

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

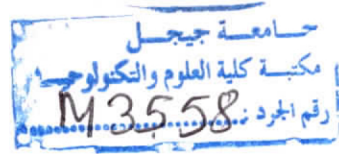
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة جيجل

Université de Jijel

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département d'Electronique



MEMOIRE DE FIN d'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER 2 EN ELECTRONIQUE

OPTION : Energie renouvelable



Thème :

Conception et réalisation d'un suiveur solaire

Présenté par :

M^{lle} Aya HARID

Proposé par : M^r Mourad GRIMES

Promotion : 2017

Remerciement

En préambule à ce mémoire, je souhaiterai adresser mes remerciements aux personnes ayant contribué de près ou de loin, à leur manière et à des degrés différents, à l'élaboration et à l'accomplissement de ce mémoire. Il s'agit pour moi, d'un devoir spontané de reconnaissance et de gratitude, envers toutes les personnes sans lesquelles ce mémoire n'aurait pas pu prendre forme. Ce travail est aussi le leur.

Un grand merci à mon promoteur, M^{rs} M. GRIMES pour avoir suggéré un thème aussi passionnant et pertinent, d'avoir accepté de diriger ce travail malgré ses multiples occupations. Son implication dans ce travail, ses conseils ainsi que sa constante sollicitude, auront été indispensables à la bonne réalisation de ce mémoire.

Un grand merci également membres de jury qui ont bien voulu faire partie du jury et d'apporter leurs vives contributions à l'enrichissement de ce travail par leurs commentaires constructifs, leur bon sens et leur expérience.

Le présent travail est le fruit des efforts conjugués de tant de personnes à qui je voudrais exprimer mes plus vifs remerciements :

Je voudrai d'abord témoigner ma reconnaissance à mes parents. La réalisation de ce mémoire n'aurait pas été possible sans leur soutien moral et affectif. Je les remercie de m'avoir donné un environnement familial et matériel idéal, de m'avoir enseigné les valeurs essentielles de la vie (humilité, honnêteté, passion et rigueur). Merci d'avoir su me comprendre et me diriger dans les moments les plus difficiles, de m'avoir toujours fait confiance et de m'avoir comblé de votre tendresse et amitié.

Merci également à tous les professeurs et corps pédagogique qui ont contribué à ma formation durant ces cinq années passées à Université de Jijel.

Je suis particulièrement reconnaissante à Mohammed Tahar HARJID pour la disponibilité, le soutien, la bonne humeur et la collaboration, et grâce à qui mon premier contact avec la pratique s'est déroulé dans de très bonnes conditions.

Merci également à l'ensemble des techniciens du laboratoire de l'électronique d'université de Jijel ainsi qu'aux bibliothécaires de l'université pour leur dévouement et leur collaboration.

A l'ensemble des collègues et amies de promotion, je dis merci pour ces belles années et amitié précieuse. Merci à Romaiça Harid pour leur agréable compagnie et de franche fraternité.

Pour ces années passionnantes, du fond du cœur : MERCI.

Pour finir, je prie le seigneur Dieu pour que mes aptitudes et mes travaux futurs puissent servir mon Pays et le rendre toujours meilleur.

Dédicace

*A ma mère et mon père,
Témoignage d'amour filial et de reconnaissance.*

*A mes sœurs et mes frères chéris(es),
(Nisrine, Romaïssa, Sahar, M.Tahar et Abd El Krim)*

*Puisse ce faible gage de ma vive reconnaissance
compenser les nombreux sacrifices que faire pour moi.*

Au petit Mehdi

A mon amie,

Amina

A tous mes amis.

Aya. H

Résumé

Détentrice de la croissante énergétique mondiale, l'énergie solaire se précise de plus en plus pour devenir l'énergie la plus répandue et la plus répartie dans le monde. Dans le secteur de l'énergie photovoltaïque, la puissance électrique produite par un panneau solaire dépend de l'intensité du flux lumineux selon la position du soleil pendant la journée.

Dans ce travail, un suiveur solaire automatique pour module photovoltaïque a été réalisé ayant comme objectif l'amélioration le rendement en énergie électrique du module photovoltaïque mobile par rapport au système fixe. Notre dispositif d'instrument sera fixé sur une structure mécanique que nous avons réalisée à base de deux servomoteurs 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 photo résistifs de type 'LDR' qui sont disposés de manière à ce que leurs éclaircissements ne soient identique que si la lunette est pointée vers le soleil. Les signaux issus des capteurs sont transmis aux entrées d'un microcontrôleur de type 'ATmega328' dans la carte de commande « Arduino » qui permet la comparaison des niveaux de tensions pour la commande les deux servomoteurs. En outre, il permet l'orientation du panneau vers le soleil.

Enfin, le système que nous avons réalisé est capable de suivre à tout moment la position du soleil pendant la journée.

Mots clés : Energie solaire, Système de poursuite, Photorésistance, Microcontrôleur ATmega328, Servomoteur.

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure I.1: Les formes principales des énergies renouvelables..... | 5 |
| Figure I.2 : Un miroir ardent [3]. | 6 |
| Figure I.3: Les différents modes d'exploitation de l'énergie Solaire [6]. | 7 |
| Figure I.4: Module photovoltaïque (à gauche) & capteur thermique (à droite)..... | 8 |
| Figure I.5: Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque..... | 9 |
| Figure I.6 : Module poly cristallin (à gauche) & monocristallin (à droite)..... | 9 |
| Figure I.7: Module en silicium amorphe..... | 10 |
| Figure I.8: Circuit équivalent de la cellule photovoltaïque..... | 10 |
| Figure I.9: Rassemblement de la cellule PV. | 11 |
| Figure I.10: Représentation de l'angle d'inclinaison β et d'incidence θ | 12 |
| Figure I.11: Puissance PV installée cumulée de 2003 à 2017[38]..... | 13 |
| Figure I.12: Variation saisonnière du rayonnement solaire. | 14 |
| Figure I.13: les coordonnées d'un point sur la terre..... | 15 |
| Figure I.14: Coordonnées terrestres. | 15 |
| Figure I.15: La déclinaison du soleil durant l'année [20]..... | 16 |
| Figure I.16: Coordonnées horaires..... | 16 |
| Figure I.17: Gisement solaire en Algérie. | 17 |
| Figure I.18: Modèle d'un héliostat dans ses premières applications. | 18 |
| Figure I.19: champ d'héliostat -centrale solaire Thémis France..... | 19 |
| Figure I.20 : Types de suiveurs solaires..... | 19 |
| Figure I.21: Les suiveurss passifs | 20 |
| Figure I.25: Types de suiveur solaire actifs. | 21 |
| Figure I.23: Suiveur à un seul axe vertical incliné..... | 21 |
| Figure I.24: Suiveur à 1 axe horizontal..... | 22 |
| Figure I.25: Panneau solaire avec système de poursuite bi-axiale..... | 22 |
| Figure I.26: diagramme de comparaison entre la production avec suiveur et la production avec système fixe..... | 23 |
| Figure II.1: Méthode de poursuite astronomique [17]..... | 25 |
| Figure II.2: Suiveur basé sur des capteurs de lumière. | 26 |
| Figure II.3 : Méthode de poursuite active [17]. | 26 |
| Figure II.4: Principe général de la commande du tracking..... | 27 |

| | |
|--|------|
| Figure II.5 : Circuit équivalent du capteur LDR..... | 28 |
| Figure II.6: disposition des capteurs LDR pour un tracker mono-axe..... | 28 |
| Figure II.7: Schéma du prototype des quatre capteurs LDR..... | 29 |
| Figure II.8: représentation des plans 1 et 2 séparant les LDR. | 29 |
| Figure II.9: Schéma synoptique de suiveur solaire..... | 30 |
| Figure II.10: Symbole de photorésistance LDR. | 31 |
| Figure II.11: Présentation de la carte Arduino(ATMega328)..... | 32 |
| Figure II.12: fils de pin d'Arduino..... | 33 |
| Figure II.13 : La plaque d'essai..... | 34 |
| Figure II.14: Le câble USB d'Arduino. | 34 |
| Figure II.15: Les servomoteurs. | 34 |
| Figure II.16 : les fils de servomoteur. | 35 |
| Figure II.17: Pilotage d'un servomoteur à l'aide d'Arduino. | 35 |
| Figure 0-1 : Organigramme utilisé | 38 |
| Figure III.2: Interface du logiciel Arduino. | 39 |
| Figure III.3: Montage du système sous Proteus..... | 40 |
| Figure III.4: LDR_Torch utilisé. | 40 |
| Figure III.5: Simulation de la sortie en absence d'éclairement. | 41 |
| Figure III.6: Simulation de la sortie pour une variation de l'éclairement sur les LDR. | 41 |
| Figure III.7: Réalisation sur la plaque d'essai. | 42 |
| Figure III.8: Circuit imprimé de lunette de 4 LDR. | 43 |
| Figure III.9: Différents éléments de prototype. | 44 |
| Figure III.10: Structure mécanique de notre suiveur..... | 44 |
| Figure III.11: La partie mobile de base. | 45 |
| Figure III.12: La partie mobile de Haut..... | 45 |
| Figure 1: Organigramme d'un suivi mono-axe..... | v |
| Figure 2: Structure de photorésistance..... | vi |
| Figure 3: l'évolution en lux en fonction de la résistance. | vi |
| Figure 4: Dimensions en (mm) du capteur LDR [10]. | vii |
| Figure 5: Réponse spectrale du capteur LDR..... | vii |
| Figure 6: Un microcontrôleur ATMega328 | viii |
| Figure 7: Schéma simplifié de la carte Arduino UNO | ix |

Figure 8: l'intérieur du microcontrôleur d'Arduino [28]. ix

Figure 9: l'utilisation d'un servomoteur avec une carte Arduino..... x

Figure 10: Le pilotage de servomoteur. x

Liste des tableaux

Tableau 1: Caractéristiques principales du soleil..... 13
Tableau 2 : Potentiel solaire en Algérie..... 17

Liste des abréviations

- Wh** : Watt-heure (énergie consommée)
- PV** : Photovoltaïque
- PEP** : puissance électrique produite par le panneau PV
- PSR** : puissance solaire reçue par le panneau
- PV** : photovoltaïque
- DC** : courant électrique de nature continu
- LDR**: Light Dependent Resistor
- CAN** : Convertisseur analogique numérique
- PWM**: pulse with modulation
- EEPROM**: Electrical Erasable Programable read only memory
- RAM**: Random Access Memory
- IDE**: Integrated Development Environment
- LCD**: Light Control Display

Sommaire

| | |
|--|-------------|
| Remerciement | I |
| Dédicace | II |
| Résumé | III |
| Liste des figures | IV |
| Liste des tableaux | VII |
| Liste des abréviations | VIII |
| Sommaire | IX |
| Introduction | 2 |
| I. Généralité | 5 |
| I.1 Energie solaire | 5 |
| I.1.1 Formes d'énergie solaire | 6 |
| I.2 Géométrie Solaire | 13 |
| I.2.1 Grandeurs géographiques et astronomiques..... | 14 |
| I.2.2 Gisement Solaire en Algérie | 17 |
| I.3 Systèmes de suiveur solaire | 18 |
| I.3.1 Les premières applications des suiveurs solaires | 18 |
| I.3.2 Les différents systèmes de suiveur solaire | 19 |
| I.4 Intérêt des panneaux solaire photovoltaïques mobiles | 22 |
| II. Matériel et méthodes | 25 |
| II.1 Conception du système suiveur solaire..... | 25 |
| II.2 Les méthodes de suiveur | 25 |
| II.2.1 La méthode astronomique | 25 |
| II.2.2 La méthode des capteurs de lumière | 26 |
| II.3 Principe générale de système de poursuite | 27 |
| II.4 Description du système de suiveur solaire..... | 29 |
| II.4.1 Schéma synoptique..... | 30 |
| II.4.2 Description des composants électroniques..... | 31 |
| III. Réalisation pratique | 38 |
| III.1 Partie programmation | 38 |
| III.1.1 L'organigramme | 38 |

| | |
|--------------------------------------|-----------|
| III.1.2 Programmation | 39 |
| III.2 Partie simulation | 39 |
| III.3 Partie électrique | 42 |
| III.4 Partie mécanique | 43 |
| III.5 Validation expérimentale | 45 |
| Conclusion générale | 47 |
| Bibliographie..... | i |
| Annexes | v |

Introduction
général

Introduction

Dans un monde encore largement dominé par les énergies fossiles qui sont limitées et ne pourront répondre aux besoins croissants de la population mondiale. D'après l'Agence Internationale de l'Energie (AIE) la demande énergétique mondiale pourrait augmenter de plus de 50% d'ici à 2030 [1] une part croissante de cette énergie sera consommée sous forme d'électricité. Dans une année, l'humanité entière consomme 10 milliards de tonnes de pétrole, cette quantité représente moins de 3 % de ce que le soleil nous envoie gratuitement chaque jour. Face à l'épuisement des énergies fossiles et à leur impact négatif sur l'environnement, les énergies renouvelables s'imposent comme la solution d'avenir pour satisfaire de façon durable les besoins énergétiques mondiaux.

L'énergie solaire, en dépit d'un développement très rapide est une énergie inépuisable, propre et gratuite et sûre dans le monde entier, il s'agit de capter les rayonnements solaires présents dans notre atmosphère pour les convertir en énergie thermique ou photovoltaïque. Aujourd'hui, la solution solaire se précise de plus en plus pour devenir l'énergie la plus répandue et la plus répartie dans le monde.

Dans le secteur de photovoltaïque, l'énergie solaire est transformée en énergie électrique les modules photovoltaïques assurent une production décentralisée pour alimenter des matériels portatifs ou satisfaire des besoins locaux en des lieux isolés et le raccordement au réseau électrique. La puissance électrique produite par un panneau solaire dépend de l'intensité du flux lumineux selon la position du soleil pendant la journée. Afin de collecter le maximum d'énergie.

L'Algérie, qui s'oriente, depuis quelques années vers les ressources solaires, dispose d'un des gisements solaires les plus importants au monde [2]. Le gouvernement prévoit le lancement de plusieurs projets solaires photovoltaïques avec l'objectif de porter le taux du bouquet énergétique à 40% d'ici à l'horizon 2030 [3].

L'université algérienne est un moteur de développement et entité du transfert du savoir, compte tirer profit de ces programmes, en s'associant et en s'impliquant dans des recherches nécessaires à la mise à niveau de la structure et au développement du secteur des énergies renouvelables. Dans ce contexte générale on a choisi notre projet de fin d'études, intitulé « conception et réalisation d'un suiveur solaire ».

Notre motivation dans ce travail est de construire des dispositifs dits systèmes de suiveur solaire permet d'optimiser l'énergie fournies par le panneau solaire. Le système de suiveur solaire doit être ajusté le panneau qu'il oriente, autant que possible en suivant le mouvement du soleil qui varie au long de la journée.

Pour cela, on a repartie ce travail en trois chapitres :

- Le premier chapitre dans lequel on va parler un peu sur l'énergie solaire photovoltaïque ensuite, nous présentons la géométrie solaire afin de définir par quelque généralité la poursuite adaptative.
- Le second chapitre porte sur la matérialisation du dispositif de poursuite expérimental.
- Le troisième chapitre sera consacré à la réalisation pratique du système de poursuite.

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

Chapitre I

Généralités sur la poursuite adaptative

Sommaire :

| | |
|--|----|
| 1. Energie solaire | 5 |
| 2. Géométrie Solaire..... | 13 |
| 3. Systèmes de suiveur solaire..... | 18 |
| 4. Intérêt des panneaux solaire photovoltaïques mobiles..... | 22 |

Résumé :

Ce chapitre commence par une introduction sur les énergies renouvelables. Suivi par un bref historique sur l'énergie solaire et des généralités sur l'énergie photovoltaïque. Une présentation de la géométrie solaire les différents systèmes de suiveur solaire et leurs intérêts ont été abordés.

I. Généralités

Depuis la révolution industrielle au XIX^{ème} siècle, l'utilisation de l'énergie a pris de l'ampleur, et l'exploitation de nouvelles formes d'énergie est devenue une nécessité pour assurer le niveau de vie actuel de l'humanité.

Les énergies renouvelables ont connu une première phase de développement à l'occasion des chocs pétroliers de 1973 et 1978, puis une période de repli après le contre-choc de 1986, avant de retrouver un second souffle en 1998 après la signature du protocole de Kyoto qui prévoit une baisse de 5.2% des émissions des gaz à effet de serre des pays riches sur la période de 2002-2012 par rapport à 1990 [1].

Les formes principales d'énergies renouvelables sont l'énergie solaire, l'énergie éolienne, l'énergie biomasse, l'énergie géothermique et l'énergie hydraulique (Fig.I.1).

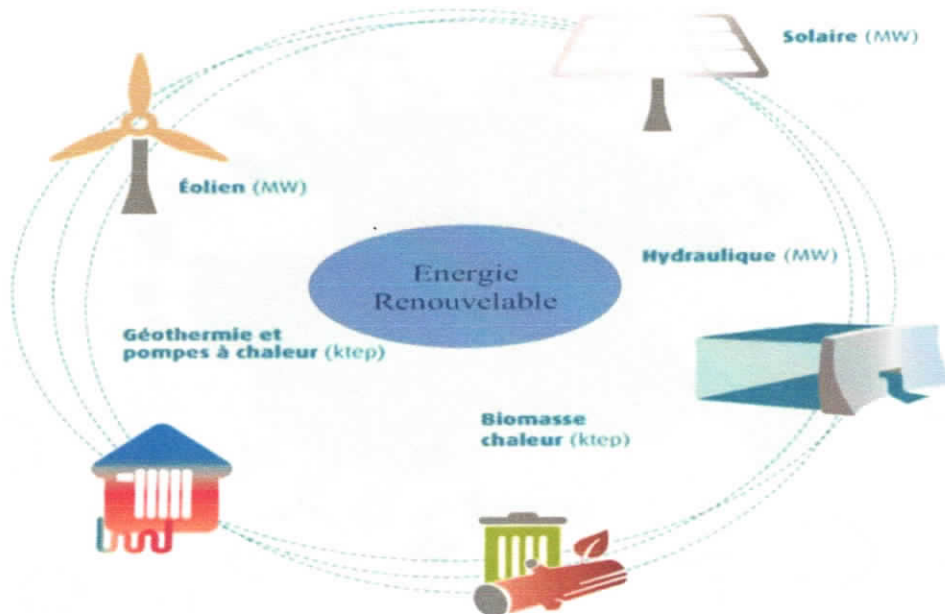


Figure I.1: Les formes principales des énergies renouvelables.

L'énergie renouvelable la plus dominante est l'énergie solaire qui assure la vie sur terre, et qui a été exploitée par l'homme depuis très longtemps, sous diverses formes.

I.1 Energie solaire

L'utilisation de l'énergie solaire est un fait très ancien. L'énergie solaire est à l'origine de la vie sur Terre : les premiers organismes photosynthétiques l'utilisaient déjà il y a 3,6 milliards d'années [2] pour produire leurs matières organiques.

Dans l'antiquité les Grecs et les Romains savaient utiliser l'énergie solaire. Pour allumer la flamme des jeux olympiques, ils utilisaient une sorte de miroir parabolique primitif, car pour eux seuls les rayons du Soleil étaient assez purs pour allumer cette flamme.

Le Siècle des Lumières (XVIIIème siècle) voit renaître l'intérêt pour le Soleil et les premières études et expériences sur son énergie. En 1747, le botaniste Buffon met au point une machine capable d'enflammer des planches en bois à 48 mètres (Fig.I.2) [3].

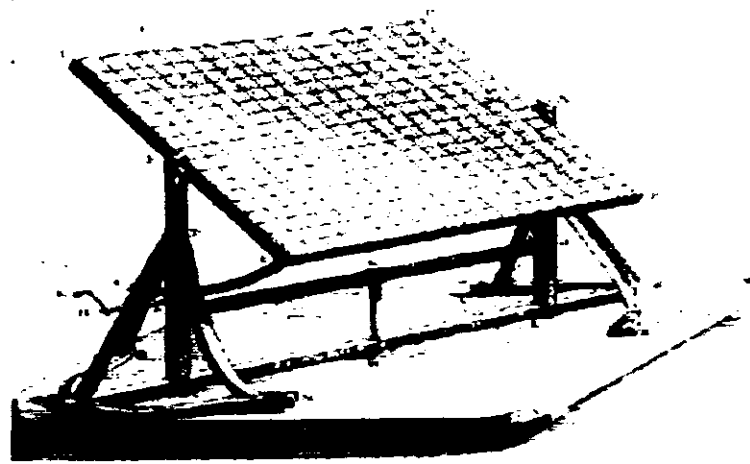


Figure I.2 : Un miroir ardent [3].

Le XIXème est marqué par la découverte de l'effet photovoltaïque et le perfectionnement des techniques d'exploitation du solaire thermique [4]. En 1839, le physicien Alexandre Edmond Becquerel découvre par hasard l'effet photovoltaïque. Après 1900 (XXème siècle), toutes les technologies découvertes au siècle précédant sont améliorées. De nouvelles découvertes sont faites et dès 1970 l'exploitation de l'énergie solaire connaît un vif regain d'intérêt. Les premières centrales solaires sont construites, et les premières applications individuelles apparaissent [5].

I.1.1 Formes d'énergie solaire

L'exploitation directe de l'énergie solaire au moyen de capteurs relève presque deux technologies bien distinctes : l'une produit des calories, c'est l'énergie solaire thermique et l'autre produit de l'électricité, cette dernière et appelée énergie solaire photovoltaïque (Fig.I.3) [6].

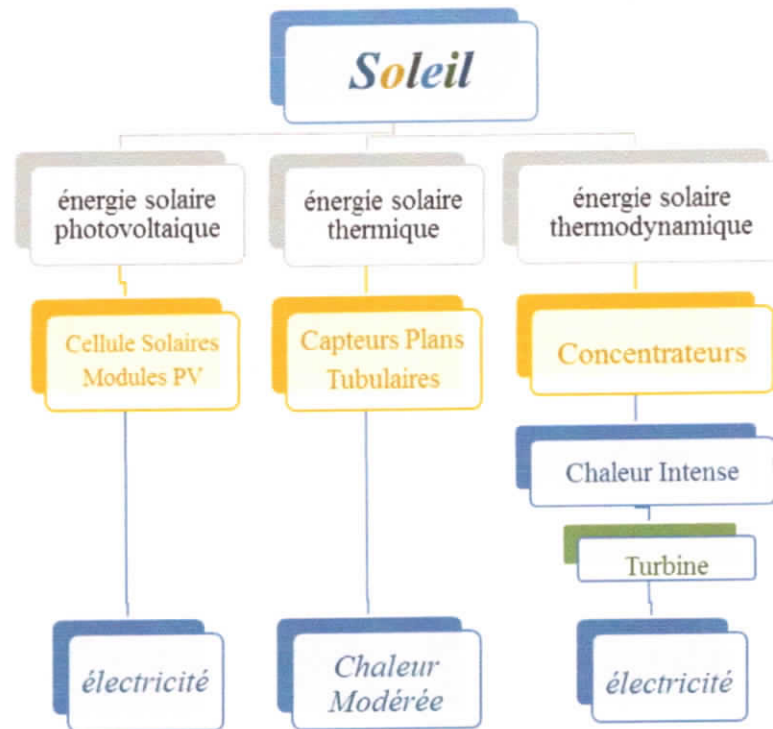


Figure I.3: Les différents modes d'exploitation de l'énergie solaire [6].

Les Avantages et les inconvénients de l'énergie solaire sont :

Avantage :

- La source d'énergie solaire (soleil) est une source naturelle.
- L'énergie photovoltaïque solaire, renouvelable, gratuite et non polluante.
- Il s'agit d'une source d'énergie électrique totalement silencieuse.
- Sur les sites isolés, l'énergie photovoltaïque offre une solution pratique pour obtenir de l'électricité à moindre coût

Inconvénients :

- Le coût d'investissement des panneaux photovoltaïques est élevé.
- Il est impossible d'obtenir une autonomie énergétique complète par le biais de panneaux solaires seulement.
- Le rendement énergétique est plutôt faible (20% de moins au bout de 20 ans).

I.1.1.1 Energie Thermique

Cette énergie produit de la chaleur à partir du rayonnement solaire infrarouge du Soleil afin de chauffer l'eau, de l'air ou un autre fluide. Cette technologie est assez simple, comparée au photovoltaïque. Il s'agit de capter les calories grâce à des surfaces absorbant de la chaleur, comme les chauffe-eau solaire individuels ou collectifs [6].

I.1.1.2 Energie thermodynamique

Cette énergie concerne de grandes centrales équipées de concentrateurs des rayons solaires, sous forme de miroirs galbés, dont la fonction est de chauffer un fluide à haute température afin

de générer de la vapeur par échange thermique pour ensuite produire de l'électricité au moyen d'une turbine à vapeur par exemple cette technologie est très spectaculaire [6].

I.1.1.3 Energie photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque désigne l'énergie récupérée et transformée directement en électricité à partir de la lumière du soleil par des panneaux photovoltaïques. Elle résulte de la conversion directe dans un semi-conducteur d'un photon en électron [7].

Les modules photovoltaïques (Fig.I.4) n'utilisent que le rayonnement solaire (énergie lumineuse) pour produire l'électricité, sa chaleur n'étant pas un intermédiaire dans la production d'électricité photovoltaïque. Le rayonnement peut cependant être transformé en chaleur par d'autres technologies, comme les centrales solaires thermodynamiques, ou les capteurs solaires (Fig.I.4) [8].

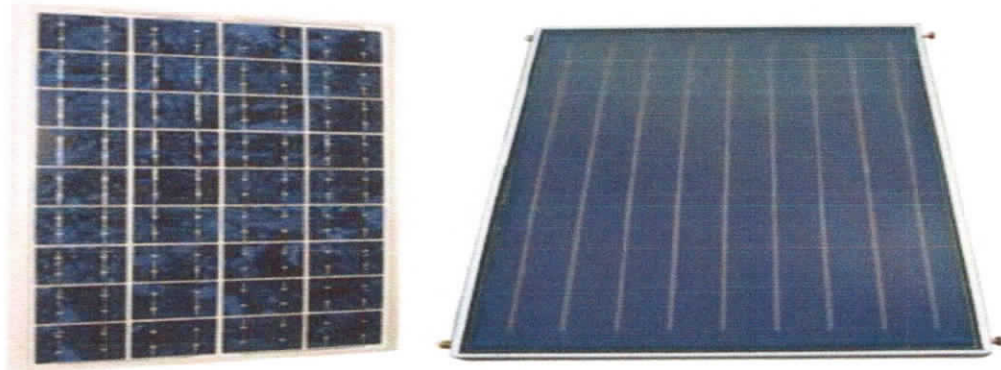


Figure II.4: Module photovoltaïque (à gauche) & capteur thermique (à droite).

Cette énergie répond parfaitement aux besoins des sites isolés et dont le raccordement au réseau électrique est trop onéreux. L'énergie solaire photovoltaïque est une source d'énergie non polluante et modulaires, ses composants se prêtent bien à une utilisation innovante et esthétique en architecture [9].

I.1.1.3.1 Le principe de l'effet photovoltaïque

C'est un phénomène physique qui consiste à établir une force électromotrice (f.é.m.) lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière, Lorsque les photons sont absorbés par un matériau semi-conducteur, ils cèdent toute leur énergie aux atomes appartenant à la jonction PN, ceci donne naissance à plusieurs paires électrons/trous. Le nombre de paires formées dépend de l'énergie des photons incidents et du matériau utilisé. La tension générée peut varier entre 0.3 et 0.7 V en fonction du matériau utilisé et de sa disposition ainsi que la température de la cellule (Fig.I.5) [10].

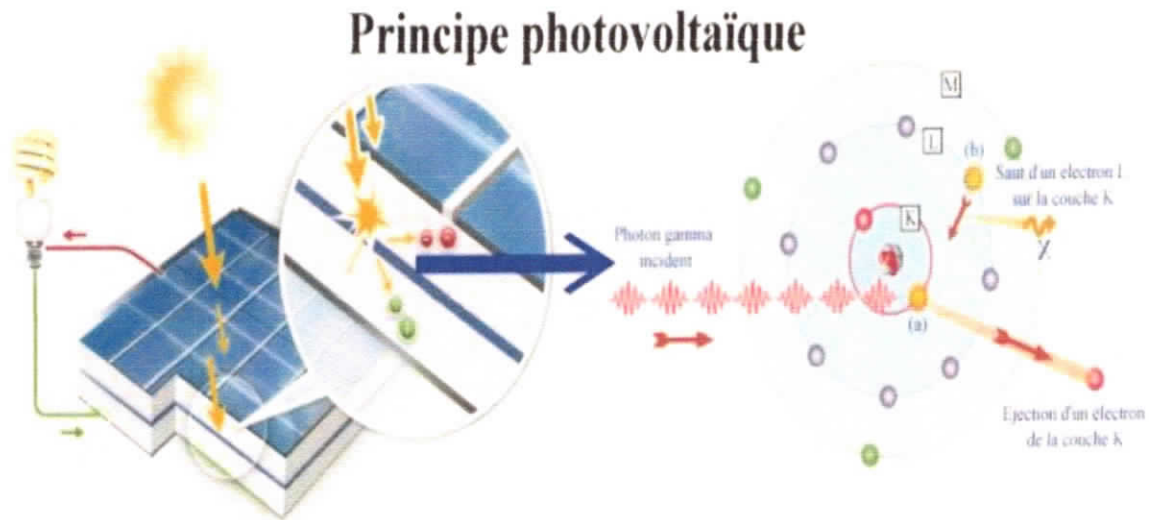


Figure I.5: Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.

I.1.1.3.2 La cellule photovoltaïque

La cellule photovoltaïque est le composant électronique à la base des installations produisant l'énergie électrique à partir du rayonnement solaire. Elle fonctionne selon le principe de l'effet photoélectrique (effet photovoltaïque).

Les types des cellules photovoltaïque [11]:

- *Les cellules monocristallines* : elles sont constituées d'un cristal à deux couches, le plus souvent du silicium. Elles ont un rendement entre 15 et 22 % mais elles sont chères à fabriquer (Fig.I.6).
- *Les cellules poly-cristallines* : elles sont constituées de plusieurs cristaux, ce qui diminue leur prix de fabrication. Cependant leur rendement n'est que de 10 à 13% (Fig.I.6).

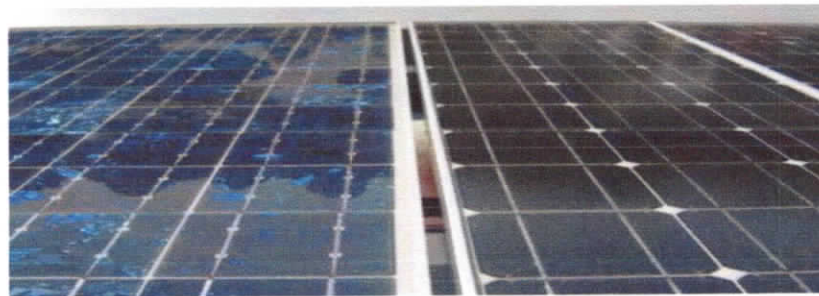


Figure I.6 : Module poly cristallin (à gauche) & monocristallin (à droite).

- *Les cellules sans silicium en couche mince CIS* : ensuite représentent l'avenir des panneaux photovoltaïques. Les matières premières utilisées pour la fabrication de ces cellules, le cuivre-indium-sélénium, sont plus faciles à se procurer que le silicium. De plus, leur efficacité est plus importante
- *Les cellules amorphes* : La cellule en silicium amorphe a pour avantage de fonctionner avec un éclairage faible, mais ne nécessitent que de très faibles épaisseurs de

silicium. Elles ont un rendement très faible (5 à 10 %) mais leur prix est très bas (Fig.1.7).



Figure I.7: Module en silicium amorphe.

Une cellule photovoltaïque est généralement représentée par le modèle électrique de la figure I.8 est constitué d'une source de courant, I_{ph} , qui dépend de la radiation solaire et de la température(T). D'une diode en parallèle qui représente la jonction PN dont l'intensité de saturation inverse dépend aussi de la température. Une résistance en série R_s due aux contacts entre les semi-conducteurs et les parties métalliques permettant d'utiliser la cellule. La résistance shunt représente l'effet du courant qui traverse le cristal [10].

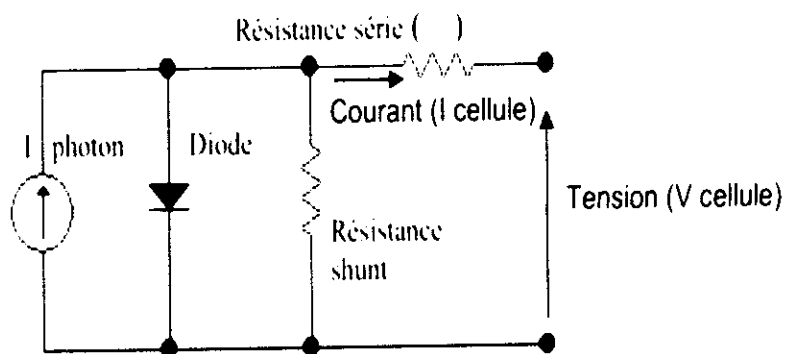


Figure I.8: Circuit équivalent de la cellule photovoltaïque.

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

$$I = I_{ph} - I_d - I_p \quad (1.1)$$

Avec :

I_p : courant traversant la résistance shunt

$$I_p = \frac{V_d}{R_p} = \frac{V + I \cdot R_s}{R_p} \quad (1.2)$$

I_d : Courant traversant la diode

$$I_d = I_s * e^{\frac{V + I \cdot R_s}{R_p} - 1} \quad (1.3)$$

L'équation (1) devient :

$$I = I_{ph} - I_s * e^{\left[\left(\frac{V + I \cdot R_s}{R_p} - 1 \right) - \frac{V + I \cdot R_s}{R_p} \right]} \quad (1.4)$$

Avec:

$$V_t = \frac{K \cdot T}{q} \quad (I.5)$$

$$I_s = I_0 * \left(\frac{T}{T_0}\right)^{3/2} * e^{\left[\left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T}\right) * \frac{E_g}{n * V_t}\right]} \quad (I.6)$$

$$I_{ph} = (I_{cc} + \Delta T * K_i) * \frac{G}{G_{ref}} \quad (I.7)$$

Et :

$$\Delta T = (T - T_{ref}) \quad (I.8)$$

Où :

- I_s : le courant de saturation ;
- I_0 : le courant inverse ;
- V_t : est la tension thermique ;
- K : la constante de Boltzmann ;
- K_i : Coefficient d' I_{cc} ;
- T : la température effective de la cellule en Kelvin ;
- q : la charge de l'électron ($q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C) ;
- E_g : l'éclairage de référence ;
- n : le facteur de non idéalité de la jonction ;
- I : le courant fourni par la cellule ;
- V : la tension aux bornes de la cellule ;
- I_{cc} : le courant de court-circuit de la cellule dépendant de l'éclairement et de la température ;
- R_p : la résistance shunt caractérisant les courants de fuite de la jonction ;
- R_s : la résistance série représentant les diverses résistances des contacts et de connexions ;
- G_{ref} : l'éclairage de référence ;
- G : l'éclairement sur la cellule W/m^2 .

I.1.1.3.3 Le panneau photovoltaïque

Le panneau solaire est un groupement de plusieurs modules, ces modules sont montés sur une armature métallique qui permet de supporter le champ solaire avec un angle d'inclinaison spécifique (I.9).

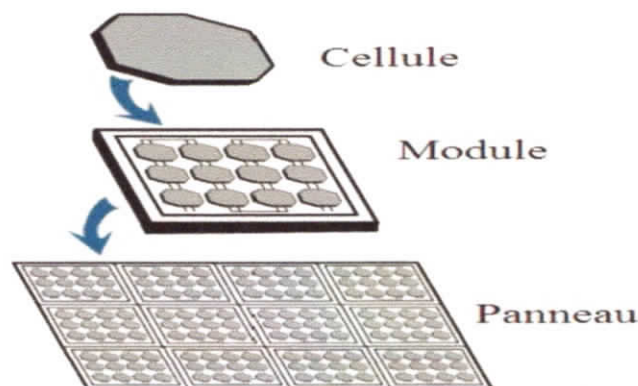


Figure I.9: Rassemblement de la cellule PV.

La quantité d'électricité dans l'ensemble des composants des panneaux PV dépend de :

- La taille du panneau.
- L'ensoleillement du lieu d'utilisation.
- La saison d'utilisation.
- Besoins en électricité.

La puissance délivrée par un panneau est importante dans les heures d'ensoleillement maximal, ce qui nécessite un élément de stockage [12].

I.1.1.3.4 Le rendement d'un panneau photovoltaïque

Le rendement d'un panneau solaire photovoltaïque dépend des technologies utilisées lors de sa fabrication. 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) [13].

Pour un panneau PV, le rendement R exprimé en pourcent (%), est défini par le rapport de la puissance électrique produite par le panneau PV (PEP) à la puissance solaire reçue (PSR) [14] :

$$R = \frac{PER}{PSR} \quad (w/m^2) \quad (I.9)$$

- **L'angle d'inclinaison β**

C'est l'angle entre le panneau et le plan horizontal ; $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$ [15].

- **Angle d'incidence θ**

C'est l'angle qui se trouve entre le rayon du soleil et la normale de la surface du panneau collecteur, et il a un rôle important dans la conception de systèmes solaires en raison du fait que l'énergie rassemblée est réduite par le cosinus de cet angle. La figure I.10 montre une représentation schématique de ces angles solaires [15].

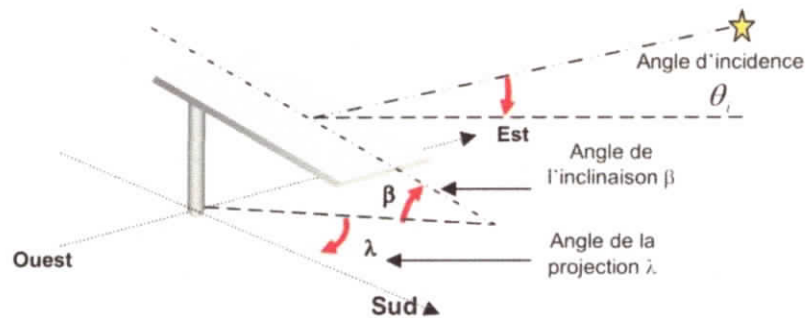


Figure I.10: Représentation de l'angle d'inclinaison β et d'incidence θ .

λ : Angle de la projection horizontale de la normale au plan considéré avec l'axe N – S ;

β : Angle de la normale au plan considéré avec le plan horizontal.

Au cours de la dernière décennie, l'énergie solaire PV a monté son énorme potentiel. La quantité de puissance PV installée a rapidement augmenté. Actuellement, la puissance PV installée à l'échelle mondiale est d'environ 422 GW. La Figure I.11 montre la puissance PV installée cumulée [5].

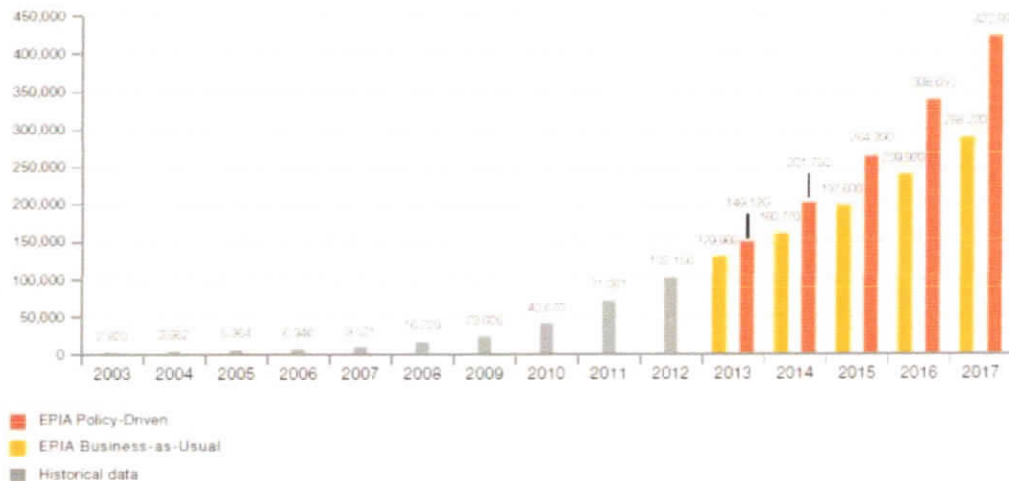


Figure I.11: Puissance PV installée cumulée de 2003 à 2017 [38].

I.2 Géométrie Solaire

Le soleil est une étoile de forme pseudo-sphérique dont le diamètre atteint 1391000 Km. Il est situé à une distance moyenne de 149598000 Km de la terre. Composé de matière gazeuse, essentiellement de l'hydrogène et de l'hélium, il est le siège de réactions de fusion nucléaire permanentes et sa température de cœur atteint 10^7K [6].

Sa luminosité totale, c'est-à-dire la puissance qu'il émet sous forme de photons, est à peu près égale à $4 \times 10^{26}\text{W}$. Seule une partie est interceptée par la terre, elle est de l'ordre de $1,7 \times 10^{17}\text{W}$. Elle nous parvient essentiellement sous forme d'ondes électromagnétiques, 30% de cette puissance est réfléchiée vers l'espace, 47% est absorbée et 23% est utilisée comme source d'énergie pour le cycle d'évaporation-précipitation de l'atmosphère [17].

Les caractéristiques principales du soleil sont regroupées dans le tableau ci-dessous [18] :

| | |
|---|-----------------------|
| Diamètre (Km) | 14×10^5 |
| Masse (Km) | 2×10^{30} |
| Surface (Km ²) | 6.09×10^{12} |
| Volume (Km ³) | 1.41×10^{18} |
| Masse Volumique (Kg/m) | 1408 |
| Vitesse (Km/s) | 217 |
| Distance du centre de la voie lactée (Km) | 2.5×10^{17} |

Tableau 1: Caractéristiques principales du soleil

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

Remarque : Aux équinoxes du 21 mars et du 21 septembre, le soleil est perpendiculaire à l'Equateur. Au solstice d'été du 21 juin, il est perpendiculaire au tropique du Cancer (hémisphère nord). Au solstice d'hiver du 21 décembre, il est perpendiculaire au tropique du Capricorne (hémisphère sud) (Figure I.12).

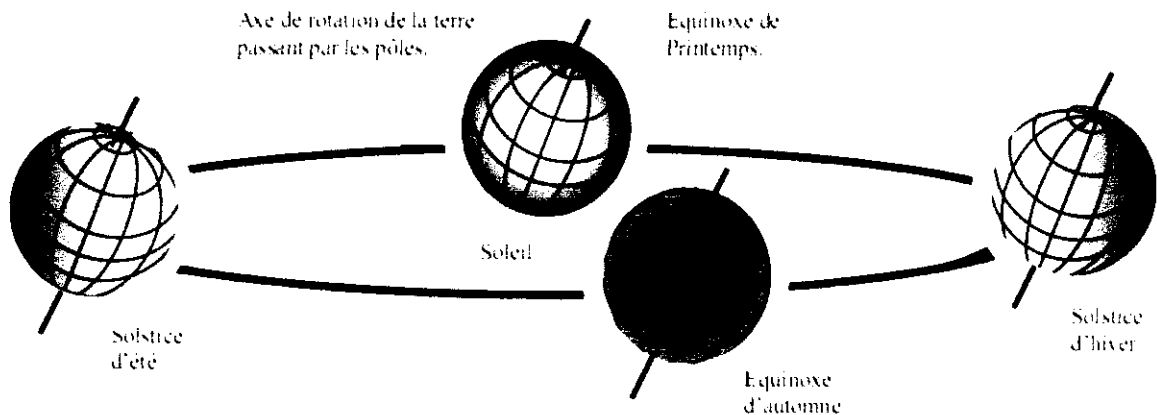


Figure I.12: Variation saisonnière du rayonnement solaire.

Cependant si l'on désire maximiser la puissance générée par un panneau PV et avoir un rendement optimal, il faut tenir compte de tous ces paramètres et contraintes liées à l'orientation du module ainsi que la position du soleil. Ceci peut être assurée par un système de poursuite solaire (suiveur soleil ou encore dit tracker solaire (appellation courante)) permettant de suivre le soleil tout au long de la journée. Pour cela, la structure possède deux degrés de liberté : une rotation horizontale pour régler l'azimut et une rotation verticale pour l'inclinaison. Ce système permet ainsi, aux panneaux photovoltaïques de suivre continuellement et en temps réel la trajectoire du soleil pour assurer une production électrique maximale, d'où la nécessité de définir avec exactitude les trajectoires empruntées par le soleil, de manière à définir la meilleure façon avec laquelle sera effectué le suivi automatique [10].

I.2.1 Grandeurs géographiques et astronomiques

Le rayonnement arrivant au sol dépend de la réflectance de la surface terrestre et des effets de l'atmosphère qui interviennent dans le double trajet (soleil-terre et terre-satellite) que fait le rayonnement à travers l'atmosphère. Pour connaître l'énergie reçue à un site donné, il est nécessaire de repérer ce site sur la surface terrestre, de connaître la position et la trajectoire du soleil dans la voûte céleste et les mouvements de la terre autour du soleil (Fig.I.13) [19].

I.2.1.1.2 Les coordonnées équatoriales

Les coordonnées équatoriales sont indépendantes de la position de l'observateur sur la terre, mais elles sont liées à l'heure de l'observation. La position du soleil est exprimée par deux angles qui sont :

a) La déclinaison δ

C'est l'angle entre le plan de l'équateur terrestre avec la direction terre-soleil. Elle varie de $+23,45^\circ$ au solstice d'été (21 juin) à $-23,45^\circ$ au solstice d'hiver (21 décembre) en passant par la valeur 0° aux équinoxes (21 mars et 23 septembre) (Fig.I.15) [17].

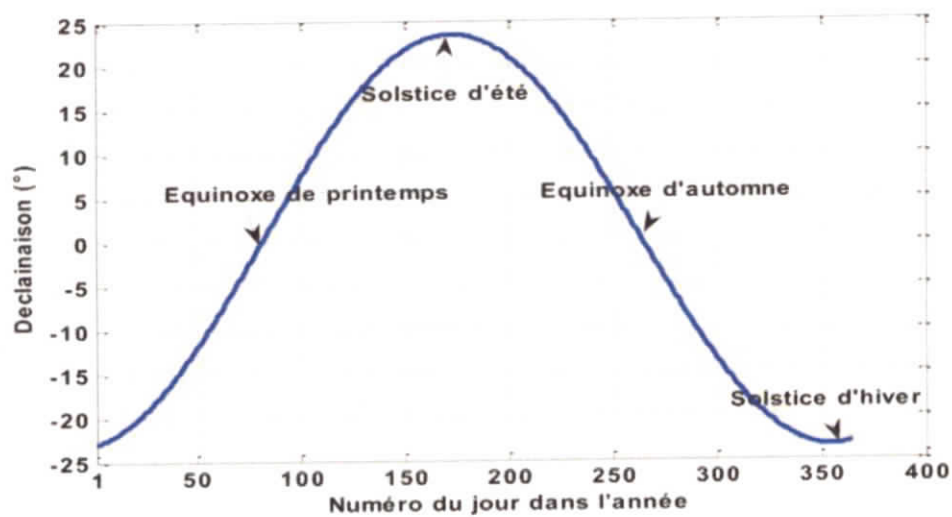


Figure I.15: La déclinaison du soleil durant l'année [20].

b) L'angle horaire ω (ah)

C'est l'arc de la trajectoire solaire compris entre le soleil et le plan méridien du lieu, il augmente de 15° par heure (Fig.I.16) [18].

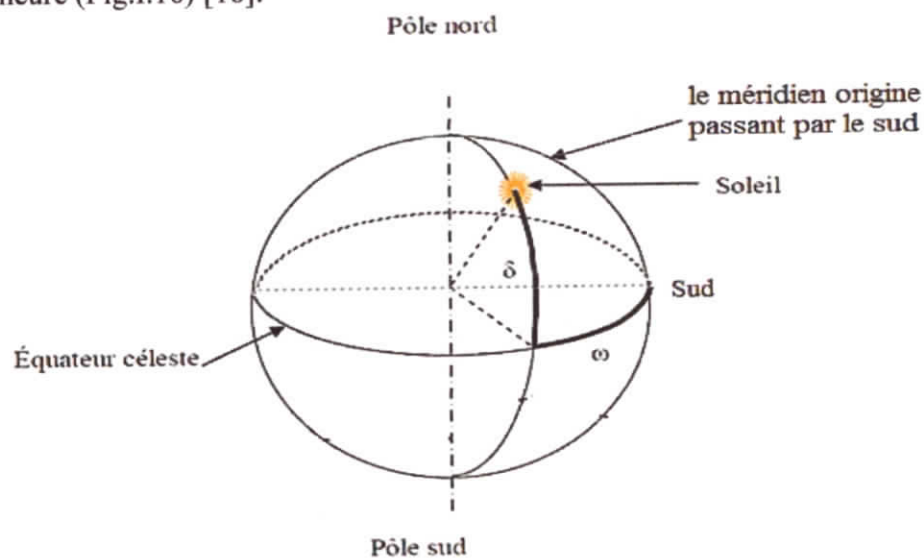


Figure I.16: Coordonnées horaires.

I.2.1.1.3 Les coordonnées horizontales

Le repère horizontal est formé par le plan de l'horizon astronomique et la verticale du lieu. Dans ce repère les coordonnées du soleil sont :

a) L'azimut ψ

C'est l'angle compris entre la projection de la direction du soleil sur le plan horizontal et le sud. L'azimut est compté positivement vers l'Est et négativement vers l'Ouest [17].

b) L'angle de la hauteur solaire γ (h)

C'est l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection sur un plan horizontal. Il est particulièrement égal à 0° au lever et au coucher astronomiques du soleil.

c) La distance zénithale (z)

C'est l'angle entre la direction du soleil et la verticale du lieu (zénith). L'angle z est complémentaire de γ [19].

I.2.2 Gisement Solaire en Algérie

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde estimé à plus de 5 milliards de gigawatt-heure « GWh » (Fig.I.17). La durée d'ensoleillement sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara) [7].

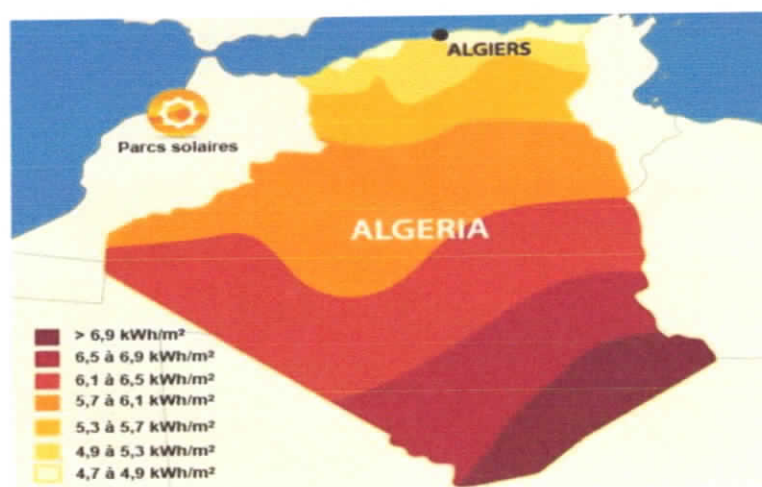


Figure I.17: Gisement solaire en Algérie.

L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1m^2 est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national (Fig.I.17), soit près de $1700\text{KWh}/\text{m}^2/\text{an}$ au Nord et $2263\text{ kWh}/\text{m}^2/\text{an}$ au Sud du pays (tableau 2) [7].

| Régions | Région côtière | Hauts Plateaux | Sahara |
|--|----------------|----------------|--------|
| Superficie (%) | 4 | 10 | 86 |
| Durée moyenne d'ensoleillement (Heures/an) | 2650 | 3000 | 3500 |
| Energie moyenne reçue (Kwh/m2/an) | 1700 | 1900 | 2650 |

Tableau 2 : Potentiel solaire en Algérie.

Vue ce potentiel important, L'Algérie a lancé le plan d'un programme 2015-2019 actuellement en vigueur vise à intensifier la production nationale et à réduire la dépendance de l'économie algérienne aux hydrocarbures. À l'horizon 2020, le programme de développement des énergies a pour objectif de porter la part du solaire à 37% de la production d'électricité GWh par an [21].

1.3 Systèmes de suiveur solaire

La puissance et le sens des rayons solaires varient en permanence en raison de la rotation terrestre et de la composition de l'atmosphère. Les cellules des modules photovoltaïques à montage fixe ne peuvent transformer qu'une fraction de l'énergie lumineuse émise par le soleil en énergie électrique.

Les systèmes de suiveur solaire ou trackers solaires sont des dispositifs mobiles qui permettent de maintenir l'orientation des modules photovoltaïques vers le soleil. Ainsi, l'angle d'incidence reste constant, et l'intensité de la lumière et par conséquent de l'énergie, reste stable. Cela permet non seulement d'exploiter efficacement les heures d'ensoleillement, mais aussi de tirer parti de la lumière diffuse, ce qui se traduit par un surplus d'énergie solaire de 25 à 50 % et une meilleure rentabilité économique ainsi qu'un amortissement plus rapide des coûts d'acquisition [5].

1.3.1 Les premières applications des suiveurs solaires

Les premières applications des suiveurs solaires remontent vers les années 1750 où le principe repose sur l'utilisation de l'héliostat (Fig.I.18) [10].

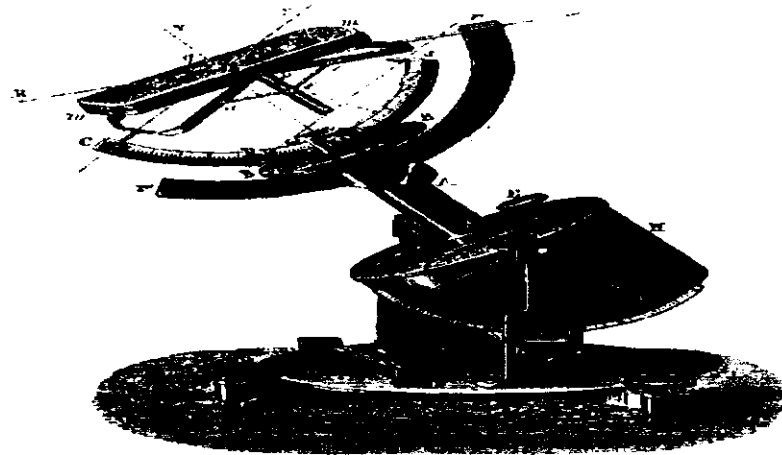


Figure I.18: Modèle d'un héliostat dans ses premières applications.

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 [22]. 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 (Fig.I.19) qui après avoir fonctionné de 1983 à 1986, fait l'objet d'une nouvelle expérimentation depuis 2007 [13].



Figure I.19: champ d'héliostat -centrale solaire Thémis France.

I.3.2 Les différents systèmes de suiveur solaire

On distingue principalement deux grandes familles de suiveurs solaires : les suiveurs passifs et les suiveurs actifs qui comportent les suiveurs mono-axe et double axe (Fig.I.20):



Figure I.20 : Types de suiveurs solaires.

I.3.2.1 Les suiveurs solaires passifs

Sont constitués dans son architecture de deux tubes en cuivre montés sur les côtés Est et Ouest du panneau PV (Fig.I.21). 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 vaporise. 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 [10]. Ce type de suiveur ne consomme aucune énergie pour le repositionnement du panneau.

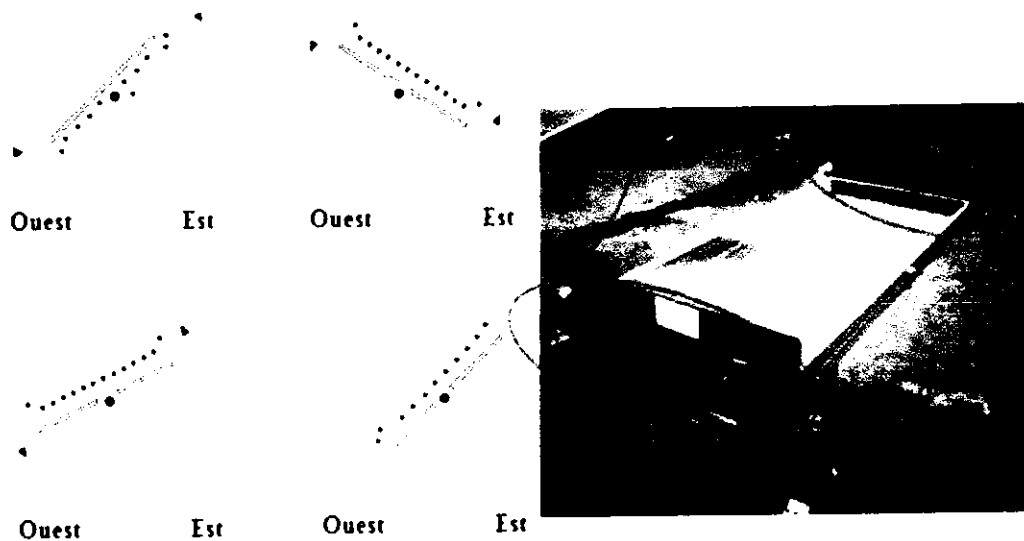


Figure I.21: Les suiveurs passifs

I.3.2.2 Les suiveurs solaires actifs

Utilisent le principe de la détection de lumière, suivant la trajectoire solaire en cherchant à optimiser au maximum l'angle d'incidence du rayonnement solaire sur leur surface. Il existe deux types dans cette famille : les suiveurs mono-axe et double axe.

L'avantage de ces derniers par rapports aux suiveurs passifs c'est qu'ils représentent une meilleure précision de suivi et ne nécessitent aucune intervention manuelle pour les ajuster [13].

Le rendement des panneaux solaires peut être amélioré en suivant deux logiques : La première consiste à suivre l'azimut (c'est-à-dire la course du soleil), les panneaux doivent donc suivre le soleil d'Est en Ouest. La deuxième consiste à améliorer l'incidence des rayons solaires en ajustant la hauteur des panneaux, l'incidence des rayons solaires dépend des saisons (en hiver le soleil est en moyenne plus bas qu'en été) et de l'heure de la journée.

Les différents types des suiveurs actifs (Figure I.22) rencontrés sur le marché sont les suivants [5] :

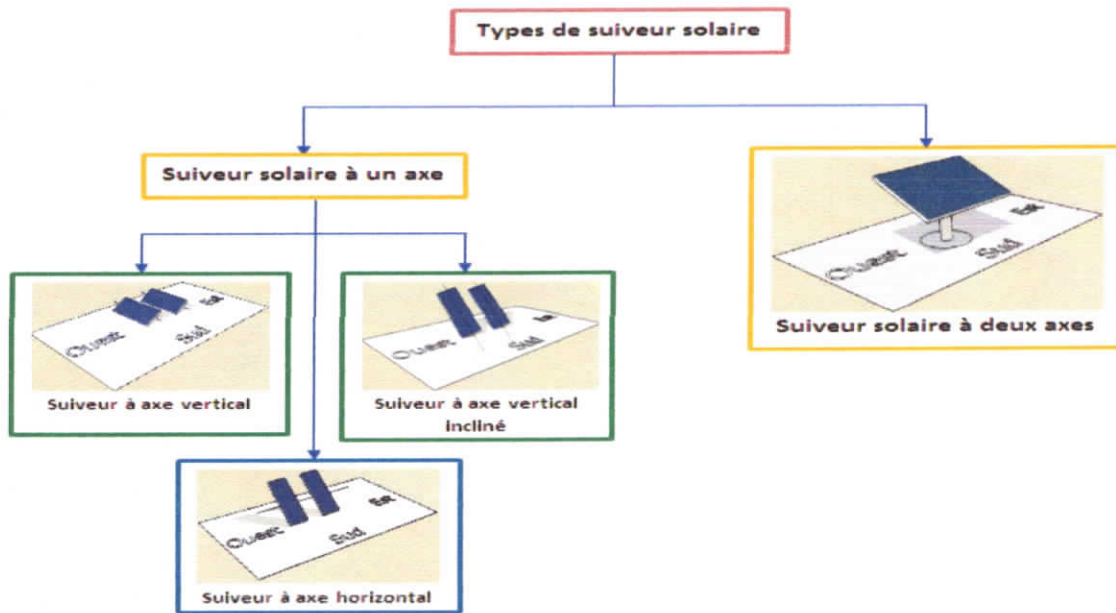


Figure I.22: Types de suiveur solaire actifs.

I.3.2.2.1 Suiveur à un seul axe

Ce suiveur solaire tourne autour d'un axe simple, il existe deux modes :

a) Axe vertical et inclinaison fixe de la surface

Ce mode utilise une surface orientable avec une pente extérieure fixe α et l'angle extérieur d'azimut variable γ , tournant autour d'un axe vertical comme montré sur la figure I.23. Pour ce cas, le rayonnement solaire est maximum quand $\gamma = \gamma_s$ [14].

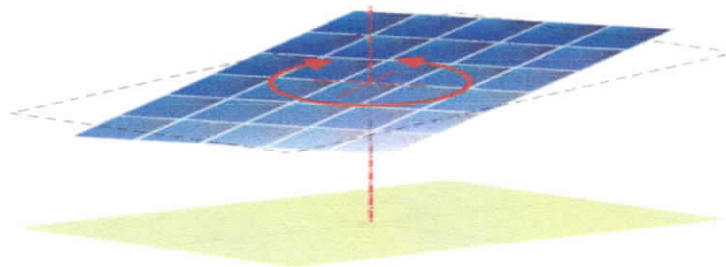


Figure I.23: Suiveur à un seul axe vertical incliné

b) Axe horizontal, surface parallèle à l'axe :

Ce type de suiveur n'apporte que très peu de gain par rapport à un système fixe. Il est plus intéressant d'utiliser des suiveurs à un axe vertical [5]. La surface tourne autour d'un axe simple qui est toujours parallèle à la surface (Fig.I.24).

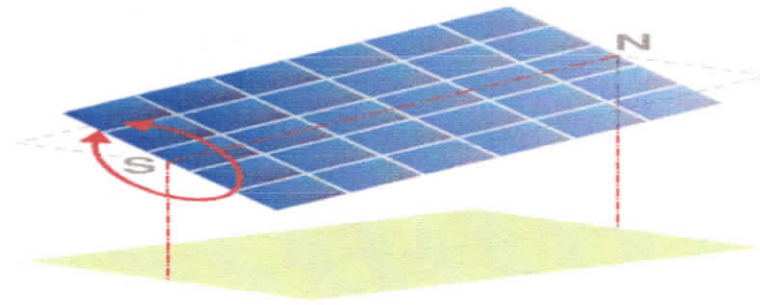


Figure I.24: *Suiveur à 1 axe horizontal*

I.3.2.2.2 Suiveur à deux axes

Contrairement au précédent, ce suiveur solaire possède deux axes ce qui lui permet de suivre les mouvements en azimut et en inclinaison au cours de la journée. Ainsi, le capteur reste constamment orienté vers le soleil (Fig.I.25). Ce type de suiveur est très imposant et fournit de meilleures performances par rapport au suiveur mono-axe [17].

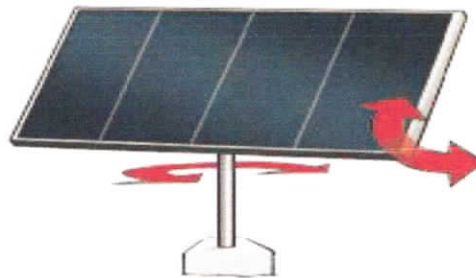


Figure I.25: *Panneau solaire avec système de poursuite bi-axiale.*

Plusieurs algorithmes ont été développés au cours de ces dernières années. Aujourd'hui, les techniques de suivi reposent sur la rapidité de traitement de l'information et de commande via des systèmes électroniques classiques ou des systèmes électroniques embarquées [10].

I.4 Intérêt des panneaux solaire photovoltaïques mobiles

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

Le diagramme comparatif de production électrique (Fig.I.26) montre pour une journée ensoleillée d'été, le gain de production électrique obtenu en passant d'une installation fixe à une installation équipée d'un suiveur de trajectoire solaire [23].

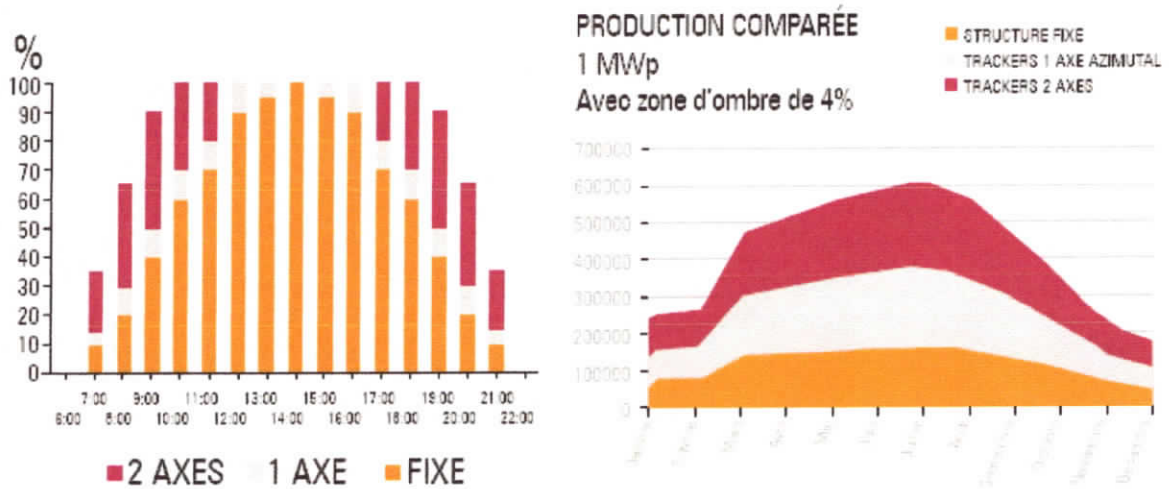


Figure I.26: diagramme de comparaison entre la production avec suiveur et la production avec système fixe [5].

Le rôle du mécanisme de poursuite est d'adapter la position du capteur de manière à ce que la radiation solaire incidente soit toujours perpendiculaire au réflecteur pour capter le maximum de rayon incident [15].

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons démontré la nécessité de déterminer avec exactitude les trajectoires empruntées par le soleil, de manière à définir la meilleure façon avec laquelle sera effectué le suivi automatique. Nous avons aussi présenté les différents types de suivi. Un intérêt a été porté à un système actif de suivi en double direction par rapport à un système fixe. C'est le système qu'on a adopté et qui va être étudiée en vue d'une réalisation matériel.

On va aborder, dans le chapitre qui suit, la conception du système de suiveur qui peut être programmé et implémenté pour tester l'efficacité de notre système.

Chapitre II

Matériel et méthodes

Sommaire :

1. Conception du système suiveur solaire25
 2. Les méthodes de suiveur.....25
 3. Principe générale de système de suiveur solaire.....27
 4. Description du système de suiveur solaire.....29
-

Résumé :

Dans ce chapitre nous allons présenter une conception détaillée du système de suiveur solaire, on a commencé par les différentes méthodes et le principe général de suiveur solaire, suivi par une description des composants utilisés et la procédure de la réalisation.

II. Matériel et méthodes

II.1 Conception du système suiveur solaire

Un traqueur solaire ou suiveur solaire est un système utilisant le principe de l'héliostat. C'est une structure portante qui permet de maintenir une orientation optimale des panneaux PV par rapport aux rayons du soleil. Ceci permet d'en augmenter la productivité de manière substantielle. Les suiveurs sont des solutions parfaites pour améliorer le rendement des capteurs solaires, mais il faut choisir le système le plus adapté [11].

Le système mono-axial permet un gain d'environ 20%, il est moins imposant que le suiveur bi-axial, moins coûteux et permet d'installer plus de puissance sur un terrain donné. Quant au traqueur bi-axial, il permet un gain d'environ 40%, ce qui représente tout de même 20% de plus que le mono-axial [11].

II.2 Les méthodes de suiveur

La technologie des systèmes de suiveurs actuels est différente d'un concepteur à un autre. Il existe deux grandes méthodes pour assurer le suivi :

II.2.1 La méthode astronomique

Cette méthode repose sur le calcul de la position du soleil en se basant sur les équations géométriques et astronomiques prédéfinies. Le système nécessite comme entrées, lors de l'installation, la latitude et la longitude du site, la date du jour et l'heure [17].

On donne l'organigramme général de cette méthode :

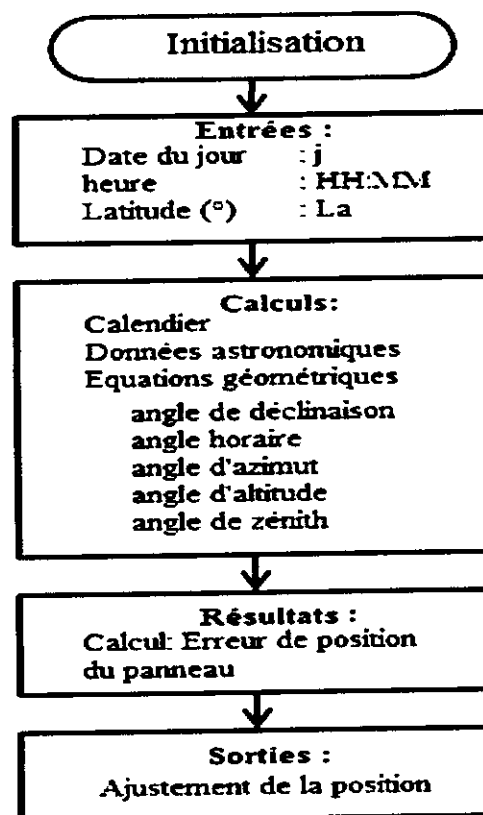


Figure II.1: Méthode de poursuite astronomique [17].

Cette technique est dite la méthode astronomique du fait que la position est directement fonction du parcours solaire préprogrammé [17].

II.2.2 La méthode des capteurs de lumière

Cette méthode est dite active, permanente ou asservie vu que les algorithmes adoptés sont basés sur des capteurs de lumière ou photorésistances pour déterminer la position du soleil à tout moment, permettant ainsi un suivi instantané et notamment une orientation optimale du panneau [14].

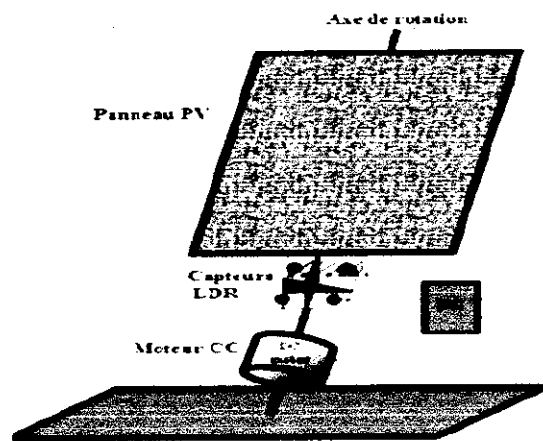


Figure II.2: Suiveur basé sur des capteurs de lumière.

Dans ce type de techniques, la poursuite s'effectue indépendamment de la zone dans laquelle le système sera situé.

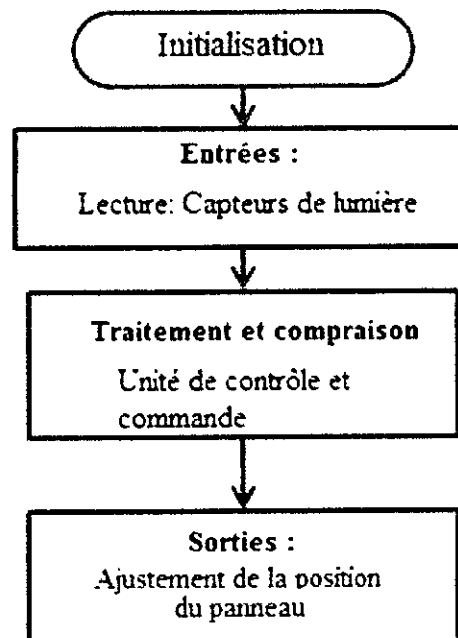


Figure II.3 : Méthode de poursuite active [17].

Dans notre étude, on a choisi la méthode active de poursuite basée sur la différence d'éclaircements des capteurs de lumière, parceque le fonctionnement de cette méthode par rapport à l'autre ne requiert :

- Aucun calcul de trajectoire, aucune donnée informatique.
- Aucune liaison avec un ordinateur gourmand en énergie, ni mise en réseau.
- Aucun potentiomètre de mesure d'angle du panneau.

Ce qui simplifie notre conception et réduit notre consommation énergétique.

II.3 Principe générale de système de poursuite

La démarche suivie dans notre travail repose sur la différence d'éclairciment incident sur les capteurs de lumière photorésistance ou LDR (Light-Dependent-Resistor) séparés par des parois opaques et placés sur le panneau PV (Fig.II.4). Le circuit de contrôle et de commande assure la fonction de comparaison des signaux émis par les capteurs en calculant leurs différences, puis renvoie des impulsions aux moteurs (servomoteurs) pour repositionner le panneau perpendiculairement aux rayons solaires.

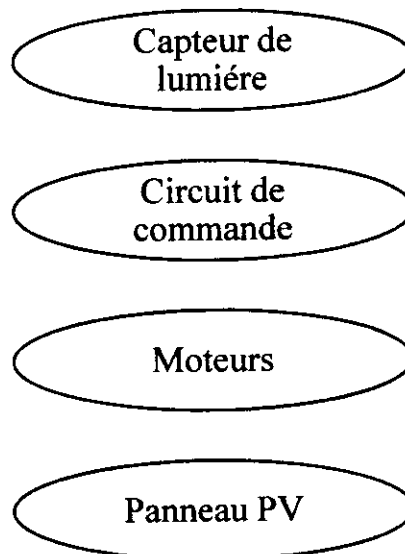


Figure II.4: Principe général de la commande du tracking.

La photorésistance ou LDR (Fig.II.5) est un composant dont la valeur en *Ohms* dépend de la lumière à laquelle elle est exposée. En effet, sa résistance varie en fonction du flux lumineux incident, elle est inversement proportionnelle à la lumière reçue. Le choix s'est porté sur cette dernière vu que son temps de réponse est beaucoup plus court par rapport à la photodiode [24].

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

$$V_{LDR} = \frac{V_B * R_1}{R - LDR + R_1} \quad (II.1)$$

Avec :

V_B : tension batterie (V)

R_{LDR} : résistance de la LDR (Ω)

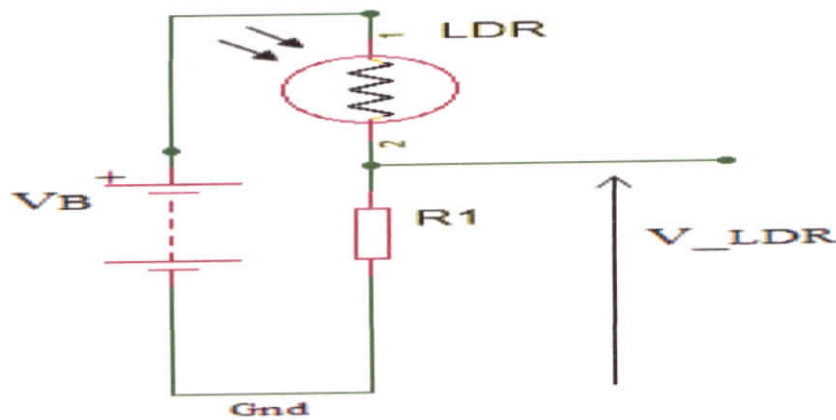


Figure II.5 : Circuit équivalent du capteur LDR

En partant du principe général de système de Suiveur, on retrouve que suiveur mono-axe utilise seulement deux capteur de lumière (LDR) pour assurer seulement une rotation selon l'axe d'azimut et qui est le plus souvent utilisé en raison de sa simplicité.

Le principe de fonctionnement de suiveur mono-axe repose sur l'algorithme de suivi décrit dans l'organigramme en annexe 1 .Globalement, on peut distinguer les 4 cas suivants [10] :

- $V_{LDR\ Ouest} < V_s \& V_{LDR\ Est} < V_s$ Mode nuit, système en veille
- $V_{LDR\ Ouest} > V_{LDR\ Est}$ Mode jour, rotation du panneau PV vers l'Ouest
- $V_{LDR\ Ouest} < V_{LDR\ Est}$ Mode jour, rotation du panneau PV vers l'Est
- $V_{LDR\ Ouest} = V_{LDR\ Est}$ Condition d'arrêt, le panneau est dans une position optimale

Pour les quatre cas cités en-dessus, il est indispensable de prendre en considération trois paramètres lors de la disposition des capteurs LDR. L'angle « ϵ » de l'ombre solaire qui est en fonction de la hauteur « H » de la paroi, et la distance « d » qui la sépare du capteur comme représenté sur la figure II.6, en effet « ϵ » est l'angle seuil de déclenchement ou seuil de l'ombre solaire.

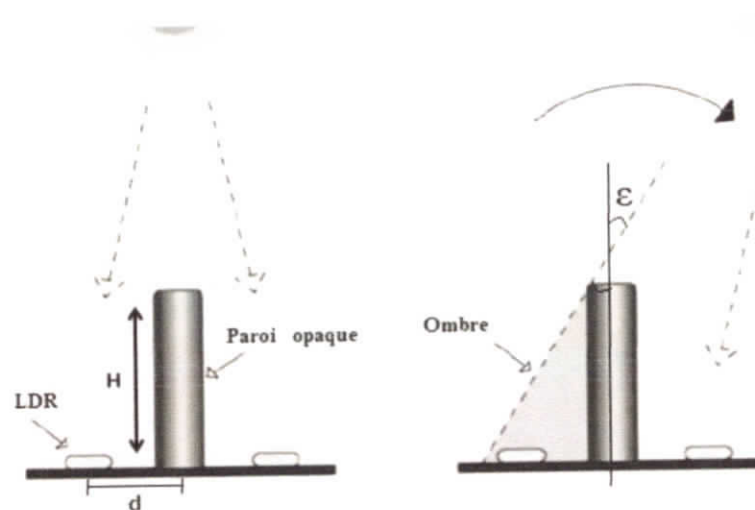


Figure II.6: disposition des capteurs LDR pour un tracker mono-axe.

Ces paramètres sont définis par les équations suivantes :

$$\varepsilon = \sin^{-1} \left(\frac{d}{\sqrt{d^2 + H^2}} \right) \quad (\text{II.2})$$

$$H = \frac{d}{\tan(\varepsilon)} \quad (\text{II.3})$$

H : Hauteur de la paroi en (cm).

d : Distant entre la paroi et la capteur de lumière LDR en (cm).

ε : Angle de l'ombre solaire en ($^\circ$).

Dans notre étude, on a choisi un système suiveur double axial pour assurer un suivi complet de la course solaire (en azimut et en zénith). Un additionnement, de deux autres capteurs LDR à l'architecture de suiveur mono-axial (Fig.II.6) dont le but de couvrir les changements (Nord-Sud) de la déclinaison solaire « δ » (Fig.II.7).

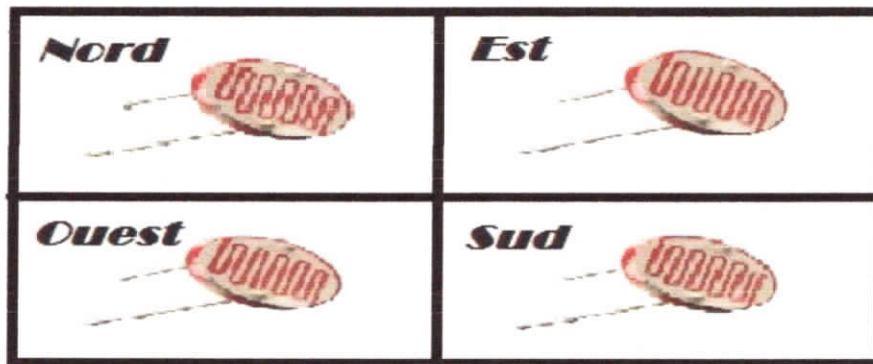


Figure II.7: Schéma du prototype des quatre capteurs LDR.

La technique utilisée consiste à contrôler l'égalité d'éclairement de quatre capteurs de lumière répartis dans les quatre quadrants définis par les plans (P1) et (P2) qui se coupent suivant l'axe (Δ) représenté dans la figure II.8.

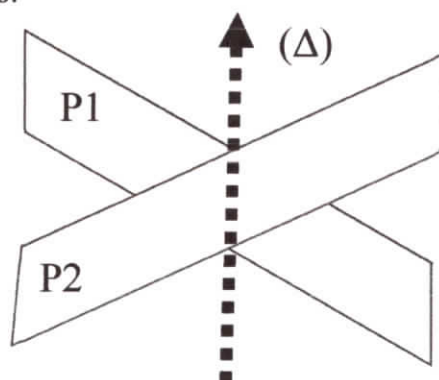


Figure II.8: représentation des plans 1 et 2 séparant les LDR.

II.4 Description du système de suiveur solaire

Dans cette partie nous présentons la procédure de réalisation de notre suiveur solaire bi-axial à base des capteurs de lumière. Le dispositif électronique comprend deux servomoteurs,

un circuit de commande microcontrôleur Arduino (Arduino-ATMega 328P), un capteur d'humidité et un afficheur LCD permettant d'afficher l'humidité du lieu.

Le système d'orientation est basé sur la programmation sur logiciel Arduino afin d'assurer le déplacement de panneau solaire à des intervalles de temps prédéfinis (entre le lever et le coucher du soleil) de manière à garder la surface active du panneau perpendiculaire aux radiations solaires (angle incidence nulle).

II.4.1 Schéma synoptique

Le système suiveur du soleil que nous proposons pour améliorer le rendement du panneau photovoltaïque est illustré par un schéma synoptique (Fig.II.2).

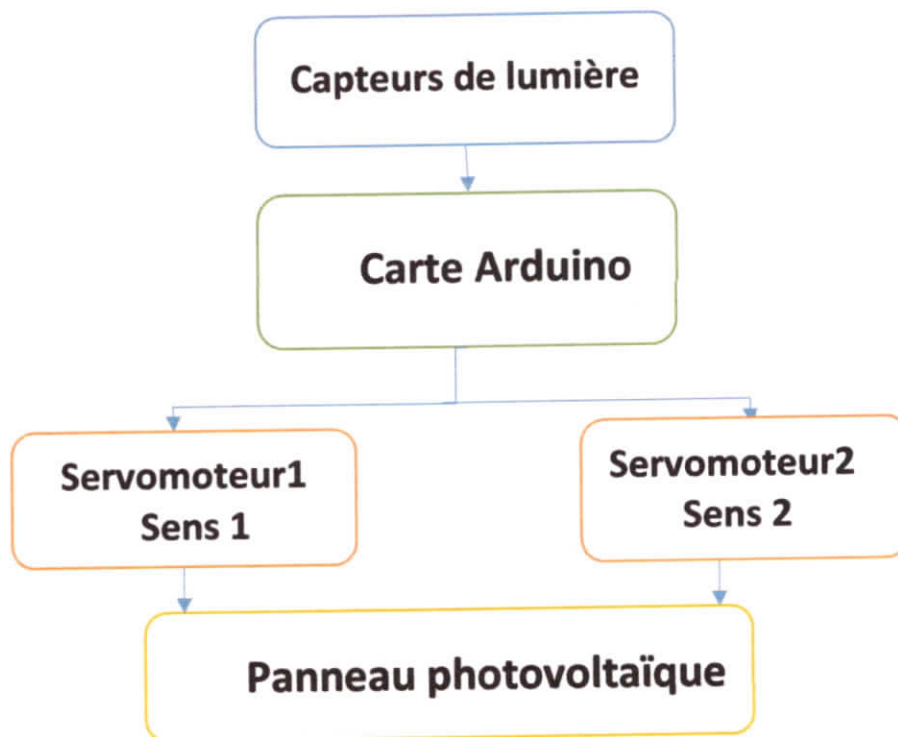


Figure II.9: Schéma synoptique de suiveur solaire.

Il est constitué de deux parties : la partie commande et la partie opérative : la partie commande comporte un microcontrôleur Arduino ATMega 328, la partie opérative comporte deux servomoteurs l'un assure le mouvement horizontal du module par la variation des tensions délivrer par deux photorésistance ($LDR_{Est} - LDR_{Ouest}$) et l'autre assure le mouvement vertical par la variation des tensions délivrer par deux photorésistance ($LDR_{Nord} - LDR_{Sud}$).

Ce système est basé sur la comparaison des tensions délivrer par des capteurs de lumière (LDR) et envoyer ces tensions sous forme d'un signal électrique vers la carte de commande Arduino. Elles vont être convertir dans cette dernière en valeur numérique pour permettre de diriger les deux moteurs afin de repositionner la position d'équilibre de panneau photovoltaïque face au rayonnement solaire pour avoir un grand rendement.

II.4.2 Description des composants électroniques

II.4.2.1 Les capteurs de lumière

Le capteur qu'on a utilisé est la photorésistance ou LDR (Fig.II.10), sensible à la lumière qui assure l'ajustement du mécanisme de notre suiveur pour avoir un angle d'incidence égale à 90° du panneau, c'est un composant dont la résistivité dépend de la luminosité incidente (Annexe2).

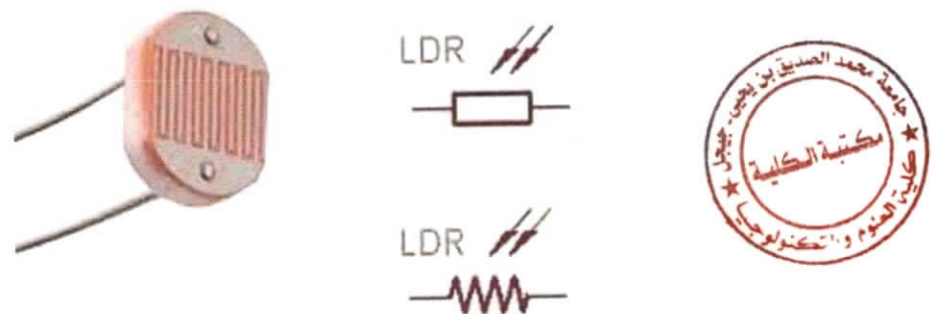


Figure II.10: Symbole de photorésistance LDR.

La principale utilisation de la photorésistance est la mesure de l'intensité lumineuse. Elle est fortement concurrencée par la photodiode dont le temps de réponse est beaucoup plus court. Les matériaux utilisés sont généralement du sulfure ou du sélénure de cadmium qui se comporte comme des semi-conducteurs. Plus le flux lumineux sera intense, plus le nombre d'électrons disponibles pour assurer la conduction sera grand, ainsi la résistance de la LDR est inversement proportionnelle à la lumière reçue [25].

II.4.2.2 Le circuit de commande

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

Les cartes Arduino sont bâties autour d'un microcontrôleur ATmega, il existe plusieurs modèles ayant chacun leurs spécificités. La plus courante est la carte Arduino Uno qui a le mérite d'être robuste, et le microcontrôleur monté sur un support peut être changé en cas de panne [26].

a) La carte Arduino UNO

Est une carte électronique (Fig.II.11) dont le cœur est un microcontrôleur ATMEL de référence ATmega328. Le microcontrôleur ATmega328 est un microcontrôleur 8 bits de la famille AVR dont la programmation peut être réalisée en langage C [26].

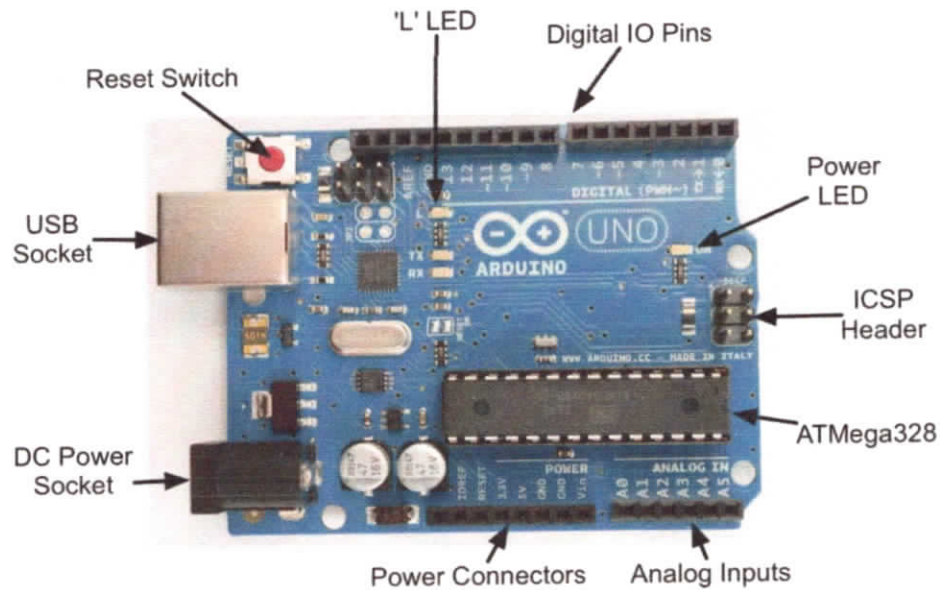


Figure II.11: Présentation de la carte Arduino (ATMega328)

Nous commencerons notre présentation d'Arduino par la prise USB qui joue plusieurs rôles : elle peut servir à l'alimentation de la carte à sa programmation depuis l'ordinateur et, enfin comme liaison de communication. Le petit bouton rouge qui se trouve à côté de la prise USB est le bouton de réinitialisation, lorsque vous appuyez dessus, l'Arduino redémarre et exécute le programme qui y est installé (Fig.II.11) [27].

Les LED servent à deux choses [28] :

- 'L' LED (Fig.II.11): elle est connectée à une broche du microcontrôleur et va servir pour tester le matériel. Quand on branche la carte au PC, elle clignote quelques secondes.
- Power LED (Fig.II.11): servent à visualiser l'activité sur la voie série (une pour l'émission et l'autre pour la réception). Le téléchargement du programme dans le microcontrôleur se faisant par cette voie, on peut les voir clignoter lors du chargement.

Le microcontrôleur reçoit le programme sous forme de signal électrique sur ses broches Tx et Rx (Annexe3), Une fois qu'il est reçu, il est intégralement stocké dans une mémoire de type **Flash** que l'on appellera la mémoire de programme, ensuite lorsque la carte démarre normalement (qu'aucun programme n'est en train d'être chargé), le cerveau va alors gérer les données et les répartir dans les différentes mémoires [28] :

- La mémoire programme : est celle qui va servir à savoir où l'on en est dans le programme, à quelle instruction on est rendu.
- La mémoire de données : aussi appelé **RAM** (comme dans ordinateur) va stocker les variables telles que le numéro de la broche sur laquelle est connectée une LED, ou bien une simple valeur comme un chiffre, un nombre, des caractères, etc [28].

b) Carte ATMEL ATMega328

C'est un circuit imprimé comportant tous les composants électroniques nécessaires pour faire fonctionner un microcontrôleur (ATMega 328) associé à une interface USB lui permettant de

communiquer avec un ordinateur [29]. L'architecture interne (Annexe3) de ce circuit programmable se compose essentiellement sur [30] :

- D'un quartz 16Mhz.
- D'une connexion USB : à 500mA en intensité.
- D'un connecteur d'alimentation jack.
- D'un connecteur ICSP (programmation "in-circuit").
- D'un bouton de réinitialisation (reset).
- De mémoire programme **FLASH** de 32 KB.
- De mémoire **SRAM** (mémoire volatile) de 2KB.
- De mémoire **EEPROM** (mémoire non volatile) de 1KB.
- 14 broches numériques I/O (dont 6 en sortie PWM) : Ces broches fonctionnent en 5V.
- Six entrées analogiques (numérotées de 0 à 5) : mesurent entre le 0-5V.
- Courant par broche I/O : 40mA
- Courant par broche 3.3V :50mA

c) Le langage Arduino

Le langage Arduino **IDE** est très proche du C et du langage C++ [28] , un programme (ou "sketch") Arduino est constitué de 3 zones distinctes :

- La première zone sert principalement à dire à la carte de garder en mémoire quelques informations, toutes les variables doivent être déclarées, ainsi que leur type (int, float,...) avant d'être utilisées [29].
- La zone secondaire est l'endroit où l'on va initialiser certains paramètres du programme, la fonction de configuration "void setup" exécutée une seule fois au lancement du programme [29].
- La dernière zone est la zone principale où se déroulera le programme. Tout ce qui va être écrit dans cette zone sera exécuté par la carte, La fonction "void loop" qui est ensuite exécutée indéfiniment en boucle [29].

Voici quelques accessoires d'Arduino utilisées dans ce projet :

- *Fils de pin d'Arduino* (Fig.II.12): Ces fils males sont utilisés pour brancher et connecter l'Arduino avec d'autre pièce et pour les tests.

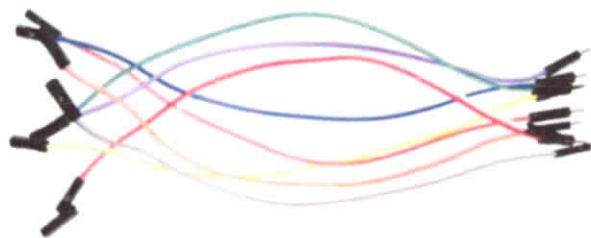


Figure II.12: *fils de pin d'Arduino.*

- *La plaque d'essai* (Fig.II.13): est un dispositif qui permet de réaliser le prototype d'un circuit électronique, elle est utilisée dans la plupart des expériences d'Arduino.



Figure II.13 : La plaque d'essai

- *Le câble USB* (Fig.II.14): permet à la fois d'alimenter un projet Arduino, de programmer la carte (via Arduino IDE) mais aussi d'utiliser le Moniteur Série.



Figure II.14: Le câble USB d'Arduino.

II.4.2.3 Les servomoteurs

Les servomoteurs sont des actionneurs, très utilisés en modélisme et dans l'industrie (Fig.II.15), ils ont comme caractéristique principale leur couple c'est-à-dire la force de rotation qu'ils peuvent exercer. Plus un servomoteur aura de couple et plus il pourra actionner des membres lourds comme déplacer un bras qui porte une charge (Annexe 4) [31].



Figure II.15: Les servomoteurs.

Les servomoteurs sont pilotés par un fil de commande et alimentés par deux autres fils, ces 3 fils sont rassemblés dans une prise au format standard (Fig.II.16) :



Figure II.16 : *les fils de servomoteur.*

- Un fil rouge est relié à l'alimentation positive (+5 ou +6 V selon le Servo).
- Le fil noir est relié à la masse (GND).
- Le fil jaune est utilisé pour la commande.

II.4.2.4 Piloter le servomoteur avec l'Arduino :

Le mode de commande d'un servomoteur est standardisé, on envoie sur son fil de commande (Fig.II.17) une impulsion dont la durée correspond à l'angle désiré (Annexe 4).

Avec la programmation de l'Arduino une bibliothèque (library) dédiée, la bibliothèque « servo », permet de piloter un servomoteur en lui transmettant simplement l'angle sur lequel il souhaite se positionner, on envoie sur son fil de commande une impulsion dont la durée correspond à l'angle désiré (Annexe 4) [31].

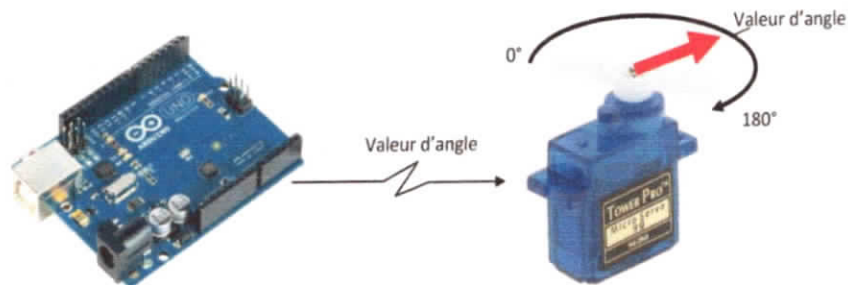


Figure II.17: *Pilotage d'un servomoteur à l'aide d'Arduino.*

On a choisi ces types des moteurs pour diriger notre projet, parce que l'Arduino génère directement en sortie les quatre signaux. Pour piloter les deux servomoteurs du suiveur solaire dans les deux sens (sens1 : horizontale ; sens2 : verticale).

Conclusion :

Dans cette partie, nous avons présenté le principe général de système de poursuite et les différents éléments constitutifs du dispositif que nous sommes amenés à réaliser qui permet d'optimiser les performances d'un panneau photovoltaïque, en faisant en sorte que les rayons solaires y soient perpendiculaires.

Dans le chapitre qui suit, nous allons traduire l'algorithme utilisé en langage approprié pour pouvoir les tester, simuler et par la suite faire les étapes de la réalisation pratique de notre suiveur.

Chapitre III

Réalisation pratique

Sommaire :

| | |
|-----------------------------------|----|
| 1. Partie programmation..... | 38 |
| 2. Partie simulation | 39 |
| 3. Partie électrique..... | 42 |
| 4. Partie mécanique..... | 43 |
| 5. Validation expérimentale | 45 |

Résumé :

Dans cette partie nous présentons la procédure de réalisation de notre suiveur solaire, on a commencé par la partie programmation ainsi que la simulation de notre système suiveur, suivi par quelques détails sur la partie opérative du système par description de la structure mécanique.

III. Réalisation pratique

Notre réalisation pratique est un traqueur double axe, ce qui signifie qu'il dépiste en X et Y. il va à gauche, droite, haut et bas. Donc depuis n'importe où le soleil se déplace et notre suiveur solaire suivra la position optimale.

Dans ce présent travail nous présentons le principe de notre prototype du système de suiveur solaire, constitué essentiellement d'une partie électronique et d'une partie mécanique :

III.1 Partie programmation

Cette partie est consacrée à la présentation, d'une part, du logiciel de compilation qui nous a permis de traduire et vérifier l'algorithme de poursuite en langage C de l'Arduino, et d'autre part, du pack Proteus qui intègre ISIS destiné à la simulation et la réalisation des circuits électroniques.

III.1.1 L'organigramme

Avant de passer à la programmation, nous devons réaliser un organigramme qui explique le déroulement des différentes séquences, tant intérieures qu'extérieures, il comportera plusieurs boucles dont la fin d'exécution succède toujours à son commencement. La carte de commande Arduino convertit les signaux analogiques issus des LDR en signaux numériques qu'il les compare et en suite envoie la commande du sens de rotation aux moteurs.

L'organigramme suivant représente l'algorithme de notre système :

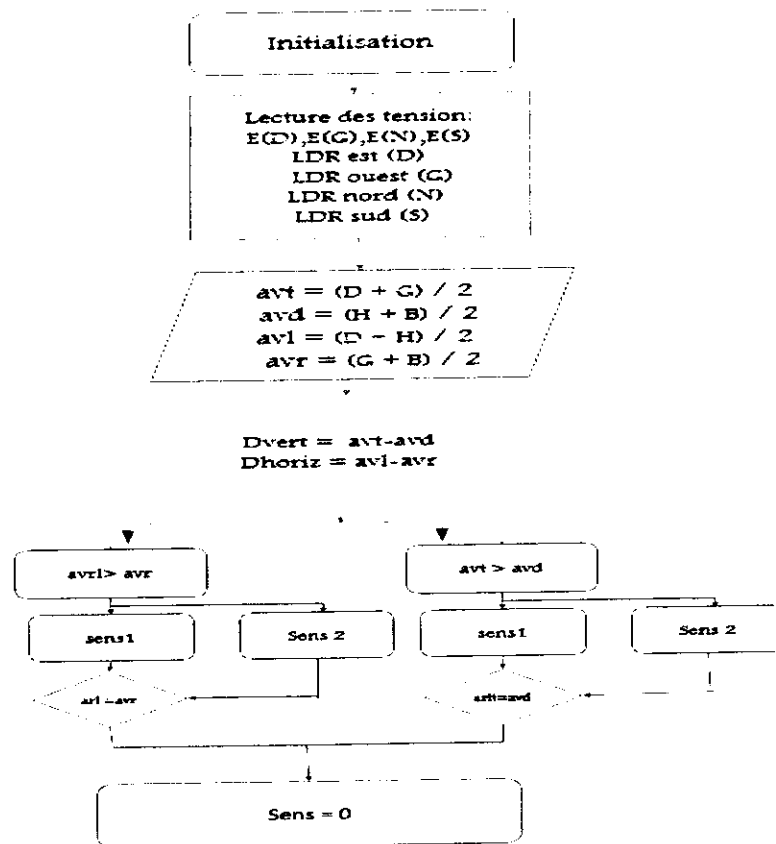


Figure III-1 : Organigramme utilisé.

III.1.2 Programmation

La carte Arduino Uno est une carte programmable, elle peut être programmée avec le logiciel Arduino, voici l’interface du logiciel Arduino dans laquelle nous avons simulé notre programme (Fig.III.1).

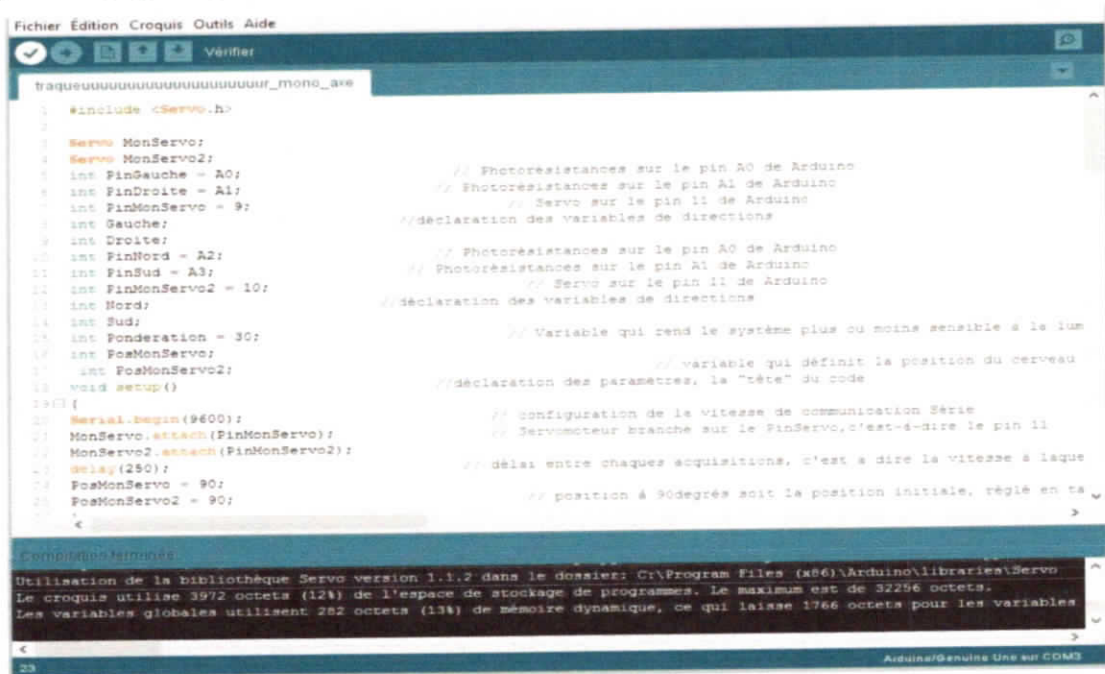


Figure III-2: Interface du logiciel Arduino.

Notre programme fonctionne en comparant la résistance des quatre capteurs et en déplaçant nos servomoteurs. Degré de sensibilité nos capteurs et nos servos sont complètement dépend de notre code. Nous avons mis en place notre code afin que nos servos ne peuvent se déplacer dans une zone donnée prédéfinie et à une vitesse programmée.

III.2 Partie simulation

La simulation de notre montage globale a été fait à l’aide du logiciel PROTEUS_ ISIS qui permet de tester et récupérer en temps réel les résultats de la simulation, dans le cas présent, nous allons simuler le comportement de la carte Arduino et de son interaction avec les composants qui l’entourent. La figure suivante montre notre montage simulé :

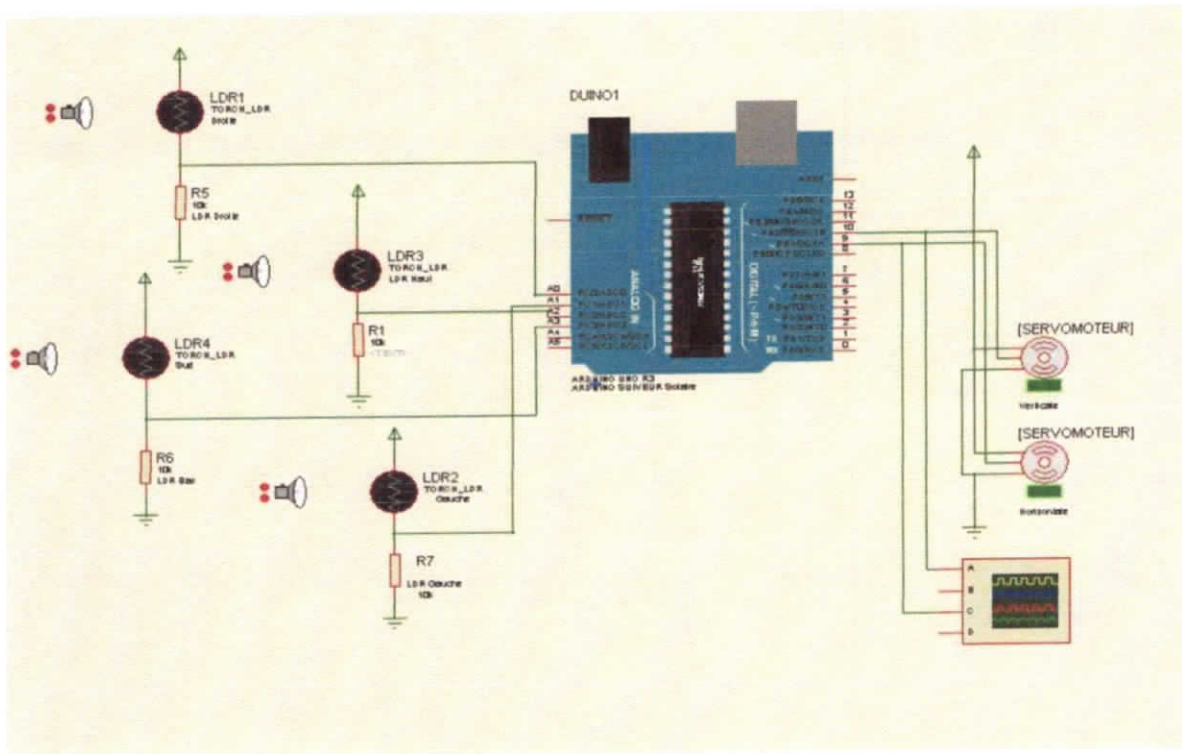


Figure III-3: Montage du système sous Proteus.

La figure III.3 illustre la représentation du schéma électrique équivalent des capteurs de lumières, en se servant du composant LDR_Torch mis en disposition avec son packaging dans les bibliothèques du logiciel, et ce dans le but de faire varier la résistance des LDR (soit ombragée ou éclairage varié).

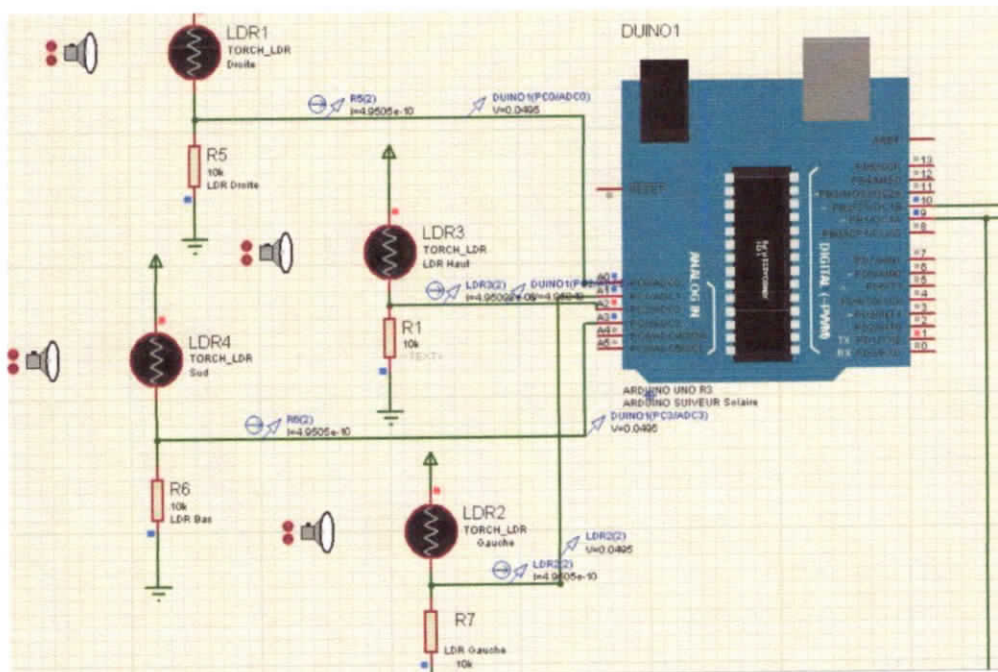


Figure III-4: LDR_Torch utilisé.

Pour tester la carte de notre projet et pour visualiser les signaux de commande des deux servomoteurs, nous avons branché un oscilloscope pour chaque sortie des servomoteurs. Les

figures suivantes représentent plusieurs cas en fonction de la variation de l'éclairement sur les quatre LDR.

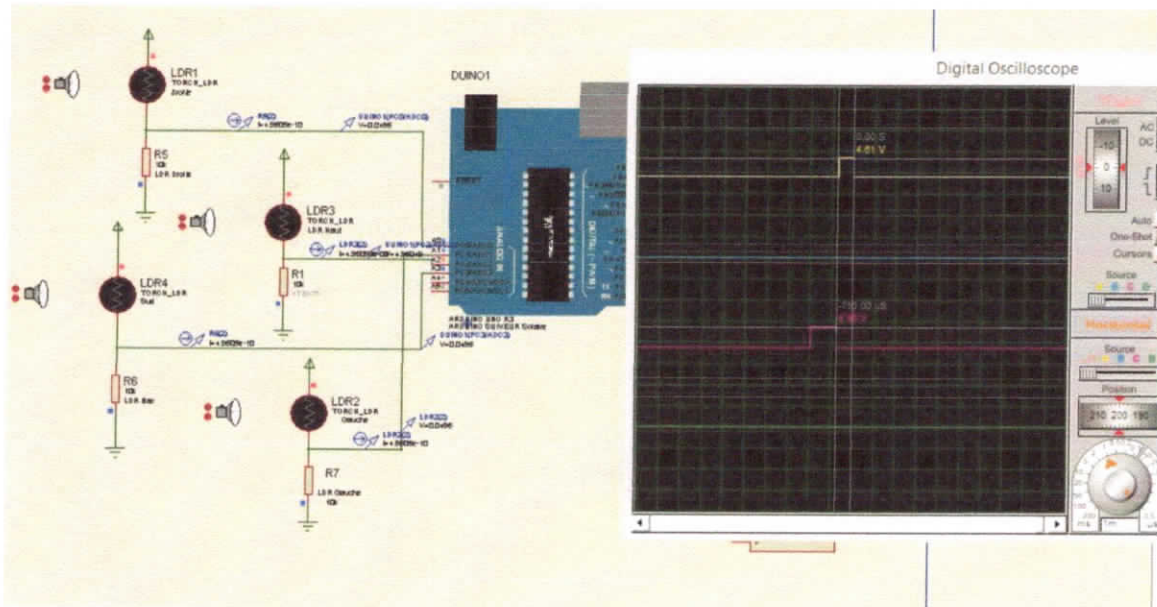


Figure III-5: Simulation de la sortie en absence d'éclairement.

La figure III.4 traduit une absence d'éclairement sur les quatre LDR et où la sortie indique une tension de 0V, le système est en mode arrêt, aucun moteur n'est en rotation.

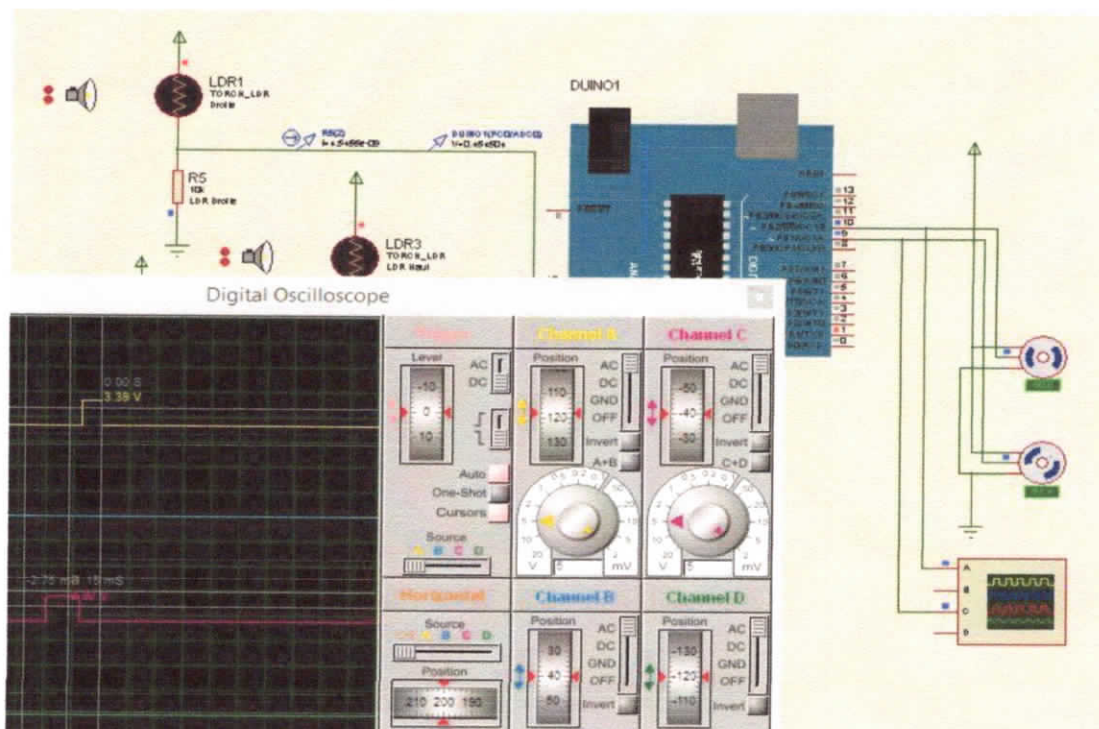


Figure III-6: Simulation de la sortie pour une variation de l'éclairement sur les LDR.

La rotation du servomoteur 1 est commandée dans le sens horizontal lorsque la LDR droite située au quadrant gauche est ombragée. Le signal représenté en jaune sur l'écran de l'oscilloscope de la figure III.5 correspond à l'impulsion délivrée au servomoteur horizontale

en fonction du temps. Le même raisonnement s'applique pour le servomoteur 2 où l'impulsion est représentée en couleur rose sur l'écran de l'oscilloscope pour indiquer le sens de rotation.

III.3 Partie électrique

Dans cette partie nous sommes intéressés principalement à la commande et l'alimentation du système. Pour notre application nous avons utilisé quatre capteurs LDR disposés en croix et optiquement isolés entre eux de manière à ce que leur éclairage ne soit identique que s'ils sont pointés vers le soleil, les quelles interviennent pour l'orientation du panneau par rapport aux rayons du soleil.

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

Etape 1 :

En première étape (Fig.III.6), nous avons réalisé cette essai sur la plaque d'essai pour tester la connexion entre les capteurs et les actionneurs (les signaux reçus des capteurs vers l'Arduino pour traiter et leurs effets sur les actionneurs (les servomoteurs))

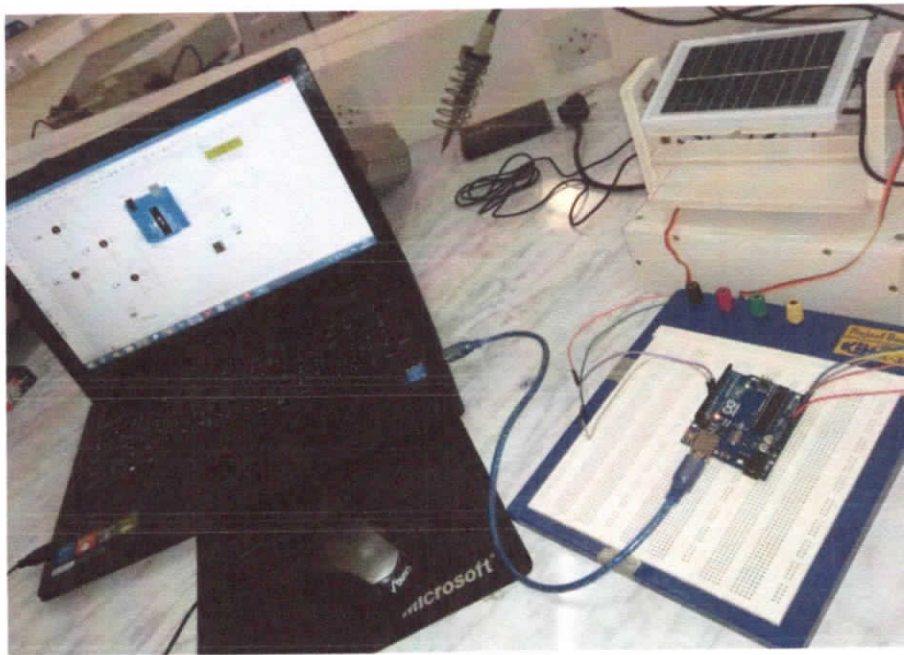


Figure III-7: Réalisation sur la plaque d'essai.

Etape 2 :

Pour le bon fonctionnement de notre suiveur, nous avons constitué un système de lunette de 4 LDR comme le montre la figure III.7, on a disposé en croix (×) et optiquement isolés entre eux de manière à ce que leur éclairage ne soit identique que s'ils sont pointés vers le soleil.

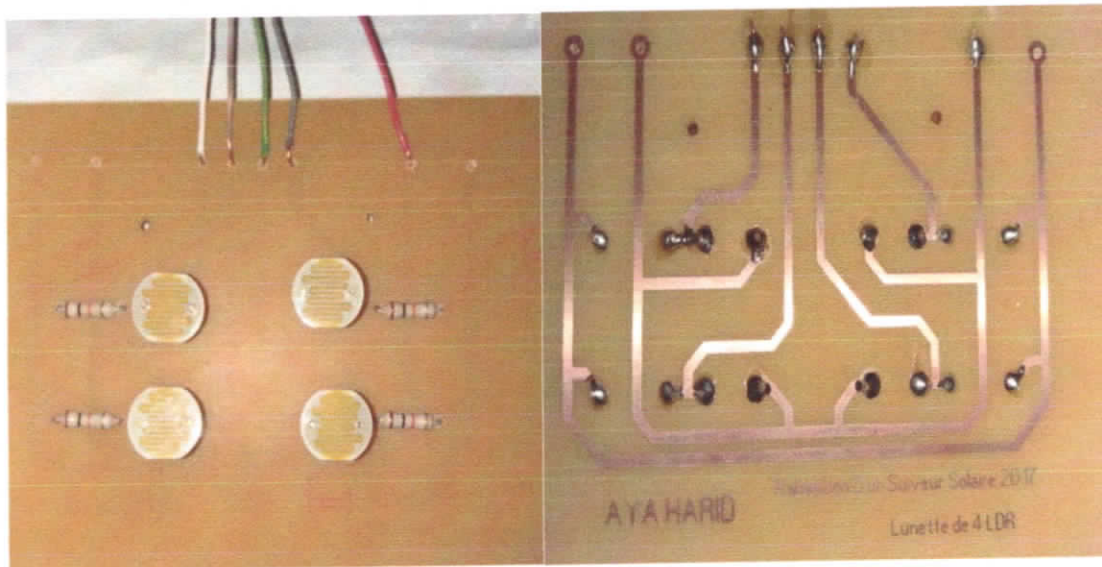
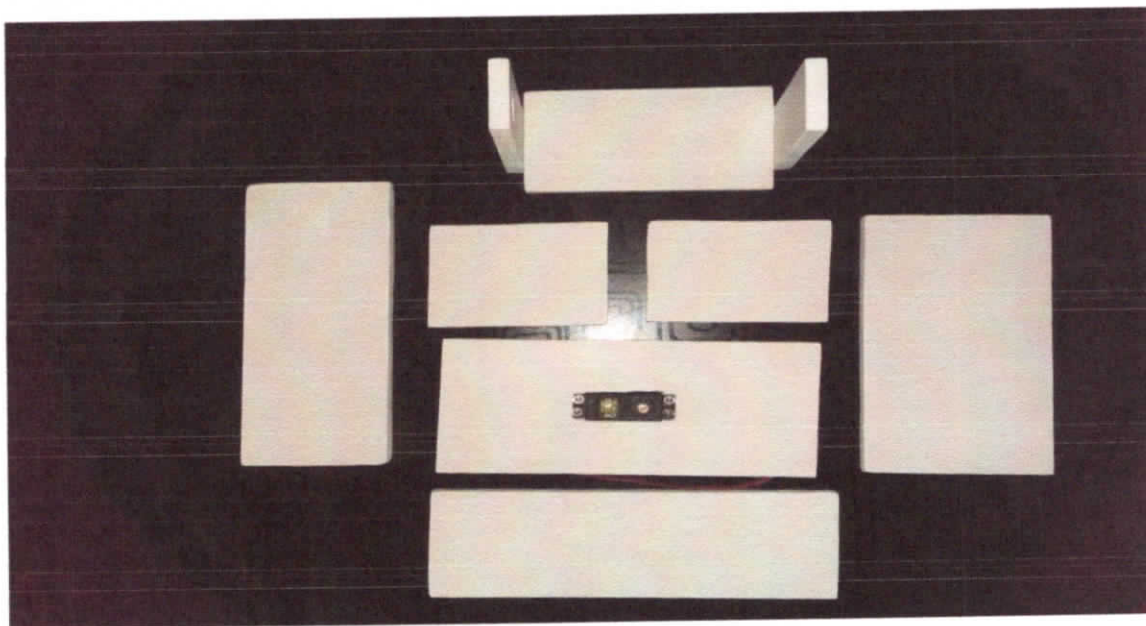


Figure III-8: Circuit imprimé de lunette de 4 LDR.

Ce système de lunette est solidaire au panneau solaire et placée sur le même plan que celui-ci. Elle forme ainsi notre capteur de détection de la position du soleil.

III.4 Partie mécanique

La partie mécanique du prototype de suiveur que nous avons réalisé est constitué essentiellement des différents éléments constitutifs comprenant (Fig.III.8) :



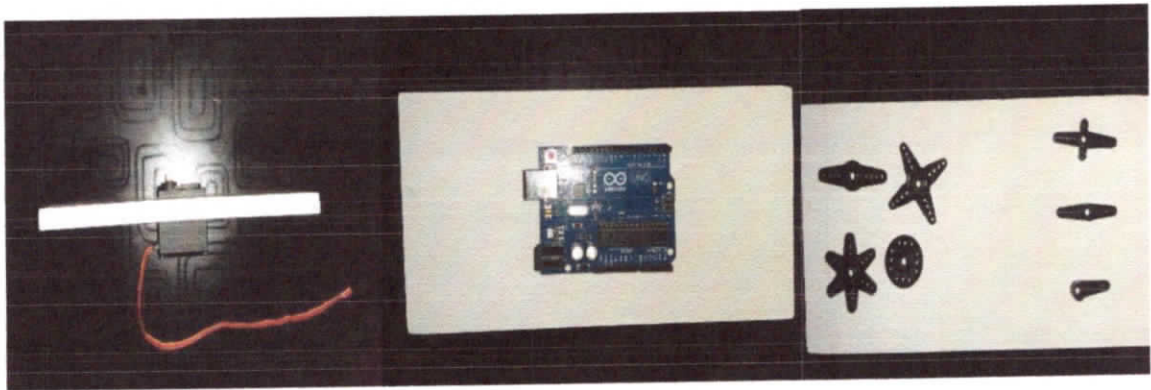


Figure III-9: Différents éléments de prototype.

Notre structure mécanique est constituée de deux parties mobiles (Fig.III.9). Une partie sur l'axe d'horizon (azimute) pour la variation du panneau par rapport au soleil et l'autre partie sur l'axe vertical (zénithal) pour la variation du panneau.

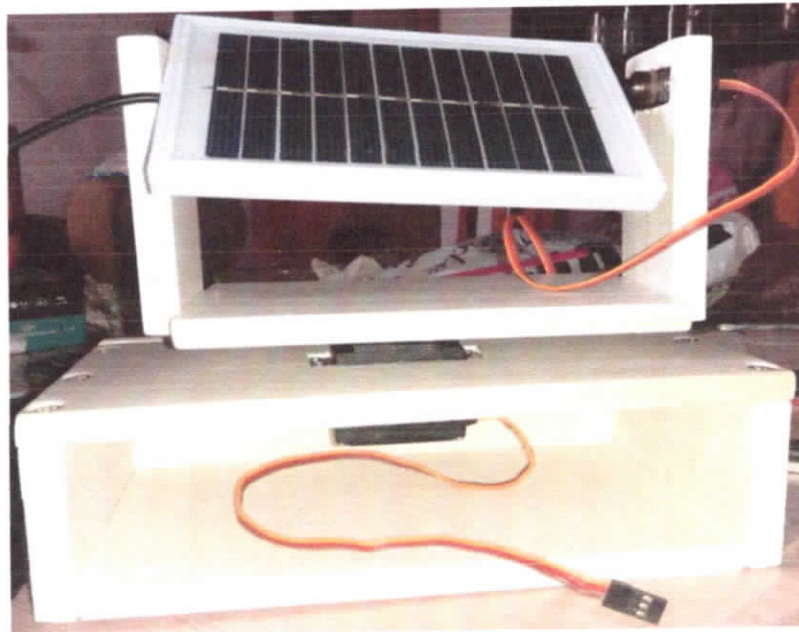


Figure III-10: Structure mécanique de notre suiveur

Pour notre structure, on utilise deux servomoteurs de 5 volts, l'un sert au déplacement azimutal et l'autre pour l'élévation. Les moteurs ont un réglage autonome, ce qui signifie qu'ils sont contrôlés par le programme d'Arduino après une comparaison des tensions. Ce dernier donne des ordres sur le sens, la direction du déplacement à effectuer pour trouver la position du rayonnement maximal et assure la poursuite du point optimal. Une fois ce point est atteint les moteurs seront arrêtés.

Sur la partie mobile (partie inférieure) (Fig.III.10) qui porte la carte de commande Arduino et le bloc d'alimentation, un servomoteur de 9 kg est fixé aussi pour supporter le poids de la partie supérieure ainsi que son orientation Est/Ouest.

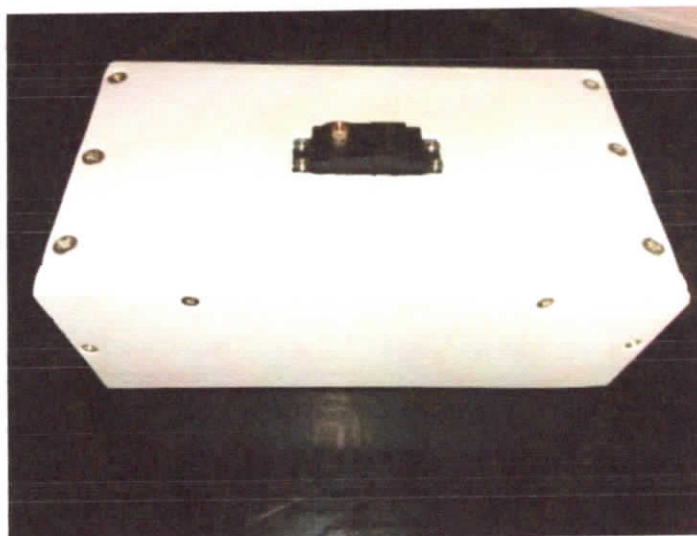


Figure III-11: *La partie mobile de base.*

La 2^{ème} partie mobile (partie supérieure) (Fig.III.11) est parallèle à la partie inférieure. Un autre servomoteur de 3 kg est fixé sur le côté droit de la partie supérieure pour assurer l'orientation verticale Nord/Sud. Une lunette de 4 LDR qui a été réalisée durant notre travail est placée aussi sur cette partie.

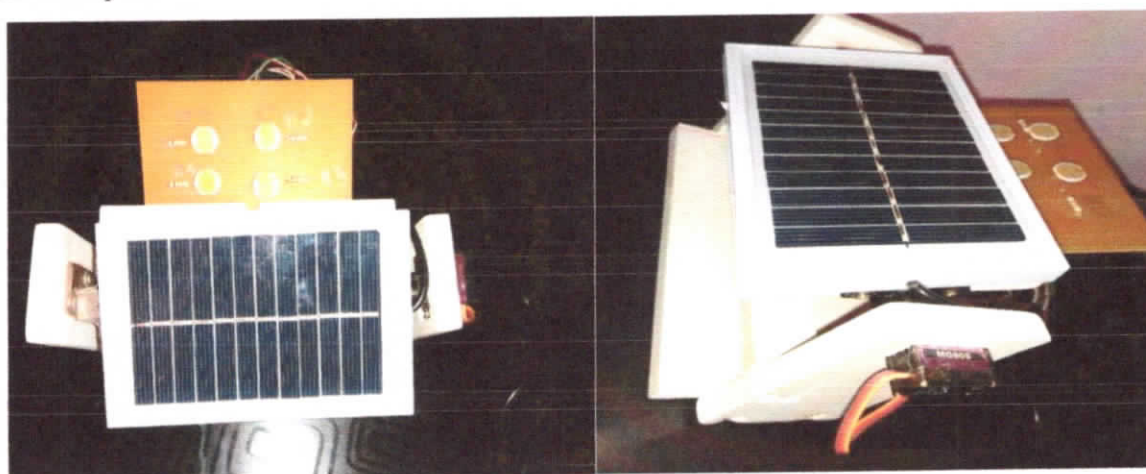


Figure III-12: *La partie mobile de Haut.*

III.5 Validation expérimentale

Nous pouvons le faire suivre notre suiveur avec une lampe de poche autour, Cette méthode donne les meilleurs résultats pour la production d'électricité. Nous avons pu vérifier la fiabilité de notre système de poursuite solaire aux positions recherchées d'inclinaison et de rotation tant du point de vue motorisation, commande électronique et structure de réalisation. En outre la programmation a satisfait aux conditions de commande pour le fonctionnement convenable du système de suiveur solaire et les résultats sont encourageants.

Conclusion
général

Conclusion générale

L'objectif de travail présenté dans ce manuscrit étant 'la conception et la réalisation d'un suiveur solaire' afin d'obtenir une technique active pour suivi la trajectoire solaire durant la journée pour collecter le maximum d'énergie fournie par le panneau solaire.

Notre système de suiveur solaire consiste en l'utilisation de quatre capteurs de lumière (LDR) placés selon une géométrie bien précise sur le support des panneaux PV. Les signaux issus de ces quatre capteurs sont traités par la carte de commande Arduino, nous avons développé une commande automatique qui commande le sens des servomoteurs pour valider son efficacité.

Malgré les problèmes rencontrés durant la réalisation parmi lesquels :

- La non disponibilité des composants au niveau de laboratoire d'électronique.
- Le cout de quelque composant électronique.

Les tests effectués montrent le bon fonctionnement de notre système suiveur solaire. Ce qui à donner une valeur à notre travail.

Les perspectives pour ce projet, comptent passer du système démonstratif vers un système réel en utilisant des moteurs plus précis et puissants et une structure avec un design mécanique adéquat plus stable et fiable.

Ce projet de fin d'étude m'a apporté de nouvelles connaissances dans le domaine des énergies renouvelable et en particulier l'énergie solaire qui est en plein essor.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] A. Labouret et M. Viloz, *Energie Solaire Photovoltaïque*, 4, Éd., Paris: DUNOD, 2009.
- [2] S. Saadi, «Effet des paramètres opérationnels sur les performances d'un capteur solaire,» Mémoire de Magister en physique, UMC, 2010.
- [3] EnergyMinistry, «Le Programme des Energies Renouvelables et de l'Efficacité Énergétique,» Ministère de l'Energie d'Algerie, 15 03 2017. [En ligne]. Available: <http://www.energy.gov.dz/francais/index.php?page=potentiels>. [Accès le 26 03 2017].
- [4] «CENTRALES PHOTOVOLTAÏQUES,» © GDF SUEZ, 2013. [En ligne]. Available: <http://www.japprends-lenergie.fr/upload/enjeux/ressources/centrales-photovoltaïques.pdf>. [Accès le 20 05 2017].
- [5] S. D. - D. STI, «Dossier Technique Panneau solaire asservi,» Société DMS - Département STI, RAMONVILLE, 2007.
- [6] S. DMS, Dossier Technique Panneau solaire asservi, Société DMS éd., RAMONVILLE : Département STI, 2007..
- [7] «Spécial énergie renouvelable,» *Smart News Algérie* , Mars 2017.
- [8] M. Fariza, Détermination du gisement solaire par traitement d'images MSG, TIZI OUZOU: UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI OUZOU.
- [9] O. A. ELKRIM, «COMMANDE DE PANNEAU SOLAIRE A L'AIDE D'UNE CARTE A PIC,» Université Mohamed Khider Biskra, Biskra, Juin 2010.
- [10] «International Renewable Energy Conference,» National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2013.
- [11] Z. BENMOHAMMADI, «Etude, conception et réalisation d'une commande d'un tracker solaire (suiveur solaire),» Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, Maroc, 2014.
- [12] K. Ismail, «Etude d'un système de poursuite solaire pour les panneaux photovoltaïques,» UNIVERSITE KASDI MERBAH, OUARGLA, 2014.

- [13] J. True Thomas B. Greenslade et Jules-Célestin Jamin , Cours de physique de l'École polytechnique. Tome 3 - Fasc. 2, Gauthier-Villars et fils (Paris): École polytechnique, 1885-1906.
- [14] A. KADDOURI, «Conception et réalisation d'un suiveur solaire à deux axes,» Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Maroc, Juin 2015.
- [15] A. BRAHIMI, «Etude de performances d'un capteur solaire plan à eau,» UNIVERSITE DE LORRAINE & Centre de Développement des Energies Renouvelable CDER de Bouzaréah (Alger), LORRAINE, 2016.
- [16] L. Cure-Durif, Reda Drissi, Isabelle Guillabert, Anthony Trochet, Thomas Vaillant et Julie Zimmer, «Innovation technologique :traqueur Solaire photovoltaïque,» Article Projet de Physique , 2012.
- [17] «ETUDE D'UN SYSTEME PLURITECHNIQUE,» *Série S Sciences de l'ingénieur*, 2008.
- [18] D. H. Ryssel, «Optoelectronic detectors,» Indian Institute of Technology, 2010.
- [19] B. Cottenceau, «Carte ARDUINO UNO Microcontrôleur ATmega328,» ISTIA.
- [20] P. B. Rouget, «COMMANDER DES SERVOMOTEURS CLASSIQUES ET A ROTATION CONTINUE». *Samedis bénévoles spécial Arduino Workshop n°1*.
- [21] B. Mohamed, «Conception et réalisation d'un système de Suiveur Solaire pour des systèmes photovoltaïques,» Université des Sciences et de la Technologie MOHAMED BOUDIAF U.S.T.O, Oron, 2011.
- [22] MinistryOfEnergy, «Energie solaire,» *Potentiels des Energies renouvelables*, p. 1, 23 05 2017.
- [23] A. ATTAR, «LES ENERGIES NOUVELLES OU RENOUVELABLES,» 2012.
- [24] A. Tempero, ADES Tempero Group, [En ligne]. Available: Manuscript at [http://www.ades.tv/..](http://www.ades.tv/)
- [25] C. e. P. C. Alexandru, « Simulation of a dual-axis solar tracker for improving the performance of a photovoltaic panel, Proceedings of the Mechanical Engineers. Part A J Power Energy, 2012.

Annexe

V. Annexes :

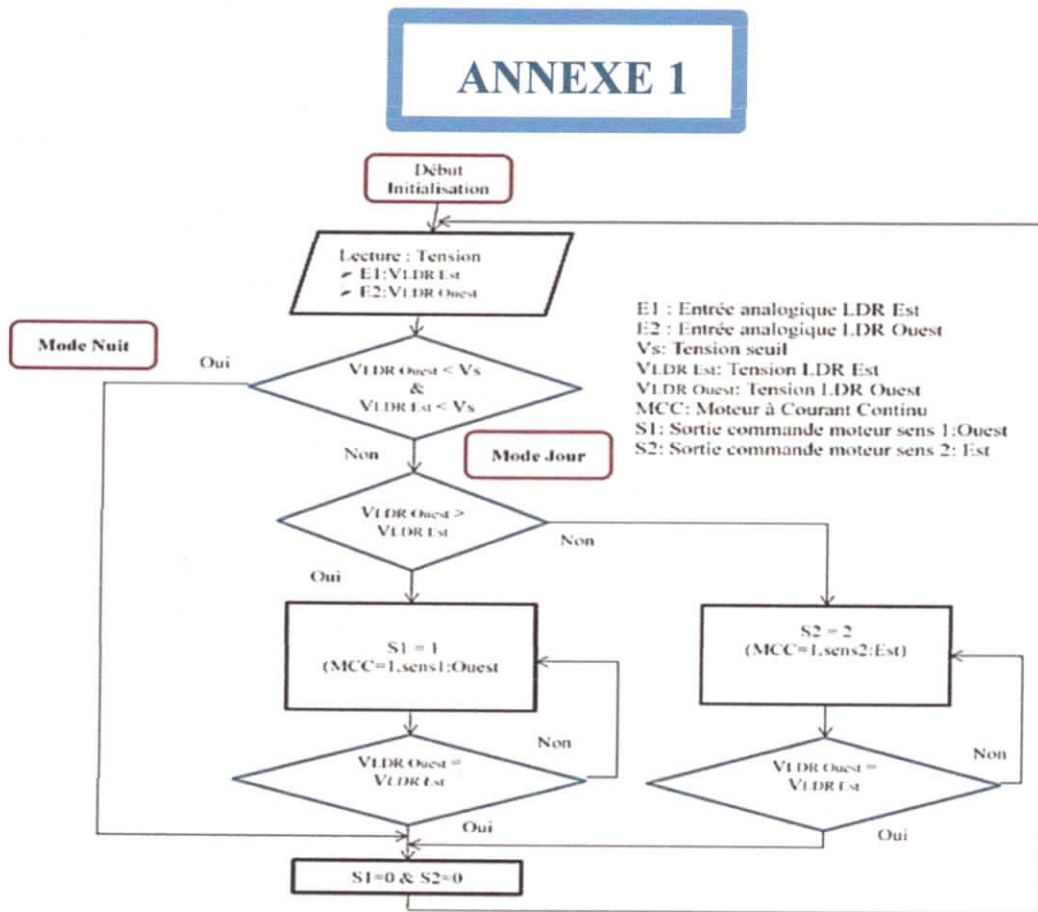


Figure V.1: Organigramme d'un suivi mono-axe.

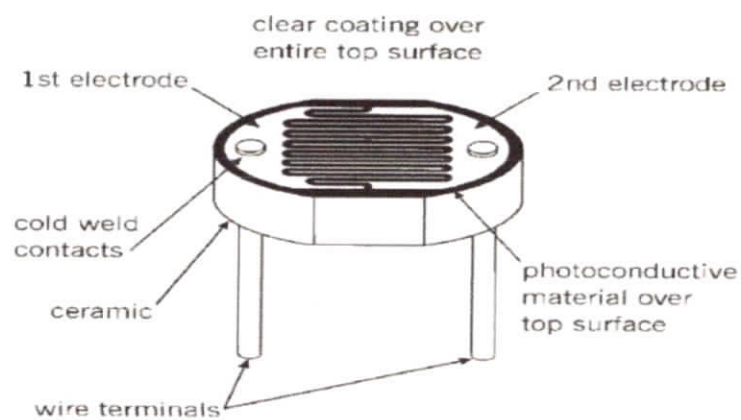
ANNEXE 2

Figure V.2: Structure de photorésistance.

On note l'illumination en « lux », voici un graphe qui montre l'évolution en lux en fonction de la résistance LDR NSL-19M51 en Ohm(Ω) :

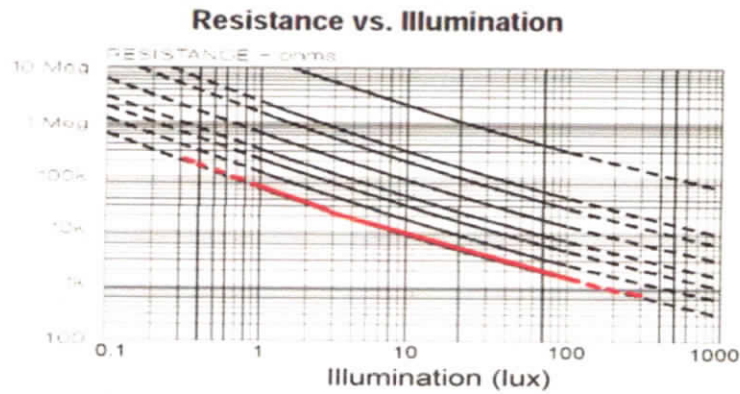


Figure V.3: l'évolution en lux en fonction de la résistance.

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

Dimensions

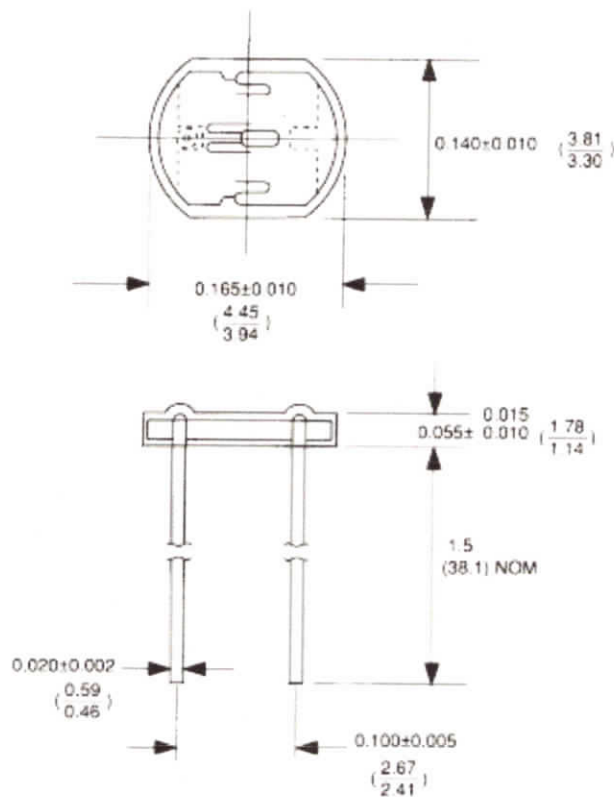


Figure V.4: Dimensions en (mm) du capteur LDR [10].

Il faut noter aussi que ces capteurs ne sont pas sensibles de la même manière à toutes les longueurs d'onde et donc aux couleurs, voici la réponse spectrale du capteur LDR :

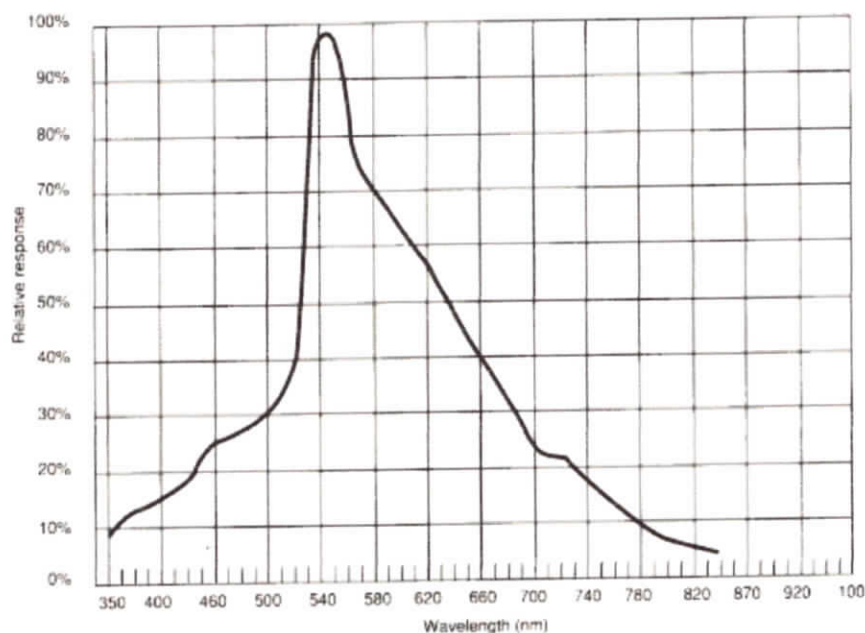


Figure V.5: Réponse spectrale du capteur LDR.

ANNEXE 3

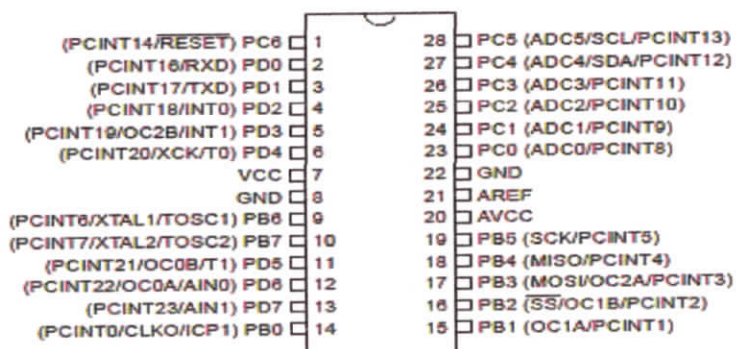


Figure V.6: Un microcontrôleur ATmega328

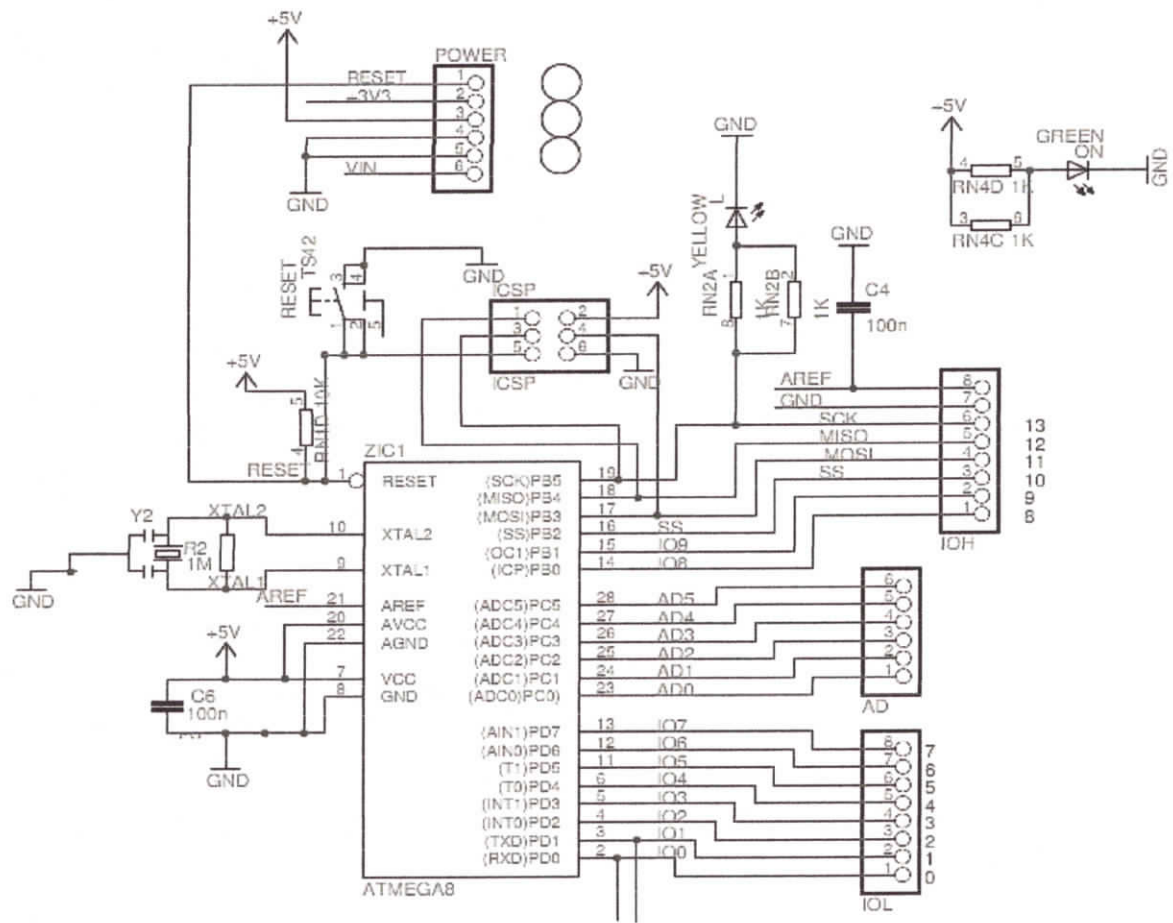


Figure V.7: Schéma simplifié de la carte Arduino UNO

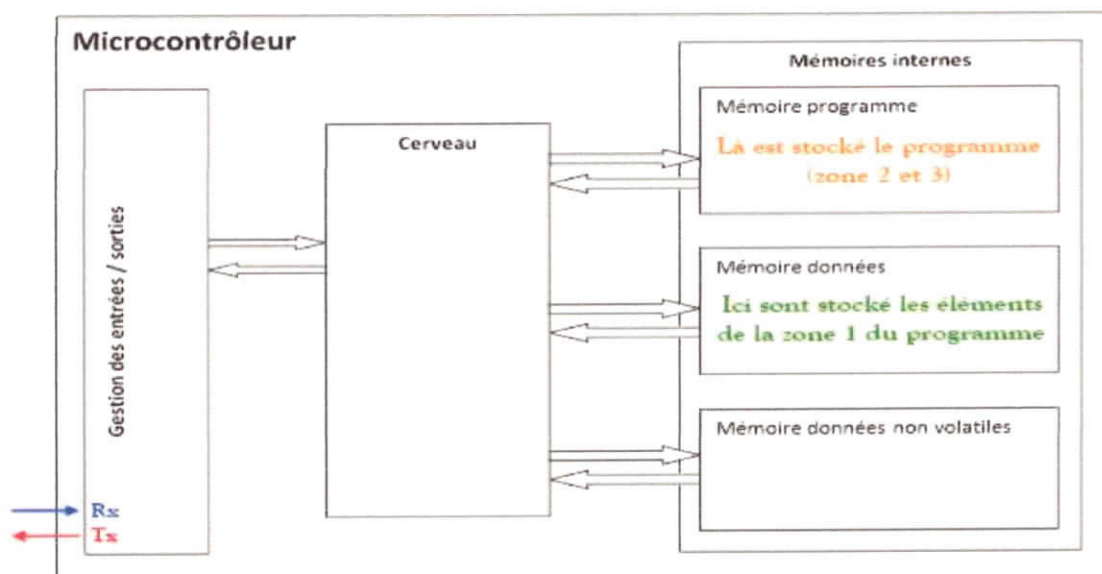


Figure V.8: l'intérieur du microcontrôleur d'Arduino [28].

ANNEXE 4

La quasi-totalité des servomoteurs comporte un réducteur qui sert à augmenter leur couple, pour piloter un servomoteur on utilise un PWM qui détermine l'angle de positionnement. Voici le schéma électrique type de l'utilisation d'un servomoteur avec une carte Arduino :

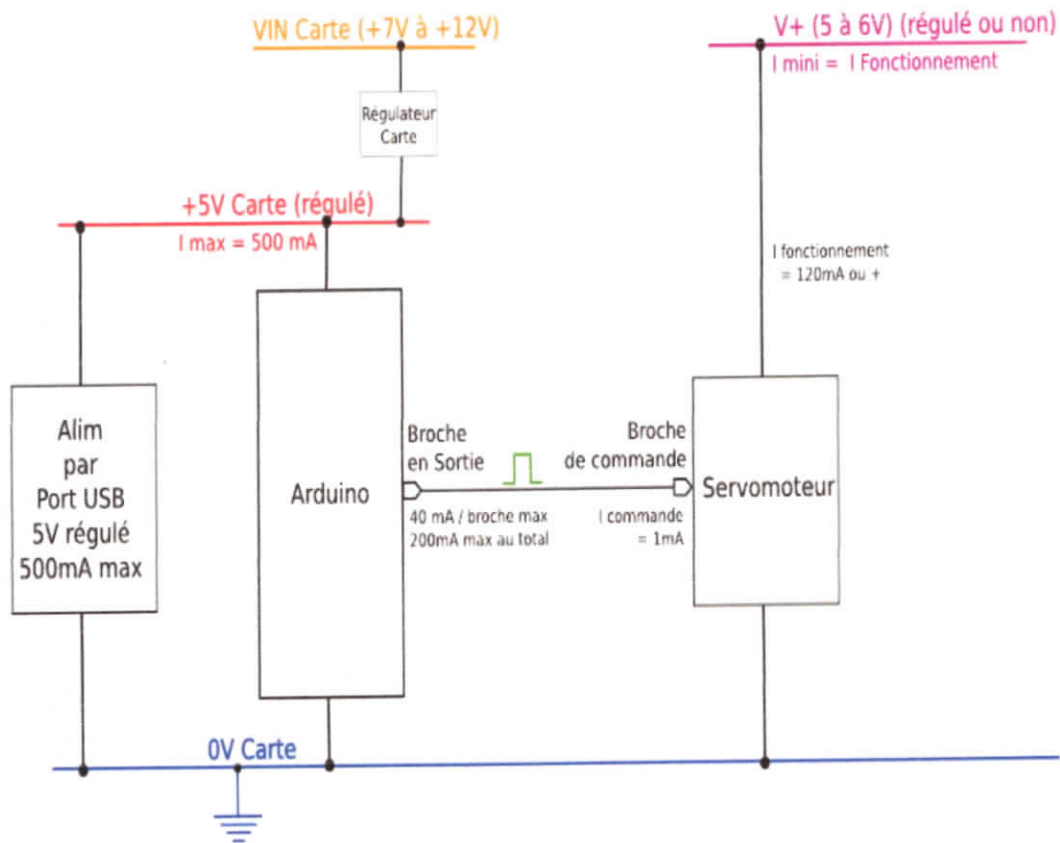


Figure V.9: l'utilisation d'un servomoteur avec une carte Arduino

Le principe de base est assez simple. Il suffit d'envoyer une impulsion et c'est le temps que durera cette impulsion qui déterminera l'angle du servomoteur. Ce temps d'impulsion est de quelques de quelques millisecondes et doit être répété à intervalle régulier (toutes les 20 ms à 50ms).

Si le temps d'impulsion varie d'un fabricant à l'autre, les valeurs suivantes sont assez standard [32]:

- 1.25 ms = 0 degré
- 1.50 ms = 90 degrés
- 1.75 ms = 180 degrés

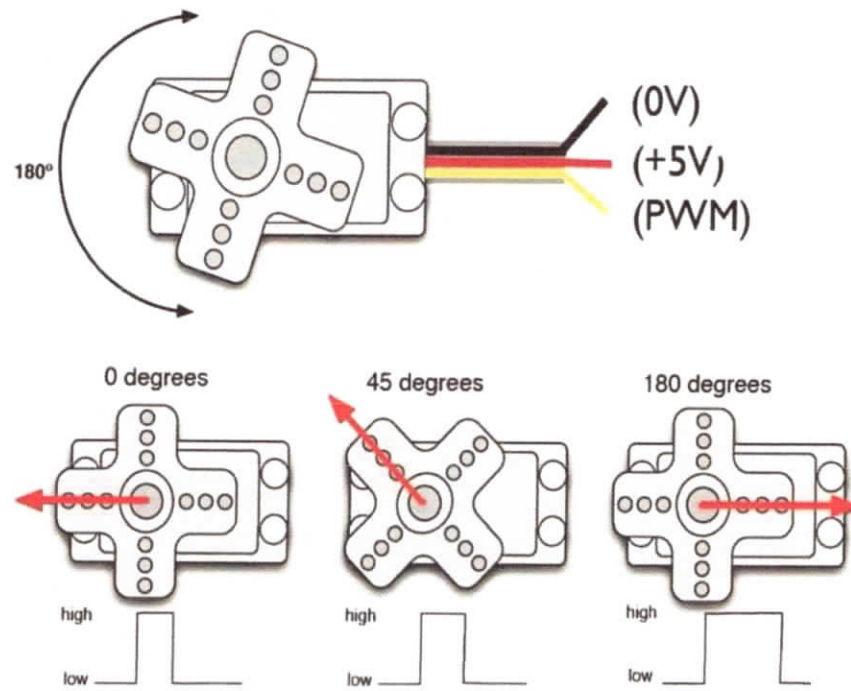


Figure V.10: Le pilotage de servomoteur.



Résumé

Détentrice de la croissante énergétique mondiale, l'énergie solaire se précise de plus en plus pour devenir l'énergie la plus répandue et la plus répartie dans le monde. Dans le secteur de l'énergie photovoltaïque, la puissance électrique produite par un panneau solaire dépend de l'intensité du flux lumineux selon la position du soleil pendant la journée.

Dans ce travail, un suiveur solaire automatique pour module photovoltaïque a été réalisé ayant comme objectif l'amélioration le rendement en énergie électrique du module photovoltaïque mobile par rapport au système fixe. Notre dispositif d'instrument sera fixé sur une structure mécanique que nous avons réalisée à base de deux servomoteurs 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 photo résistifs de type 'LDR' qui sont disposés de manière à ce que leurs éclairagements ne soient identique que si la lunette est pointée vers le soleil. Les signaux issus des capteurs sont transmis aux entrées d'un microcontrôleur de type 'ATmega328' dans la carte de commande « Arduino » qui permet la comparaison des niveaux de tensions pour la commande les deux servomoteurs. En outre, il permet l'orientation du panneau vers le soleil.

Enfin, le système que nous avons réalisé est capable de suivre à tout moment la position du soleil pendant la journée.

Mots clés : Energie solaire, Système de poursuite, Photorésistance, Microcontrôleur ATmega328, Servomoteur.