



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



**Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued
Faculté de Sciences et de Technologie
Département de génie mécanique**

**Mémoire de Fin d'Étude
En vue de l'obtention du diplôme de**

MASTER ACADEMIQUE

**Domaine: Technologies
Filière: Electromécanique**

Thème

**Etude et Conception d'un Suiveur
Solaire pour Application Photovoltaïque**

Soutenu le:08/06/2023

Devant le jury composé de :

Dr. Alaaeddine Djoughrab.

Dr. Assia Meziane.

Dr. Soulef Largot.

Présenté par :

- Messaoud Ghedeir Brahim

- Haroun Oussama

- Atia Khalil

- Ben Daoud Hamza

Année universitaire : 2022-2023

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à mon cher
père la miséricorde d'Allah.

Pour ceux qui ont travaillé et sacrifié
leur jeunesse pour moi, ma cher mère .

À mon unique sœur et leurs enfants.

À ma grand-mère que dieu cueille.

À mes tantes et leurs maris et leurs enfants.

À mes oncles et leurs femmes et leurs enfants.

A la petite et grande famille " Ghedeir " de proche et de loin.

A mes amis " Haroun Oussama, Atia Khalil, Ben Daoud Hamza "

A toutes les personnes que j'aime et je respecte.

Messaoud

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à mon cher
père et ma chère mère .

À mes chers frères et sœurs

A la petite et grande famille " Ben Daoud " de proche et de loin.

A mes amis " Messaoud Ghedeir Brahim, Atia Khalil, Haroun Oussama "

A toutes les personnes que j'aime et je respecte.

Hamza

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à mon cher
père et ma cher mère .

À mes cher frères et sœurs

A la petite et grande famille " Atia " de proche et de loin.

A mes amis " Messaoud Ghedeir Brahim, Ben Daoud Hamza , Haroun
Oussama "

A toutes les personnes que j'aime et je respecte.

Khalil

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à mon cher
père et ma cher mère .

À mes cher frères et sœurs

A la petite et grande famille " Haron " de proche et de loin.

A mes amis " Messaoud Ghedeir Brahim, Ben Daoud Hamza, Atia Khalil"

A toutes les personnes que j'aime et je respecte.

Oussama

Remerciement

Je suis reconnaissant à Dieu tout puissant de m'avoir accordé le courage et la patience nécessaires pour mener à bien ce modeste travail.

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce à l'aide précieuse de plusieurs personnes, à qui je tiens à exprimer toute ma gratitude.

Nous tenons tout d'abord à remercier notre encadreur de ce mémoire " Madame Soulef Largot ".

On tient également à remercier l'équipe pédagogique pour leur enseignement et leur encadrement de cinq ans :

Chef de département de génie mécanique " Menaceur Redha " et leur vice-président " Houssam Guia ".

On remercie les professeurs " Khechana Mohammed " et " Mansouri Khaled " pour leur poitrine chaude, leur soutien et nous aidons à accomplir ce travail.

On remercie particulièrement professeur " Abdelkarim Naoui " , mais pour son aide, nous n'aurions pas fait ce travail.

Nos profonds remerciements vont aux membres du jury qui nous ont honoré de leur participation à notre jury de mémoire et pour avoir accepté d'évaluer ce travail.

Sommaire

Dédicace.....	I
Remerciement.....	V
Sommaire.....	VI
Liste de figures et tableaux.....	VIII
Liste de symbols.....	X
Introduction générale.....	1

CHAPITRE I : Généralités sur les énergies renouvelables

I.1.Introduction.....	3
I.2.Les énergies renouvelables.....	3
I.2.1. Définition.....	3
I.2.2. Les types des énergies renouvelables.....	3
a) Energie hydraulique.....	3
b) Energie éolienne.....	4
c) Géothermie.....	4
d) Biomasse.....	5
e) Energie solaire.....	6
I.3.Les panneaux photovoltaïques.....	6
I.3.1. Définitions.....	6
I.3.1.1. Le rayonnement solaire.....	6
I.3.1.2. Panneaux photovoltaïques.....	7
I.3.1.3. Cellule photovoltaïque.....	7
I.3.2. Fabrication des cellules photovoltaïques.....	8
I.3.3. Les différents types des cellules photovoltaïques.....	9
I.3.3.1. Les cellules photovoltaïques polycristallins.....	9
I.3.3.2. Les cellules photovoltaïques monocristallins.....	9
I.3.3.3. Les cellules photovoltaïques amorphes.....	9
I.3.4. Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïques.....	10
I.3.5. Paramètres physiques d'une cellule photovoltaïques.....	10
I.4. Conclusion.....	11

CHAPITRE II : Les suiveurs solaires

II.1. Introduction.....	12
II.2. Les suiveurs solaires.....	12
II.2.1. Définition et fonctionnement.....	12
II.2.2. L'intérêt des suiveurs solaires.....	14
II.3. Types des suiveurs solaires.....	15
II.3.1. Suiveurs solaire passif.....	15

Sommaire

II.3.2. Suiveurs solaire actif.....	16
II.3.3. Classification des suiveurs actifs.....	17
II.3.3.1. Selon le nombre des axes de rotation.....	17
a) Suiveur solaire mono-axe.....	17
b) Suiveur solaire double axe.....	18
II.3.3.2. Selon le principe de suivi	18
a) Suiveur à boucle ouvert.....	18
b) Suiveur à boucle fermée.....	19
c) Suiveur hybride.....	21
II.4. Les moteurs utilisés comme actionneurs dans les suiveurs.....	21
II.4.1. Moteurs linéaires.....	21
II.4.2. Machines tournantes.....	22
II.5. Conclusion.....	24

CHAPITRE III : Conception du suiveur

III.1.Introduction.....	25
III.2. Conception du suiveur.....	25
III.3. Description des composants du système.....	25
III.3.1. Photorésistances (LDR)	25
III.3.2. Moteurs pas à pas bipolaires.....	27
III.3.2.1. Les modes d'excitation des moteurs pas à pas bipolaire.....	28
III.3.2.2. La commande du moteur.....	28
III.3.3.La carte Arduino.....	29
III.3.3.1.La carte Arduino UNO.....	30
III.4.Les logiciels employés.....	31
III.4.1. Le logiciel Arduino IDE.....	31
III.4.2. ISIS Proteus Professional.....	33
III.5. Programmation.....	34
III.5.1. L'organigramme.....	36
III.6. Conclusion.....	37
Conclusion générale.....	38
Références bibliographiques.....	
Annexes.....	
Résumé.....	

Liste des figures

	Titre de figure	Page
CHAPITRE I		
Figure (I.1)	Fonctionnement d'une hydroélectrique.....	4
Figure (I.2)	Une éolienne.....	4
Figure (I.3)	Principe de fonctionnement de la Centrale de Bouillante...	5
Figure (I.4)	L'énergie biomasse.....	5
Figure (I.5)	Les types de rayonnement solaire.....	7
Figure (I.6)	Les composants de la cellule photovoltaïque.....	8
Figure (I.7)	Fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....	10
CHAPITRE II		
Figure (II.1)	Fonctionnement de suiveur solaire.....	12
Figure (II.2)	Les repères d'un point de la terre.....	13
Figure (II.3)	L'azimut et la hauteur de déplacement du soleil.....	14
Figure (II.4)	Une comparaison de la production d'énergie électrique entre une installation fixe et une installation avec suiveur solaire...	15
Figure (II.5)	Suiveur solaire passif.....	16
Figure (II.6)	Types de suiveurs actifs.....	17
Figure (II.7)	Suiveur solaire mono-axe.....	17
Figure (II.8)	Suiveur solaire double axe.....	18
Figure (II.9)	Contrôle en boucle ouvert.....	19
Figure(II.10)	Contrôle en boucle fermée.....	19
Figure(II.11)	Capteurs en quatre quadrants en forme (+).....	20
Figure(II.12)	Capteurs en quatre quadrants en forme (x).....	20
Figure(II.13)	Deux capteurs séparés.....	20
Figure(II.14)	Un moteur linéaire.....	21
Figure(II.15)	Fonction d'une machine tournante.....	22
Figure(II.16)	Le moteur à courant continu.....	22
Figure(II.17)	Le moteur brushless (sans balais).....	23
Figure(II.18)	Machine à courant alternatif.....	23
Figure(II.19)	Moteur pas à pas.....	24

Liste des figures et tableaux

CHAPITRE III

Figure(III.1)	Les photorésistances.....	26
Figure(III.2)	Branchement de résistance LDR en diviseur de tension.....	26
Figure(III.3)	Moteur à aimant permanent bipolaire.....	27
Figure(III.4)	L293D pins.....	29
Figure(III.5)	Les composants de l'Arduino.....	30
Figure(III.6)	L'interface du logiciel Arduino.....	32
Figure(III.7)	Schéma électrique du système suiveur simulé sous le logiciel ISIS Proteus.....	33
Figure(III.8)	Disposition des détecteurs et position du soleil.....	34

Liste des tableaux

Tableau(III.1)	Combinaisons d'excitations en mode pas à pas et en mode demi- pas.....	28
-----------------------	---	----

Liste des symboles

PV:	Photovoltaïque
I_{cc} :	Courant de court-circuit (A)
V_{co} :	Tension de circuit ouvert (V)
FF:	Facteur de forme (A.V)
P_{max}:	Puissance maximale (W)
η:	Le rendement
P_i:	Puissance lumineuse incidente (cd)
Φ:	Latitude du lieu (°)
λ:	Longitude du lieu (°)
C:	Couple moteur (N.m)
F:	La force (N)
D:	La distance (m)
V_{out}:	Tension de la sortie du capteur (V)
V_{int}:	Tension d'alimentation du capteur (V)
R LDR:	Résistance du LDR (Ω)
R:	Résistance (Ω)
MPP:	Moteur pas à pas
CAO:	Conception associée par ordinateur
LDR:	Light Dépendent Résistor
hg:	Le capteur haut à gauche
hd:	Le capteur haut à droite
bg:	Le capteur bas à gauche
bd:	Le capteur bas à droite

Introduction

générale

Introduction Générale

L'épuisement des sources d'énergie naturelles non renouvelables, telles que le pétrole, le gaz naturel et le charbon, ainsi que leur impact néfaste sur l'environnement, ont poussé la communauté scientifique à trouver des alternatives durables pour la production d'énergie. Les énergies renouvelables, également appelées énergies propres, telles que le vent, l'eau et le soleil, sont de plus en plus utilisées à travers le monde. Les avancées technologiques ont permis d'exploiter les rayons émis par le soleil et de les convertir en énergie électrique grâce à l'effet photoélectrique qui se manifeste sur un capteur de lumière de cellule photovoltaïque, connu sous le nom de panneaux photovoltaïques (PV). Les photons de la lumière affectent un matériau semi-conducteur qui transfère son énergie aux électrons, générant ainsi une tension électrique. Toutefois, pour obtenir un rendement maximal de ces panneaux photovoltaïques, il est essentiel qu'ils soient orientés de manière perpendiculaire au soleil, ce qui n'est pas possible sans l'utilisation d'un système de poursuite solaire[1]. .

Notre travail de recherche s'inscrit dans l'objectif général d'optimiser les performances des systèmes photovoltaïques en augmentant leur rendement énergétique grâce à l'intégration d'un système de poursuite solaire. Dans le premier chapitre, nous présentons de manière détaillée les différentes énergies renouvelables, en mettant l'accent sur la production d'électricité par effet photovoltaïque. Nous examinons également les avantages et les inconvénients de chaque source d'énergie renouvelable.

Le deuxième chapitre est consacré à la compréhension des systèmes de suivi solaire, en décrivant les différents types, techniques et méthodes de fonctionnement de ces systèmes. Nous examinons les avantages et les inconvénients de chaque méthode de suivi solaire, et nous présentons les différents types de capteurs utilisés pour mesurer l'angle d'incidence du soleil.

Dans le troisième chapitre, nous décrivons les différentes étapes de la conception de notre suiveur solaire et l'implémentation des différents dispositifs utilisés dans ce projet. Nous décrivons également les tests de validation effectués sur notre système de suivi solaire pour en vérifier le bon fonctionnement.

Introduction générale

Notre objectif est de contribuer à la recherche de solutions durables pour la production d'énergie, en utilisant des technologies propres et respectueuses de l'environnement. Nous sommes conscients des défis importants auxquels le monde est confronté en matière d'énergie, et nous sommes convaincus que les énergies renouvelables sont une réponse viable à ces défis. Nous

CHAPITRE I

Généralités sur les énergies renouvelables

I.1.Introduction

De nombreux pays cherchent actuellement à trouver de nouvelles sources d'énergie alternatives pour l'énergie fossile, plus productives, plus durables et moins nocives pour...Moins nocif pour l'environnement qui est moins polluant et ne contribue pas à augmenter le trou de la couche d'ozone. Ces type d'énergies sont appelés énergies propres ou énergies renouvelables.

Utiliser les énergies propres renouvelables comme alternative à l'énergie fossile. Il nous permettra de réduire la pollution de l'environnement, en particulier en ce qui concerne les émissions de gaz comme le dioxyde de carbone, d'économiser l'effort et l'argent, ainsi que les énergies locales...Ce sont aussi des énergies locales qui n'ont pas besoin d'être transportéesEt il n'est pas mis en œuvre contrairement à l'énergie des profondeurs de la Terre.

Dans ce chapitre, nous mettrons en évidence ces énergies et nous séparerons davantage de l'énergie solaire produite par les panneaux photovoltaïques.

I.2.Les énergies renouvelables :

I.2.1. Définition :

L'énergie renouvelable est définie comme l'ensemble d'énergies qui sont extraites ou produites à partir de sources naturelles, car elle n'est pas mise en œuvre au fil du temps, autrement dit, elles sont illimitées et renouvelables parce qu'elles proviennent de sources qui sont renouvelées sans l'intervention de l'humanité, comme la lumière du soleil, le vent, l'eau. Qui sont toujours disponibles dans la nature et à la portée des humains.[2]

I.2.2. Les types des énergies renouvelables :

Il existe plusieurs types d'énergies renouvelables, extraites à partir de sources différentes :

a) Energie hydraulique :

Dans le cas de l'énergie hydraulique, l'énergie électrique est générée par l'énergie cinétique de l'eau (barrages, courants marins, fleuves et rivières), Ou est le courant alternatif produit par la rotation des turbines génératrices sous l'effet d'hydroélectricité [2]

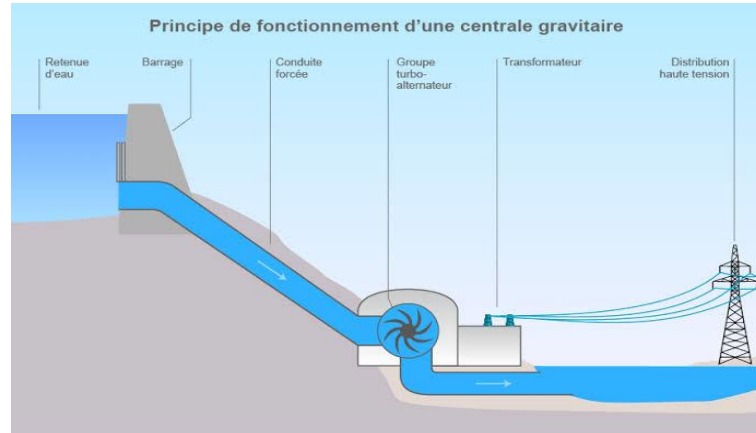


Figure (I.1) : fonctionnement d'une hydroélectrique.

b) Énergie éolienne :

L'énergie éolienne dépend principalement de la génération d'énergie électrique à partir d'énergie cinétique du vent, ou l'éolienne est reliée à une génératrice électrique pour créer du courant alternatif ou continu.[2]



Figure (I.2) : une éolienne.

c) Géothermie :

Comme nous le savons tous, la chaleur souterraine est très élevée, il y a donc une science qui s'intéresse à l'étude du chaleur interne de la terre, appelée la géothermie. Elle a été

conclue que cette énergie thermique peut être convertie et transformées en énergie électrique pour le bénéfice de l'humanité.[2]

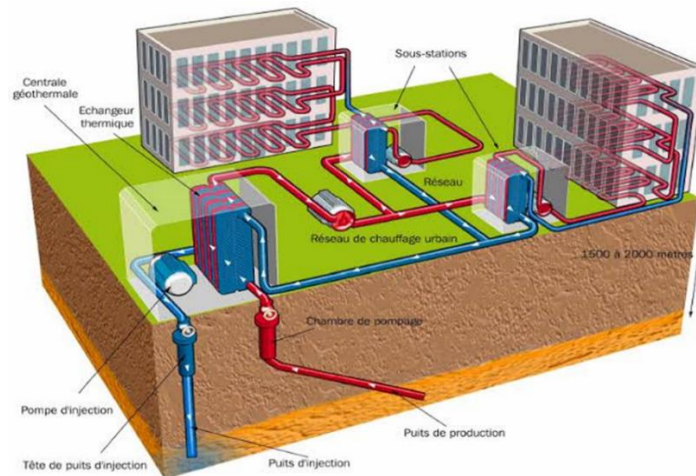


Figure (I.3) : Principe de fonctionnement de la centrale de Bouillante.

d) Biomasse :

Il y a une autre forme de chaleur issue de la combustion de matériaux biologiques (ressources naturelles, cultures ou déchets organiques), appelée la biomasse[2].

On distingue trois ressources principales de la biomasse :

- Le bois.
- Le biogaz.
- Les biocarburants.

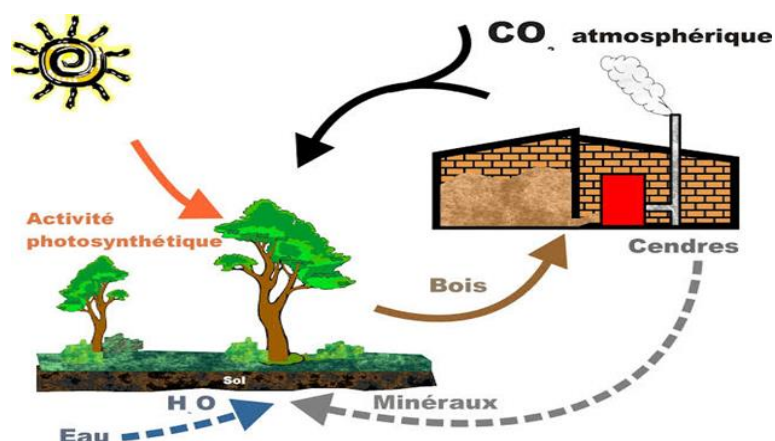


Figure (I.4) : L'énergie biomasse.

e) Energie solaire :

Ce type d'énergie renouvelable est généré directement par le rayonnement solaire.

L'énergie solaire est exploitée selon deux principaux modes de fonctionnement [2]:

- **Solaire thermique :** Dans ce cas, le rayonnement solaire sera employé pour échauffer les fluides [3] Aussi, ce type d'énergie peut être utilisé pour produire de l'électricité.
- **Solaire photovoltaïque :** l'énergie solaire est exploitée en vue de produire l'électricité par l'utilisation de panneaux solaires photovoltaïques.[2]

Dans ce mémoire, nous intéresserons à la production de l'électricité en utilisant les panneaux solaires photovoltaïques dont allons employer un système électromécanique, un suiveur, dans le but d'améliorer le rendement de ces PV.

I.3.Les panneaux photovoltaïques

I.3.1. Définitions

I.3.1.1. Le rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire ou la lumière du soleil, compose d'ondes électromagnétiques qui sont envoyée par le soleil sous la forme de faisceaux.

Les faisceaux lumineux contiennent des nombreuses des ondes qui peuvent être vues et d'autres ne peuvent pas être vues.[3]

Types de rayonnement :

Les rayonnements solaires qui pénètrent l'atmosphère sont divisés en [4] :

- **Rayonnement direct :** Ce sont des rayons qui tombent directement sans barrières (nuages, bâtiments...).
- **Rayonnement diffus :** des rayons sont réfractés par une barrière généralement à cause des nuages.
- **Rayonnement réfléchi :** certains objets comme les rivières provoquent la réflexion de la lumière, ce qu'on appelle les rayonnements réfléchis.

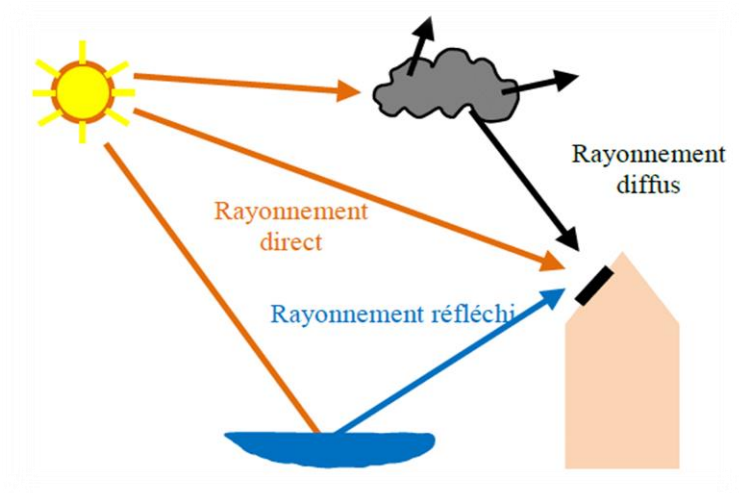


Figure (I.5) : Les types de rayonnement solaire.

I.3.1.2. Panneaux photovoltaïques :

C'est un dispositif qui transforme une partie du rayonnement solaire en énergie électrique. Le panneau photovoltaïque est formé par de nombreuses cellules photovoltaïques qui y travaillent. [5]

I.3.1.3. Cellule photovoltaïque :

La cellule photovoltaïque est un dispositif électronique constitué de semi-conducteurs. Ce dernier peut être générer un courant électrique quand il est exposé à la lumière du soleil. [6]

Les applications des panneaux photovoltaïques :

Les panneaux photovoltaïques sont utilisés dans plusieurs domaines comme :

- Agronomie.
- Les satellites.
- Eclairage public.
- L'usage domestique.

I.3.2. Fabrication des cellules photovoltaïques :

Les cellules photovoltaïques sont fabriquées en utilisant de nombreuses couches, les plus importantes étant les deux couches principales sont **P** et **N**:

- **Le couche N:** est un matériau de **Silicium** dans lequel le nombre **d'électrons** est le prédominant.
- **Le couche P:** est un matériau de **Silicium** dans lequel le nombre **d'espaces** est le prédominant.
- une couche transparente est ajoutée à la surface avant de la cellule pour augmenter l'intensité d'absorption de la lumière.
- une couche métallique est ajoutée à la surface avant et arrière de la cellule pour former les pôles de la cellule photovoltaïque ; la surface de la couche métallique ne dépassant pas les **5%** de la totalité de la surface avant du panneau.
- la surface de contact entre **P** et **N** appelée **la jonction PN**. [4]

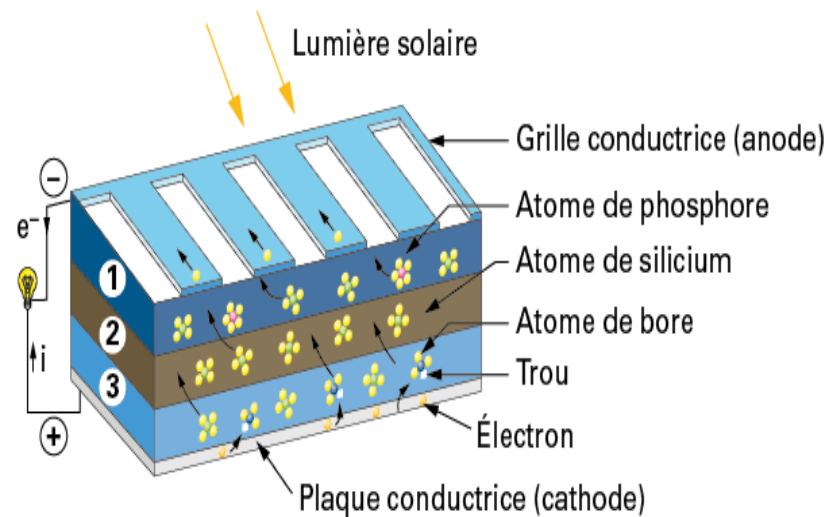


Figure (I.6) : Les composants de la cellule photovoltaïque.

I.3.3. Les différents types des cellules photovoltaïques :

I.3.3.1. Les cellules photovoltaïques polycristallins :

La cellule des panneaux solaires polycristallins est constitué de groupe de cristaux de Silicium de volume différent. Ce type de plaque offre le meilleur apport prix- rendement entre 14 % et 18%, donc c'est le type le plus utilisé dans le monde. [7]

Sachant que, le Rendement énergétique est défini par :

C'est le rapport entre la puissance électrique maximale présentée par la cellule P_{max} (I_{opt}, V_{opt}) et la puissance solaire incidente P_{inc} . Il est donné par [8] :

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{inc}} = \frac{I_{opt} * V_{opt}}{P_{inc}} \dots\dots\dots 1$$

Avec P_{inc} égale au produit de luminosité et du surface totale des générateurs PV. Ce montant montre la qualité de la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique.

I.3.3.2. Les cellules photovoltaïques monocristallins :

Les panneaux solaires monocristallins sont utilisés dans les zones à haute luminosité, qui sont fabriquées en Silicium pur. Ce dernier a un rendement énergétique entre 18% et 24%, ce qui le meilleur en termes rentabilité. [7]

I.3.3.3. Les cellules photovoltaïques amorphes :

Enfin, il y a un autre type du panneau solaire est fabriquée à base de cellules amorphes, ce type est utilisé dans les zones où l'intensité lumineuse est faible. Les cellules de ce type de plaque sont en silicium gazeux avec un rendement compris entre 5% et 7%. Ces plaques se distinguent par leur couleur grise [7].

I.3.4. Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïques :

Lorsqu'une quantité suffisante de photons de lumière ou de rayonnement solaire est absorbée, une génération de paires électron-trou se produit dans une cellule photovoltaïque. Cette génération de paires est due à la présence d'un champ électrique interne dans la jonction PN, qui permet aux paires électroniques de se déplacer et par conséquent de générer un courant continu. Le courant produit par un panneau est la somme des courants produits par les différentes cellules. [9]

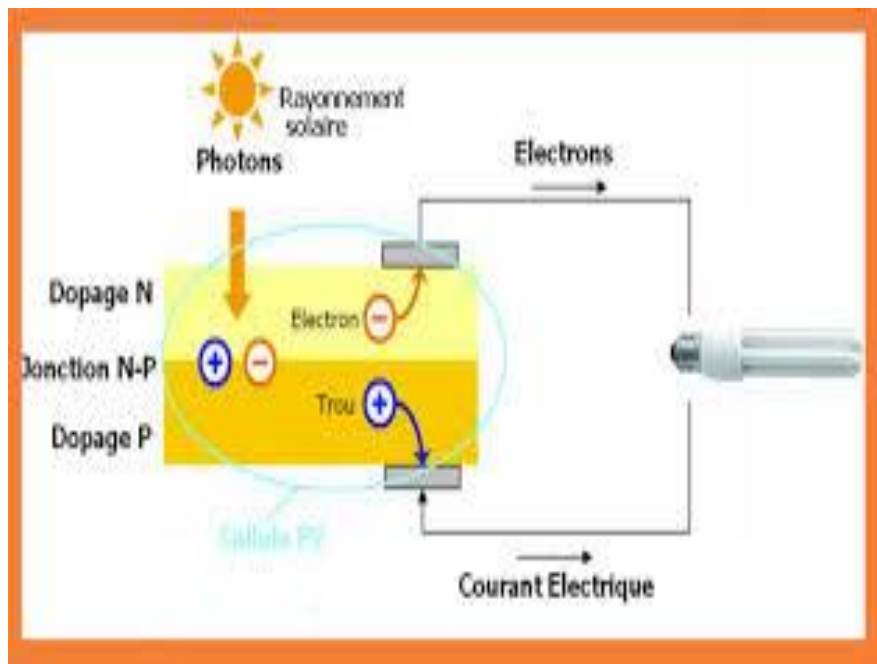


Figure (I.7) : fonctionnement d'une cellule photovoltaïques.

I.3.5. Paramètres physiques d'une cellule photovoltaïques[10] :

- **Courant de court-circuit** : noté I_{cc} , lorsque le potentiel appliqué à la cellule est nul, elle le produit. C'est le plus grand courant que la cellule peut fournir et il est linéairement dépendant de l'intensité lumineuse reçue.
- **Tension de circuit ouvert** : noté V_{co} , lorsque la cellule n'est pas connectée à une charge ; on obtient cette tension.
- **Facteur de forme** : noté FF , ce paramètre la qualité d'une cellule ou d'un générateur photovoltaïque. Il représente le rapport la puissance maximale que peut produire la cellule notée P_{max} et la puissance formée par le rectangle (I_{cc}, V_{co}).

I.4. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté des concepts importants liés à l'énergie solaire et au rayonnement solaire. L'effet photoélectrique, qui se manifeste dans les panneaux photovoltaïques, et l'élément fondamental, la cellule solaire, ont également été décrits. Le principe de fonctionnement du PV et les différents types des panneaux photovoltaïques ont été évoqués. Enfin, nous avons cité les paramètres caractéristiques de ces panneaux.

Lorsque le panneau photovoltaïque reste constamment aligné perpendiculairement aux rayons incidents du soleil en utilisant les suiveurs du soleil, le rendement de l'installation est maximal. Dans le chapitre suivant on va représenter aux ces systèmes, qu'on appelle "**Les suiveurs solaires**".

CHAPITRE II

Les suiveurs solaires

II.1. Introduction

Le deuxième chapitre commence par présenter le principe de fonctionnement des suiveurs solaires. Ensuite, nous avons décrit les différents types de suiveurs solaires, aussi, les méthodes de suiveurs utilisées pour faire fonctionner les suiveurs solaires. Enfin, nous avons exposé les actionneurs utilisés dans la conception et la réalisation des suiveurs solaires.

II.2. Les suiveurs solaires

II.2.1. Définition et fonctionnement

Un suiveur solaire, également appelé traqueur solaire, est un système mécanique qui permet aux installations de production d'énergie solaire de suivre le mouvement du soleil en utilisant le principe de l'héliostat. Cette structure peut être équipée de moteurs électriques pour orienter les panneaux solaires constamment vers le soleil afin de d'optimiser leur productivité. [11]

Les suiveurs solaires sont des dispositifs mécaniques conçus pour orienter les panneaux solaires en temps réel vers le soleil. Etant donné que la position du soleil varie constamment et de manière différente selon la latitude tout au long de la journée et de l'année, les suiveurs solaires sont indispensables pour garantir une orientation optimale des panneaux solaires par rapport au soleil. Ils permettent ainsi de maximiser la quantité d'énergie solaire captée par les panneaux, ce qui se traduit par une production d'énergie électrique plus efficace et rentable. [11]

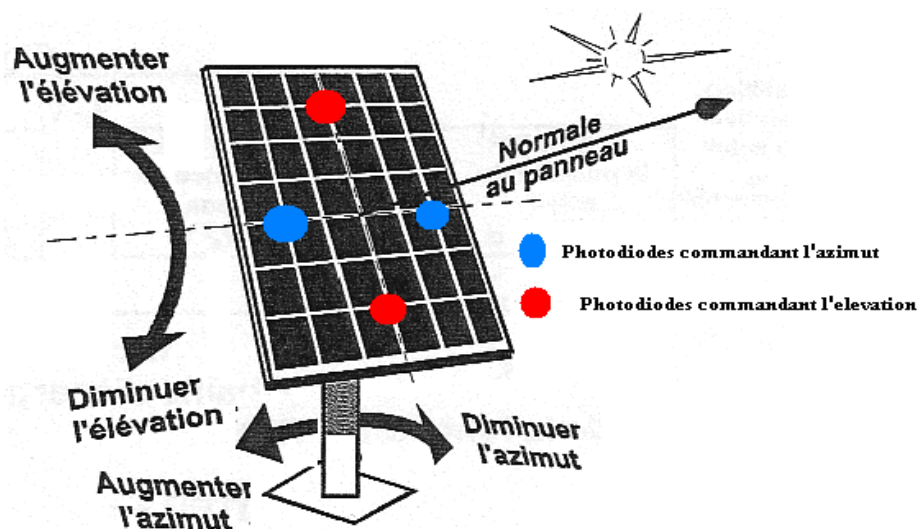


Figure (II.1) : Fonctionnement de suiveur solaire.

Les angles utilisés pour orientation des PV

Le déplacement du soleil dépend de sa position relative par rapport à un observateur situé à un point donné sur la terre. Chaque point sur terre est déterminé par deux angles : **La latitude** et **La longitude**.

- **La latitude** : l'angle φ , est l'angle entre le point et le plan équatorial, et elle indique si le point se trouve au nord ou au sud de l'équateur.
- **La longitude** : l'angle λ , est par rapport au méridien de Greenwich, et elle indique si le point se situe à l'est ou à l'ouest de cette référence.

Ces deux angles sont importants pour déterminer la position exacte du soleil par rapport à un point donné sur terre et pour orienter les panneaux solaires en conséquence.[12]

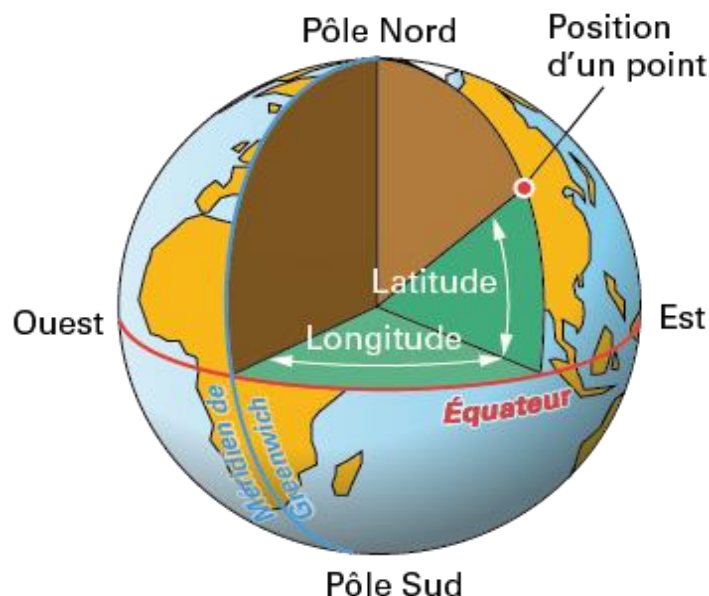


Figure (II.2) : Les repères d'un point de la terre.

Pour déterminer la position du soleil par rapport à un observateur, nous utilisons également deux angles : **L'azimut solaire** et **La hauteur du soleil**.

- **L'azimut solaire** : C'est l'angle formé entre le plan vertical du soleil et le plan méridien du lieu.

- **La hauteur du soleil** : ou élévation, elle correspond à l'angle formé par la direction du soleil et le plan horizontal.[12]

Ces deux angles sont importants pour orienter les PV de manière optimale.

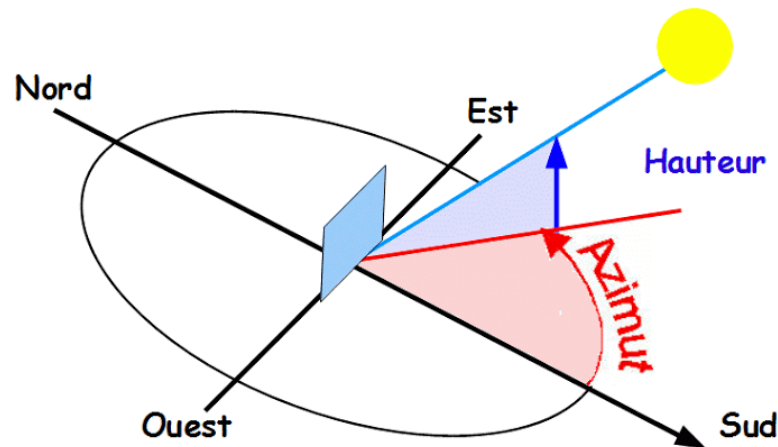


Figure (II.3) : l'azimut et la hauteur de déplacement du soleil.

II.2.2. L'intérêt des suiveurs solaires :

Les suiveurs solaires sont utiles car ils permettent de maximiser la production d'énergie électrique par les panneaux photovoltaïques. En effet, les panneaux sont plus efficaces lorsque la lumière du soleil est perpendiculaire à leur surface. Donc les panneaux sont fixes, leur rendement peut varier tout au long de la journée en raison du déplacement du soleil et de l'angle d'éclairage qui change en continu. Les systèmes de suivi permettent de maintenir les panneaux solaires perpendiculaires aux rayons du soleil de manière continue. La figure ci-dessous montre une comparaison de la production d'énergie électrique entre une installation fixe et une installation équipée d'un suiveur solaire.[14]

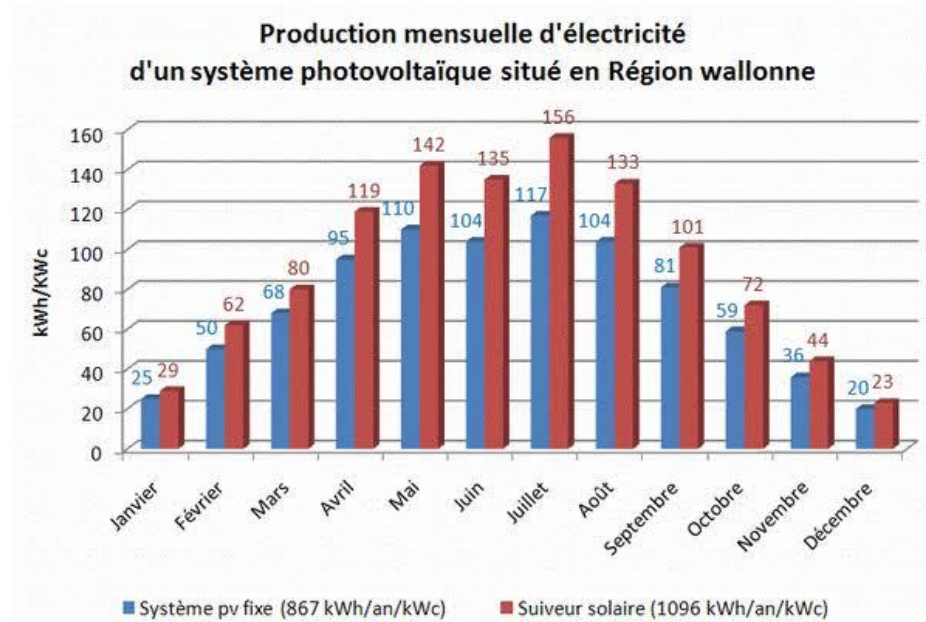


Figure (II.4) : une comparaison de la production d'énergie électrique entre une installation fixe et une installation avec suiveur solaire.

II.3. Types des suiveurs solaires

II.3.1. Suiveurs solaire passif

Il s'agit d'un système de suivi solaire passif, où la variation de la température induite par l'exposition au soleil entraîne un mouvement des fluides chimiques à l'intérieur des tubes en cuivre sur les côtés est et ouest du PV, ce qui déplace les panneaux solaires. Cette technique de suivi solaire a l'avantage de ne pas nécessiter d'énergie supplémentaire pour orienter les panneaux, car le mouvement est automatisé par le processus de transfert de masse induit par la variation de température. Cependant, ce système peut être moins précis que les systèmes de suivi solaire actifs qui utilisent des moteurs pour orienter les panneaux en fonction de la position du soleil.[14]

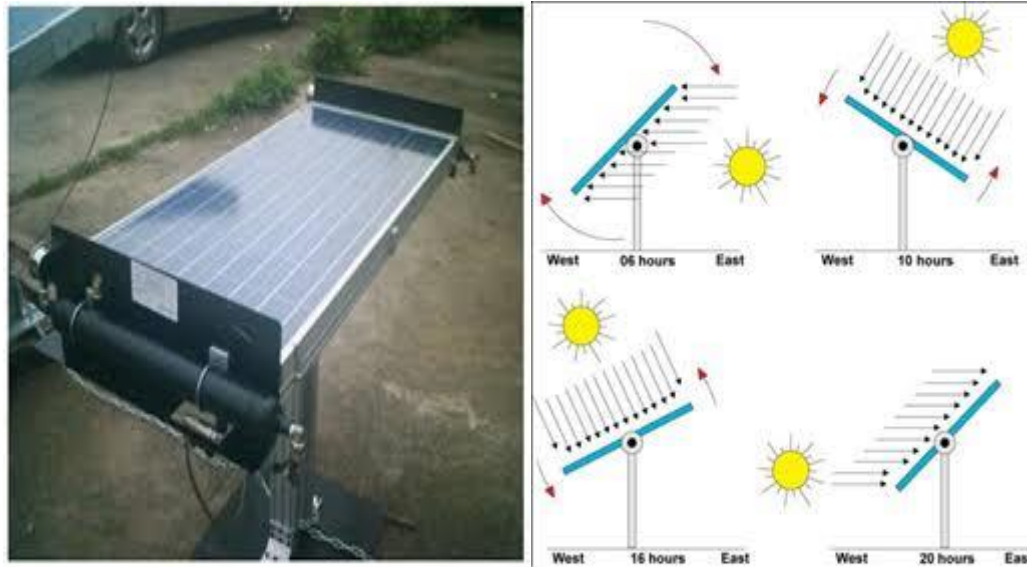


Figure (II.5) : Suiveur solaire passif.

II.3.2. Suiveurs solaire actif

Il s'agit de systèmes de suivi solaire actifs, qui utilisent des moteurs pour orienter les PV en fonction de la position du soleil dans le ciel, afin d'optimiser l'angle d'incidence du rayonnement solaire sur la surface des panneaux. Les suiveurs solaires à un seul axe sont conçus pour suivre le mouvement du soleil d'est en ouest tout au long de la journée, tandis que les suiveurs solaires à deux axes peuvent également suivre le mouvement du soleil du nord au sud.

Les systèmes de suivi solaire actifs peuvent offrir une précision beaucoup plus élevée que les systèmes de suivi solaire passifs, car ils peuvent s'ajuster en temps réel à la position du soleil. Cependant, ils nécessitent une source d'énergie pour alimenter les moteurs, ce qui augmente les coûts initiaux et les coûts de maintenance.[15]

Types de suiveurs actifs :

Le graphique suivant montre les types de suiveurs actifs selon le nombre et le type d'axes qu'ils contiennent :

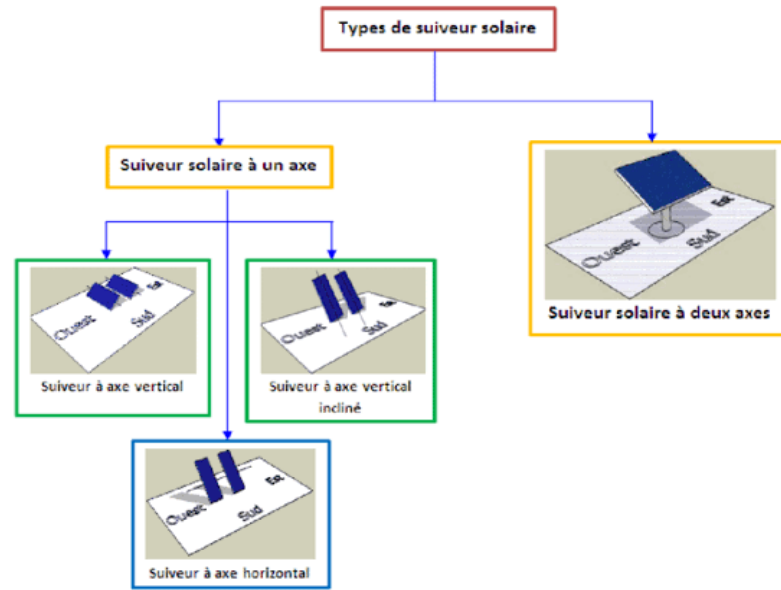


Figure (II.6) : Types de suiveurs actifs.

II.3.3. Classification des suiveurs actifs

II.3.3.1. Selon le nombre des axes de rotation

a) Suiveur solaire mono-axe

Ce type de système de suivi solaire dispose d'un seul axe de rotation, permettant ainsi l'orientation des PV dans une seule direction. L'axe suit une trajectoire est-ouest tout au long de la journée. L'angle d'inclinaison des panneaux est fixe et doit être optimisé pour recevoir le maximum de rayonnement solaire tout au long de l'année, en fonction de la latitude du lieu où se trouve l'installation solaire. Pour cette raison, le panneau est positionné en fonction de l'angle le plus approprié pour maximiser la réception de la lumière. [15]

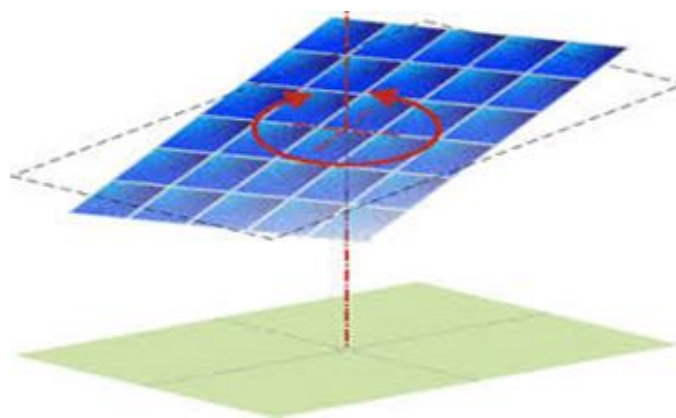


Figure (II.7) : Suiveur solaire mono-axe.

b) Suiveur solaire double axe

Ce suiveur est considéré comme le plus impressionnant et offre les meilleures performances par rapport au suiveur mono-axe. Contrairement au suiveur mono-axe, ce type de suiveur solaire est composé de deux axes, ce qui lui permet de suivre les mouvements en azimut et en inclinaison du soleil tout au long du journée. Cela permet au panneau solaire de rester constamment orienté vers le soleil.[15]

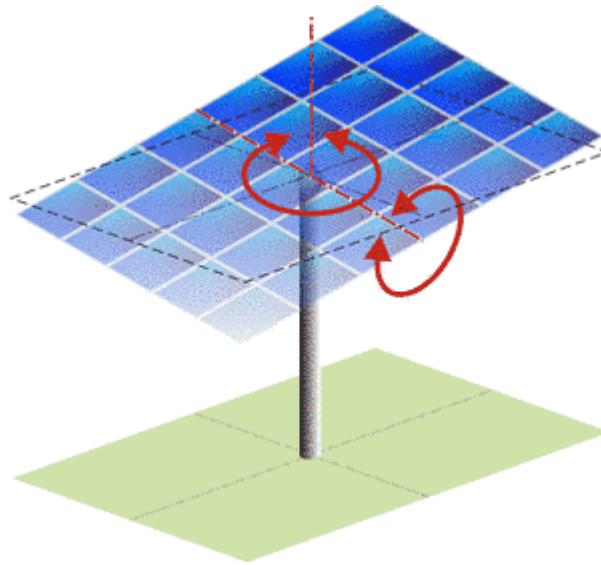


Figure (II.8) : Suiveur solaire double axe.

II.3.3.2. Selon le principe de suivi**a) Suiveur à boucle ouvert**

Cette méthode repose sur des calculs astronomiques pour déterminer la position du soleil, et les coordonnées du suiveur sont fournies par l'heure et les coordonnées GPS. Elle utilise comme données d'entrée la date, le jour et l'heure, ainsi que la longitude et la latitude. Cependant, cette méthode est sujette aux perturbations et aux erreurs de modélisation.[16]

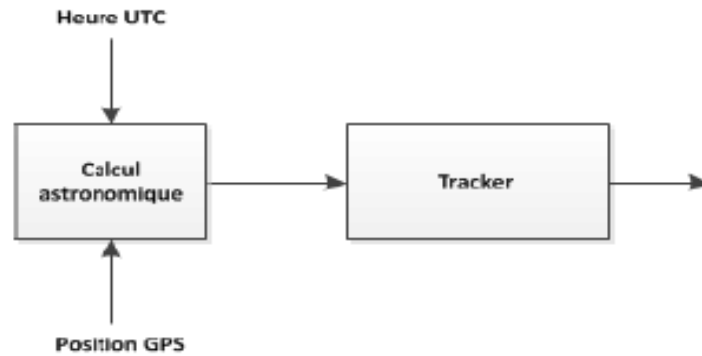


Figure (II.9) : Contrôle en boucle ouvert.

b) Suiveur à boucle fermée

Cette méthode repose sur l'acquisition de données fournies par des capteurs de lumière, tels que des photodétecteurs, afin de contrôler les actionneurs du suiveur. Cette technique permet une surveillance instantanée du soleil et un bon guidage des panneaux solaires. [16]

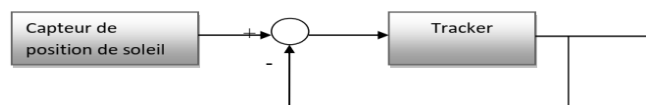


Figure (II.10) : Contrôle en boucle fermée.

Emplacement des LDR sur les PV :

- **Position pour les suiveurs à double axe**
 - La figure (II.11) montre la disposition en quatre quadrants de quatre capteurs séparés par deux plantes sous forme d'un signe plus "+".



Figure (II.11) : Capteurs en quatre quadrants en forme (+).

- La figure (II.12) montre la disposition en quatre quadrants de quatre capteurs séparés par deux plantes sous forme d'un signe plus "×".



Figure (II.12) : Capteurs en quatre quadrants en forme (×).

- **Position pour les suiveurs mono-axe**

La figure (II.13) montre deux capteurs séparés par un plant (utiliser dans les suiveurs mono-axe).

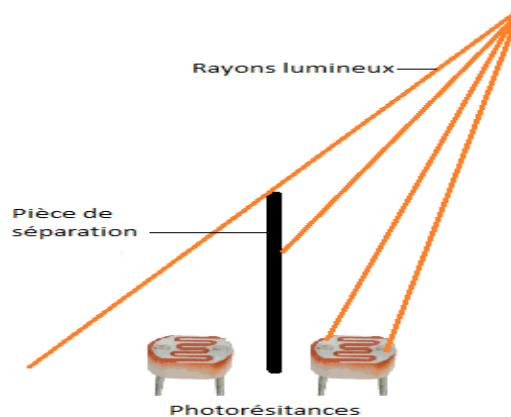


Figure (II.13) : Deux capteurs séparés.

c) Suiveur hybride

La méthode utilisée dans ce type est une combinaison de la méthode en boucle ouverte et de la méthode en boucle fermée. Elle intègre les données de la commande en boucle fermée ainsi que le calcul de position proposé par la commande en boucle ouverte.[16]

II.4. Les moteurs utilisés comme actionneurs dans les suiveurs

Pour assurer le mouvement mécanique des PV, on utilise des moteurs électriques de deux types différents.

II.4.1. Moteurs linéaires

Les moteurs linéaires se caractérisent par la disposition du rotor et du stator sur une surface plane, ce qui leur permet de générer un mouvement de translation (voir la figure II.14).[17]

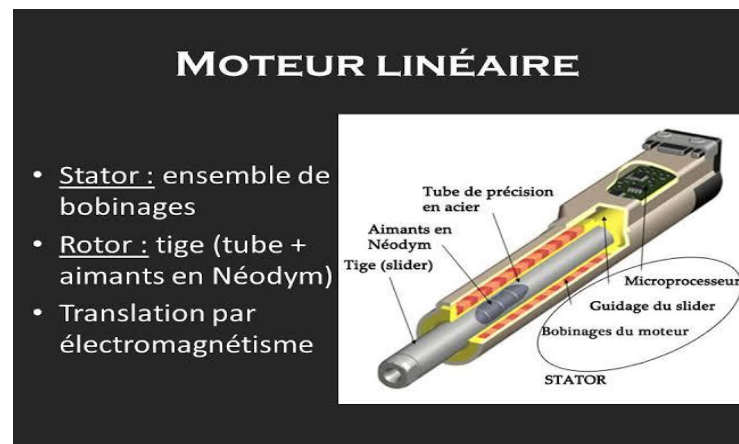


Figure (II.14) : Un moteur linéaire.

Ces moteurs se présentent sous deux types :

- Les moteurs à grande course.
- Les moteurs à course limitée, également appelés actionneurs linéaires.

II.4.2. Machines tournantes

Les machines tournantes sont conçues pour générer un mouvement rotatif afin de faire tourner le dispositif auquel elles sont associées. Toutes les machines tournantes sont composées d'un stator fixe et d'un rotor mobile.



Figure (II.15) : Fonction d'une machine tournante.

Il existe plusieurs types de machines tournantes disponibles, chacun ayant des caractéristiques spécifiques, sont :[17]

- **Machines à courant continu :** elles sont très polyvalentes et peuvent s'adapter facilement à divers besoins.

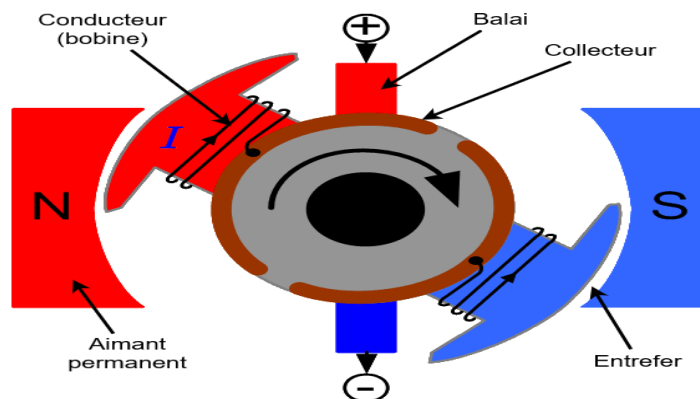


Figure (II.16) : Le moteur à courant continu.

- **Les moteurs brushless** : sont des moteurs à courant continu qui n'ont ni collecteur ni balais. Au lieu de cela, un système de commande est utilisé pour gérer la commutation dans les enroulements (voir figure (II.16)).

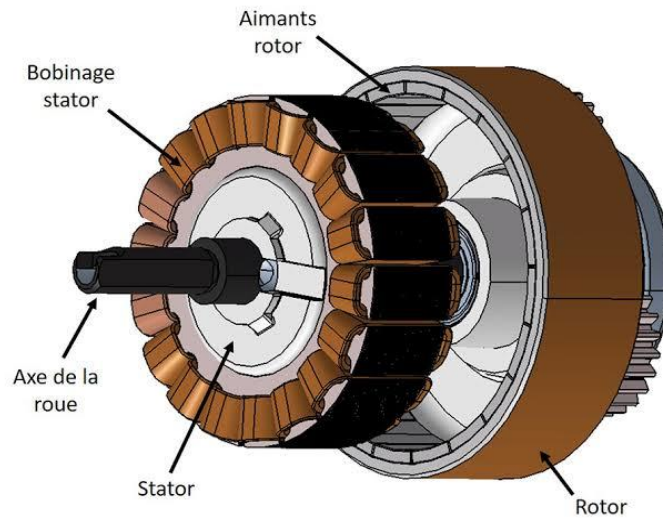


Figure (II.17) : Le moteur brushless (sans balais).

- **Machines à courant alternatif** : sont particulièrement utilisés pour les applications de moyenne et faible puissance.

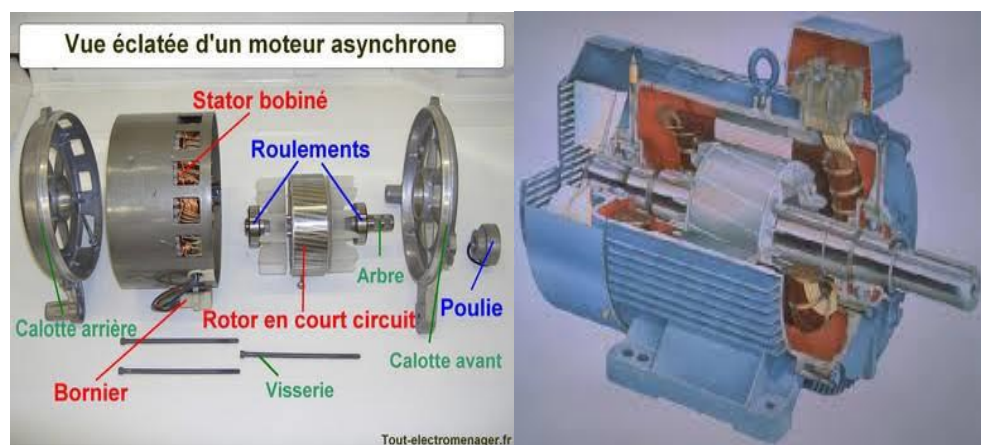


Figure (II.18) : Machine à courant alternatif.

- **Moteurs pas à pas** : sont généralement contrôlés par des systèmes électroniques numériques, ce qui permet de définir des angles avec une grande précision.

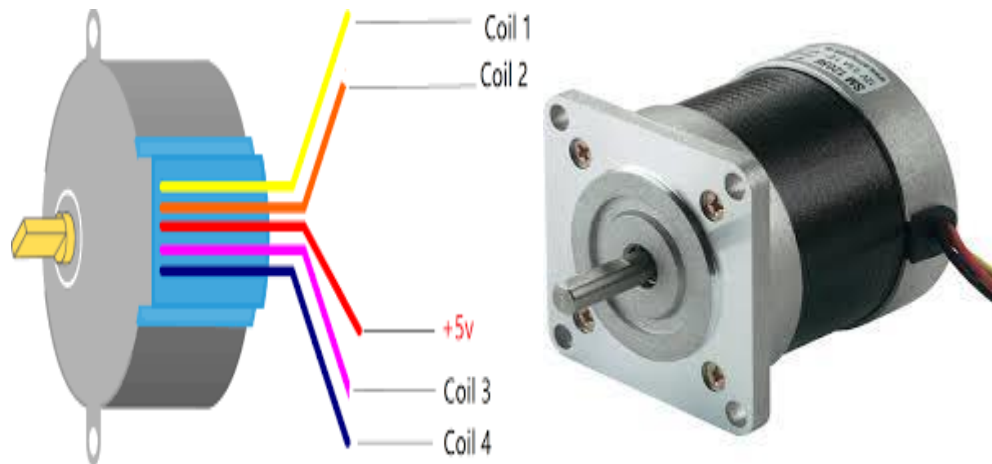


Figure (II.19) : Moteur pas à pas.

II.5. Conclusion

Dans ce deuxième chapitre, nous avons mis en évidence le rôle essentiel du système de poursuite solaire (suiveur solaire) pour améliorer considérablement le rendement des PV. Ce système permet de maintenir les panneaux perpendiculaires aux rayons du soleil en temps réel. Nous avons décrit les différents types de suiveurs ainsi que les méthodes de suiveur utilisées, notamment la méthode en boucle ouverte, la méthode en boucle fermée et la méthode hybride. Nous avons également présenté les différentes dispositions possibles des capteurs LDR sur les panneaux solaires. Enfin, nous avons mentionné les différents types de moteurs électriques utilisés pour fournir un mouvement mécanique aux PV.

CHAPITRE III

Conception du suiveur

III.1.Introduction

Après avoir exposé les différentes méthodes et technologies pour créer des systèmes de suivi, ce chapitre se concentrera sur la conception d'un système de suivi solaire. D'abord, nous établirons un cahier des charges. Ensuite, nous présenterons les dispositifs et les outils logiciels utilisés pour étudier ce système. Enfin, nous exposerons le programme permettant de piloter ce suiveur.

III.2. Conception du suiveur

L'objectif de ce projet est de concevoir un système de suivi solaire à deux axes en utilisant la méthode de boucle fermée, dans laquelle les photodétecteurs LDR sont utilisés comme capteurs. Les dispositifs de commande des actionneurs ainsi que l'acquisition des signaux provenant des capteurs sont décrits comme suit :

- Quatre capteurs LDR placés en quadrature.
- Deux moteurs pas à pas bipolaires pour balayer les deux directions N-S et E-O.
- Carte Arduino UNO.
- Deux driver de type L293 servant comme circuit de puissance.

III.3. Description des composants du système

III.3.1. Photorésistances (LDR)

La photorésistance ou la résistance photodépendante LDR (Light Dependent Resistor) est un composant électronique dont la valeur en ohms varie en fonction de la quantité de lumière à laquelle elle est exposée (sa résistance diminue lorsqu'elle est éclairée). Ces résistances sont généralement fabriquées à partir de sulfure ou séléniure de cadmium, qui agissent comme des semi-conducteurs. Les photorésistances sont couramment utilisées dans les lampes, les caméras, les jouets...etc[18,19].

Comme mentionné dans le chapitre II, Nous avons opté pour un emplacement en quadrature des capteurs LDR :

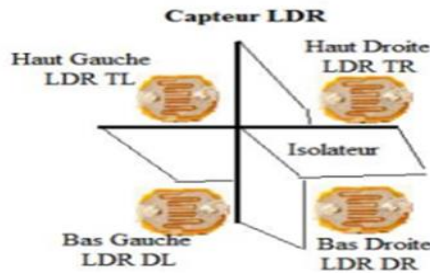


Figure (III.1): Les photorésistances

Principe de fonctionnement du photodétecteur

Le montage est basé sur un diviseur de tension :

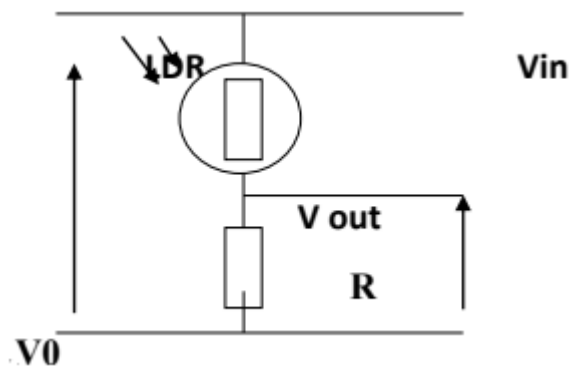


Figure (III.2): Branchement de résistance LDR en diviseur de tension.

$$V_{out} = \frac{R}{(R + R_{LDR})} * V_{int} \quad \dots\dots\dots 1$$

V_{out} : Tension de la sortie du capteur.

R: Résistance en (k Ω) ; elle sert à protéger les entrée de la carte Arduino.

R LRD : Résistance du LDR.

V_{int} : Tension d'alimentation du capteur (5v).

Dispositif

Le modèle GL 5528 est disponible sur le marché à un très bon prix. Il présente les caractéristiques suivantes :

- Tension maximale: 150V, DC.
- Puissance maximale : 100 mW.
- Temps de réponse : 20 ms (Rise), 30ms (Down).
- Température de fonctionnement : $-30^{\circ}\text{C} \rightarrow 70^{\circ}\text{C}$.
- Pic spectral : 540 nm.
- Résistance lumineuse (10Lux)(K Ω) : 10-20.
- Résistance foncée : 1 M Ω .

III.3.2. Moteurs pas à pas bipolaires

Les moteurs pas à pas seront utilisés comme actionneurs dans le système électromécanique. Ils offrent une grande précision lors du suivi du soleil. Pour obtenir un couple moteur important, nous avons choisi des moteurs pas à pas bipolaires, car cette configuration permet d'alimenter simultanément une paire de phases en même temps [20].

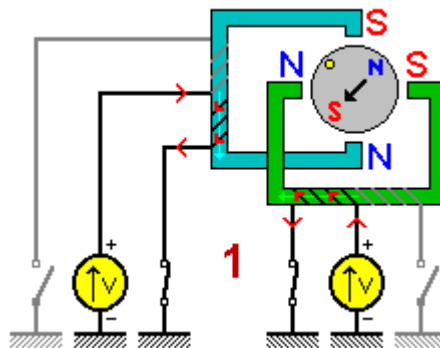


Figure (III.3): Moteur à aimant permanent bipolaire.

On définit le couple moteur comme :

$$C = F \cdot D \text{ (N.m)}$$

Où **F** est la force en Newtons et **D** exprimé en mètre la distance entre le point d'application de la force et le point sur lequel est exercé le couple [21].

III.3.2.1. Les modes d'excitation des moteurs pas à pas bipolaire

Nous sommes limités à présenter uniquement les combinaisons logiques pour le fonctionnement d'un moteur pas à pas bipolaire[22].

Tableau (III.1): combinaison d'excitation en mode pas à pas et en mode demi-pas.

Mode en pas	Mode en demi-pas
AB-CD	AB
BA-CD	AB-CD
BA-DC	CD
AB-DC	BA-CD
AB-CD	BA
Etc...	BA-DC
	DC
	AB-DC
	AB
	AB-CD
	Etc...

III.3.2.2. La commande du moteur

Le pilotage des moteurs pas à pas bipolaire a été effectué à l'aide d'une carte Arduino qui délivre les séquences de fonctionnement, ainsi qu'un circuit intégré spécialisé, le L293, qui sert de circuit de puissance. Il convient de rappeler qu'il existe sur le marché plusieurs types de circuits spécialisés pour commander ce type de moteurs, notamment le L297 pour délivrer les séquences numériques et le L298 utilisé comme interface de puissance. Ces deux derniers circuits sont généralement combinés pour commander les moteurs pas à pas bipolaire. Nous avons choisi le L293 après avoir effectué une étude comparative avec le circuit concurrent, le L298.

Nous avons conclu que le L293D était :

- inutile d'ajouter des diodes de protection car contrairement au L298, les diodes sont intégrées à l'intérieur du boîtier du L293.
- moins cher que le L298.

Caractéristiques techniques du L293D [23]

- V_{SS} Max alim logique : 7V.
- Nbre de broches : 16 Dip.
- Perte de tension : 1.3V.
- Nbre de pont-H : 2.
- Courant max régime continu : 600mA(x2).
- Courant de pointe max<2ms: 120mA.
- V_S Max alim moteur : 36V.

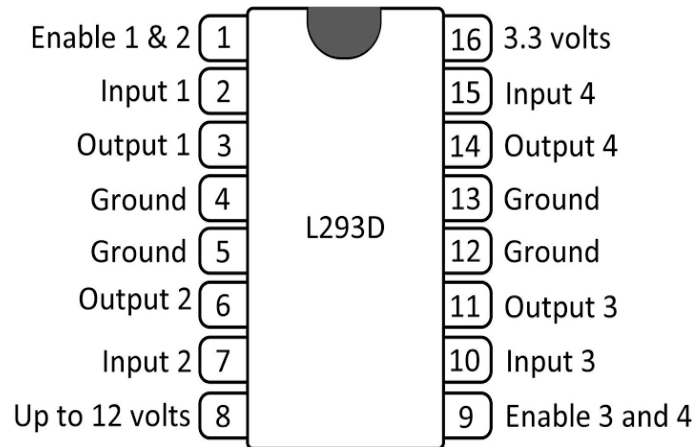


Figure (III.4): L293D pins.

III.3.3.La carte Arduino

Arduino est une carte électronique open-source équipée d'un microcontrôleur programmable capable d'analyser, de calculer et de produire des signaux électriques pour effectuer une grande variété de tâches, telles que le contrôle de systèmes automatisés et d'appareils domestiques tels que l'éclairage et la chauffage[24] .

Il existe plusieurs types de cartes Arduino, tels que la carte UNO, Méga, Nano ...etc. Nous avons choisi la carte Arduino UNO car elle répond à nos besoins techniques et est également peu couteuse d'autre part.

III.3.3.1. La carte Arduino UNO

La carte UNO représente la première version de la carte Arduino qui contient les caractéristiques suivantes [25]:

- Tension d'alimentation (recommandée)=7à12V, limites=6à20V.
- Tension d'alimentation interne avec USB (avec ordinateur)=5V.
- Courant max par broches E/S=40mA.
- Courant max sur sortie 3,3V=50mA.
- Entrées/sorties numériques : 14 dont 6 peuvent assurer une sortie PWM.
- Entrées analogiques : 6.
- Fréquence horloge=16MHz.
- Le microcontrôleur ATMEGA 328T-PU.
- Mémoire Flash 32 KB.
- Mémoire SRAM 2 KB.
- Mémoire EEPROM 1 KB.

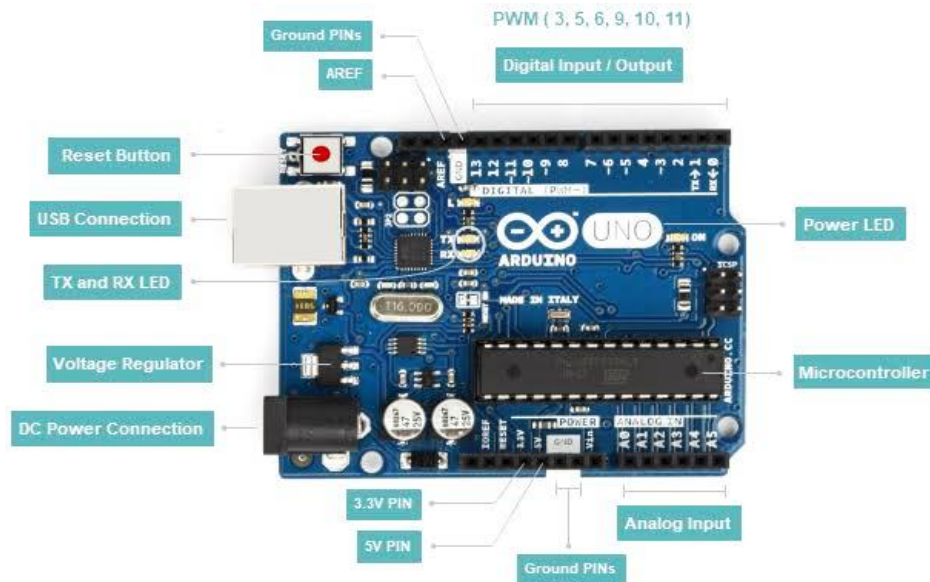


Figure (III.5): Les composants de l'Arduino UNO[25]

Caractéristiques du le microcontrôleur

Le microcontrôleur employé sur la carte Arduino UNO est un microcontrôleur de type ATMEL-ATMega328 de famille AVR [25].

- Processeur 16 MHz.
- Mémoires : 32 KB Flash, 2KB SRAM, 1 KB EEPROM.
- E/S : 14 Digitales (6PWM), 6 Analogique.

Le convertisseur analogique numérique dans Arduino

La carte Arduino UNO est équipée d'un convertisseur analogique-numérique (CAN) intégré sur la même puce. 6 broches (A0,A1,A2,A3,A4,A5) sont réservées à l'acquisition du signal analogique. Le CAN a une résolution de 10 bits, ce qui correspond à 1024 niveaux analogiques discrets[26]. Dans notre projet, Nous avons utilisé ce circuit électronique pour acquérir le signal des capteurs LDR, le traiter numériquement et ajuster les panneaux solaires en conséquence.

III.4.Les logiciels employés**III.4.1. Le logiciel Arduino IDE**

La figure (III.6) ci-dessous montre l'interface du logiciel Arduino IDE, qui est l'outil de développement utilisé pour programmer la carte Arduino. Le langage de programmation utilisé est le langage Arduino, qui ressemble beaucoup aux le langage C/C++.

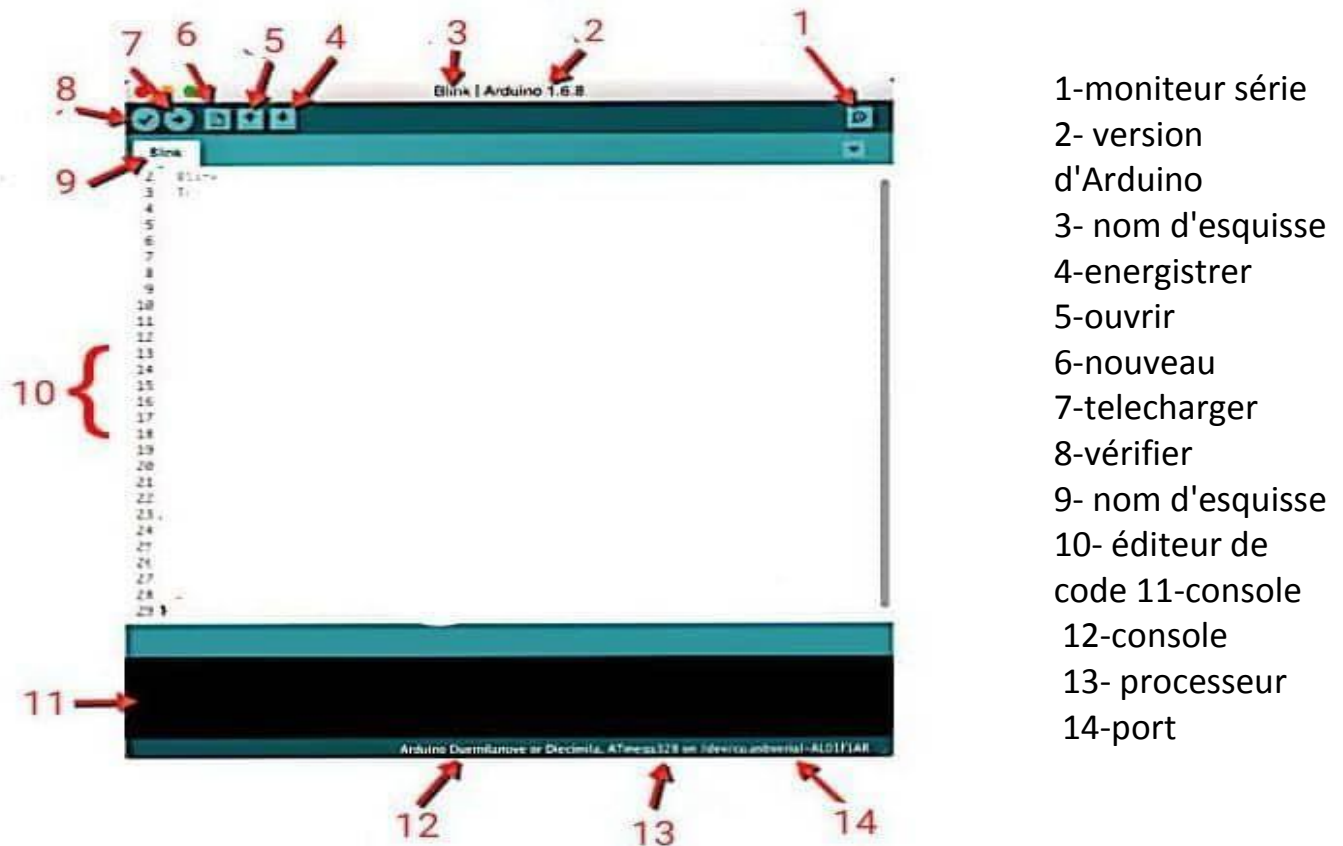


Figure (III.6) : L'interface du logiciel Arduino.

Bibliothèques utilisées

La bibliothèque standard d'Arduino contient de nombreuses fonctions utilitaires pour faciliter la programmation de microcontrôleurs. La bibliothèque Stepper, en particulier, est utilisée pour contrôler les moteurs pas à pas unipolaires et bipolaires.

Pour accéder à cette bibliothèque nous il faut d'utiliser l'instruction '**#include<stepper.h>**'.

Il est important de déterminer deux fonctions clés pour exploiter la bibliothèque Stepper :

- Stepper (nombre de pas par tour, pin1, pin2, pin3, pin4) : cette fonction permet de spécifier le nombre de pas que le moteur pas à pas doit effectuer ainsi que les broches de sortie à connecter à l'interface de puissance du moteur.
- setSpeed (vitesse en tr/s) : cette fonction permet de régler la vitesse de rotation souhaitée pour le moteur pas à pas.

III.4.2. ISIS Proteus Professional

Le logiciel dont il est question ici est d'une famille de logiciels de CAO (Conception Assistée par Ordinateur) qui permet de créer des schémas électroniques et de dessiner des circuits imprimés électroniques. Il permet également de simuler en temps réel des circuits électroniques, électrotechniques et notamment des actionneurs électromécaniques. Dans le cadre de ce projet, la version 8 de ce logiciel est utilisée. Le schéma électrique permettant la simulation du comportement du système suiveur solaire est illustré dans la figure ci-dessous (Figure (III.7)).

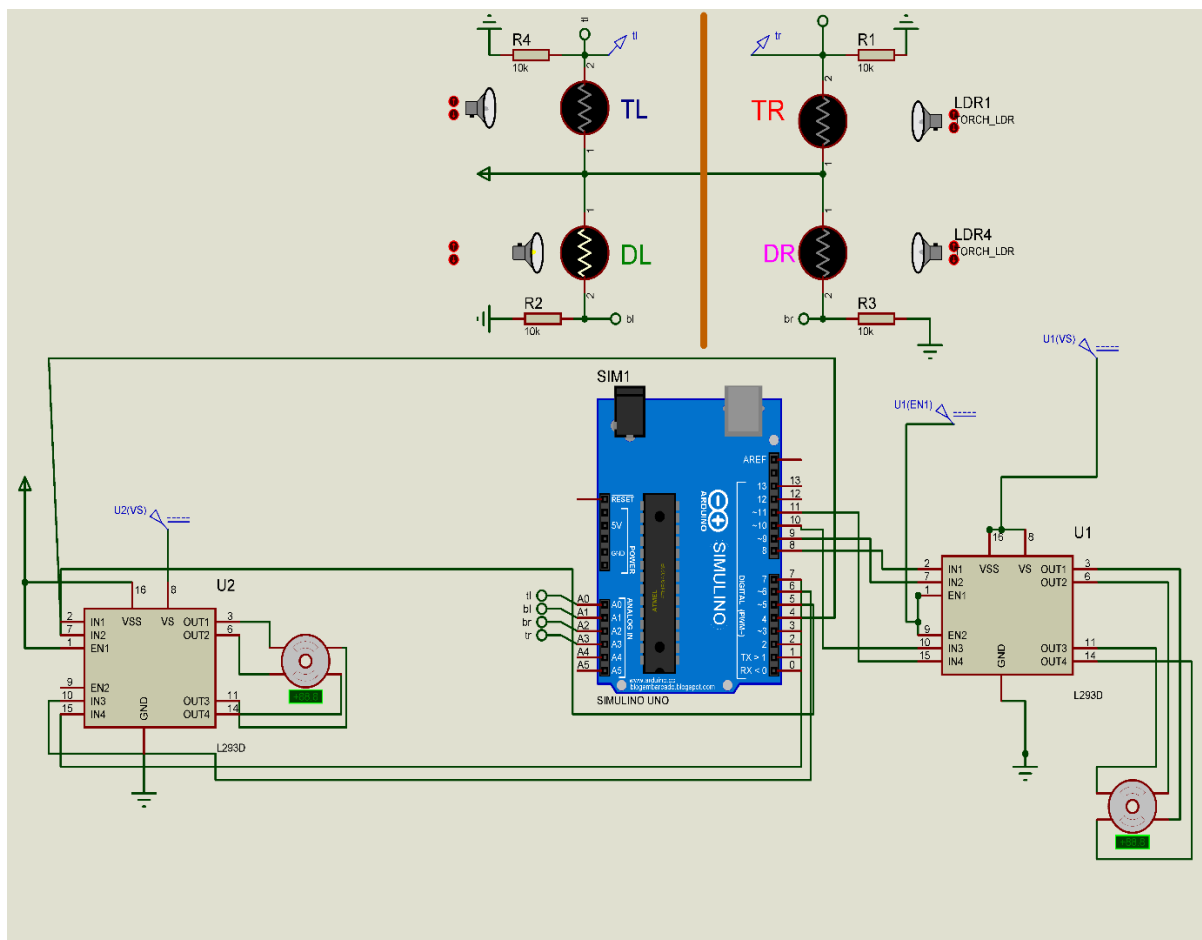


Figure (III.7) : Schéma électrique du système suiveur simulé sous le logiciel ISIS Proteus.

III.5. Programmation

Le programme développé a pour objectif de contrôler les actionneurs (MPP) et d'acquérir en permanence les données fournies par les LDR, afin d'optimiser le rendement du système. En effet, l'orientation des panneaux photovoltaïques perpendiculairement aux rayons solaires est régie par les équations 1 et 2[27].

Cette méthode permet de comparer les moyennes des tensions fournies par les résistances des LDR.

$$P_x = \frac{V_A - V_D}{2} - \frac{V_B - V_C}{2} \dots\dots\dots 2$$

$$P_y = \frac{V_A - V_B}{2} - \frac{V_C - V_D}{2} \dots\dots\dots 3$$

Avec:

- P_x : Coordonnée par rapport aux axe (X) de référence de la surface du détecteur.
- P_y : Coordonnée par rapport aux axe (Y) de référence de la surface du détecteur.
- V_A : Représentent la valeur (en volts) de signal de sortie de photorésistance A.
- V_B : Représentent la valeur (en volts) de signal de sortie de photorésistance B.
- V_C : Représentent la valeur (en volts) de signal de sortie de photorésistance C.
- V_D : Représentent la valeur (en volts) de signal de sortie de photorésistance D.

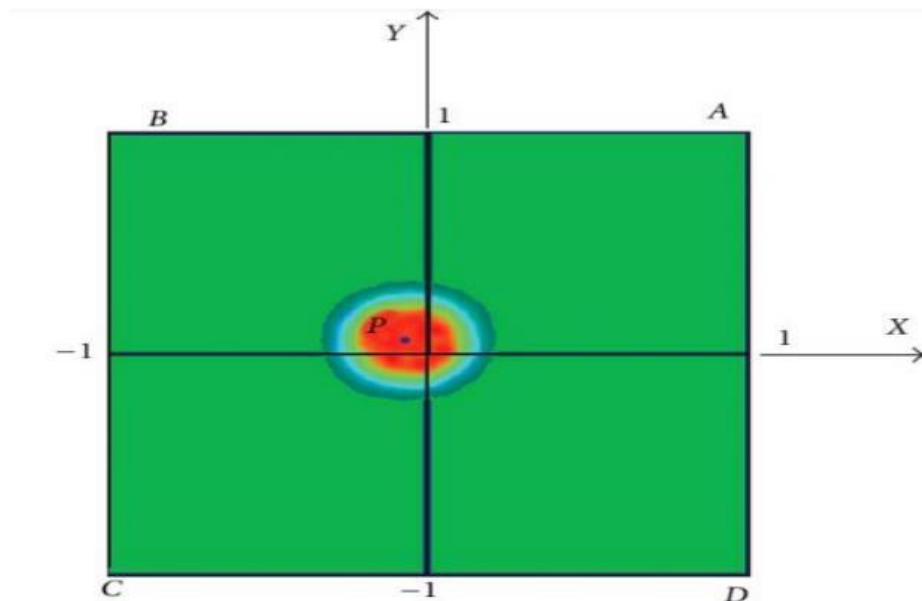


Figure (III.8) : Disposition des détecteurs et position du soleil.

Implémentation des équations dans le programme

- hd : le capteur haut à droite.
- hg : le capteur haut à gauche.
- bd : le capteur bas à droite.
- bg : le capteur bas à gauche.

Nous avons calculé les moyennes de tensions délivrées par les LDR à travers les équations 4,5,6 et 7.

$$\begin{aligned} \text{moyenne_Haut} &= (hg + hd) / 2 \dots\dots\dots 4 \\ \text{moyenne_Bas} &= (bg + bd) / 2 \dots\dots\dots 5 \\ \text{moyenne_Gauche} &= (hg + bg) / 2 \dots\dots\dots 6 \\ \text{moyenne_Droite} &= (hd + bd) / 2 \dots\dots\dots 7 \end{aligned}$$

Le mouvement des moteurs est lié directement aux relations suivantes

$$\text{Dif_inclinaison} = \text{moyenne_haut} - \text{moyenne_bas} \dots\dots\dots 8$$

Ou Dif_inclinaison : représente la valeur selon laquelle le moteur pas à pas effectue une orientation du haut en bas et vis vers ça.

$$\text{Dif_azimut} = \text{moyenne_Gauche} - \text{moyenne_Droite} \dots\dots\dots 9$$

Dif_azimut : représente la valeur selon laquelle le moteur pas à pas effectue une orientation de la gauche vers la droite et vis vers ça en balayant l'azimut.

Il convient de noter que la valeur numérique de l'obscurité a été prise en compte, et qu'elle est représentée par la référence " Ref " dans l'organigramme.

III.5.1. L'organigramme



III.6. Conclusion

Ce chapitre est entièrement dédié à la mise en œuvre du système suiveur via la simulation, en utilisant le logiciel ISIS Proteus 8. Tout d'abord, nous avons pris le temps de présenter le cahier des charges en détaillant les différents dispositifs utilisés dans ce projet. Ensuite, nous avons exposé en détail les environnements logiciels employés pour concevoir le système suiveur. Enfin, nous avons mis en évidence le programme élaboré pour commander efficacement le suiveur.

Conclusion

Générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Notre objectif principal était de concevoir un système de suivi solaire pour une application photovoltaïque, afin d'augmenter et de maximiser le rendement des panneaux solaires, en particulier dans les régions peu ensoleillées ou en période de faible luminosité. Notre étude nous a permis de mieux comprendre le fonctionnement des panneaux photovoltaïques, ainsi que les techniques, méthodes et dispositifs utilisés pour concevoir des systèmes de suivi solaire efficaces. Nous avons mis en œuvre notre système de suivi, qui avait été élaboré selon un cahier des charges, en utilisant un logiciel de simulation appelé ISIS Proteus.

Dans le premier chapitre, nous avons présenté un aperçu général des énergies renouvelables, en mettant l'accent sur la production d'électricité à partir de panneaux photovoltaïques. Nous avons expliqué que l'électricité produite par ces panneaux est due principalement à l'effet photovoltaïque qui se manifeste dans une cellule fabriquée à base d'une jonction PN.

Le deuxième chapitre a été consacré à la compréhension des systèmes de suivi solaire. Nous avons commencé par présenter les différents types de suiveurs solaires, puis nous avons montré qu'une classification peut être effectuée en fonction du nombre d'axes de mouvement des suiveurs et de la méthode d'exploitation utilisée, à savoir la méthode à boucle ouverte, la méthode à boucle fermée et la méthode hybride. En outre, nous avons souligné l'importance de choisir l'emplacement optimal pour les capteurs LDR lorsque la méthode à boucle fermée est utilisée.

Le troisième chapitre a été consacré à l'implémentation des différents dispositifs choisis pour concevoir un système de suivi solaire à deux axes fonctionnant avec la méthode à boucle fermée. Afin d'obtenir une meilleure précision, nous avons utilisé des moteurs pas à pas bipolaires pour la rotation des axes et un driver de type L293 comme interface de puissance. Les séquences délivrées aux moteurs pas à pas ainsi que l'acquisition des signaux analogiques fournis par les capteurs LDR ont été assurées par une carte Arduino UNO. Nous avons également choisi l'emplacement quadrature pour positionner les capteurs LDR. Enfin, nous avons décrit les principales étapes d'un algorithme permettant de programmer l'Arduino pour piloter le système de suivi solaire.

Conclusion générale

En résumé, notre travail consistait à concevoir un système de suivi solaire pour une application photovoltaïque, en se basant sur une étude approfondie du fonctionnement des panneaux solaires, ainsi que des systèmes de suivi solaire existants. Nous avons mis en œuvre notre système de suivi solaire à deux axes, qui fonctionne avec la méthode à boucle fermée, en adoptant les dispositifs appropriés tels que les moteurs pas à pas bipolaires, le driver L293, la carte Arduino UNO et les capteurs LDR positionnés en emplacement quadrature. Notre étude nous a permis de mieux comprendre l'importance des suiveurs solaires dans l'optimisation du rendement des panneaux solaires, en particulier dans les régions peu ensoleillées, et nous a permis de concevoir un système de suivi solaire efficace et précis grâce à l'utilisation d'une méthodologie rigoureuse et d'outils de simulation performants.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

Références bibliographiques :

- [1] Hadj Belkacem. M, 2011, « Modélisation et étude expérimentation d'un capteur solaire non vitré et perforé », Mémoire de Master, Université Abou-Bekr-Belkaid de Tlemcen,P1.
- [2] <https://youmatter.world/fr/definition/energies-renouvelables-definition/>.
- [3] Zerrouki.Z et BereksliReguig.R, 2017, « Dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome », mémoire de Master, UNIVERSITÉ Abou-BekrBelkaid – Tlemcen, P1.
- [4] Belkbir.K et chaabi siham, 2017, « conception et réalisation d'un suiveur de soleil à bas d'une carte Arduino UNO», mémoire de Master, université Mammeri de TiziOuzou, P5.
- [5] <http://www.photovoltaique.info/>.
- [6] Kadri.I, 2018, « Etude, conception et Réalisation d'un suiveur de soleil », mémoire de Master 2, Université de Abou-Bekr Belkaid Tlemcen, P28-29.
- [7] Necir.A et Bouchaal.A, 2018, « conception et réalidation d'un suiveur du soleil commandé par une Carte Arduino », mémoire de Master 2, université d'El-Oued, P 16-17.
- [8] Bensaci.W ,2012 « modélisation et simulation d'un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT », mémoire de Master 2, université Kasdi-Merbah–Ouargla.
- [9] Bouzid. Z, 2012 « Dimensionnement des systèmes photovoltaïques autonomes base sur le concept d'utilisabilité horaire. Application au sud Algérien », Mémoire de Master, Université Abou-Bekr Belkaid de Tlemcen.
- [10] Foundou.A et Hassan.S, 2018, « pilotage automatique d'un système photovoltaïques », mémoire de Master, université Aboubakr Bekaïd Tlemcen, P 10-12.
- [11] Dihaj.A et Zenguila.K, 2016, « Etude et réalisation d'un suiveur solaire photovoltaïques », mémoire de Master, université d'Adrar, P 16.
- [12] 13] Dharye.I, 2014, « Optimisation du rendement énergétique d'un panneau solaire par un support suiveur », mémoire de Master, université Sidi Mohamed Ben Abdellah, P 28-31.
- [13] Foundou.A et Hassan.S, 2018, « pilotage automatique d'un système photovoltaïques », mémoire de Master, université Aboubakr Bekaïd Tlemcen, P 38-39.
- [14] Sukhraj Singh Cheema, 2012, « Simulation Studies on Dual Axis Solar Photovoltaic Panel Tracking System ». THAPAR UNIVERSITY PATIALA.
- [15] Sini Boukrout.A et Lamr Mohamed.L, 2017, « Etude rt conception d'un suiveur du soleil

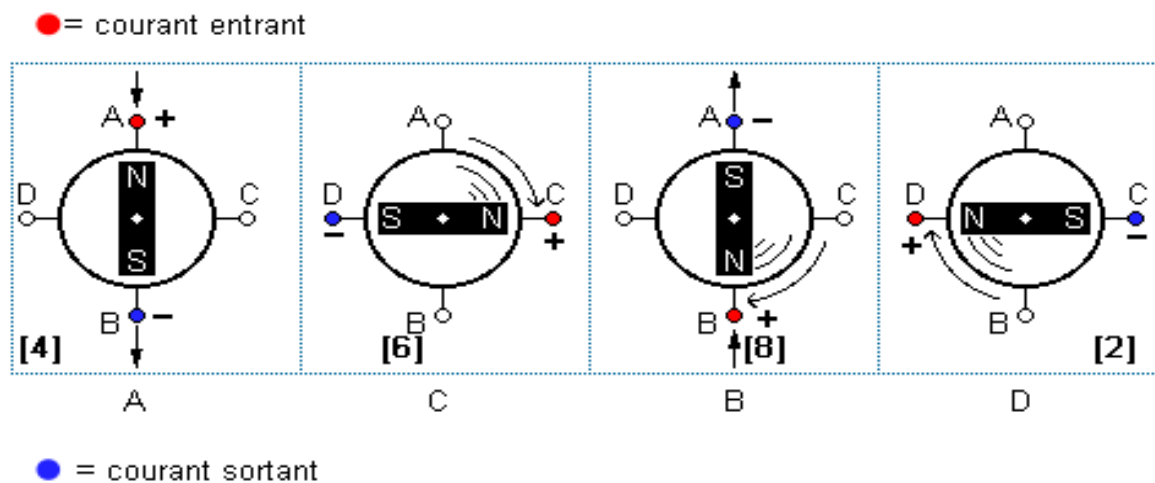
BIBLIOGRAPHIE

- pour un générateur photovoltaïques », mémoire de master, université A.M.Oulhadj-Bouira, P 18-19.
- [16] Boujnane.S, 2016, Tracker solaire à deux axes, mémoire de mastre, université Sidi Mohamed ben Abdellah.
- [17] Kadri.I, « Etude, Conception et Réalisation d'un Suiveur de Soleil », Mémoire de Master, Université Abou-Bekr Belkaid Tlemcen, Soutenu le : lundi 25 juin 2018
- [18] Mekki Walid Badr-Eddine et Mohammed Belhadj Abdelkader Walid, 2019, «Conception et réalisation d'un panneau solaire à base d'Arduino », mémoire de Master2, Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent,P39-40
- [19] Bouziane.R, Dokkar.A, « Conception et Réalisation d'un Suiveur Solaire Bi-axial à Base De capteurs de lumière », Projet de fin d'étude, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2016
- [20] Fontani.D, Sansoni.P, Francini.F, Jafrancesco.D, Mercatelli.L et Sani.E, « Pointing sensors and sun tracking techniques », International Journal of Photoenergy, 2011.
- [21] Takhi.H et Attachi Redoune Cherif, 2014, « conception et réalisation d'un robot mobile à base d'arduino », université de Amar Teidji,mémoire de master, P37.
- [22] Zakaria Taleb Bendiab, 2014, « Etude et realisation d'une cart de commande de trois moteurs pas à pas pour machine de prototypage rapide », université de Abou bekr Belkaid-Tlemcen, P 17-19.
- [23] www.zem.fr/arduino-controler-des-moteurs-dc-avec-le-composant-l293d/
- [24] Belkbir.K et chaabi siham, 2017, « conception et réalisation d'un suiveur de soleil à basz d'une carte Arduino UNO», mémiore de Master, université Mammeri de TiziOuzou, P30.
- [25] Hadj Abderrahmane.M et Ghezzal.M, 2017, « Etude et réalisation d'un système de production d'énergie électrique par des panneaux photovoltaïques » ; MASTER2,Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent.
- [26] www.technologuepro.com/microcontroleur-2/arduino/Arduino%20uno.html
- [27] www.studentcompanion.net/fr/conversion-analogique-numerique-arduino/

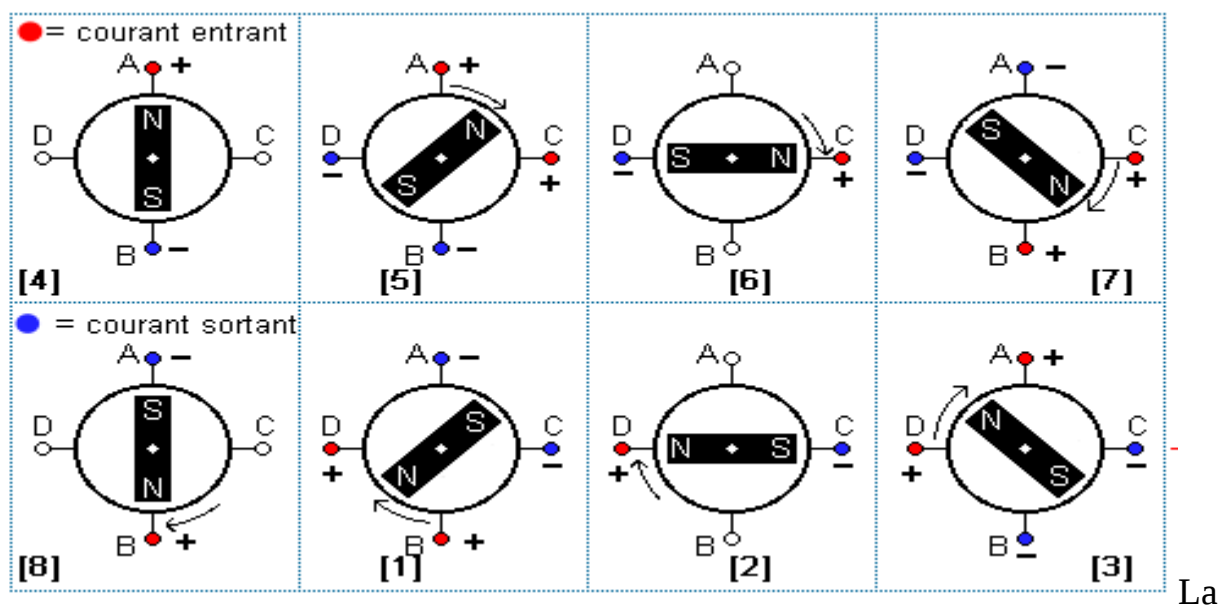
ANNEXES

Annexes

1- Les modes d'excitation des moteurs pas à pas bipolaire



La séquence de commande en mode monophasé

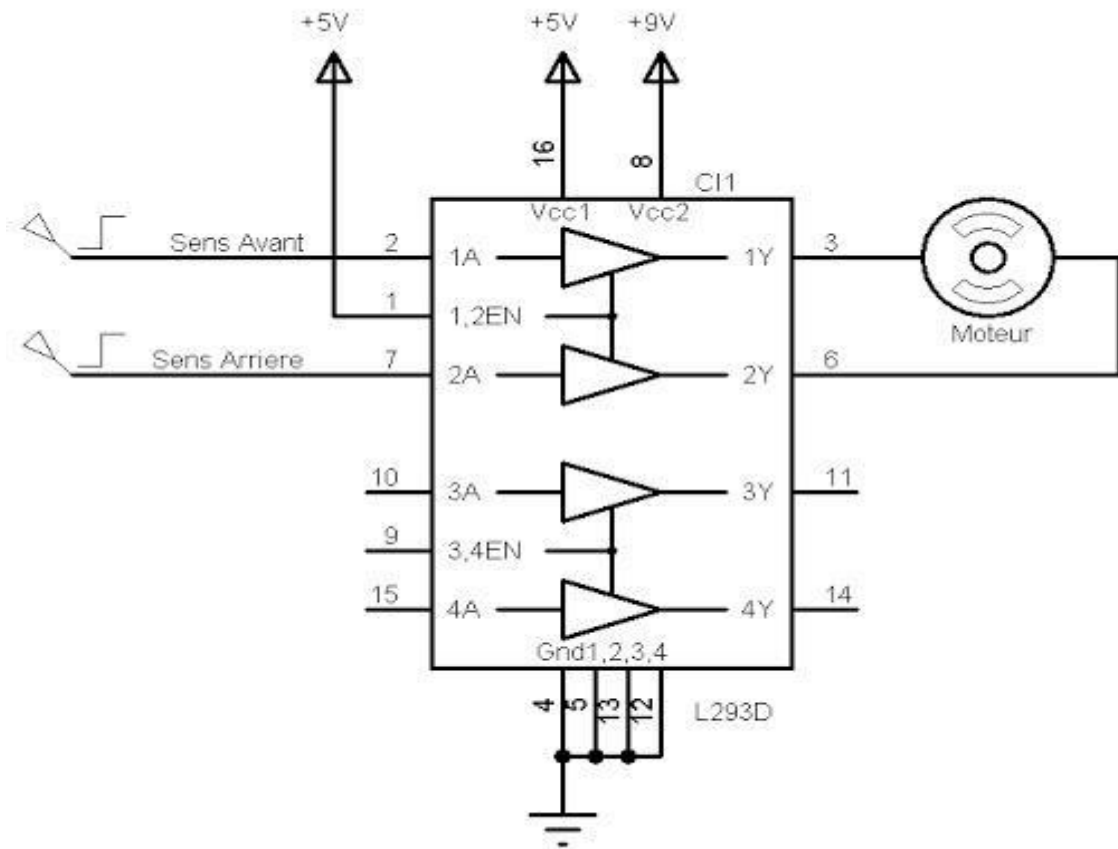


séquence de commande en mode demi-pas

La

ANNEXES

2- L'architecture interne de L293D



Code Arduino

//Code:

```
#include <Stepper.h>
```

```
const int spr=4;
```

```
Stepper stepper (spr,8,9,10,11);
```

```
Stepper stepper1 (spr,4,5,6,7);
```

```
bool m = false;
```

```
#define TL A2
```

```
#define TR A3
```

ANNEXES

```
#define BL A1

#define BR A0


void setup() {

  Serial.begin (9600);

}


void loop() {

  int sensorValue1 = analogRead(A0);
  int sensorValue2 = analogRead(A1);
  int sensorValue3 = analogRead(A2);
  int sensorValue4 = analogRead(A3);

  if(sensorValue1 > 100) {

    stepper.setSpeed(100);

    stepper.step (6);

    delay (200);

  }

  if(sensorValue2 > 100) {

    stepper.setSpeed(100);

    stepper.step (-6);

    delay (200);

  }
```

ANNEXES

```
if(sensorValue3 > 100) {  
    stepper1.setSpeed(100);  
    stepper1.step (6);  
    delay (200);  
}
```

```
if(sensorValue4 > 100) {  
    stepper1.setSpeed(100);  
    stepper1.step (-6);  
    delay (200);  
}
```

```
steper1.setSpeed(0);  
steper.setSpeed(0);  
}
```

Résumé

Ce mémoire a pour objectif de concevoir un système efficace de suivi solaire pour optimiser le rendement énergétique des panneaux photovoltaïques. Il présente les avantages de l'utilisation de panneaux photovoltaïques comme source d'énergie renouvelable propre et efficace, ainsi que l'importance des systèmes électromécaniques tels que les suiveurs solaires pour maximiser leur utilisation. Il décrit ensuite les différents types de suiveurs solaires et les techniques de fabrication, ainsi que les dispositifs utilisés pour la conception du système de suivi solaire, tels que les moteurs pas à pas, les capteurs LDR et la carte Arduino, et le programme élaboré pour piloter le suiveur. Le but ultime est de concevoir un système précis et efficace de suivi solaire pour les panneaux photovoltaïques tout en préservant l'environnement.

Abstract:

The objective of this thesis is to design an efficient solar tracking system to optimize the energy efficiency of photovoltaic panels. It presents the advantages of using photovoltaic panels as a clean and efficient source of renewable energy, and emphasizes the importance of electromechanical systems such as solar trackers to maximize their use. The thesis describes the different types of solar trackers and manufacturing techniques, as well as the devices used in the design of the solar tracking system, such as stepper motors, LDR sensors, and the Arduino program developed to control the tracker. The ultimate goal is to design a precise and efficient solar tracking system for photovoltaic panels while preserving the environment.

ملخص:

يهدف هذا العمل بشكل عام إلى تصميم نظام فعال لتتبع الشمس بهدف تحسين كفاءة الطاقة الشمسية المولدة من الألواح الكهروضوئية. قمنا في هذا العمل بعرض فوائد استخدام الألواح الكهروضوئية كمصدر للطاقة المتجددة والنظيفة والفعالة، وتوضيح أهمية الأنظمة الكهروميكانيكية مثل أجهزة تتبع الشمس في تحقيق أقصى استفادة من هذه الألواح. كما تصف المذكرة أنواع مختلفة من أجهزة تتبع الشمس وتقنيات تصنيعها، والأجهزة المستخدمة في تصميم نظام تتبع الشمس مثل محركات الخطوة وأجهزة الكشف عن الإضاءة LDR وبطاقة آردوينو، بالإضافة إلى البرنامج الذي تم تطويره للتحكم في نظام التتبع. وقمنا في الأخير بتصميم نظام دقيق وفعال لتتبع الشمس للوحات الكهروضوئية، وذلك من أجل تحقيق أعلى كفاءة ممكنة لاستخدام هذه الألواح، والمساهمة في الحفاظ على البيئة.