

Université Kasdi Merbah Ouargla

Faculté De La Nouvelle Technologie De L'information Et De La Communication

Département D'électronique Et Des Télécommunications



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Filière : Automatique

Spécialité : Automatique et Système

Présenté par : Benchetioui Maissa

Thème:

**ÉTUDE ET REALISATION D'UN SUIVEUR SOLAIRE BI-AXIALE ET UN
ROBOT DE NETTOYAGE DES PANNEAUX SOLAIRES A BASE
D'ARDUINO NANO**

Soutenu publiquement

Le 22/06/2023

Devant le jury:

Nom et prénom	fonction	université
Mr. Benarabi Bilal	Président	UKM Ouargla
Mr. Rouabah Boubakeur	Encadreur	UKM Ouargla
Mr. Rachedi Mohamed Yacine	Examineur	UKM Ouargla

Année Universitaire: 2022/2023

Remerciement

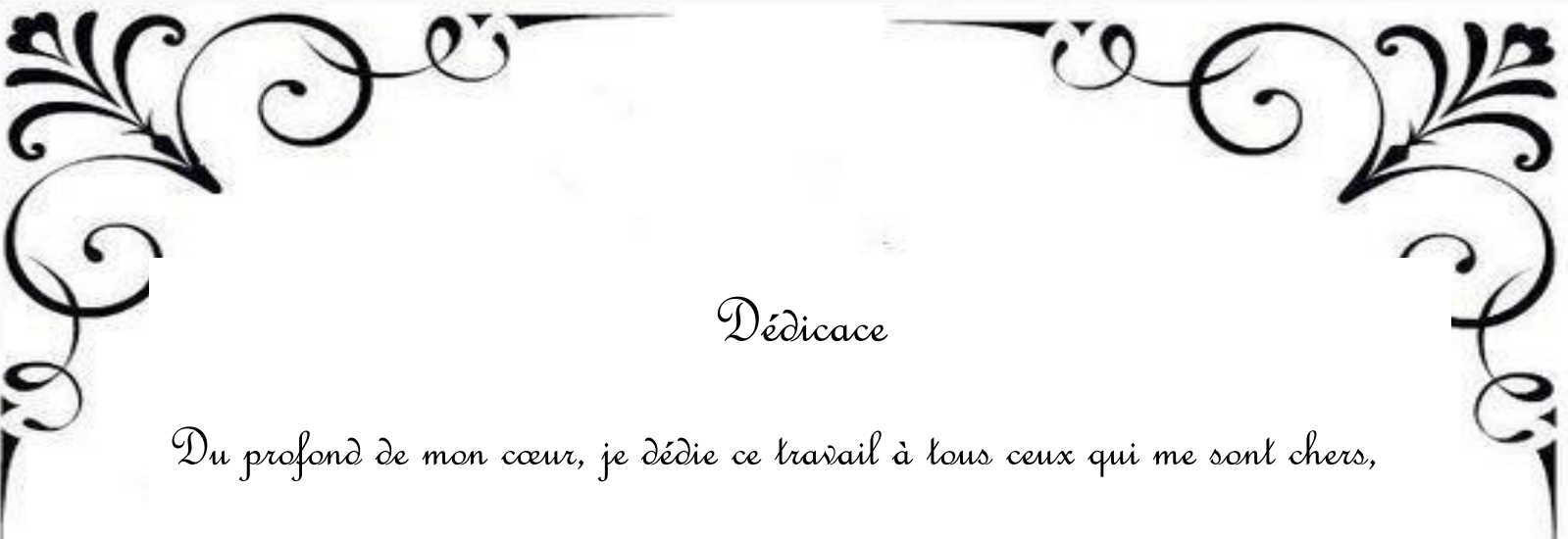
*Je remercie DIEU qui m'a donné la force Et la patience
pour terminer ce travail.*

J'exprime mes sincères remerciements :

*Mes remerciements vont particulièrement à mon
encadreur Monsieur Rouabah pour son aide,*

*Aux membres du jury, pour avoir accepté de juger mon
travail*

*Je tiens a remercié également tous ceux qui de près ou de
loin ont contribué à ce travail*



Dédicace

Du profond de mon cœur, je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chers,

À la mémoire de mon père

*Ce travail est dédié à mon cher père qui nous a quitté trop tôt, qui m'a
toujours poussé et motivé dans mes études*

À ma chère mère

Qui m'a encouragée à aller de l'avant et qui m'a donné tout son amour

À mon frère et mes sœurs

Kadj kadour, Sahar, Sara, Bouchra et à Safia

À mon Oncle Bachir

♡ À tous mes amies de promo 2ème master Automatique et Système ♡

Maissa BenChetoui



ملخص:

تعتبر الطاقة الشمسية المتجددة من أهم وسائل توليد الطاقة في العالم اليوم. على الرغم من أن تركيب الألواح الشمسية هو عملية شائعة، إلا أن طريقة تثبيت الألواح بشكل ثابت يحد من الاستفادة الكاملة من أشعة الشمس طوال اليوم. وبالإضافة إلى ذلك، تواجه الألواح الشمسية مشكلة التلوث التي تؤثر سلبًا على كفاءتها. و بالتالي فإن الهدف من هادا المشروع هو تحسين المكاسب في الطاقة الكهربائية للوحة شمسية المتحركة نسبة إلى النظام الثابت وكذلك الحفاظ على الكفاءة الكهربائية العالية والتغلب على أكبر المشاكل وهي الغبار. من خلال انجاز متتبع الشمس يتحرك اوتوماتيكيا باتجاه الشمس بفضل مستشعرات الضوء من نوع 'LRD'. وكذلك انجاز منظف الألواح الشمسية الذي يتم التحكم فيه عن بعد ، الذي يتكون من ذراع روبوتية للتنظيف مثبتة على هيكل متحرك

الكلمات المفتاحية : ألواح شمسية ، اشعاع شمسي ،أردوينو ، متتبع الشمس

Résumé :

L'énergie solaire renouvelable est l'une des principales sources d'énergie dans le monde aujourd'hui. Bien que l'installation de panneaux solaires soit courante, la méthode de fixation des panneaux de manière statique limite l'utilisation complète de l'énergie solaire tout au long de la journée. De plus, les panneaux solaires sont confrontés au problème de la pollution, qui affecte négativement leur efficacité.

Par conséquent, l'objectif de ce projet est d'améliorer les gains d'énergie électrique des panneaux solaires mobiles par rapport aux systèmes fixes, tout en maintenant une haute efficacité électrique et en surmontant le principal problème, qui est la poussière. Cela est réalisé en créant suiveur solaire qui se déplace automatiquement vers le soleil grâce à des capteurs de lumière de type 'LRD'. De plus, un système de nettoyage des panneaux solaires est mis en place, qui peut être contrôlé à distance et comprend un bras robotique de nettoyage monté sur une structure mobile.

Mots-clés : Panneaux solaires, Arduino, rayonnement solaire, suiveur solaire

Absract :

Renewable solar energy is one of the primary sources of energy in the world today. While the installation of solar panels is common, the method of statically mounting the panels limits the full utilization of solar energy throughout the day. Additionally, solar panels face the problem of pollution, which negatively affects their efficiency.

Therefore, the objective of this project is to enhance the electrical energy gains of mobile solar panels compared to fixed systems, while maintaining high electrical efficiency and overcoming the main issue of dust. This is achieved by creating a sun tracker that automatically moves towards the sun using 'LRD' type light sensors. Furthermore, a solar panel cleaning system is implemented, which can be remotely controlled and includes a robotic cleaning arm mounted on a mobile structure.

Keywords: Solar panels, Arduino, sun tracker, solar radiation

Liste Des Tableaux :

Chapitre III: Réalisation du suiveur solaire et du robot de nettoyage des panneaux PV

Tableau III.1: Les différentes gammes de carte Arduino.

Tableau III.2: Caractéristiques technique de l'Arduino Nano.

Tableau III.3: Pièces nécessaires pour la voiture.

Liste Des Symboles Et Des Abréviation :

Φ : latitude

L : longitudes

δ : La déclinaison solaire

n : Numéro du jour dans l'année

ω : Angle horaire

a : L'azimut

h : La hauteur

z : Distance zénithale

T : Taux d'insolation

P: La puissance

η : Rendement

λ : longueur d'onde

S : la surface du module

PV: Photovoltaïque

Wc : watt crête

DC : Courant continu

AC: Courant alternatif

LRD: Light-Dependent-Résistor

PWM: Pulse Width Modulation

RCO : Rapport Cyclique d'Ouverture

IDE : environnement de développement intégré

MCC : Moteurs à courant continu

LED: diode émettant de la lumière

Liste Des Figures :

Chapitre I: Généralités sur l'énergie solaire

Figure I.1: L'écliptique et l'équateur-----	4
Figure I.2: Coordonnées terrestre-----	5
Figure I.3: Trajectoire du soleil -----	6
Figure I.4: La déclinaison du soleil en fonction des jours-----	7
Figure I.5: les coordonnées horaires-----	8
Figure I.6: Les coordonnées horizontales-----	8
Figure I.7: les rayonnements solaires-----	11
Figure I.8: Gisement solaire en Algérie -----	12
Figure I.9: schéma synoptique d'un système photovoltaïque-----	13

Chapitre II: Techniques de poursuite solaire et de nettoyage des panneaux PV

Figure II.1: comment incliner les panneaux solaires-----	21
Figure II.2: Diagramme de comparaison entre la production avec su -----	22
Figure II.3: Modèle d'un héliostat dans ses premières applications -----	23
Figure II.4: Les types des suiveurs solaires-----	24
Figure II.5: Exemple et fonctionnement du suiveur passif-----	25
Figure II.6: Différentes architectures de suiveur mono-axe-----	27
Figure II.7: Le nettoyage manuel des panneaux PV -----	30
Figure II.8: Image montrant le processus de nettoyage manuel-----	31

Chapitre III: Réalisation du suiveur solaire et du robot de nettoyage des panneaux PV

Figure III.1: plaques solaires 8volt, 1.93 watt. -----	35
Figure III.2: Symbole et capteur LDR. -----	36
Figure III.3: Schéma du prototype des quatre capteurs LRD-----	36
Figure III.4: Circuit équivalent du capteur LDR utilisé. -----	37

Figure III.5: Constitution de la carte Arduino	-----39
Figure III.6: Microcontrôleur ATmega 168.	-----40
Figure III.7: Image représentée une plaques d'essais	-----41
Figure III.8: Une résistance électronique.	-----42
Figure III.9: Un convertisseur dc-dc xl6009.	-----43
Figure III.10: servomoteurs SG90 9G	-----45
Figure III.11: Interface de l'IDE Arduino.	-----46
Figure III.12: programmation de suiveur solaire.	-----47
Figure III.13: les pièces de support du suiveur solaire.	-----48
Figure III.14: moteur DC 12V.	-----50
Figure III.15: moteur DC 3-6V pour les roues.	-----50
Figure III.16: contrôleur de moteurs (Driver) L293D.	-----51
Figure III.17: les pièces du bras robotique.	-----54
Figure III.18: L'application Android	-----54
Figure III.19: Schéma électrique de suiveur solaire	-----55
Figure III.20: Schéma électrique du robot de nettoyage des panneaux PV	-----56

Table des matières

INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
CHAPITRE I: GENERALITES SUR L'ENERGIE SOLAIRE	3
I.1. Introduction	4
I.2. Aspect géométriques	4
I.2.1. Mouvement du Globe terrestre	4
I.2.2. Coordonnées terrestres (géographiques)	5
I.2.2.1. Trajectoire apparente du soleil	5
I.2.3. Les coordonnées célestes	6
I.2.3.1. les coordonnées équatoriales (horaires)	6
I.2.3.2. Les coordonnées horizontales	8
I.2.3.3. Le taux d'insolation	9
I.2.3.4. Durée d'insolation	9
I.3. Aspect énergétiques	10
I.3.1. Rayonnement solaire	10
I.3.2. Les types de rayonnements	10
I.3.2.1. Rayonnement direct	10
I.3.2.2. Rayonnement diffus (indirect)	10
I.3.2.3. Rayonnement albédo	10
I.3.2.4. Rayonnement global	10
I.3.3. Rayonnement en Algérie	11
I.3.4. Technique pour capter l'énergie solaire	12
I.4. L'énergie solaire photovoltaïque	13
I.4.1. Principe de fonctionnement	14
I.4.2. L'effet photovoltaïque	15
I.4.3. Les panneaux photovoltaïques	16
I.4.4. Les différents types de cellules photovoltaïques	16
I.4.5. la puissance et le rendement du module photovoltaïque	17
I.5. Conclusion	18
CHAPITRE II: TECHNIQUES DE POURSUITE SOLAIRE ET DE NETTOYAGE DES PANNEAUX PV	19
II.1. Introduction	20
II.2. Les techniques de poursuite solaire	20
II.2.1. Orientation des panneaux solaires	20
II.2.1.1. Choix de l'orientation de module PV	20

II.2.1.2.	Choix de l'inclinaison de module PV :-----	20
II.2.1.3.	L'intérêt des panneaux mobiles par rapport aux panneaux fixes:-----	21
II.2.2.	Le suiveur solaire : -----	22
II.2.2.1.	Les premières utilisations :-----	22
II.2.2.2.	Les types des suiveurs solaires :-----	23
II.2.2.3.	Type de commande : -----	25
II.2.2.3.1.	Types de suiveurs actifs : -----	26
II.2.2.3.2.	Les suiveurs solaires actifs actuels :-----	28
II.3.	La maintenance et nettoyage de panneau photovoltaïque :-----	28
II.3.1.	Maintenance de panneau photovoltaïque :-----	28
II.3.2.	Pollution des panneaux solaires :-----	28
II.4.	Les techniques de nettoyage des panneaux PV :-----	29
II.4.1.	Nettoyage naturel :-----	29
II.4.2.	Nettoyage manuel :-----	30
II.4.3.	Nettoyage à sec :-----	30
II.4.4.	Lavage manuel a l'eau :-----	31
II.5.	Conclusion :-----	32
CHAPITRE III:	REALISATION DU SUIVEUR SOLAIRE ET DU ROBOT DE NETTOYAGE DES PANNEAUX PV-----	33
III.1.	Introduction :-----	34
III.2.	Partie matérielle :-----	34
III.2.1.	Matérielle utilisées pour la réalisation de capteur solaire :-----	34
III.2.1.1.	Etude des différents composants : -----	35
III.2.1.1.1.	Le capteur PV :-----	35
III.2.1.1.2.	Capture de lumière LRD :-----	35
III.2.1.1.3.	Le circuit de commande :-----	37
III.2.1.1.4.	Définition d'Arduino : -----	37
III.2.1.1.5.	La constitution de la carte Arduino Nano : -----	39
III.2.1.1.6.	Caractéristiques techniques de l'Arduino Nano :-----	40
III.2.1.1.7.	Plaque d'essais 830 point :-----	41
III.2.1.1.8.	La Résistance:-----	42
III.2.1.1.9.	Un convertisseur dc-dc : -----	43
III.2.1.1.10.	Servomoteur : -----	44
III.2.1.1.11.	L'IDE Arduino : -----	46
III.2.1.1.12.	Le langage de programmation : -----	47
III.2.1.1.13.	Le support de suiveur solaire :-----	48

III.2.2.	Matérielle utilisées pour la réalisation de robot de nettoyage des panneaux solaire :-----	48
III.2.2.1.	Moteur DC : -----	49
III.2.2.2.	Contrôleur L293D :-----	51
III.2.2.3.	Impression 3D :-----	52
III.2.2.3.1.	Pièces nécessaires pour la voiture : -----	52
III.2.2.3.2.	Les étapes de montage de la voiture :-----	53
III.2.2.3.3.	L'application Android :-----	54
III.3.	Schéma électrique :-----	55
III.3.1.	Schémas électrique du suiveur solaire :-----	55
III.3.2.	Schémas électrique du robot de nettoyage des panneaux PV :-----	56
III.4.	Conclusion :-----	56

CONCLUSION GÉNÉRALE -----	57
----------------------------------	-----------

BIBLIOGRAPHIE -----	58
----------------------------	-----------

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les énergies renouvelables sont considérées comme inépuisables à l'échelle humaine. Face aux prévisions d'épuisement inévitable des ressources mondiales en énergie fossile (pétrole, gaz, charbon...), face aux multiples crises pétroliers, économiques, aux changements climatiques dus à l'effet de serre, la science s'est tout naturellement intéressée aux ressources dites "renouvelables" et notamment vers la plus ancienne, le soleil. Le soleil est aujourd'hui réduit du statut d'énergie et transformer directement en électricité par effet photovoltaïque, provenant de la conversion de la lumière du soleil en électricité au sein de matériaux semi - conducteur.[1]

Le soleil est aujourd'hui réduit du statut d'énergie, une énergie qu'il nous faut la capter, la transformer, la stocker. Pour capter cette énergie et la transformer directement en électricité par effet photovoltaïque, provient de la convention de la lumière du soleil en électricité au sein de matériaux semi-conducteur comme le silicium. Ces matériaux photosensibles ont la propriété de libérer leur électrons sous l'influence d'une énergie extérieure. L'énergie est apportée par les photons qui heurtent les électrons et les libèrent, induisent un courant électrique. C'est l'effet photovoltaïque.[2]

Pour garantir un rendement optimal, Il est essentiel d'entretenir et de nettoyer régulièrement les panneaux solaires, quelle que soit leur technologie. Ces dispositifs doivent rester exempts de tout obstacle susceptible de bloquer les rayons solaires, tels que la poussière, le pollen, les feuilles mortes, les fientes d'oiseaux, le sable, les dépôts de sels marins, les particules fines, et bien d'autres. Ainsi, il est essentiel de procéder à des vérifications régulières afin de s'assurer de leur état optimal.

Ce travail sera consacré à la conception et à la réalisation d'un suiveur solaire et d'un robot de nettoyage des panneaux solaire utilisant une carte Arduino. Son objectif est d'améliorer l'efficacité énergétique et d'optimiser la production d'énergie électrique des panneaux en assurant le suivi du soleil tout au long de la journée et en effectuant le nettoyage nécessaire.

Le mémoire sera divisé en trois chapitres. Le premier chapitre abordera les notions générales sur l'énergie solaire. Le deuxième chapitre se concentrera sur les techniques de suivi

solaire et de nettoyage des panneaux solaires, en incluant une présentation des différents types de suiveurs et de leurs principes fondamentaux. Enfin, le troisième chapitre sera consacré à la partie pratique de notre travail, où nous décrirons les étapes de conception et de réalisation de notre suiveur solaire et de notre robot de nettoyage.

Chapitre I: Généralités sur l'énergie solaire

Chapitre I: Généralités sur l'énergie solaire

I.1. Introduction :

L'énergie solaire est une forme d'énergie renouvelable dérivée du rayonnement solaire, et elle est largement reconnue comme une solution durable pour répondre aux besoins énergétiques de notre planète.

Il existe trois types d'énergie solaire :

- **L'énergie solaire photovoltaïque** sert à transformer l'énergie du Soleil en électricité
- **L'énergie solaire thermique** : Son fonctionnement est basé sur l'utilisation des rayons du soleil pour chauffer l'eau à travers des panneaux solaires thermiques.
- **L'énergie solaire passive** : Il s'agit d'une ressource pour profiter de la chaleur solaire sans utiliser de ressources externes.[3]

I.2. Aspect géométriques :

I.2.1. Mouvement du Globe terrestre:

La trajectoire de la terre autour du soleil. Met une année 365,25 jours pour faire une révolution autour du soleil et 1 jour soit 24 heures pour faire un tour sur elle-même autour d'un axe passant par le pôle Nord et le pôle Sud. Le plan perpendiculaire à l'axe des pôles est nommé l'Equateur. [4]

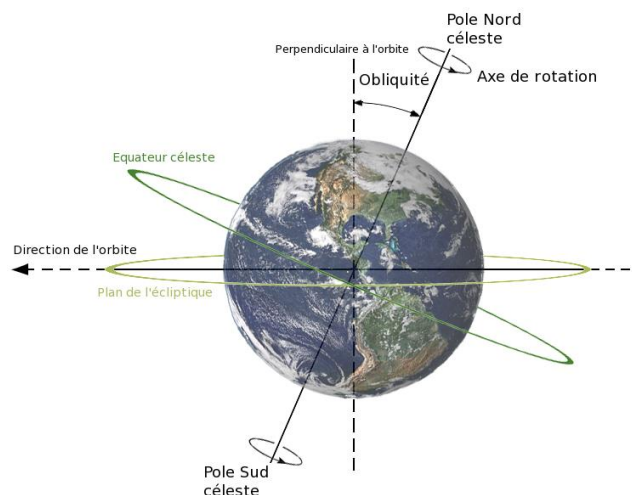


Figure I.1: L'écliptique et l'équateur.[4]

Chapitre I: Généralités sur l'énergie solaire

I.2.2. Coordonnées terrestres (géographiques) :

Les coordonnées polaires terrestres portent les noms de **latitude** (notée Φ) et **longitudes** (notée L) terrestres (**Figure I.2**).

La latitude Φ : est une valeur angulaire, expression du positionnement nord ou sud d'un point sur Terre, Φ varie de -90° à 90° tel que: $\Phi > 0$ vers le nord et $\Phi < 0$ vers le sud.

La longitude L : est une valeur angulaire, expression du positionnement est ou ouest d'un point sur Terre, L varie de -180° à 180° tel que : $L > 0$ à l'est du méridien de Greenwich & $L < 0$ à l'ouest du méridien de Greenwich.[5]

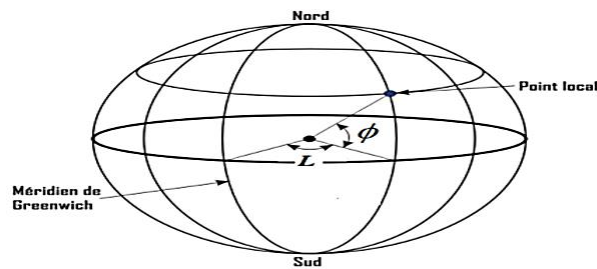


Figure I.2: Coordonnées terrestre.[5]

I.2.2.1. Trajectoire apparente du soleil :

Sur la **Figure I.3**, les trajectoires et en même temps les hauteurs du Soleil sont tracées pour tous les pays qui sont à la même latitude. Plus on monte vers le Nord, plus le Soleil à son lever, s'écarte de l'Est à l'époque des solstices. L'angle que fait un point de l'horizon avec la direction du Sud s'appelle l'azimut

L'équateur céleste est pratiquement la ligne que trace pour nous le Soleil dans le ciel, aux premiers jours du printemps et de l'automne (appelés jours d'équinoxes). L'observateur est ici face au Soleil couchant. Le parcours du Soleil est le plus long au solstice d'été. Au solstice d'hiver, en revanche, le parcours du Soleil est le plus court.[5]

Chapitre I: Généralités sur l'énergie solaire

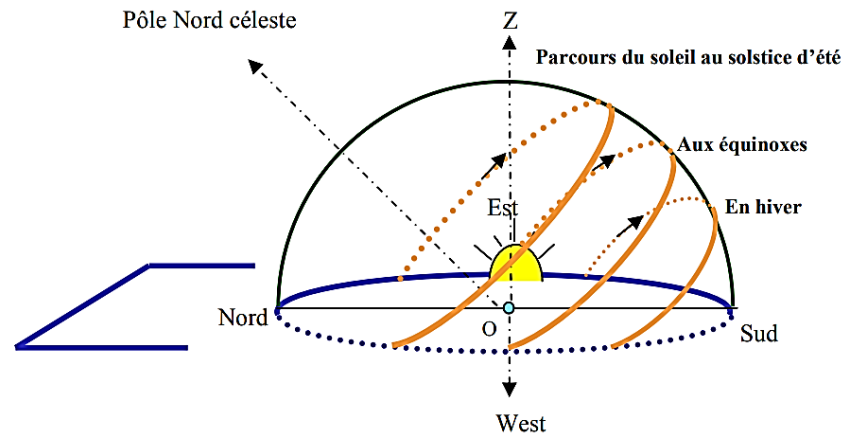


Figure I.3: Trajectoire du soleil.[5]

I.2.3. Les coordonnées célestes :

Pour un lieu donné, la position du soleil est repérée à chaque instant de la journée et de l'année par deux systèmes de coordonnées différents.

Par rapport au plan équatorial de la terre (repère équatorial).

Par rapport au plan horizontal du lieu (repère horizontal).[5]

I.2.3.1. les coordonnées équatoriales (horaires) :

Le mouvement du soleil est repéré par rapport au plan équatorial de la terre à l'aide de deux angles.

- **La déclinaison solaire (δ) :**

C'est l'angle formé par la direction du soleil et le plan équatorial terrestre. Elle varie tout au long de l'année, entre deux valeurs extrêmes : $(-23^{\circ}27'$ et $+23^{\circ}27'$ environ) et elle s'annule aux équinoxes de printemps et d'automne, sa valeur peut être calculée par la formule :[6]

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

Chapitre I: Généralités sur l'énergie solaire

n : numéro du jour dans l'année

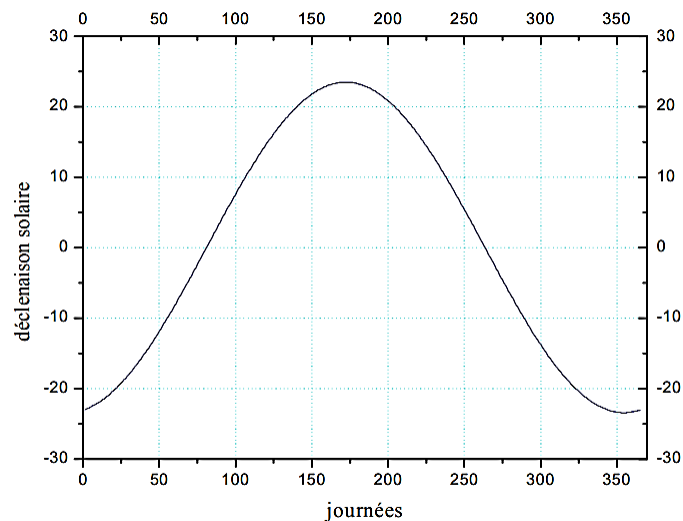


Figure I.4: La déclinaison du soleil en fonction des jours.[6]

- **Angle horaire (ω):**

L'angle horaire du soleil est l'angle formé par le plan méridien du lieu et celui qui passe par la direction du soleil si l'on prend comme origine le méridien de Greenwich, l'angle horaire est compris entre 0° et 360° . La valeur de l'angle horaire est nulle à midi solaire, négative le matin, positive dans l'après-midi et augmente de 15° par heure [6]

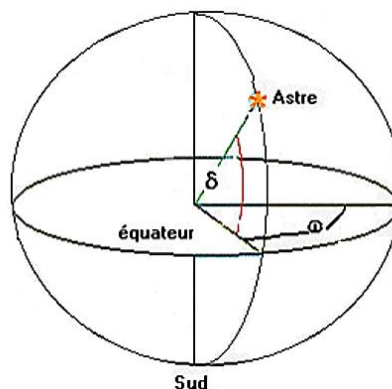


Figure I.5: les coordonnées horaires.[6]

Chapitre I: Généralités sur l'énergie solaire

I.2.3.2. Les coordonnées horizontales :

Le repérage du soleil se fait par l'intermédiaire de deux angles :

L'azimut(a), ou l'angle que fait la projection de la direction du soleil sur le plan horizontal avec la direction sud. Il est compté de 0° à 360° d'ouest en est, ou de 0° à 180° à partir du sud vers l'ouest

La hauteur (h), ou l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection. Il est compté de 0° à 90° vers le zénith et de 0° à -90° vers le nadir.

On appelle quelquefois distance zénithale le complément de l'angle h (**Figure I.6**) :

$$z + h = 90^\circ \quad (2). [7]$$

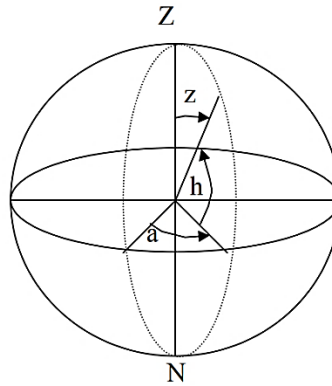


Figure I.6: Les coordonnées horizontales.[7]

L'équation de passage des coordonnées horizontales en coordonnées horaires est la suivante :

$$\sin(a) \times \cos(h) = \cos(\delta) \times \sin(\omega) \quad (3)$$

$$\cos(a) \times \cos(h) = \cos(\delta) \times \cos(\omega) \times \sin(\Phi) - \cos(\Phi) \times \sin(\delta) \quad (4)$$

$$\sin(h) = \cos(\Phi) \times \cos(\delta) \times \cos(\omega) + \sin(\Phi) \times \sin(\delta) \quad (5). [7]$$

Chapitre I: Généralités sur l'énergie solaire

I.2.3.3. Le taux d'insolation :

Le sol reçoit le rayonnement solaire maximal pendant la durée de jours d'ensoleillement T (du lever au coucher du soleil) et par ciel clair, mais la durée effective d'ensoleillement s d'une journée ordinaire est inférieure à cette durée maximale.[5]

Le taux d'insolation est donné par l'expression ci-après :

$$taux_i = \frac{s}{T} \quad (6)$$

I.2.3.4. Durée d'insolation :

Qui est la durée pendant laquelle le rayonnement direct est demeuré supérieur à une certaine valeur internationalement admise. On dispose de deux relevés par jour, I 'un pour le matin, I 'autre pour l'après-midi. L'unité employée est le dixième d'heure d'insolation, et l'appareil de mesure est appelé héliographe.[8]

Et on peut la calculer théoriquement

- Le temps du lever du soleil est :

$$t_{SVlever} = 12 - \arccos(-tg(\delta)tg(\Phi))/15 \quad (7)$$

- Le temps du coucher du soleil est :

$$t_{SVcoucher} = 12 + \arccos(-tg(\delta)tg(\Phi))/15 \quad (8)$$

- Durée du jour :

$$T = t_{SVcoucher} - t_{SVlever} = \frac{2}{15} \arccos(-tg(\delta)tg(\Phi)) \quad (9).[5]$$

Chapitre I: Généralités sur l'énergie solaire

I.3. Aspect énergétiques :

I.3.1. Rayonnement solaire :

Quel que soit la distance considérable qui sépare le soleil de la terre, la couche terrestre reçoit une quantité d'énergie importante, Le rayonnement solaire se décompose approximativement comme suit :

- 9 % dans la bande des ultraviolets ($< 0.4\mu\text{m}$).
- 47 % dans la bande visibles ($0.4\text{ à }0.8\mu\text{m}$).
- 44 % dans la bande des infrarouges ($> 0.8\mu\text{m}$).**[1]**

I.3.2. Les types de rayonnements :

I.3.2.1. Rayonnement direct :

Ce type de rayonnement définit comme étant le rayonnement provenant du seul disque solaire.

Il est donc nul lorsque le soleil est occulté par les nuages.

I.3.2.2. Rayonnement diffus (indirect) :

Dans sa traversée de l'atmosphère, le rayonnement solaire est diffusé par les molécules de l'air et les particules en suspension. Le rayonnement solaire diffus n'est donc nul que la nuit

I.3.2.3. Rayonnement albédo :

Partie de rayonnement réfléchi par le sol.**[9]**

I.3.2.4. Rayonnement global :

Est la somme de tous les rayonnements reçus au sol. Il se décompose en rayonnement direct, rayonnement diffus et rayonnement réfléchi (**Figure I.7**)

Chapitre I: Généralités sur l'énergie solaire

La somme de tous les rayonnements reçus, y compris le rayonnement réfléchi par le sol et les objets qui trouvent à sa surface. Il est mesuré par un pyromètre ou un polarimètre.[1]

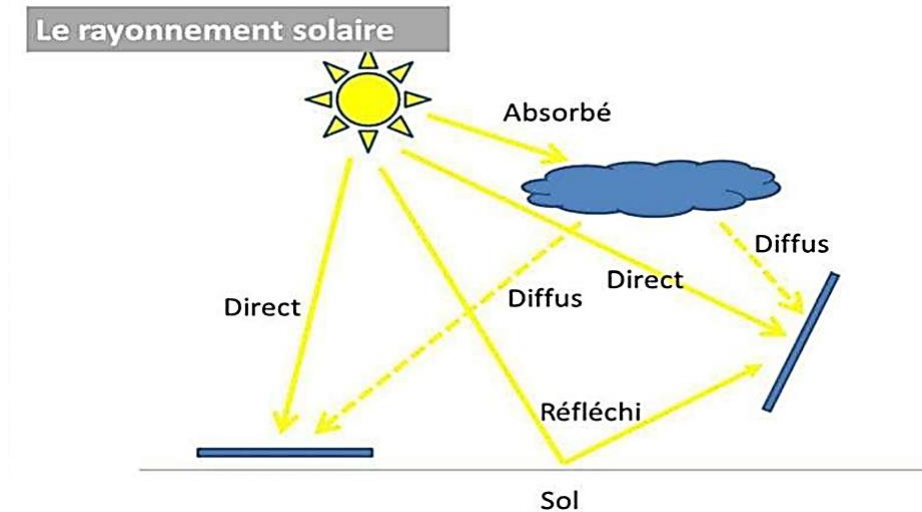


Figure I.7: les rayonnements solaires.[1]

I.3.3. 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/m^2 . L'énergie journalière maximale moyenne (ciel clair, mois de Juillet) dépasse les 6Kw/m^2 et l'énergie annuelle maximale en Algérie est de l'ordre de 2500KW/m^2 . [9]

La carte ci-dessous représente les différentes zones énergétiques de l'Algérie

Chapitre I: Généralités sur l'énergie solaire

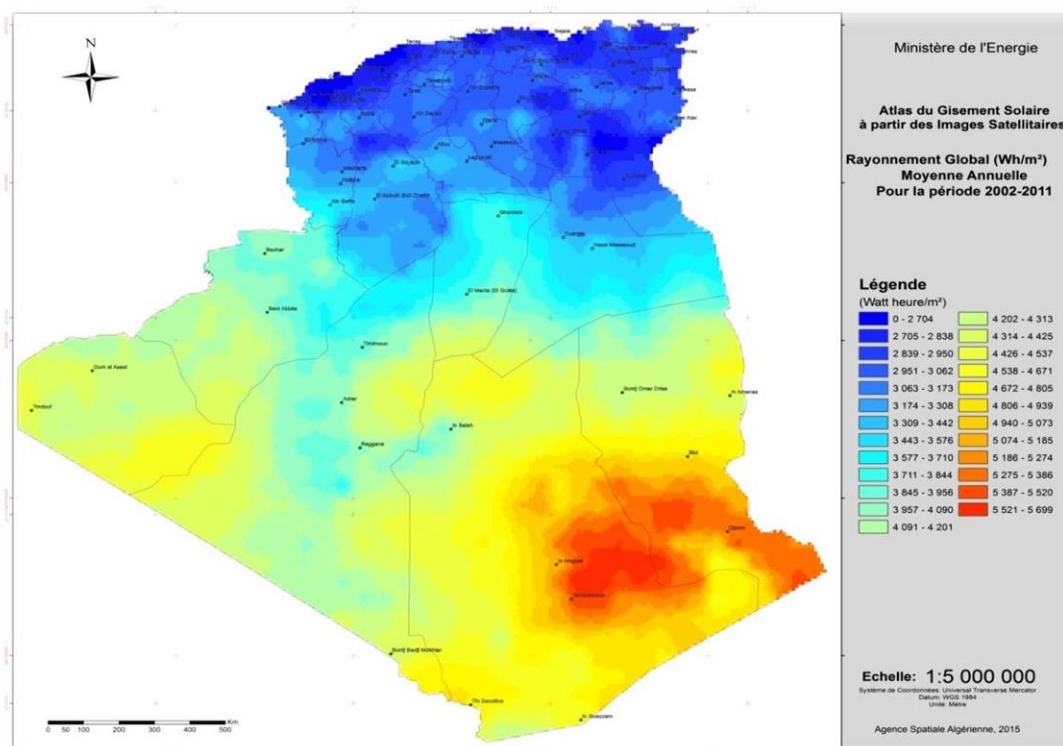


Figure I.8: Gisement solaire en Algérie.[10]

I.3.4. Technique pour capter l'énergie solaire:

Un panneau solaire est un dispositif électrique qui convertit la lumière incidente provenant du soleil en électricité destiné à récupérer une partie de l'énergie du rayonnement solaire pour la convertir en une forme d'énergie (électrique) utilisable par l'homme. Les panneaux sont habituellement plats d'une surface approchant plus ou moins le m^2 pour faciliter et optimiser la pose. Les panneaux solaires sont les composants de bases de la plupart des équipements de production d'énergie solaire. En trouve deux genre: Les panneaux solaires photovoltaïques et les panneaux solaires thermoélectriques. [1]

Chapitre I: Généralités sur l'énergie solaire

I.4. L'énergie solaire photovoltaïque :

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la conversion de la lumière du soleil en électricité au sein de matériaux semi-conducteurs comme le silicium ou recouverts d'une mince couche métallique.

Ces matériaux photosensibles ont la propriété de libérer leurs électrons sous l'influence d'une énergie extérieure. C'est l'effet photovoltaïque. L'énergie est apportée par les photons (composants de la lumière) qui heurtent les électrons et les libèrent, induisant un courant électrique. Ce courant continu de micro-puissance calculé en watt crête (Wc) peut être transformé en courant alternatif grâce à un onduleur.[5]

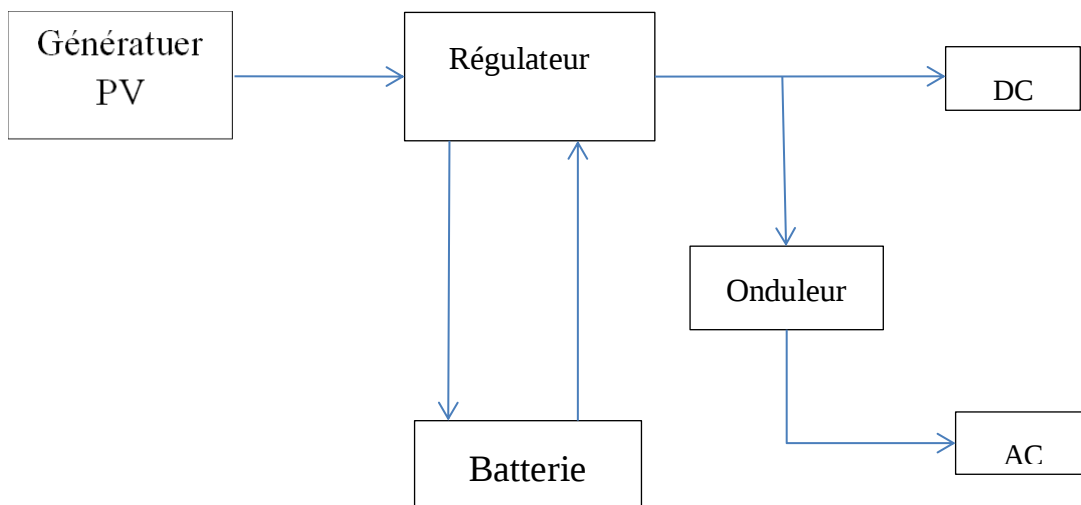


Figure I.9: schéma synoptique d'un système photovoltaïque.

Chapitre I: Généralités sur l'énergie solaire

I.4.1.Principe de fonctionnement :

Le courant continu disponible aux bornes du module peut être utilisé de différentes manières en raccordant ces bornes a un circuit électrique qui l'achemine vers un ensemble de composants qui forment un « système photovoltaïque » conçu et dimensionné en fonction de l'application et de l'usage.

Dans un système photovoltaïque, on trouve :

- 1) une structure porteuse ou de fixation : qui sert a supporté le poids des panneaux et résister aux contraintes environnementales.
- 2) des panneaux photovoltaïques qui assurent la :
 - **conversion directe du rayonnement solaire en courant continu.**
 - **une fonction de couverture (dans le cas d'une toiture).**
- 3) Les composants de distribution courant continu (DC) ou alternatif (AC):
 - **raccorde les chaînes de panneaux entre elles.**
 - **protège les chaînes de panneaux et les intervenants des risques électriques et atmosphériques.**
 - **assurer l'acheminement du courant produit vers les postes de conversion.**
- 4) L'onduleur a pour rôle de :
 - **convertir le courant continu en un courant alternatif.**
 - **protéger les circuits de distribution DC et les intervenants des risques électriques et atmosphériques.**
 - **générer un courant alternatif de qualité.**

Chapitre I: Généralités sur l'énergie solaire

- 5) Le système de supervision permet de:
 - **suivre le fonctionnement et la performance de l'installation.**
 - **d'optimiser la production (détection d'anomalie).**
- 6) Le compteur de production : rassure de suivre la production du système.
- 7) Une batterie : alimente la charge et assure le stockage de l'électricité.[11]

I.4.2.L'effet photovoltaïque :

L'effet photovoltaïque a été découvert en 1839 par le physicien français Edmond Becquerel à partir de plusieurs essais.

Cet effet est un processus physique de base de transformation de l'énergie émise par le soleil, sous forme photons, en énergie électrique à l'aide de composant semi-conducteur appelé cellule solaire.

Parmi les matériaux semi-conducteurs les plus utilisés on trouve le silicium, le germanium et le Gallium.

L'effet photovoltaïque s'appuie principalement sur trois grands principes, dont l'action combinée, engendre la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique :

- L'absorption de photons.
- La conversion de l'énergie absorbée en charges électriques libres.
- La collecte de ces particules dans un circuit électrique extérieur.[1]

Chapitre I: Généralités sur l'énergie solaire

I.4.3. Les panneaux photovoltaïques :

Un module photovoltaïque est constitué d'un ensemble de cellules solaires photovoltaïques, sensiblement de même caractéristiques électriques et reliées entre elles électriquement en série et/ou parallèle.[1]

I.4.4. Les différents types de cellules photovoltaïques :

Il existe trois types de cellules PV :

- **Cellules au silicium monocristallin** : c'est des cellules qui ont le meilleur rendement 11 à 18% (24.7% en laboratoire) avec une durée de vie de 20 à 30 ans et une très bonne performance avec une stabilité de production , utilisées principalement pour les toits et façades ,cependant elles sont très couteuses et laborieuses.
- **Cellules au silicium poly cristallin** : son rendement est plus faible 11 à 15% (19.8% en laboratoire), durée de vie de 20 à 30 ans adaptés à la production à grande échelle avec une stabilité d'w plus de 50% du marché mondial, principalement utilisées pour les toits, façades et générateurs.
- **Cellules au silicium amorphes** : rendement très faible 5 à 8% (13% en labo) durée de vie indéterminée, peut fonctionner sous la lumière fluorescente, faible luminosité, par temps couvert ou encore partiellement à l'ombre .Sa puissance de sortie varie dans le temps, elles sont en début de vie et leurs puissances délivrées est de 15 à 20% supérieure a la valeur minimale et se stabilise âpres quelques mois, adaptées aux appareils électroniques (montres, calculatrices...).[11]

Chapitre I: Généralités sur l'énergie solaire

I.4.5. la puissance et le rendement du module photovoltaïque:

La puissance ($P(W)$) d'un module photovoltaïque le produit de la tension et du courant
Pouvant être extraite du module PV [4] :

$$p_{\text{électrique}} = I \times V \quad (10)$$

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.[9]

On appelle rendement η (%) du panneau photovoltaïque le rapport de la puissance électrique pouvant être extraite sur le produit du rayonnement solaire incident P (W/m^2) et de la surface S (m^2) du panneau photovoltaïque.[4]

$$\eta = \frac{p_{\text{elec}}}{G \times S} \quad (11)$$

η : Rendement théorique de module

p_{elec} : Puissance électrique (indiquée sur la fiche technique de module)

G : Puissance dans les Conditions Standard de Test

S : la surface du module

Chapitre I: Généralités sur l'énergie solaire

I.5. Conclusion :

Au cours de ce chapitre, nous avons abordé les notions fondamentales du domaine de l'énergie solaire, y compris ses caractéristiques essentielles. Nous avons également présenté un aperçu général du système photovoltaïque, en mettant l'accent sur les techniques de capture de l'énergie solaire, ainsi que sur les panneaux photovoltaïques et les cellules photovoltaïques.

Bien que nous ayons discuté de la puissance et du rendement du module et ces aspects.

Chapitre II: Techniques de poursuite solaire et de nettoyage des panneaux PV

Chapitre II: Techniques de poursuite solaire et de nettoyage des panneaux PV

II.1. Introduction :

L'installation classique des panneaux PV est une méthode largement utilisée pour exploiter l'énergie solaire et produire de l'électricité. Cette approche présente quelques limitations. Les panneaux PV sont généralement fixés à un angle fixe, ce qui signifie qu'ils ne peuvent pas suivre la trajectoire exacte du soleil tout au long de la journée.

L'un des plus gros problèmes des cellules solaires est la poussière, qui provoque une diminution sévère de l'efficacité du panneau. Et aussi le processus de nettoyage est rare, difficile et coûteux

Dans ce chapitre, nous allons étudier différentes techniques de suivi solaire ainsi que des méthodes de nettoyage des panneaux solaires.

II.2. Les techniques de poursuite solaire :

II.2.1.Orientation des panneaux solaires :

II.2.1.1. Choix de l'orientation de module PV :

Les panneaux solaires photovoltaïques sont généralement orientés vers le plein sud pour les sites situés dans l'hémisphère Nord et vers le plein nord pour les sites situés dans l'hémisphère Sud (voir **Figure II.1**). Pour assurer une orientation précise et éviter toute approximation qui pourrait entraîner une perte de puissance due à une mauvaise orientation, l'utilisation d'une boussole est fortement recommandée. Cela garantit une position optimale des panneaux solaires pour capter un maximum d'énergie solaire.[2]

II.2.1.2. Choix de l'inclinaison de module PV :

Comme précédemment mentionné, afin de maximiser la production d'énergie des panneaux solaires photovoltaïques, il est nécessaire que leur surface soit perpendiculaire aux rayons du soleil. Par conséquent, il est important d'incliner les modules PV de manière à les orienter directement vers le soleil. L'angle d'inclinaison représente la valeur qui mesure

Chapitre II: Techniques de poursuite solaire et de nettoyage des panneaux PV

l'inclinaison des modules par rapport à l'horizontale. Cet angle joue un rôle crucial dans l'optimisation de la capture de l'énergie solaire par les panneaux. (**Figure II.1**). [2]

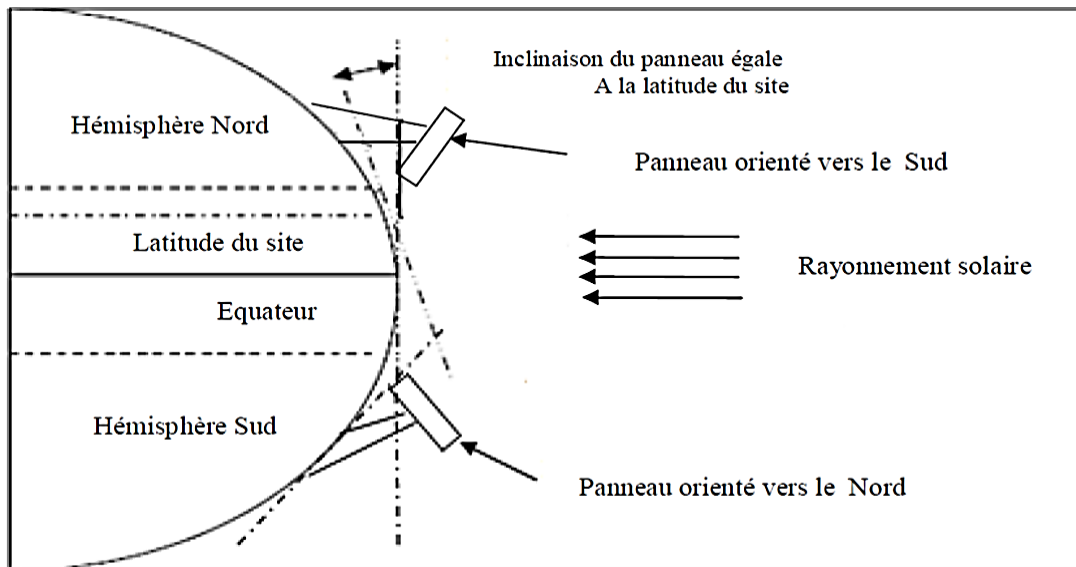


Figure II.1: comment incliner les panneaux solaires.[2]

II.2.1.3. L'intérêt des panneaux mobiles par rapport aux panneaux fixes:

Au cours de la journée, le soleil se déplace continuellement, alors qu'un générateur photovoltaïque est fixe dans sa position, perdant ainsi une considérable quantité d'énergie, qui pourrait être disponible.

Dans une installation fixe, l'énergie rendue par les modules PV est maximale seulement à midi comme indiqué sur la **Figure II.2**. Pour cela si les modules PV sont toujours orientés vers le soleil, c'est comme s'il y avait constamment la condition correspondante à midi, la puissance générée est toujours celle maximale.

Les modules photovoltaïques placés sur des suiveurs de soleil ont un rendement énergétique qui augmente de manière appréciable par rapport aux installations fixes.

L'utilisation de suiveur solaire permet d'améliorer de manière significative le rendement énergétique des modules photovoltaïques par rapport aux installations fixes. Sur une journée ensoleillée complète, un système fixe bien orienté de 1 kW produit 5,5 kWh d'énergie, tandis que le même système équipé d'un suiveur solaire, dans les mêmes conditions d'ensoleillement, génère 11 kWh d'énergie. [12]

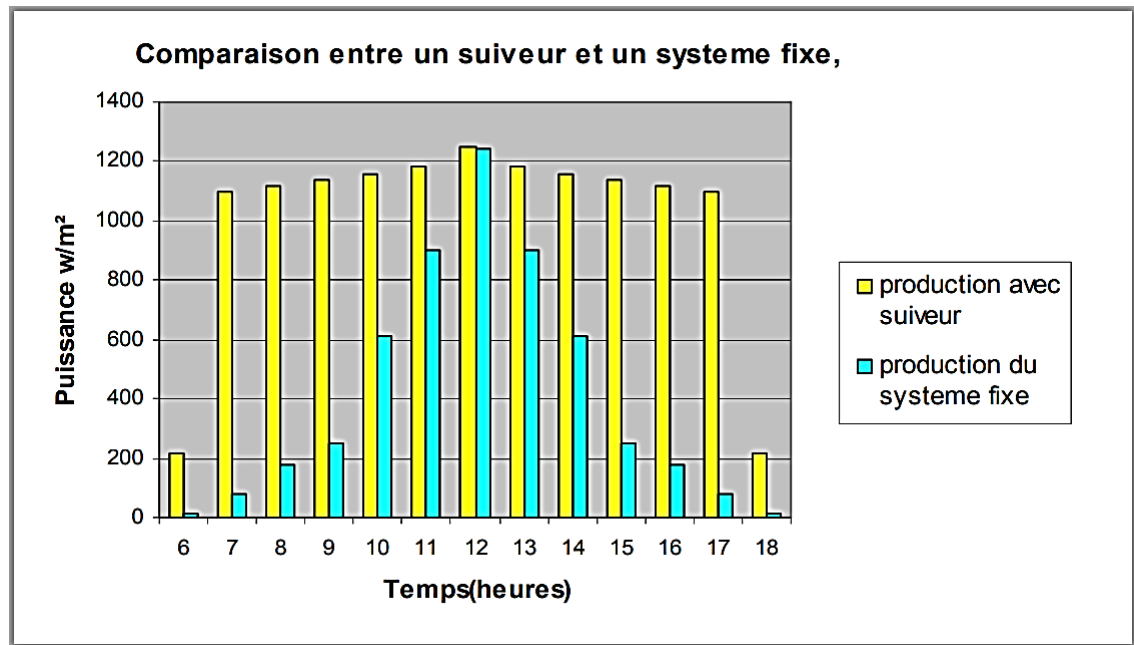


Figure II.2: Diagramme de comparaison entre la production avec suiveur et la production avec système fixe. [12]

II.2.2. Le suiveur solaire :

Comme nous l'avons observé précédemment, dans le cas des panneaux solaires fixes, une partie importante de l'énergie solaire peut être perdue. Cependant, en suivant automatiquement le mouvement du soleil tout au long de la journée, nous pouvons augmenter l'utilisation de l'énergie solaire et augmenter l'efficacité des panneaux solaires pour en tirer le meilleur parti. C'est pourquoi l'idée d'un suiveur solaire mérite toute notre attention.

II.2.2.1. 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 II.3**). 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.

Chapitre II: Techniques de poursuite solaire et de nettoyage des panneaux PV

Un champ d'héliostats repère le mouvement du soleil en convergeant les rayons lumineux vers un même point, concentrant ainsi la lumière incidente

En employant des miroirs de réflexion, tout au long de la journée. Ce dernier se rencontre dans diverses installations utilisant l'énergie solaire, notamment les centrales solaires à concentration 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]

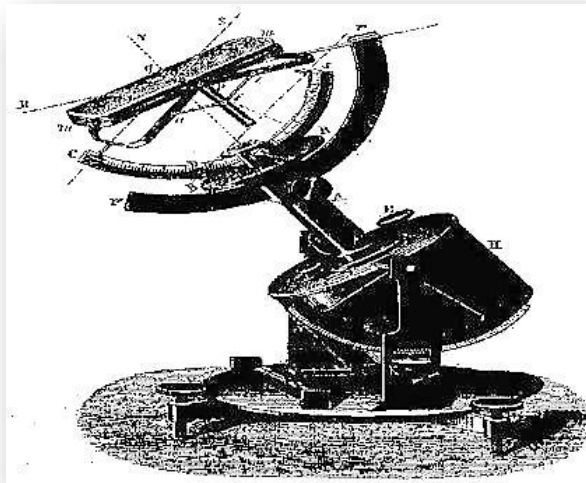


Figure II.3: Modèle d'un héliostat dans ses premières applications.[9]

II.2.2.2. Les types des suiveurs solaires :

Il y a principalement deux types de suiveurs solaires : les passifs et les actifs. Les suiveurs actifs sont à leur tour divisés en suiveurs mono-axe et double axe.

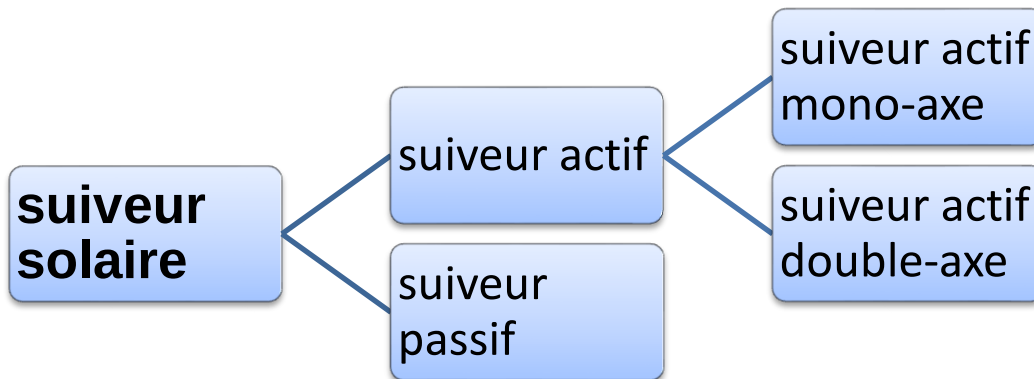


Figure II.4: Les types des suiveurs solaires.

a) suiveur passif :

L'architecture de ce type de suiveur solaire comprend deux tubes en cuivre fixés aux côtés Est et Ouest du panneau PV. Ces tubes contiennent des fluides chimiques capables de se vaporiser à basse température, comme illustré dans la (**Figure II.5**). Lorsque l'intensité du rayonnement solaire augmente et chauffe l'un des côtés du panneau, le composé chimique à l'intérieur du tube en cuivre se transforme en gaz. Le gaz occupe un volume plus important, tandis que la partie liquide se déplace vers le côté ombragé. Ce transfert de masse ajuste l'équilibre du panneau PV, le faisant pivoter vers la source des rayons solaires. Ce type de suiveur solaire ne nécessite aucune consommation d'énergie pour le repositionnement du panneau.[13]

Chapitre II: Techniques de poursuite solaire et de nettoyage des panneaux PV

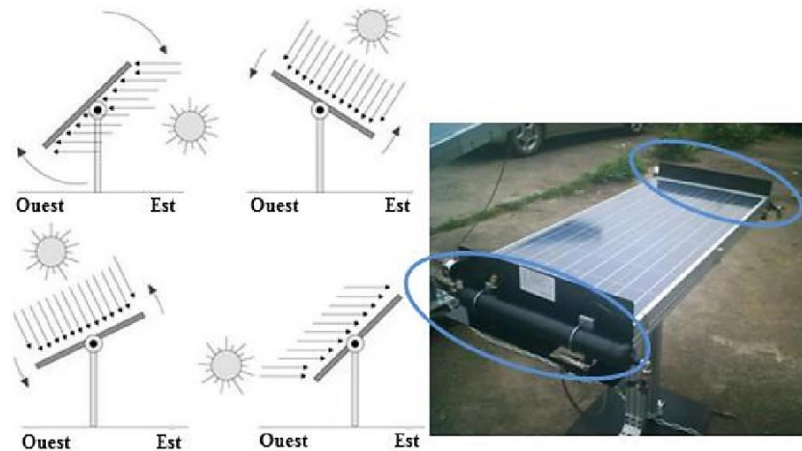


Figure II.5: Exemple et fonctionnement du suiveur passif.[13]

b) suiveur actif :

Les suiveurs solaires actifs sont des suiveurs d'un mouvement motorisé utilisent le principe de la détection de lumière en suivant la trajectoire solaire à base des données contrôlées par PC de façon chercher à optimiser au maximum l'angle d'incidence du rayonnement solaire sur la surface de panneau PV . L'avantage de ces derniers par rapport aux suiveurs solaires types passif, c'est qu'ils présentent une meilleure précision de suivi et ne nécessitent aucune intervention manuelle pour l'ajuster.

II.2.2.3. Type de commande :

Beaucoup de travaux ont été menés sur les stratégies de commande des trackers solaires dans le cas des modules PV ou CPV. Trois grandes catégories de stratégies se dégagent, le troisième, hybride, étant une combinaison des deux premières, dites stratégie en boucle ouverte et en boucle fermée

Commande en boucle ouverte :

Les systèmes de suivi en boucle ouverte déterminent la position du soleil en utilisant des algorithmes contrôlés par ordinateur ou des systèmes de synchronisation. Ils ne font pas appel à des capteurs de rétroaction, mais plutôt à des données préenregistrées pour un emplacement spécifique afin de déterminer la position du soleil.

Chapitre II: Techniques de poursuite solaire et de nettoyage des panneaux PV

D'ailleurs, le processus de suivi solaire peut être mis en œuvre en utilisant un axe incliné à un angle proche de la latitude du site, et la rotation de suivi est déterminée par l'angle horaire (ω). Cependant, pour une précision plus élevée, il est recommandé d'utiliser un système de suivi solaire à deux axes. Il existe deux types de systèmes à deux axes : le suiveur équatorial polaire et le suiveur d'azimut/élévation (altitude-azimut).[12]

a. Commande en boucle fermée :

Sont ceux qui utilisent des capteurs de lumière, les photocellules (généralement deux) pour déterminer la partie plus lumineuse dans le ciel leur principe de fonctionnement est basé sur la différence de potentiel reçue de chacune. Quand la différence n'est pas nulle, alors le panneau n'est pas aligné correctement et une différence de potentiel est générée pour commander le moteur vers la position dont la différence soit nulle. Quand la différence est nulle alors aucun courant ne circule dans le moteur et le panneau devra être arrêté. [14]

II.2.2.3.1. Types de suiveurs actifs :

Il existe deux types de suiveur actif :

b-1) suiveur actif mono-axe :

Un système de suivi solaire à axe unique est une méthode dans laquelle le panneau solaire suit le soleil d'est en ouest en utilisant un seul pivot pour faire le pivoter. Ce type comporte plusieurs architectures, (**Figure II.6**).[2]

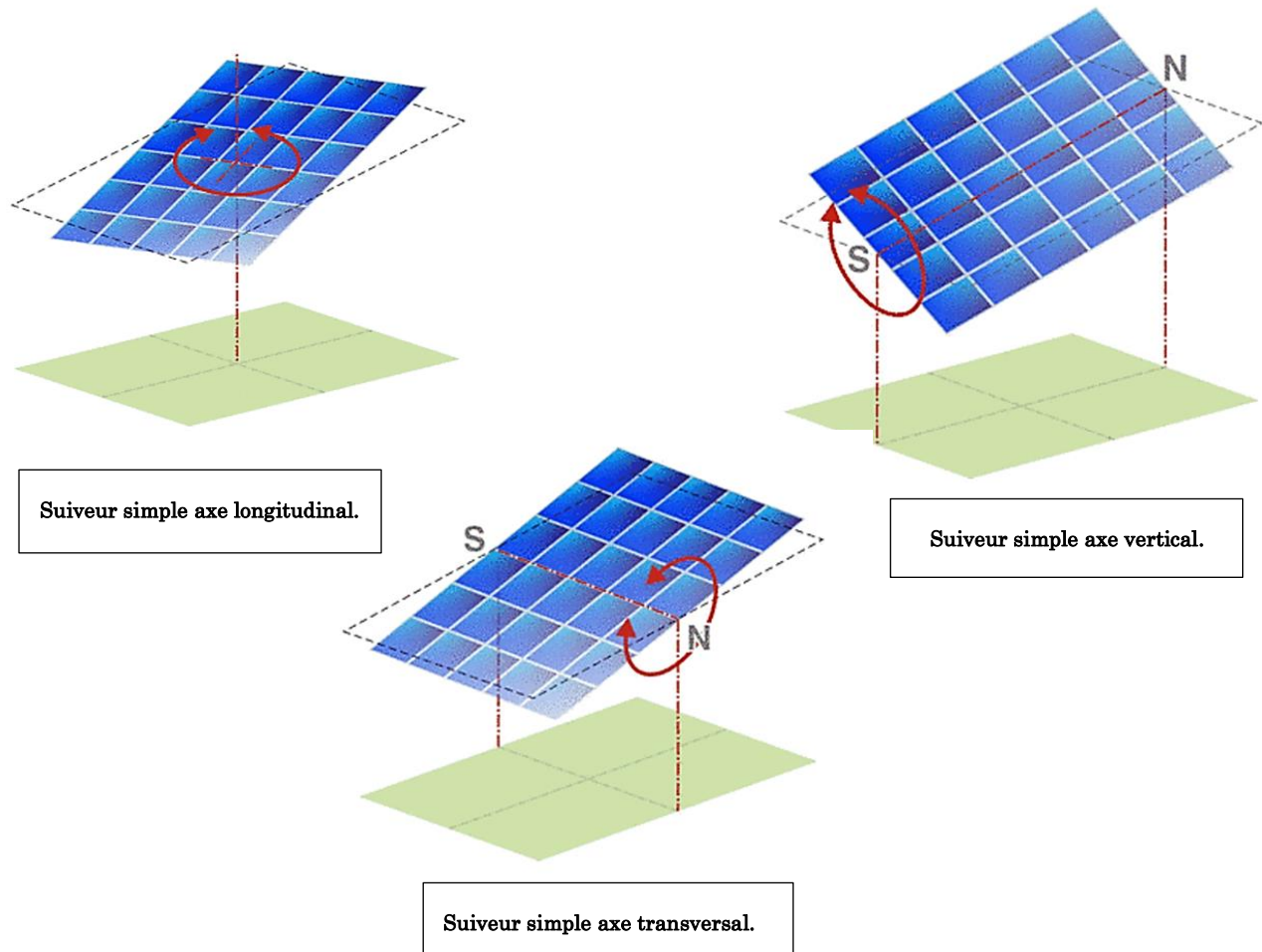


Figure II.6: Différentes architectures de suiveur mono-axe. [2]

b-2) suiveur actif double-axe :

Ce type de suiveurs solaires utilise deux moteurs pour avoir une rotation à deux axes. Le premier assure la rotation en azimut (d'Est en Ouest, à mesure de l'avancée de la journée) et l'autre l'inclinaison des capteurs (selon la saison et l'avancée du jour).[2]

Chapitre II: Techniques de poursuite solaire et de nettoyage des panneaux PV

II.2.2.3.2. Les suiveurs solaires actifs actuels :

Aujourd'hui, les systèmes de suivi varient d'un concepteur à l'autre et la technologie utilisée pour assurer de bonnes performances, précision et fiabilité à faible coût. Dans ce contexte, des recherches scientifiques et des projets prometteurs visent à trouver le bon compromis entre précision et consommation électrique.

En raison de la précision requise, il existe principalement deux techniques de suivi. L'un est basé sur le calcul de la position du soleil sur la base d'équations géométriques et astronomiques prédéfinies et nécessite une intervention manuelle pour modifier la latitude, la date et l'heure du lieu. Cette technique est appelée méthode astronomique car la position dépend directement de la trajectoire préprogrammée du soleil. Une autre méthode est appelée active, persistante ou dépendante. Les algorithmes utilisés déterminent en permanence la position du soleil à partir de capteurs de lumière, de photorésistances ou de cellules PV, permettant un suivi instantané et surtout un alignement optimal des panneaux. [11]

II.3. La maintenance et nettoyage de panneau photovoltaïque :

II.3.1.Maintenance de panneau photovoltaïque :

La technologie photovoltaïque est connue pour sa fiabilité et son faible besoin d'entretien. Cependant, il est important de mener des opérations de maintenance légère afin de prévenir d'éventuelles anomalies et de s'assurer que les dispositifs de sécurité fonctionnent correctement.[1]

II.3.2.Pollution des panneaux solaires :

Au fil du temps et en raison de divers facteurs externes tels que les conditions météorologiques, la présence de végétation, les animaux et la pollution, les panneaux solaires deviennent naturellement sales. Bien que l'on puisse argumenter en faveur de leur nettoyage pour

Chapitre II: Techniques de poursuite solaire et de nettoyage des panneaux PV

éviter une perte de rendement, il est important de noter que l'impact de la saleté sur la performance des panneaux est relativement limité. Selon différentes études, on estime que des panneaux solaires nettoyés produisent en moyenne seulement 4 % d'énergie supplémentaire. [15]

- Le dépôt de saletés sur la surface des panneaux solaires est un phénomène complexe qui varie en fonction du climat et de l'environnement.
- Une surface située dans un environnement sec et aride sera exposée à des particules électrostatiques chargées et non organiques.
- Une surface située dans un environnement côtier sera caractérisée par des dépôts de sels et de poussières transportés par le vent.
- Une surface dans un environnement frais et industriel sera couverte de salissures organiques transportées par le vent, ainsi que de traces de pluie évaporée et de pollution atmosphérique résultant de la combustion des combustibles fossiles.
- En général, les salissures sur une surface exposée à l'air libre (comme un panneau solaire) sont composées d'un mélange de matières organiques et non organiques. Certains de ces matériaux resteront en suspension dans l'air, tandis que d'autres se déposeront après évaporation (pluie, eau, dégel, brouillard).[1]

II.4. Les techniques de nettoyage des panneaux PV :

Différentes études sur l'énergie solaire ont démontré que les panneaux solaires perdent entre 5 et 16% de leur efficacité en raison de l'accumulation de saletés et de poussières qui se déposent non seulement sur les panneaux eux-mêmes, mais également sur les bords des cadres.

Il existe différentes façons de nettoyer les panneaux solaires tels que :

II.4.1. Nettoyage naturel :

Le nettoyage naturel des modules photovoltaïques s'effectue grâce à l'action combinée de la pluie et du vent. Grâce à leur inclinaison, les modules peuvent être rincés par l'eau de pluie, ce qui facilite l'élimination des saletés à leur surface. Ce type de nettoyage présente

Chapitre II: Techniques de poursuite solaire et de nettoyage des panneaux PV

indéniablement de nombreux avantages, mais il peut également présenter quelques inconvénients.[16]

II.4.2. Nettoyage manuel :

Le nettoyage manuel des panneaux solaires est une méthode de nettoyage très basique et réalisée entièrement à la main. Cependant, cette méthode présente plusieurs désavantages, notamment une efficacité de travail réduite, une durée de nettoyage prolongée, des coûts de main-d'œuvre élevés et des risques potentiels pour la sécurité des personnes. En raison de ces limitations, les installations photovoltaïques à grande échelle ont rarement recours au lavage manuel.[17]



Figure II.7: Le nettoyage manuel des panneaux PV.[15]

II.4.3. Nettoyage à sec :

Le nettoyage manuel à sec implique l'utilisation d'une vadrouille en velours à long manche avec un agent de nettoyage spécifique. Le dépoussiéreur électrostatique à base d'huile utilise le principe de l'adsorption électrostatique pour attirer la poussière et le sable, améliorant ainsi l'efficacité de nettoyage. Cependant, étant entièrement dépendant de la main-d'œuvre, cette méthode peut laisser des résidus sur la surface et appliquer des contraintes inégales sur les composants, entraînant des déformations et des fissures. La purge à l'air

Chapitre II: Techniques de poursuite solaire et de nettoyage des panneaux PV

comprimé consiste à souffler de l'air comprimé à travers un dispositif spécial pour éliminer la poussière des composants. Cette méthode est inefficace et génère un frottement à grande vitesse des composants, ce qui explique pourquoi elle est rarement utilisée dans les centrales électriques.[17]

II.4.4.Lavage manuel a l'eau :

Le nettoyage artificiel à l'eau implique la pulvérisation d'eau sur la surface du module photovoltaïque à l'aide d'une buse connectée à une roue hydraulique ou à une conduite d'eau. Cette méthode de nettoyage est supérieure au nettoyage manuel à sec, offrant une efficacité de nettoyage plus élevée. Cependant, elle nécessite une plus grande consommation d'eau. De plus, une fois que le panneau solaire sèche naturellement à l'air, des taches d'eau peuvent se former à sa surface, créant des micro-ombres qui affectent l'efficacité de production d'énergie. L'utilisation de canons à eau à haute pression en hiver peut également entraîner la formation d'une couche de glace qui nuit considérablement à l'effet optique des modules. [15]



Figure II.8: Image montrant le processus de nettoyage manuel.[18]

Chapitre II: Techniques de poursuite solaire et de nettoyage des panneaux PV

II.5. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons exploré les différentes techniques de suivi solaire, en mettant l'accent sur le choix de l'orientation et de l'inclinaison des modules photovoltaïques. Nous avons également examiné les différents types de systèmes de suivi solaire disponibles.

Chapitre III: Réalisation du suiveur solaire et du robot de nettoyage des panneaux PV

Chapitre III: Réalisation du suiveur solaire et du robot de nettoyage des panneaux PV

III.1.Introduction :

Le montage traditionnel des panneaux solaires présente une faible capacité d'absorption des rayons solaires tout au long de la journée, ce qui limite l'utilisation de la plus grande quantité possible d'énergie solaire. De plus, la présence de saletés et de poussières, notamment dans les régions désertiques, agit comme un isolant qui empêche les panneaux d'absorber efficacement les rayons solaires. Tout cela réduit l'efficacité et la productivité des panneaux solaires. Dans ce contexte, notre objectif dans ce chapitre est de réaliser un système de suivi solaire et un robot de nettoyage des panneaux solaires en utilisant des composants électroniques

III.2. Partie matérielle :

III.2.1. Matérielle utilisées pour la réalisation de capteur solaire :

Pour la réalisation de suiveur solaire on est besoin de :

- **Deux plaques solaires 8volt, 1.93 watt**
- **Un convertisseur DC-DC XL6009 pour convertie les 3.7v de batterie vers les 5v pour l'Arduino nano**
- **Deux servomoteurs SG90, 180°9G**
- **Arduino nano atmega168 microcontrôleur**
- **Plaque d'essais 830 points de connections**
- **L'alimentation : Batterie lithium 18650, 4.2v/3.7v, 2000mAh**
- **Module chargeur de la batterie TP4056 avec protection**
- **Quatre résistances LRD pour capturer la lumière de chaque coin**
- **Quatre résistances 24Kohm pour faire la division de tension entre les LRD et ces résistances**
- **Les impressions 3D sont faites sur imprimante de modèle : Creality Ender 3 max et Ender 3 pro V2**

III.2.1.1. Etude des différents composants :

III.2.1.1.1. Le capteur PV :

Dans ce projet on a utilisé deux plaques solaires ,8volt 1.93 w



Figure III.1: plaques solaires 8volt, 1.93 watt.

III.2.1.1.2. Capture de lumière LRD :

Le capteur qu'on a utilisé est Une photorésistance (PhotoCells en anglais) est un composant électronique avec une résistance qui dépend du flux lumineux auquel il est exposé. Elles se nomment aussi LDR (Light-Dependent Résistor) ou encore cellules photoconductrices. Elles permettent de détecter la lumière. Dans notre réalisation on a utilisé quatre photorésistances distribuées selon les quatre points cardinaux (**Figure III.2**).

Ces capteurs répondent à des lumières de longueur d'onde variant entre 400 nm (violet) et 600 nm (orange), avec un pic à environ 520 nm (vert). On peut donc les utiliser pour capter la lumière visible (dont la longueur d'onde λ se situe entre 400 et 600 nm).

Chapitre III: Réalisation du suiveur solaire et du robot de nettoyage des panneaux PV

Ils sont également de petite taille (quelques centimètres carrés), économiques, tout en étant faciles à mettre en place dans un montage. Les photorésistances sont notamment utilisées dans le déclenchement automatique d'éclairage. Ils sont alors insérés dans des relais optiques.[19]

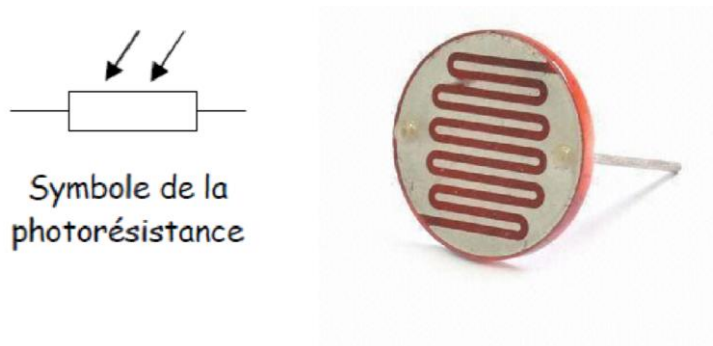


Figure III.2: Symbole et capteur LDR.

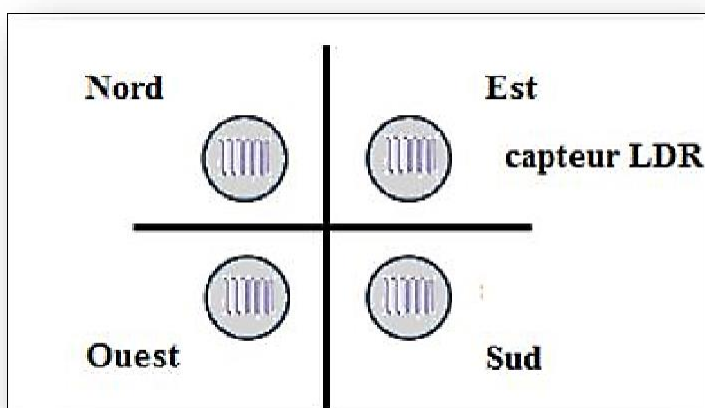


Figure III.3: Schéma du prototype des quatre capteurs LDR.

1. Principe de fonctionnement :

À basse température, un cristal semi-conducteur contient peu d'électrons libres, ce qui entraîne une faible conductivité similaire à celle d'un isolant. Cependant, à mesure que la température du cristal augmente, le nombre d'électrons libres augmente également. Les électrons de valence acquièrent suffisamment d'énergie thermique pour rompre les liaisons covalentes et se libérer des atomes, ce qui favorise la conduction électrique.

Chapitre III: Réalisation du suiveur solaire et du robot de nettoyage des panneaux PV

De manière similaire, à une température constante, l'exposition d'un cristal semi-conducteur à un rayonnement lumineux entraîne la libération d'électrons supplémentaires des liaisons covalentes entre les atomes du cristal. Plus l'intensité lumineuse est élevée, plus le nombre d'électrons disponibles pour la conduction est important. Par conséquent, la résistance d'une LDR (résistance dépendante de la lumière) est inversement proportionnelle à la quantité de lumière reçue. La sensibilité de la LDR est également influencée par la fréquence du rayonnement lumineux.[14]

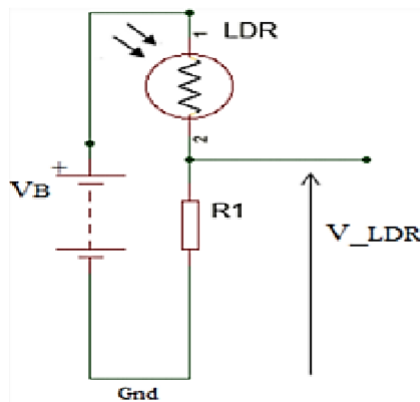


Figure III.4: Circuit équivalent du capteur LDR utilisé.

III.2.1.1.3. Le circuit de commande :

Notre travail est basé complètement sur la carte Arduino, l'avantage de ce circuit programmable est de simplifier les schémas électroniques et par conséquent réduire l'utilisation des composants électroniques

III.2.1.1.4. Définition d'Arduino :

L'Arduino est une carte de développement programmable, ce qui signifie qu'elle est capable d'exécuter une série d'instructions logiques appelées script, qui déterminent son fonctionnement. En exécutant ce script, l'Arduino simule un circuit électronique, offrant ainsi une grande flexibilité dans la conception et la réalisation de projets électroniques.[20]

2. Les différentes gammes de carte Arduino :

À ce jour, on compte plus de 20 variantes de cartes Arduino disponibles, parmi lesquelles nous nous concentrerons sur les modèles les plus largement utilisés dans le domaine de l'électronique, afin d'en examiner leur évaluation et leurs performances.[11]

Type de carte	Les figures	La description
UNO		C'est la carte idéale pour découvrir l'environnement ARDUINO. Elle permet à tout débutant de se lancer dans tous ses premiers petits projets,
Mega		La carte Arduino Méga est la carte la plus diffusée après la carte Arduino UNO. Elle offre un nombre d'entrées/sorties beaucoup plus important (54 contre 14), un processeur plus puissant doté d'une mémoire plus vaste qui permet d'exploiter des algorithmes plus complexes.
Leonardo		C'est la carte qui est prévue pour succéder à la carte Arduino UNO en présentant des caractéristiques équivalentes mais une ergonomie revue et une stabilité plus éprouvée. Sa diffusion moins importante limite le support utilisateur disponible sur le net.
Nano		La carte Arduino nano est une carte Arduino UNO miniaturisée. Sa taille et son poids réduits la destinent à une utilisation dans des espaces réduits (en textile par exemple) ou dans des applications de robotique ou de modélisme pour lesquels le poids et la taille sont des facteurs déterminant (hélicoptères, drones...)

Chapitre III: Réalisation du suiveur solaire et du robot de nettoyage des panneaux PV

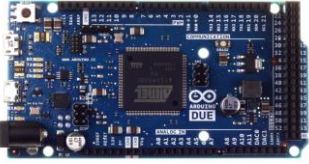
Due		La carte Arduino Due est une évolution de la carte Arduino Méga qui offre des performances réputées 3 fois supérieures. Elle permet de manipuler rapidement des algorithmes lourds particulièrement utiles dans le monde de la robotique par exemple.
Yun		La carte Arduino Yun, récemment proposée par Arduino, est conçue pour contrer les avantages de la carte Raspberry. Elle est un dérivé de la carte Leonardo et a pour objectif de combiner la puissance de Linux avec la facilité d'utilisation d'une carte Arduino. Elle est également la première carte Arduino à être dotée nativement d'un wifi intégré.

Tableau III.1: Les différentes gammes de carte Arduino.

III.2.1.1.5. La constitution de la carte Arduino Nano :

La figure ci-dessous représente les composants électroniques De la carte Arduino Nano. [11]

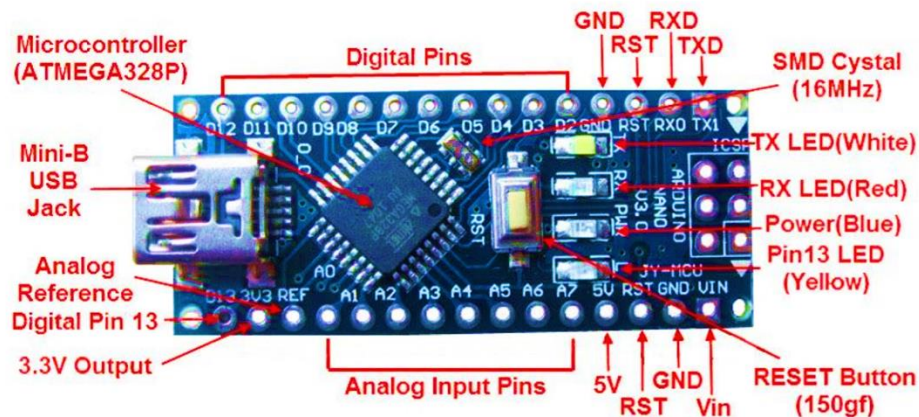


Figure III.5: Constitution de la carte Arduino Nano.

III.2.1.1.6. Caractéristiques techniques de l'Arduino Nano :

Microcontrôleur	ATMega 168
Fréquence	16MHZ
Tension de service	5V
Tension d'entrée recommandée	7 – 12 V
broches d'entrées et sorties (I/O)	20 broches
Flash	16 ko
SRAM	1 ko
EEPROM	512 octets
Poids	7 g
Courant continu par broches d'E / S	40 mA

Tableau III.2: Caractéristiques technique de l'Arduino Nano.[21]

- **Microcontrôleur ATMega 168 :** c'est un circuit intégré constituées par un ensemble d'éléments qui ont chacun une fonction bien déterminé. il est en fait constitué des mêmes éléments que sur la carte mère d'un ordinateur.

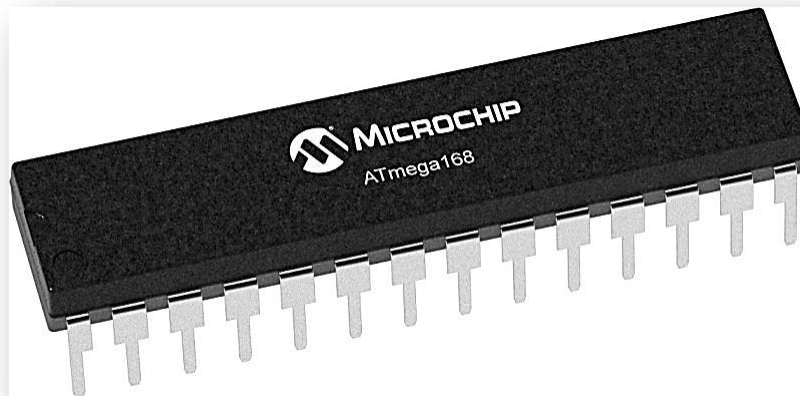


Figure III.6:Microcontrôleur ATMega 168. [11]

III.2.1.1.7. Plaque d'essais 830 point :

Les plaques d'essais (Breadboard) sont généralement rectangulaires et comprennent plusieurs rangées de trous, certaines verticales et d'autres horizontales. Les trous sont espacés les uns des autres selon un pas standard de 2,54mm. Utiliser une plaque d'essai est une méthode courante pour tester un montage électronique sans avoir à fabriquer un circuit imprimé. Ce petit outil permet d'éviter les soudures, il suffit simplement de placer les composants sur la plaque de test, également connue sous le nom de plaque d'essai.

Les trous de couleur verte sont connectés les uns aux autres, assurant ainsi une continuité électrique. Les trous de couleur rouge sont également reliés, réservant cette ligne pour la connexion du positif (+). De même, les trous de couleur noire sont reliés, réservant cette ligne pour la connexion de la masse (-). Ces connexions permettent d'établir des chemins électriques clairs et définis sur la plaque d'essai.

Il est important de noter que chaque trou de la plaque d'essai peut accueillir les broches des composants ou des fils de connexion. L'objectif est de placer les composants sur la plaque et d'établir des connexions entre les broches afin de reproduire le schéma de câblage requis.

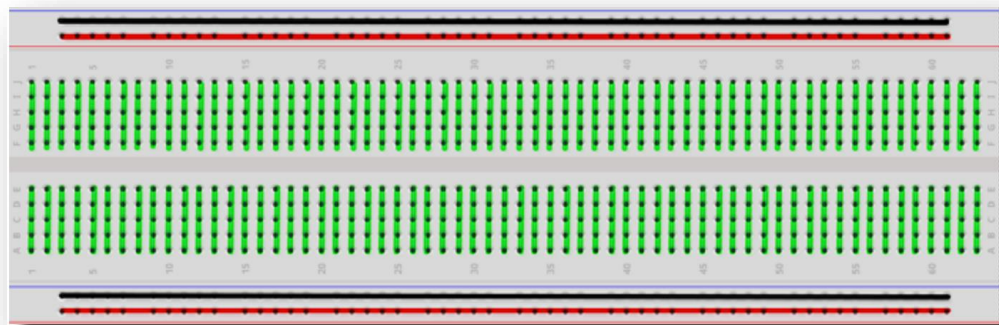


Figure III.7: Image représentée une plaques d'essais.[22]

Cependant, certains trous sont reliés les uns aux autres pour éviter d'utiliser trop de fils. Par exemple, les trous des rangées peuvent être interconnectés. Bien que cela ne soit pas

Chapitre III: Réalisation du suiveur solaire et du robot de nettoyage des panneaux PV

visible à l'extérieur, il est crucial de faire des connexions correctes pour éviter les erreurs de câblage, telles que les courts - circuits.

Une attention particulière doit être portée au câblage pour s'assurer que les connexions sont effectuées correctement et éviter les problèmes potentiels.[22]

III.2.1.1.8. La Résistance:

Les résistances sont des composants électroniques qui ont une résistance électrique spécifique, qui ne change jamais. La résistance limite le flux d'électrons à travers un circuit.

Ce sont des composants passifs, c'est-à-dire qu'ils ne font que consommer de l'énergie (et ne peuvent pas la générer). Les résistances sont généralement ajoutées aux circuits où elles complètent des composants actifs comme les amplificateurs, les microcontrôleurs et autres circuits intégrés. Les résistances sont généralement utilisées pour limiter le courant, diviser les tensions et tirer les lignes d'entrée/sortie vers le haut. Dans notre projet, nous avons utilisé quatre résistances de 24 k Ω pour faire une division de tension entre les LDR (Light-Dependent Resistors) et ces résistances.[23]



Figure III.8: Une résistance électronique.

III.2.1.1.9. Un convertisseur dc-dc :

Un Convertisseur DC-DC (ou hacheur parallèle) est un circuit d'électronique de puissance ou un dispositif électromécanique qui convertit une source de courant continu (DC) d'un niveau de tension spécifié à un autre différent. C'est un type de convertisseur de puissance électrique. Les niveaux de puissance considérés par de tels circuits vont de très bas (petites batteries) à très haut (transmission de puissance à haute tension voire très haute tension).

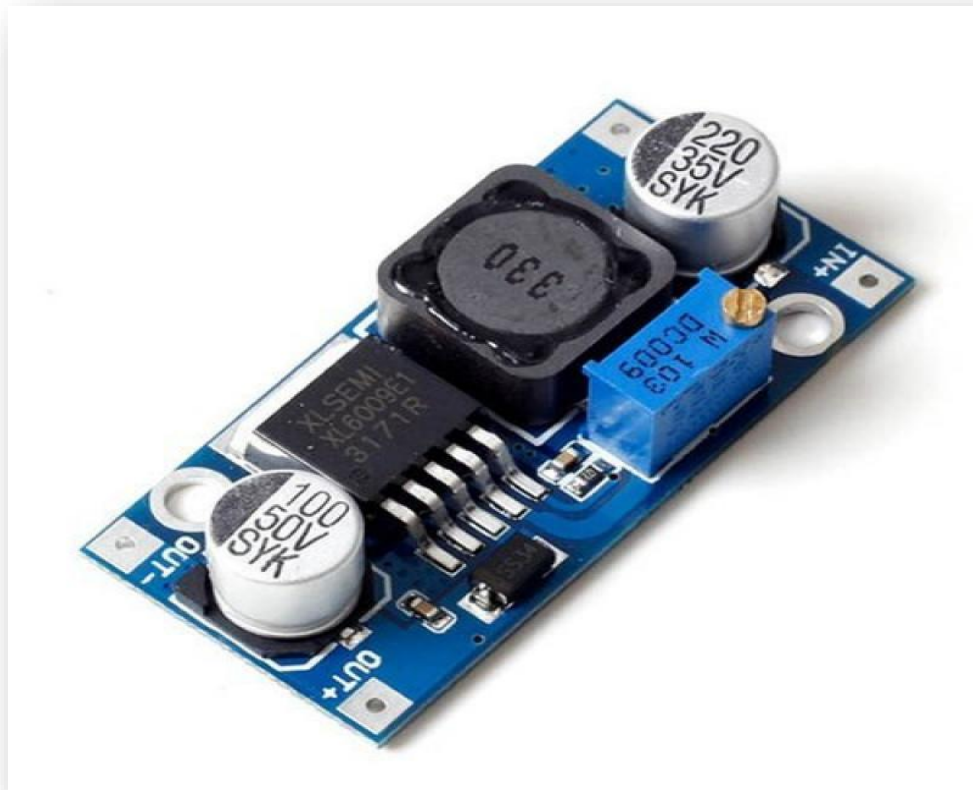


Figure III.9: Un convertisseur dc-dc xl6009.

Caractéristiques:

- **Tension d'entrée:** 5V à 32V DC.
- **Tension de sortie Max :** 35V DC.
- **Courant de sortie Max:** 4A.

Chapitre III: Réalisation du suiveur solaire et du robot de nettoyage des panneaux PV

- **Ajustement de la tension par potentiomètre intégré**
- **Fréquence de commutation:** 400 KHz.
- **Dimensions:** 43 x 21 x 14 mm
- **Poids:**12g

III.2.1.1.10. Servomoteur :

Un servomoteur est un dispositif conçu pour produire un mouvement précis en réponse à une commande externe. Il est considéré comme un actionneur, réunissant des domaines tels que l'électronique, la mécanique et l'automatique.

Un servomoteur est composé des éléments suivants :

- Un moteur à courant continu.
- Un axe de rotation.
- Un capteur de position de l'angle d'orientation de l'axe, souvent un potentiomètre.
- Une carte électronique pour le contrôle de la position de l'axe et le pilotage du moteur à courant continu.

Le servomoteur est capable d'atteindre des positions prédéterminées selon les instructions qui lui sont fournies, et de les maintenir. L'un des avantages du servomoteur est qu'il est asservi en position angulaire, ce qui signifie que l'axe de sortie du servomoteur respectera la consigne d'instruction qui lui a été envoyée à son entrée. Même si un obstacle tente de modifier la trajectoire ou les coordonnées du servomoteur, ce dernier conservera sa position programmée.

Pour un ajustement précis de la position, le moteur et son mécanisme sont équipés d'un système de mesure qui détermine la position habituelle. Ainsi, le servomoteur est capable de maintenir avec précision la position requise en fonction des informations reçues.[11]

Il existe une variété de servomoteurs disponibles, chacun ayant des caractéristiques de taille, de poids et de puissances différentes. En général, la sortie varie entre 0 et 180° (standard). Dans notre système de suivi solaire spécifique, nous avons choisi d'utiliser deux servomoteurs du modèle SG90.



Figure III.10: servomoteurs SG90 9G

3. Principe de fonctionnement d'un Servomoteur :

Les servomoteurs contiennent un petit moteur connecté via des engrenages à un axe de sortie.

L'axe de sortie qui pilote le bras du servomoteur est aussi connecté à un potentiomètre afin de fournir une rétroaction (feedback) de la position à un circuit de contrôle interne.

La partie électrique d'un servomoteur est généralement constituée de 3 fils, codés par couleur.

Pour les servomoteurs utilisés dans le domaine du modélisme, il peut y avoir jusqu'à 5 fils, notamment pour des modèles de grande puissance tels que le 'Mastodon 9944' et le 'Mammoth 38055'. Ces fils permettent d'alimenter le moteur et de lui transmettre des ordres de position sous forme d'un signal codé en largeur d'impulsion, communément appelé PWM ou RCO. Dans ce système, la durée des impulsions détermine l'angle absolu de l'axe de sortie et donc la position du bras de commande du servomoteur. Ce signal est répété périodiquement, généralement toutes les 20 millisecondes, ce qui permet à l'électronique de contrôler et de corriger en continu la position angulaire de l'axe de sortie en se basant sur la mesure du 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 : c'est un asservissement.

[20]

III.2.1.1.11. L'IDE Arduino :

Un IDE (environnement de développement intégré) est un logiciel open source fonctionnant sur divers systèmes (Windows, Linux et Mac). Libre et gratuit est distribué sur le site d'Arduino.

L'interface de l'IDE Arduino est conçue de manière simple (**Figure III.9**). Elle présente une interface minimale et épurée qui facilite le développement de programmes pour les cartes Arduino.

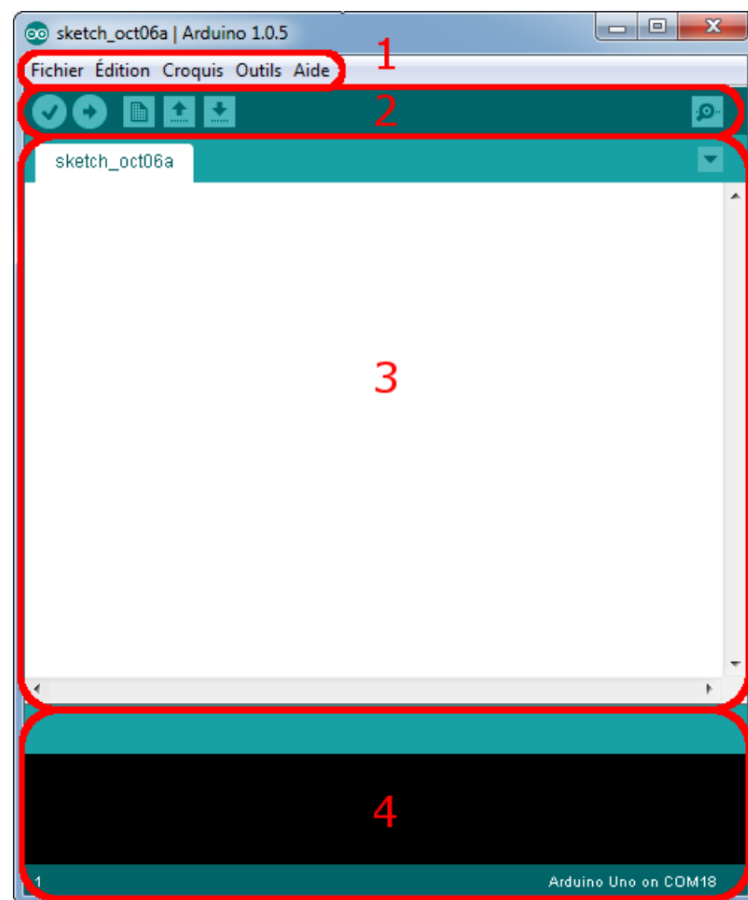
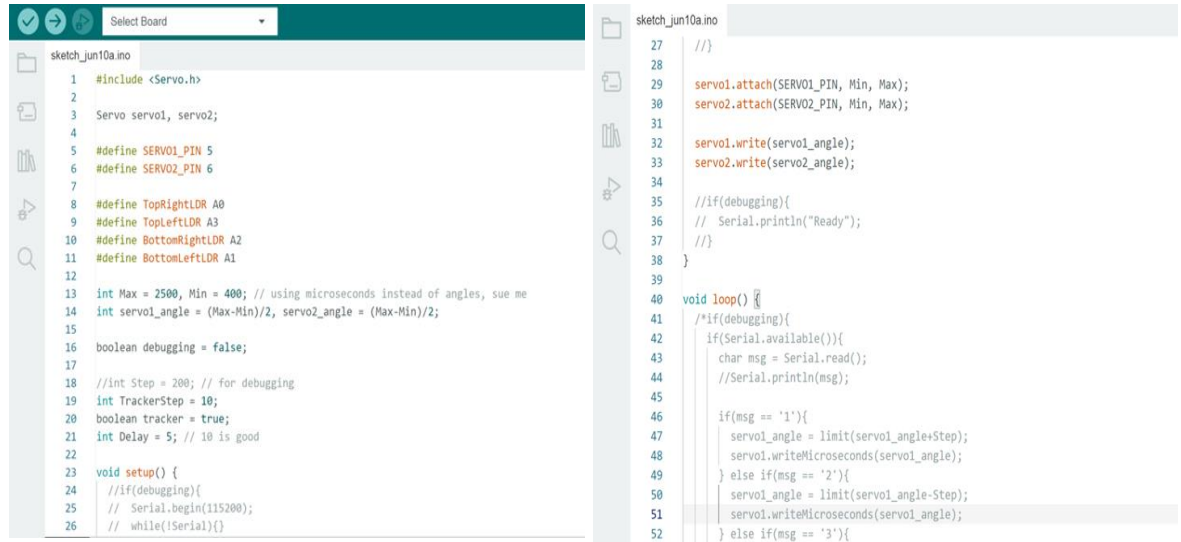


Figure III.11: Interface de l'IDE Arduino.

- 1) Ce sont les options de configuration du logiciel (barre de menus).
- 2) Les boutons qui nous servent lorsque nous programmons la carte (barre d'outils rapide).

Chapitre III: Réalisation du suiveur solaire et du robot de nettoyage des panneaux PV

- 3) Ce bloc va contenir le programme que nous allons créer (coloration syntaxique).
- 4) affichant les résultats de la compilation du code source, des opérations sur la carte, etc. [13]



```
1 #include <Servo.h>
2
3 Servo servo1, servo2;
4
5 #define SERVO1_PIN 5
6 #define SERVO2_PIN 6
7
8 #define TopRightLDR A0
9 #define TopLeftLDR A3
10 #define BottomRightLDR A2
11 #define BottomLeftLDR A1
12
13 int Max = 2500, Min = 400; // using microseconds instead of angles, sue me
14 int servol_angle = (Max-Min)/2, servo2_angle = (Max-Min)/2;
15
16 boolean debugging = false;
17
18 //int Step = 200; // for debugging
19 int TrackerStep = 10;
20 boolean tracker = true;
21 int Delay = 5; // 10 is good
22
23 void setup() {
24   //if(debugging){
25   //  Serial.begin(115200);
26   //  while(!Serial){
27     //}
28
29   servo1.attach(SERVO1_PIN, Min, Max);
30   servo2.attach(SERVO2_PIN, Min, Max);
31
32   servo1.write(servol_angle);
33   servo2.write(servo2_angle);
34
35   //if(debugging){
36   //  Serial.println("Ready");
37   //}
38 }
39
40 void loop() {
41   //if(debugging){
42   //  if(Serial.available()){
43   //    char msg = Serial.read();
44   //    Serial.println(msg);
45   //  }
46
47   //  if(msg == '1'){
48   //    servol_angle = limit(servol_angle+Step);
49   //    servo1.writeMicroseconds(servol_angle);
50   //  } else if(msg == '2'){
51   //    servol_angle = limit(servol_angle-Step);
52   //    servo1.writeMicroseconds(servol_angle);
53   //  } else if(msg == '3'){
```

Figure III.12: programmation de suiveur solaire.

III.2.1.1.12. Le langage de programmation :

Le langage de programmation utilisé pour les plates-formes Arduino est le C++, et il est associé à la bibliothèque de développement Arduino. Cette combinaison permet d'exploiter les fonctionnalités de la carte Arduino et de ses entrées/sorties. L'utilisation de ce langage standard facilite le développement de programmes sur les plates-formes Arduino pour toute personne ayant des compétences en C ou en C++.[1]

- **Fritzing** : est un logiciel open-source multiplateforme permettant de construire des schémas des circuits que nous utilisons avec Arduino. Plusieurs vues sont disponibles : platine d'essai, schémas électriques et circuit imprimé. Il permet aussi l'export en image pour figurer sur internet.

Ce logiciel offre la possibilité d'exporter des images, de partager et de sauvegarder le schéma des connexions pour faciliter la reprise ultérieure d'un montage fonctionnel.

III.2.1.1.13. Le support de suiveur solaire :

Toutes les pièces de support du suiveur solaire sont fabriquées à l'aide d'une imprimante 3D du modèle "Creality Ender 3 Max et Ender 3 Pro V2".

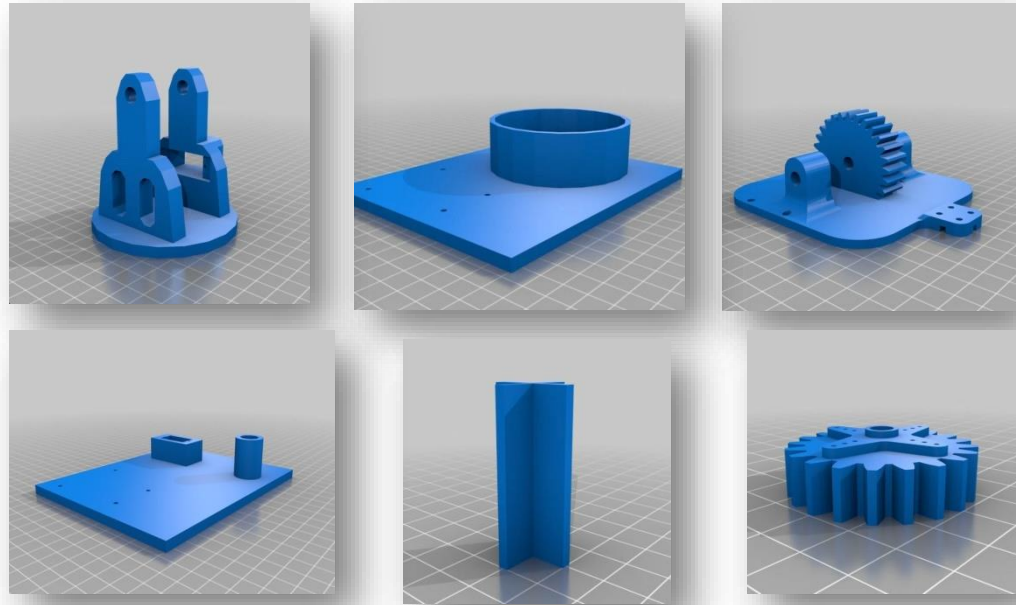


Figure III.13: les pièces de support du suiveur solaire.

III.2.2. Matérielle utilisées pour la réalisation de robot de nettoyage des panneaux solaire :

Pour la réalisation de robot de nettoyage des panneaux PV on est besoin de :

- Un moteur DC 12v pour la brosse de nettoyage
- Un driveur L293D pour la variation de vitesse de ce moteur
- Arduino nano pour Controller le bras robotique, les roues et la brosse avec son driveur
- Quatre roues

Chapitre III: Réalisation du suiveur solaire et du robot de nettoyage des panneaux PV

- **Quatre moteurs TT DC 12v pour les roues**
- **Un driveur L298N pour les roues**
- **Trois servomoteurs MG90s pour le bras robotique**
- **Les impressions 3D pour les pièces de robot (squelette du voiture, squelette du bras robotique) sont faites sur deux imprimantes de modèle Ender 3Dpro V2 et Ender 3 max**
- **Quatre batteries 3.7v modèle 18650**
- **Un convertisseur x5019 pour convertir le voltage total des quatre batteries**
- **Switch marche/arrêt pour le robot complet**
- **Une caméra ESP32 pour faire une communication entre le robot et l'application**

III.2.2.1. Moteur DC :

Les moteurs à courant continu (MCC), également connus sous le nom de moteurs DC, sont des machines électriques capables de transformer l'énergie électrique en énergie mécanique de rotation. Cependant, ils peuvent également agir en tant que générateurs d'électricité en convertissant l'énergie mécanique de rotation en énergie électrique. Ainsi, ces moteurs présentent une double fonctionnalité, permettant à la fois la conversion d'énergie électrique en mouvement et la conversion de mouvement en énergie électrique.[24]

Dans cette réalisation on a utilisé un moteur DC 12v pour la brosse et quatre Moteur DC 3-6v pour les roues.

Chapitre III: Réalisation du suiveur solaire et du robot de nettoyage des panneaux PV



Figure III.14: moteur DC 12V.



Figure III.15: moteur DC 3-6V pour les roues.

III.2.2.2. Contrôleur L293D :

Ce contrôleur de moteurs est conçu pour piloter deux moteurs CC, chacun pouvant atteindre 2 A, avec une plage de tension allant de 3 V à 35 V. Il est extrêmement simple à programmer et peut être utilisé dans de nombreuses applications, car il permet de contrôler à la fois la vitesse et le sens des moteurs.

Le module intègre une entrée de tension qui peut être configurée entre 3 V et 35 V en ajustant le cavalier régulateur de tension. Il peut supporter un courant maximal de 2 A. En utilisant le cavalier régulateur, vous pouvez contrôler des moteurs de 5 V à 12 V et utiliser la broche 5 V du module pour ajouter d'autres 'shields' ou accessoires. Si vous retirez le cavalier régulateur, vous pouvez contrôler des moteurs de 12 V à 35 V, et dans ce cas, la troisième broche agira comme une entrée 5 V pour alimenter la partie logique du driver. Nous avons utilisé ce modèle pour la variation de vitesse du moteur DC de 12V.

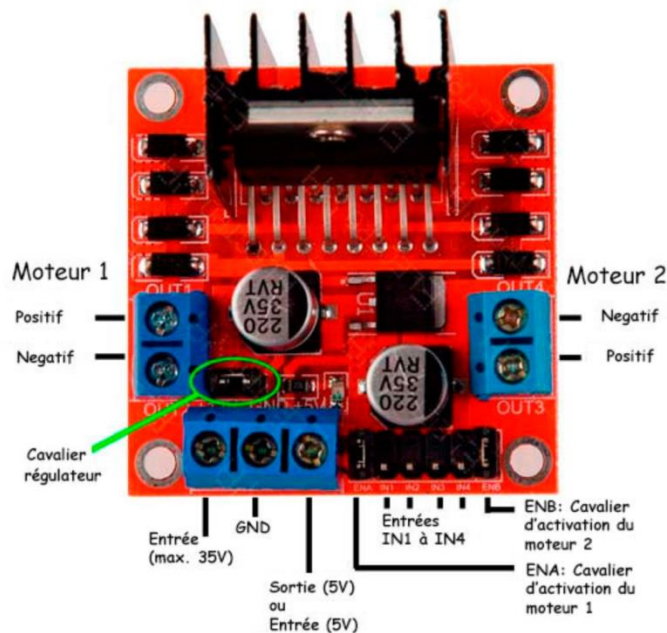
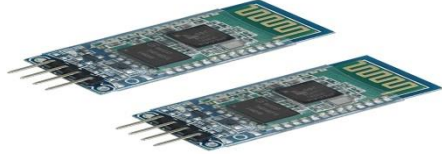
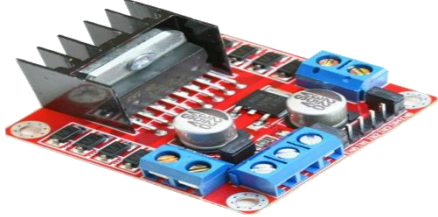


Figure III.16: contrôleur de moteurs (Driver) L293D.

III.2.2.3. Impression 3D :

On a utilisé une imprimante 3D de modèle ‘Ender 3DPro V2 et Ender 3 Max’ pour réaliser le squelette de robot, squelette du bras ainsi que toutes les pièces nécessaires.

III.2.2.3.1. Pièces nécessaires pour la voiture :

01 Unité Arduino	
Module esclave de transceiver Bluetooth RF sans fil HC-06	
Kit de squelette pour voiture robot 4WD intelligent	
02 Pilotes de moteur à double pont en H L298	
04 LED	
04 Résistances de 220 ohms	

Chapitre III: Réalisation du suiveur solaire et du robot de nettoyage des panneaux PV

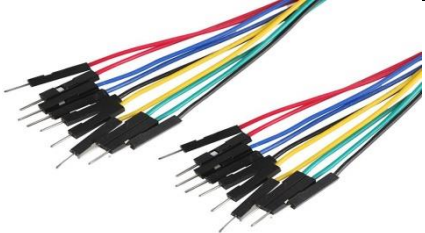
Un bouton buzzer	
Interrupteur (boutons marche/arrêt)	
De nombreux câbles	

Tableau III.3: Pièces nécessaires pour la voiture.

III.2.2.3.2. Les étapes de montage de la voiture :

- 1- Nous commençons par dénuder quelques câbles et utilisons le kit de soudage ainsi que le fer à souder pour connecter les parties dénudées aux connecteurs + et - du moteur.
 - 2- Ensuite, nous fixons les moteurs à la plaque de base inférieure en utilisant les petites plaques en plastique et les vis.
 - 3- Nous plaçons les roues sur les moteurs.
 - 4- Nous fixons la deuxième plaque de base au-dessus des moteurs et de la plaque de base inférieure à l'aide des vis. Si des cylindres en fer sont inclus, nous pouvons les utiliser pour entourer les vis et maintenir les deux plaques de base en place.
- Après, on rassemble les pièces du bras.

Chapitre III: Réalisation du suiveur solaire et du robot de nettoyage des panneaux PV

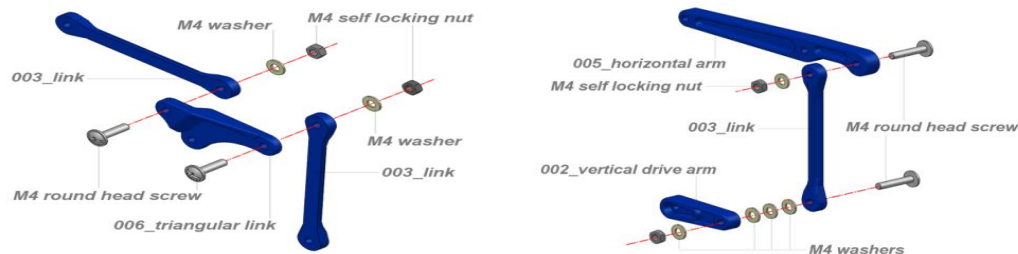
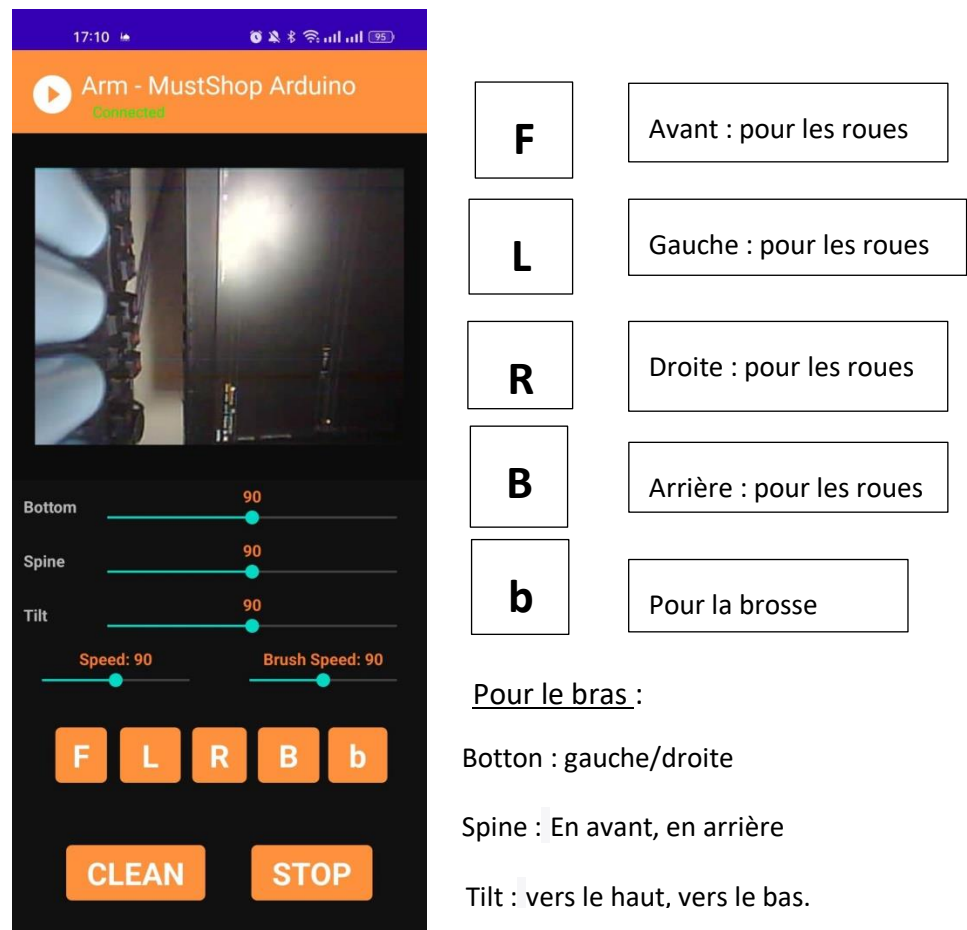


Figure III.17: les pièces du bras robotique.

Puis, on place la brosse sur le bras et on la positionne sur la voiture que l'on a réalisée.

III.2.2.3.3. L’application Android :

Le robot de nettoyage est contrôlé à distance à l'aide d'une application Android qui permet la communication entre le téléphone portable et le robot.



F	Avant : pour les roues
L	Gauche : pour les roues
R	Droite : pour les roues
B	Arrière : pour les roues
b	Pour la brosse

Pour le bras :

Botton : gauche/droite

Spine : En avant, en arrière

Tilt : vers le haut, vers le bas.

Figure III.18: L’application Android

III.3.Schéma électrique :

III.3.1. Schémas électrique du suiveur solaire :

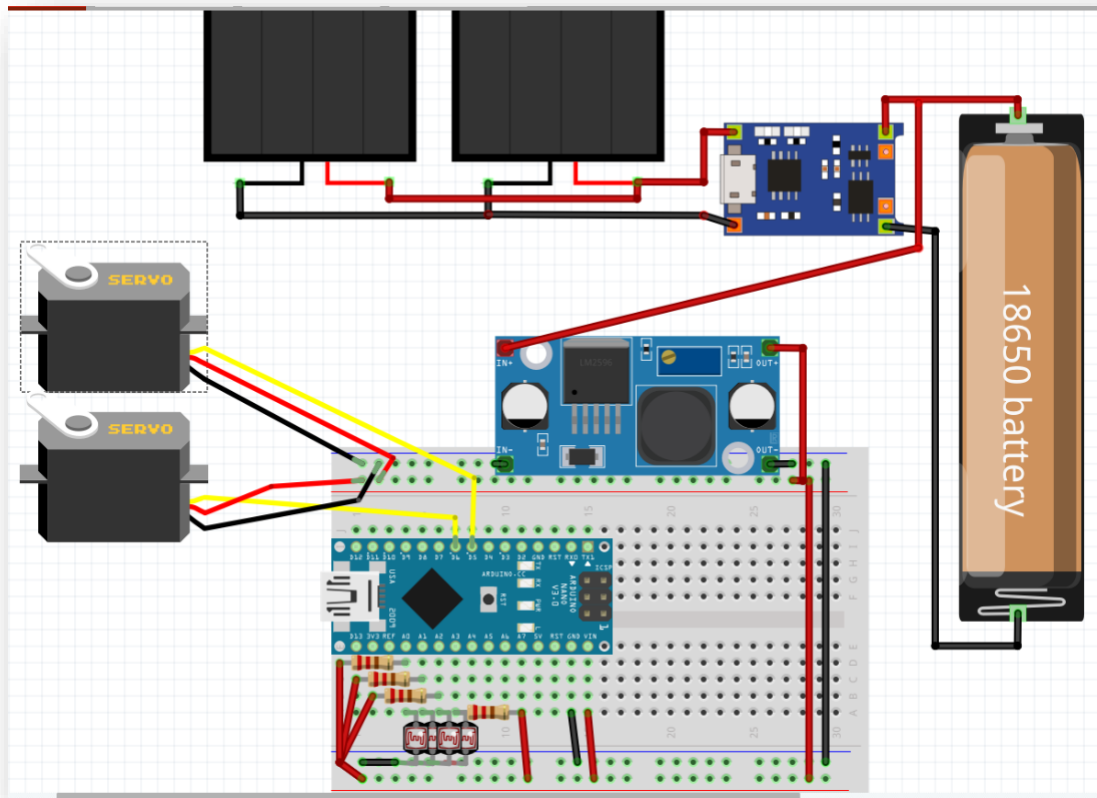


Figure III.19: Schéma électrique de suiveur solaire

III.3.2. Schémas électrique du robot de nettoyage des panneaux PV :

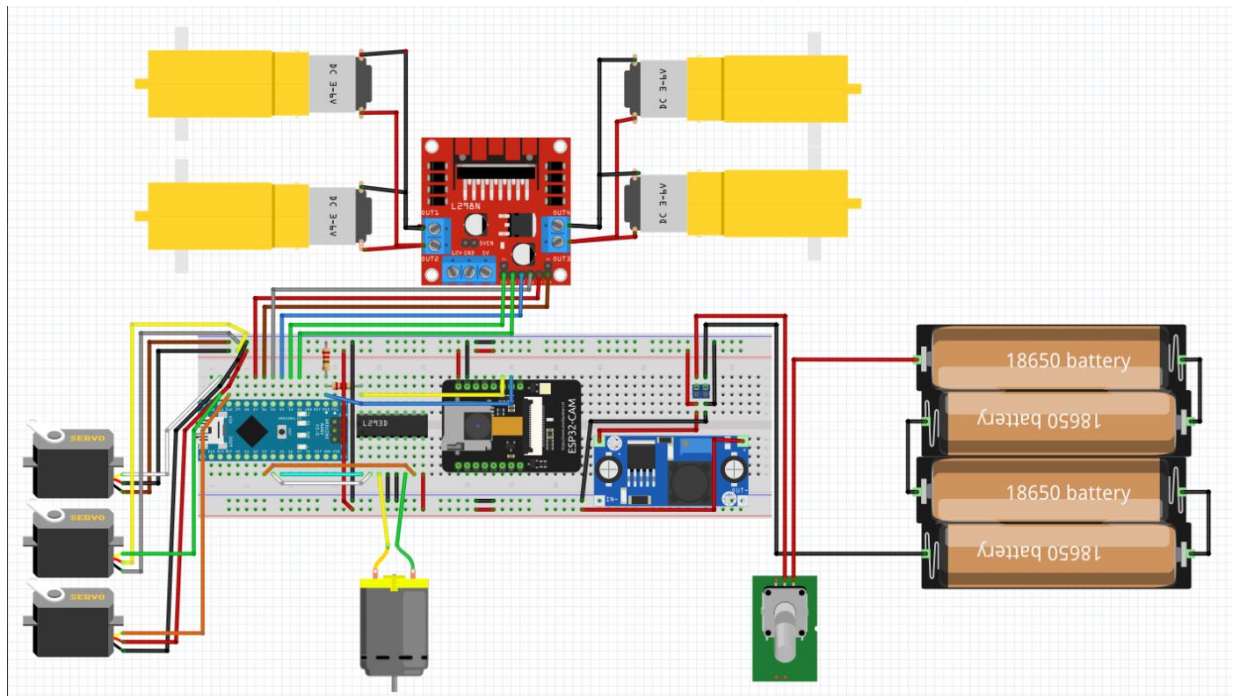


Figure III.20: Schéma électrique du robot de nettoyage des panneaux PV

III.4. Conclusion :

Dans ce chapitre final, nous avons détaillé les différentes étapes de réalisation de notre suiveur solaire et de notre robot nettoyeur. Nous avons abordé des aspects tels que la conception mécanique de la structure, le montage électrique nécessaire, ainsi que la programmation de la carte Arduino.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le sujet de notre mémoire porte sur « la conception et la réalisation d'un suiveur solaire bi-axiale et d'un robot de nettoyage des panneaux à base d'Arduino nano »

Notre but dans ce projet de fin d'étude est de réaliser un panneau solaire totalement autonome qui peut suivre la position de soleil par deux axes mobile un axe vertical et l'autre horizontale, qui sont commandés par deux servomoteurs pour le but d'améliorer le rendement .Et aussi de réaliser un autre système de nettoyage qui est une solution technique capable de nettoyer jusqu'à environ 85 % et également de surveiller les défaillances des panneaux solaires, malgré les problèmes rencontrés durant la réalisation,

En perspective, on souhaite d'améliorer notre suiveur solaire et notre robot de nettoyage e par l'intégration de l'intelligence artificielle pour l'apprentissage automatique.

Bibliographie

- [1] « B.Rachida, B.Mounira “Conception et réalisation d’un robot nettoyeur de panneaux solaire commandé par Bluetooth ”UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA ,2021 ».
- [2] « B.Makhlouf"Réalisation dun traker solaire commandé par une carte Arduino".Université Blida1,2017 ».
- [3] <https://lenergie-solaire.net/>« Énergie solaire ». (consulté le 8 avril 2023).
- [4] « H.Oum Elkhair, B.Meriem"Conception et Réalisation d’un Système de Poursuite de la Trajectoire du Soleil Bi-axial à Base des Capteurs de Lumière"Université Kasdi Merbah Ouargla,2017 ».
- [5] « B.Samira"Tracker solaire"université sidi mohamed ben abdellah,2017 ».
- [6] « Z.Ilhem"Etude et Réalisation d’un Concentrateur Solaire parabolique "UNIVERSITE MENTOURI – CONSTANTINE ,2005 ».
- [7] « R.Rym"Rendement d’un distillateur solaire à film capillaire à plusieurs étages, effet de certains paramètres thermo physiques sur le rendement "UNIVERSITE MENTOURI - CONSTANTINE ,2007 ».
- [8] « R. Gicquel"Estimation de l’ensoleillement reçu par un capteur solaire "avril 2010 ».
- [9] « K.SAID,B.IBTISSAM "Etude conception d’un suiveur solaire bi-axiale "UNIVERSITE AKLI MOAND OULHADJ DE BOUIRA ,2019 ».
- [10] « Ministère de l’Énergie | Algérie ». <https://www.energy.gov.dz/?rubrique=energies-nouvelles-renouvelables-et-maitrise-de-lrenergie> (consulté le 29 avril 2023).
- [11] « A. Nassima’’Conception et réalisation d’un suiveur solaire à base d’une carte Arduino nano ’ ’.Mémoire de Magister,Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou,2018 ».
- [12] « B.Mohamed" Conception et réalisation d’un système de Suiveur Solaire pour des systèmes photovoltaïques " Université des ST d’Oron,2011 ».
- [13] « B.Zahra"Etude, conception et réalisation d’une commande d’un tracker solaire (suiveur solaire) "Université Sidi Mohammed Ben Abdellah ,2014 ».
- [14] « B.Mohamed" Conception et réalisation d’un système de Suiveur Solaire pour des systèmes photovoltaïques " Mémoire de Magister , Université des STd’Oron ,2011 ».

- [15] <https://www.mesdepanneurs.fr/blog/nettoyage-maintenance-panneaux-solaires/>
« Comment nettoyer et entretenir vos panneaux solaires ? | MesDépanneurs.fr ». (consulté le 10 juin 2023).
- [16] « N.DJEMENDA "MISE EN PLACE ET EXECUTION D'UN PROTOCOLE D'ETUDE ET DE SUIVI DU NETTOYAGE DE MODULES PHOTOVOLTAÏQUES EN ZONE TRES POUSSIEREUSE: CAS DE LA REGION SOUDANO-SAHELIENNE " Ouagadougou, Burkina Faso ,2015 ».
- [17] « A.Maroua “ Etude expérimentale de l’effet de la poussière et de fientes des oiseaux sur le fonctionnement des panneaux solaires photovoltaïques pour le site de M’sila” UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M’SILA ,2022 ».
- [18] <https://liight.eco/nettoyage-panneaux-solaires/> « Nettoyer ses panneaux solaires : méthode et rentabilité », 28/12/2022. (consulté le 30 mai 2023).
- [19] <https://docplayer.fr/10132058-Mathieu-bour-emilie-laurent-marine-matton.html>
(consulté le 7 juin 2023).
- [20] « K.Abdelbasset ,G.Abdelmoumen" Etude et réalisation d’une carte de contrôle par Arduino via le système Androïde" UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA ,2015 ».
- [21] <https://idehack.com/arduino-nano-guide-complet/>« L’Arduino Nano – Le guide complet », 23 octobre 2022. (consulté le 14 juin 2023).
- [22] « FICHE TECHNIQUE Montage électronique ».
- [23] <https://www.electronique-kit.com/les-r%C3%A9sistances-arduino/>« Les résistances Arduino », *Kit électronique*. (consulté le 14 juin 2023).
- [24] « M.Sofiane, M.Hamza" Conception et réalisation d’un robot mobile à base de carte arduino" Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou,2017 ».

