

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DU GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

Mémoire De Fin d'Études
De MASTER PROFESSIONNEL
Domaine : Sciences et Technologies
Filière : Génie Électrique
Spécialité : Électronique Industrielles

Thème

**<<Conception et Réalisation d'un tracker solaire
intelligent à Bas d'une Carte Arduino-Uno>>**

Présenté par :

AOUINE ABDELKRIM

Dirigé par :

MME.HEMDANNI

Promotion: 2016/2017

Remerciements

Nous remercions le DIEU le tout puissant de nous avoir donné la force et le courage afin d'accomplir ce modeste travail.

❖ *Nos remerciements vont à **Ma promotrice***

***M^{me} HEMDANI**, Enseignante à UMMTO, pour m'avoir orienté et donné de précieux conseils. Je la prie de bien vouloir Agrée le témoignage de mes plus vives reconnaissances.*

❖ *J'apporte aussi mes vifs remerciements aux personnels enseignants de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.*

❖ *Je remercie chaleureusement les membres du jury pour leur regard critique et plus que pertinent sur l'ensemble de mon travail.*

❖ *A toute la promotion de **2016/2017**.*

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

- ❖ *A mon cher père, à ma chère mère pour leur aide et leur soutien tout au long de mes études, et qui ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui et j'espère qu'un jour je serai capable de leur donner au moins le minimum car quoi qu'on fasse on arrivera jamais à leurs rendre tout.*
- ❖ *Mes très chères sœurs LINDA, AMINA ainsi que leurs époux MOUHEMMED et IDIR,*
- ❖ *Ma belle-famille.*
- ❖ *Mes chers cousins RAFIK, Rachid ainsi que leurs familles.*
- ❖ *Toute la promotion 2016/2017*

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction Générale

Chapitre I :

I-1 Introduction	1
I.2 Mouvement du Globe terrestre.....	1
I.3 Rayonnement en Algérie.....	1
I.4 Spécification du site de Tizi-Ouzou :	2
I.5 L'Energie photovoltaïque :	2
I-6 La cellule solaire	3
I-6-1-Définition.....	3
I-6-2-Principe de fonctionnement	3
I.7 Le rendement d'un panneau photovoltaïque :	6
I.7 -1-Puissance produite	6
I.7 -3-Positionnement (angle d'inclinaison)	7
I.8 Etat de l'art des techniques de suivi :	8
I. 8-1- Les premières utilisations	8
I. 8 -2- Les types des suiveurs solaires	8
I. 8. 2-1-Suiveur passifs	9
I. 8 2-2-Suiveur actifs :	9
II. Méthodes de poursuite	10
2.1 Principe général	10
2.2 Tracker mono-axe	12
2.3 Disposition des capteurs LDR	13

Sommaire

2.4 Tracker double-axe	14
I.9 Conclusion	15

Chapitre II :

II.1 Introduction	16
II.2 Les capteurs	16
II.2.1 Définition d'un capteur	16
II.3 Chaîne de mesure	17
II.3.3 Les caractéristiques d'un capteur	18
III.1 Capteur LDR NSL-19M51	18
III.1 .1Principe d utilisation :	19
III.1.2 Spécifications et limites	19
IV.3 Définition du module Arduino	20
IV.4 Caractéristique de la carte Arduino	20
IV.5 Architecture de la carte	21
IV.6 Présentation matériel de la plateforme Arduino	22
IV.7.1 Le Microcontrôleur.....	22
IV.7.2 Caractéristiques du microcontrôleur ATMEGA 328.....	22
IV.7.3 Les entrées-sorties de la carte	23
IV.7.3.1 Les 14 entrées sorties numériques (pattes 0_13)	23
IV.7.3.2 Les entrées analogiques (pattes A0_A5)	24
IV.7.4 Alimentation de la carte.....	25
IV.7.5 Visualisation.....	25
IV.8.câble USB	25

Sommaire

V. Description des actionneurs :	26
V .1 Servomoteur :	26
a)Description	26
b)Caractéristiques	27
c)Principe de fonctionnement d'un servomoteur :	28
V .2 Relais :	28
a)Description :	29
b) Commande d'un relais :	29
II.7 Conclusion.....	29

Chapitre III :

III.1 Introduction.....	30
III.1 Partie programmation	30
III.1.1 Programmation.....	30
III.1.2 l'organigramme	31
III.1.3 Le programme	32
III.2 Partie simulation.....	34
III.3 Partie électrique	35
3.1 Réalisation du shield.....	35
3.2. Branchement des servomoteurs au shield.....	35
3.3 L'alimentation.....	36
3.4 Les capteurs de positionnement	36
3.5. Capteur de rappelle	37
4. Schéma électrique du circuit	38
Partie mécanique.....	39
1. Structure du tracker.....	39

Sommaire

2. Positionnement des servomoteurs	39
. Schémas final de mon suiveur	40
III. fonctionnement de système.....	40
Conclusion	41
<i>Conclusion Générale</i>	42
Bibliographie.....	43

Liste des Figures

CHAPITRE I:

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

Figure (I.2) les différentes zones énergétiques dans l'Algérie.

Figure (I.3) : Cellule solaire

Figure (I.4) : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Figure (I.5) : Cellule photovoltaïque

Figure (I.6) : L'allure de la caractéristique Courant tension d'une cellule PV au silicium

Figure (I.7) : Modèle équivalent d'une cellule PV au silicium.

Figure (I.8) : Dépendance des performances d'un panneau PV de l'angle β .

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

Figure (I.10) Représentation de l'angle d'inclinaison θ .

Figure (I.11) : Modèle d'un héliostat dans ses premières applications

Figure (I.12) : Types de suiveurs solaires

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

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

Figure I.15 : Principe général de la commande du tracking

Figure I.16 : Schéma synoptique de la technique du tracking

Figure I.17 : représentation des plans 1 et 2 séparant les LDR.

Figure I.18 : Organigramme de la méthode de suivi mono-axe

Figure I.19 : disposition des capteurs LDR pour un tracker mono-axe

Figure I.20 : Vue d'en haut de la disposition des quatre capteurs LDR

Figure I.21 : Organigramme de la méthode de suivi double axe

CHAPITRE II :

Figure II.1 carte de commande d'un tracker solaire (schéma synoptique)

Figure II.2 : Chaîne d'action d'un capteur

Figure II.3 : Chaîne de mesure d'un capteur

Figure II.4 : Schéma de principe d'un capteur industriel

Figure II.5 : Circuit équivalent du capteur LDR utilisé

Figure II.6: Capteur LDR

Figure II.7 : Architecture de la carte Arduino UNO

Figure II.8 : microcontrôleur ATMEGA328

Figure II.9 : Architecture du microcontrôleur ATMEGA328.

Figure II.10 : Convertisseur analogique numérique

Figure II.11 : Graphe de conversion ADL

Figure II.12: schéma électrique de la carte

Figure (II.13) : Câble USB type A/B (Arduino UNO).

Figure II.14 : description général d'un servomoteur.

Figure II.15 : l'angle de l'axe du servomoteur en fonction de la largeur de l'impulsion.

Figure III.16 : relais

Figure II.17 : fonctionnement de relais.

CHAPITRE III

Figure (III.1) : Interface IDE du logiciel Arduino.

Figure (III.2) : Montage du système sous Proteus.

Figure III.3 : Structure du Shield

Figure III.4 : branchement des SV

Figure III.5. Structure des pins des SV.

Figure III.6. Schéma du prototype des capteurs.

Figure III.7. Image du prototype du capteur de rappel

Figure III.8 : Structure du châssis du tracker

Figure III.9 : positionnement des actionneurs

Figure III.10 : Présentation de notre suiveur finalisée

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Spécifications du site de Tizi-Ouzou

Tableau II.1 : Caractéristiques de la LDR NSL-19M51

Tableau II.2 : Caractéristiques du MG996R

Introduction Générale

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

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

L'Algérie réserve de multitude investissements dans la technologie photovoltaïque et ses applications à titre d'exemple le projet HASSI R'MEL. Ce dernier consiste à mettre à profit des concentrateurs solaires cylindro-parabolique muni des systèmes de poursuite solaire [2], [3].

Les premières applications des suiveurs solaires remontent vers les années 1750 où le principe repose sur l'utilisation de l'héliostat. La rotation du miroir de l'héliostat est assurée par un mécanisme d'horlogerie dont la plus ancienne mention du système se trouve dans des publications datant de 1742 du physicien néerlandais Willem Jacob's Gravesande [4].

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

Afin d'aboutir aux objectifs fixés, nous avons organisé notre mémoire de la manière suivante :

- Le premier chapitre, dans lequel on va aborder le rayonnement solaire, les généralités sur le photovoltaïque et les techniques de suiveurs.

- Le second chapitre sera consacré à notre conception et l'étude des blocs constituant notre système.

- Le troisième chapitre, porte sur la réalisation matérielle et logicielle avec la mise en marche de notre système réalisé.

- Enfin, on finalise notre travail par une conclusion générale et quelques perspectives.

I-1 Introduction

L'énergie solaire photovoltaïque est une énergie électrique renouvelable, produite par les rayonnements du soleil.

Le développement de l'exploitation de cette énergie a connu une forte croissance ces dernières années. La production d'électricité par des sources d'énergies renouvelables offre une plus grande sûreté d'approvisionnement des consommateurs tout en respectant les normes écologiques de l'énergie. Le caractère renouvelable d'une énergie dépend de la vitesse à laquelle la source se régénère, mais aussi de la vitesse à laquelle elle est consommée.

I.2 Mouvement du Globe terrestre

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

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

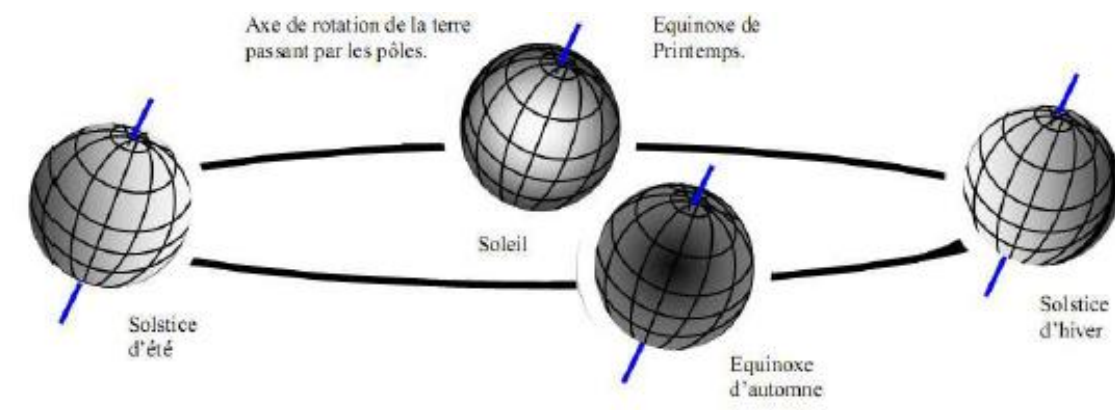


Figure (I.1) : Variation saisonnière du rayonnement solaire [5]

I.3 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/m². L'énergie journalière maximale moyenne (ciel clair, mois de Juillet) dépasse les 6Kw/m² et l'énergie annuelle maximale en Algérie est de l'ordre de 2500 Kw/m² [7]. La carte ci-dessous représente les différentes zones énergétiques de l'Algérie.

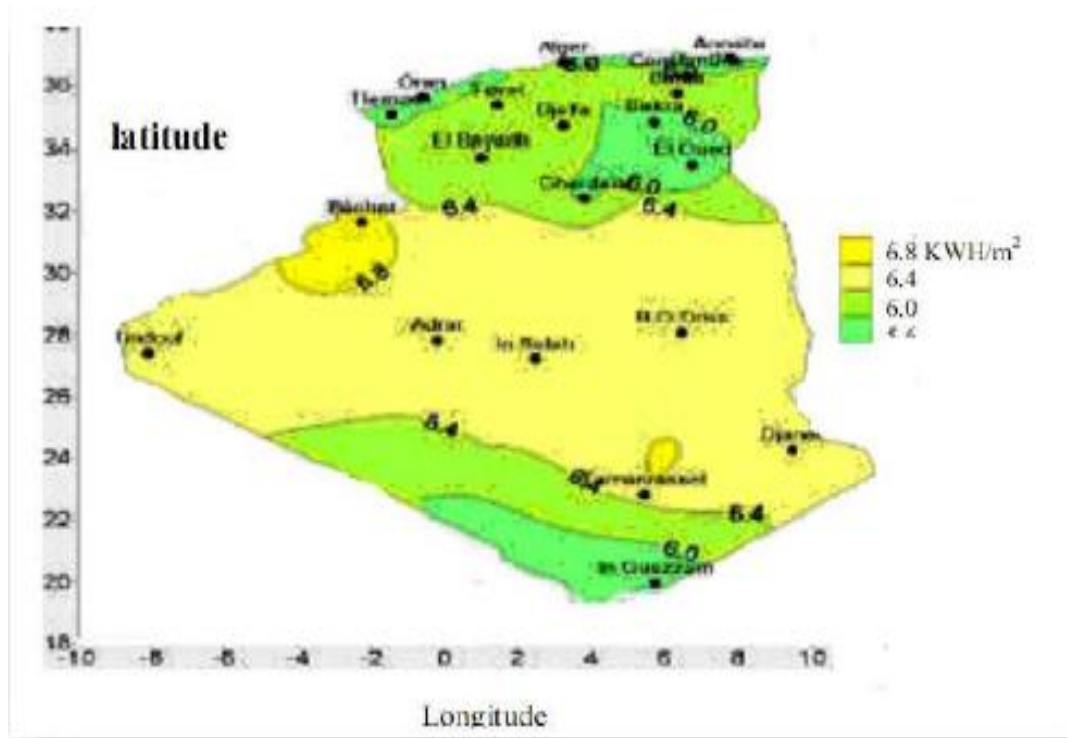


Figure (I.2) : Les différentes zones énergétiques dans l'Algérie [8]

I.4 Spécification du site de Tizi-Ouzou :

Pour le site de Tizi-Ouzou, les spécifications sont données par les grandeurs météorologiques suivantes [12] :

Latitude : 36°42'42" Nord	Longitude : 4°02'45" Est
Albédo : 0.2	Altitude : 195m m

Tableau (I.1) : Spécifications du site de Tizi-Ouzou.

I.5 L'Energie photovoltaïque :

Un système photovoltaïque (PV) est destiné à satisfaire un besoin d'énergie électrique selon des conditions spécifiques d'exploitation. Il est généralement constitué d'un générateur photovoltaïque, d'un système de stockage, de source auxiliaire d'appoint (groupe diesel, aérogénérateur, réseau, etc.....), des systèmes d'interfaces (convertisseurs, réseaux, etc...) d'un système de contrôle et de commande (système de surveillance, armoires électriques, cartes électroniques,..) et d'une utilisation courante d'un usage déterminé. Cet usage (éclairage, réfrigération, pompage, communication,...) est exploité dans divers secteurs (santé, éducation, agriculture, énergie...).

La topologie d'un système PV est déterminée selon d'une part la nature de l'utilisation (nombre de récepteurs, contrainte d'exploitation, sécurité énergétique, ...) et d'autre part des considérations technico-économiques, prenant en compte aussi bien le rendement énergétique que la taille de l'investissement.

La partie principale dans ces installations est le générateur photovoltaïque. Il est composé de divers modules formés par une association série/parallèle de cellules élémentaires convertissant l'énergie solaire (sous forme de rayonnement) en une énergie électrique. Une cellule peut produire 1.5w pour un ensoleillement de 100W/m² avec une tension de 0.6V. Un module de 36 cellules produit une puissance moyenne de 40 à 50W et occupe une surface de 0.5m² environ. Le rendement énergétique moyen est de l'ordre de 12 à 15%, est atteint pour une phase de recherche 30%. La durée de vie d'un tel générateur est estimée à plus de 20 ans [5].

I-6 La cellule solaire

I-6-1-Définition

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

I-6-2-Principe de fonctionnement

L'absorption d'un photon par un semi-conducteur donne naissance à une paire électron-trou lorsque son énergie est supérieure à celle de la largeur de la bande interdite du matériau. Le champ électrique interne à la jonction, entraîne alors le trou vers la région P et l'électron vers la région N.

Par dopage du semi-conducteur de région de type P et de type N ; La cellule solaire est donc une jonction P-N avec des diverses parties représentées sur le schéma de la figure suivante :

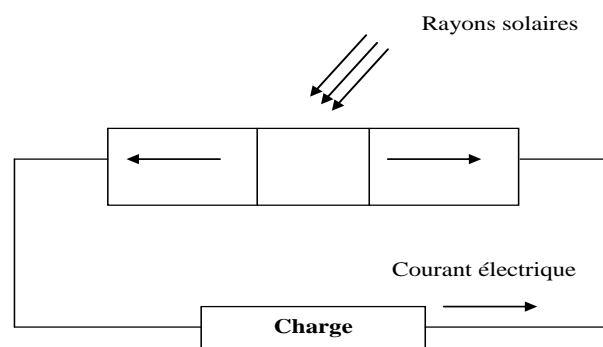


Figure (I.3) : Cellule solaire

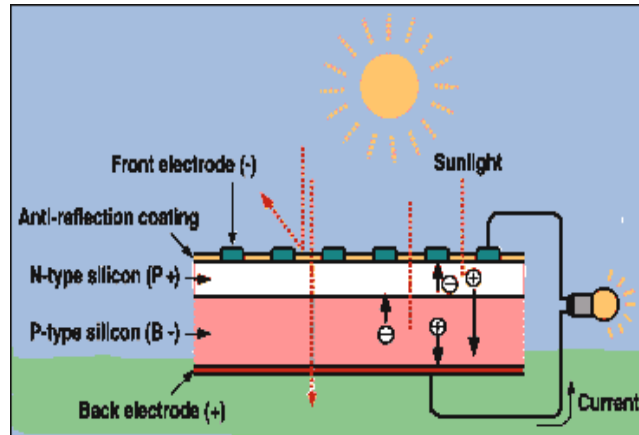


Figure (I.4) : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

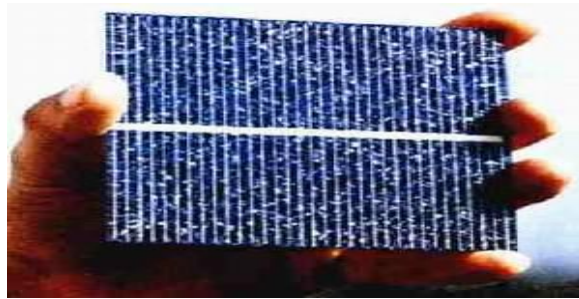


Figure (I.5) : Cellule photovoltaïque

Lorsqu'un photon vient frapper la zone de transition, il arrache un électron à l'atome de Silicium qui va se déplacer du côté N, tandis que le « trou » ainsi créé par cet arrachement va se déplacer du côté P. Il apparaît ainsi aux bornes du dispositif, une différence de potentiel. Si on ferme la cellule sur un circuit extérieur, un courant circule. La cellule qui se comporte comme une pile sensible aux photons (c.à.d. à la lumière) s'appelle des photopiles. Le défaut principal des photopiles reste la limitation de leur rendement, il est de l'ordre de 12% pour une cellule de Silicium monocristallin.

Plusieurs phénomènes entrent en ligne de compte dans cette limitation du rendement, mais les deux principaux sont les suivantes :

- Non absorption des photons peu énergétiques (infrarouge).
- Utilisation partielle de l'énergie de photons très énergétiques (ultraviolet).

La part de cette énergie qui n'est pas employée est dissipée dans le matériau sous forme de chaleur.

Une cellule photovoltaïque représentée par la caractéristique $I_p = f(V)$ peut être schématisée comme suit :

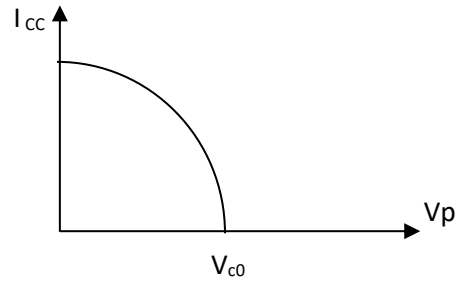


Figure (I.6) : L'allure de la caractéristique Courant-tension d'une cellule PV au Silicium

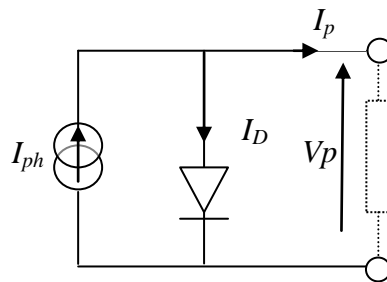


Figure (I.7) : Modèle équivalent d'une cellule PV au Silicium

La caractéristique électrique d'une diode est régie par :

$$I_D = I_s \left(e^{\frac{V_d}{V_T}} - 1 \right) \quad (I-1)$$

Le courant dans une cellule PV est donnée par :

$$I_p = I_{ph} - I_D = I_{ph} - I_s \left(e^{\frac{V_d}{V_T}} - 1 \right) \quad (I-2)$$

I_p : courant fournie par une cellule (A)

I_{ph} : photo courant (A)

I_D : courant diode (A)

I_s : courant inverse de la jonction PN

V_p : tension aux bornes de la cellule (V)

$V_T = K.T/q$: potentielle thermique

q : charge électrique élémentaire (C)

k : constante de Boltzmann, $k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K}$

T : température en °K [6]

I.7 Le rendement d'un panneau photovoltaïque :

I.7 -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 comme le cas de notre Sahara, d'après des recherches et des essais des chercheurs, ont constaté que les systèmes au Silicium amorphe sont préférés à ceux au mono ou poly-cristallin) [7].

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

$$R(\%) = \frac{PEP}{PSR} \quad (I-3)$$

I.7 -2-Positionnement

Comme mentionné auparavant, l'énergie fournie par le panneau PV dépend fortement de la quantité d'éclairement solaire absorbée par ce dernier. Cette quantité dépend de l'orientation du panneau par rapport au soleil. Pour collecter le maximum d'énergie, le panneau PV doit être constamment orienté perpendiculairement aux rayons solaires [8] (Figure (I.8)).



Figure (I.8) : Dépendance des performances d'un panneau PV de l'angle β[9]

Avec : β l'angle formé entre le plan du panneau et les rayons lumineux incidents, l'angle optimal correspond à un angle de 90° comme indiqué dans la figure (I.8).

Chaque fois que cet angle diminue ou augmente, la surface (m²) 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 [8].

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

$$RN = \sin(\beta) \times 100 \quad (I-4)$$

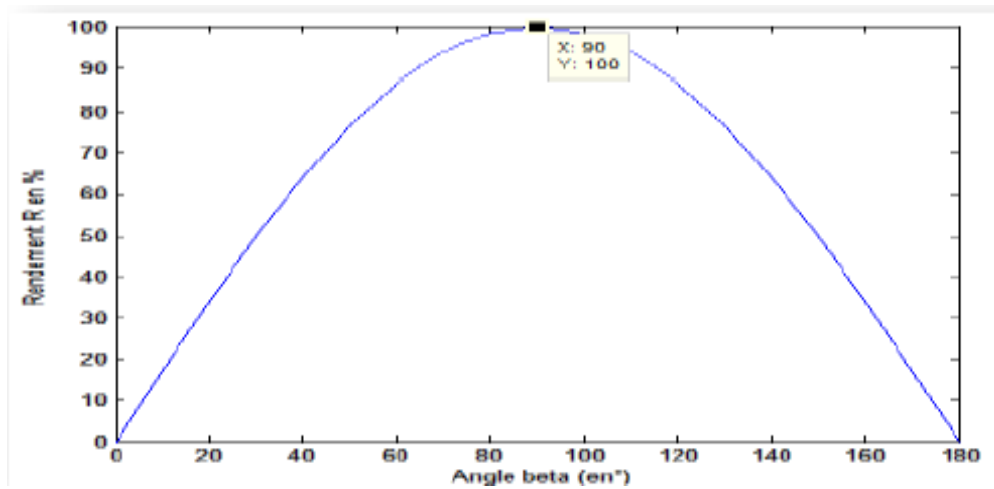


Figure (I.9) : Rendement en puissance solaire exploitée en fonction de l'angle β des rayons solaires [9]

I.7 -3-Positionnement (angle d'inclinaison)

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



Figure (I.10) : Représentation de l'angle d'inclinaison θ [9]

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

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 les 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) qui permettant de suivre le soleil tout au long de la journée. Pour cela, la structure possède deux degrés de liberté qui sont :

- une rotation horizontale pour régler l'azimut (\Leftrightarrow).
- une rotation verticale pour l'inclinaison (\Uparrow).

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 [8].

I.8 Etat de l'art des techniques de suivi :

Les panneaux photovoltaïques classiques (PV) ne sont généralement pas équipés de suiveurs solaires 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 [8].

I. 8-1- Les premières utilisations

Les premières applications des suiveurs solaires remontent vers les années 1750 où le principe repose sur l'utilisation de l'héliostat (figure (I.11)).

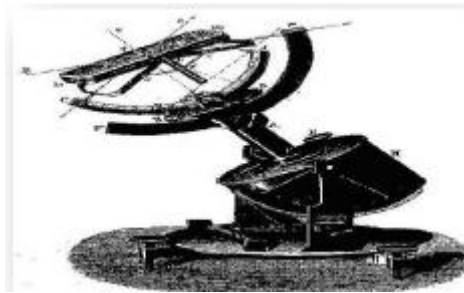


Figure (I.11) : Modèle d'un héliostat dans ses premières applications [4]

La rotation de ce dernier est assurée par un mécanisme d'horlogerie dont la plus ancienne mention du système se trouve dans des publications datant de 1742 du physicien néerlandais Willem Jacob's Gravesande [4].

Un champ d'héliostats repère le mouvement du soleil en convergeant les rayons lumineux vers un même point, concentrant ainsi la lumière incidente en employant des miroirs de réflexion, tout au long de la journée. Ce système se rencontre dans diverses installations utilisant l'énergie solaire, notamment les centrales solaires à concentration appelées champs d'héliostats. Un exemple en France de la centrale solaire Thémis qui après avoir fonctionné de 1983 à 1986, fait l'objet d'une nouvelle expérimentation depuis 2007 [9].

I. 8 -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.12)).

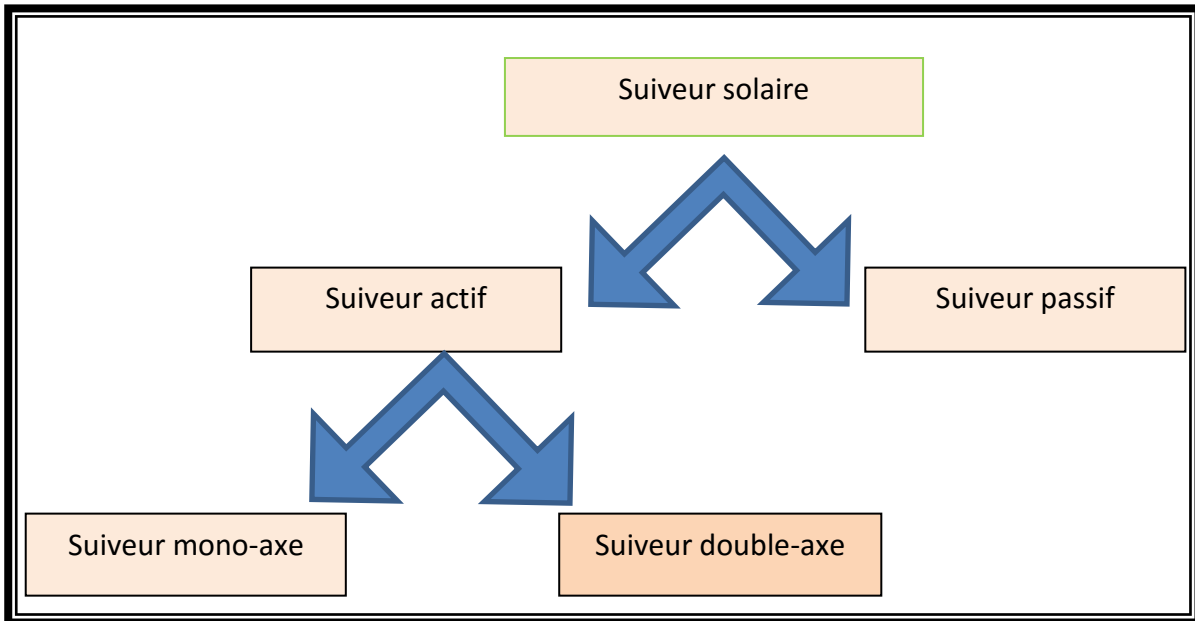


Figure (I.12) : Types de suiveurs solaires

I. 8. 2-1-Suiveur passif

Le premier type des suiveurs passifs est constitué dans son architecture de deux tubes en cuivre montés sur les côtés Est et Ouest du panneau PV. Le tube de matière cuivre (entouré dans la figure I.13) 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 [10].

La partie gazeuse du composé occupe un plus grand volume interne, et sa partie liquide est décalée vers le côté ombragé. Cette opération de transfert de masse ajuste l'équilibre du panneau PV en le faisant tourner vers la source des rayons solaires. Ce type de suiveur ne consomme aucune énergie pour le repositionnement du panneau.

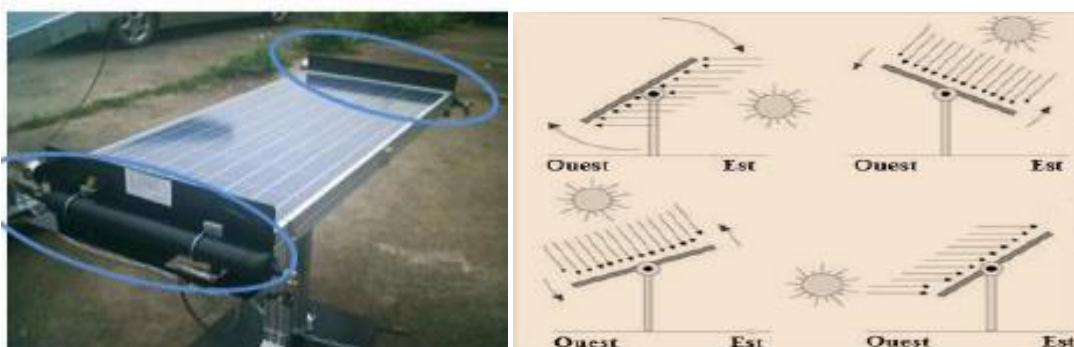


Figure (I.13) : Exemple et fonctionnement du suiveur passif [10]

I. 8 2-2-Suiveur actif

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, est qu'ils représentent une meilleure précision de suivi et ne nécessitent aucune intervention manuelle pour les réajustés [8].

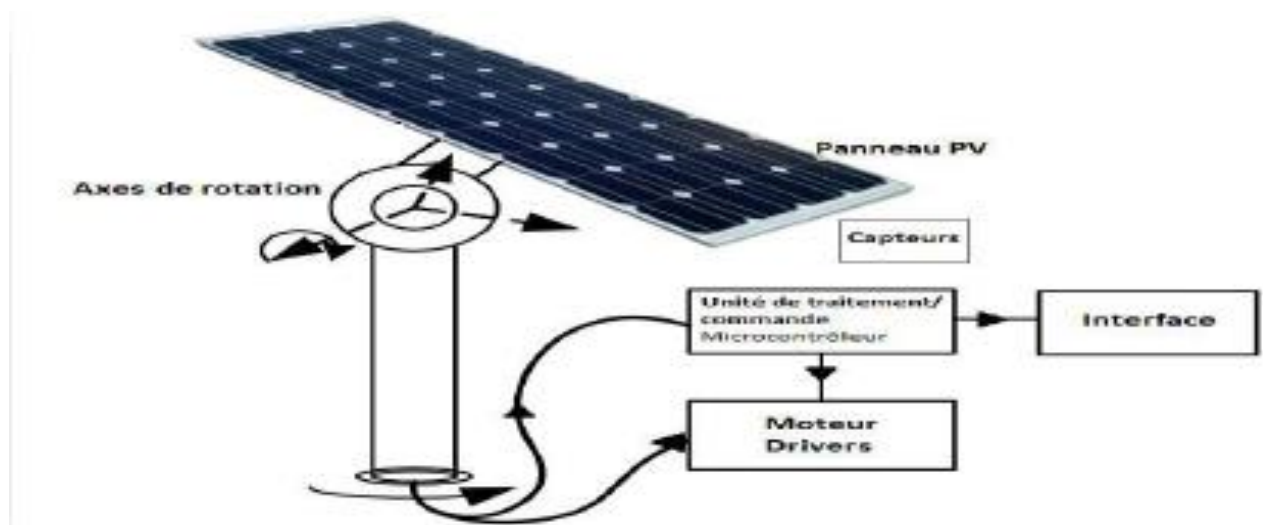


Figure (I.14) : Exemple et fonctionnement du suiveur actif [7]

I.9 Méthodes de poursuite

I.9.1 Principe général

Les deux types de trackers solaires qui existent sont soit mono-axe soit double axe, qui s'appuie sur le même principe de poursuite, illustré dans la figure I.15.

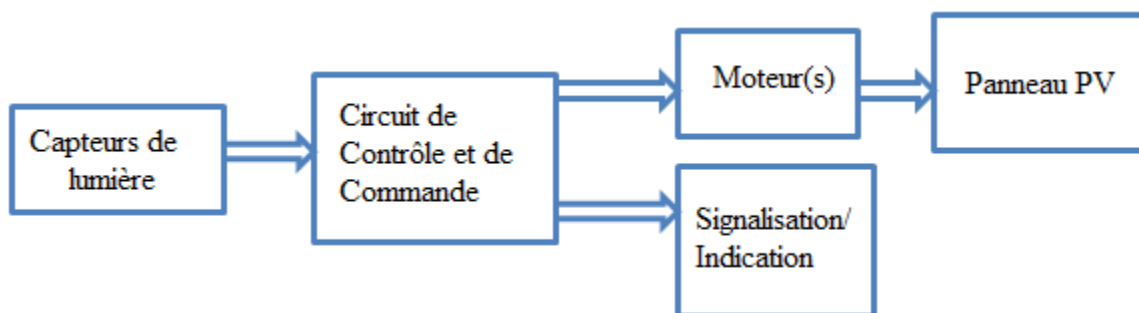


Figure (I.15) : Principe général de la commande du tracking

La technique utilisée pour cette étude repose sur la différence d'éclairement incident sur les capteurs de lumière photorésistance ou LDR (Light-Dependent-Resistor) séparés par des parois opaques et placés sur le panneau PV (figure I.16).

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 au servomoteur pour repositionner le panneau perpendiculairement aux rayons solaires.

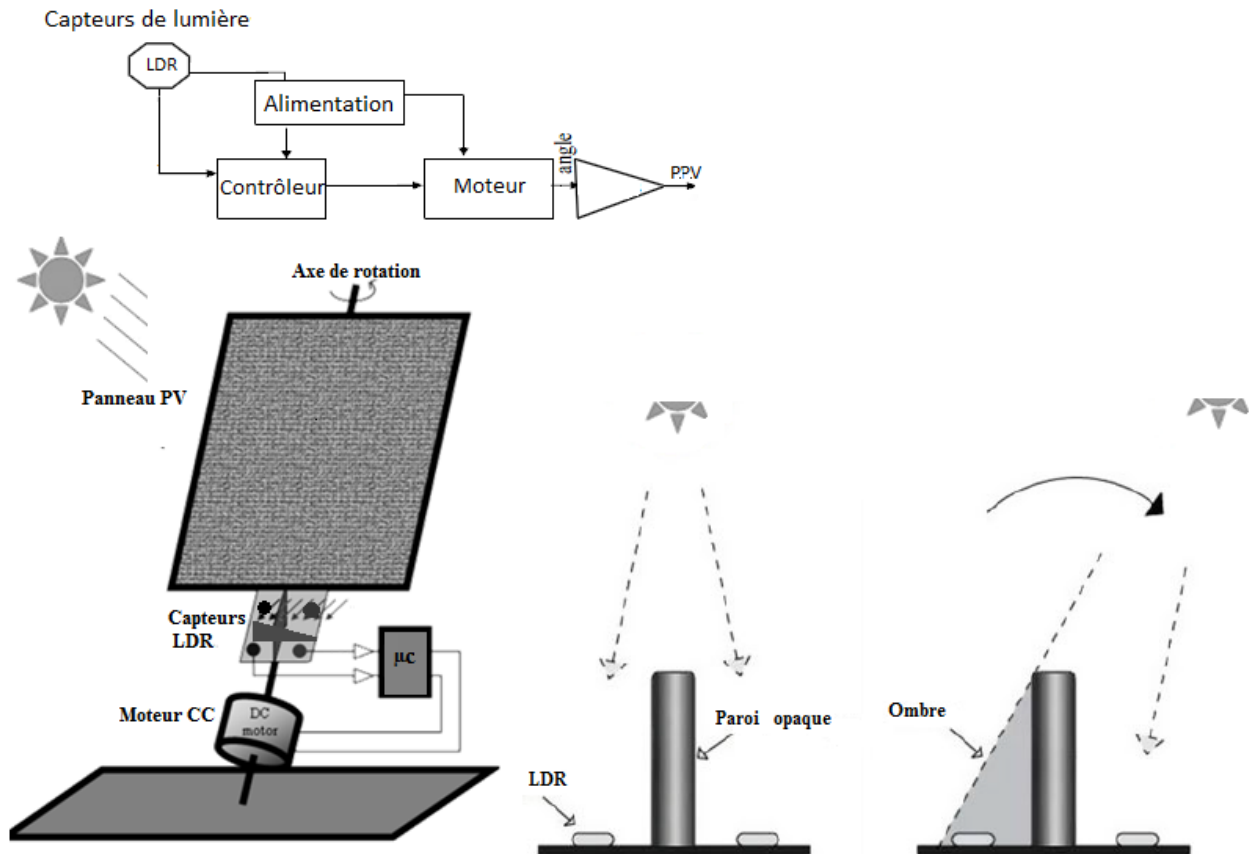


Figure (I.16) : Schéma synoptique de la technique du tracking

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 I.17.

Remarque :

Dans le cas d'un suiveur mono axe, une seule paroi est utilisée pour ombrager l'un des deux capteurs.

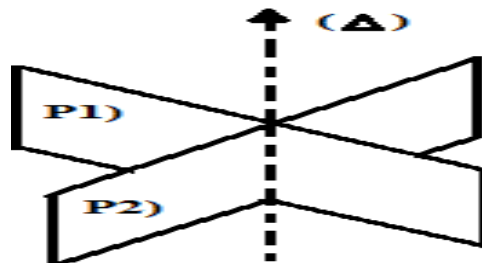


Figure (I.17) : Représentation des plans 1 et 2 séparant les LDR

I.9.2 Tracker mono-axe

En partant du principe général précédent, on retrouve le suiveur mono-axe qui permet une rotation selon l'axe d'azimut seulement, et qui est le plus souvent utilisé en raison de sa simplicité. Le principe de fonctionnement repose sur l'algorithme de suivi décrit dans l'organigramme suivant (figure I.18).

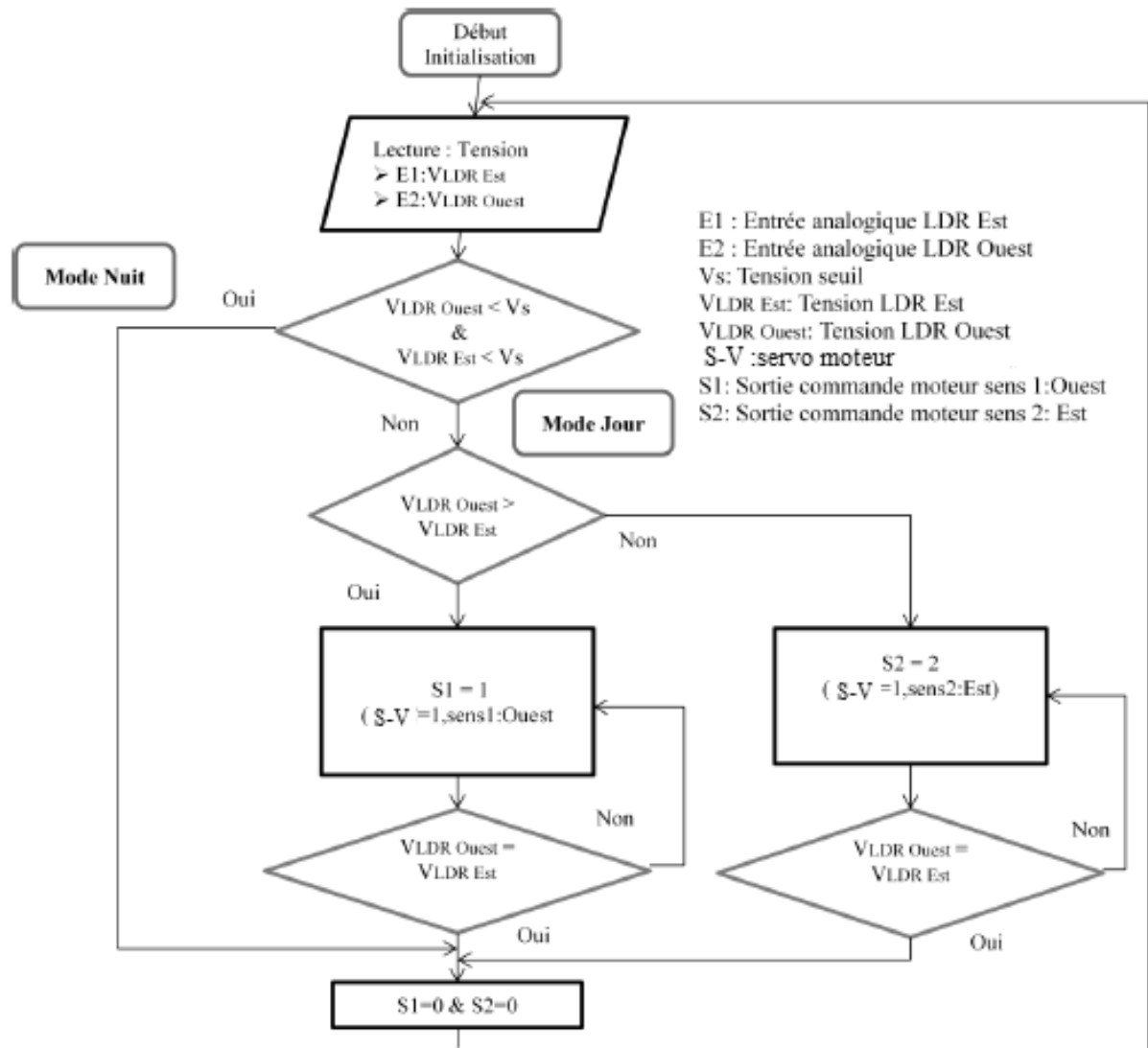


Figure (I.18) : Organigramme de la méthode de suivi mono-axe

Comme montré dans la figure I.18, on différencie d'abord entre le mode jour et le mode nuit via les tensions des deux capteurs de lumière LDR. Si la tension délivrée est inférieure à Vs (tension seuil en V) aucun changement n'est porté à la position du panneau, le système est en mode arrêt.

Si on prend par exemple le cas où $V_{LDR\ Ouest} > V_{LDR\ Est}$, cela signifie que le capteur de lumière situé à l'Ouest est plus exposé au rayonnement solaire alors que l'autre capteur est ombragé, la sortie S1 est donc activée, le panneau s'oriente vers la source de lumière direction Ouest. On

suit le même raisonnement dans le cas inverse. Globalement, on peut distinguer les 4 cas suivants :

$V_{LDR\ Ouest} < V_s$ & $V_{LDR\ Est} < V_s$ 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,	Panneau est dans une position optimale.

I.9.2.1 Disposition des capteurs LDR

Pour les quatre cas cités précédemment, 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 I.19 ; en effet « ϵ » est l'angle seuil de déclenchement ou seuil de l'ombre solaire.

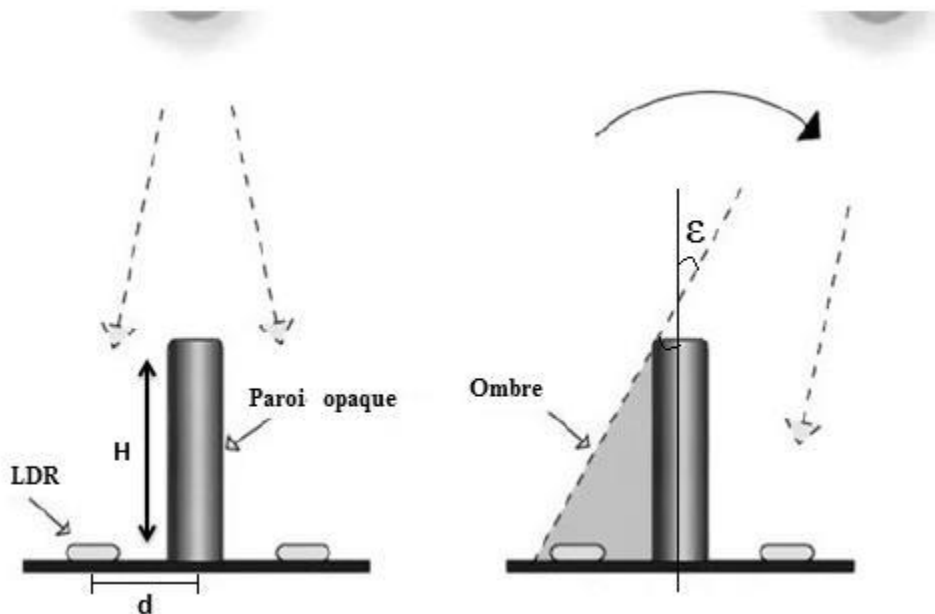


Figure (I.19) : disposition des capteurs LDR pour un tracker mono-axe

Ces paramètres sont définis par les équations suivantes :

$$\epsilon = \frac{d}{\sqrt{d^2 + H^2}} \quad (1.5)$$

$$H = \frac{d}{\tan(\epsilon)} \quad (1.6)$$

où :

H : Hauteur de la paroi en (cm).

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

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

I.9.3 Tracker double axe

Pour assurer un suivi complet de la course solaire (en azimut et en zénith), on additionne à l'architecture précédente deux autres capteurs LDR pour couvrir les changements (Nord-Sud) de la «déclinaison solaire» qui varie de $+23.45^{\circ}$ à -23.45° durant l'année.

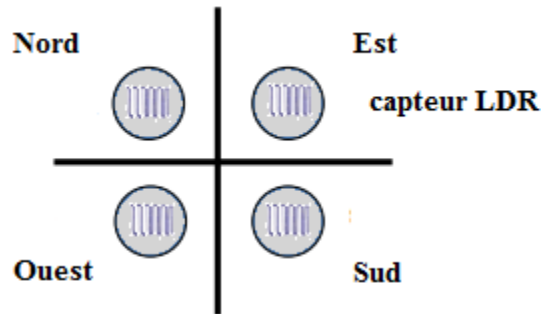


Figure (I.20) : Vue d'en haut de la disposition des quatre capteurs LDR

Le principe est le même pour le suiveur mono-axe, il est basé sur la différence d'éclairement des quatre LDR. La figure I.21 représente l'organigramme de l'algorithme de poursuite en double axe. En plus des cas étudiés ci-dessus pour le mono-axe, on rajoute les trois autres cas suivant :

$V_{LDR\ Nord} > V_{LDR\ Sud}$, rotation du panneau PV vers le Nord.

$V_{LDR\ Nord} < V_{LDR\ Sud}$, rotation du panneau PV vers le Sud.

$V_{LDR\ Ouest} = V_{LDR\ Est}$ & $V_{LDR\ Nord} = V_{LDR\ Sud}$ Condition d'arrêt, le panneau est dans une position optimale.

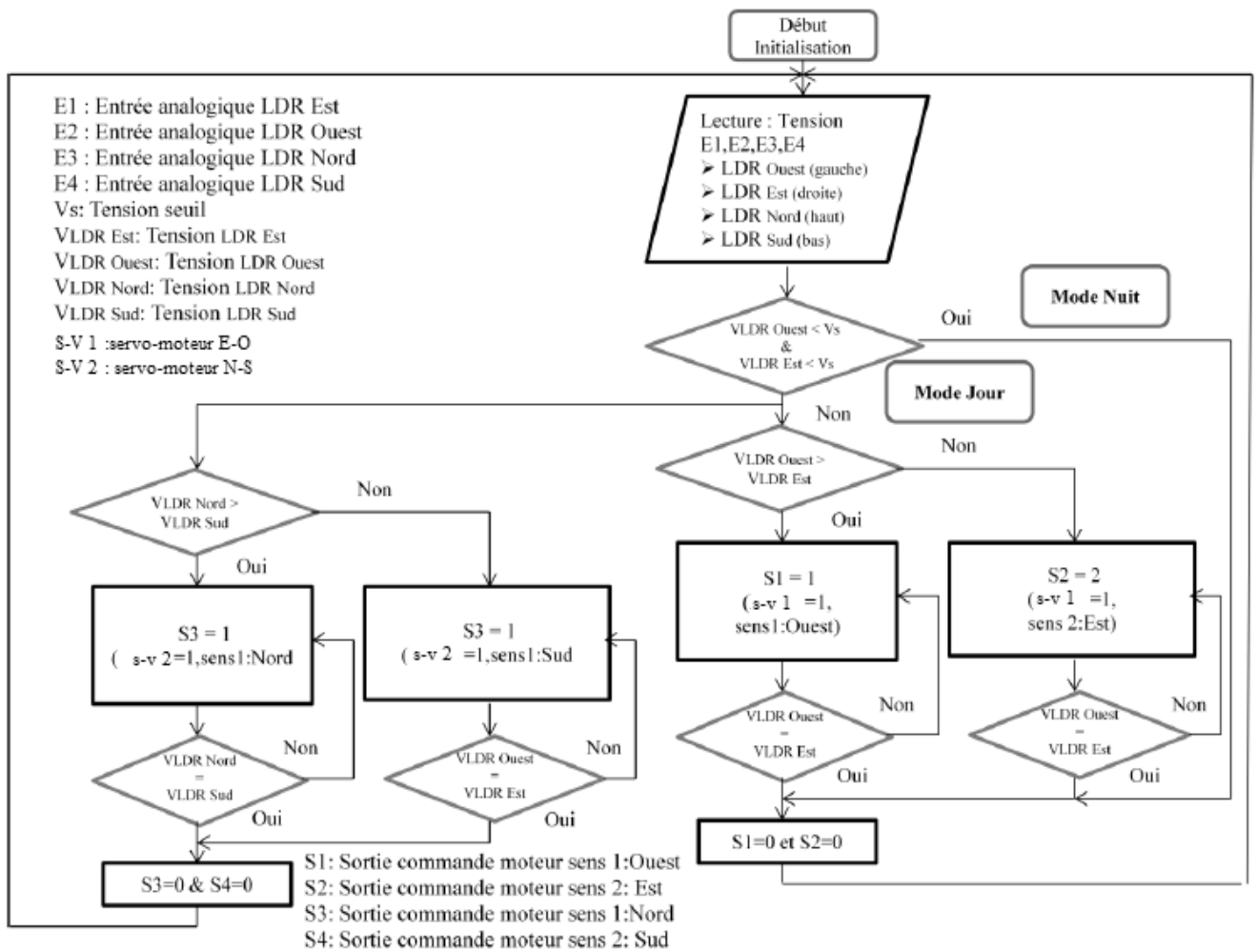


Figure (I.21) : Organigramme de la méthode de suivi double axe

I.10 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons démontré la nécessité de déterminer avec exactitude les trajectoires empruntées par le soleil, de manière à définir la meilleure façon avec laquelle sera effectué le suivi automatique.

Nous avons aussi présenté un état de l'art sur les méthodes de suivi. Un intérêt particulier a été porté à la technique de suivi active (double axe) ou asservi reposant sur le principe du repérage via des capteurs de lumière. C'est cette technique qu'on a adoptée et qui va être étudiée en vue d'une réalisation matérielle.

L'étape suivante consiste à donner une étude détaillée des composants constituant notre système de commande.

II.1 Introduction

Cette deuxième étape est consacrée à la conception ainsi qu'à l'étude détaillée de certains composants importants constituant notre tracker.

II.2 Schéma synoptique

Le schéma synoptique de système tracker que nous avons conçu est représenté dans la figure II.1. Notre choix s'est porté sur l'utilisation d'un microcontrôleur ATmega qui est intégré dans la carte Arduino, des capteurs LDR, des servomoteurs, d'un relais et d'équipements mécaniques qui servent d'axes.

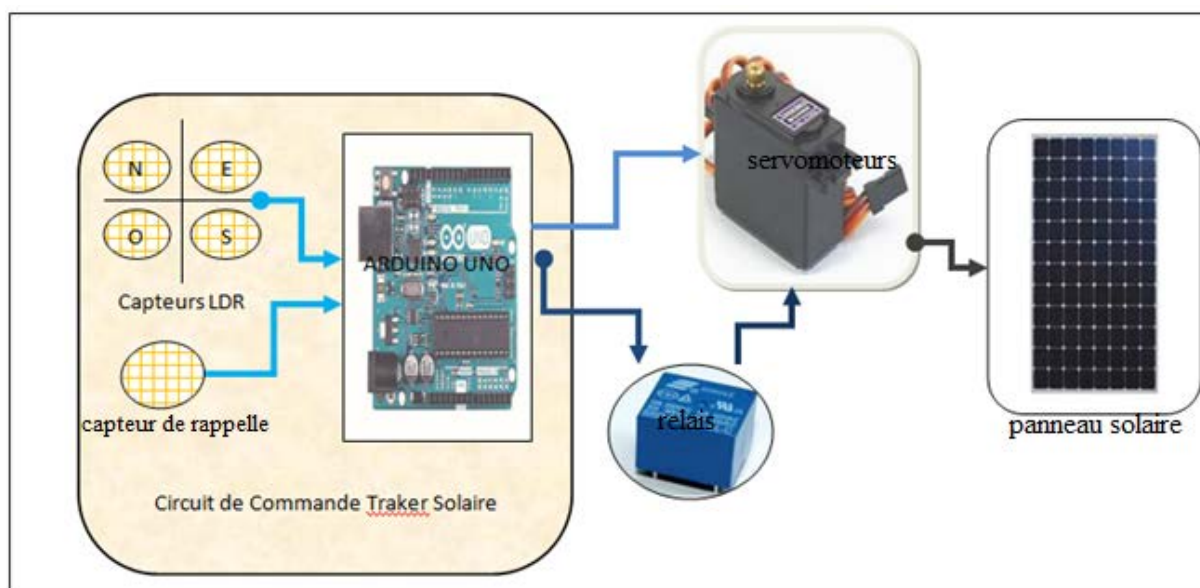


Figure II.1 : Schéma synoptique du tracker solaire

II.3 Les capteurs

II.3.1 Définition d'un capteur

Un capteur est un dispositif convertissant une grandeur physique analogique (pression, température, déplacement, débit,...) en un signal analogique rendu transmissible et exploitable par un système de conditionnement (courant électrique, radiation lumineuse, radiofréquence). Le capteur est la partie d'une chaîne de mesure qui se trouve au contact direct du mesurande.

Dans l'immense majorité des cas, le signal de sortie est électrique en raison de la facilité de transmission de l'information sous cette forme (câblage), même si les signaux optiques transmis par fibre sont de plus en plus fréquents. La tension ou l'intensité de ce signal est alors l'image de la mesurande par une loi continue qu'on souhaite idéalement linéaire ou affine, telle que :

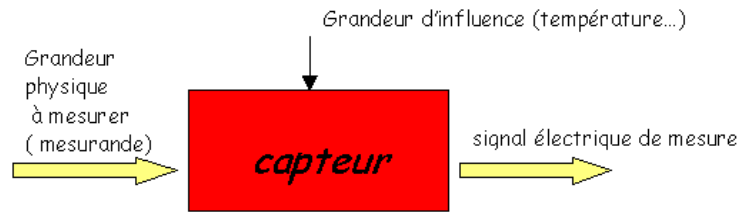


Figure II.2 : Chaîne d'action d'un capteur

II.3.2 Chaîne de mesure

Généralement, le signal de sortie de capteur n'est pas directement utilisable. On appelle chaîne de mesure l'ensemble des circuits ou appareils qui amplifient, adaptent, convertissent, linéarisent, digitalisent le signal avant sa lecture sur le support de sortie.

Pour obtenir une image d'une grandeur physique, la chaîne de mesure peut faire intervenir plusieurs phénomènes différents. Par exemple, la mesure d'un débit peut se faire en plusieurs étapes :

- Transformation du débit en une pression différentielle.
- Transformation de la pression différentielle en la déformation mécanique d'une membrane.
- Transformation de la déformation mécanique en une grandeur électrique (à l'aide d'un piézoélectrique) via un circuit électrique associé.

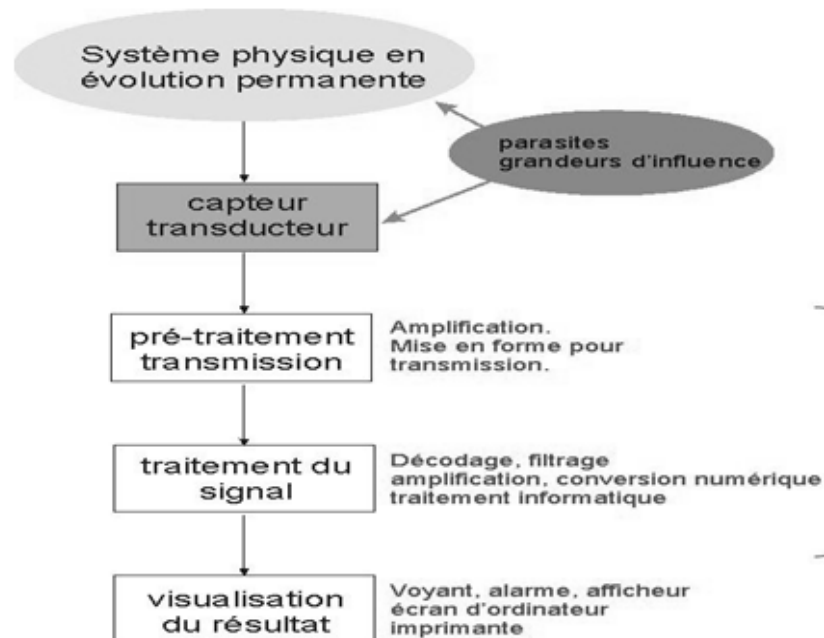


Figure II.3 : Chaîne de mesure d'un capteur

Chapitre II : Conception et étude des composants

Si l'on s'intéresse aux phénomènes physiques mis en jeu dans les capteurs, on peut classer ces derniers en deux catégories : Capteurs actifs et Capteurs passifs.

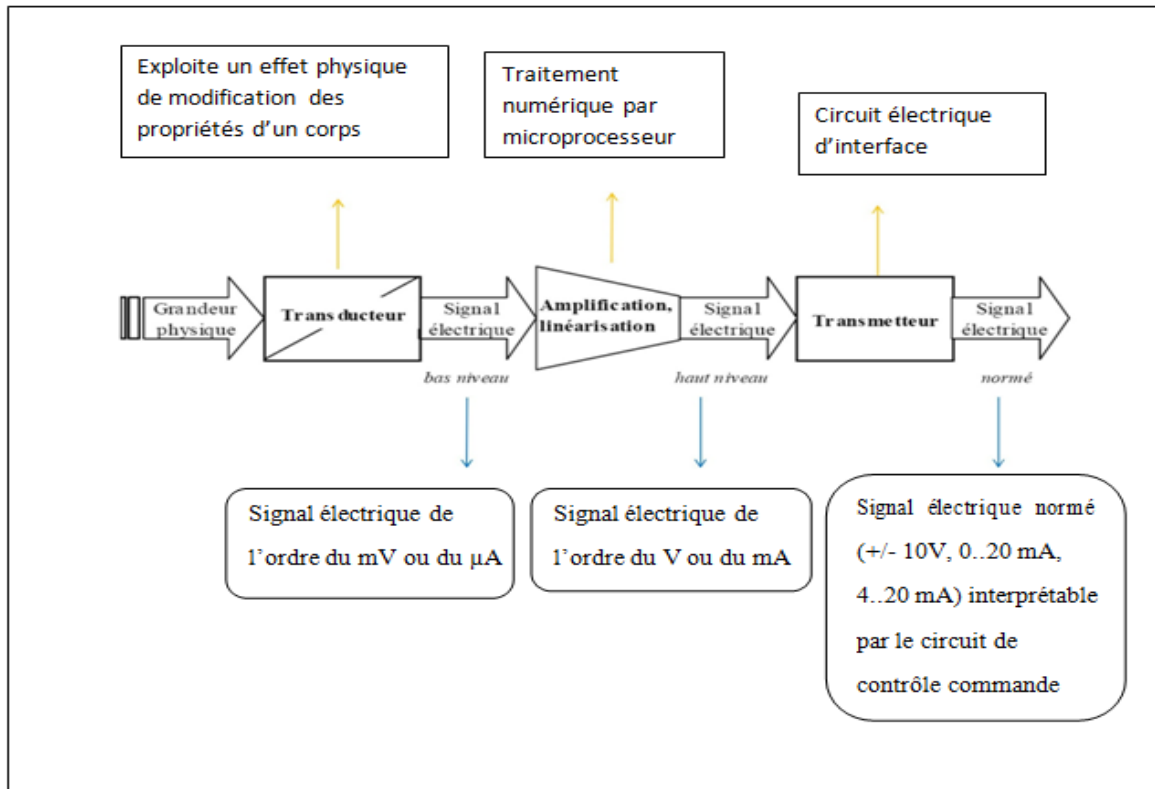


Figure II.4 : Schéma de principe d'un capteur industriel

II.3.3 Caractéristiques d'un capteur

Etendue de mesure : Valeurs extrêmes pouvant être mesurée par le capteur.

Résolution : Plus petite variation de grandeur mesurable par le capteur.

Sensibilité : Variation du signal de sortie par rapport à la variation du signal d'entrée.

Précision : Aptitude du capteur à donner une mesure proche de la valeur vraie.

Rapidité : Temps de réaction du capteur. La rapidité est liée à la bande passante.

Linéarité : représente l'écart de sensibilité sur l'étendue de mesure.

II.4 Capteur LDR NSL-19M51

La photorésistance ou LDR 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.

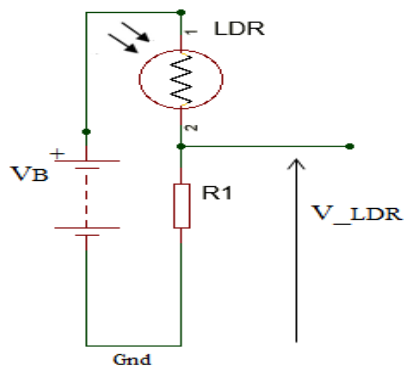


Figure II.5: Circuit équivalent du capteur LDR utilisé



Figure II.6: Capteur LDR

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

$$V_{LDR} = \frac{V_B \times R_1}{R_{LDR} + R_1} \quad (2.1)$$

où : V_B tension batterie (V)

R_{LDR} : résistance de la LDR (Ω)

II.4.1 Principe d'utilisation

La principale utilisation de la photorésistance LDR dans notre système est la mesure de l'intensité lumineuse. En outre, des matériaux utilisés qui sont généralement du sulfure ou du sélénure de cadmium [16] qui se comportent comme des semi-conducteurs, ce capteur représente un temps de réponse de 120 millisecondes pour un éclaircissement de 10 lux (valeur pour des conditions d'ensoleillement faible).

II.4.2 Spécifications et limites

Le tableau ci-dessous représente les valeurs typiques de fonctionnement de la photorésistance solaire utilisée [16].

Résistance à la lumière	minimum = 20 kOhms
Résistance d'obscurité	20MOhms
Temps de chute	55ms
Temps de croissance	45ms
Matériau de la résistance	sulfure de cadmium (CdS)
Nombre de broches	2
Résistance à la lumière maximum	100kOhms
Température d'utilisation maximum	75°C

Tableau III.1 : Caractéristiques de la LDR NSL-19M51

II.5 Définition du module Arduino

Le module Arduino est un circuit imprimé en matériel libre (plateforme de contrôle) dont les plans de la carte elle-même sont publiés en licence libre dont certains composants de la carte : comme le microcontrôleur et les composants complémentaires qui ne sont pas en licence libre. Un microcontrôleur programmé peut analyser et produire des signaux électriques de manière à effectuer des tâches très diverses. L'Arduino est utilisé dans beaucoup d'applications comme l'électrotechnique industrielle et embarquée ; le modélisme, la domotique mais aussi dans des domaines différents comme l'art contemporain et le pilotage d'un robot, commande des moteurs et réaliser des jeux de lumières, communiquer avec l'ordinateur, commander des appareils mobiles (modélisme).

Chaque module d'Arduino possède :

-un régulateur de tension+5 V.

- un oscillateur à quartz 16 MHz (ou un résonateur céramique dans certains modèles).

Pour programmer le microcontrôleur ATMEGA, on utilise un IDE Arduino [17][18].

II.5.1 Caractéristique de la carte Arduino

Parmi les caractéristiques les plus importantes de la carte Arduino, nous avons retenu les suivantes :

- Pas cher : les cartes Arduino sont relativement peu coûteuses comparativement aux autres plateformes.
- Multiplateforme : l'environnement Arduino, écrit en java, tourne sous les systèmes d'exploitation Windows, Macintosh et Linux. La plupart des systèmes à microcontrôleurs sont limités à Windows.
- Un environnement de programmation claire et simple : l'environnement de programmation Arduino est facile à utiliser pour les débutants, tous en étant assez flexible pour que les utilisateurs avancés puissent en tirer profit également.
- Logiciel open source est extensible : le logiciel Arduino et le langage Arduino sont publiés sous License open source, qui est disponible et peut être complétée par des programmeurs expérimentés.

Chapitre II : Conception et étude des composants

- Matériel open source est extensible : les cartes Arduino sont basées sur les microcontrôleurs Atmel ATMEGA2560, ATMEGA 168, ATMEGA 328, etc. les schémas des modules sont publiés sous une licence créative Commons, et le concepteur de circuits expérimentés peuvent réaliser leurs propres versions des cartes Arduino, en les complétant et en les améliorant.
- La carte Arduino est capable de stocker un programme et de le faire exécuter.
- La carte reçoit des informations analogiques ou numériques sur ces entrées et génère des informations analogiques ou numériques.
- Le microcontrôleur traitera ces informations et les transmettra vers les sorties numériques.
- Récupère les données des capteurs en vue de les transmettre à l'interface de commande (pc) et traduire les instructions pour faire fonctionner les actionneurs.

II.5.2 Architecture de la carte

La figure suivante illustre le schéma synoptique de la carte Arduino.

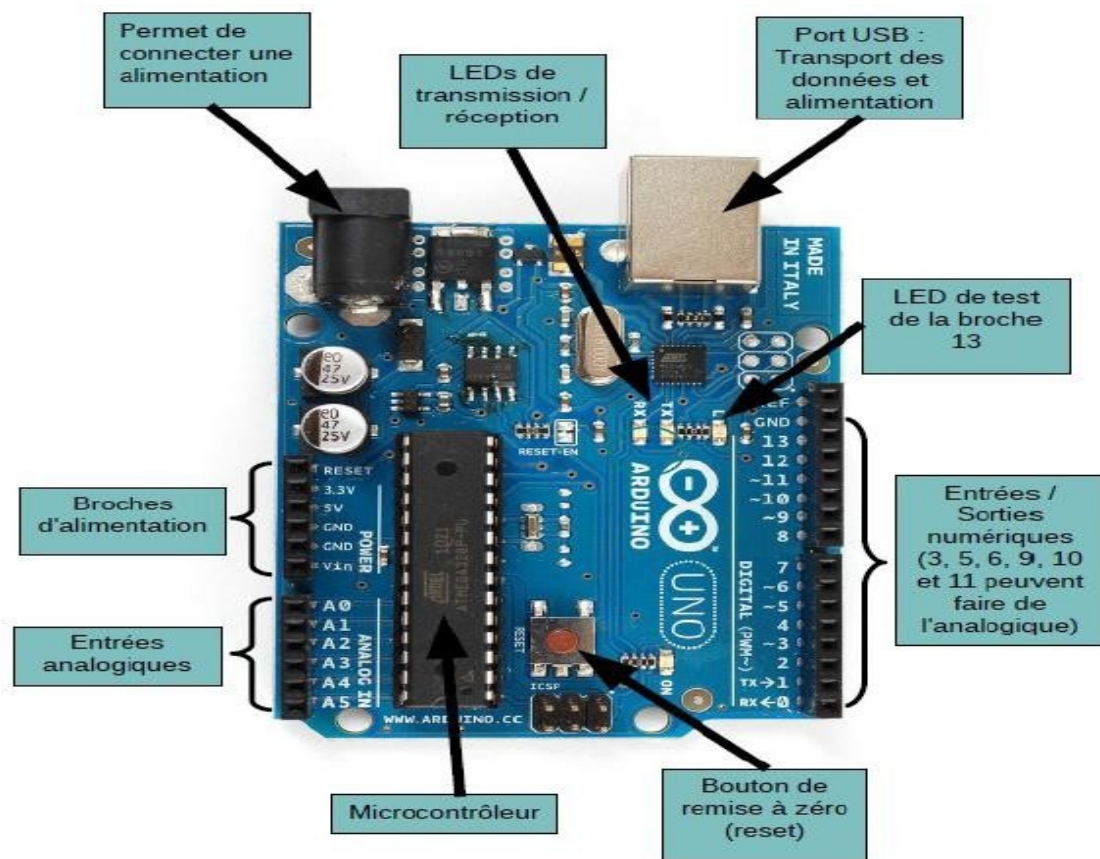


Figure II.7 : Architecture de la carte Arduino UNO

II.5.3 Présentation matériel de la plateforme Arduino

L'Arduino est composé de deux parties indissociables :

Chapitre II : Conception et étude des composants

-La carte qui est la partie hardware avec laquelle on travaille, en réalisant des projets.

-La plateforme IDE ARDUINO qui est la partie logicielle fonctionnant sur PC. Celle-ci permet de mettre au point et de transférer le programme qui sera par la suite exécutée par la carte ARUINO.

II.5.3.1 Le Microcontrôleur

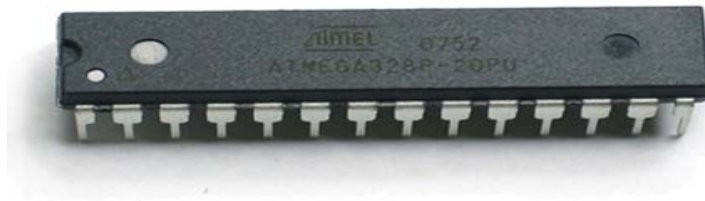


Figure II.8 : microcontrôleur ATMEGA328

II.5.3.2 Caractéristiques du microcontrôleur ATMEGA 328

- C'est un microcontrôleur ATMEL de la famille AVR 8bits.
- FLASH = mémoire programme de 32Ko.
- SRAM = mémoire de données (volatiles) 2Ko.
- EEPROM = mémoire de données (non volatiles) 1Ko.
- Digital I/O (entrées-sorties Tout Ou Rien) = 3 ports Port-A, Port-C, Port-D (soit 23 broches en tout I/O).
- Timers/Counters : Timer0 et Timer2 (comptage 8 bits), Timer1 (comptage 16bits) Chaque Timer peut être utilisé pour générer deux signaux PWM. (6 broches OCxA/OCxB).
- Plusieurs broches multifonctions : certaines broches peuvent avoir plusieurs fonctions différentes choisies par programmation.

La figure ci-dessous montre la structure interne du microcontrôleur ATMEGA328 :

Chapitre II : Conception et étude des composants

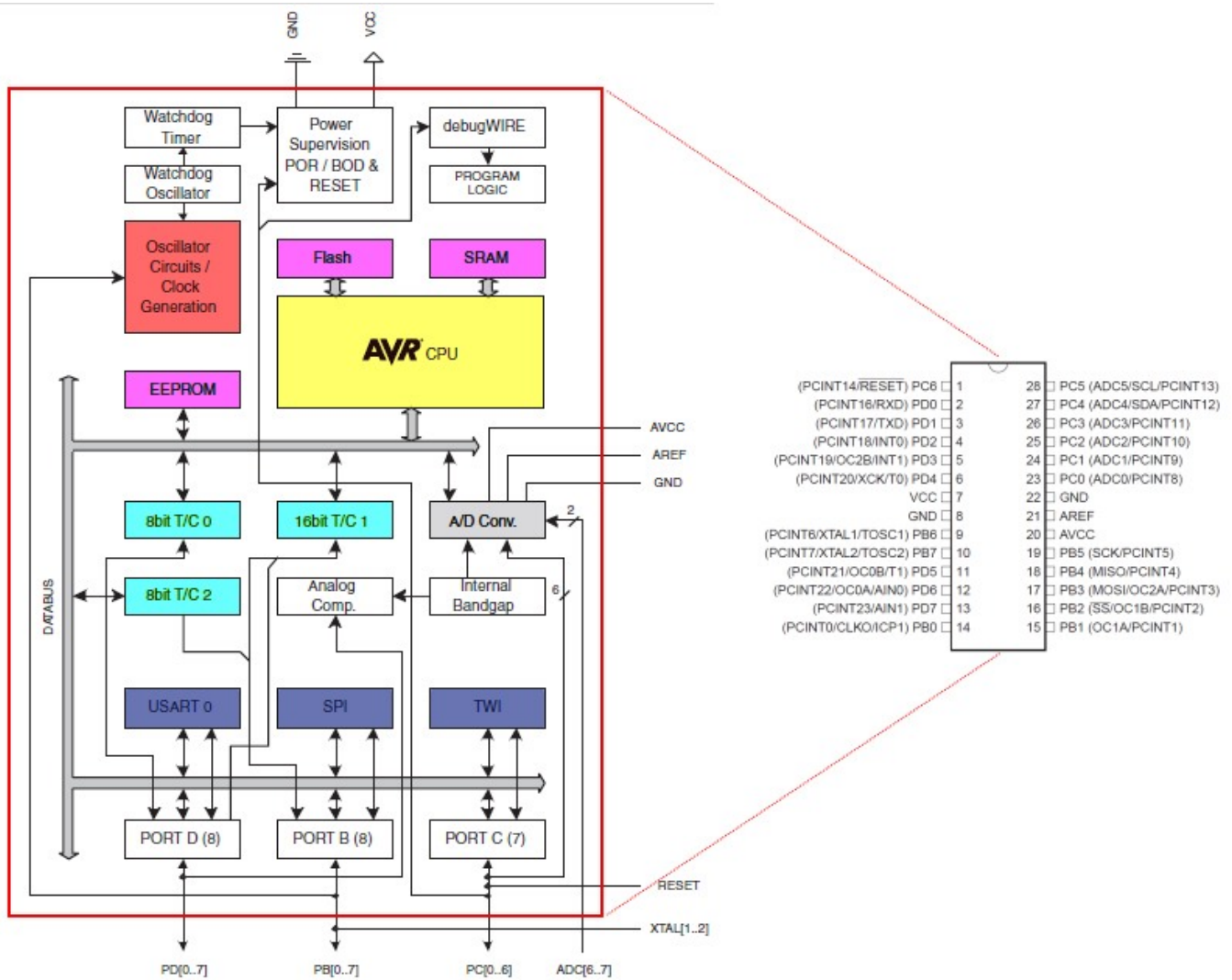


Figure II.9 : Architecture du microcontrôleur ATMEGA328.

II.5.3.3 Les entrées-sorties de la carte

La carte Arduino possède 14 entrées-sorties numériques (pattes 0-13), et 6 entrées analogues (A0-A5).

II.5.3.4 Les 14 entrées sorties numériques (pattes 0_13)

Elles peuvent être configurées en entrée ou en sortie en les indiquant dans le programme.



Chapitre II : Conception et étude des composants

Côté entrée : des capteurs qui collectent des informations sur l'environnement comme la variation de température via une sonde thermique, le contact via un bouton-poussoir.

Côté sortie : des actionneurs qui agissent sur le monde physique telle une petite lampe qui produit de la lumière, un moteur qui actionne un bras articulé...etc.

Chaque broche peut fournir ou recevoir un maximum de 40mA d'intensité. Certaines broches ont des fonctions spéciales.

II.5.3.5 Les entrées analogiques (pattes A0_A5)

Ces pattes sont réservées à la mesure de signaux analogiques et permettent de convertir une tension analogique V_E de 0 à 5 V en une valeur numérique.



Pour être traitées par le microcontrôleur, ces entrées analogiques sont prises en charge par un CAN Convertisseur Analogique Numérique ou ADC (Analog Digital Converter) dont le rôle est de convertir l'échantillon de tension V_E en une grandeur numérique binaire sur n bits.

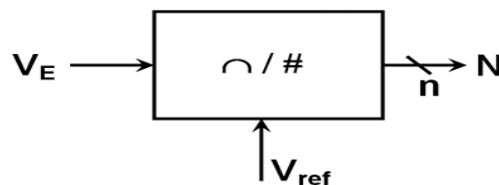


Figure II.10 : Convertisseur analogique numérique

Le principe de la conversion Analogique-Numérique est représenté ci-dessous (avec $n=3$ bits et la tension de référence $V_{ref}=5$ Volts) :

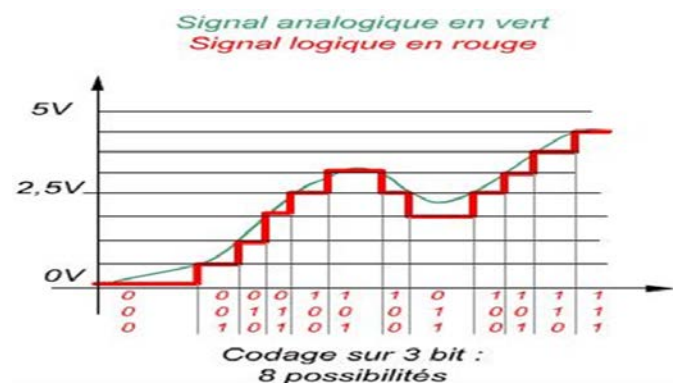


Figure II.11 : Graphe de conversion ADL

II.5.3.6 Alimentation de la carte

La carte Arduino peut être alimentée via un port qui l'alimente avec +5V. La norme USB limite à 500mA maximum l'alimentation de la carte. Cela suffit pour des LEDs, mais il est généralement insuffisant pour des moteurs ou des servomoteurs (avec une seule alimentation, lors de la mise en route d'un moteur, cela peut entraîner une chute de tension).

La carte peut aussi fonctionner avec une alimentation externe de 6 à 20 volts. Cependant, si la carte est alimentée avec moins de 7V la broche de 5V pourrait fournir moins de 5V et la carte risque d'être instable. Si on utilise plus de 12V, le régulateur de tension de la carte pourrait surchauffer et endommager la carte. Aussi, la plage idéale recommandée pour alimenter la carte Arduino Uno est entre 7V et 12V.

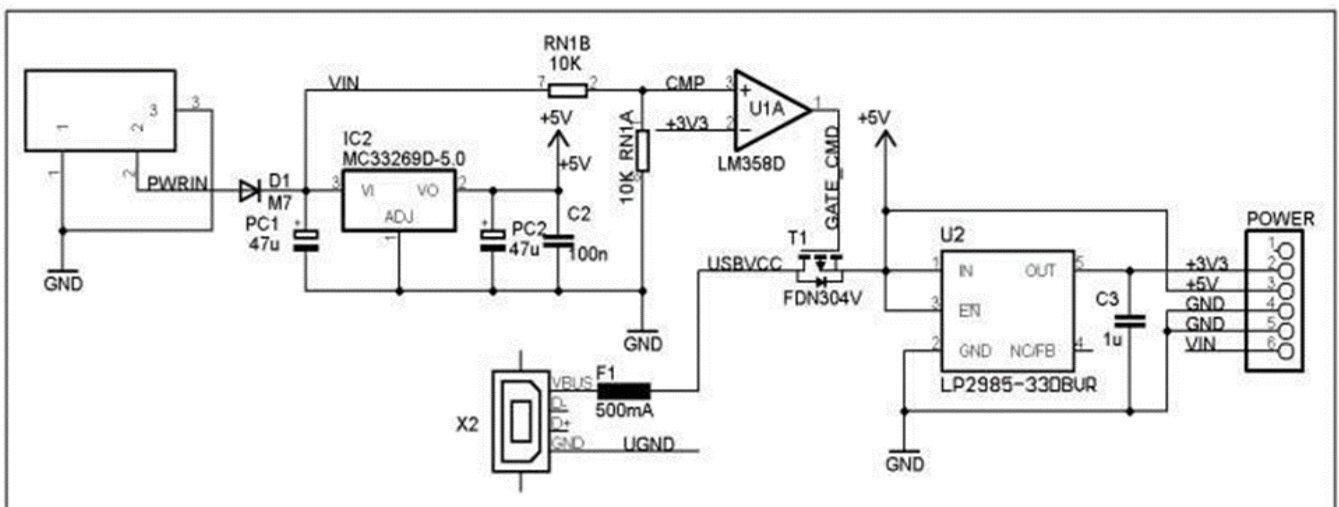


Figure II.12 : schéma électrique de la carte

La carte peut être alimentée aussi par les broches V_{in} (+) GND (-) qui peuvent aussi supporter une tension comprise entre 7 et 12 volt (tension convertie aussi en 5v par l'Arduino).

II.5.3.7 Visualisation

LED verte : alimentation ;

LED jaune ou verte : active lors de téléchargement du programme (LED de Transmission réception) ;

LED jaune : de test ;

Reset : pour la réinitialisation du microcontrôleur.

II.5.3.8 câble USB

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.



Figure II.13 : Câble USB type A/B (Arduino UNO).

II.5.4 Description des actionneurs :

II.5.4.1 Servomoteur :

a)Description

Un servomoteur est un actionneur (moteur) capable de maintenir une opposition à un effort statique et dont la position est vérifiée en continu et corrigée en fonction de la mesure. Le servomoteur est composé de plusieurs éléments visible :

- Les fils.
- L'axe de rotation sur lequel est monté un accessoire en plastique ou en métal.
- Le boîtier qui le protège.

Aussi de plusieurs éléments que l'on ne voit pas, qui se trouve à l'intérieur du boîtier.

- Un moteur à courant continu.
- Des engrenages pour former un réducteur.
- Un capteur de position de l'angle d'orientation de l'axe (un potentiomètre bien souvent).
- Une carte électronique pour le contrôle de la position de l'axe et le pilotage du moteur à courant continu.

La position est définie avec une limite de débattement d'angle de 180 degrés. Souvent abrégé en « servo » provenant du latin servus qui signifie « esclave ».

Il excite plusieurs servomoteurs, dans notre application on a utilisé deux servomoteurs de puissance (10Kg) MG996R. Il contient trois fils, un pour l'alimentation, l'autre pour la masse(GND) et le dernier pour le signal d'entrée (la commande) [15].

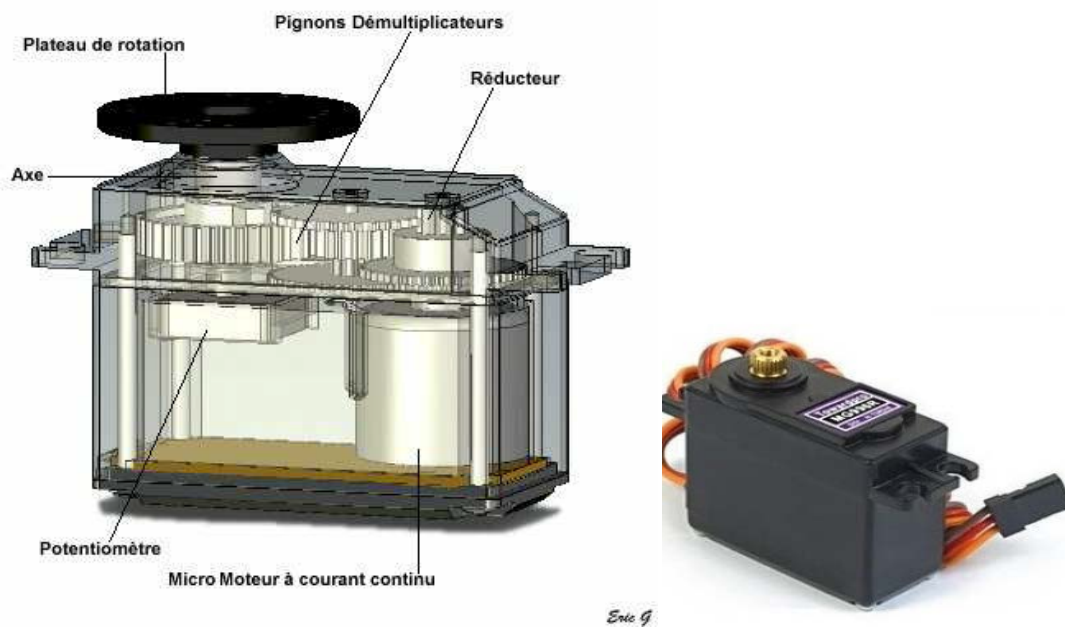


Figure II.14 : description général d'un servomoteur.

b) Caractéristiques [15]

Nombres de broches	3 fils	
	Marron	Masse
	Rouge	Vcc
	Orange	Commande
Dimension	240 x 20 x 36,5mm	
Poids	60g	
Tension d'alimentation Min	4.8V à 6V	
Tension d'alimentation Max	6V	
Vitesse	0.16s/60° sous 4.8V - 0.13s/60° sous 6.0V	
Couple	11Kg/cm sous 4.8V - 13Kg/cm sous 6.0V	

Tableau III.2 : Caractéristiques du MG996R

c) Principe de fonctionnement d'un servomoteur

Les servomoteurs sont commandés par l'intermédiaire d'un câble électrique qui lui transmette des consignes de position sous forme d'un signal codé en largeurs d'impulsions communément appelé PWM. Cela signifie que c'est la durée des impulsions qui détermine l'angle absolu de l'axe de sortie et donc la position de bras de commande du servomoteur. Comme le montre la figure ci-dessous :

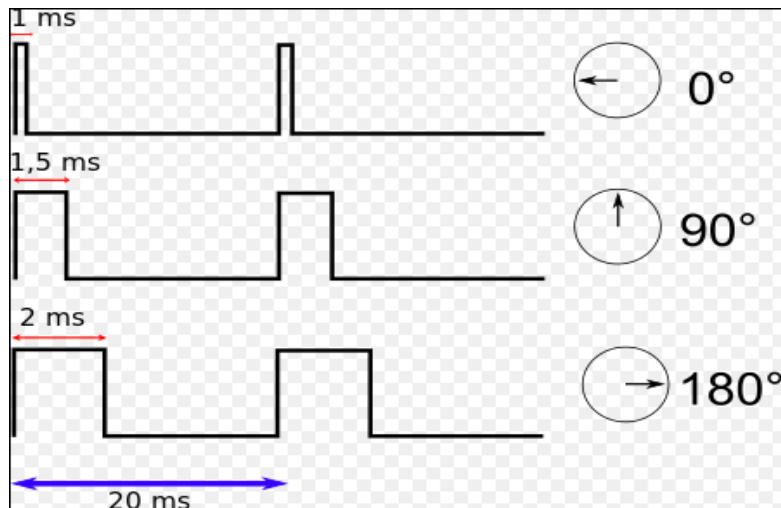


Figure II.15 : l'angle de l'axe du servomoteur en fonction de la largeur de l'impulsion.

Le signal est répété périodiquement, en général toutes les 20 millisecondes, ce qui permet à l'électronique de contrôler et de corriger continuellement la position angulaire de l'axe de sortie, cette dernière étant mesurée par le potentiomètre.

Lorsque le moteur tourne, l'axe du servomoteur change de position, ce qui modifie la résistance du potentiomètre. Le rôle de l'électronique est de commander le moteur pour que la position de l'axe de sortie soit conforme à la consigne reçue.

II.5.5 Relais :



Figure III.16 : relais

Chapitre II : Conception et étude des composants

a) Description :

Un relais électromécanique est un organe électrique permettant de dissocier la partie puissance de la partie commande. Il permet l'ouverture et la fermeture d'un circuit électrique par un second circuit complètement isolé.

Un relais est un interrupteur qui se commande avec une tension continue de faible puissance, il se compose d'une bobine alimentée ou bien excitée en basse tension (5V) pour commuter les contacteurs.

b) Commande d'un relais :

Pour commander un relais, il nous faut un transistor, une résistance et une diode.

On applique un signal de commande sur la base du transistor via la résistance. Le transistor fonctionne alors comme un interrupteur qui relie la bobine du relais à la masse. Cette dernière est ainsi parcourue par un courant, le relais est actionné.

La diode placée en parallèle de la bobine permet d'éviter de détruire le transistor lors de l'ouverture de ce dernier (diode de roue libre).

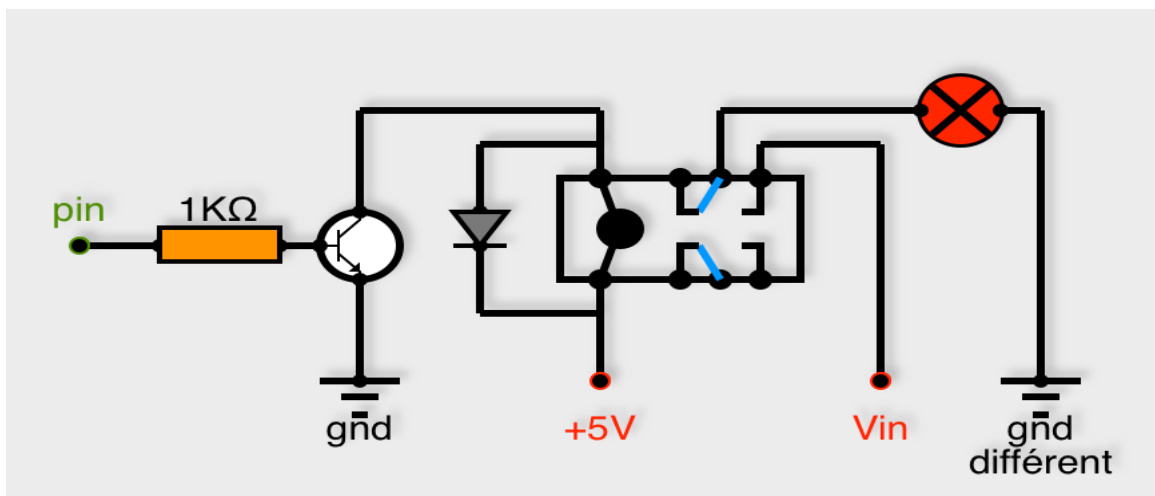


Figure II.17 : fonctionnement de relais

II.6 Conclusion

A travers ce chapitre, nous avons étudié et mis en évidence, les caractéristiques générales de la configuration matérielle de notre tracker et puis nous nous sommes focalisés d'une manière approfondie sur le principe de fonctionnement de chaque constituant en dressant un tableau détaillé sur leurs spécificités techniques.

III.1 Introduction


Après avoir décrit la partie matérielle et le fonctionnement de chaque bloc qui la compose, nous allons passer à la partie la plus importante de notre mémoire qui est la réalisation du système de poursuite. Pour un fonctionnement réussi de notre système, notre réalisation comporte quatre parties principales :

- Partie programmation ;
- Partie simulation ;
- Partie électronique ;
- Partie mécanique ;

III.2 Partie programmation

III.2.1 Programmation

La carte Arduino-Uno est une carte programmable, elle peut être programmée sous l'IDE Arduino représenté dans la figure (III.1).



```
sketch_sep13a $
int test=5;
int bas= 1;
int gauche = 2;
int droit =3 ;
int tempo=0;int tempol=0;
void setup()
{pinMode(5,OUTPUT);pinMode(11,OUTPUT);digitalWrite(5,HIGH);pinMode(12,OUTPUT);digitalWrite(12,LOW);digitalWrite(11,LOW);
  Serial.begin(9600);
  // servo connections
  // name.attach(pin);
  horizontal.attach(9);
  vertical.attach(10);
}

void loop()

{ int T = analogRead(test);
  int D = analogRead(droit); // top left
  int G = analogRead(gauche); // top right
  int H = analogRead(haut); // down left
  int B = analogRead(bas)-200; // down right
  int Ponderationh=90;
  int Ponderation=90;

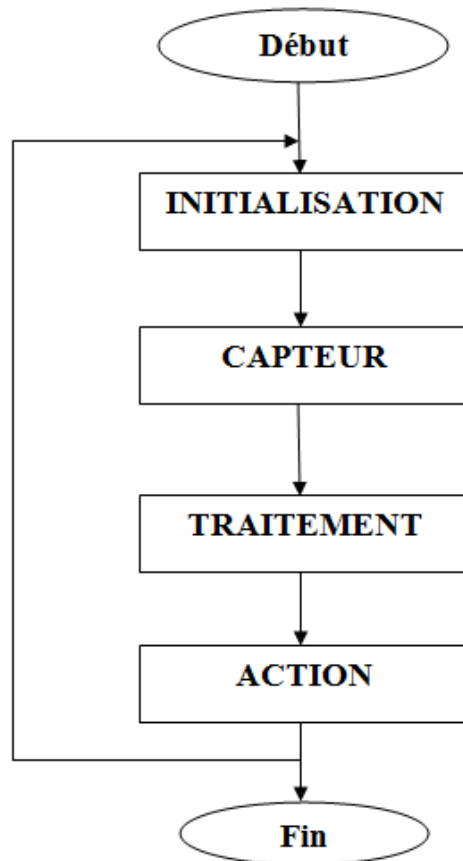
  int Gauche =G;int haut=B;
  int Droite =D;int bas=H;
  // Si la luminosité générale n'est pas suffisante on le replace à sa position de départ.
  // Idéalement c'est la nuit il sera en position pour le matin, au pire c'est un manque de luminosité et il retrouvera son chemin
}

Téléversement terminé
D:\arduino-1.0.5-r2\hardware\tools\avr\bin\avr-objcopy -O ihex -R .eeprom C:\Users\roy\AppData\Local\Temp\build4164669467063123701.tmp\sketch_sep13a.cpp.elf
C:\Users\roy\AppData\Local\Temp\build4164669467063123701.tmp\sketch_sep13a.cpp.hex
Taille binaire du croquis : 4 864 octets (d'un max de 32 256 octets)
```

Figure III.1 : Interface IDE du logiciel Arduino.

III.2.2 L'organigramme

L'organigramme principal comporte quatre étapes essentielles, illustré dans la figure qui suit :



III.2.3 Le programme

Le programme servant de commande de notre système, qui sera embarqué dans le microcontrôleur ATMEGA 328 est donné ci-dessous:

```
#include <Servo.h> // inclure la librairie Servo
Servo horizontal; // horizontal est de type servo
int PosServoh = 178; // pos. d'arrête servo-horizontal
Servo vertical; // vertical est de type servo
int PosServov = 45; // pos. d'arrête servo-vertical
// NOM = analog pin; // connections des pins des LDRs
int haut = 4;
int test=5;
int bas= 1;
int gauche = 2;
int droit =3 ;
int tampo=0;
int tampo1=0;
```

```

void setup(){
pinMode(5,OUTPUT);
pinMode(11,OUTPUT);
digitalWrite(5,HIGH);
pinMode(12,OUTPUT);
digitalWrite(12,LOW);
digitalWrite(11,LOW);
  Serial.begin(9600);
// servo connections:name.attach(pin);
  horizontal.attach(9);
  vertical.attach(10);
}
void loop(){
int T = analogRead(test);
  int D = analogRead(droit);
  int G = analogRead(gauche);
  int H = analogRead(haut);
  int B = analogRead(bas);
int Ponderationh=90;
int Ponderation=90;
int Gauche =G;
int Droite =D;
int haut=B;
int bas=H;
if(T>600){ tampo=0;
digitalWrite(5,HIGH);
digitalWrite(11,HIGH);
digitalWrite(12,LOW);
}
//+++++position horizontal ++++++
/**Si la valeur de droite est plus haute, on tourne vers la droite ;
On peut faire varier la valeur de la zone de pondération, mais si on la
supprime le servo Moteur aura tendance à se trémousser sans fin */

  if(Droite > (Gauche + Ponderation)){
    if(PosServoh < 179){ PosServoh++;
horizontal.write(PosServoh);}
  }

  // Si c'est la valeur de gauche, on tourne vers la gauche ;

  if(Gauche > (Droite + Ponderation)){
    if(PosServoh > 1){ PosServoh -= 1;
horizontal.write(PosServoh);}
  }
//+++++position verticale ++++++
/** Si la valeur du bas est plus haute, on tourne vers le bas ;
On peut faire varier la valeur de la zone de pondération, mais si on la
supprime le servo Moteur aura tendance à se trémousser sans fin */
if(haut > (bas + Ponderation){
if(PosServov < 179){PosServov++;

```

```
vertical.write(PosServov); }
    }

// Si c'est la valeur de haut, on tourne vers le haut ;

if(bas > (haut + Ponderation)){
    if(PosServov > 1){
PosServov -= 1 ;
    vertical.write(PosServov);}
}
/**Si la luminosité générale n'est pas suffisante on le remet à sa position
de départ (Idéalement pendant la nuit au pire manque de luminosité) ;et il
sera en position pour le matin (retrouvera son chemin) en retournant à l'état
initiale pour une nouvelle journée d'ensoleillement.*/

delay(40);
if(T<600){
tampo++;
if(tampo>100){
PosServoh=178;
    horizontal.write(PosServoh);
PosServov=45;
vertical.write(PosServov);}
if(tampo==200){
digitalWrite(5,LOW);
digitalWrite(11,LOW);
digitalWrite(12,HIGH);}
}
}
```

III.3 Partie simulation

La simulation de notre montage globale a été faite à l'aide du logiciel **PROTEUS_ISIS** qui permet de tester et récupérer en temps réel les résultats de la simulation. La figure (III.2) illustre le montage simulé.

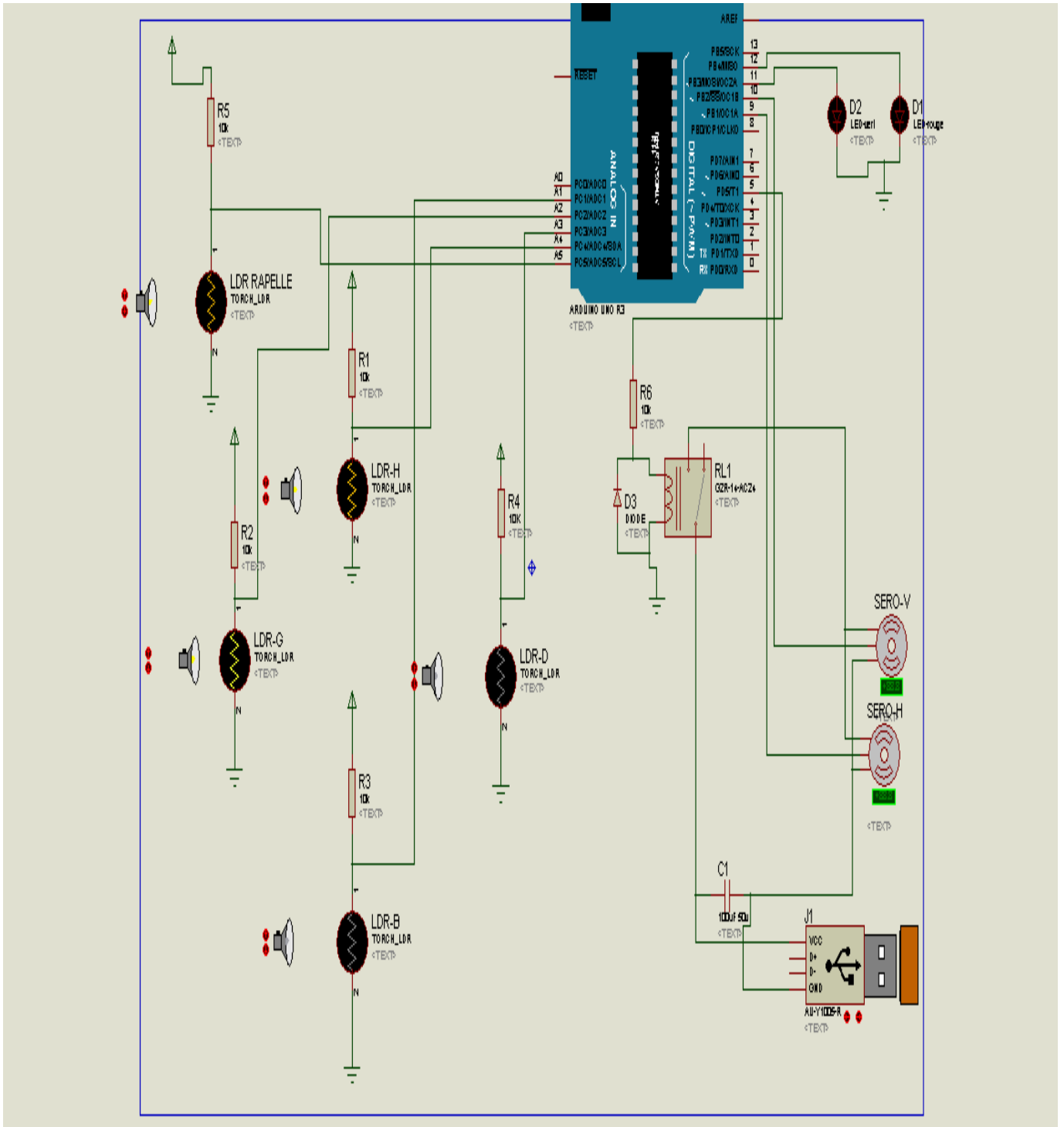


Figure III.2 : Montage du système simulé sous Proteus.

III.4 Partie électronique

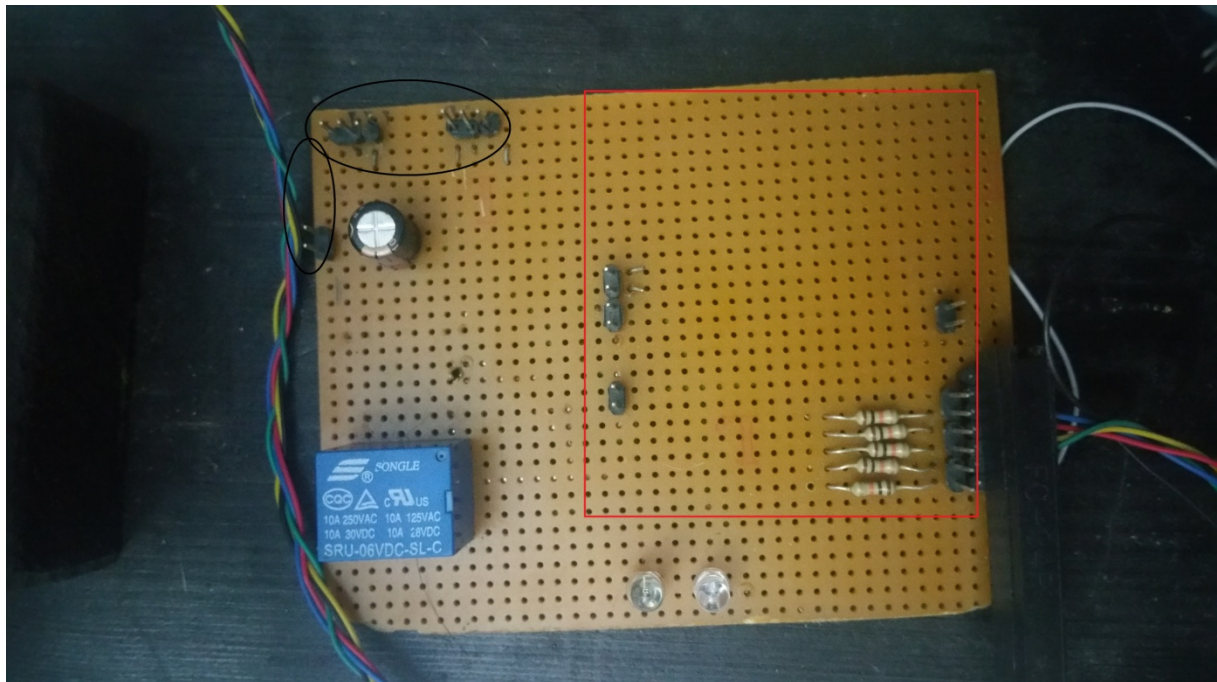
Après le bon fonctionnement de la simulation sous PROTEUS, nous allons passer à la réalisation de montage électronique.

III.4.1 Réalisation du Shield

Le Shield réalisé est le circuit qui nous permet de relier tous les composants utilisés pour la réalisation de notre tracker.

Pour sa réalisation, on a utilisé une plaque perforée, des fils scoubidou pour la circuiterie, et les composants tels que le relais et les résistances (10k Ω), les LEDs (rouge, vert), et les pins.

Notre Shield se compose de 27 pins : 8 pins pour les servomoteurs et 5 pins pour la nappe des capteurs LDR et le reste pour la liaison Arduino ; comme le montre la figure ci-dessous :



14 pins pour l'Arduino

pins de la nappe des capteurs

Figure III.3 : Structure du Shield

III.4.2. Branchement des servomoteurs au Shield

Ces actionneurs ont pour but d'orienter le panneau à la position verticale au rayon.

La connexion des servomoteurs au Shield est très simple, le Shield est doté de deux prises de 3 pins chacune, leur alimentation est séparée de la carte Arduino, car la consommation du servomoteur est trop importante. D'autre part chacun des mouvements provoque des appels de

courant susceptible de perturber la carte en causant une baisse anormale de sa tension d'alimentation ; et pour cela on a utilisé une alimentation séparée pour les servomoteurs.

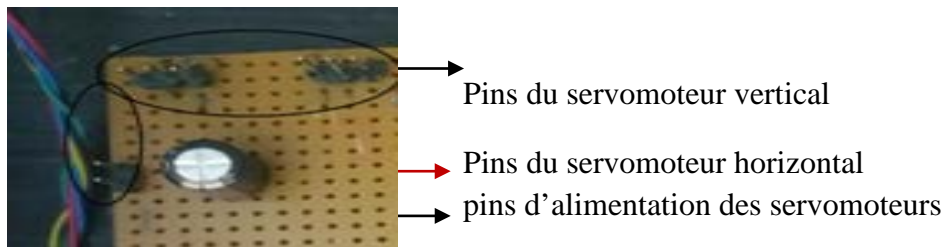


Figure III.4 : branchement des SV

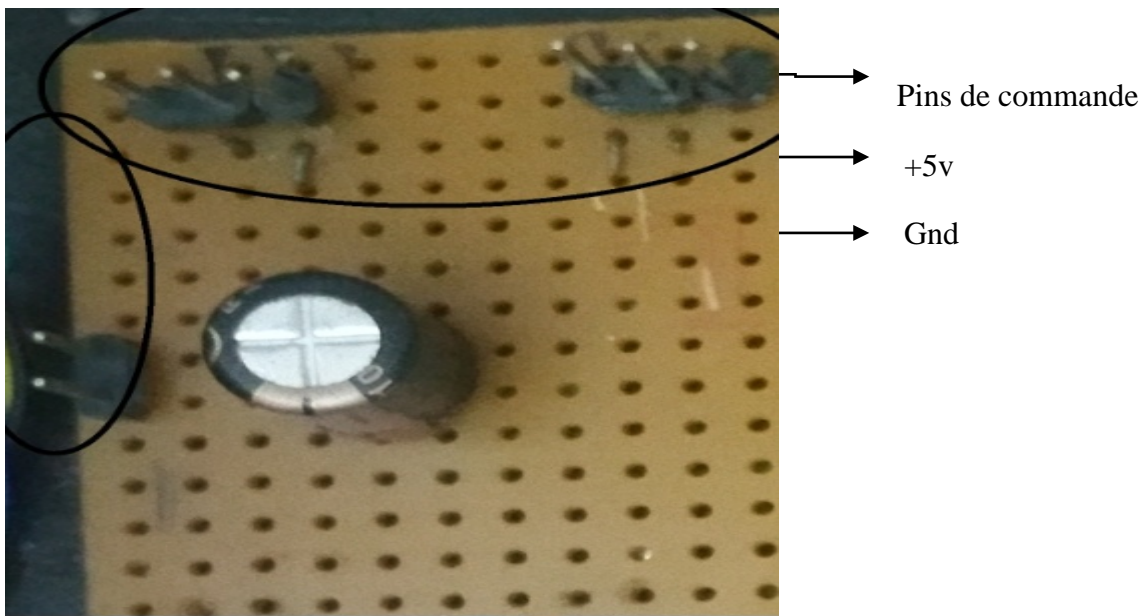


Figure III.5. Structure des pins des SV.

III.4.3L'alimentation

Notre système est alimenté à la base avec les câbles USB qui peuvent être branché à une extension d'alimentation USB de 5v-1A en utilisant des batteries externes ou PC. Nous avons utilisé deux câbles USB (l'alimentation de l'Arduino, l'alimentation des servomoteurs).

III.4.4Les capteurs de positionnement

Pour le fonctionnement de notre model, on a placé les capteurs dans chaque position, pour cela, on a utilisé une buche de forme x pré-calculée, afin d'isoler les capteurs et pour couvrir toutes les directions et avoir une meilleure précision.

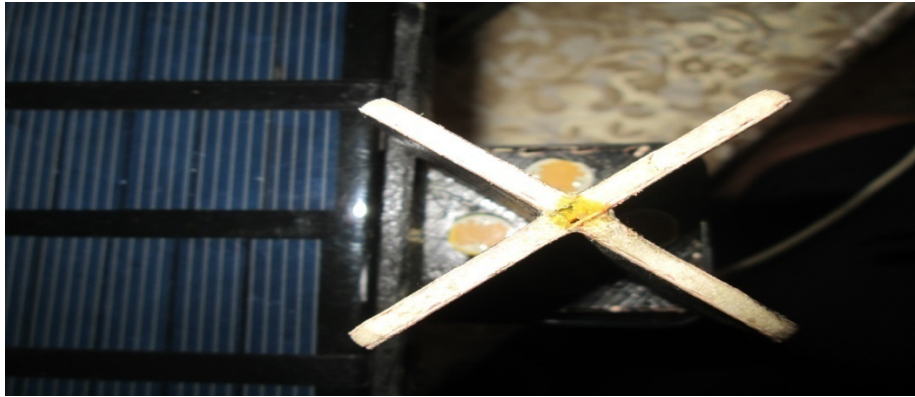


Figure III.6. Schéma du prototype des capteurs.

III.4.5. Capteur de rappel

Pour une autonomie de notre système, on a placé un capteur de rappel, quia le rôle de déclenchement du système en présence de la lumière (jour) et de retour à l'état initial (nuit) en désactivant les servomoteurs pour réduire la consommation du suiveur.



Figure III.7. Image du prototype du capteur de rappel.

Le schéma du circuit électrique réalisé est donné dans la figure suivante :

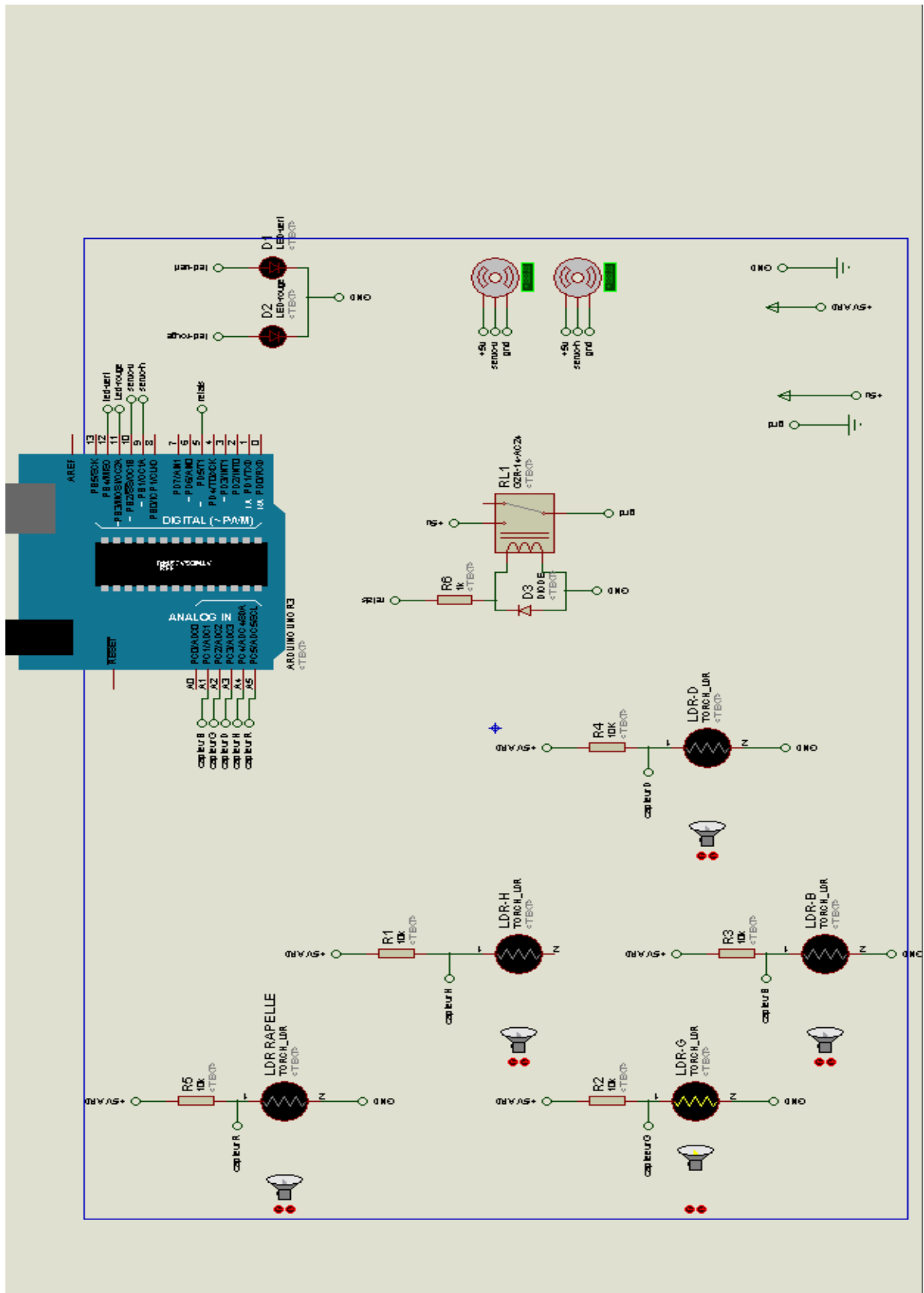


Figure III.8. Schéma électrique du système.

III.5 Partie mécanique

III.5.1 Structure du tracker

Pour réaliser notre suiveur solaire, on a opté pour différents matériaux, en commençant par le châssis, qui est fait avec du bois où se pose le Shield, et puis on a fixé à l'extrémité un cube en bois avec des clous qui sert de support aux servomoteurs, et un cadre porteur du panneau qui dispose d'une bouche sous forme de x.

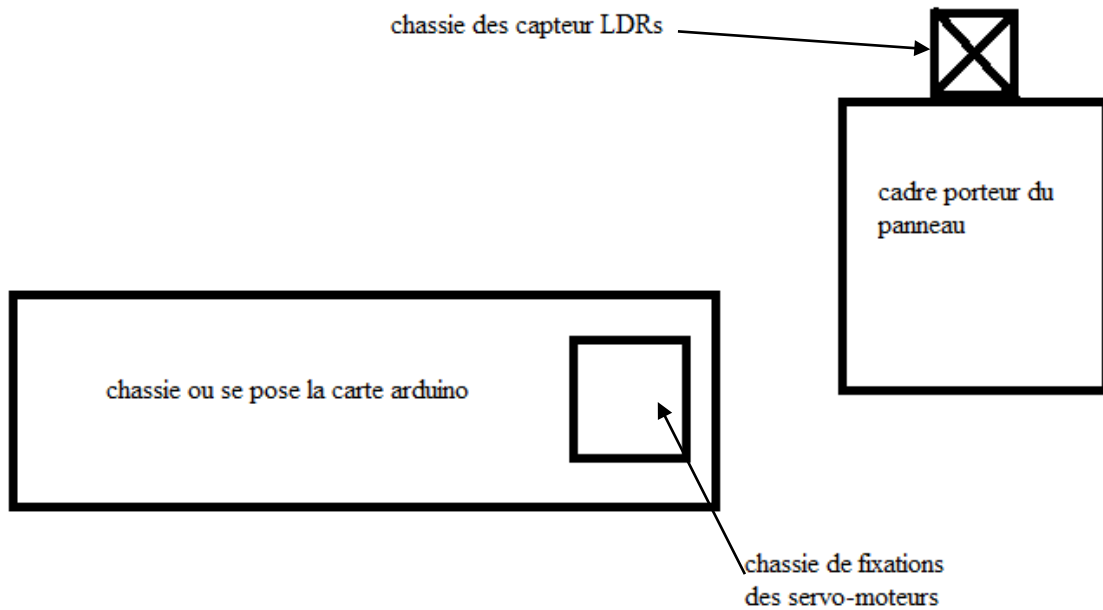


Figure III.9 : Structure du châssis du tracker

III.5.2 Positionnement des servomoteurs

Le positionnement des servomoteurs est simple, ils sont monté en cascade de telle sorte a assuré les deux mouvements vertical et horizontal, la figure III.9 montre le positionnement des deux actionneurs de notre système.



Servomoteur VERTICAL

Servomoteur HORIZONTAL

Figure III.10 : positionnement des actionneurs

III.6 Schémas général de notre suiveur solaire :

Notre schéma global de suiveur solaire réalisé est illustré dans la figure ci-dessous :



Figure III.11 : Présentation de notre suiveur finalisé

III.7 fonctionnement de notre système réalisé

Le système vise à orienter en temps réel les capteurs vers le soleil pour placer le panneau dans une position optimale par rapport à l'incidence du rayonnement solaire (perpendiculaire au rayonnement si possible) ; car tout au long de la journée et de l'année, la position du soleil varie constamment et d'une manière différente selon l'altitude et l'azimut (d'Est en Ouest à mesure de l'avancée de la journée, en hauteur selon la saison à l'avancée de la journée).

Le principe consiste à remarquer que la lumière reçue par les photorésistances est identique dès que le capteur est orienté dans l'axe de la lumière. Il faut donc mesurer la lumière reçue par chaque photorésistance en mesurant la tension à leurs bornes. Cette mesure est réalisée grâce à la connexion des ports pins A1 à A5 de la carte Arduino.

Le programme compare ensuite ces tensions en ordonnant aux servomoteurs de pivoter dans la direction des photorésistances qui reçoivent le plus de lumière.

En mode nuit le capteur de rappelle désactive les actionneurs après avoir les rappeler à l'état initiale (45° vertical, 178°horizontal), la LED rouge s'allume (état off du suiveur)

En mode journée le capteur de rappel est éclairé alors il permet au relais de se fermé et active les servomoteurs.

III.8Conclusion

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

Pour conclure, je peux dire que j'ai réussi à réaliser le principal objectif de ce projet, soit monté et faire fonctionner un suiveur solaire, s'adaptant aux trajectoires de lumière afin d'en récupérer le maximum possible.

Conclusion Générale

Le travail présenté dans ce rapport porte sur « la Conception et la Réalisation d'un Suiveur Solaire Bi-axial à Base de la carte Arduino-Uno » en utilisant des composants électroniques à savoir des LDRs, des servomoteurs et relais gérés par un microcontrôleur ATMEGA.

Le but de ce travail réside dans la mise en œuvre d'une solution technique permettant de transformer un panneau photovoltaïque fixe en un panneau mobile afin d'améliorer son rendement. Pour cela, le système que nous avons pu réaliser s'est avéré capable de suivre la position du soleil et fonctionnel aux environ de 100% ou avec quelques imperfections.

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

- La domotique (maison autonome).
- Le photovoltaïque.

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

En perspective, je souhaite améliorer le système en lui rajoutant des systèmes de protection contre le changement brusque du climat et qu'il soit autonome à 100%.

Bibliographie/web-graphie :

- [1] J.BELLALA, « **Contribution à l'optimisation des systèmes de conversion d'énergie : Application aux systèmes photovoltaïques** », thèse de Doctorat en science, faculté des sciences de l'ingénieur, Département Génie industriel, **Université de BATNA**, 2008, 163p.
- [2] A. Gama et all « **Etude et réalisation d'un concentrateur cylindro-parabolique avec poursuite solaire aveugle**, *Revue des énergies renouvelables* » Vol 11, N°3, page 437-451, septembre 2008.
- [3] P. Roth, A. Georgiev and H. Boudinov “**Design and construction of a system for suntracking**, *Renewable Energy* », N 29, pages 393-402, June 2003.
- [4] True Thomas B. Greenslade, Jr., « Heliostats », Jules-Célestin Jamin — « **Cours de physique de l'École polytechnique. Tome 3 - Fasc. 2** » Gauthier-Villars et fils (Paris) - 1885-1906
- [5] : [www.l'énergie renouvelable .com](http://www.lenergie-renouvelable.com).
- [6] : BUHLER, H. Électronique de puissance, Georgi, Lausanne, 1978.
- [7] National Renewable Energy Laboratory (NREL) 2013 International Renewable Energy Conference.
- [8] Mlle BENMOHAMMADI Zahra Mémoire de fin d'étude « master » « **Etude, conception et réalisation d'une commande d'un tracker solaire (suiveur solaire)** ». Université Sidi Mohammed Ben Abdellah 2013/214.
- [9] Practical Solar - Technology- février 2008.
- [10] Sukhraj Singh Cheema (06/2012) “**Simulation Studies on Dual Axis Solar Photovoltaic Panel Tracking System**”; Thapar University Patiala.
- [11] Yusie Rizala, Sunu Hasta Wibowoa, Feriyadi. “*Application of solar position algorithm for sun- tracking system*”. *International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application ELSEVIER Energy Procedia* (32) 2013; p. 160 – 65.
- [12] [http://data.cder.dz:81/#-calculer du rayonmen solaire](http://data.cder.dz:81/#-calculer-du-rayonnement-solaire)
- [14] Optoelectronic detectors, Dr. Heiner Ryssel, Indian Institute of Technology, Madras 9th INDO –German Winter Academy 2010.
- [15] http://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MG996R_Tower-Pro.pdf
- [16] related:fr.rs-online.com/web/p/lcr/0596141/ Spécifications et limites du Capteur LDR NSL-19M

Résumé

Ce projet nous permet de plonger dans le monde des énergies renouvelable et les infrastructure afin d'arriver à réaliser une carte électronique qui communique entre (les capteur, et la carte Arduino ainsi que les actionneurs).

L'objectif préliminaire est d'augmenter le rendement d'un panneau solaire et de manipuler un langage de programmation afin d'arriver à réaliser d'une application capable de transmettre des saigneux émis par les capteurs vers la carte de commande qui actionne les servomoteurs.

Mots Clés : , carte Arduino, les actionneurs, langage de programmation c++,

servomoteurs, LDR, photorésistance, shilde .relais, résistance énergies renouvelables , panneau solaire .