

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE**  
**SCIENTIFIQUE**  
**UNIVERSITE AKLI MOAND OULHADJ DE BOUIRA**



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées  
Département : **Génie Electrique**

**Mémoire de fin d'étude**

Présenté par :

**KAHILA SAID**

**BOUAKLINE IBTISSAM**

En vue de l'obtention du diplôme de **Master** en :

Filière : ELECTRONIQUE

Option : Electronique des systèmes embarqués

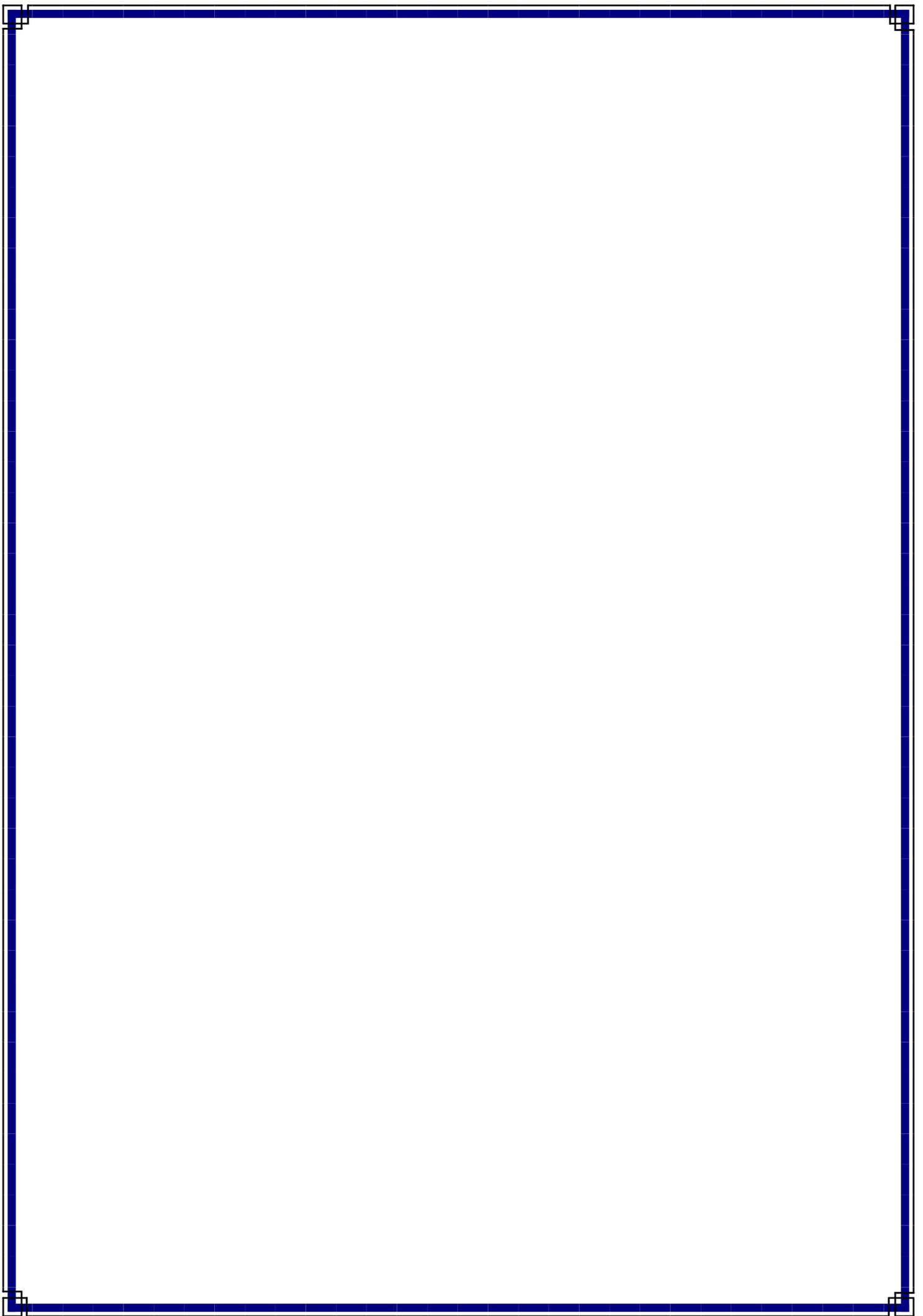
**Thème :**

**Etude conception et réalisation d'un suiveur solaire bi-axiale**

**Devant le jury composé de :**

ALI MOHAD	MCB	UAMOB	Président
KHARCHI MOHAMED	MAA	UAMOB	Encadreur
Houacine Hamza	MCA	UAMOB	Examineur

Année Universitaire 2018/2019



## 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 éclairément ne soit identique que si la lunette est pointée vers le soleil. Les signaux issus des capteurs sont transmis aux entrées d'un ARDUINO de type " dans « UNO » 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 et aussi en commande l'orientation de ce panneau manuellement avec deux potentiomètres dans les deux sens.

Enfin, le système que nous avons réalisé est capable de suivre fidèlement la position du soleil avec un bon rendement.

## ملخص

مشروعنا هو صنع متتبع شمس تلقائي باستعمال حساسات ضوئية الهدف من هذا المشروع هو تحسين المكاسب في الطاقة الكهربائية للوحة شمسية تتحرك نسبة إلى النظام الثابت. سيتم تثبيت جهازنا بواسطة هيكل ميكانيكي يتحرك بواسطة محركين ذو تيار مستمر من نوع سيرفو مع دوائر التحكم الخاصة بهم مما يتيح تدوير اللوحة في الاتجاهين الأفقي والعمودي. بالنسبة لهذا التطبيق ، لقد صنعنا متتبعاً مكوناً من أربعة أجهزة استشعار مقاومة للضوء من نوع "LDR". يتم نقل الإشارات الصادرة من أجهزة الاستشعار إلى مدخلات متحكم من النوع « UNO » والذي يسمح بمقارنة مستويات الجهد للسيطرة على المحركين مما يسمح بتوجيه اللوحة نحو الشمس. مع إمكانية تدويرها يدوياً بالاستعمال مقاومتين متغيرتين مما يتيح لنا بتوجيه الجهاز في الاتجاهين. وأخيراً ، فإن النظام الذي حققناه قادر على متابعة أشعة الشمس و اعطاء مردود اعلى من الطاقة الكهربائية. مقارنة بالنظام الثابت.

## Abstract

Our work has as objective the improvement of the gain in electrical energy of the solar tracker moving relative to the fixed system. Our instrument device will be fixed on a mechanical structure that we made based on two DC motors with their control circuits allowing rotation of the panel in both horizontal and vertical directions. For this application, we have made a telescope made of four photoresist sensors type 'LDR' which are arranged in such a way that

their illumination is identical only if the telescope is pointed towards the sun. The signals from the sensors are transmitted to the inputs of a microcontroller of the type 'uno' in "arduino" which allows the comparison of the voltage levels for the control of the two motors. In addition, it allows the orientation of the panel towards the sun.

Finally, the system we have achieved is able to follow the sun's rays and give a higher yield of electrical energy. Compared to the fixed system.

## 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 éclairément ne soit identique que si la lunette est pointée vers le soleil. Les signaux issus des capteurs sont transmis aux entrées d'un ARDUINO de type " « UNO » 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 et aussi en commande l'orientation de ce panneau manuellement avec deux potentiomètres dans les deux sens.

Enfin, le système que nous avons réalisé est capable de suivre fidèlement la position du soleil avec un bon rendement.

## ملخص

مشروعنا هو صنع متتبع شمس تلقائي باستعمال حساسات ضوئية الهدف من هذا المشروع هو تحسين المكاسب في الطاقة الكهربائية للوحة شمسية تتحرك نسبة إلى النظام الثابت. سيتم تثبيت جهازنا بواسطة هيكل ميكانيكي يتحرك بواسطة محركين ذو تيار مستمر من نوع سيرفو مع دوائر التحكم الخاصة بهم مما يتيح تدوير اللوحة في الاتجاهين الأفقي والعمودي. بالنسبة لهذا التطبيق ، لقد صنعنا متتبعاً مكوناً من أربعة أجهزة استشعار مقاومة للضوء من نوع "LDR". يتم نقل الإشارات الصادرة من أجهزة الاستشعار إلى مدخلات متحكم من النوع « UNO » والذي يسمح بمقارنة مستويات الجهد للسيطرة على المحركين مما يسمح بتوجيه اللوحة نحو الشمس. مع إمكانية تدويرها يدوياً بالاستعمال مقاومتين متغيرتين مما يتيح لنا بتوجيه الجهاز في الاتجاهين. وأخيراً ، فإن النظام الذي حققناه قادر على متابعة أشعة الشمس و اعطاء مردود اعلى من الطاقة الكهربائية. مقارنة بالنظام الثابت.

## Abstract

Our work has as objective the improvement of the gain in electrical energy of the solar tracker moving relative to the fixed system. Our instrument device will be fixed on a mechanical structure that we made based on two DC motors with their control circuits allowing rotation of the panel in both horizontal and vertical directions. For this application, we have made a telescope made of four photoresist sensors type 'LDR' which are arranged in such a way that

their illumination is identical only if the telescope is pointed towards the sun. The signals from the sensors are transmitted to the inputs of a microcontroller of the type 'uno' in "arduino" which allows the comparison of the voltage levels for the control of the two motors. In addition, it allows the orientation of the panel towards the sun.

Finally, the system we have achieved is able to follow the sun's rays and give a higher yield of electrical energy. Compared to the fixed system.

# *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 Karchi Mohamed pour son soin exceptionnel et conseils judicieux.*

*Nos remerciements les plus vifs s'adressent aussi aux messieurs le président et les membres de jury d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer notre travail. Enfin, nous remercions notre parents et tous ceux qui nous ont aidé à accomplir notre travail, de près comme de loin.*





## *Dédicaces*

- *A Mes très chères parents, pour leur sacrifice et leur dévouement pour mon bonheur.*
- *A MA GRANDE MERE paix à son âme, mes frères Ahmed, Aimad et Adem et toute la famille sans exception.*
- *A Tous mes amis.*
- *A ceux qui m'aiment.*

*Je dédie ce travail*

*سعيد سعيد*

## *Dédicaces*

- *A Mes très chères parents, pour leur sacrifice et leur dévouement pour mon bonheur.*
- *A Mon Marie mes frères et sœur et toute la famille sans exception.*
- *A Tous mes amis.*
- *A ceux qui m'aiment.*

*Je dédie ce travail*

✧ *Ibtissam* ✧

# **Sommaire**

**Liste des figures**

**Liste des abréviations**

**I.1. Introduction générale ..... 01**

**Chapitre 1 : Rayonnement solaire et cellule photovoltaïque**

I.1. Introduction.....	03
I.2. Energie et environnement .....	03
I.2.1. Définition de l'énergie .....	03
I.2.2. Types d'énergies .....	03
I.2.3. Sources d'énergie .....	04
I.3. Rayonnement solaire.....	04
I.3.1. Mouvement du globe terrestre .....	04
I.3.2. Le Rayonnement solaire .....	05
I. 3.2.1. Types de rayonnements.....	05
I.3.2.2. Rayonnement en Algérie.....	06
I.4. La cellule photovoltaïque.....	06
I.4.1. Définition .....	06
I.4.2. Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque .....	07
I.4.3. Le transfert de l'énergie lumineuse aux électrons .....	08
I.4.3. Les différents types de cellules photovoltaïques.....	09
I.4.3.1. Les cellules multi-jonction.....	09
I.4.3.2. Les cellules multi cristallines .....	09
I.4.3.3. Les cellules monocristallines .....	10
I.4.3.4. Les cellules amorphes (cellules de calculatrice par exemple.....	10

I.4.4. Le rendement d'un panneau photovoltaïque .....	11
I.4.4.1. Puissance produite .....	11
I.4.4.2. Positionnement.....	12
I.5. Etat de l'art des techniques de suivi.....	13
I.5.1. Les premières utilisations .....	13
I.5.2. Les types des suiveurs solaires .....	14
I.5.2.1. les suiveurs passifs.....	15
I.5.2.2. suiveurs actifs.....	15
I.5.2.2.1. Suiveur à 1 axe horizontal.....	16
I.5.2.2.2. Suiveur à deux axes .....	16
I.6. Conclusion .....	17

## **Chapitre 2 : Les différents éléments constitutifs de système**

II.1. Introduction .....	18
II.2. Un schéma synoptique.....	18
II.3. Études des différents composants.....	18
II.3.1. Capteur de lumière (LDR).....	19
II.3.2. Le circuit de commande .....	20
II.3.2.1. Qu'est-ce que un arduino ?.....	20
II.3.2.2. Arduino UNO .....	21
II.4. Les potentiomètres.....	23
II.5. Sélection du mode .....	24
II.5.1. Définition.....	24
II.5.2. Fonctionnement du bouton poussoir.....	24

II.6. Les moteurs électriques .....	24
II.6.1.3. Le signale de commande d'un servomoteur .....	25
II.6.1. Les moteurs à courant continu .....	25
II.6.1.1. Le servomoteur .....	25
II.6.1.2. Servomoteurs : Asservissement .....	27
II.6.1.3. Le signale de commande d'un servomoteur .....	28
II.7. Les Alimentations utilisées.....	29
II.8.Conclusion .....	30

### **Chapitre 3 : La conception et réalisation de projet**

III.1. Introduction .....	31
III.2. La première partie (les différents blocs de notre système).....	31
III.2.1. Le fonctionnement de système .....	31
III.2.1.1. Bloc des capteurs de lumières(LDR) .....	31
III.2.1.2. Bloc de sélection de mode(le bouton poussoir) .....	32
III.2.1.3. Le bloc de commande .....	32
III.2.1.4. Bloc de mode manuel via les potentiomètres .....	33
III.2.1.5. Bloc de signalisation via les LEDs.....	34
III.2.1.6. Bloc d'alimentation de 5 V .....	35
III.2.1.7. Bloc des servomoteurs .....	35
III.2.2. L'organigramme.....	37
III.2. La deuxième partie (la simulation).....	38
III.2.1. Logiciel de simulation ISIS .....	39
III.2.1.1. L'environnement de travail de PROTEUS.....	39

## Sommaire

---

III.2.1.2. Simulation de notre système .....	40
III.3. la partie de programmation et réalisation .....	40
III.3.1.1. présentation de l'environnement de développement d'arduino (IDE d'arduino) .....	40
III.3.1.2. Les étapes de téléchargement de programme.....	41
III.3.1.3.La programmation sur IDE .....	42
III.3.2. La partie de réalisation .....	43
III.3.2.1. La partie mécanique .....	43
III.3.2.2. La partie électriques .....	44
III.3.2.3. Tests et essais .....	44
a) Test sur le mode manuel.....	47
b) Test sur le mode automatique .....	48
III.4. Conclusion.....	50
<b>Conclusion général .....</b>	<b>51</b>

## Liste bibliographique

## Annexes

# Liste des figures

### **Chapitre 1 : Rayonnement solaire et cellule photovoltaïque**

Figure n° I.1 : Variation saisonnière du rayonnement solaire.....	04
Figure n°I.2 : Composantes du rayonnement global sur une surface inclinée.....	05
Figure n°I.3.Les différentes zones énergétiques dans l'Algérie.....	06
Figure n° I.4 : Cellule photovoltaïque.....	07
Figure n°I.5 :Cellule multi-jonction.....	08
Figure n°I.6 : Cellule multi cristalline.....	09
Figure n°I.7 : Cellule monocristalline.....	10
Figure n°I.8 : Cellule amorphe.....	10
Figure n° I.9 : Structure de la cellule photovoltaïque.....	11
Figure n° I.10 : Dépendance des performances d'un panneau PV de l'angle $\beta$ .....	12
Figure n° I.11 : Rendement en puissance solaire exploitée en fonction de l'angle $\beta$ des rayons solaires.....	13
Figure n°I.12 : Modèle d'un héliostat dans ses premières applications.....	14
Figure n°I.13 : schéma sur les types de suiveurs solaires.....	14
Figure n°I.14 : Exemple et fonctionnement du suiveur solaire passif.....	15
Figure n° I.15 : Suiveur à deux axes.....	16
Figure n° I.16 : Description de suiveur solaire.....	16

### **Chapitre 2 : Les différents éléments constitutifs de système**

Figure II.1 : Schéma synoptique.....	18
Figure II.2 : Circuit équivalent du capteur LDR.....	19
Figure II.3 : une photorésistance (LDR).....	19
FigureII.4 : Caractéristique d'une photorésistance.....	20
Figure II.4 : un arduino UNO.....	21
Figure II.4 : Câble USB type A/B (Arduino UNO).....	22
Figure II.5 : fils de pins utilisés pour arduino.....	22
Figure II.6 : une plaque d'essai.....	23
Figure II.7 : un potentiomètre.....	23
FigureII.8 : Exemple d'un bouton poussoir.....	24

Figure II. 8 : schéma sur la conversion d'énergie .....	25
Figure II. 9 : moteur à courant continue .....	25
Figures II.10, 11 : présentent un servomoteur de type MG996R .....	26
Figure II.12 : les différentes composantes de servomoteur MG996R.....	27
Figure II.13 : un schéma sur le processus d'asservissement dans un servomoteur.....	28
Figure II.14 : signal PWM.....	28
Figure II. 15 : le signal commande d'un servomoteur.....	29

### **Chapitre 3 : La conception et réalisation de projet**

Figure n° III.1 : le branchement électrique des quatre LDRs à l'Arduino .....	32
Figure n° III.2 : Le branchement électrique de bouton poussoir dans l'Arduino.....	33
Figure n° III.3 : le branchement électrique des potentiomètres dans l'Arduino .....	34
Figure n° III.4 : le branchement électrique des deux servomoteurs.....	36
Figure n° III.5 : organigramme de notre .....	37
Figure n° III.6 : l'interface de logiciel ISIS .....	38
Figure n° III.7 : Schéma électrique global .....	39
Figure n° III.8 : Interface IDE Arduino .....	40
Figure n° III.9 : partie de programme Arduino .....	42
Figure n° III.10 : La base de suiveur solaire .....	43
Figure n° III.11 : Les deux plaques rondes en bois.....	43
Figure n° III.12 : Les colonnes en bois deuxième sevo .....	44
Figure n° III.14 : le montage des LDRs .....	45
Figure n° III.15 : la connexion des différents composants .....	45
Figure III.16 : le montage des composants sur la plaque d'essais .....	46
Figure III.17 : l'horizontale pour mode manuel.....	47
Figure III.18 : la rotation verticale pour mode manuel .....	47
Figure III.19 : la rotation horizontale pour mode automatique .....	48
Figure III.21 : la rotation horizontale pour mode automatique .....	49



# **La liste des abréviations**

BD : Bas droit

BG : Bas gauche

D Vert : Def vertical (est une valeur initial de l'éclairement)

D Hoz : Def vertical (est une valeur initial de l'éclairement)

E : Eclairement

HD : Haut Droit

HG : Haut gauche

GND: Ground

IDE : Environnement de développement

$I_{led}$ : Courant direct recommandé dans la LED.

LDR :Light Dependent Resistor

LED: Light-Emitting Diode

MB : Moyenne basse

MD : LDR :Light Dependent Resistor

MG : Moyenne gauche

MH :Moyenne haute

MT : Moyenne totale

PEP : Puissance électrique produite

Pm : Puissance maximale

PSR :Puissance solaire reçu

PV : Photovoltaïque

PWM : Pulse Width Modulation (La modulation de largeur d'impulsions)

R : Le rendement

R-LDR : Résistance de la LDR

$R_p$ : La valeur de la résistance de protection,

STC : Standard test condition

$U_{AI}$ :La tension à l'entrée analogique

$U_{led}$ : Tension de seuil de la LED,

USB : Universal Serial Bus

Vcc: Tension collector commun

Vin : Tension de batterie

V out (LDR) : Tension de sortie de la photorésistance

Les énergies renouvelables sont des énergies qui se renouvellent assez rapidement pour être considérées comme inépuisables à l'échelle humaine du temps [1], sont souvent considérées comme des solutions alternatives aux problèmes actuels de la ressource énergétique ou moins dans le domaine de l'électricité [2].

L'énergie de soleil est la plus renouvelable de toutes, c'est même l'énergie primaire de toutes les énergies présentes dans la terre à l'exception de géothermie qui puise son énergie au cœur de la terre.

Les générateurs photovoltaïques sont modulaires, faciles à mettre en œuvre et à entretenir, ils n'ont que très peu d'usure intrinsèque leur durée de vie est de 20 à 30 ans ; cette industrie minimise les déchets toxiques car c'est une technologie qui favorise la santé publique et le développement humain et qui améliore le niveau de vie des habitants [2].

Notre pays (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<sup>2</sup> est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700KWh/m<sup>2</sup>/an au Nord et 2263 kWh/m<sup>2</sup>/an au Sud du pays à c'est pourquoi elle a réservé une multitude d'investissement dans la technologie photovoltaïque comme le projet de HASSI R'MEL [3].

Dans ce travail on a traité une partie de la technologie photovoltaïque qui sont les suiveurs solaires (leur utilisation remontés vers les années 1750), le principe de cette technologie repose sur la rotation de panneau solaire pour le but maximiser la puissance et le rendement optimale, c'est-à-dire suivre continuellement en temps réel la trajectoire de soleil pour assurer une production maximale de l'énergie électrique.

Notre motivation est basée sur le développement de ce chapitre et de réaliser un instrument qui permet de maximiser la quantité d'éclairement absorbé par le panneau solaire ; c'est pour cela on va organiser notre mémoire en trois chapitres :

Le premier chapitre est une représentation de l'état de l'art de l'énergie solaire, généralités sur le domaine photovoltaïque et les suiveurs solaires.

Ensuite, on va entamer le second chapitre qui présente les différents dispositifs nécessaires pour pouvoir réaliser notre suiveur solaire.

## Introduction générale

---

Puis, le 3<sup>eme</sup> chapitre est consacré pour la conception et la réalisation de notre projet et les résultats de ce travail sont aussi présentés dans ce chapitre

Enfin on conclure notre mémoire par une conclusion générale.

**Chapitre 01**  
**État de l'art des suiveurs**  
**solaire**

## I.1. Introduction :

La lutte contre les émissions de gaz et l'effet de serre rendent urgentes la maîtrise des consommations et la diversification des sources d'énergie et la protection de L'environnement de toutes ces dépassements : l'utilisation et le développement des énergies renouvelables en est la principale solution.

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 une fois exposé à la lumière, produit de l'électricité en quantité proportionnelle à la puissance lumineuse incident.

Dans ce chapitre, nous commençons par la présentation de quelques notions générales autour de l'énergie. Ensuite, nous exposerons les bases du rayonnement solaire. Puis, nous allons parler sur le concept de la cellule photovoltaïque. Enfin, nous allons finaliser ce chapitre par état de l'art des techniques de suivi solaire.

## I.2. Energie et environnement :

### I.2.1. Définition de l'énergie :

L'énergie représente le potentiel (le pouvoir) de faire passer un système d'un état à un autre, ou à produire du travail entraînant du mouvement, de la lumière ou de la chaleur. Ceci nous permet de dire que l'énergie est le moteur qui fait tourner le monde puisque tous ce qui existe dans ce dernier a besoin d'elle afin de fonctionner et de subsister.

### I.2.2. Types d'énergies :

L'énergie existe sous différentes formes : énergie rayonnante, énergie chimique, mécanique, thermique, électrique, nucléaire, hydraulique, éolienne, ...etc. Mais généralement, on peut catégoriser l'énergie en deux grandes familles :

- **Energie Potentielle** : l'énergie potentielle d'un objet est le travail extérieur fourni à ce dernier pour l'amener, à vitesse constante, d'un point de référence à énergie potentielle nulle, au point considéré [1].
- **Energie cinétique** : l'énergie cinétique est le... mouvement des ondes, des électrons, des atomes, des molécules, des substances et de différents objets [2].

### I.2.3. Sources d'énergie :

Les sources d'énergies se regroupent en deux grandes catégories : les matières premières qui comportent les énergies fossiles (non renouvelables), et les phénomènes naturels (les énergies renouvelables), en plus de ça on trouve aussi l'énergie nucléaire.

- **Energie fossile** : se sont des énergies non renouvelables car leurs réserves ne sont pas infinies, produite à partir des hydrocarbures tel que pétrole, gaz naturel, charbon ...etc.
- **Energie nucléaire** : L'énergie atomique ou l'énergie nucléaire est une énergie qui permet de produire de l'électricité dans des centrales thermiques nucléaires. Cette énergie peut être obtenue par deux façons : la fusion nucléaire et la fission nucléaire d'un métal radioactif [3].
- **Les énergies renouvelables** : sont des ensembles de sources d'énergies qu'elles proviennent de phénomènes naturels cycliques tels que le vent, soleil...etc.

### I.3. Rayonnement solaire :

#### I.3.1. 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 (**21 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 [4], (figure I.1).

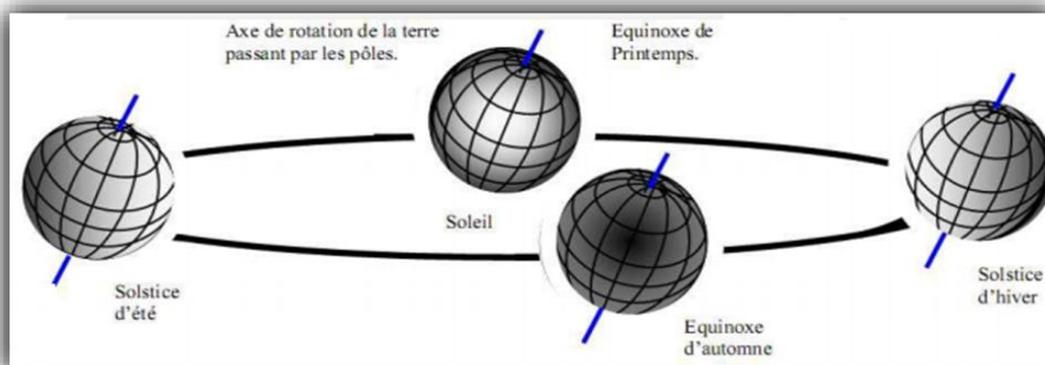


Figure n° I.1 : Variation saisonnière du rayonnement solaire [4].

### I.3.2. 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  $1367 \text{ w/m}^2$ , appelé la constante solaire [5].

#### I. 3.2.1. Types de rayonnements :

##### a. Rayonnement direct :

Ce type de rayonnement définit comme étant le rayonnement provenant du seul disque solaire. Il est donc nul lorsque le soleil est occulté par les nuages.

##### b. 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

##### c. Rayonnement global :

C'est la somme des deux types de rayonnements direct et diffus [6],(figureI.2).

##### d. Rayonnement albédo :

Partie de rayonnement réfléchi par le sol [7]

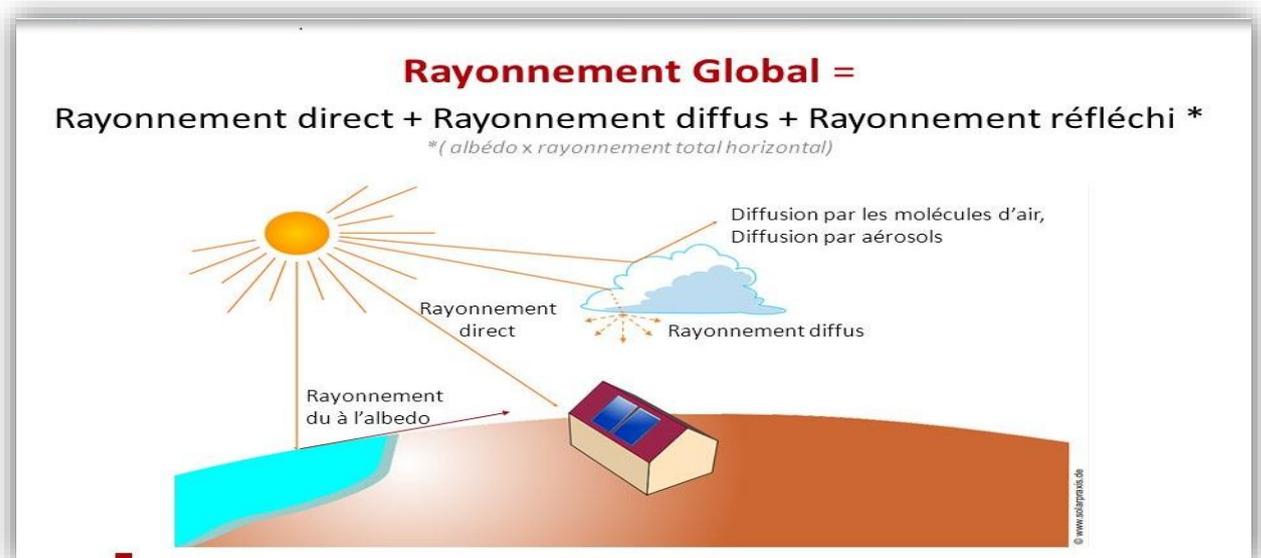


Figure n°I.2 : Composantes du rayonnement global sur une surface inclinée [6]

### I.3.2.2. Rayonnement en Algérie :

L'Algérie possédant un gisement solaire important, de par son climat, la puissance solaire maximale en tout point de notre pays est d'environ 1Kw/m<sup>2</sup>. L'énergie journalière maximale moyenne (ciel clair, mois de Juillet) dépasse les 6Kw/m<sup>2</sup> et l'énergie annuelle maximale en Algérie est de l'ordre de 2500 KW/m<sup>2</sup> [8]. La carte ci-dessous représente les différentes zones énergétiques de l'Algérie.

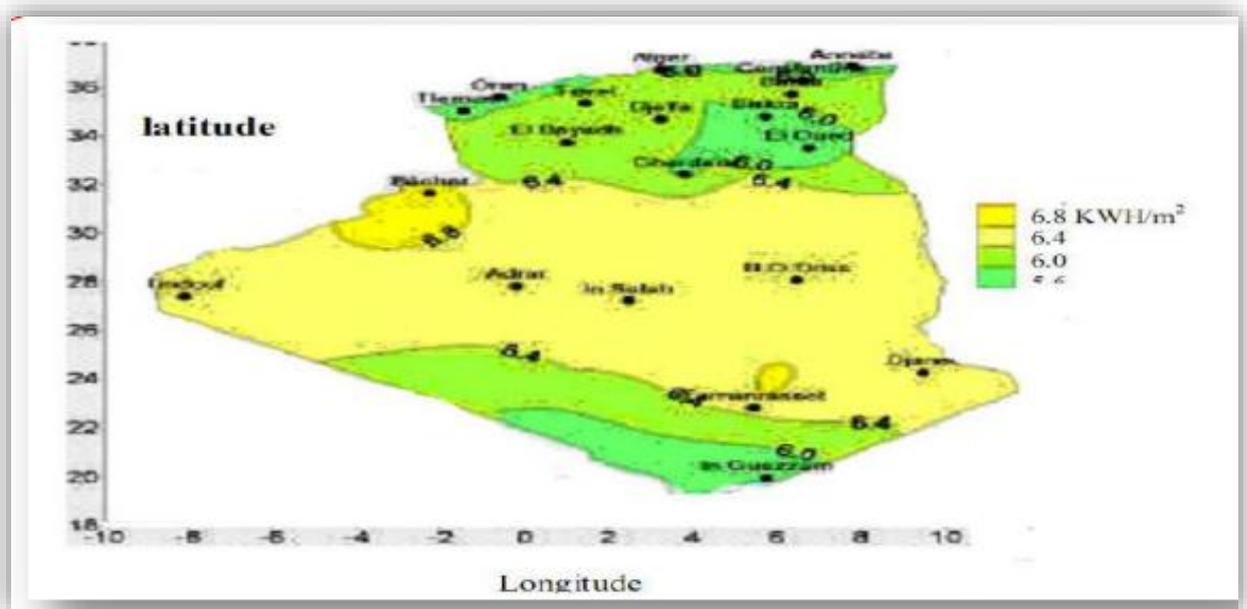


Figure n°I.3. Les différentes zones énergétiques dans l'Algérie [9]

## I.4. La cellule photovoltaïque :

### I.4.1. Définition :

La cellule photovoltaïque est le composant électronique semi-conducteur qui compose un panneau solaire photovoltaïque et qui, exposé à la lumière, produit de l'électricité[10], ces cellules sont reliées entre eux pour fournir un modules solaire photovoltaïque ,et plusieurs modules formes une installation( centrale photovoltaïque).La conversion énergie solaire vers énergie électrique se faite à partir d'un matériau semi-conducteur qui s'appel le silicium (extraire dans 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 [11].(figure I.4).

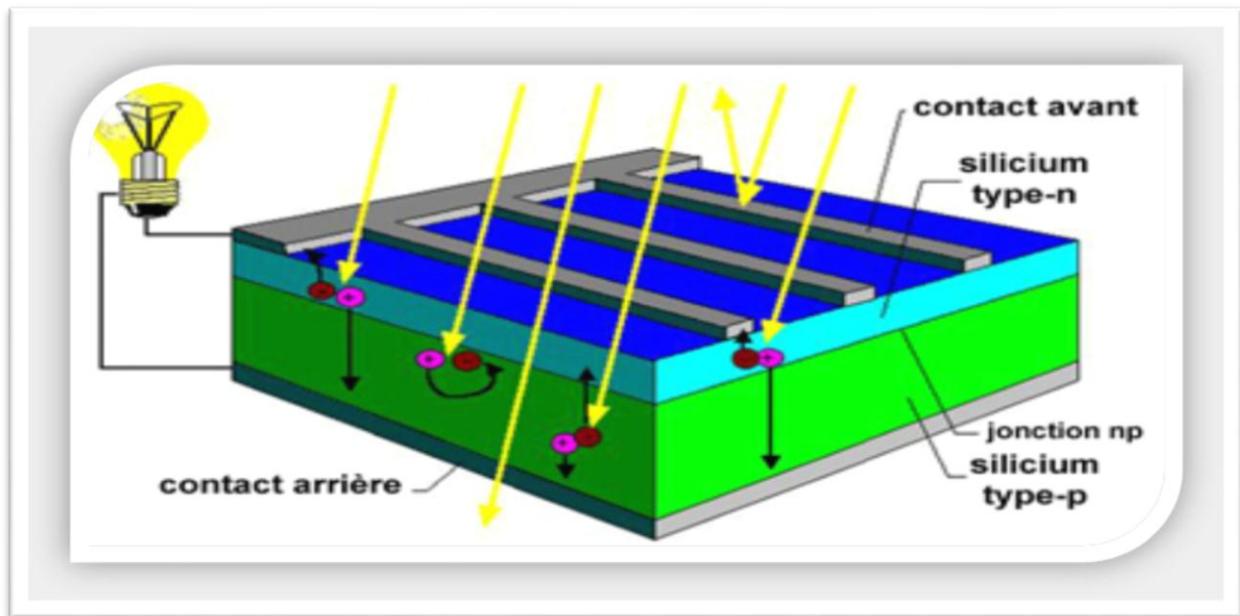


Figure n° I.4 : Cellule photovoltaïque [12].

#### I.4.2. Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque :

L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité par le biais de la production et du transport dans un matériau semi-conducteur de charges électriques positives et négatives sous l'effet de la lumière.

Le dopage d'un semi-conducteur pur va permettre d'amener des charges excédentaires qui améliorant la conductivité du matériau ; le silicium possède quatre électrons dans la couche externe qui sont chacun lié à quatre atomes de silicium voisins.

En le dopant avec des atomes de phosphores qui ont cinq électrons sur leurs couches externe, un électron par atome de phosphore ne pourra pas se lier avec ses correspondants du silicium, il y aura alors un excédent de charges négatives dans le cristal. Le matériau sera donc potentiellement « donneur » d'électrons pour la conduction électrique et le silicium ainsi dopé est appelé silicium de type N.

Par symétrie, on peut également doper le silicium avec du bore qui a seulement trois électrons par atome dans la bande de valence, le résultat est l'apparition d'un atome excédent de trous, donc de charges positives puisqu'il manque un électron à chaque atome.

de bore pour compléter les quarts électrons de siliciums ,le matériau est à l'inverse du précédant « accepteur » d'électrons, ce matériau ainsi dopé est appelé silicium de type P .

Lorsque la première est mise en contact avec la seconde(le type P et le type N), les électrons en excès dans le matériau N diffusent dans le matériau P. La zone initialement dopée N devient chargée positivement, et la zone initialement dopée P chargée négativement. Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone N et les trous vers la zone P, une jonction PN a été formée [7]. Ce mouvement des électrons créer un échauffement du matériau « énergie thermique », et dans une cellule photovoltaïque, Les électrons « décrochés » créent une tension électrique continue faible. Une partie de l'énergie cinétique des photons est ainsi directement transformée en énergie électrique : C'est l'effet photovoltaïque.

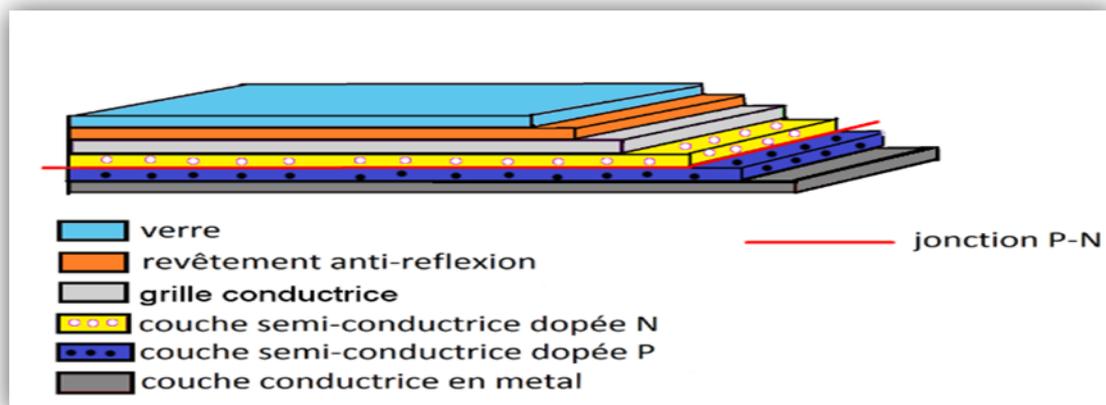


Figure n° I.5 : Structure de la cellule photovoltaïque [7]

#### I.4.3. Le transfert de l'énergie lumineuse aux électrons :

Les charges élémentaires qui vont produire le courant électrique sous illumination sont des électrons, (de charge  $q_e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ ). Charges négatives élémentaires contenues dans la matière semi-conductrice. Tout solide est en effet constitué d'atomes qui comprennent chacun un noyau et un ensemble d'électrons gravitant autour du noyau. Ce sont les électrons des couches électroniques périphériques qui vont absorber l'énergie des photons, ce qui les libère de l'attraction électrostatique (et gravitationnelle) du noyau de l'atome [7].

L'énergie d'un photon d'un certain rayonnement est donnée par la relation suivante :

$$E=h \cdot f \dots \dots \dots (1)$$

Avec :

$h=6,6261 \cdot 10^{-34}$  J/s constante de Planck ;

E : Energie d'un photon ;

f : La fréquence telle que  $f= c / \lambda$ .

c : La vitesse de la lumière

$\lambda$  : La longueur d'onde

#### **I.4.4. Les différents types de cellules photovoltaïques :**

##### **I.4.4.1. Les cellules multi-jonction :**

Les cellules multi-jonction sont composées de différentes couches qui permettent de convertir différentes parties du spectre solaire et ainsi d'obtenir les meilleurs rendements de conversion. (figure n°I.6).



Figure n°I.6 :Cellule multi-jonction[7]

##### **I.4.4.2. Les cellules multi cristallines :**

Elle composée de plusieurs cristaux assemblés, et présente l'aspect d'une « mosaïque » compacte de fragments métalliques bleuté de quelques millimètres à quelques centimètres appelés « grains » (figure n°I.7).

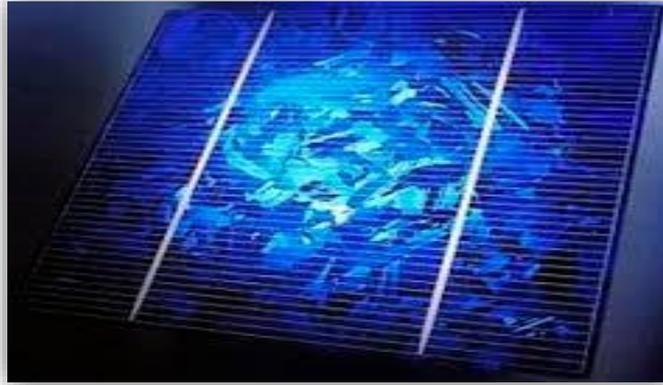


Figure n°I.7 : Cellule multi cristalline [7].

#### I.4.4.3. Les cellules monocristallines :

Les cellules au silicium cristallin sont encore les plus répandues .elles se présentent sous forme de plaquettes carrées ou pseudo-carrées, parfois rondes .si l'on parle de matériau « cristallin » ; c'est parce que le silicium qui les constitue est un cristal, avec un arrangement ordonné, selon une structure atomique de type tétraédrique ; c'est la cellule est constituée d'un seul cristal on parle de silicium monocristallin, (figureI.8)



Figure n°I.8 : Cellule monocristalline [7].

**I.4.4.4. Les cellules amorphes (cellules de calculatrice par exemple) :** Le silicium lors de sa transformation, produit un gaz, qui est projeté sur une feuille de verre. La cellule est gris très foncé ou marron. C'est la cellule des calculatrices et des montres dites "solaires",(figure I.9).

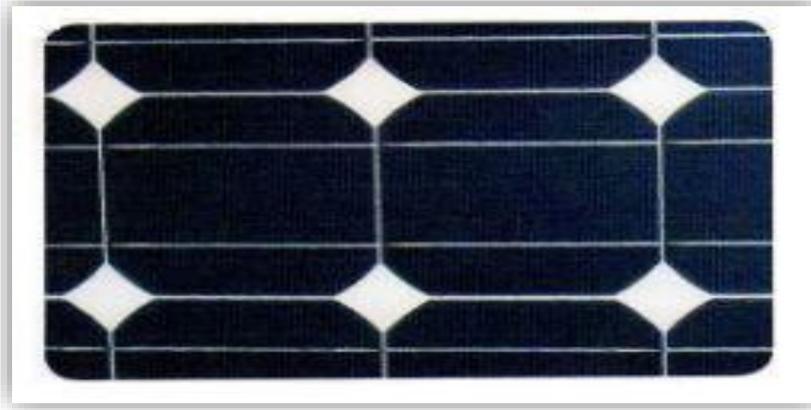


Figure I.9 :la cellule amorphe

#### I.4.5. Le rendement d'un panneau photovoltaïque :

##### I.4.5.1. Puissance produite :

Le rendement d'un panneau solaire photovoltaïque dépend des technologies utilisées lors de sa fabrication. Il existe plusieurs types dont les plus connus sont les panneaux PV à base de cellules en Silicium poly cristallin, Silicium monocristallin, Silicium amorphe, les cellules multi-jonctions, etc. Chacune de ces technologies présente des avantages et des inconvénients.

En particulier, le rendement, qui est généralement le critère de choix, dépend des conditions climatiques du lieu d'installation (dans les régions caractérisées par des températures élevées, les systèmes au Silicium amorphe sont préférés à ceux au mono ou poly cristallin) [12]. Pour un panneau PV, le rendement,  $R$  exprimé en pourcent (%), est défini par le rapport de la puissance électrique maximale produite par le panneau PV (PEP) à la puissance de rayonnement solaire reçue (PSR) sur le module photovoltaïque, le rendement est donné par cette formule :

$$R = \frac{P_m}{(E * S)} \dots \dots \dots (2)$$

$p_m$  : Puissance maximale

$S$  : La surface de module photovoltaïque en mètre carré

E : Eclairage en  $W/ m^2$

Ce rendement est mesuré sous les conditions de référence c'est-à-dire l'ensoleillement de  $1000 W/ m^2$  à une température ambiante  $T= 25^{\circ}C$  : conditions STC (standard test condition) cette puissance  $P_m$  est appelé la puissance crête s'exprimer en watts-crête [7].

Avec un éclairage  $e_l$  la surface des panneaux, le rendement global du système est une variable très influence sur la production électrique d'une installation photovoltaïque, comme le démontre la relation suivante :

$$E = I * S * R \dots \dots \dots (3)$$

E : Energie électrique produite par l'installation sur un an (KWh/an).

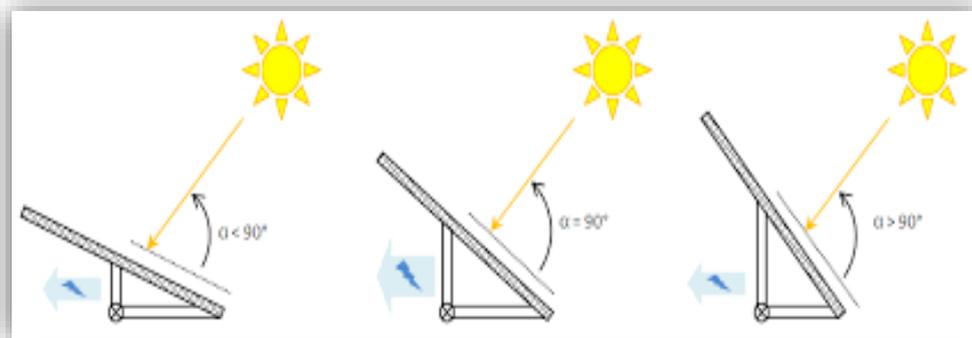
I : Rayonnement globale reçu ( $KWh/m^2 * an$ ).

S : La surface des modules P.V. ( $m^2$ ).

R : Le rendement global de système.

#### I.4.5.2. Positionnement :

La position de panneau PV a un rôle essentielle dans la production d'énergie électrique, en effet la quantité d'éclairage absorbé par la PV de sa rotation .pour avoir le max d'énergie le PV doit orienter perpendiculairement vers le rayon solaire (Figure (I.10)).



La Figure n° I.10. Dépendance des performances d'un panneau PV de l'angle  $\beta$  [11].

L'angle formé entre le plan du panneau et les rayons lumineux incidents, l'angle optimal correspond à  $\beta$  Avec : Un angle de  $90^\circ$  comme indiqué dans la figure n°11.

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. Rendement en puissance solaire exploitée peut être calculé à l'aide de l'équation suivante :

$$R = \sin(\beta) \times 100 \dots \dots \dots (4)$$

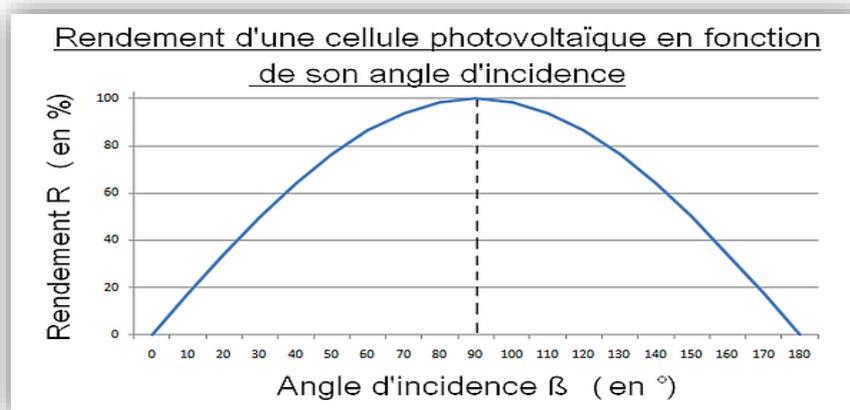


Figure n°I. 11. Rendement en puissance solaire exploitée en fonction de l'angle  $\beta$  des rayons solaires [11].

### I.5. Etat de l'art des techniques de suivi :

Les panneaux photovoltaïque 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 [10].

#### I.5.1. 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 (1.12)). 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 [13]. 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 [14].

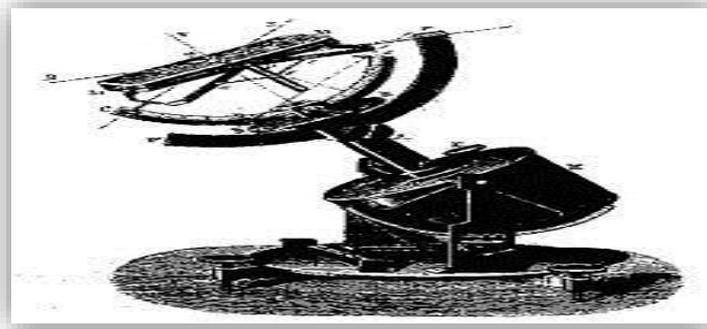


Figure n°I.12: Modèle d'un héliostat dans ses premières applications [13]

### I.5.2. 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.13).

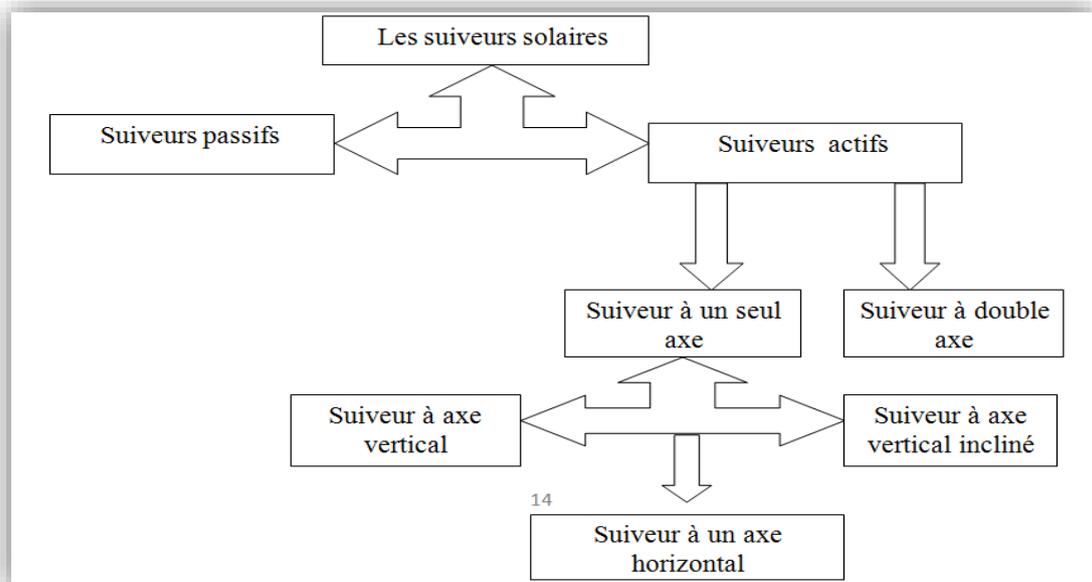


Figure n°I.13 : schéma sur les types de suiveurs solaires

### I.5.2.1. les suiveurs passifs :

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 comme montrer dans la (figure I.14). Le tube de matière cuivre 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 vaporisé [15]. 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.

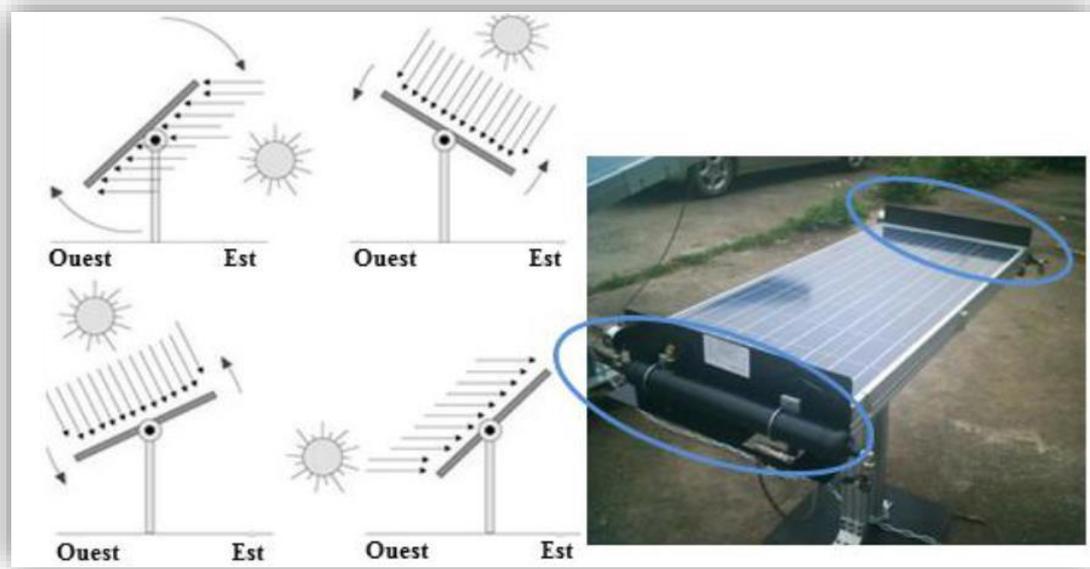


Figure n°I.14 : Exemple et fonctionnement du suiveur solaire passif [15]

### I.5.2.2. les suiveurs actifs :

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 à un seul axe et suiveurs double axes. L'avantage de ces derniers par rapports aux suiveurs passifs c'est qu'ils représentent une meilleure précision de suivi et fonctionne sans intervention de l'être humaine (totalement autonome)[15].

### I.5.2.2.1. Suiveur à un axe horizontal :

Dans ce type de système de suivi, un long tube horizontal est supporté sur un palier monté sur le tube qui tourne sur l'axe pour suivre le mouvement apparent du soleil au cours de la journée. Comme ils ne s'inclinent pas vers l'équateur, ils ne sont donc pas très efficaces en hiver (à moins qu'ils ne soient situés près de l'équateur), mais le système de suivi est très productif pendant les saisons de printemps et d'été lorsque la trajectoire solaire est élevée dans le ciel [16].

### I.5.2.2.2. Suiveur à deux axes :

Les suiveurs à deux axes permettent un gain d'environ 30% pour un GCR d'environ 10%. Ce type de suiveur est très imposant et visible de loin. (figure I,15).



Figure n° I.15 : Suiveur à deux axes [16].

Le système de poursuite solaire se compose essentiellement de deux parties monter (la figure n°I.16)

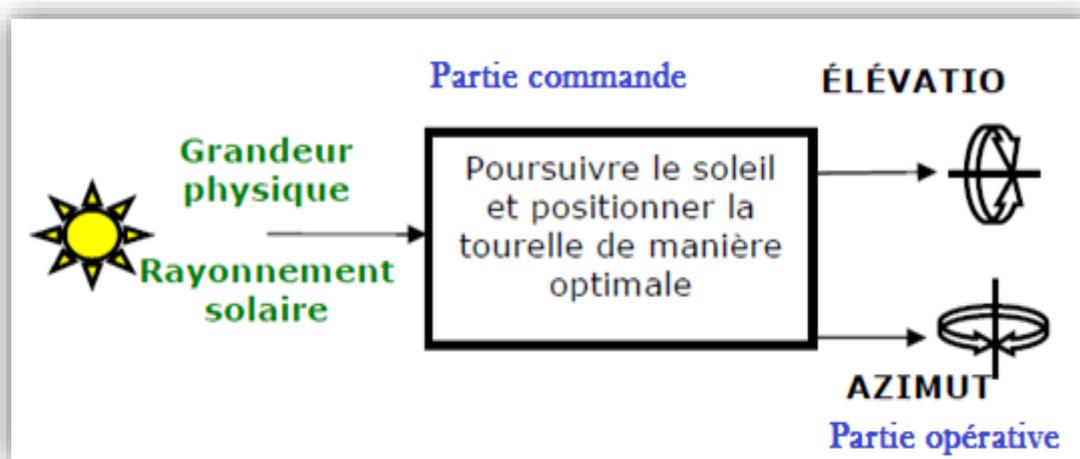


Figure. I. 16 : Description de suiveur solaire [10]

**I.6. Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons détaillé plusieurs notions en relation avec l'énergie, cette dernière qui joue un rôle très important dans la vie, elle possède de différentes formes, sources et applications ce qui rend comme étant un domaine d'étude très vaste.

Ensuite après avoir détaillé, la relation intime entre énergie solaire et environnement, nous sommes concentrés sur les différents types de rayonnements ainsi la relation entre ces types et la cellule photovoltaïque et le rendement P.V, nous avons aussi présenté un état de l'art sur les méthodes de suivi et une technique de suivi reposant sur le principe de retraitage via des capteurs de lumière.

Dans le chapitre suivant nous allons parler sur le côté matériel et les dispositifs utilisées afin de réaliser notre suiveur solaire.

# **Chapitre II**

**Les différents éléments constitutifs  
de système**

## II.1 Introduction :

Après avoir présenter un état de l'Art sur les système photovoltaïques , la technique des suiveurs solaire et leurs avantages par rapport aux stations fixes maintenant dans ce chapitre, on présentera cette technique et les différents dispositifs expérimentaux que nous avons utilisé pour réaliser notre suiveur« le suiveur à double axes à base des capteurs de lumières ». Ce système est composé de deux partie ; une partie mécanique qui comporte le panneau solaire et une partie électronique constitué des capteurs de lumières, une carte arduino et deux servomoteurs.

## II.2 Un schéma synoptique :

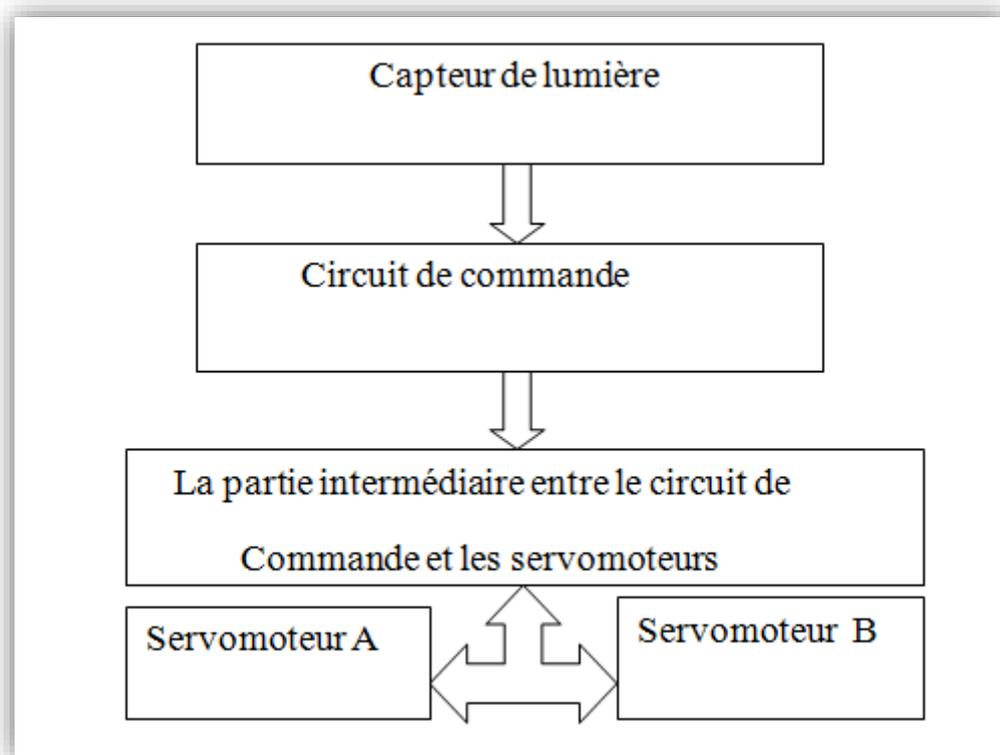


Figure n° II.1 : Schéma synoptique

## II.3 Études des différents composants :

### II.3.1. Capteur de lumière (LDR) :

Le capteur qu'on a utilisé est la photorésistance ou LDR (light Dependent Resistor). C'est un composant dont la valeur en Ohms dépend de la lumière à laquelle elle est exposée [16]. 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.

- **Leur principe :**

Le capteur LDR est une photorésistance, une cellule photo-électrique sensible à l'intensité lumineuse qu'elle traduit en produisant un petit courant électrique sensible à la quantité de la lumière reçue ; une variation de lumière (ou d'ombre) provoque une variation de signal. La sensibilité du capteur LDR est proportionnelle à la lumière reçue : plus le flux lumineux sera intense la plus le nombre d'électrons disponibles pour assurer une grande conduction [17]. La figure II.4 illustre la courbe caractéristique d'une cellule photorésistance la sensibilité de cette dernière est grande, la résistance peut passer de plus d'un million d'ohm à moins de 1000 ohms quand l'éclairement passe de l'obscurité (<0.1lux) à une valeur de 100 à 1000 lux.

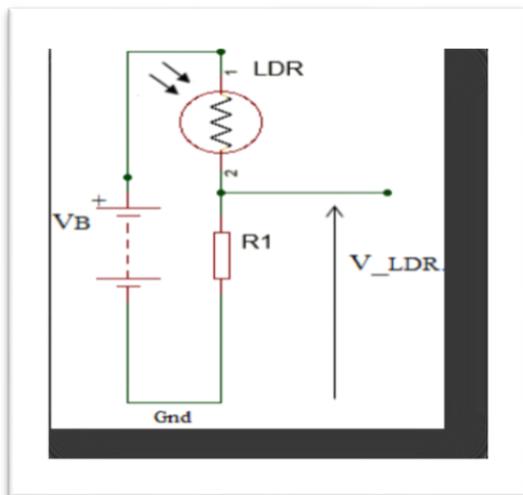


Figure n° II.2 : Circuit équivalent d'un LDR

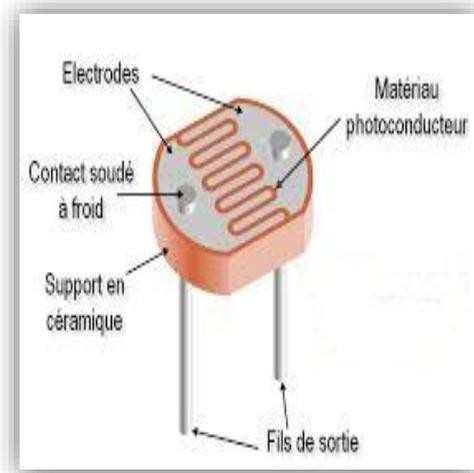


Figure n° II.3 : une photorésistance

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

$$V_{out(LDR)} = V_{in(B)} * R_1 / (R_{LDR} + R_1) \quad (II.1)$$

Sachant que:

$V_{out(LDR)}$  est la tension de sortie de la photorésistance (V)

$V_{in(B)}$  : tension de batterie ( tension d'alimentation) (V)

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

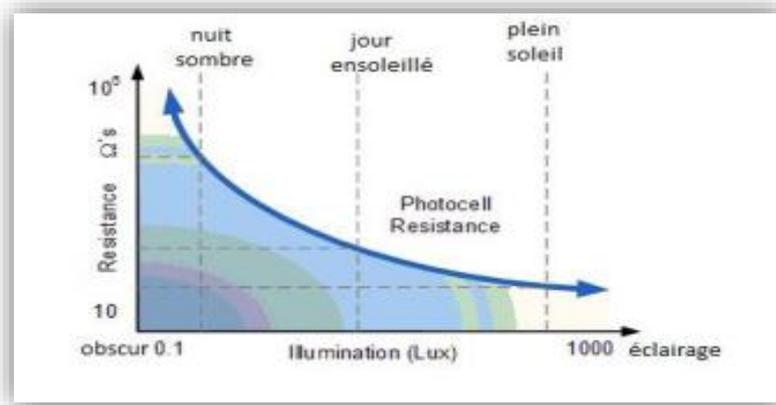


Figure n° II.4: Caractéristiques d'une photorésistance [17]

### II.3.2. Le circuit de commande :

Dans ce système, on a basé sur un circuit programmable dit « Arduino », l'avantage de ce dernier est de minimiser la surface des cartes électriques afin de minimiser l'utilisation d'une grande quantité des composants électroniques.

#### II.3.2.1. Qu'est ce que un arduino ? :

Arduino est une carte électronique programmable destinée pour réaliser des différentes applications et des projets dans des différents domaines comme la robotique. On trouve plusieurs catégories d'Arduino et chaque arduino se défie par rapport à l'autre par le nombre de pins d'entrées/sorties analogiques / numériques au analogiques ; l'arduino MEGA offre un nombre d'entrée/sorties beaucoup plus important (54 contre 14) et un processeur plus puissant et une vaste mémoire et on a aussi arduino UNO 14/6 d'entrée/ sorties numériques et 6 entrées analogiques par contre dans l'arduino NANO le nombre d'entrées/sorties numériques est 14/16 et possède 8 entrées analogiques enfin l'arduino mini qui possède aussi 16/6 entrées /sorties numériques et 8 entrées analogiques.

Dans notre projet on a utilisé la carte arduino UNO.

#### II.3.2.2. 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 (figure n°II.5). 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 [18].

Pour que cette carte électronique peut se fonctionner elle a besoin de quelques accessoires :

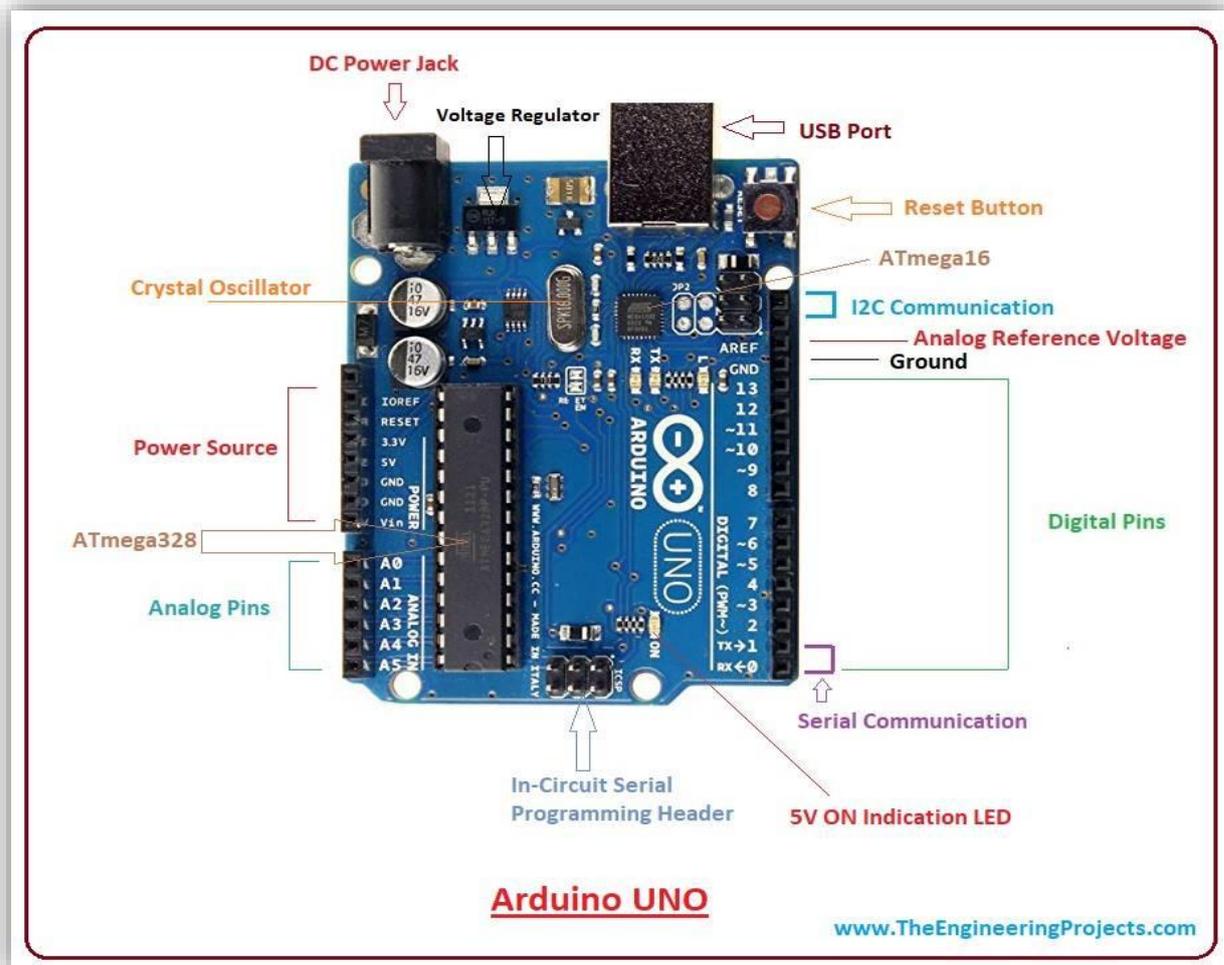


Figure n° II.5 : un arduino UNO [18]

### Le câble USB :

- a) 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 [19].



Figure n° II.6: Câble USB type A/B (Arduino UNO)[19].

### b) fils de pin d'arduino :

Ces fils sont utilisés pour relier et connecter les différents pins d'arduino à la plaque d'essai



Figure II.7 : fils de pins utilisés pour arduino[19]

### C) Plaque d'essai :

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



Figure n° II.8 : une plaque d'essai

#### II.4. Les potentiomètres :

Ce sont des résistances que l'on peut faire varier manuellement. Ils peuvent être aussi appelés rhéostat ou résistance variable. Un potentiomètre est un élément résistif possédant trois bornes:

- Deux correspondent aux extrémités du corps de la résistance,
- La dernière correspond au curseur qui peut se déplacer sur le corps de la résistance.

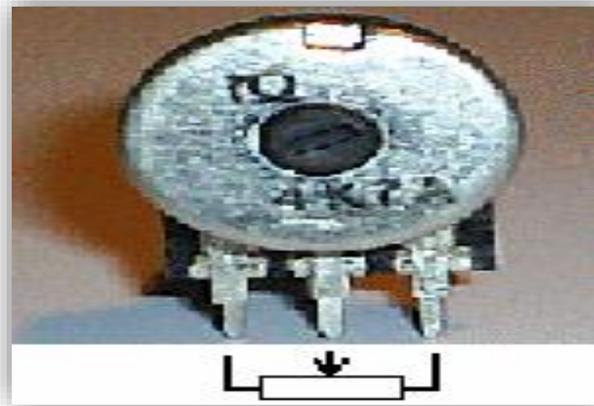


Figure n° II.9 : un potentiomètre

#### II.5. Sélection du mode (bouton poussoir) :

##### II.5.1. Définition :

Le bouton poussoir sert de pont. S'il est levé, le courant ne passe pas, on dit que le circuit est ouvert. S'il est baissé et donc relie les deux contacts, le courant passe, on dit que le circuit est fermé.



Figure n° II.10: Exemple d'un bouton.

### **II.5.2.Fonctionnement du bouton poussoir :**

Le bouton poussoir permet de basculer entre le mode manuel et le mode automatique et vice versa, selon son état antécédent :

- a) Si le suiveur était en mode manuel, le premier appui sur le bouton le fait passer en mode automatique ;
- b) Et s'il était en mode automatique, le premier appui sur le bouton le fait passer en mode manuel.

### **II.6. Les moteurs électriques :**

Un moteurs électrique est un dispositif électromagnétique fondé sur l'électromagnétisme permettant la conversion d'énergie électrique en énergie mécanique ce processus est réversible et peut servir à produire de l'électricité ; dans le marché en trouve des différentes types, des moteurs électriques à courant continu, alternatif, synchrone, asynchrone...etc.

Dans ce projet en en vas utiliser un type de moteurs continues qui sont les servomoteurs comme en peut utiliser des moteurs pas à pas ..., ce type de moteurs ont une forte puissance pour qu'ils puissent piloter facilement le panneau solaire.

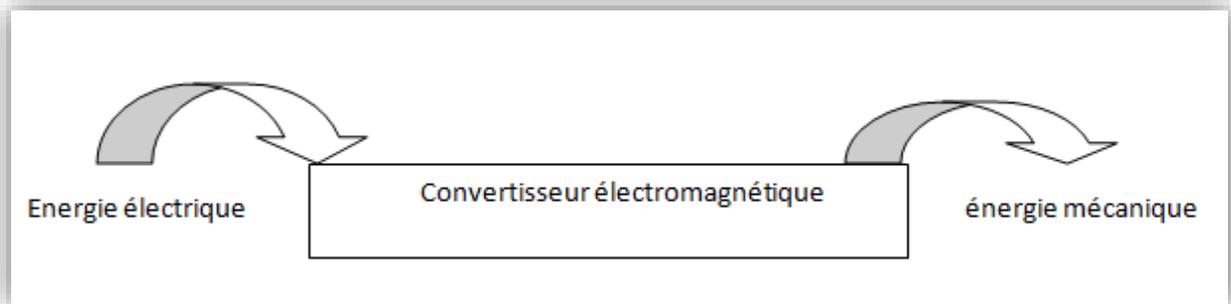


Figure n° II. 11 : schéma sur la conversion d'énergie

### II.6.1. Les moteurs à courant continu :

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 (figure II.12) et un dispositif mécanique ; selon la source d'énergie [20].

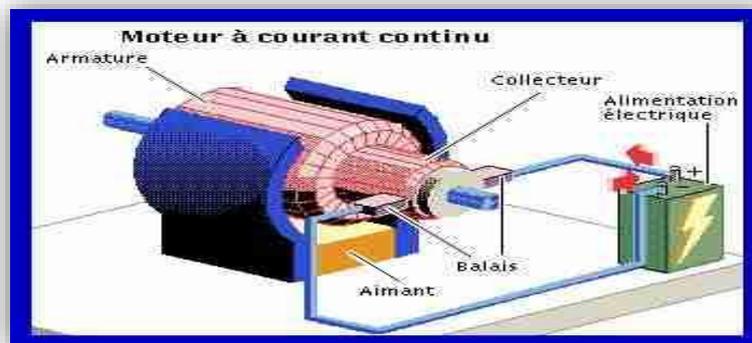


Figure n° II. 12 : moteur à courant continue [20]

#### II.6.1.1. Le servomoteur :

Un servomoteur (vient du mot latin servus qui signifie « esclave » est un moteur capable de maintenir une opposition à un effort statique et mesure, c'est donc un système asservi. Est un moteur à courant continu qui possède un réducteur en sortie qui diminuant la vitesse mais augmentant le couple. Ce servo actionne les parties mobiles d'un robot, drone, etc.[21].



...

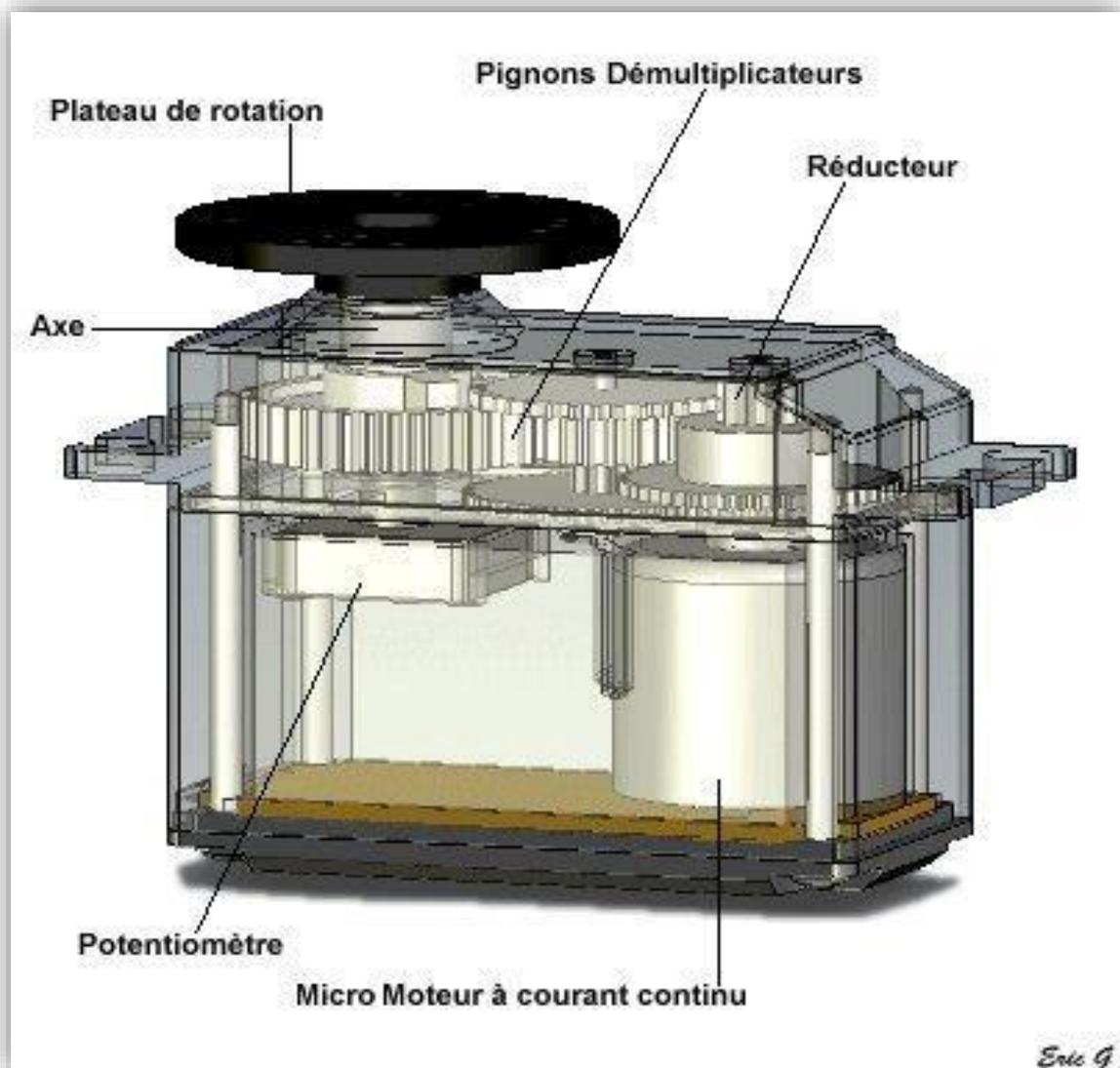


Figure n° II.15 : les différentes composantes de servomoteur MG996R

### II.6.1.2. Servomoteurs : Asservissement ? :

L'asservissement est un du gérer, corriger une commande en fonction d'une consigne d'un capteur de position ; par exemple pour un servomoteur en lui envoie un signale de commande qui défini l'angle désiré (consigne) el le moteur va corriger son angle de départ pour tendre vers la consigne de l'utilisateur.

Pour pouvoir réaliser la correction de l'angle du bras, le servo utilise une électronique d'asservissement. Cette électronique est constituée d'un comparateur qui compare la position du bras du servo à la consigne. La position du bras est obtenue grâce à un potentiomètre couplé à l'axe du moteur. Après une rapide comparaison entre la consigne et valeur réelle de

position du bras, le servomoteur (du moins son électronique de commande) va appliquer une correction si le bras n'est pas orienté à l'angle imposé par la consigne [21]( figure II.16).

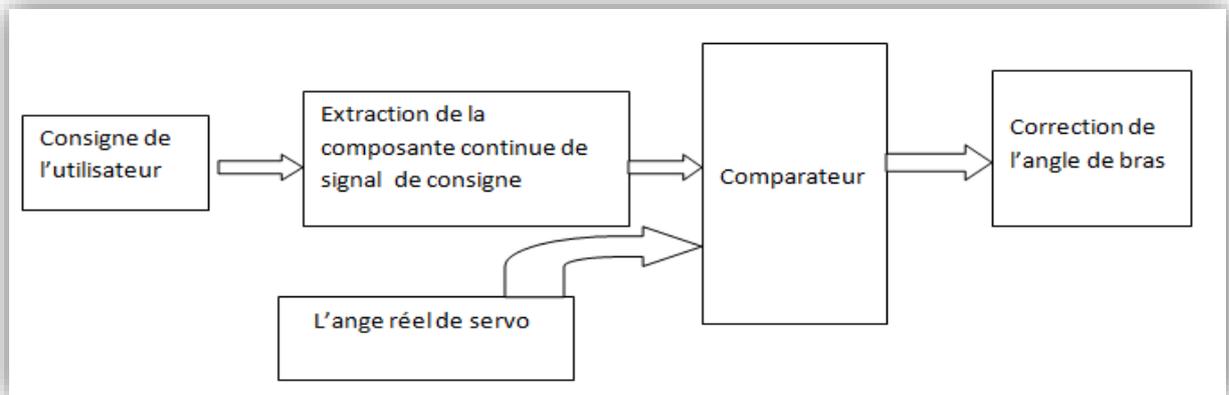


Figure n° II.16 : un schéma sur le processus d'asservissement dans un servomoteur

### II.6.1.3 Le signale de commande d'un servomoteur :

La consigne envoyer au servomoteur est signale de type PWM (pulse width modulateur) donc est un signale impulsionnel qui a deux caractéristiques indispensables pour que puisse fonctionner : sa fréquence ainsi que leur durée d'état haut.

- **Quelle est la fréquence exiger par le servomoteur ??**

Le signal que nous allons devoir générer doit avoir une fréquence de 50Hz. Autrement dit, le temps séparant deux fronts montants est de 20ms.

On a :

$$f = 1/T \quad \text{talque :}$$

$f$  : est la fréquence exigée par le servo

$T$  : la période de signal (le temps entre deux fronts)

Donc :

$$f = 1/0.02 = 50 \text{ HZ (c'est la fréquence exiger par le servomoteur)}$$

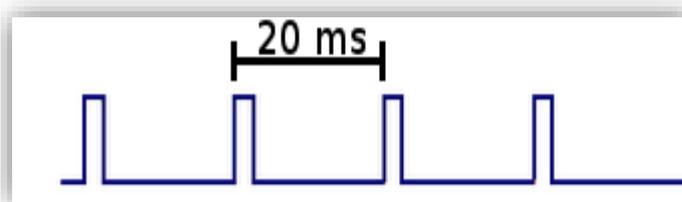


Figure n° II.17 : signal PWM [21]

- **La durée de l'état haut :**

Le signal de commande d'un servomoteur (la figure 11) présente les différents angles de position de bras de ce servo ; cette position est commandé grâce à la durée de ce signal qui Indique au servomoteur l'angle précis qui est souhaité par l'utilisateur. Un signal ayant une durée d'état HAUT de 1ms donnera un angle à  $0^\circ$ , le même signal avec une durée d'état HAUT de 2ms donnera un angle au maximum de ce que peut admettre le servomoteur [21]

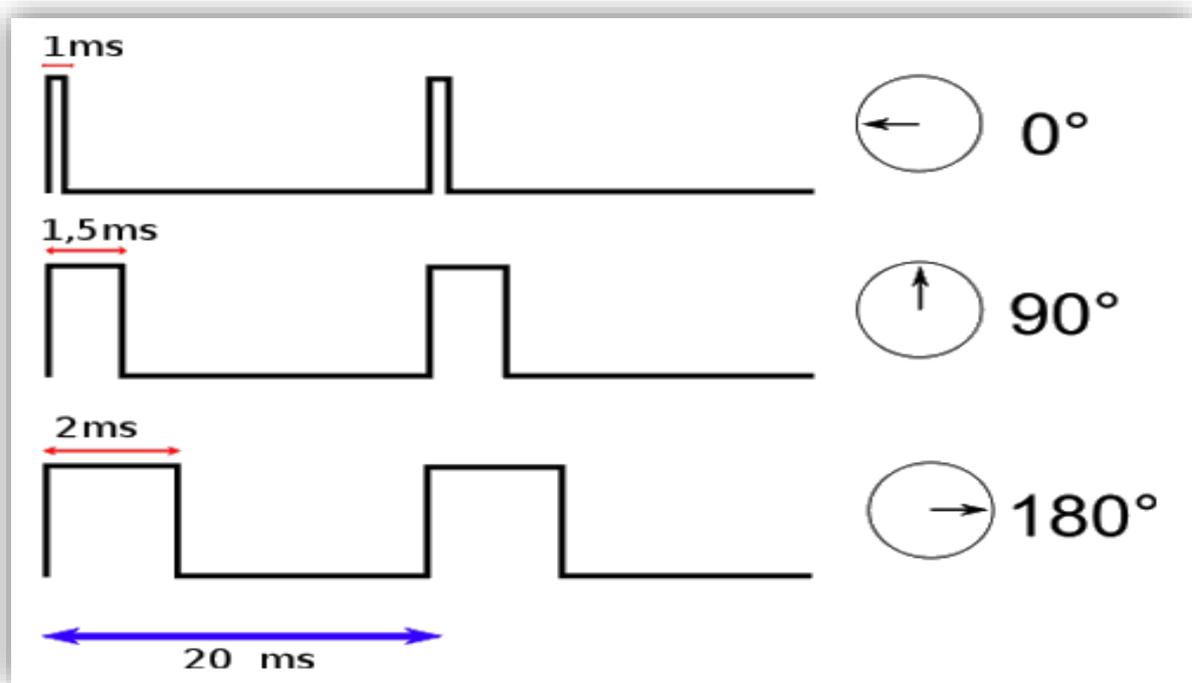


Figure n° II. 18 : le signale commande d'un servomoteur [21]

## II.7. Les Alimentations utilisées :

Le dispositif électronique	L'énergie utile (v)	Source d'alimentation
Arduino UNO	5 v	Ordinateur
Les deux servomoteurs	5 v	L'arduino

Tableau n° 1 : les alimentations utilisées

**II.8.Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons présentés les différents dispositifs utilisées dans ce projet pour assurer un bon fonctionnement de système ainsi que une fiabilité énorme. Dans le chapitre qui suit, nous allons voir les différentes détailles et étapes de réalisation de notre suiveur.

# **Chapitre III :**

**La conception et réalisation de projet**

**III.1. Introduction :**

Après avoir présenté tous les dispositifs de notre système maintenant nous sommes arrivées à la dernière tâche qui la plus importante dans ce mémoire, la conception et la réalisation de suiveur solaire, on a divisée notre chapitre en trois grandes phases :

Une partie qui s'intéresse sur les différents blocs de système, la simulation et la dernière phase sur la réalisation.

**III.2. La première partie (les différents blocs de notre système) :****❖ Notre objectif :**

Notre projet porte sur l'étude et la réalisation d'un prototype d'un suiveur solaire double axes pour une générateurs photovoltaïque, l'orientation de ce dernier vers l'est, l'ouest, nord et sud pour capter le maximum d'énergie solaire pendant la journée. Ce système est commandé par une carte Arduino UNO d'un microcontrôleur qui sert à manipuler les différents blocs constitutifs de ce système.

**III.2.1. le fonctionnement de système :**

Notre projet repartis sur sept blocs :

**III.2.1.1. Bloc des capteurs de lumières(LDR) :**

Comme nous avons déjà expliqué dans le chapitre II, le capteur de lumière ou la photorésistance est une résistance variable en fonction de flux lumineux et la variation de la lumière provoque un signal. Les quatre capteurs (LDR) sont branchés aux entrées analogiques (A2, A3, A4, A5) de circuit de commande qui est l'Arduino comme montrer dans la figure III.1.

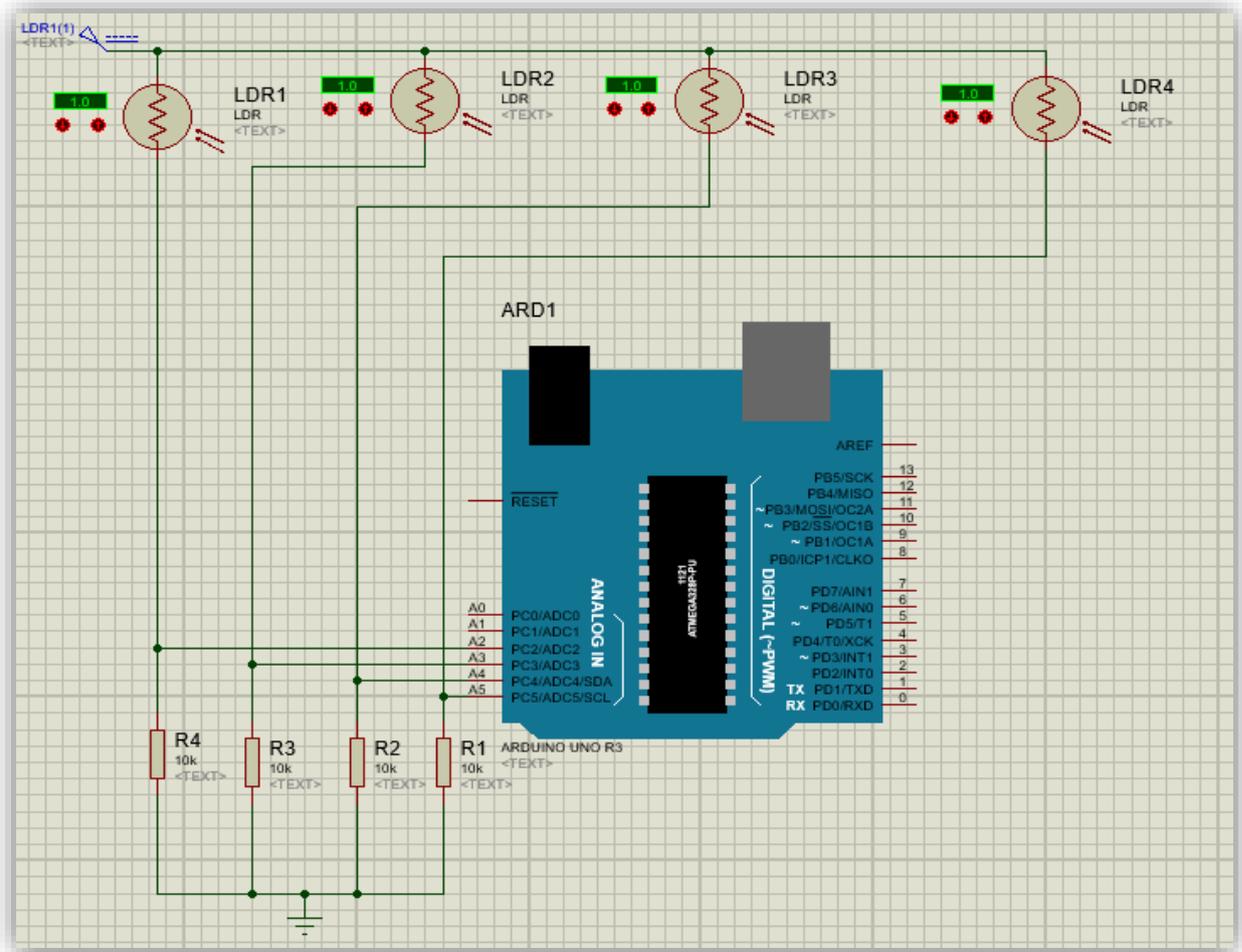


Figure n° III.1 : le branchement électrique des quatre LDRs à l'Arduino

### III.2.1.2. Bloc de sélection de mode (le bouton poussoir) :

Il permet de faire le passage entre les deux modes de commandes. Soit automatique ou manuel, pour pouvoir piloter les deux servomoteurs, associés aux deux axes de rotation du notre suiveur.

Notre carte électronique est programmée pour commander notre suiveur solaire selon les deux modes :

- ❖ **Le mode manuel** : dans ce cas-là notre suiveur est commandé via deux potentiomètres l'un pour l'axe horizontal et l'autre pour l'axe vertical.
- ❖ **Le mode automatique** : dans ce mode là le suiveur est fait sa rotation dans les deux sens selon les informations fournies par les capteurs LDR

- ❖ La figure III.2 illustre le schéma de branchement électrique de bouton poussoir dans l'Arduino :

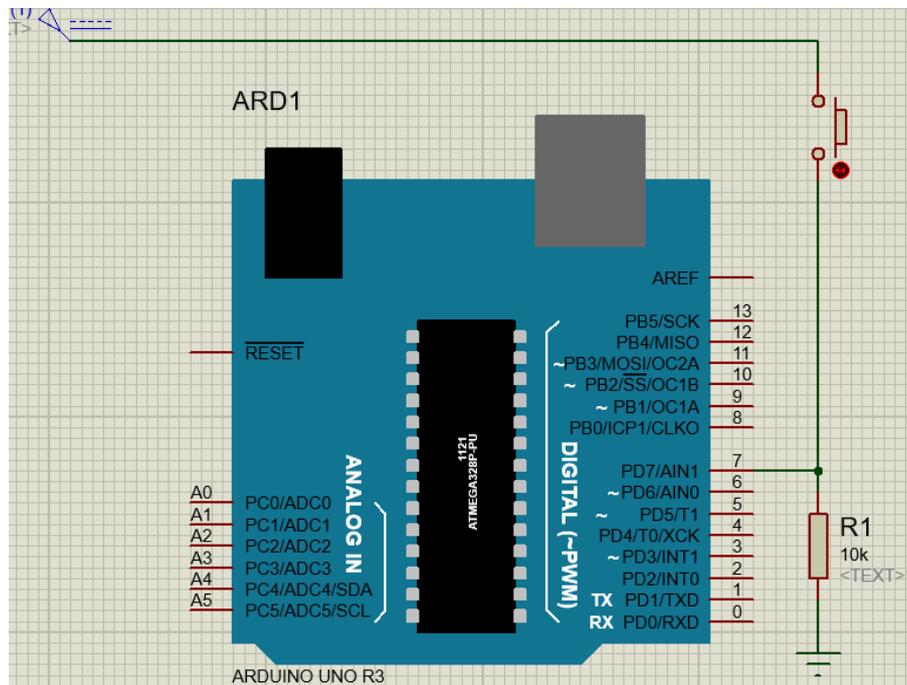


Figure n° III.2 : Le branchement électrique de bouton poussoir dans l'Arduino

### III.2.1.3. le bloc de commande :

Ce bloc est constitué de la carte Arduino qui est porte un programme (suite d'instructions) qui sert à gérer les deux modes selon les conditions de système, cette carte électronique a relié aux différents éléments contusifs de notre système (LDR, potentiomètre, led ...).

### III.2.1.4. Bloc de mode manuel via les potentiomètres :

Comme nous avons déjà vus que le potentiomètre est une résistance variable à trois bornes, dont une est reliée à un curseur se déplaçant sur une piste résistante dont les extrémités représentent les deux autres bornes. Ces deux potentiomètres sont responsables sur le mode manuel et Chaque potentiomètre contrôle un seul servomoteur. Le branchement est donné comme suit :

- Potentiomètre 1 relié au pin A0 de la carte Arduino qui commande le servomoteur 1 horizontalement donc selon l'axe d'azimut.

- Potentiomètre 2 relié au pin A1 de la carte Arduino qui commande le servomoteur 2 verticalement donc selon l'axe d'élévation.

Le branchement électrique des deux potentiomètres sont illustrés dans la figure III.3

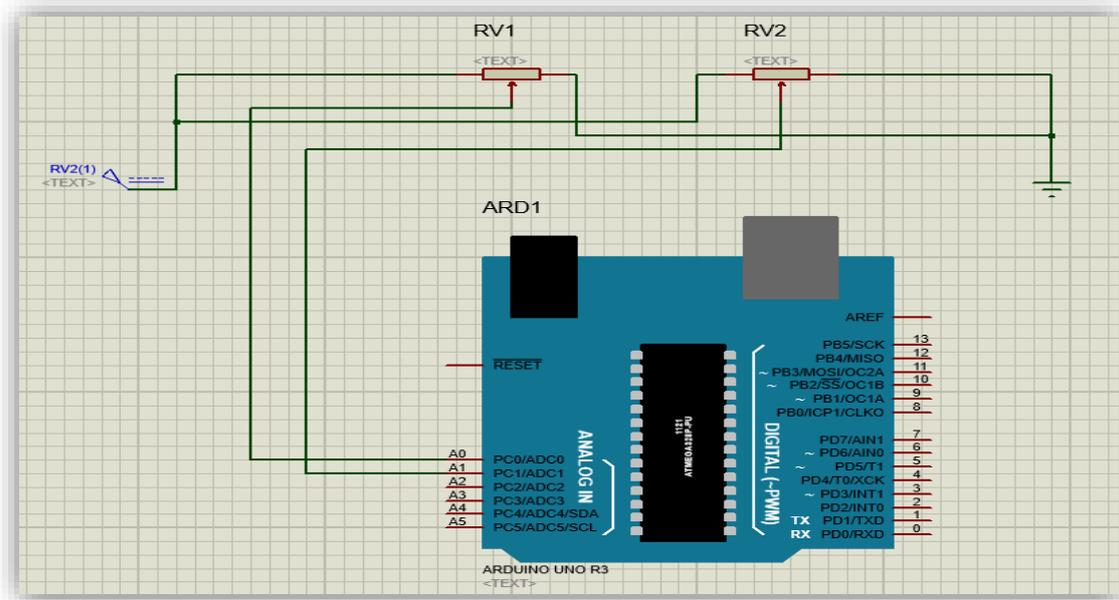


Figure n° III.3 : le branchement électrique des potentiomètres dans l'Arduino.

### III.2.1.5. Bloc de signalisation via les LEDs :

A travers deux diodes électroluminescentes ou LED (light-emitting diode) on peut savoir le mode de fonctionnement de notre suiveur. Ces deux LED fonctionnent avec le bouton poussoir (LED rouge ; LED verte), les deux sont branchés à la carte Arduino, la LED rouge sur la broche 12 et  $V_{CC}$ , la LED verte est branchée sur la broche 11 et  $V_{CC}$ .

Si la LED rouge est actionnée par le bouton poussoir on dit que c'est l'état manuel ; sinon c'est la LED verte qui est allumée, donc le suiveur est en mode automatique.

Dans notre montage on utilise des résistances de protection pour les LEDs ; voilà les valeurs de ces résistances :

$$R_p = \frac{V_{Ai} - V_{LED}}{I_{LED}} \dots \dots \dots (III.1)$$

$R_p$  : La valeur de la résistance de protection.

$V_{Ai}$  : La tension à l'entrée analogique  $A_i$ .

$V_{LED}$  : Tension de seuil de la LED.

$I_{LED}$  : Courant direct recommandé dans la LED.

➤ **Application numérique**

$$R_1 = \frac{V_{A0} - V_{LDER}}{I_{LEDR}} = \frac{5V - 1,7V}{10 \text{ mA}} = 330\Omega$$

$$R_2 = \frac{V_{A2} - V_{LDEV}}{I_{LEDV}} = \frac{5V - 2,1V}{10 \text{ mA}} = 290\Omega$$

Mais nous devons utiliser les valeurs normalisés, donc nous plaçons des résistances de  $220\Omega$ .

### III.2.1.6. Bloc d'alimentation de 5 V :

Ce bloc sert particulièrement à alimenter les deux servomoteurs à partir de la broche  $V_{cc}$  (5 V).

### III.2.1.7. Bloc des servomoteurs :

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

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

Dans notre projet nous avons utilisé deux servomoteurs de type MG 996R, qui sont branchés comme suit avec la carte Arduino : Le premier est branché à la broche D9 et  $V_{cc}$ , et le deuxième a la broche D10 et  $V_{cc}$  ensuite vers GND (figure n °III 4).

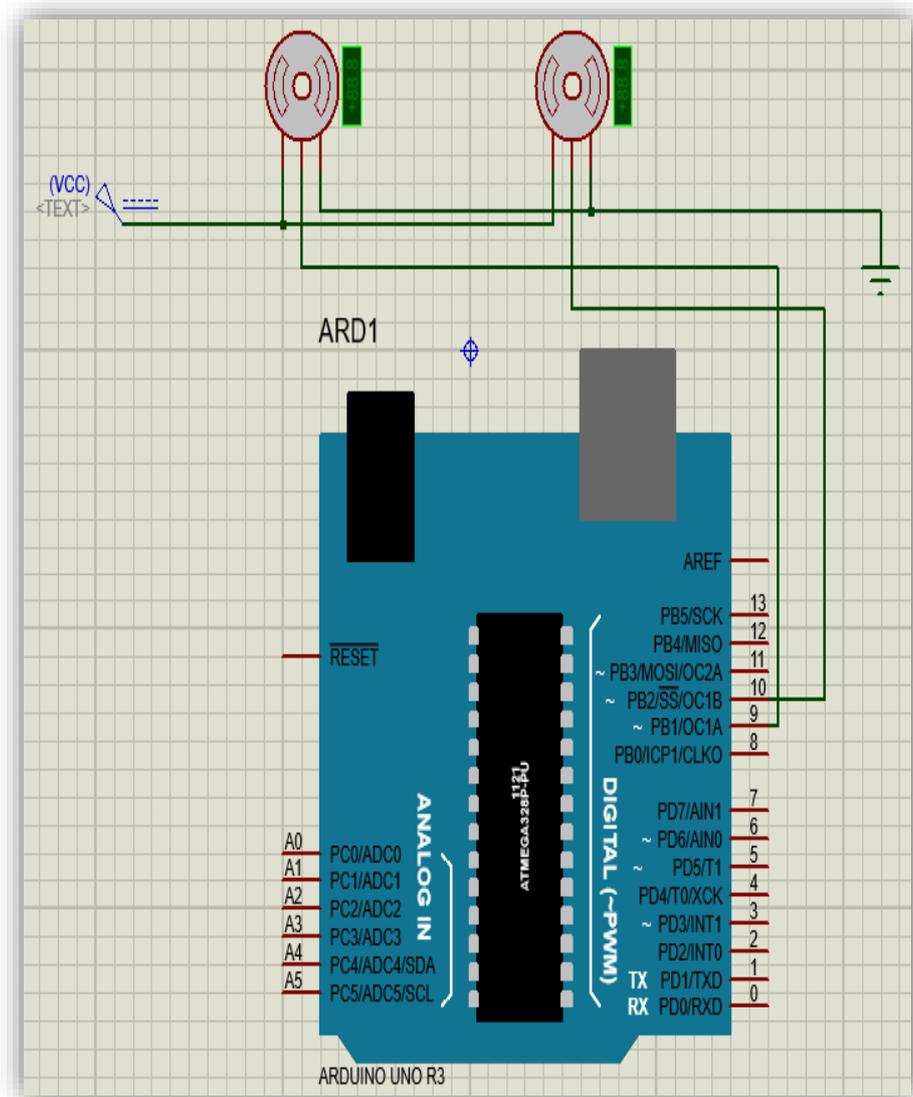


Figure n° III.4 : le branchement électrique des deux servomoteurs.

### III.2.2. L'organigramme :

Avant de passer à la programmation, présentons un organigramme qui va expliquer le processus des différentes séquences de notre projet. Comme le montre la figure III.5 qui suit.

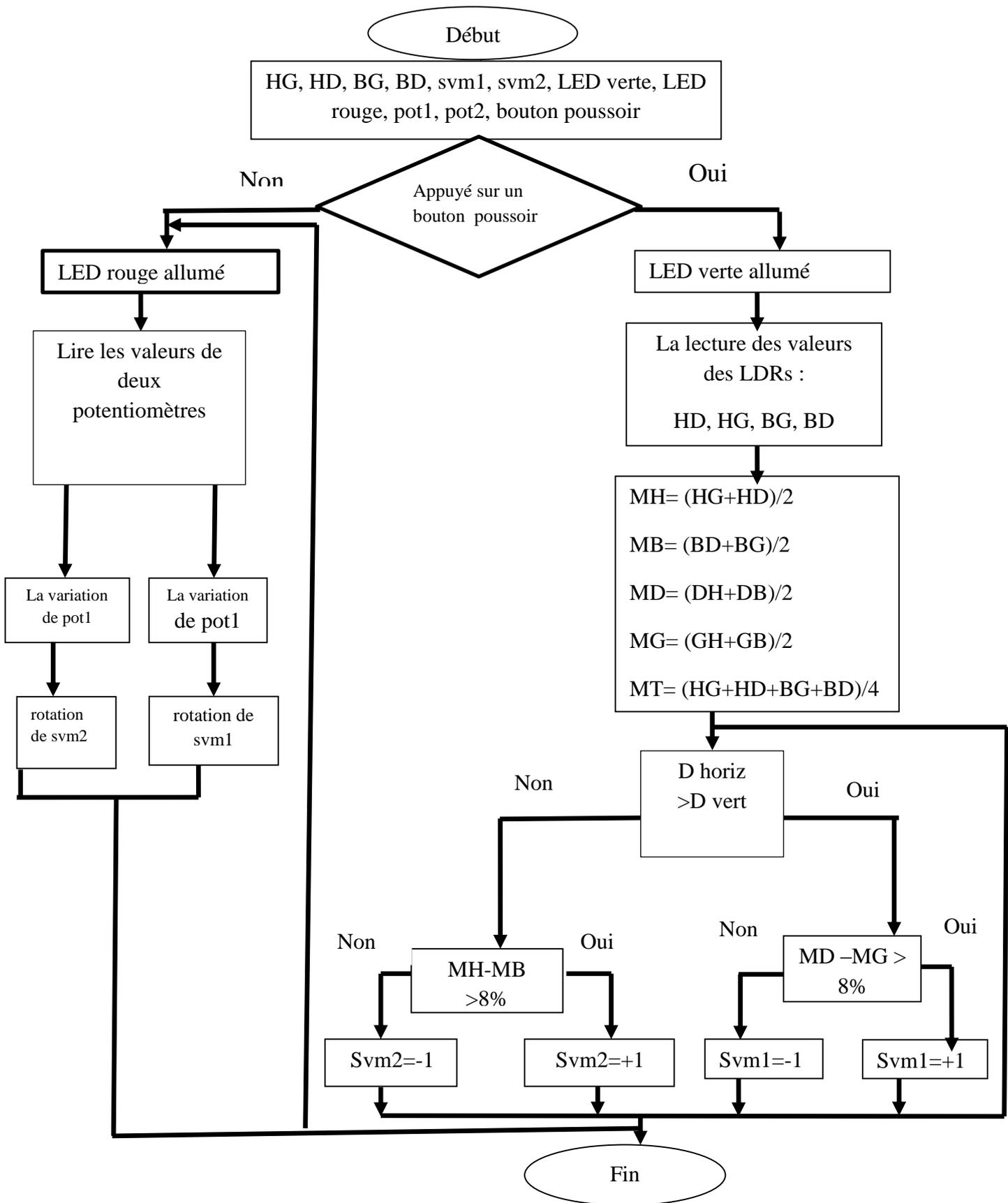


Figure n° III.5 : organigramme de programme de suiveur

## III.2. La deuxième partie (la simulation) :

Après avoir étudié les différents blocs dans la première partie de ce chapitre, nous passons à la simulation de notre système suiveur solaire bi-axial donc en va donner une vue globale sur le logiciel de simulation et de programmation.

### III.2.1. Logiciel de simulation ISIS :

ISIS PROTEUS est un logiciel de développement et de simulation via environnement graphique simple et interactif.

Le logiciel "ISIS" est principalement connu pour réaliser des schémas électriques et simuler ces schémas ce qui nous permet de détecter certains erreurs dès l'étape de conception.

#### III.2.1.1. L'environnement de travail de PROTEUS :

Le logiciel ISIS, constitue d'une fenêtre principale, et d'un ensemble de barres d'outils. Outre le menu classique permettant la gestion des fichiers, de l'affichage, et des options des projets. La figure suivante (figure III.6) est une représentation de l'interface ISIS[23] :

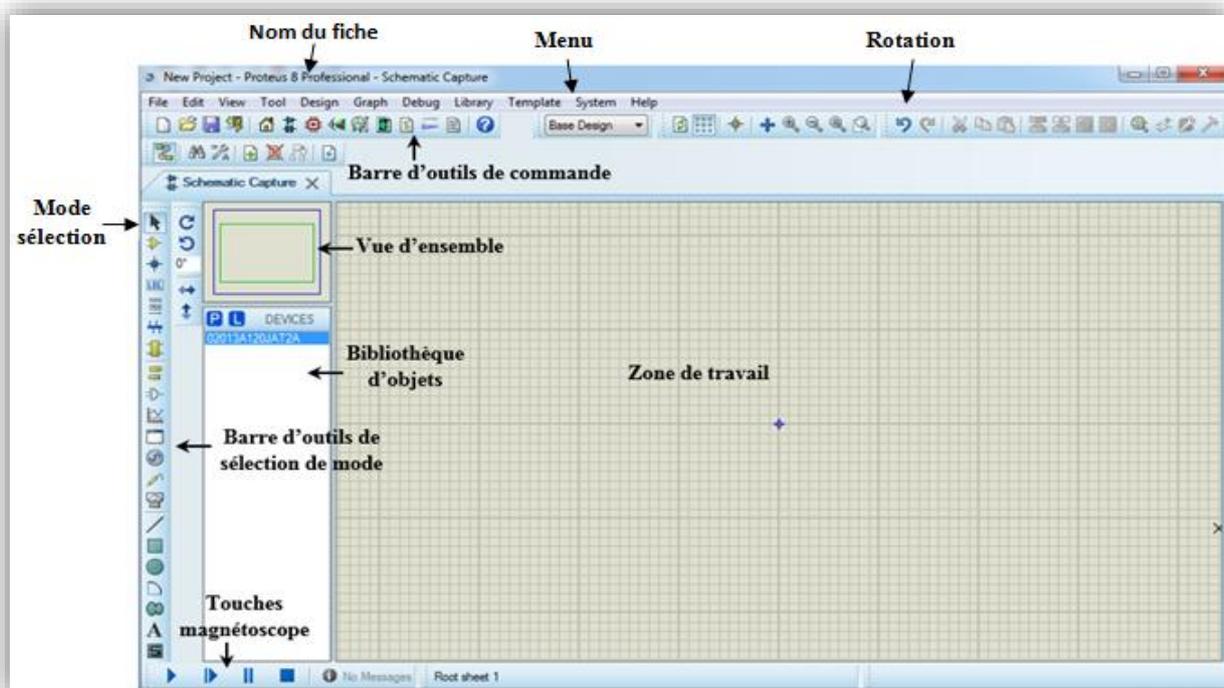


Figure n° III.6 : l'interface de logiciel ISIS [23]

III.2.1.2.Simulation de notre système :

Avant de passer à la partie de réalisation de notre projet nous commençons tout d’abord par une simulation sur le logiciel ISIS (figure III.7) afin de tester le fonctionnement de notre système.

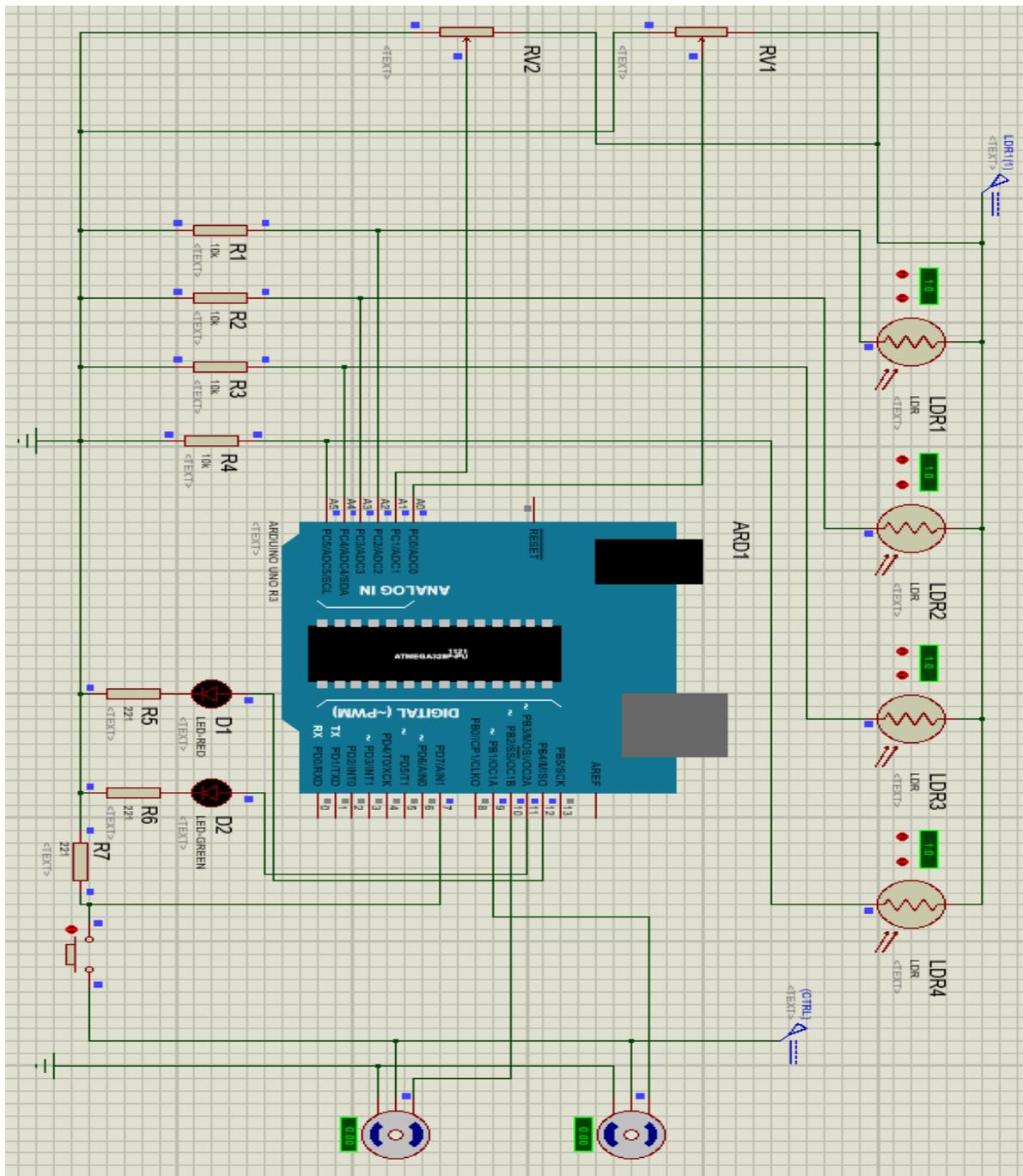


Figure n° III.7 : Schéma électrique global.

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

### III.3. la partie de programmation et réalisation :

#### III.3.1. La programmation :

##### III.3.1.1. présentation de l'environnement de développement d'Arduino (IDE d'Arduino) :

Un IDE (environnement de développement) est une interface souple et simple est exécutable sur n'importe quel système d'exploitation Arduino basé sur la programmation en C.

Une fois le programme est tapé sur ce logiciel on peut le transférer à la carte Arduino via un câble USB, ce câble alimente la carte et transporte aussi l'information.

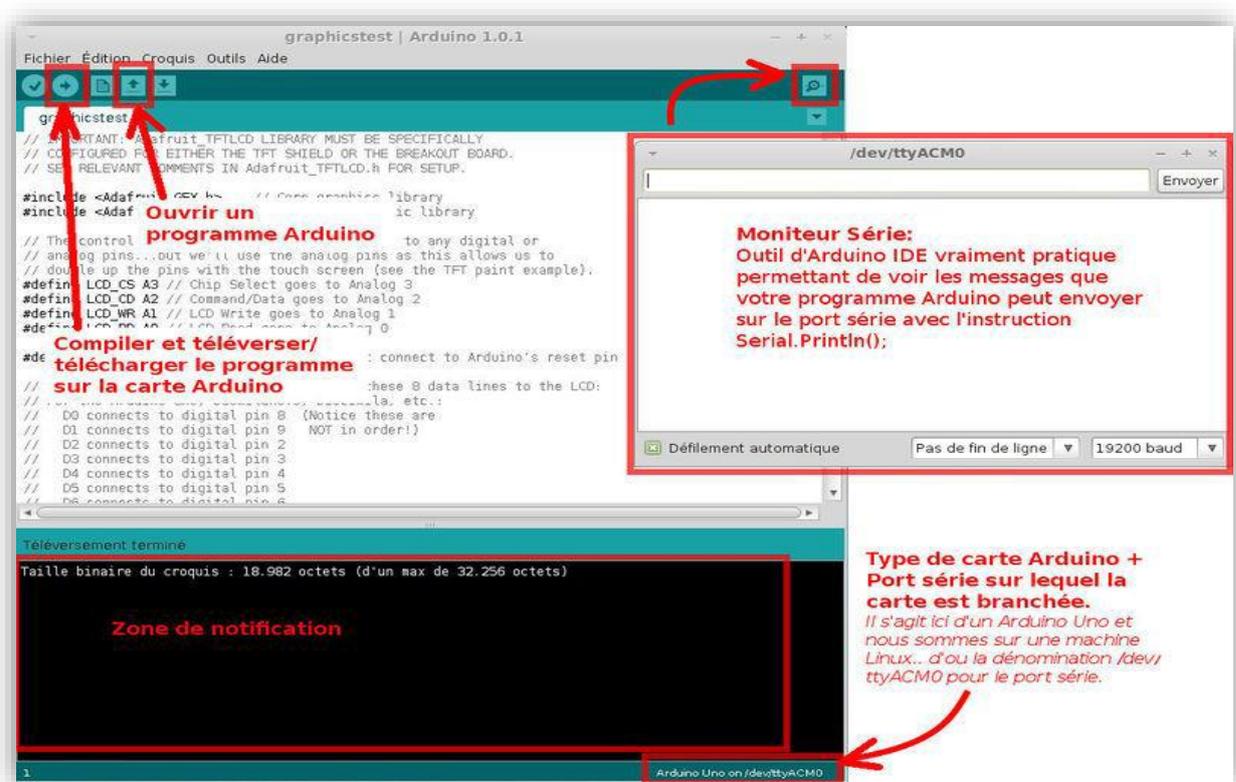


Figure n° III.8 : Interface IDE Arduino [25].

### III.3.1.2.les étapes de téléchargement de programme :

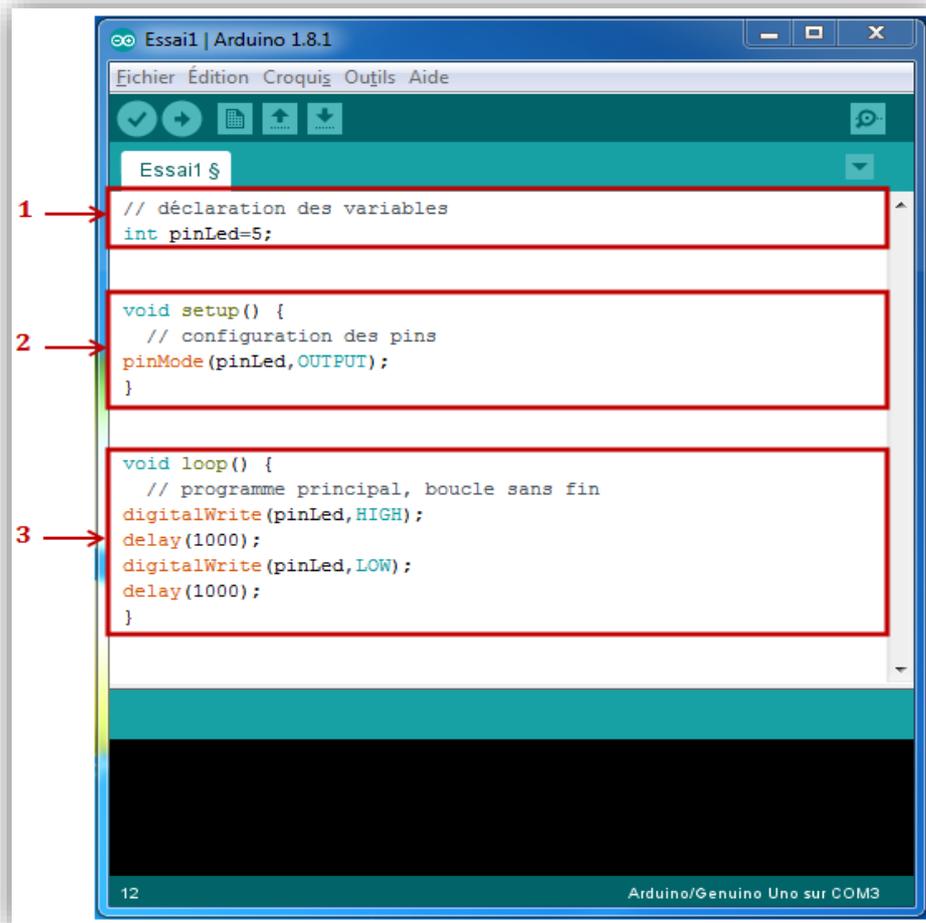
- On ouvre le logiciel IDE arduino
- Ecriture de code sur le logiciel
- Vérification s'il ya des erreurs (compilation)
- Si des erreurs sont signalées, on modifie le programme.
- On charge le programme sur la carte (téléversement de programme vers la carte arduino).
- On passe au câblage électronique.
- L'exécution du programme est automatique après quelques secondes.
- On alimente la carte soit par le port USB, soit par une source d'alimentation autonome
- On vérifie que notre montage fonctionne.

### III.3.1.3.La programmation sur IDE :

Le code de système (le programme) qu'on écrit sur IDE doit être composé de trois parties :

- Une partie déclaration des variables : La zone du programme dédiée aux déclarations est optionnelle et contient les bibliothèques externes que nous désirons appeler et les déclarations de variables globales.
- Une partie initialisation et configuration des entrées /sortie : La fonction `setup ()` : Cette fonction **setup ()** est appelée une seule fois lorsque le programme commence. C'est pourquoi c'est dans cette fonction que l'on va écrire le code qui n'a besoin d'être exécuté une seule fois. On appelle cette fonction : "**fonction d'initialisation**". On y retrouvera la mise en place des différentes sorties et quelques autres réglages. C'est un peu le check-up de démarrage
- Une partie principale qui s'exécute en boucle : la fonction `loop ()` : C'est donc dans cette fonction **loop ()** où l'on va écrire le contenu du programme. Il faut savoir que cette fonction est appelée en permanence, c'est-à-dire qu'elle est exécutée une fois, puis lorsque son exécution est terminée, on le ré-exécute et encore et encore. On parle de **boucle infinie**.

La figure III.9 illustre une partie d'un programme réalisé sous Arduino.



```
Essai1 | Arduino 1.8.1
Fichier Édition Croquis Outils Aide
Essai1 §
1 → // déclaration des variables
int pinLed=5;

2 → void setup() {
    // configuration des pins
    pinMode(pinLed,OUTPUT);
}

3 → void loop() {
    // programme principal, boucle sans fin
    digitalWrite(pinLed,HIGH);
    delay(1000);
    digitalWrite(pinLed,LOW);
    delay(1000);
}

12 Arduino/Genuino Uno sur COM3
```

La figure n°III.9 : partie de programme Arduino.

### III.3.2. La partie de réalisation :

#### III.3.2.1. La partie mécanique :

Cette partie consiste à réaliser le support de panneau solaire c'est pour cela on a utilisé plusieurs plaques en bois avec différentes démentions. Notre projet est constitué des plaques suivantes :

- **La base :**

C'est une plaque en bois, de 70cm de longueur et 50cm cm de largeur cette pièce représente la base de notre projet (suiveur solaire) c'est la première plaque de notre maquette ou on va poser notre suiveur et toute la partie électrique responsable sur leur fonctionnement.

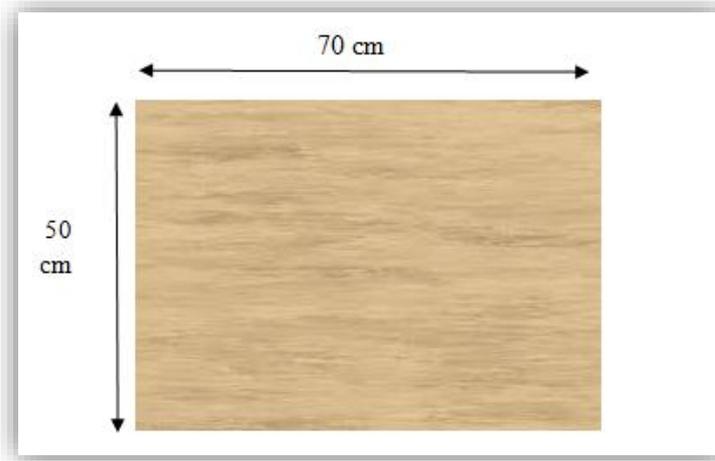


Figure n° III.10 : La base de suiveur solaire

- **La première partie tournante (droite et gauche) :**

Ces deux plaques ont le même diamètre  $\varnothing = 44 \text{ cm}$  et même épaisseur mais leurs rôles sont différents :

- La 1<sup>ère</sup> plaque ronde (1) : C'est la plaque qui représente la deuxième base de notre suiveur solaire qui est déposée sur les colonnes de la première base de la carcasse, cette plaque ronde (1) porte le premier servomoteur.
- La 2<sup>ème</sup> plaque ronde (2) : C'est la plaque tournante, elle peut faire une rotation allant jusqu'à  $180^\circ$ , grâce au servomoteur sur le quel est montée.



Figure n° III.11 : Les deux plaques rondes en bois.

- **Les deux colonnes porteuses du deuxième servomoteur :**

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

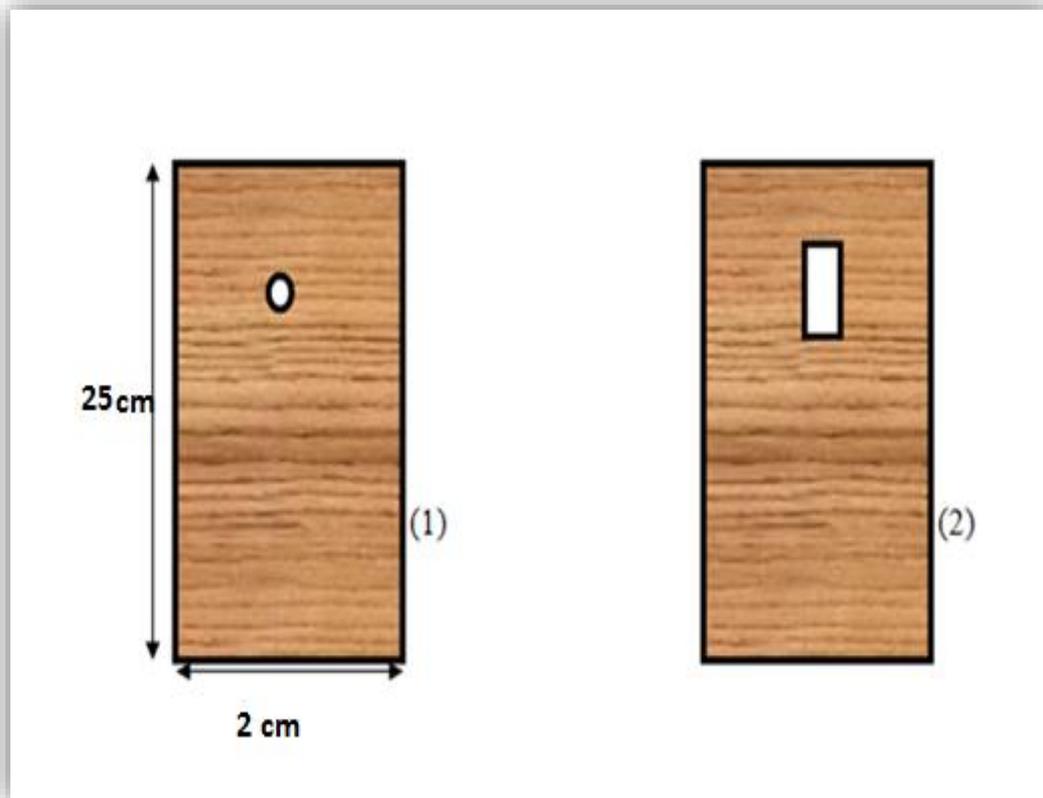


Figure n° III.12 : Les colonnes en bois deuxième servomoteur.

### III.3.2.2.La partie électriques :

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

#### a) : Le montage des photorésistances :

Pour le montage des photorésistances nous avons choisi le support en forme de plus (+). La figure III.13 montre l'emplacement des photorésistances :

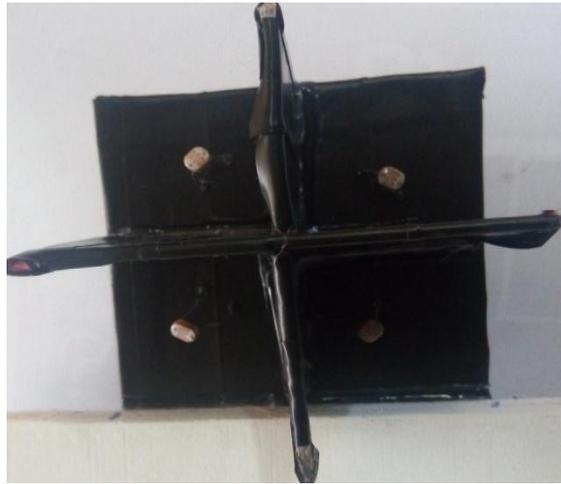


Figure n° III.13 : le montage des LDRs.

**b) : La connexion des différents composants sur l'arduino et la plaque d'essai :**

La figure n° III.14 présente la connexion des différents composants ( ldr, potentiomètre ,bouton poussoirs ,...) sur la carte arduino et la plaque d'essai qui est l'intermédiaire entre l'arduino, les composants et la carte électronique .

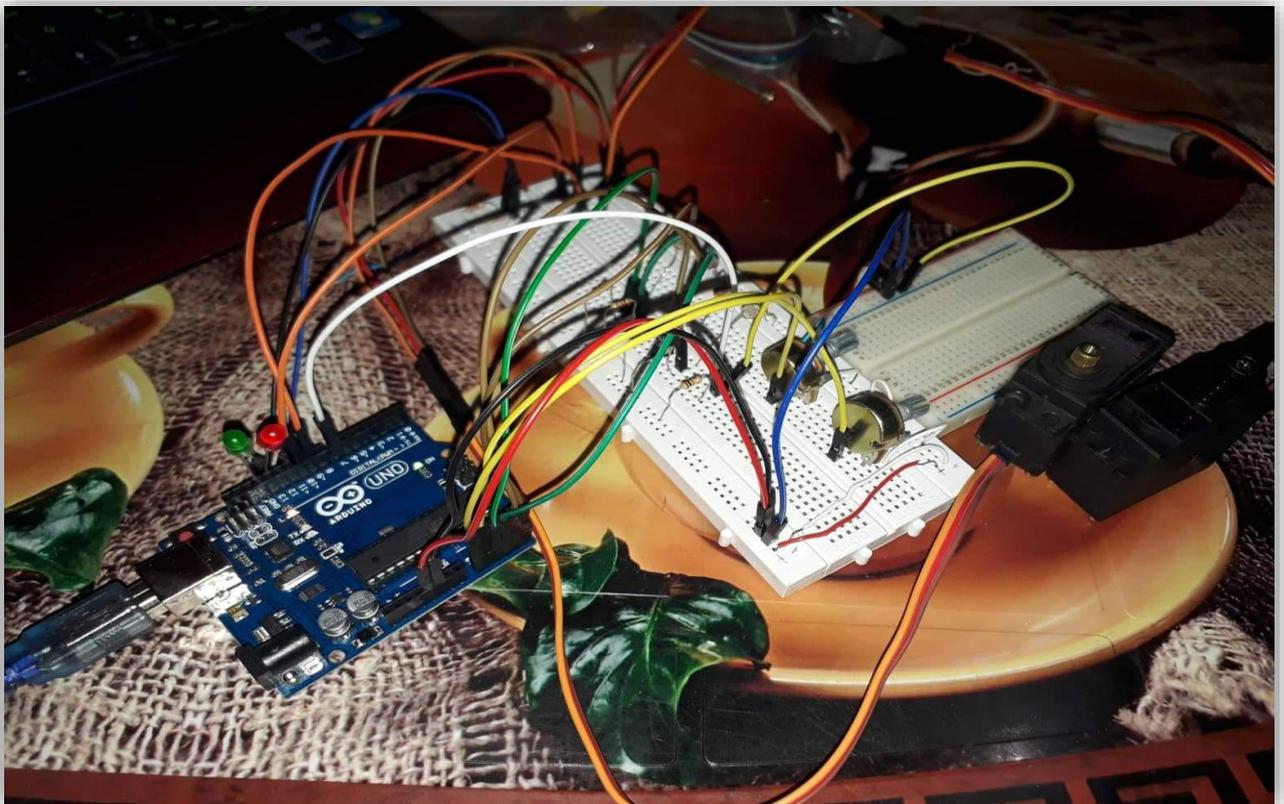


Figure n° III.14 : la connexion des différents composants.

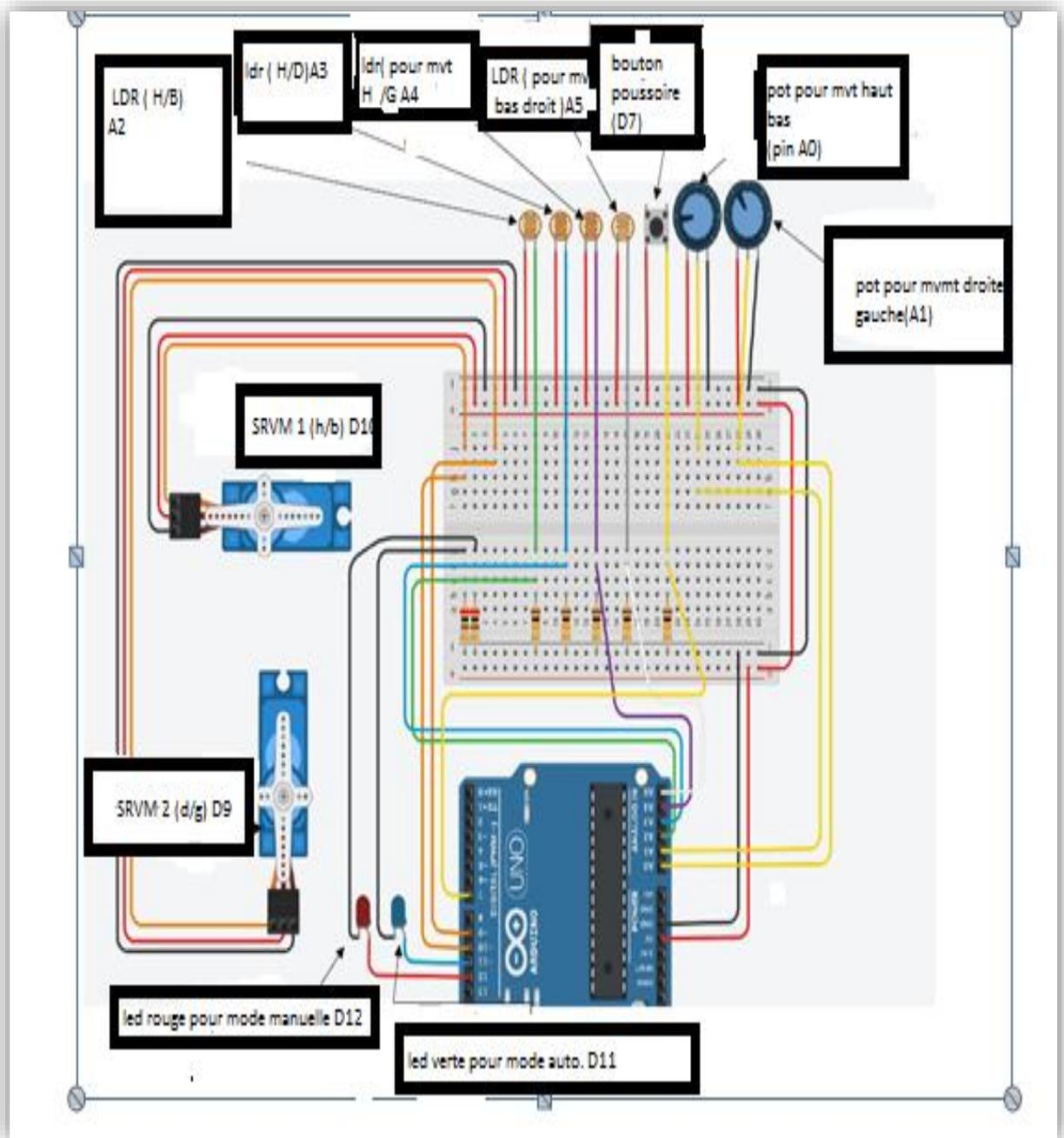


Figure III.15 : Le montage des composants sur la plaque d'essais.

### III.3.2.3 : Tests et essais :

Notre suiveur solaire fonctionne selon deux modes manuel et automatique.

a) Test de mode manuelle :



Figure III.16 :L'horizontale pour le mode manuel



Figure III.17 : La rotation verticale pour mode manuel.

- b) Test sur le mode automatique :
- Rotation horizontale :

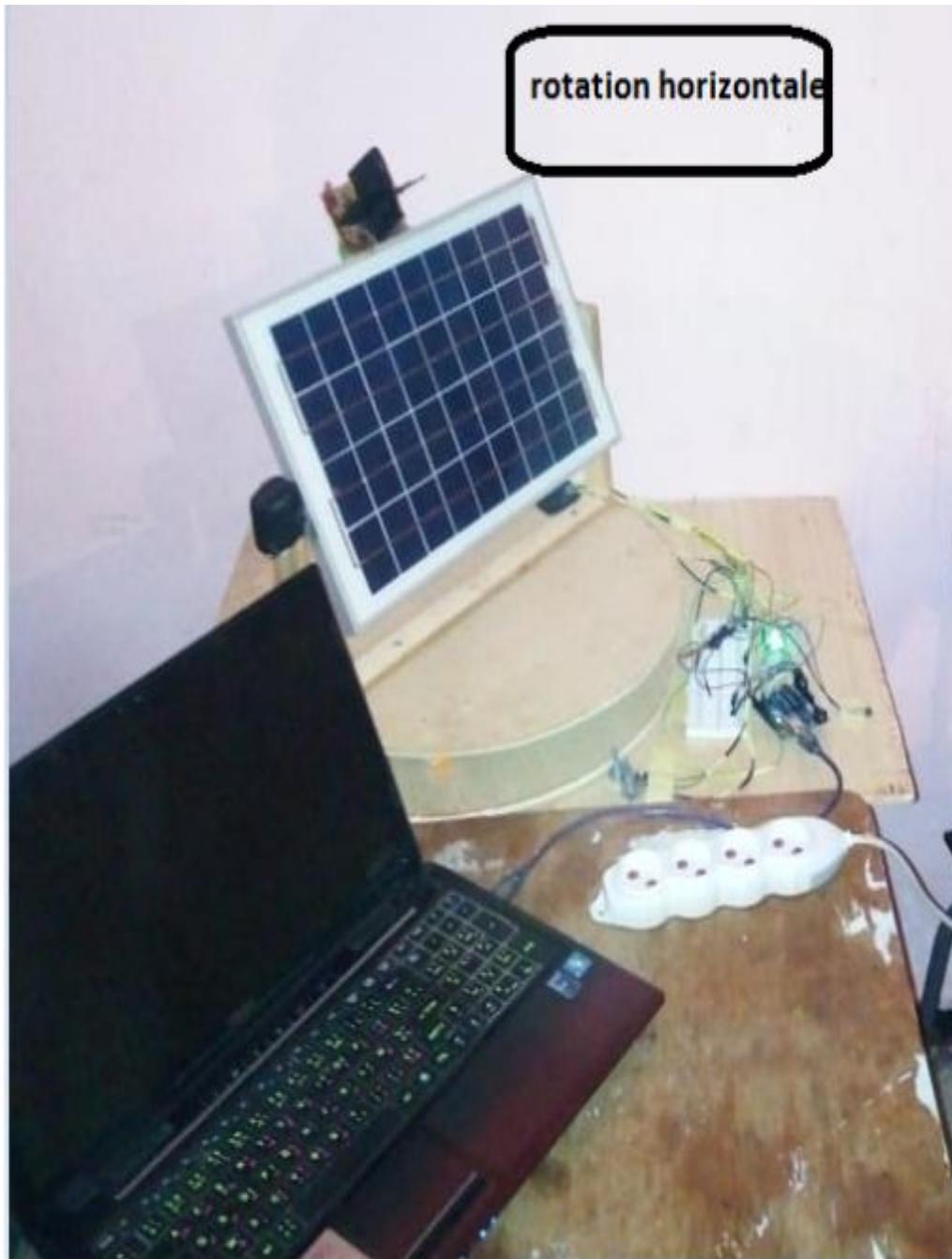


Figure III.18 : La rotation horizontale pour le mode automatique.

- **Rotation verticale :**

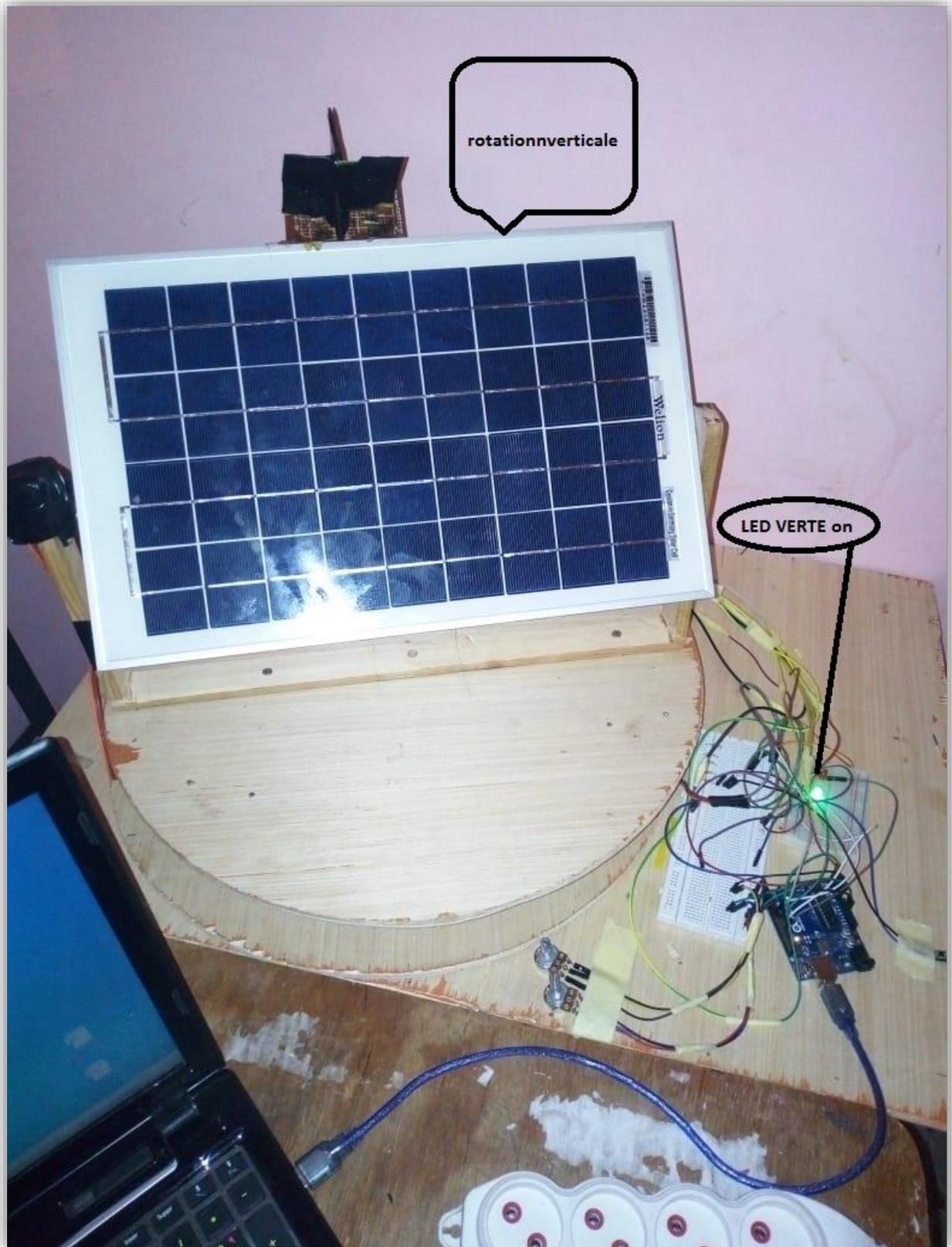


Figure III.19 :La rotation horizontale pour mode automatique

**Conclusion :**

Nous avons énuméré à travers ce chapitre les démarches suivies pour la réalisation, la programmation et les différentes étapes essentielles pour la réalisation de notre suiveur par la suite, on a effectué les tests nécessaires afin de vérifier le bon fonctionnement du suiveur solaire.

# **Conclusion générale**

Le sujet de notre mémoire porte sur « la conception et la réalisation d'un suiveur solaire à base arduino » à l'aide des capteurs de lumières et des composants électroniques.

Notre but dans ce projet de fin d'étude est de réaliser un panneau solaire totalement autonome pour le but d'améliorer le rendement ; ce système donc permet de suivre la position de soleil c'est pour cela il possède deux axes un axe vertical et l'autre horizontale, qui sont commandés par deux servomoteurs.

Notre instrument est utilisable dans toutes les applications qui nécessite la poursuite solaire comme Le séchage des produits agricoles et le photovoltaïque ...etc.

Notre projet de fin d'étude nous a donné une chance pour avoir des différentes connaissances sur des différents domaines tel que l'électronique, automatique, mécanique, la programmation et les énergies renouvelables.

En perspective, on souhaite d'améliorer notre instrument en lui ajoutant un système de régulation PID pour améliorer la précision de notre instrument et ajouter un système de protection contre le changement brusque du climat et qu'il soit autonome.

# Liste bibliographie

- [1] V ,Antoniou,2016,OSm\_Chap8.pdf, juillet 2019
- [2] «Forms of Energy, Transformations of Energy, and Their Real-World »,<http://www.flpda.rg/> (dernier accès 15-12-2017)
- [3] Z.Bouzid, « Contribution à l'optimisation d'un système de conversion éolien Photovoltaïque : Application pour un site isolé », Thèse de Doctorat, Université Abou-BekrBelkaid de Tlemcen, p20 ,2014.
- [4] Aurion de mapeou et xavier pinon,2010,[kelwatt.fr /energie.phP](http://kelwatt.fr/energie.php) ,07 /2019.
- [5] Pris ma media ;2018 ;[https :www.geo.fr](https://www.geo.fr) ;15. 12 .2017.
- [6] ZEGHIB ILHEM « Etude et Réalisation d'un Concentrateur Solaire » parabolique par UNIVERSITE MENTOURI – CONSTANTINE (2005)
- [7] B. Sylvain .installations solaire photovoltaïques .édition le moniteur .17, rue d'Uzès 75002 paris, 2011.280p, ISBN : 978-281-11497-3
- [8] MEKRELOUF Ali et BENYAMINA ABDERRAHMEN « étude et réalisation d'un système suiveur solaire à deux axes », Université de HASSIBA BEN BOUALI – CHLEF , 2011
- [9] 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
- [10] Mille BENMOHAMMADI Zahra Mémoire de fin d'étude « master » « Etude, conception et réalisation d'une commande d'un tracker solaire (suiveur solaire) ». Université Sidi Mohammed Ben Abdellah 2013/214
- [11] National RenewableEnergyLaboratory (NREL) 2013 International Renewable Energy Conference,Golden,Colorado,USA,Juillet2019.
- [12]TrueThomas 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
- [13] A .Zahdi, Practical Solar - Technology- février 2008.[https://www.cbs news.com](https://www.cbsnews.com),juillet 2018.

[14] Sukhraj Singh Cheema (06/2012) “Simulation Studies on Dual Axis Solar Photovoltaic Panel Tracking System”. Thapar University Patiala.

[15] Z.Benmohammadi, « Etude, conception et réalisation d’une commande d’un tracker solaire (suiveur solaire) », Mémoire de Master, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah de Fés, 2014.

[16] Optoelectronic detectors, Dr. Heiner Ryssel, Indian Institute of Technology, Madras 9th INDO –German Winter Academy 2010.

[17] 7, février 2013, principe des photorésistance, 23.dz blogspot.com/photorésistance, juillet 2019.

[18] Carte arduino.02 /05/2016. 14 :43 ;<http://www.gotronic.fr> ;juillet2019.

[19] Carte arduino, le 02/05 /2016 ;15 :10, <http://shop.mchobby.be/cables-usb>, juillet 2019

[20] B. rabeah et D. ayoub Mémoire de fin d’étude « master » «Conception et Réalisation d’un Suiveur Solaire Bi-axial à Bas De capteurs de lumière ». Université KASDI MERBAH OUARGLA 2015/2016.

[21] Carte arduino ,le 28 août 2016 à 01h15,<http://eskimon.fr/>, juillet 2019

[22] [www.orbit-dz.com/prouit/robotique-et interface/moteur-drivers servomoteur-mg996r-détaill](http://www.orbit-dz.com/prouit/robotique-et-interface/moteur-drivers-servomoteur-mg996r-detaill)

[23] M. LAKHDARIF , Introduction à la simulation et routage des circuits avec le logiciel PROTEUS V7 et V8 , UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE D'ORAN FACULTE DU GENIE ELECTRIQUE,2016/2017.

[24] K. IBTISSAM, «Etude, Conception et Réalisation d’un Suiveur de Soleil», mémoire de master, Université Abou-Bekr Belkaid de Tlemcen, lundi 25 juin 2018

[25] Astalaseven ,Eskimonet olyte. Arduino pour bien commencer en électronique et en programmation.le site de zéro. Licence Creative Commons BY-NC-SA 2.0 Dernière mise à jour le 4/08/2012

# Les annexes

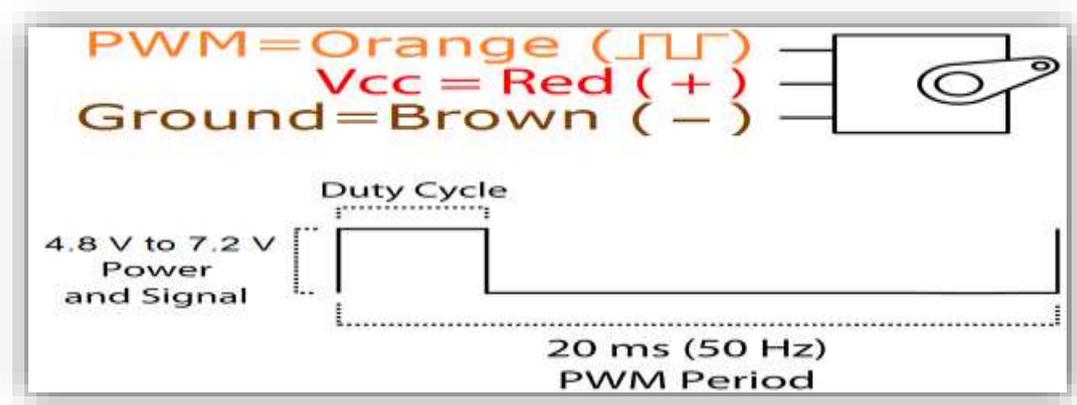
## Les annexes

### 1. Le servomoteur :



### Spécifications :

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



## 2. Le potentiomètre T.M 10 KΩ :



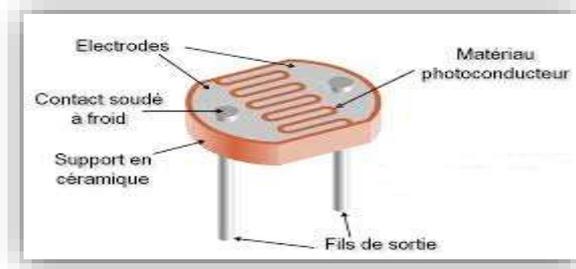
- résistance: 10K OHM
- Tolérance de résistance de 20%
- angle de rotation de 300 °
- Puissance 0,1 ~ 0,2 W
- diamètre de l'arbre 6 mm
- longueur de l'arbre 15 mm

## 3. La photorésistance (LDR) :

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

# [Titre du document]

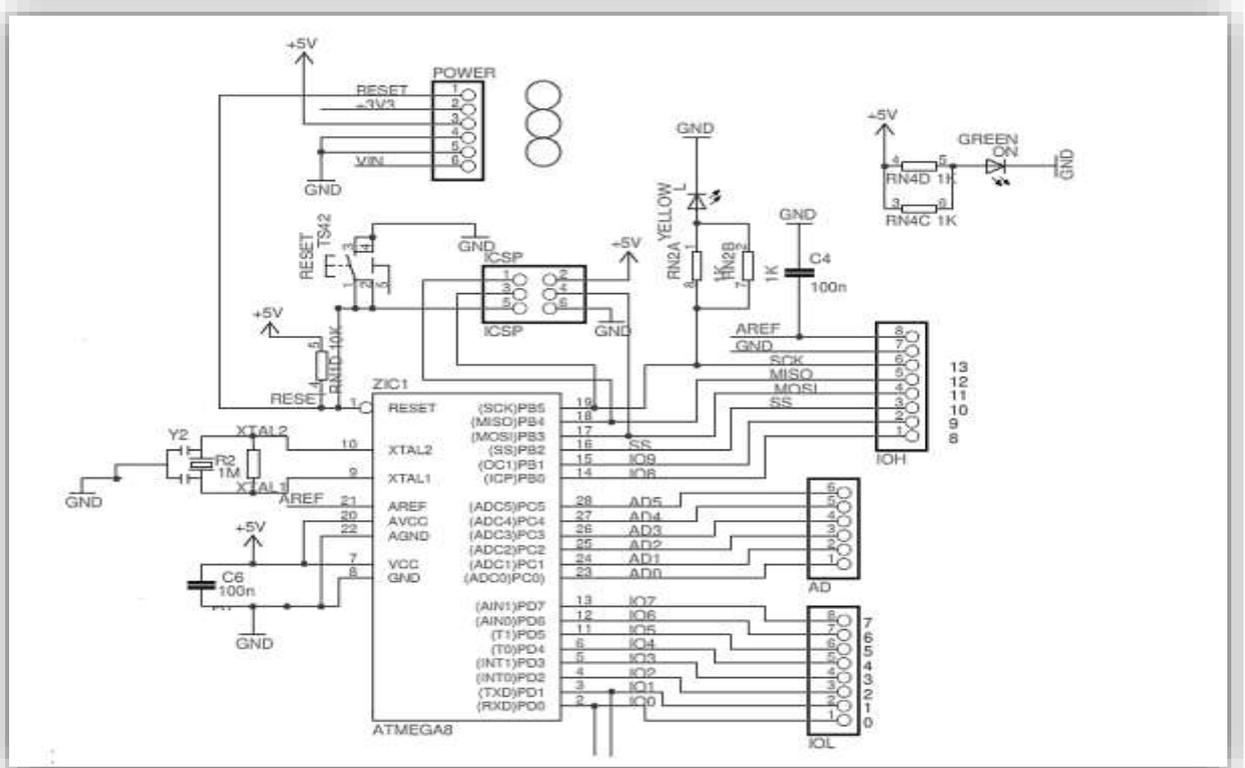
variable. Une instruction de test ou de calcul permet d'exploiter la valeur stockée dans la variable.



## 4. L'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.

### Schéma électrique de la carte Arduino UNO.



## 5. Panneau solaire :

### Carractéristiques :

Type :P-10w

Pmax :10w

Voltage :21.5v

Current :0.56A

Power voltage :17.5 c

Current voltage :0.59

Power tolerance :+-3%

Dimension :390\*250\*17 mm



### Le programme :

```
#include <Servo.h>
```

```
//Initialiser les variables
```

```
int mode = 0;
```

```
int buttonState = 0; // initialiser d'état de bouton
```

```
int prevButtonState = 0; // initialiser d'état de bouton après le premier appuyé
```

```
int topLeftLight = 0; // initialiser la valeur de LDR haut -gauche
```

```
int topRightLight = 0; // initialiser la valeur de LDR haut -droite
```

```
int bottomLeftLight = 0; // initialiser la valeur de LDR bas-gauche
```

```
int bottomRightLight = 0; // initialiser la valeur de LDR bas -gauche
```

## [Titre du document]

---

```
int LeftLight = 0; /// initialiser la valeur de LDR gauche
```

```
int RightLight = 0; // initialiser la valeur de LDR droite
```

```
int TopLight = 0; // initialiser la valeur de LDR haut
```

```
int BottomLight = 0; // initialiser la valeur de LDR bas
```

```
//Declaration des deux servos
```

```
Servo servo_9;//déclaration de servo moteur 1
```

```
Servo servo_10;// déclaration de servo moteur 2
```

```
void setup()
```

```
{
```

```
  pinMode(7, INPUT); //le bouton poussoir
```

```
  pinMode(12, OUTPUT); //La led brancher à la sortie de pin 12 son rôle est indiqué le mode manuel
```

```
  pinMode(11, OUTPUT); // La led brancher à la sortie de pin 11 son rôle est indiqué le mode automatique
```

```
  pinMode(A0, INPUT); //Potentiomètre pour le mouvement droite –gauche brancher à la rentrée analogique A0
```

```
  pinMode(A1, INPUT); // Potentiomètre pour le mouvement haut - bas brancher à la rentrée analogique A1
```

```
  pinMode(A2, INPUT); // LDR haut-gauche brancher à la rentrée analogique A2
```

```
  pinMode(A3, INPUT); // LDR haut-droite brancher à la rentrée analogique A3
```

```
  pinMode(A4, INPUT); // LDR bas-gauche brancher à la rentrée analogique A4
```

## [Titre du document]

---

```
pinMode(A5, INPUT); //// LDR bas-droite  brancher à la rentrée analogique A5

servo_9.attach(9); //attacher le sevo 1 à la pin numérique 9

servo_10.attach(10); // attacher le sevo 2 à la pin numérique 10

}

void loop()

{

  buttonState = digitalRead(7);// lecture de la valeur numérique de bouton

  if (buttonState != prevButtonState) {

    if (buttonState == HIGH) { // si le bouton à état haut

      //Changer le mode et allumer l'indicateur correct

      if (mode == 1) {

        mode = 0; // si le mode est égale à 1 en change le mode à état 0 donc le mode
automatique est activé

        digitalWrite(12, HIGH); // l'etat de mode

        digitalWrite(11, LOW);

      } else {

        mode = 1; // si non le mode manuel est activé

        digitalWrite(11, HIGH);

        digitalWrite(12, LOW);

      }

    }

  }

}
```

## [Titre du document]

---

```
prevButtonState = buttonState;

delay(50); // attendre un delais de 50 seconds

if (mode == 0) {

    //si le mode est manuel, les valeurs des potentiomètres correspondent au degré de rotation
    servo_9.write(map(analogRead(A0), 0, 1023, 0, 180)); // la lecture des valeurs de pot.

    servo_10.write(map(analogRead(A1), 0, 1023, 0, 180));

} else {

    // si le mode est auto les valeurs des capteurs ont une intensité varie de 0 à 100

    //chaque capteur de lumière a une sensibilité différente doit d'abord être testé

    //for it's high and low values

    topLeftLight = map(analogRead(A2),50,980,0,100); // modifier la plage de variation des
LDRs

    topRightLight = map(analogRead(A3),200,990,0,100);

    bottomLeftLight = map(analogRead(A4),170,970,0,100);

    bottomRightLight = map(analogRead(A5),250,1000,0,100);

    //Calculer la moyenne de l'éclairage

    TopLight = ((topRightLight + topLeftLight) / 2); // la moyenne des deux LDRs haut

    BottomLight = ((bottomRightLight + bottomLeftLight) / 2); // la moyenne des deux LDRs
bas

    LeftLight = ((topLeftLight + bottomLeftLight) / 2); // la moyenne des deux LDRs gauche

    RightLight = ((topRightLight + bottomRightLight) / 2); // la moyenne des deux LDRs droite

    //la rotation de servo par rapport à la condition d'éclairage

    if (abs((RightLight - LeftLight)) > 4) { // Changer la position seulement si la difference
est. plus de 4%
```

## [Titre du document]

---

```
if (RightLight < LeftLight) {  
    if (servo_9.read() < 180) {  
        servo_9.write((servo_9.read() + 1));  
    }  
}  
  
if (RightLight > LeftLight) {  
    if (servo_9.read() > 0) {  
        servo_9.write((servo_9.read() - 1));  
    }  
}  
  
if (abs((TopLight - BottomLight)) > 4) { // Changer la position seulement si la difference  
est. plus de 4%  
    if (TopLight < BottomLight) {  
        if (servo_10.read() < 180) {  
            servo_10.write((servo_10.read() - 1));  
        }  
    }  
    if (TopLight > BottomLight) {  
        if (servo_10.read() > 0) {  
            servo_10.write((servo_10.read() + 1));  
        }  
    }  
} } } }
```

[Titre du document]

---