réalisation d'un suiveur solaire bi-axial à base d'un microcontrôleur arduino », Thèse de master, Université arbi ben m'hidi oum el bouaghi , 2017

<sup>2.2</sup> AHAI TOUF.A et MECGAQRANE.A «conception et réalisation d'un suiveur solaire a deux axes », Thèse de master, Université sidi mohamed ben abdelah , 2015

### 1.2.7 Le rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire est un rayonnement thermique qui se propage sous la forme d'ondes électromagnétiques. En dehors de l'atmosphère terrestre, il donne un éclairement énergétique à peu-près constant et égale à  $1367 \text{w/m}^2$ , appelé de ce fait constante solaire [<sup>10</sup>][<sup>11</sup>].

#### Type de rayonnement :

##### a) Rayonnement direct :

C'est les rayonnements arrivés directement du soleil.

##### b) Rayonnement diffus :

C'est les rayonnements qui sont diffusés par les molécules de l'air ou bien diffusés par des nuages.

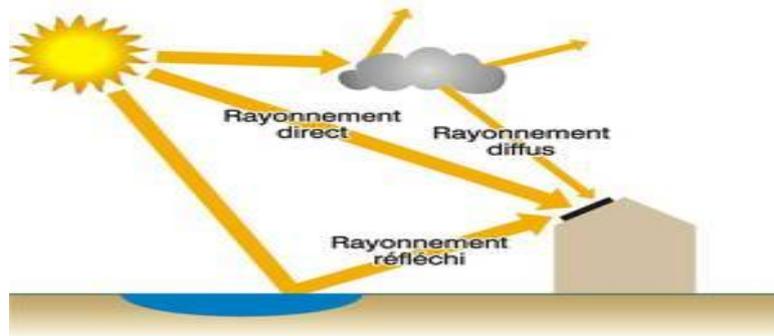


Figure I.2: types du rayonnement global sur une surface inclinée

### I.3 Les panneaux solaires :

Les panneaux solaires sont des appareils électroniques qui reçoivent les rayons solaires comme une énergie lumineuse et le transfèrent comme énergie électrique.

L'énergie électrique reçue est selon les différents récepteurs : soit thermique ou il y a des concentrateurs solaires ou bien les récepteurs photo-électriques [<sup>12</sup>].

<sup>10</sup> SIDANE.Y et FERHOUNE.N «évaluation des performances d'un suiveur solaire», Thèse de master, Université abdelrahman mira de bejaia, 2013

<sup>11</sup> KADERI.I « étude, conception et réalisation d'un suiveur solaire», Thèse de master, Université aboubakr belkaid tlemcen , 2018

<sup>11-1</sup> KADERI.I « étude, conception et réalisation d'un suiveur solaire», Thèse de master, Université aboubakr belkaid tlemcen , 2018

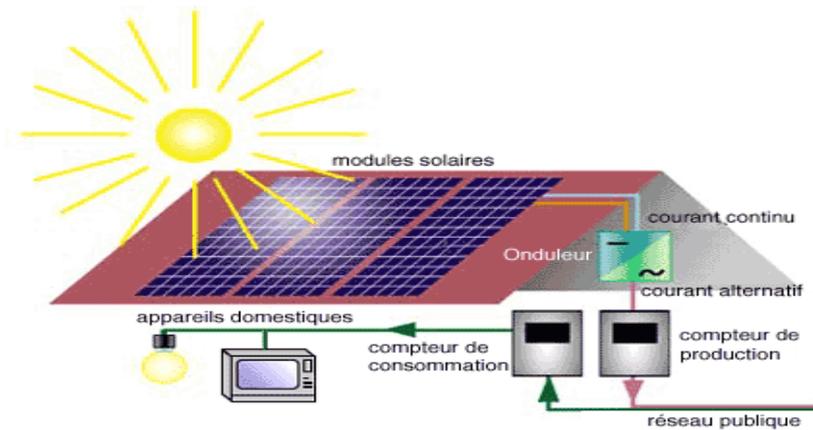


Figure I.3 : l'énergie PV

Tandis que l'énergie thermique est utilisée pour produire de la chaleur par l'utilisation de capteurs qui permettent de chauffer l'eau et le deuxième par la concentration et production de vapeur chaude et comprimée [13].

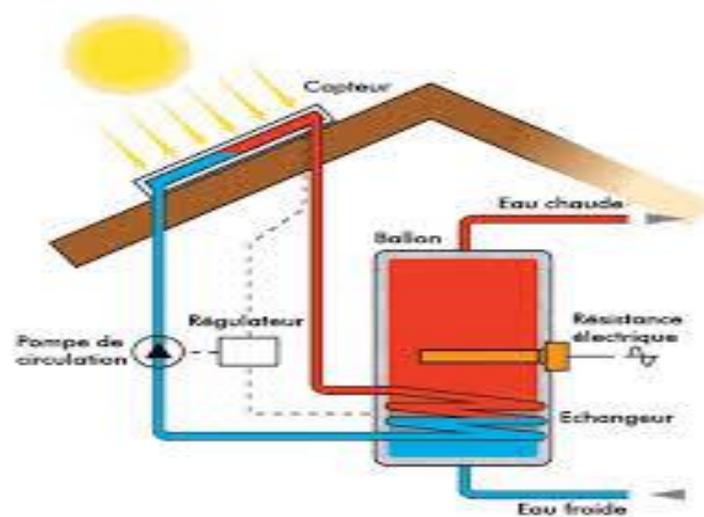


Figure I.4 : l'énergie thermique

### I.3.1 Les composantes d'un system photovoltaïque (PV):

Un système photovoltaïque est un ensemble des composants nécessaires qui captent les rayons solaires par des capteurs sensibles. Ces rayons solaires (énergie solaire) sont transformés par un régulateur à une énergie électrique pour charger une batterie et pour l'utiliser par des outils électrique après amplification par un onduleur de tension [14].

#### I.3.1.1 Les cellules photovoltaïques :

<sup>13</sup> GUSSOUM.F, SAADI.A «commande de panneau solaire à l'aide d'une carte à pic », Thèse de master, Université mohamed khider biskra , 2010

<sup>13-1</sup> GUSSOUM.F, SAADI.A «commande de panneau solaire à l'aide d'une carte à pic », Thèse de master, Université mohamed khider biskra , 2010

La cellule photovoltaïque qui produisant l'électricité à partir du rayonnement solaire, elle fonctionne selon le principe 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.

La conversion directe de l'énergie solaire en électricité se fait par l'intermédiaire d'un matériau semi-conducteur, 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/trou [15][16]. (villoz, 2003-2005)

$$E=h\nu=\frac{hc}{\lambda}\dots\dots\dots(I.1)$$

Avec : E : énergie de photon, h : constante de Planck,  $\nu$  : fréquence de la lumière, c : vitesse de la lumière,  $\lambda$  : La longueur d'onde de la lumière.

### **Type des cellules :**

Sont-ils [17]:

#### **1) Cellule en silicium amorphe :**

Le silicium lors de sa transformation produit un gaz qui est projeté sur une feuille de verre. Cette cellule est grise très foncée comme la cellule des calculatrices solaires.

#### **2) Cellule en silicium monocristallin :**

Ce type de cellule est par le découpage du cristal en fines tranches. Ces cellules sont en général d'un bleu uniforme.

#### **3) Cellule en silicium poly cristallin :**

Ce genre de cellule est également bleu, mais pas uniforme.

### **1.2 Les différents avantages et inconvénients des différentes cellules :**

---

<sup>10.1</sup> GUSSOUM.F et SAADI.A «commande de panneau solaire à l'aide d'une carte à pic », Thèse de master, Université mohamed khider biskra , 2010

<sup>6.1</sup> MKRELOUF.A et BENYAMINA.A « étude et réalisation d'un système suiveur solaire» a deux axe, Thèse de master, Université hassiba ben bouali chlef, 2011

<sup>6.2</sup> MKRELOUF.A et BENYAMINA.A « étude et réalisation d'un système suiveur solaire» a deux axe, Thèse de master, Université hassiba ben bouali chlef, 2011

Types de cellule	Les avantages	Les inconvénients
1) Cellule en silicium amorphe	<ul style="list-style-type: none"> <li>elles fonctionnent avec un éclairage faible.</li> <li>elles sont moins chères que les autres.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Leur rendement (6%) est moins bon que les autres en plein soleil.</li> <li>Leurs performances diminuent sensiblement avec le temps.</li> </ul>
2) Cellule en silicium monocristallin	<ul style="list-style-type: none"> <li>bon rendement (17%).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>les cellules sont chères.</li> <li>fonctionnement très médiocre sous un faible éclairage.</li> </ul>
3) Cellule en silicium poly cristallin	<ul style="list-style-type: none"> <li>bon rendement (13%), mais cependant moins bon que le monocristallin.</li> <li>moins chère que le monocristallin.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>les mêmes que le cristallin.</li> </ul>

*Tableau II.1 : représente les différentes cellules*

### **I.3. Le rendement d'un panneau solaire( $\eta$ ) :**

Le symbole  $\eta$  définit le rendement énergétique d'une cellule par le rapport entre la puissance maximale fournie par la cellule et la puissance incidente ( $P_i$ ) :

$$\eta = \frac{p_m}{p_i}$$

### **I.4 Conclusion :**

On conclue qu'un panneau solaire fixé ou bien stable diminue le rendement d'un panneau solaire puisqu'il ne reçoit pas le maximum d'énergie lumineuse ou bien les rayonnements solaires le long de la journée.

Donc le point de réflexion ce n'est pas le point optimal ou bien le meilleur point d'impact par l'énergie solaire donc il faut orienter ou pivoter le panneau pour atteindre le meilleur rendement.

## CHAPITRE 02 : Système suiveur solaire

**Objectifs :** Dans ce chapitre, on définit le traqueur solaire, Nous expliquons l'importance de ce dernier pour améliorer le rendement les différents et nous donnons les différents types.

### II.1 Introduction :

Pour l'amélioration ou bien l'augmentation du rendement des panneaux solaire en utilise un système suiveur du soleil qui est dynamique et permettra de recevoir le maximum l'énergie lumineuse sur toute la surface possible.

### II.2 Système suiveur du soleil :

#### II.2.1 Fonctionnement et définition :

Un suiveur solaire ou bien traqueur solaire c'est un système qui permet de capter l'énergie lumineuse selon le principe d'héliostat <sup>[18]</sup>, cette structure motorisée oriente les panneaux solaires pour distribuer l'énergie lumineuse sur tout panneau solaire.

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<sup>[19]</sup>.

(ibtissem, 2018)

(zohera, 2014)

---

<sup>2,3</sup> AHAITOUF.A et MECGAQRANE.A «conception et réalisation d'un suiveur solaire a deux axes », Thèse de master, Université sidi mohamed ben abdelah , 2015

<sup>11,2</sup> KADERI.I « étude, conception et réalisation d'un suiveur solaire», Thèse de master, Université aboubakr belkaid tlemcen , 2018



Figure XX.1 : model de héliostat en(1742)

### II.3 Type des suiveurs solaires :

On distingue principalement deux types de suiveur solaire [<sup>20</sup>]:

#### 1) Les suiveurs passifs :

Ce type de suiveur est constitué dans son architecture de deux tubes en cuivre montés sur les côtés Est et Ouest du panneau PV. Ce type de suiveurs est très classique vue qu'il utilise un fluide vaporisons, et moins précis.

#### 2) Les suiveurs actifs <sup>21</sup>:

La mise en mouvement est assurée par des mécanismes électromécaniques nécessitant une énergie électrique. Cette famille de suiveur se décompose en deux sous familles :

##### a) Les suiveurs astronomiques :

Nécessitant des calculs de prévision de la trajectoire.

##### b) Les suiveurs à capteur :

Nécessitant la détection en temps réel de la position du soleil.

### II.4 L'orientation de la surface de panneau solaire :

#### 1) Rotation suivant un axe :

Ce type peut fonctionner selon deux sens :

##### a) Axe vertical et inclinaison fixe de la surface :

Dans ce cas-là, la surface est orientée avec une pente extérieure fixe ( $\beta$ ) mais l'angle extérieur d'azimut est variable, tournant autour d'un axe vertical comme montré sur la figure II.2. Dans ce cas le rayonnement solaire sera au maximum.

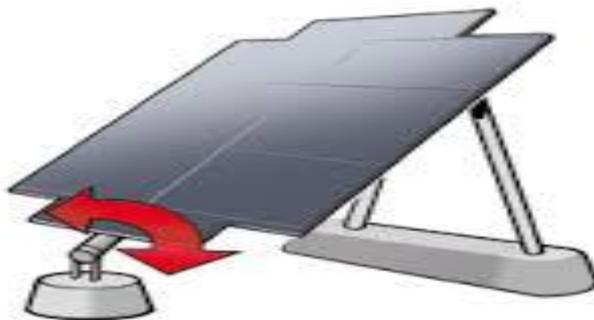
<sup>11,3</sup> KADERI.I « étude, conception et réalisation d'un suiveur solaire», Thèse de master, Université aboubakr belkaid tlemcen , 2018



*Figure XXI.2 : système poursuite mono-axe (vertical)*

**b) Axe horizontal surface parallèle l'axe :**

La surface tourne autour d'un axe simple qui est toujours parallèle à la surface.



*Figure XXII.3 : système poursuit solaire mono-axe (horizontal)*

**2) Rotation suivant deux axes :**

Dans ce cas de figure, le panneau solaire peut tourner sur les deux axes vertical et horizontal, donc la rotation est dite bidirectionnelle et laisse toujours la surface perpendiculaire aux rayons ce qui fait l'angle incident égal à « 0 ».



Figure XXIII.4: système poursuit soleil bi-axial

## II.5 Différents types de monture :

Sont deux monture [22] :

### 1) Monture azimutal :

Cette monture nous permet une orientation sur les deux axis vertical (haut-bas) et horizontal (gauche –droit).

### 2) Monture équatorial :

La monture idéale pour assurer un suivi sidéral lorsque l'axe de ce suiveur soit en parallèle de l'arbre d'orbite terrestre.

## II.6 La différence entre l'installation fixe et d'un suiveur :

Types d'installation de suiveur	Les avantages	Les inconvénients
Un suiveur orbite sur un seul axe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Asservi leur énergie.</li> <li>• Asservi leur durée de vie.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminue leur Rendement.</li> <li>• Diminue leur productivité électrique</li> </ul>
Un suiveur orbite sur deux axes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• augmentation la productivité énergétique des panneaux.</li> <li>• La melleuse rentabilité.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perdre beaucoup de leur énergie.</li> <li>• Durée de vie minimisée.</li> </ul>

<sup>8.1</sup> SHAIB.S « étude et réalisation d'un suiveur solaire bi-axial à base d'un microcontrôleur arduino», Thèse de master, Université arbi ben m'hidi oum el bouaghi , 2017

*Tableau II.1:Les performances de chaque suiveur*

**Conclusion :**

La fixation d'un suiveur solaire autour un axe ou bien deux axes améliorera le rendement d'un panneau solaire mais il restera toujours stable parce qu'il le point impacté par le soleil ce n'est pas le point médiate de panneau ou bien centraliser de ce panneau, mais on peut le Contrôler et le commander par un petit programme ou il restera a la plus surface possible de panneau et protéger le suiveur pour atteindre sa durée de vie maximal.

## **Chapitre 03 : Matérialisation de suiveur solaire**

**Objectif :** C'est la sélection et la connaissance les différents matériels nécessaires pour réaliser un suiveur solaire bi-axial.

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

Dans ce chapitre, nous présenterons d'une manière détaillée les dispositifs nécessaires pour réaliser un traqueur solaire « Suiveur Solaire Bi-axial ».

Ce système de poursuite des rayonnements solaire se décompose en une partie mécanique composée d'un panneau qui reste toujours dirigé vers les rayons et l'autre partie électronique constituée des appareils électroniques.

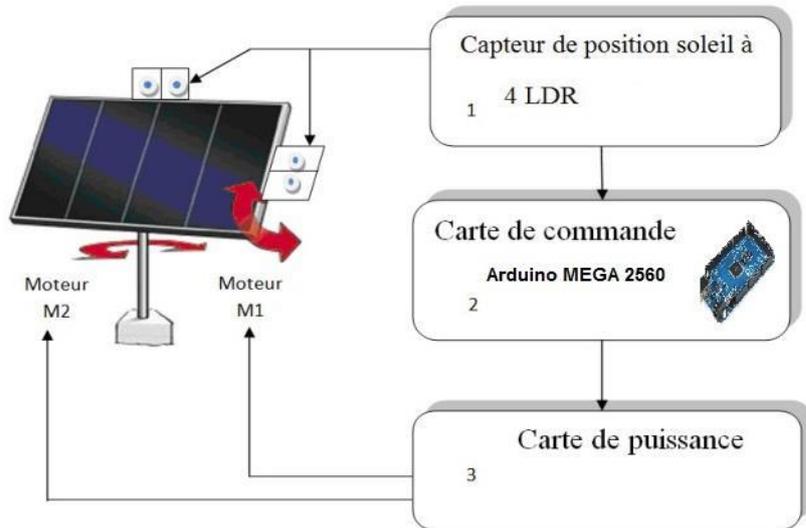


Figure XXIV.1 : schéma électrique suiveur solaire

Le fonctionnement de ce système de poursuite des rayonnements solaire nécessite des capteurs, moteurs et une carte Arduino.

### III.2 Partie dispositifs :

#### III.2.1 Capteur de la lumière(LDR) :

Un **capteur** est un dispositif qui permet de convertir une grandeur physique en un signal électrique. Il existe plusieurs capteurs de lumière tels que : la photodiode, phototransistor, la photorésistance, Capteur CCD (coupled charge device – dispositif à transfert de charge), ....etc.

Le capteur est nécessaire dans notre système. Nous avons utilisé une photorésistance ou encore appelé LDR (Light Dependant Resistor) résistance dont la valeur ohmique dépend de son niveau d'éclairement. En effet, sa résistance varie en fonction du flux lumineux incident, elle est inversement proportionnelle à la lumière reçue.

Ces types des capteurs sont sensibles pour la lumière et les rayonnements lumineux, dans ca caractéristique leur résistance s'élève lorsque la lumière diminue. Ce petit dispositif transforme cette énergie lumineuse en une autre électrique qui donne un indice pour le sens de rotation du suiveur. Le Tableau III.1 illustre les caractéristiques des photorésistances <sup>[23]</sup><sup>[24]</sup>.

<sup>8.2</sup> SHAIB.S « étude et réalisation d'un suiveur solaire bi-axial à base d'un microcontrôleur arduino», Thèse de master, Université arbi ben m'hidi oum el bouaghi , 2017

<sup>6.3</sup> MKRELOUF.A et BENYAMINA.A « étude et réalisation d'un système suiveur solaire» a deux axe, Thèse de master, Université hassiba ben bouali chlef, 2011

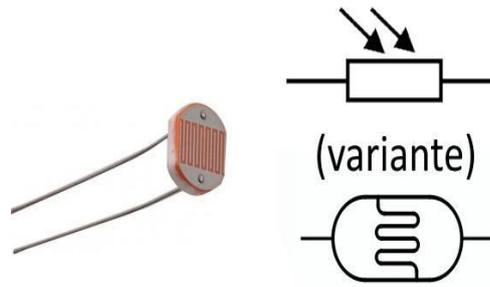


Figure III.2 : Une photorésistance

Dispositif électrique	Caractéristique
<b>LDR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La Sensibilité a la lumière.</li> <li>• La résistance proportionnelle a longueur d'onde.</li> <li>• Le temps de réponse si le temps de l'évolution le signal électrique.</li> <li>• Temps de réponse rapide.</li> <li>• Leur résistance inferieur a résistance initiale.</li> </ul>

Tableau III.1: Caractéristique de la photorésistance

Le principe de brochage pour un diviseur de tension est illustre sur la figure suivante [ <sup>25</sup>][<sup>26</sup> ]:

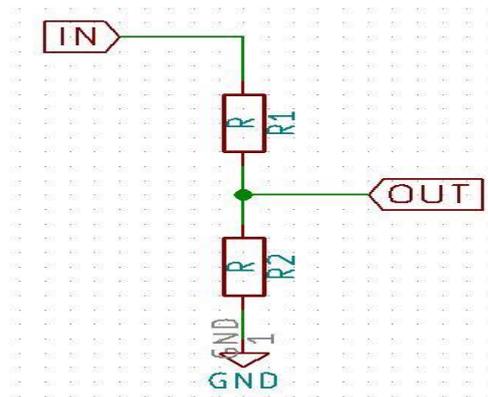


Figure III.3 : schéma diviseur de tension

<sup>4-1</sup> BENMOHAMADI.Z « étude, conception et réalisation d'une commande d'un Tracker solaire (suiveur solaire)», Thèse de master, Université sidi mhamed benabdelah de fes maroc , 2014

<sup>4-2</sup> BENMOHAMADI.Z « étude, conception et réalisation d'une commande d'un Tracker solaire (suiveur solaire)», Thèse de master, Université sidi mhamed benabdelah de fes maroc , 2014

$$V_{out} = \frac{R2}{R2+R1} V_{in} \dots (III)$$

Avec :

$V_{out}$ : Tension de la sortie du capteur (dépende de lumière).

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

$R2$  : résistance de LDR.

### III.2.2 Le servo moteur :

Le servo moteur est un appareille électronique parmi les moteurs a courant continue facile a programmer et à utiliser, il se décompose en un :

**Palonnier** : qui permet à 1cm de prendre 1.6 kg

**Réducteur** : un réducteur en sortie de ce moteur diminué la vitesse mais augmente le couple.

**Potentiomètre** : un potentiomètre qui génère une tension variable proportionnelle à l'angle de l'axe de sortie.

Ce servo moteur a un driver de moteur à courant continu pilotant le moteur asservis en position environ de 180° grâce à un système de commande via PWM avec une sortie TTL 5V de période de 20ms avec un temps à l'état haut compris entre 0,7 et 2.3 ms environ. Ce servomoteur dispose d'une connectique standard 3 fils [<sup>27</sup>][<sup>28</sup>] :



Figure XXV.4 : le servomoteur

Ce servo est reçoit une tension par un potentiomètre sous forme analogique réduite de telle façon à permettre de tourner le palonnier par une rotation angulaire de 0° a 180°

<sup>27</sup> Prinsloo.G, DOBSON.R .2015. solaire tracking, ouvrage,south africa.

<sup>10.1</sup> SIDANE.Y et FERHOUNE.N «évaluation des performance d'un suiveur solaire», Thèse de master, Université abdelrahman mira de bejaia, 2013

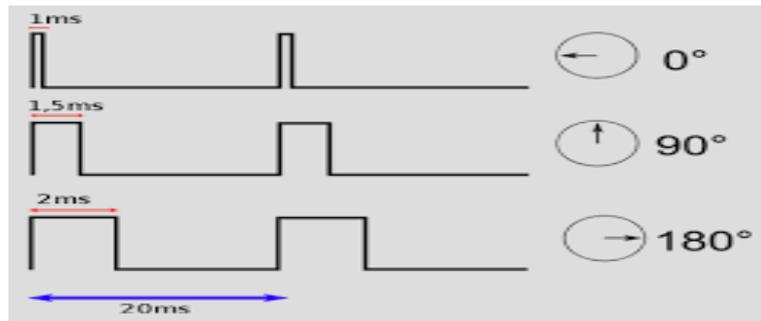


Figure III.5 : amorçage et quantification d'un signal de tension

Les caractéristiques d'un servo moteur sont données sur le tableau suivant

Dispositif	Caractéristique	Les fils
<b>Le Servo moteur</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Alimentation</b> 4.8 à 6v</li> <li>• <b>Course</b> : 120°minumum</li> <li>• <b>Couple</b> : 1.6kg.cm a 4.8vcc.</li> <li>• <b>Vitesse</b> : 0.12 s/60° à 4.8vcc.</li> <li>• <b>Dimension</b> : 24 × 13 × 29 □□</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Le marron</b></li> <li>• <b>Le jaune</b></li> <li>• <b>Le rouge</b></li> </ul>

Tableau III.4 : caractéristique d'un servo moteur

Ces dispositifs sont très utilisés en robotique de par leur rapidité, robustesse, de petite poids et prix.

Le fonctionnement de servo nécessite de le programmer via un microcontrôleur comme le pic ou bien une carte arduino

### III.2.3 La carte arduino uno :

le microcontrôleur c'est un appareil électronique qu'il a beaucoup des caractéristiques spécifiques intégrés dans ces compositions qui nous aident à contrôler un dispositif tel le suiveur ou bien le traquer solaire et le commander, il est très important dans la programmation robotiques, dans toutes les zones industrielles et donne beaucoup de précision et meilleure rentabilité. Cette carte programmable permet de recevoir des commandes grâce à un logiciel « arduino » c'est le programme qui permet le fonctionnement des outils des appareils (moteur, led.....) Elle possède des entrées et des sorties et d'autres permettant par exemple de se connecter à un ordinateur ou de s'alimenter<sup>[29]</sup><sup>[30]</sup>.

<sup>11-4</sup>KADERI.I « étude, conception et réalisation d'un suiveur solaire », Thèse de master, Université aboubakr belkaid tlemcen, 2018

La carte Arduino qu'on a utilisé c'est bien « Arduino Uno » , C'est la première version stable des cartes Arduino. Elle possède toutes les fonctionnalités d'un microcontrôleur classique en plus de sa simplicité d'utilisation. Elle utilise une puce ATmega328.

Cette carte Arduino reçoit une tension délivrée par un générateur de tension de 5V par des entrées analogiques et le convertit par logiciel Arduino sur l'échelle de voltes sous forme de variables numériques en décimal de 10 bits de (0 – 1023) ca signifier la numérisation<sup>31</sup>.

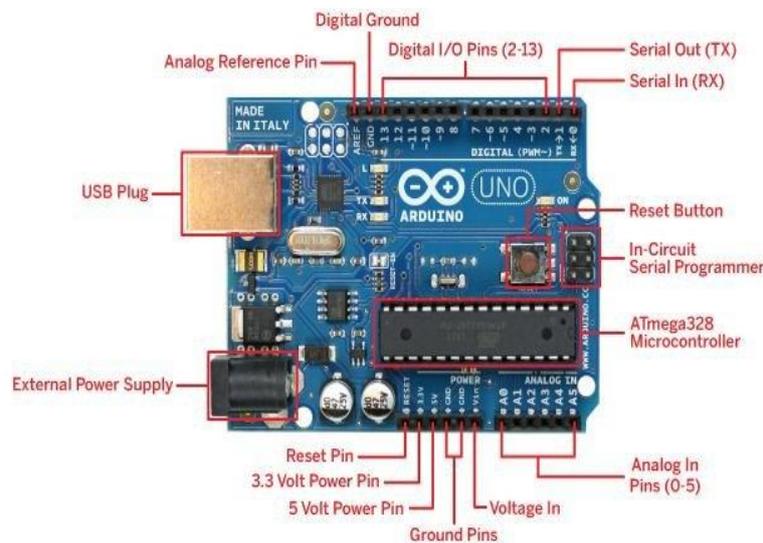


Figure XXVI.6 : La carte Arduino Uno R3

Les Caractéristique d'une carte Arduino sont donnée sur le tableau suivant.

Dispositif	Caractéristique
Une carte arduino	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Microcontrôleur : ATmega328.</li> <li>• Tension de fonctionnement : <b>3vet 5v</b>.</li> <li>• Tension d'alimentation (recommandée) : 7-12V.</li> <li>• Tension d'alimentation (limites) : 6-20V.</li> <li>• Broches E/S numériques : 14(dont 6 disposent d'une sortie PWM).</li> </ul> <p>Pwm : permettre le transfert un signal analogique et de programmation.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Broches d'entrées analogiques.</li> <li>• Intensité maxi disponible par broche E/S (5V) : 40 mA.</li> <li>• Intensité maxi disponible pour la sortie 3.3V 50 Ma.</li> <li>• Intensité maxi disponible pour la sortie 3.3V 50 Ma.</li> <li>• Mémoire Programme Flash : 32 KB (ATmega328) dont 0.5 KB</li> </ul>

<sup>8.3</sup> SHAIB.S « étude et réalisation d'un suiveur solaire bi-axial à base d'un microcontrôleur arduino», Thèse de master, Université arbi ben m'hidi oum el bouaghi , 2017

<sup>2.4</sup> AHAI TOUF.A et MECGAQRANE.A «conception et réalisation d'un suiveur solaire a deux axes », Thèse de master, Université sidi mohamed ben abdelah , 2015

	<p>sont utilisés par le bootloader.          Bootloader : permettre le réinitialiser.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mémoire EEPROM (mémoire non volatile) : 1 KB (ATmega328)..          Conservation des données.</li> <li>• Vitesse d'horloge : 16 MHz.</li> </ul>
--	--

Tableau III.5 : caractéristique d'une carte Arduino

### III.3 Partie de logiciel

#### Control de la carte arduino uno :

Le control de cette appareille électronique ca fonction quand on a relient les différentes entrees sorties nécessaires et le commander par un logiciel « arduino » (compatible avec linux ,windows.....etc).

Qui fait el langage java et libre en plus d'être multiplateforme sert comme éditeur et de compilateur qui permettre d'injecter un code dans le microcontrôleur.

Le langage de programmation utiliser c'est le c++<sup>[32]</sup>.

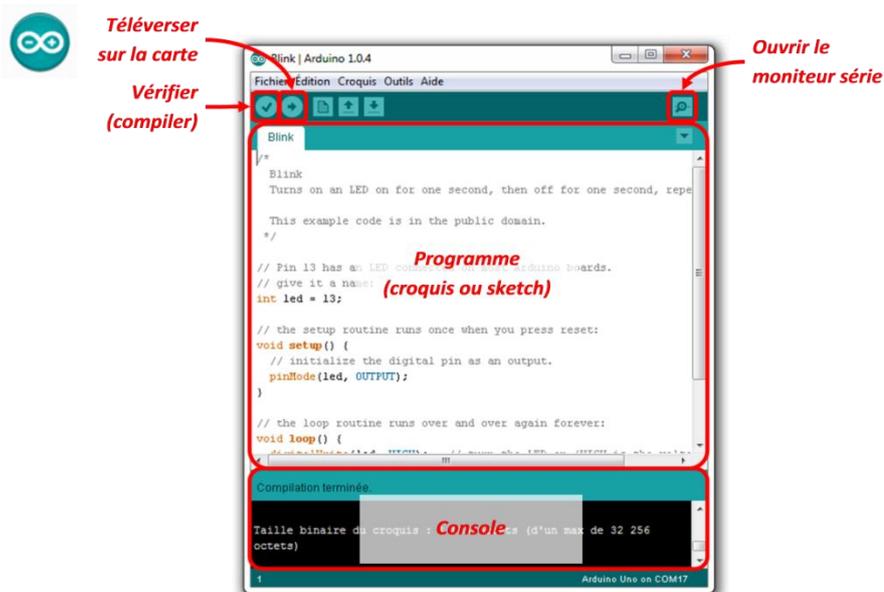


Figure XXVII.7 : interface principale de l'éditeur Arduino

#### Les avantages d'une carte arduino :

Dispositif	Les avantages
La carte Arduino	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pas chère.</li> <li>• Multiplateforme : tourne sous Windows, Macintosh et Linux.</li> <li>• Nombreuses librairies disponibles avec diverses fonctions.</li> </ul>

<sup>8.4</sup> SHAIB.S « étude et réalisation d'un suiveur solaire bi-axial à base d'un microcontrôleur arduino », Thèse de master, Université arbi ben m'hidi oum el bouaghi , 2017

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Commandée les entrées et les sorties.</li> <li>• Programmeur de certain microcontrôleur</li> </ul>
--	---

*Tableau III.7: Les avantages d'arduino*

Les principales instructions utilisées lors de cette réalisation sont données sur le tableau suivant :

Les instructions	But de l'utilisation
Durée _état _haut=(angle_voulu/180)+1	Permet le pivoter le servo moteur
#include « servo.h»	L'initialisation ou bien le début
Servo nomdeservo	Pour la déclaration
<b>Attach(pin) ou Attach (pin,min, max)</b>	P our connecter le broche
NomServo.write (angle)	Pour atteindre l'angle voulez
Nomservo.writeMicroseconde (angle en ms)	Atteindre l'angle par microseconde
NomServo.attched(pin)	C'est pour le connecter
NomServo.dettach()	C'est pour le d'connecter
Nomservo.read()	C'est pour lire l'angle du servo

*Tableau III.6 : principales instructions*

### 1. Cable USB A male B male:



*Figure XXVIII.8 : câble USB type A/B(arduino uno)*

Le câble USB permet à la fois d'alimenter un projet Arduino et de programmer la carte.

## **2. Les filles pour pin d'arduino :**



*Figure XXIX.9 : fil de pin d'arduino*

Ces fils males sont utilisés pour brancher et connecter l'Arduino avec d'autres composants et pour les tests.

### **Conclusion :**

Dans ce chapitre, on a abordé les différents composants et logiciel utiles pour cette réalisations. A cet effet, nous avons donné les différentes caractéristiques des composants et leur utilité dans la réalisation, en outre nous avons abordé le logiciel utilisé pour la programmation de la carte Arduino.

Dans le prochain chapitre nous allons aborder la réalisation, notamment la connectique entre les différents composants ainsi que le programme permettant de fonctionner le système.

## CHAPITRE 4 : Réalisation et simulation

**Objectifs :** Et de donner dans un premier temps les différentes connexions entre les composants et dans un second temps de donner le programme de fonctionnement de tout le système.

### IV.1 Introduction :

Pour que la production photovoltaïque soit en maximal, les rayons arrivant directement du soleil doivent avoir un angle d'incidence égal à  $90^\circ$ , pour reste tout jours centraliser et diriger vers soleil.

Dans ce contexte, la réalisation doit comporter une partie mécanique, une partie logiciel et une partie électrique.

### IV.2 Partie mécanique

On commence premièrement par la création d'une paroi entre les quatre photorésistances pour l'orientation de ce panneau.

#### IV.2.1 Réalisation de la paroi :

Cette paroi nous permet de déterminer la direction de panneau, soit azimutale ou horizontale, donc elle est responsable de donner avec l'orientation que doit avoir le panneau pour qu'il soit perpendiculaire aux rayonnements solaires [33].

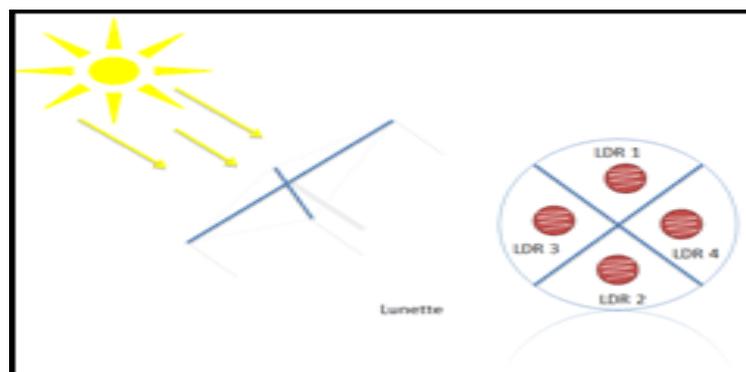


Figure IV.1 : fonction LDR par paroi

#### IV.2.2 Création des arbres de rotation :

<sup>4-3</sup> BENMOHAMADI.Z « étude, conception et réalisation d'une commande d'un Tracker solaire (suiveur solaire)», Thèse de master, Université sidi mhamed benabdelah de fes maroc , 2014

Les deux arbres permettent la rotation du suiveur solaire. le premier c'est pour l'inclinaison horizontale entre la gauche et la droite c'est la structure de base, alors que le deuxième c'est



pour la direction azimutale pour la variation entre le haut et le bas de panneau.

Figure IV.2 : Structure mécanique réalisée

### IV.3 Partie électronique

La figure IV.3 illustre la disposition des quatre LDR utilisées pour capter l'intensité du rayonnement dans chaque direction. En outre, chacune des sorties des LDR est connectée à une Pin de la carte Arduino pour recueillir l'information.

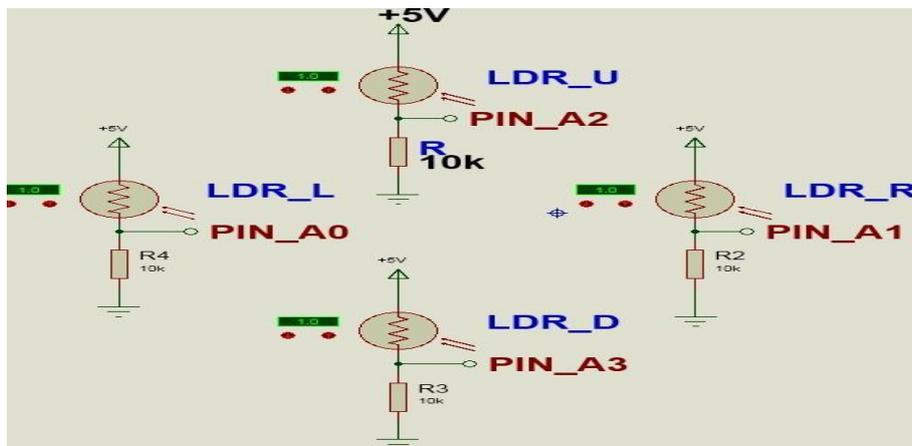


Figure IV.3 : la liaison et les pins de commande des entrées

La figure IV.4 illustre le schéma de câblage des différents composants avec la carte Arduino. Dans cette figure, on note également la connexion des servomoteurs avec les Sorties PWM de la carte Arduino pour qu'on puisse tourner ces moteurs selon l'angle désiré

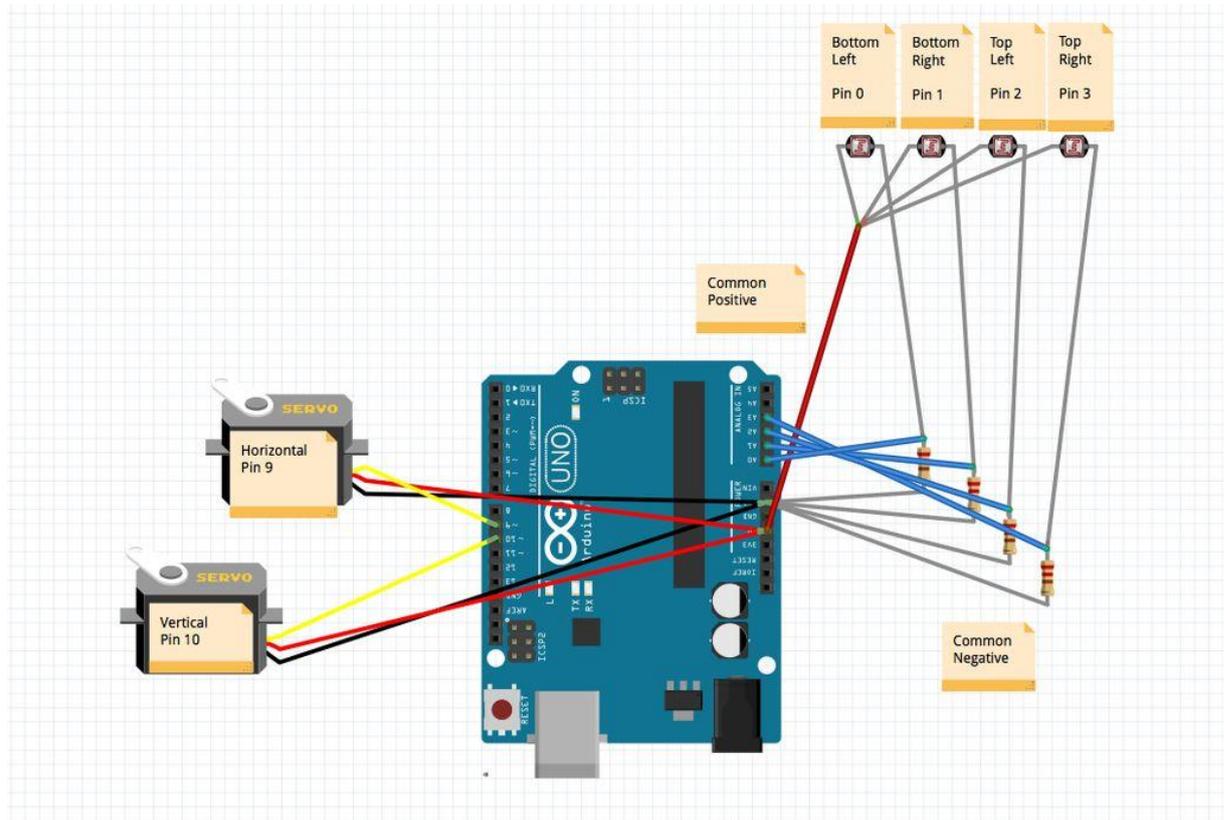


Figure IV.4: liaison de schéma d'un suiveur solaire

### 1) Schéma General d'un suiveur sur « isis proteus » :

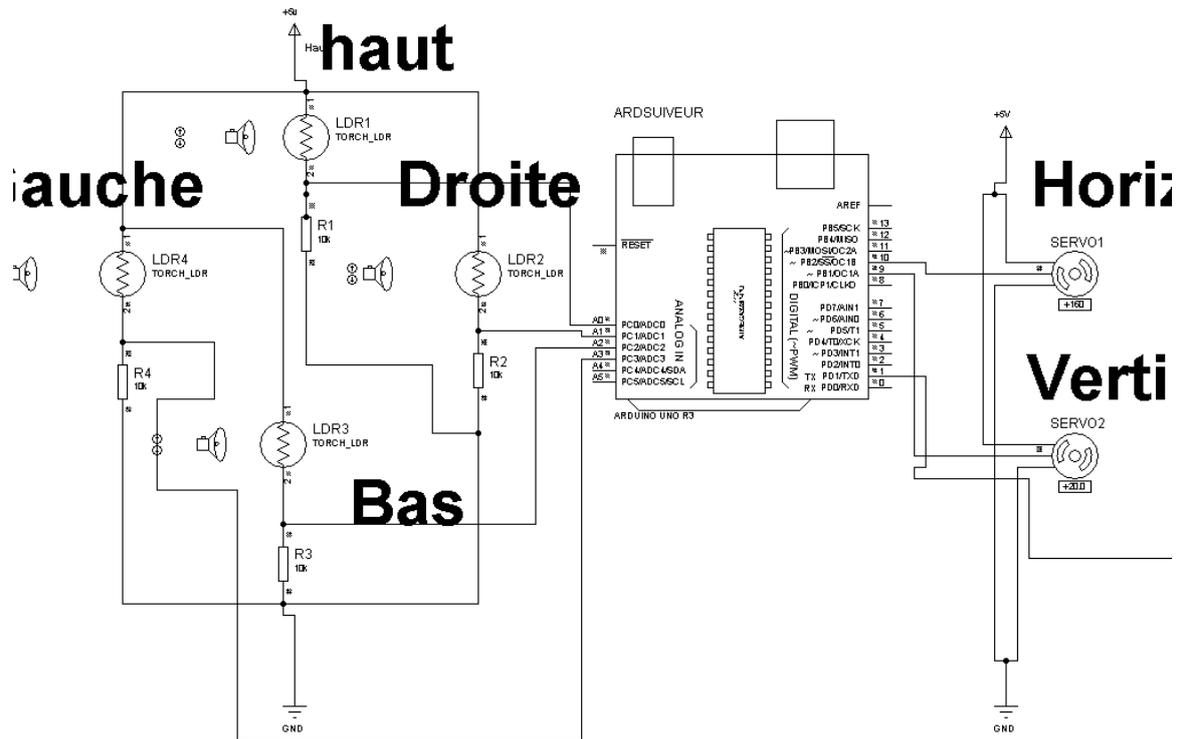


Figure IV.5 : schéma d'un suiveur sur isis

#### IV.4 Partie logiciel

Comme tous les appareils électroniques on a besoin d'une calibration se permettre d'identifier cette appareil ou bien de le configurer d'après leur utilisation. D'après le phénomène étudié ça se peut d'une fréquence ou bien une tension comme notre cas.

Une tension délivrée par l'excitation d'un photorésistance par l'énergie lumineuse cette énergie démunie la résistivité de photorésistance qui se résulte sur un diviseur de tension ça donne une information analogique a une entrée analogique d'Arduino uno, cela permet de convertir cette tension par le logiciel « arduino » de l'échelle de volt a des variables numériques en décimale de 10 bits ça donne 1024 chiffres (a 0-1023) c'est la numérisation(**échantillonnage et quantification**), elle s'effectue par le convertisseur analogique numérique CAN . Après l'arduino reconvertit le signal d'alimentation qui constitue d'un train d'impulsion, devient un entier non signé de 8 bits (de 0-255), sur pwm c'est la base de modulation de la largeur donc c'est-à-dire une valeur dans la plage

$$0 \leq PWM\_out\_level \leq 255 \dots \dots \dots IV.1$$

Avec :

$$PWM\_out\_level = 255 * \frac{V_{eff}}{V_s} / V_s=5V \dots \dots \dots \text{IV.2}$$

Et :

$$V_{eff} = V_{s \frac{\tau_0}{\tau_c}} \dots \dots \text{IV.3}$$

**Organigramme du suiveur solaire :**

L'organigramme suivant donne les différents cas de figures de positionnement du panneau selon sa position et la lecture des rayonnements par les quatre LDR [34] :

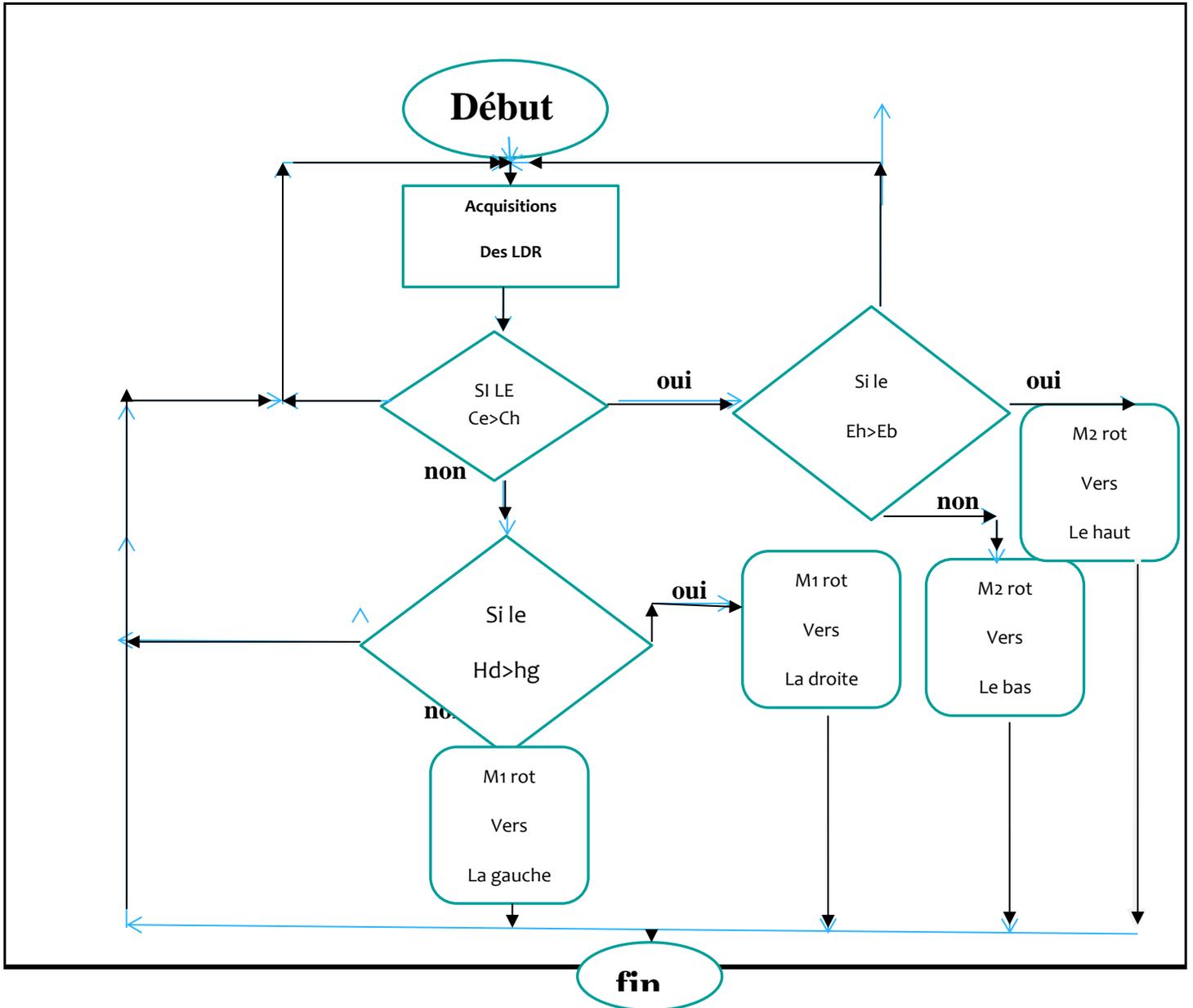


Figure IV.6 : organigramme d'un suiveur solaire

<sup>4.4</sup> BENMOHAMADI.Z « étude, conception et réalisation d'une commande d'un Tracker solaire (suiveur solaire) », Thèse de master, Université sidi mhamed benabdelah de fes maroc , 2014

Après avoir élaboré l'organigramme, on passe à programmation de la carte Arduino par logiciel spécifique pour « arduino ». Le programme avec un commentaire spécifique a chaque instruction est comme suit ;

---

```
[Code]
#include <Servo.h>
Servo myservo1;
Servo myservo2;
Int droit=0;    //ldr droite
Int gauche=0;  //ldr gauch
Int haut=0;    //ldr haut
Int bas=0;     // ldr bas
Int pos1, pos2; //pos1 position horizontale, pos2 position verticale
Void setup () {
  myservo1.attach(9); //attacher le servo 1 au pin numérique 9
  myservo2.attach(10); //attacher le servo 2 au pin numérique 10
  Serial. Begin(9600); //nombres des communications par second avec l'ordinateur
}
Void loop () {
  Haut=analogRead(A0); //lire la valeur spéciale A0 analogique pin pour le convertir
  Droit=analogRead(A1); //lire la valeur spéciale A1 analogique pin pour le convertir
  Bas=analogRead(A2); //lire la valeur spéciale A2 analogique pin pour le convertir
  Gauche=analogRead(A3); //lire la valeur spéciale A0 analogique pin pour le convertir
  if (droit > gauche){
    Serial.println ("droit");
    pos1++; //tourne vers la droite
  If(pos1 >160){
    pos1=160; //pour protéger le servomoteur
  }
}
Else {
  Serial.println ("gauche");
  pos1--; //le servo moteur tourne vers la gauche

  If(pos1 <20){
    pos1=20; //Controller l'orientation de servomoteur
  }
}
  if (haut > bas){
    Serial.println ("haut");
    pos2++; //le servo moteur 2 tourné vers la droite

  If(pos2 >160){
    pos2=160;
  }
}
Else {
  Serial.println ("bas");
```

---

---

```
    pos2--; //le servo moteur 2 tourné vers la gauche
If(pos2 <20){
    pos2=20;}
}
myservo1.write (pos1); //écriviez la position de servo 01
myservo2.write (pos2); //écriviez la position de servo 02
Serial.print ("pos1 =");//afficher la position de servo 01
    Serial.println (pos1);
    Delay(10) ; //le temps pour l'afficher
    Serial.print ("pos2 =");//afficher la position de servo 02
    Serial.println (pos2);
Delay(10);
}
[/Code]
```

---

#### **IV.5 Conclusion :**

Dans ce chapitre on a passée en revue les différentes étapes de réalisation du suiveur solaire. Dans un premier temps nous avons expliqué la partie mécanique puis nous avons expliqué la partie électrique (hardware et software)

### **Conclusion général ;**

L'énergie solaire c'est une énergie qui peut remplacer l'énergie fossile et même démunie à leur utilisation c'est une énergie inépuisable et non polluante, elle est l'amie de l'environnement.

Le suiveur ou bien le traqueur solaire qui tourne sur deux axes donne un meilleur rendement par rapport à celui qui tourne sur un seul axe ou à celui qui est fixé directement.

Mais les contraintes c'est la partie mécanique qui est difficile à réaliser et prend beaucoup de temps à réaliser et a besoin de pas mal de mesures.

A cette réalisation, j'ai découvert pas mal de connaissances et parfaire d'autres déjà acquises, notamment la carte Arduino ainsi que la programmation de cette dernière.

## **Bibliographie :**

AHAITOUF.A et MECGAQRANE.A «conception et réalisation d'un suiveur solaire a deux axes », Thèse de master, Université sidi mohamed ben abdelah , 2015

Anne labouret , michel villosz.(2003).ouvrage,énergie solaire photovoltaique.paris

BENMOHAMADI.Z « étude, conception et réalisation d'une commande d'un Tracker solaire (suiveur solaire)», Thèse de master, Université sidi mhamed benabdelah de fes maroc , 2014

GUSSOUM.F et SAADI.A «commande de panneau solaire à l'aide d'une carte à pic », Thèse de master, Université mohamed khider biskra , 2010

KADERI.I « étude, conception et réalisation d'un suiveur solaire», Thèse de master, Université aboubakr belkaid tlemcen , 2018

lilensten jean ,blelly pierre-louis.(2000).ouvrage,du soleil a la terre.grenoble.

MKRELOUF.A et BENYAMINA.A « étude et réalisation d'un système suiveur solaire» a deux axe, Thèse de master, Université hassiba ben bouali chlef, 2011 ouvrage,south africa.

RACHIDIUOUL et HAMROUN.A « étude et réalisation d'un concentrateur parabolique avec une poursuite automatique», Thèse de master, Université abdelrahman mira-bedjia, 2017

SHAIB.S « étude et réalisation d'un suiveur solaire bi-axial à base d'un microcontrôleur arduino», Thèse de master, Université arbi ben m'hidi oum el bouaghi , 2017

SIDANE.Y et FERHOUNE.N «évaluation des performance d'un suiveur solaire», Thèse de master, Université abdelrahman mira de bejaia, 2013

**Annexe :**

**Annexe 01 : bilan d'achat des diapositives**

N°	DESIGNATION	REPERE	QUANTITUE	PRIX UNITAIRE	PRIX TOATAL
1	RESISTANCE	R1AR4	04	35	140
2	LDR	LDR1ALDR4	04	70	280
3	SERVOMOTEU R	M1ET M2	02	800	1600
4	FIL	FIL s	20	15	600
5	Panneau solaire	Un panneau	1	2000	2000
6	Carte arduino uno	Une Carte arduino	1	3500	3500
7	Plaque d'essai	Une plaque	1	200	200
total					8320da