



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Saâd Dahlab, Blida-1
Faculté de Technologie
Département des Énergies Renouvelables

Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

EN ENERGIES RENOUVELABLES
OPTION: ENERGIES RENOUVELABLES ET HABITAT
BIOCLIMATIQUES

Thème :

Etude Et Contrôle Par Arduino UNO D'un Système suiveur Solaire
Photovoltaïque

Par : SLIMANI YASSINE
KHALDI BOUFELDJA

Soutenu le .../.../2021 devant le jury compose de:

Hamid Abdelkader

Pr

Président

.....

Dr

Examineur

.....

Dr

Examineur

Doumaz Toufik

Dr

Promoteur

ملخص

يهدف عملنا إلى تحسين اكتساب الطاقة الكهربائية للوحة الطاقة الشمسية المتنقلة مقارنة بالنظام الثابت. سيتم تثبيت جهازنا على هيكل "LDR" ميكانيكي صنعناه على أساس اثنين من المحركات المؤازرة. بالنسبة لهذا التطبيق ، قمنا بإنتاج نظام مقاوم ضوئي من النوع والذي تم ترتيبه بحيث تكون الإضاءة متطابقة فقط إذا كان هذا النظام متعامدًا مع الشمس. تنتقل الإشارات من أجهزة الاستشعار إلى في "اردينو" مما يسمح بمقارنة مستويات الجهد للتحكم في المحركين المؤازرين. "ATmega328" مدخلات متحكم دقيق من نوع بالإضافة إلى ذلك ، يسمح بتوجيه اللوحة نحو الشمس. أخيرًا ، النظام الذي أنشأناه قادر على اتباع موقع الشمس بأمانة. بالإضافة إلى ذلك ، لزيادة كفاءة الألواح الشمسية المتنقلة مقارنة بالنظام الثابت ، كانت النتائج غير عادية

Résumé en français

Notre travail ayant comme objectif l'amélioration du gain en énergie électrique du panneau solaire mobile par rapport au système fixe. Notre dispositif d'instrument sera fixé sur une structure mécanique que nous avons réalisée à base de deux servomoteurs. Pour cette application, nous avons réalisé un système de photorésistance du type 'LDR' qui sont disposés de manière que leur éclairage ne soit identique que si ce système est perpendiculaire avec le soleil. Les signaux issus des capteurs sont transmis aux entrées d'un microcontrôleur de type ' ATmega328' dans « Arduino » qui permet la comparaison des niveaux de tensions pour la commande des deux servomoteurs. En outre, il permet l'orientation du panneau vers le soleil. Enfin, le système que nous avons réalisé est capable de suivre fidèlement la position du Soleil. En plus, pour augmenter le rendement du panneau solaire mobile par rapport au système fixe, les résultats ont été extraordinaires.

Abstract

Our work aimed at improving the electrical energy gain of the mobile solar panel compared to the fixed system. Our instrument device will be fixed on a mechanical structure that we have made based on two servomotors. For this application, we have produced a photoresistor system of the "LDR" type which are arranged so that their illumination is identical only if this system is perpendicular to the sun. The signals from the sensors are transmitted to the inputs of an "ATmega328" type microcontroller in "Arduino" which allows the comparison of the voltage levels for the control of the two servomotors. In addition, it allows the panel to be oriented towards the sun. Finally, the system that we have created is able to faithfully follow the position of the Sun. In addition, to increase the efficiency of the mobile solar panel compared to the fixed system, the results have been extraordinary.

Dédicaces

Je dédie ce travail à :
- à ma très chère Mère,
- à mon très cher Père,
- à mes très chers frères et sœurs,
- à toute la famille khaldi
- à tous mes amis.

boufeldja

Je dédie ce travail :
- à ma très chère Mère,
- à mon très cher Père,
- à mes très chers frères et sœurs,
- à toute la famille Slimani
- à tous mes amis.

Yassine

*À tous nos camarades de la promotion
Énergies Renouvelables*

Remerciements

-Toute la gratitude et le merci à Dieu, Notre créateur qui nous a donné La force pour effectuer ce travail.

-Nous tenons à témoigner notre gratitude à nos chers parents pour leurs aidesmorales durant nos études.

-Nous remercions tous les membres de jury pour avoir accepté d'évaluer notre Travail

- à mon promoteur,

Pour toutes leurs orientations pertinentes et pour leur disponibilité

- À toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Nomenclatures :

Si : Silicium

CIGS : Cuivre Indium Gallium Sélénium

BIPV: Building Integrated Photovoltaïque

INES : Institut National de L'énergie Solair

PCBM : Phenyle Carbon Butyrate Methile

CIS : Cuivre Indium Sélénium

SiH₄ : Silan

Cdte : Cadium telluride

λ :Longitude de dylie

TG: temps universel (Greenwich)

TL : : temps du lieu (TL = TG + Décalage horaire)

Introduction Générale	11
Chapitre 1 : Etude générale d'énergie solaire photovoltaïque	13
I. Introduction	14
I.2 les énergies renouvelables	14
I.2.1 Type d'énergie renouvelable	14
I.2.1.1 L'énergie hydraulique	14
I.2.1.2 L'énergie éolienne	15
I.2.1.3 L'énergie géothermique	15
I.2.1.4 La biomasse	16
➤ Les types d'énergie biomasse	16
I.2.1.5 L'énergie solaire	16
➤ Type d'énergie solair	16
➤ Aventure	16
➤ Inconvenient	18
I.3 Le système solaire photovoltaïque	18
I.3.1 Système autonome	18
I.3.2 Systèmes hybrides	19
I.3.3 Systèmes connectés au réseau	19
I.4 Énergie solaire photovoltaïque	19
I.4.1 Définition	19
I.4.2.2 Comment ça March	19
I.5 Cellule photovoltaïque	20
I.5.1 Types de cellules photovoltaïques	20
I.5.1.1 Les cellules photovoltaïques monocristallins	20
I.5.1.2 Les cellules photovoltaïques polycristalline	20
I.5.1.3 Les cellules solaires amorphes	21
I.5.1.4 Cellule en couche mince	21
I.5.1.5 Génération des cellules organiques	22
I.6 Principe de fonctionnement	22
I.7 Domaines d'application des panneaux photovoltaïques	22
I.8 Conclusion	22

Introduction :	22
II.1 Le potentiel d'énergie en Algérie	22
II.1.1 Energie solaire en Algérie	22
II.2 Le gisement solaire	22
II.3 Le mouvement solaire	23
II.3.1 Le système mécanique de la terre et du soleil	23
II.3.2 Mouvement de la Terre autour du soleil	23
II.3.3 Le soleil et son chemin	23
II.4 Le rayonnement solaire	24
II.4.1 Types de rayonnement	24
II.4.1.1 Rayonnement direct	24
II.4.1.2 Rayonnement diffus	24
II.4.1.3 Rayonnement réfléchi	24
II.4.1.4 Le rayonnement global	24
II.4.1.5 Le rayonnement Global sur une surface inclinée	24
II.5 Les coordonnées horaires	25
➤ La déclinaison (δ)	25
➤ L'angle horaire (ω)	25
II.5.1 Les coordonnées horizontales	25
➤ L'azimut solaire (a) :	25
➤ La hauteur (h)	26
II.6 Temps Solaire	26
II.6.1 Le temps universel (TU)	26
II.6.2 Le temps local (TL)	26
II.6.3 Le temps solaire moyen (TSM)	26
II.7 Etude d'un suiveur solaire	27
II.7.1 définitions d'un traqueur solaire	27
II.7.2 principe fonction d'un traqueur solaire	27
II.7.3.1 Commande en boucle ouverte :	28
II.7.3.2 Commande en boucle fermée	28
II.7.3.3 Commande hybride	29
II.7.4 types des traqueurs solaires	30
II.7.4.1 Suiveurs solaire passif	31
II.7.4.2 Suiveur solaire actif	32
II.7.4.3 Système de suiveur Solaire deux axes	32
II.7.5 La différence entre l'installation fixe et l'installation avec suiveur	33
II.7.6 Les moyens de contrôle de l'augmentation d'énergie par Traqueur	34
II.7.7 les avantages et l'inconvénient d'un suiveur solaire	34
II.8 conclusion	34

Chapitre III : Conception et Réalisation d'un suiveur solaire	35
III.1 Introduction	36
III.2 Les principaux outils utilisés pour développer et mettre en œuvre le modèle	36
III.2.1 Composants de base du prototype	36
III.2.1.1 Les Résistances	36
III.2.1.2 La photorésistance (LDR)	36
➤ Caractéristique	37
III.2.1.3 La Carte Arduino uno	37
➤ Arduino Uno	38
➤ Contient	38
III.2.1.3.1 Les différents Caractéristiques de la carte ARDUINO UNO	38
III.2.1.3.2 Source d'énergie	38
➤ Entrées et sorties	38
III.2.1.3.3 Le microcontrôleur dans l'arduino	39
➤ ATMEGA 328T-PU	39
➤ Ses caractéristiques	39
III.2.1.4 panneau solaire	39
➤ Caractéristique	39
III.2.1.5 l'émetteur de rotor	40
➤ Caractéristiques techniques	40
III.2.1.6 Batterie (ultrafire) 18650	41
➤ Caractéristiques	42
III.2.1.7 Capteur de courant ina219	42
➤ Descriptif	42
➤ Caractéristiques	43
III.2.1.8 Ecran d'affichage	43
III.2.1.9 Module de banque d'alimentation	44
➤ Caractéristiques	44
➤ Spécifications	44
III.3 réalisation	45
III.3.1 Les étapes de la réalisation	45
➤ Raccordement LDR avec l'arduino	46
➤ Le branchement final de notre prototype suiveur solaire	47
➤ Le branchement réel de notre prototype suiveur solaire	48
➤ Extraits photos du test du tracker solaire de 7h à	49
➤ Programme arduino pour contrôle le suiveur solaire	49
➤ Organigramme	50
III.4 Enregistrer et évaluer les résultats	51
III.4.1 La première journée : (03/09/2021)	51
➤ Résultats Expérimentales de la première journée : (03/09/2021)	52

III.4.2 Deuxième journée : (04/09/2021)	52
➤ Résultats Expérimentales de la deuxième journée : : (04/09/2021)	53
III.4.2 Discussions	54
➤ La première journée : (03/09/2021)	54
➤ Deuxième journée : (03/09/2021)	54
III.4.3 Mesure du gain en puissance	55
III.5 Conclusion	56
CONCLUSION GENERALE	58
Bibliographie et Webographie	61
III.6 Annexe	63

Liste des figures

Figuer.I.1 Energie hydroélectrique	15
Figuer .I.2 Energie éolienne	15
Figuer .I.3 Energie géothermique	16
Figuer.I.4 Energie biomasse	17
Figuer.I.5 Energie solaire	17
Figure .I.6 Schéma-effet photovoltaïques	20
Figure .I.8 la Cellule monocristallins	20
Figure. I.9 la Cellule polycristalline	21
Figure. I.10 la Cellule amorphes	21
Figure .I.11 la Cellule couche mince	21
Figure .I.12 la Cellule organiques	22
Figure.I.13 Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque	24
Figure.II.1 l'irradiation solaire en Algérie publiée par le CDER	26
Figure.II.2 le mouvement de la Terre autour du soleil	27
Figure.II.3 Le soleil et son chemin	28
Figure.II.4 Les types de rayonnement solaire.	29
Figure.II.5 Les coordonnées horaires	29
Figure.II.6 Coordonnées horizontales	31
Figure.II.7 Panneaux avec suiveur solaire	32
Figure.II.8 Commande en boucle ouverte d'un tracker	32
Figure.II.9 Commande en boucle fermée d'un tracker	33
Figure.II.10 Suiveur solaire passif	34
Figure.II.11 Suiveur solaire actif	34
Figure.II.12 suiveur solaire mono-axe	35
Figure.II.13 suiveur solaire deux axes	35
Figure.II.14 comparaisons entre la production avec système fixe et un suiveur.	36
Figure.III.1 Résistance d'une capacité 10 k Ω	39

Figure.III.2 LDR photorésistance	40
Figure.III.3 carte Arduino UNO	42
Figure.III.4 panneau solaire	43
Figure.III.5 le moteur de rotor	44
Figure.III.6 batterie 18650	45
Figure.III.7 capteur de courant ina219	46
Figure.III.8 écran	47
Figure.III.9 Module de banque	48
Figure.III.10 LDR AVEC URDUINO	49
Figure.III.11 raccordement entre module de banque et Arduino	49
Figure.III.12 Schéma de simulation d'un panneau solaire	50
Figure.III.13 Le montage real de poursuiveur solaire	50
Figure.III.14 Expérience de traqueur solaire	51
Figure.III.15 Programme arduino pour tracker solaire	51

Liste des tablea

Tableau I.1 comparative les celleules	23
Tableau III.1 Caractéristique LDR	40
Tableau III.2 les mesures réelles pour le premier jour avec le suiveur	54
Tableau III.3 les mesures réelles pour le deuxième jour avec le panneaux fixe	56

Introduction Générale

Introduction Générale

La consommation d'énergie est devenue croissante dans le monde en raison de l'explosion démographique et de la révolution industrielle, dépendant principalement des énergies fossiles (gaz naturel, pétrole, gaz de schiste, et autrefois charbon), le tout au détriment de l'environnement, car ce bien est devenu un polluant de la nature lorsqu'il est exposé à un processus de combustion. Des études scientifiques indiquent qu'il a un stock limite (combustibles fossiles), et donc la communauté internationale porte la responsabilité de cette consommation excessive du phénomène du réchauffement climatique, qui a des effets secondaires sur les équilibres socioéconomiques et politiques[1]

Il est donc devenu nécessaire de rechercher une alternative énergétique compatible avec l'environnement [2].

Les énergies renouvelables : (énergie solaire, éolienne, photovoltaïque ...), en particulier l'énergie solaire, est la meilleure solution à ce problème, notamment dans les pays ensoleillés et du sud, sachant que la quantité d'énergie solaire reçue de la planète est 5 fois supérieure à la consommation humaine quotidienne (charbon, humain, bois.) [1]

Ce dernier est directement converti en énergie électrique .L'utilisation optimale de l'énergie solaire dépend principalement de l'amélioration et de la conception optimale des unités photovoltaïques, ainsi que de la projection optique lorsqu'elle est perpendiculaire aux cellules des panneaux: le traqueur solaire est nécessaire pour atteindre cet objectif est un dispositif qui permet de suivre le mouvement du soleil pendant la journée et d'augmenter l'amplitude verticale des panneaux photovoltaïques, ce qui augmente leur efficacité Productivité, nécessaire pour atteindre cet objectif [3]

Dans notre projet, nous présentons l'étude, la conception et la mise en œuvre de ce tracker . Où au premier chapitre: une étude générale d'énergies renouvelables et l'énergie solaire photovoltaïque. Ceci est suivi du deuxième chapitre: Nous avons parlé des généralités du traqueur solaire et dans le troisième chapitre: la conception et la réalisation d'un traqueur puis simulations et la discussion des résultats expérimental .

Les mots clé : énergie solaire ; énergie électrique ; mouvement du soleil ; l'amplitude verticale ; panneaux photovoltaïques ; efficacité Productivité ; la conception ; traqueur solaire .

Chapitre I :
Etude générale d'énergie solaire
photovoltaïque

Etude générale d'énergie solaire photovoltaïque

I. Introduction :

Afin de protéger l'environnement des gaz à effet de serre, il est nécessaire de diversifier les sources d'énergie, de contrôler leur utilisation et de les développer, les énergies renouvelables étant la solution la plus appropriée, notamment l'énergie solaire, qui a connu une forte croissance ces dernières années car elle dépend principalement des panneaux solaires. Dans ce chapitre, nous nous concentrons sur la technologie photovoltaïque, l'énergie solaire, qui est une source importante d'énergie électrique, en étudiant ses panneaux solaires, et en donnant des notions générales sur les énergies renouvelables et leurs différents types. Enfin, nous terminerons ce chapitre par les différentes utilisations du photovoltaïque.

I.2 les énergies renouvelables :

Les énergies renouvelables sont des énergies qui peuvent être régénérées naturellement. Il ya cinq familles principales d'énergies renouvelables. Dans l'ordre d'importance de leur exploitation actuelle, ce sont [3] :

L'énergie solaire

L'énergie éolienne

L'énergie hydraulique (hydroélectricité)

La biomasse (avec le bois de chauffage, ainsi que biogaz...)

La géothermie.

I.2.1 Type d'énergie renouvelable :

I.2.1.1 L'énergie hydraulique :

Les centrales hydroélectriques transforment la puissance des rivières, des cascades et même des marées ou des vagues et sont une source d'énergie inépuisable qui n'émet pas de dioxyde de carbone. Ce système de production d'électricité verte est la plus ancienne des énergies renouvelables. Tout comme les moulins à eau depuis l'Antiquité, les centrales hydrauliques captent la puissance d'une turbine rotative pour alimenter en eau afin de produire de l'électricité grâce à un générateur électrique. [3].

Les types d'énergie hydraulique :

Il existe 3 catégories principales :

Chute haute, lacs ou soi-disant grande hydraulique

Chute moyenne ou fermée

Chute bas ou au-dessus de l'eau



Figure.I.1 Energie hydroélectrique [3].

I.2.1.2 L'énergie éolienne :

Cette énergie verte est promise à un bel avenir compte tenu de son caractère inépuisable. En théorie, capter une sur mille de l'énergie éolienne disponible sur Terre permettrait en fait de répondre à tous les besoins mondiaux en électricité. Les progrès technologiques de la dernière décennie ont rendu les éoliennes beaucoup plus efficaces et moins chères à produire. [4].



Figure.I.2 Energie éolienne [4].

I.2.1.3 L'énergie géothermique :

Le principe est d'exploiter le flux géothermique naturel à la surface du globe. En général, ce flux est assez faible et nécessite des dispositifs importants (forage...) pour pouvoir être capté. Cette forme d'énergie ne dépend pas des conditions atmosphériques et a donc l'avantage d'être quasi continu [5].



Figure.I.3 Energie géothermique [5].

I.2.1.4 La biomasse :

L'énergie de la biomasse est produite en brûlant des matériaux biologiques tels que le bois, en les convertissant en biocarburants ou en extrayant le bio méthane des déchets organiques en méthanises

➤ Les types d'énergie biomasse :

- Le biogaz
- Bois énergie
- Les biocarburants



Figure.I.4 Energie biomasse [5].

I.2.1.5 L'énergie solaire :

L'énergie lumineuse du soleil est recueillie grâce à des capteurs sur des panneaux solaires et est convertie en énergie électrique (solaire photovoltaïque) ou thermique (solaire thermique, comme pour les chauffe-eaux solaires) [6].

Chapitre I : Etude générale d'énergie solaire photovoltaïque

➤ Type d'énergie solaire :

- Le solaire photovoltaïque : transforme directement le rayonnement du soleil en électricité grâce à des panneaux formés de cellules de semi-conducteurs,
- Le solaire thermique : capte la chaleur du soleil. La chaleur collectée est utilisée comme telle ou bien transformée en énergie mécanique, puis en électricité. Dans ce dernier cas, on parle de solaire thermodynamique.



Figure.I.5 Energie solaire [6].

➤ Avantage :

- *Une énergie renouvelable donc non-polluante.
- *Elle est silencieuse lorsqu'elle est en marche. Contrairement à l'éolienne.
- *La majorité des matériaux du panneau photovoltaïque sont recyclés.
- *Peu de nécessité d'entretien. Puisque les panneaux peuvent résister aux différentes situations de climat.
- *Permet de réduire vos factures d'électricité et/ou créer une source de revenu.

➤ Inconvénient :

- *La production n'est pas constante sur toute la journée. Et la production peut varier d'une région à l'autre.
- *La production ne prend pas lieu dans la nuit.
- *La production baisse de 1%, en moyenne, par an.
- *L'énergie solaire, comme toute autre énergie, ne peut être stockée. Sauf avec des batteries. Mais cela augmente les coûts.
- *Les ombres ou les nuages peuvent avoir un impact sur la production.

I.3 Le système solaire photovoltaïque :

Les panneaux photovoltaïques (solaires électriques) contiennent des semi-conducteurs tels que le silicium qui convertissent directement le rayonnement solaire en électricité. Il est divisé en trois types, qui sont :

- Système autonome
- Systèmes hybrides
- Systèmes connectés au réseau

I.3.1 Système autonome :

Il existe deux types d'installations de base : autonomes ou connectées au réseau public, avec une version hybride basée sur l'autonomie en la combinant avec d'autres technologies. La version autonome (ou hybride) est particulièrement appréciée des foyers éloignés du service public pour lesquels la connectivité réseau est trop chère. La seconde approche, connectée au réseau électrique, permet au producteur de contribuer à ses besoins énergétiques, sans avoir à répondre à l'ensemble de ses besoins respectifs. [7].

I.3.2 Systèmes hybrides :

Si vous avez besoin d'une source d'électricité fiable dans un endroit où vous n'avez pas accès à un réseau électrique, l'énergie photovoltaïque peut être la solution la plus appropriée et la plus rentable. Les systèmes photovoltaïques convertissent la lumière du soleil en électricité plus efficacement à des températures plus basses. [7].

I.3.3 Systèmes connectés au réseau :

Les systèmes de production d'électricité photovoltaïque connectés au réseau sont le résultat de la tendance à la décentralisation du réseau électrique. L'énergie est produite à proximité de l'endroit où elle est consommée - pas seulement par les grandes centrales thermiques ou hydroélectriques. Au fil du temps, les systèmes connectés au réseau réduiront le besoin d'augmenter la capacité des lignes de transport et de distribution. Ces transferts éliminent le besoin d'acheter et d'entretenir une batterie de stockage qui nécessite un investissement financier important [7].

I.4 Énergie solaire photovoltaïque :

I.4.1 Définition :

L'énergie photovoltaïque se base sur l'effet photoélectrique pour créer un courant électrique continu à partir d'un rayonnement électromagnétique. Cette source de lumière peut être naturelle (soleil). L'énergie photovoltaïque est captée par des cellules photovoltaïques, un composant électronique produit de l'électricité lorsqu'il est exposé à la lumière. Plusieurs cellules peuvent être reliées pour former un module solaire photovoltaïque ou un panneau photovoltaïque. Une installation photovoltaïque connectée à un réseau d'électricité se compose généralement de plusieurs panneaux photovoltaïques [8].

I.4.2 L'effet photovoltaïque :

Chapitre I : Etude générale d'énergie solaire photovoltaïque

1.4.2.1 Définition :

L'effet photovoltaïque est obtenu par absorption des photons dans un matériau semi-conducteur qui génère alors une tension électrique. Les cellules photovoltaïques produisent du courant continu à partir du rayonnement solaire, qui peut être utilisé pour alimenter un appareil ou recharger une batterie [10].

1.4.2.2 Comment ça March ?

La lumière du soleil se compose de photons contenant une énergie correspondant aux différentes longueurs d'onde du spectre solaire. Quand un photon heurte une cellule photovoltaïque, son énergie peut être transférée à un électron dans le matériau semi-conducteur de la cellule. Avec cette énergie supplémentaire, l'électron peut alors s'échapper de sa position normale dans l'atome créant un « trou », qui deviendra une partie d'un courant dans un circuit électrique. C'est ce qu'on appelle la paire électron-trou.

Une cellule photovoltaïque est une diode, formée de deux couches de matériaux de semi-conducteur dopées de sorte que l'une conduise les charges négatives et l'autre, les charges positives. Ce phénomène crée un champ électrique permanent dans la cellule.

Grâce à cet effet diode et lorsque la paire électron-trou a été créé, les charges négatives vont être séparées des charges positives. Il se crée donc une différence de potentiel entre les couches N et P de la cellule. Un courant circule si une résistance (ampoule par exemple) est placée entre ces contacts [10].

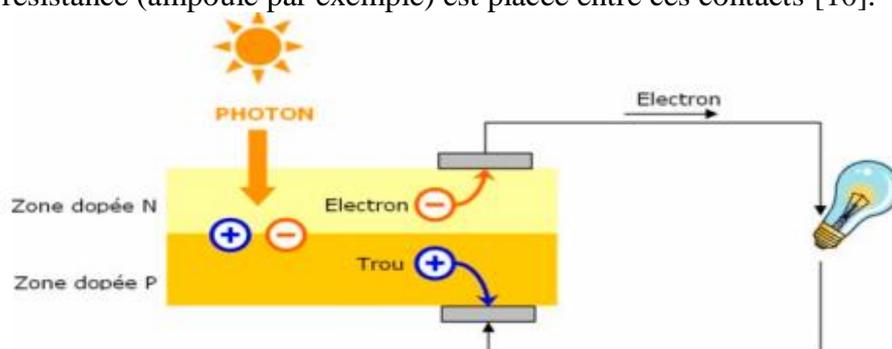


Figure.I.6 Schéma-effet photovoltaïques [10].

I.5 Cellule photovoltaïque :

La cellule PV est le plus petit élément d'une installation photovoltaïque. Elle est composée de matériaux semi-conducteurs et transforme directement l'énergie lumineuse en énergie électrique [9].

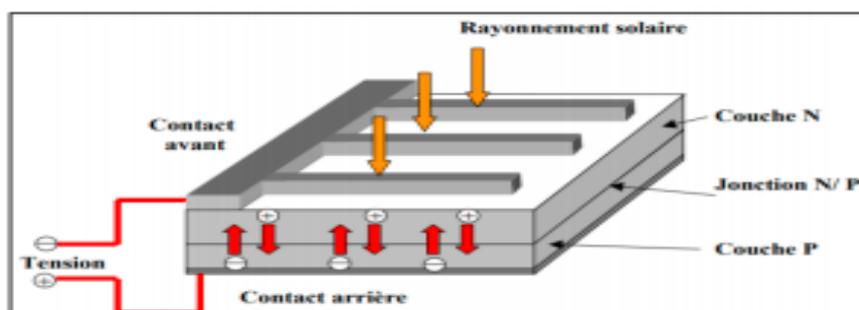


Figure. I.7 la Cellule Photovoltaïque [9].

I.5.1 Types de cellules photovoltaïques :

I.5.1.1 Les cellules photovoltaïques monocristallins :

Les panneaux solaires monocristallins sont utilisés dans les zones où l'intensité d'éclairage est élevée. Les cellules des panneaux solaires monocristallins sont en silicium pur dont le rendement énergétique se situe entre 18% et 24%, ce qui est le meilleur en termes de rentabilité [11].

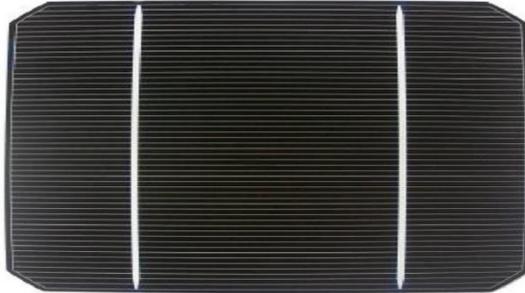


Figure.I.8 la Cellule monocristallins [11].

I.5.1.2 Les cellules photovoltaïques poly cristalline :

Plus répandu, car moins cher, il est composé de plusieurs cristaux juxtaposés. Son rendement est de 14 à 18%. La fiabilité de la technologie au silicium cristallin est démontrée sur le très long terme [12].



Figure. I.9 la Cellule poly cristalline [12].

I.5.1.3 Les cellules solaires amorphes :

Est non cristallin et est produit par pulvérisation cathodique de silicium ou de décomposition du silane. Son rendement est de 5 à 7%. C'est aujourd'hui une des filières la plus économique. Les modules à base de silicium en couches minces présentent également l'avantage de garder un bon niveau de production lorsque la luminosité est faible ou lorsque la température est élevée [12].

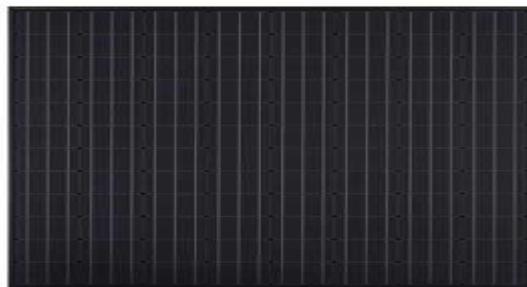


Figure. I.10 la Cellule amorphes [12].

I.5.1.4 Cellule en couche mince :

Commencent à se développer pour leurs qualités physiques qui représentent de gros avantages par rapport au silicium cristallin.

Quand le matériau est rare et cher il est d'autant plus intéressant d'essayer d'en utiliser le moins possible, c'est le principe des cellules en couches minces. Plusieurs technologies existent :

- Le silicium cristallin en couche mince
- Le cuivre/indium/sélénium ou cuivre/indium/Gallium/sélénium (CIS ou CIGS ; filières innovantes)
- Les cellules à double (tandem) ou à triple jonction (3a-si)
- Les cellules à base d'oxyde de titane [11].

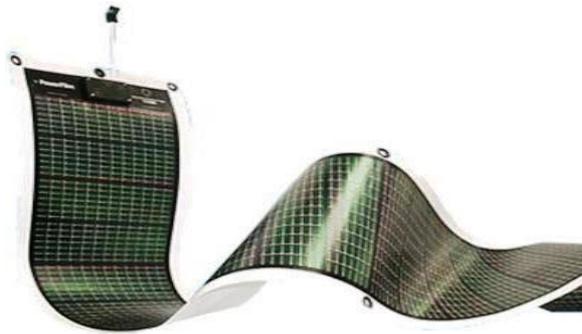


Figure .I.11 la Cellule couche mince [11].

I.5.1.5 Génération des cellules organiques

De nouvelles cellules sont en développement dans les laboratoires, les cellules organiques et les cellules de Ratzel sont en phase de recherche et présentent pour l'instant des rendements relativement faibles. La production des cellules multi-jonctions est quant à elle exclusivement réservée aux applications spatiales. En France, le projet Nanorgysol réunit une vingtaine de laboratoires (CNRS, universités, INES au Bourget en Savoie) qui développent une cellule constituée d'un polymère donneur d'électrons, un poly thiophène et d'un accepteur dérivé du fullerène (PCBM). Pour le moment le rendement atteint 5% sur 1 cm² [11].

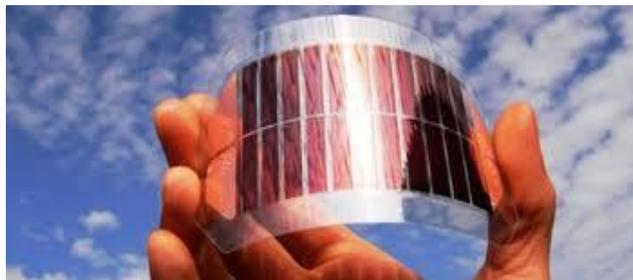


Figure.I.12 la Cellule organiques [11].

1.6 Principe de fonctionnement :

Le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque dépend des propriétés d'un semi-conducteur qui entre en collision avec des photons et libère un flux d'électrons. Les photons sont des particules élémentaires qui transportent l'énergie solaire à une vitesse de 300 000 km/sec. Lorsqu'ils entrent en collision avec un élément semi-conducteur tel que le silicium, ils retirent des électrons de ses atomes. Ces électrons se déplacent de manière désorganisée à la recherche d'autres "trous" pour changer de position.

Mais pour qu'il y ait un courant électrique, tous les mouvements de l'électron doivent aller dans le même sens. Pour les aider, nous allons combiner deux types de silicone. La face exposée au soleil est "dopée" avec des atomes de phosphore qui ont plus d'électrons que le silicium, et l'autre face est dopée avec des atomes de bore qui ont moins d'électrons. Cette double face devient une sorte de batterie : la face avec plus d'électrons devient négative (N), et la face avec moins d'électrons devient positive (P). Entre les deux, un champ électrique est créé.

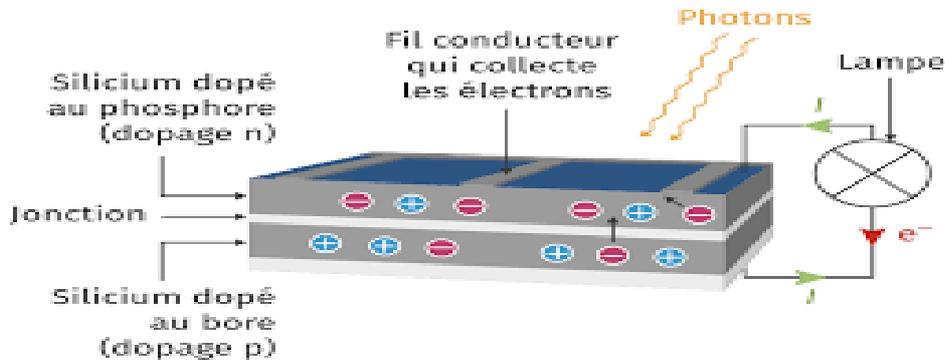


Figure.I.13 Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque [12].

1.7 Domaines d'application des panneaux photovoltaïques :

Les panneaux solaires sont appliqués dans plusieurs domaines tels que :

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

1.8 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté les bases de la conversion de l'énergie solaire photovoltaïque et les différentes technologies des cellules solaires, en donnant le principe de fonctionnement des cellules photovoltaïques et leurs caractéristiques principales et leurs avantages et inconvénients.

Chapitre II

Analyse technique sur les poursuiveurs solaire

Chapitre II : Analyse technique sur les poursuiveurs solaires

Introduction :

L'énergie solaire est la plus dominante de toutes les énergies renouvelables, elle est l'une des plus facilement exploitables. Comme la plupart des énergies douces, elle donne à l'utilisateur la possibilité de subvenir sans intermédiaire à une partie de ses besoins. La connaissance de la position du soleil dans le ciel à tout instant et en tout lieu est nécessaire pour l'étude de l'énergie interceptée. Les heures du lever et du coucher ainsi que la trajectoire du soleil dans le ciel au cours d'une journée permettent d'évaluer certaines grandeurs telles que la durée maximale d'insolation, l'irradiation globale [13].

Dans ce chapitre, nous allons mener une étude sur le système de suivi solaire, le principe de son fonctionnement, et ses types, afin d'atteindre un maximum d'énergie

II.1 Le potentiel d'énergie en Algérie :

II.1.1 Energie solaire en Algérie :

La durée des coups de chaleur sur l'ensemble du territoire national dépasse près de 2500 heures par an et peut atteindre 3900 heures (haut plateau et désert). L'énergie reçue par jour sur une surface horizontale de 1 m² est de l'ordre de 5 kWh sur la majeure partie du territoire national, soit environ 1700 kWh/m²/an au nord et 2.263 kWh/m²/an au sud du pays.

Le recours à l'énergie solaire est la solution la plus évidente et la plus rationnelle. De plus, il était compris par les autorités politiques.

Loi n° 04-09 du 14.08.2004 relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable [14].

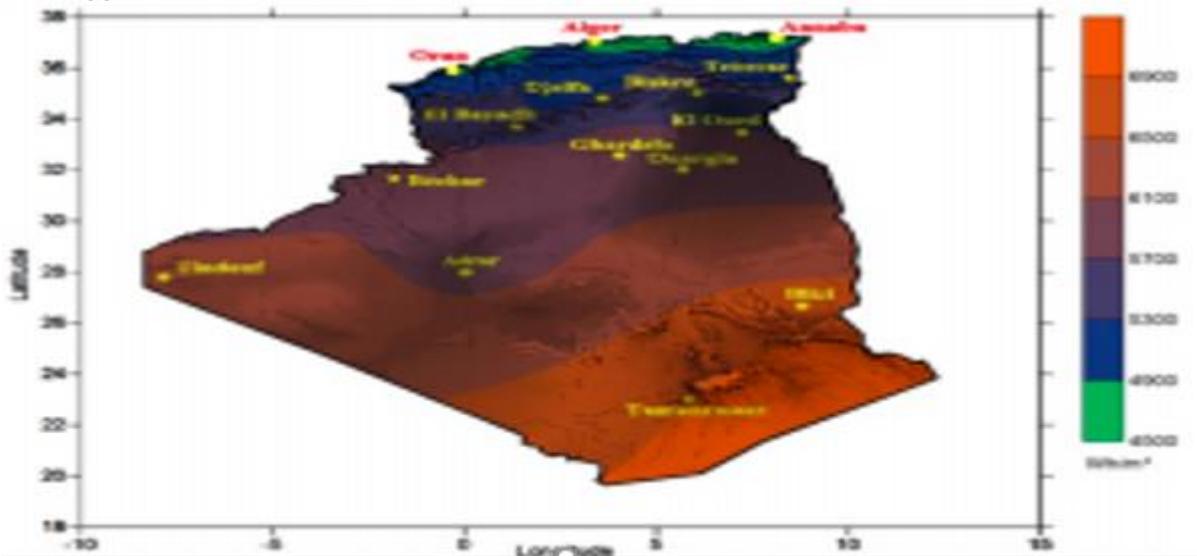


Figure.II.1 l'irradiation solaire en Algérie publiée par le CDER [14].

II.2 Le gisement solaire :

Ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible sur une période donnée. Il est utilisé dans des domaines aussi divers que l'agriculture, la météorologie, les applications énergétiques et la sécurité publique. Dans les systèmes d'énergie solaire, le besoin de données d'insolation est d'une importance primordiale à la fois dans la conception et le développement de ces systèmes et dans l'évaluation de la sélection. Une base de données robuste et fiable est au moins essentielle à la survie économique des installations de collecte et de conversion d'énergie solaire [15].

II.3 Le mouvement solaire :

II.3.1 Le système mécanique de la terre et du soleil :

Il se compose du soleil, de la terre et de la lune, et ces trois composants sont difficiles à identifier, Mais grâce à des études approfondies menées par des scientifiques, Lagrange a pu le faire Trouvez 5 points qui agissent sur l'équilibre latéral du système. Système Terre-Lune, permettant cette autour du Soleil

II.3.2 Mouvement de la Terre autour du soleil :

La terre est animée d'un mouvement de rotation direct et uniforme d'ouest en est, autour de son axe unissant ses deux pôles. Prenez le soleil comme point de référence, ce mouvement appelé rotation de la terre sur elle-même, ce mouvement s'accomplit en une période moyenne de 24 heures. Si l'on distingue sur un papier les différentes positions de coordonnées équatoriales qu'occupe la terre durant toute l'année dans la sphère céleste, et qui joint ces points d'un trait continu, on obtient un cercle appelé l'é [15].

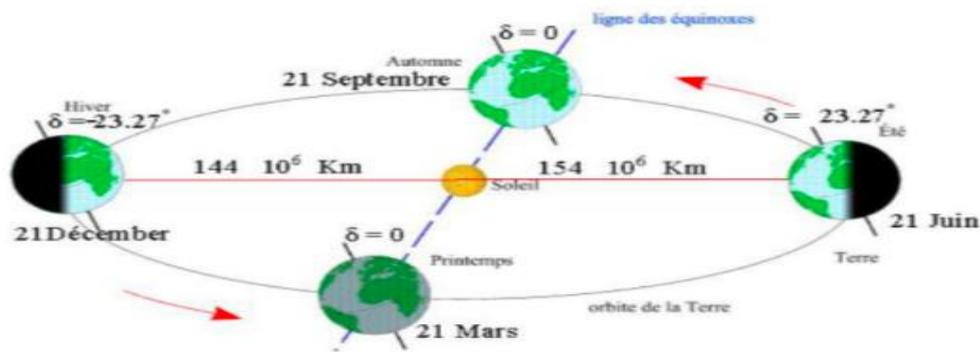


Figure.II.2 le mouvement de la Terre autour du soleil [15].

II.3.3 Le soleil et son chemin :

Le Soleil est une étoile naine jaune, composée d'hydrogène (75 % en masse) et d'hélium (25 % en masse). Par taille) 10). Autour d'elle tourne la terre (à une vitesse de 30 km/s),

Des flux de chaleur sont constamment émis dans l'espace sous forme de rayonnement thermique infrarouge ; Ainsi la Terre reste en « équilibre dynamique ».

Le demi-grand axe de l'orbite de la Terre autour du Soleil, communément appelé "distance de la Terre au Soleil", égal à $149.597.870.700 \pm 3m1$, est la définition originale d'une unité astronomique (UA). Il faut 8 minutes 19 secondes à la lumière du soleil pour atteindre la Terre [16].

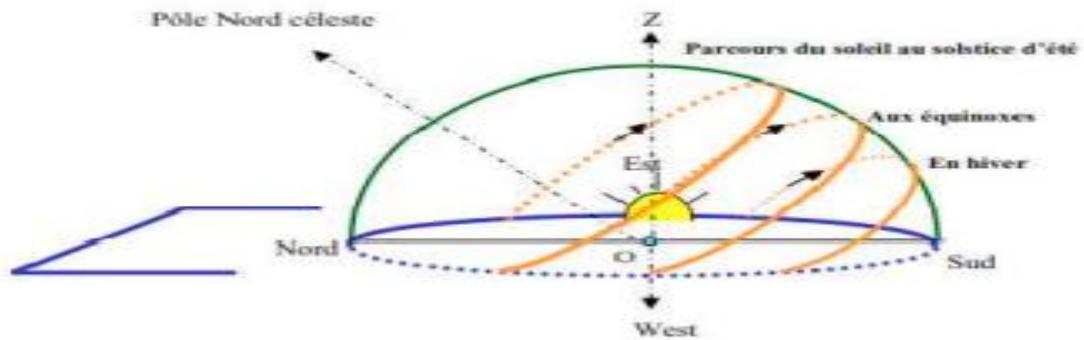


Figure.II.3 Le soleil et son chemin [16].

II.4 Le rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire est l'ensemble du rayonnement émis par le Soleil. En plus des rayons cosmiques, particules animées d'une vitesse et d'une énergie extrêmement élevées, le Soleil émet des ondes électromagnétiques dont le spectre s'étend des ondes radio aux rayons gamma, en passant par la lumière visible. [4].

Le photon émis fournit de l'énergie, ce qui est montré dans la relation suivante :

$$E [J] = h \cdot \nu = h \cdot c / \lambda \quad (I.1)$$

- $E [J]$: énergie produit.
- h : constante de Planck.
- λ : longueur d'onde [m].
- c : vitesse de la lumière dans le vide.
- ν : fréquence [Hz].

II.4.1 Types de rayonnement :

Types de rayonnement Les rayons solaires traversant l'atmosphère terrestre sont répartis en

II.4.1.1 Rayonnement direct : Ce sont des rayons qui tombent directement sans avoir aucune barrière (nuages, bâtiments ...) [5]

II.4.1.2 Rayonnement diffus : ce sont les rayons du soleil réfractés par les nuages.

II.4.1.3 Rayonnement réfléchi : ce sont les rayons résultant de la réflexion de la lumière de solaire par les différents sols.

II.4.1.4 Le rayonnement global :

Le rayonnement global d'un plan horizontal est la somme des rayonnements direct et diffus. Pour un plan incliné, il faut ajouter le rayonnement réfléchi par la surface environnante [16].

II.4.1.5 Le rayonnement Global sur une surface inclinée :

Le rayonnement solaire global G_{β} sur une surface arbitraire ayant une inclinaison par rapport à l'horizontale et un angle azimutal est la somme des composantes directe I_{β} diffuse D_{β} et réfléchi par le sol R_{β} . du rayonnement solaire [17].



Figure.II.4 Les types de rayonnement solaire [17].

II.5 Les coordonnées horaires :

➤ **La déclinaison (δ) :**

C'est l'angle fait par le plan de l'équateur avec celui de l'écliptique. Elle varie au cours de l'année de $+23^{\circ}27'$ à $-23^{\circ}27'$ et détermine l'inégalité des durées des jours. Elle s'obtient à partir de la formule suivante [17] :

$$\delta = 23.45 \sin\left(\frac{360}{365}(n - 81)\right)$$

➤ **L'angle horaire (ω) :**

Il est déterminé par la rotation régulière de la terre autour de son axe. Il est compté positivement dans le sens rétrograde de 0° à 360° .

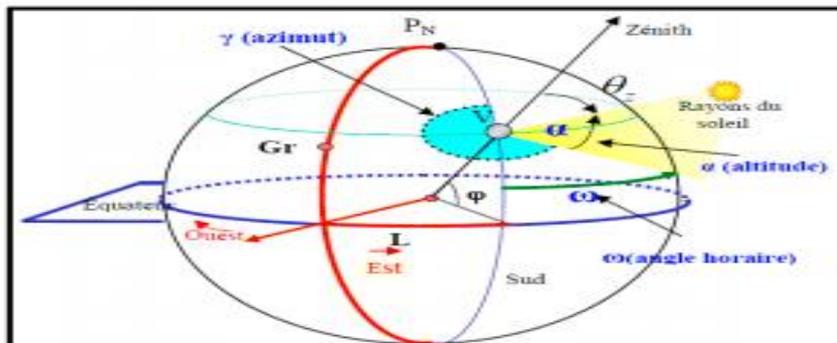


Figure.II.5 Les coordonnées horaires [17].

II.5.1 Les coordonnées horizontales :

Le repérage du soleil se fait par l'intermédiaire de deux angles [17] :

➤ **L'azimut solaire (α) :**

C'est l'angle sur le plan horizontal mesuré à partir du sud avec la projection horizontale des rayons directs du soleil. Il est également donné comme angle entre le méridien local et la projection de la ligne de la vue du soleil dans le plan horizontal local de la droite reliant la terre au soleil. Il est compté de 0° à 360° d'ouest en est, ou de 0° à 180° à partir du sud vers l'ouest, défini par l'équation suivante.

$$\text{Arcsin}\left(\frac{\cos(\delta) \sin(H)}{\cos(h)}\right) \quad (\text{II.1})$$

Chapitre II : Analyse technique sur les poursuiveurs solaires

➤ La hauteur (h) :

C'est 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 : $z + h = 90^\circ$, L'angle de la hauteur solaire est donné par [18] :

$$\sin(h) = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos w \quad (\text{II.2})$$

ϕ : zémit .

δ : La déclinaison.

W : L'angle horaire.

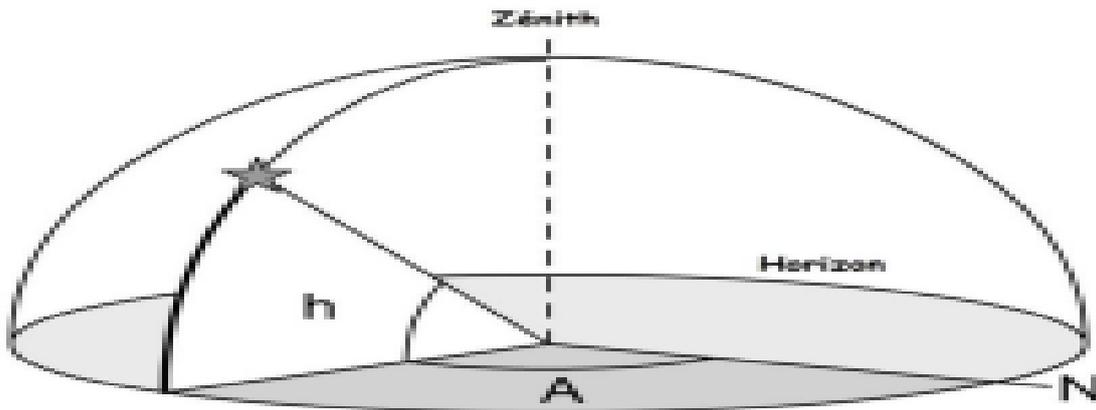


Figure.II.6 Coordonnées horizontales [18].

II.6 Temps Solaire :

A midi, le soleil croise le méridien de l'observateur, alors que le temps local est déterminé selon les fuseaux horaires politiques et d'autres approximations, L'écart entre le temps solaire moyen TSM et le vrai temps solaire TSV, s'appelle (Equation du temps) E [19].

II.6.1 Le temps universel (TU) :

C'est le temps solaire moyen du méridien de Greenwich GMT (Greenwich Mean Time) qui est le méridien central du fuseau horaire.

II.6.2 Le temps local (TL) :

Pour en déduire le temps légal ou local (TL), il convient d'ajouter au temps universel le décalage du fuseau horaire.

$$TL = TU + \text{décalage} \quad (\text{II.3})$$

II.6.3 Le temps solaire moyen (TSM) :

Il se déduit de l'équation suivante : Avec λ : Longitude de l'observateur

$$TSM = TU + \lambda / 15 \quad (\text{II.4})$$

*Equation du temps :

$$E = TSM - TSV \quad (\text{II.5})$$

$$E = 2.292(0,000075 + 0,001868 \cdot \cos Q - 0,032077 \sin Q - 0,014615 \cos 2Q - 0,04089 \sin 2Q) \quad (\text{II.6})$$

$$Q = 0.986(n - 1) \text{ et } 1 \leq n \leq 365$$

***La relation de la position du soleil (angle horaire) en fonction l'équation du temps :**

Des équations dérivées dans le précédent:

$$\omega = \lambda + 15(E + TG - 12) \quad (\text{II.7})$$

II.7 Etude d'un suiveur solaire :

II.7.1 définitions d'un traqueur solaire :

Un suiveur solaire est un dispositif mobile permettant de suivre le soleil selon le principe de l'héliostat ou du tourne sol. Cette structure portante motorisée oriente en temps réel les collecteurs solaires vers le soleil afin d'en augmenter leur productivité de 25 à 50 %, [20] car tout au long de la journée et de l'année (selon les saisons) la position du soleil varie constamment et d'une manière différente selon la latitude. L'idée de poursuivre la trajectoire du soleil n'est pas récente, mais elle remonte loin dans le temps. En effet, les premières applications des Traqueurs solaires datent des années 1750. Pour les systèmes photovoltaïques à écran plat, les Traqueurs sont utilisés pour minimiser l'angle d'incidence entre la lumière solaire entrante et un panneau photovoltaïque. Dans les applications photovoltaïques à concentrateur (CPV) et à énergie solaire concentrée (CSP), les Traqueurs sont utilisés pour activer les composants optiques des systèmes CPV et CSP [21].

II.7.2 principe fonction d'un traqueur solaire :

Son principe de fonctionnement est de s'orienter vers le Soleil tout au long de la journée, ce qui a pour effet d'augmenter la production d'énergie de manière substantielle. En effet, la position du soleil varie constamment, à la fois pendant la journée, mais aussi pendant les différentes périodes de l'année. Le suiveur permet ainsi de placer au mieux le panneau par rapport au positionnement du Soleil (perpendiculaire au rayonnement si possible). Suivre le soleil peut se faire sur deux axes en azimut (d'est en ouest, à mesure de l'avancée de la journée) et en hauteur (selon la saison et l'avancée de la journée). L'idéal est d'utiliser un Traqueur à deux axes, mais il en existe aussi avec un seul (typiquement avec un suivi seulement en azimut, l'angle par rapport au sol étant fixé selon l'optimum local, qui dépend de la latitude. Les deux types de suiveurs solaires qui existent sont soit mono-axe soit double axe, qui s'appuient sur le même principe de poursuite. La technique utilisée pour cette étude repose sur la différence d'éclairement incident sur les capteurs de lumière photorésistance ou LDR (Light-Dépendent-Résistor) séparés par des parois opaques et placés sur le panneau PV. Le circuit de contrôle et de commande assure la fonction de comparaison des signaux émis par les capteurs en calculant leurs différences, puis renvoie des impulsions au moteur pour repositionner le panneau perpendiculairement aux rayons solaires [22].

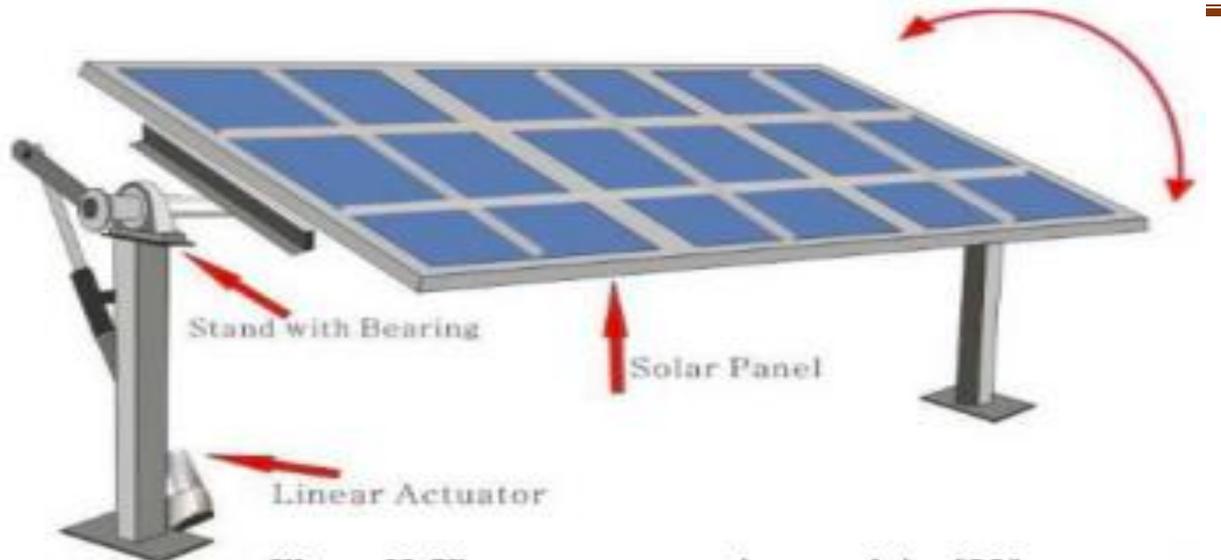


Figure.II.7 Panneaux avec suiveur solaire

II.7.3 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, la troisième, hybride étant une combinaison des deux premières, dites stratégie en boucle ouverte et en boucle fermée.

II.7.3.1 Commande en boucle ouverte :

La commande dite en boucle ouverte (Figure III.5) est une commande active de poursuite basée uniquement sur des calculs astronomiques de la position du soleil (calcul d'éphémérides), sans mesure de la position du soleil. En fait, elle permet de générer les consignes de la trajectoire de poursuite du tracker (dans notre cas l'angle d'azimut et l'élévation) à partir de l'heure et des coordonnées GPS d'une centrale. Comme toute commande en boucle ouverte, elle est très sensible aux perturbations (absence de feedback) et aux erreurs de modélisation [27].

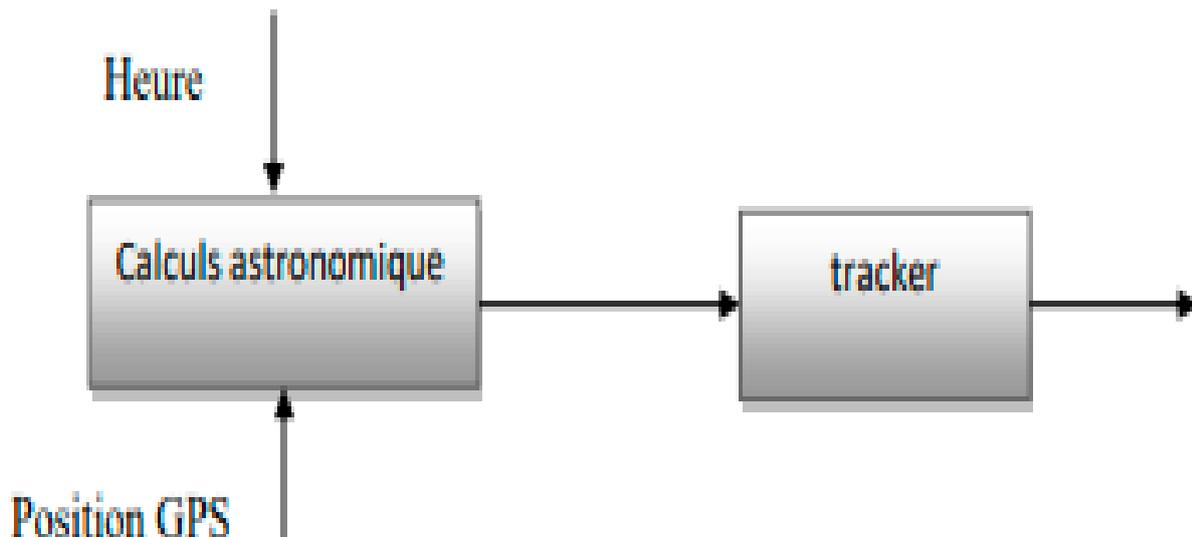


Figure.II.8 Commande en boucle ouverte d'un Traqueur [27].

II.7.3.2 Commande en boucle fermée :

La commande en boucle fermée est une commande active qui se base sur une mesure de l'erreur de poursuite réelle pour contrôler les actionneurs du Traqueur. Cette mesure de l'erreur (Figure III.6) est fournie généralement par un capteur solaire, aussi appelé viseur solaire. Dans certains cas, le retour n'est pas une erreur de poursuite mais une puissance produite par le module. En effet, cette stratégie consiste à orienter les Traqueurs suivant la position du Traqueur le mieux orienté, en partant de n'importe quelle position (position aléatoire) [27].

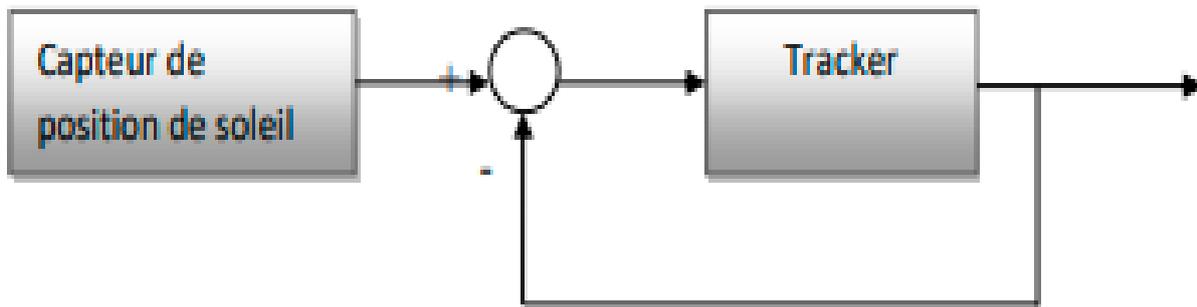


Figure.II.9 Commande en boucle fermée d'un tracker [27].

II.7.3.3 Commande hybride :

La commande hybride est une commande de poursuite qui combine le calcul de la position de référence proposée par la « boucle ouverte », et la donnée de retour proposée par la commande à boucle fermée [27].

II.7.4 types des traqueurs solaires :

II.7.4.1 Suiveurs solaire passif :

Ce type de suiveurs solaires possède deux tubes en cuivre remplis en fluides chimiques est monté sur les côtés Est et Ouest du PV. L'augmentation de la température induit par l'exposition aux rayons du soleil mène à la vaporisation de ces liquides. Le plus grand volume interne est occupé par partie gazeuse, et la quantité liquide se déplace vers le côté ombragé. Donc, le mouvement des PV est gouverné par un processus de transfert de mass. Cette technique ne nécessite aucune énergie pour orienter les PV [23].

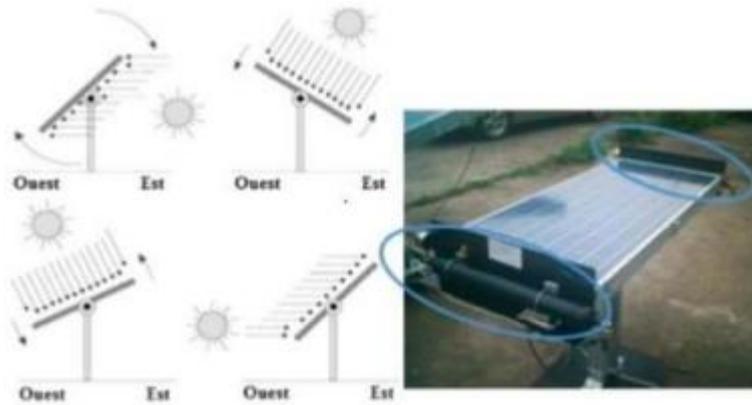


Figure.II.10 Suiveur solaire passif [23].

II.7.4.2 Suiveur solaire actif :

Les suiveurs solaires actifs utilisent le principe de la détection de lumière, suivant la trajectoire solaire en cherchant à optimiser au maximum l'angle d'incidence du rayonnement solaire sur leur surface. Il existe deux types dans cette famille : les suiveurs mono-axe et double axe. L'avantage de ces derniers par rapports aux suiveurs passifs c'est qu'ils représentent une meilleure précision de suivi et ne nécessitent aucune intervention manuelle pour les ajuster [23].



Figure.II.11 Suiveur solaire actif [23].

II.7.4.3 Système de suiveur Solaire deux axes :

C'est un système qui suit la course du soleil sous des angles multiples selon l'azimut et l'élévation, de manière qu'il irradie entièrement le panneau. Le système deux axes est également utilisé pour réorienter un réflecteur solaire ou un héliostat [24].

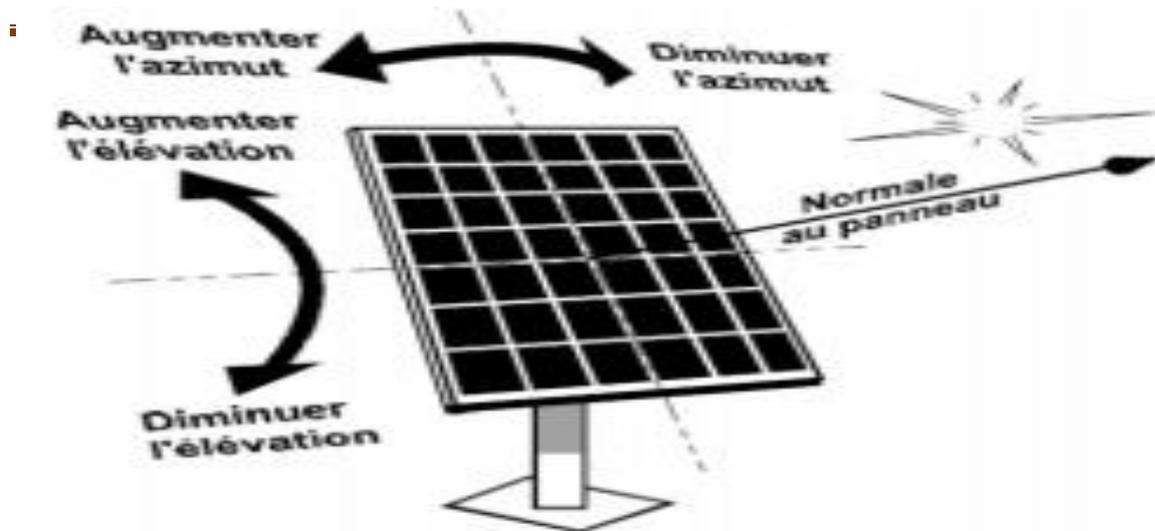


Figure.II.13 suiveur solaire deux axes [24].

II.7.5 La différence entre l'installation fixe et l'installation avec suiveur :

Les panneaux fixes sont installés dans une position fixe tout au long de l'année (azimut et inclinaison). Le rendement optimum est obtenu pour une orientation sud avec une inclinaison de 35° . Dans cette position, un système d'une puissance d'1 kWc produit environ 900 kWh par an. Si on s'écarte de cette position, le rendement diminue. Cette diminution du rendement peut être calculée en multipliant le rendement obtenu en position optimale par le facteur de correction pour l'orientation et l'inclinaison choisie, et les panneaux mobiles sont capables de suivre le soleil toute la journée. Pour cela, le châssis dispose de deux degrés de liberté : rotation horizontale pour régler l'azimut et rotation verticale pour l'inclinaison. Ce système permet aux panneaux photovoltaïques de surveiller en permanence la position du soleil pour assurer une production électrique maximale. Ce type de structure permet d'augmenter la production d'électricité par rapport aux panneaux fixes, d'environ 25 %. Si le système stationnaire produira en moyenne 900 kWh/kW dans les meilleures conditions, alors le tracker solaire permettra de produire jusqu'à 1093 kWh/kW, soit un gain d'environ 25 %, [25] Nous concluons que la différence entre une installation avec un tracker et une installation stationnaire est constituée de deux points importants :

- Economie de profit : Parce que l'énergie produite est liée à de bonnes performances financières, le système tracker a un taux de 30%-40% par rapport à la constante (apportant des avantages financiers).

- Plus de production d'énergie : car le tracker pendant la journée produit 30-40% (du soleil) Lorsque les trackers sont connectés à des appareils, cela augmente considérablement la production [26].

II.7.6 Les moyens de contrôle de l'augmentation d'énergie par Traqueur :

Le gain d'un Traqueur est différent à chaque installation, Il existe plusieurs moyennes pour contrôler le niveau de la production d'électricité pour un Traqueur solaire, on distingue plusieurs factrices [28] :

- La climatologie du site et l'ensoleillement.
- Le facteur d'ombre induit et la densité de puissance installée.
- La course angulaire de suivi solaire.
- La quantité de flux de rayonnement solaire, qui varie d'une région à l'autre (elle est généralement intense dans le désert)
- La fréquence de positionnement.
- La latitude du site d'installation.

II.7.7 les avantages et l'inconvénient d'un suiveur solaire :

II.7.7.1 Les avantages :

- Les traqueurs produisent plus d'électricité que leurs homologues fixes en raison de l'exposition directe accrue aux rayons solaires. Cette augmentation peut atteindre 10 à 25% en fonction de la localisation géographique du système de suivi.
- Il existe de nombreux types de suiveurs solaires, tels que les suivis à un axe et à deux axes, qui peuvent tous convenir parfaitement à un chantier unique.
- Les suiveurs solaires génèrent plus d'électricité dans à peu près le même espace que celui requis pour les systèmes à inclinaison fixe, ce qui en fait l'outil idéal pour optimiser l'utilisation des sols.
- une plus grande quantité d'électricité pendant ces périodes de pointe de la journée. L'utilisation d'un système de suivi permet de maximiser les gains d'énergie pendant ces périodes de pointe.
- Les progrès de la technologie et de la fiabilité des composants électroniques et mécaniques ont considérablement réduit les problèmes de maintenance à long terme des systèmes de suivi. [27].

II.7.7.2 Les inconvénients :

- Les suiveurs solaires sont légèrement plus chers que leurs homologues fixes.
- la maintenance nécessite généralement plus de maintenance qu'un rack fixe traditionnel.
- Les trackers sont un système plus complexe que le racking fixe. Cela signifie généralement que davantage de préparation du site est nécessaire.
- En ce qui concerne le financement de projets, ces systèmes sont plus complexes et sont donc considérés comme présentant un risque plus élevé du point de vue d'un financier.
- Le rayonnement fixe s'adapte plus facilement aux conditions environnementales difficiles que les systèmes de suivi. [27].

II.8 conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons essayé de donner des notions générales sur les coordonnées solaires ainsi que les différents types de traqueurs qu'ils peuvent exister, l'efficacité de système est bien d'augmenter le flux de rayonnement solaire. à cet effet ; une comparaison entre les traqueurs a été faite vue de ces rendements d'absorption énergétique et pour mettre en évidence l'efficacité de système orienté par rapport à celui fixe, ainsi que on donne les nouvelle stratégie de commande d' traqueur.

Chapitre III

Conception et Réalisation d'un suiveur solaire

III.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous fabriquerons un suiveur de mouvement solaire automatique qui assurera une augmentation significative de l'efficacité de production des panneaux solaires. Ce chapitre est subdivisé en deux parties, la première partie présente les différents composants qui sont utilisés dans le projet, en justifiant si possible le choix. Avec la mention du programme utilisateur ARDUINO et une explication simple. La deuxième partie donne un aperçu du travail effectué. 63. [29]

III.2 Les principaux outils utilisés pour développer et mettre en œuvre le modèle :

III.2.1 Composants de base du prototype :

Les composants seront purement électroniques, et chaque composant se distinguera des autres en fonction de l'utilisation et du besoin dans le projet, ainsi que de la possibilité de sa disponibilité ou non.

III.2.1.1 Les Résistances :

Pour protéger l'entrée de la carte d'interface, deux résistances de 10 k Ω ont été utilisées [29]



Figure.III.1 Résistance d'une capacité 10 k Ω

III.2.1.2 La photorésistance (LDR) :

LDR : résistance dépendant de la lumière

L: Light

D: Dependent

R: Resistor

Chapitre III : Conception et Réalisation d'un suiveur solaire



Figure.III.2 LDR photorésistance

➤ Caractéristique :

La résistance sensible à la lumière est constituée d'un matériau semi-conducteur, car cette propriété permet un changement de conductivité avec une intensité différente de la lumière incidente sur la résistance.

Les utilisations de cette installation sont largement répandues dans les technologies de caméras et de jeux, ainsi que dans la fabrication de lampes et d'autres technologies et industries modernes [30].

Modèle	5516	5537
La tension maximale	150V	150V
Puissance maximale	90MW	90MW
Température de fonctionnement	-30-70C°	-30-70C°
Pic spectral	540NM	540NM
Résistance à la lumière	5-10K	20-50K
Résistance à l'obscurité	0.2M	5M
Valeur gamma	0.6	0.7
Temps de réponse	30MS	30MS

Tableau III.1 Caractéristique LDR

Justification de la sélection : facile et simple à utiliser, Disponibilité et faible coût.

III.2.1.3 La Carte Arduino uno :

- Arduino Uno : " Le mot Uno est: le numéro 1 de la langue italienne, et c'est la première version de la carte Arduino". Il s'agit d'une carte microcontrôleur basée sur ATmega328P (fiche technique).

➤ Contient :

- 14 broches d'E / S numériques (dont 6 peuvent être utilisées comme sortie PWM).
- 6 entrées analogiques.
- Un résonateur céramique 16MHz (CSTCE16M0V53-R0).
- Connexion USB et une prise de courant.
- En-tête ICSP et bouton de réinitialisation.
- Pour l'utiliser, il vous suffit de le connecter à un ordinateur via un câble USB, de le faire fonctionner avec une batterie ou d'utiliser un adaptateur CA / CC. [30]

III.2.1.3.1 Les différentes Caractéristiques de la carte ARDUINO UNO :

- Tension d'alimentation interne = 5V.
- Courant max sur sortie 3,3V = 50mA.
- Entrées/sorties numériques : 14
- Mémoire Flash 32 KB dont 0.5 KB utilisée par le boot loader Mémoire SRAM 2 KB mémoire EEPROM 1 KB.
- Tension d'alimentation (recommandée)= 7 à 12V, limites =6 à 20 V.
- Dimensions = 68.6mm x 53.3mm
- L'interface USB /série.
- Fréquence horloge = 16 MHz
- Courant max par broches E/S = 40 mA.

III.2.1.3.2 Source d'énergie :

La puissance dont votre Arduino a besoin, qui est nécessaire pour le faire fonctionner, peut être fournie de deux manières, à savoir :

Nous le connectons à l'ordinateur via le port USB, puisque ce dernier fournit :

Fournit une alimentation de 5 V (l'énergie nécessaire pour le faire fonctionner).

Fournissez un canal de liaison entre l'Arduino et l'ordinateur pour la programmation.

La tension d'alimentation doit être comprise entre 7 et 12 volts DC (DC = courant continu). [31].

Chapitre III : Conception et Réalisation d'un suiveur solaire

➤ Entrées et sorties :

La carte Arduino contient :

- 14 entrées / sorties numériques dont 6 peuvent fournir une sortie pwm
- En plus de 6 entrées analogiques.

Ce dernier permet de mesurer différentes tensions entre 5 volts et 0 volts provenant des capteurs et à avers ces connexions le microcontrôleur est connecté au monde extérieur [31].

III.2.1.3.3 Le microcontrôleur dans l'arduino :

- ATMEGA 328T-PU : Il est considéré comme un petit processeur d'ordinateur, ou il peut être appelé un microcontrôleur, car il est connecté à une entrée et une sortie analogiques (tension variable) ou numériques (0 ou 1). Il peut exécuter un programme d'interprétation, de calcul ou de comparaison entre les entrées pour contrôler la sortie, et il a la particularité de sauvegarder des programmes.
- Ses caractéristiques :

 - FLASH = mémoire programme de 32Ko
 - SRAM = données (volatiles) 2Ko
 - EEPROM = données (non volatiles) 1Ko

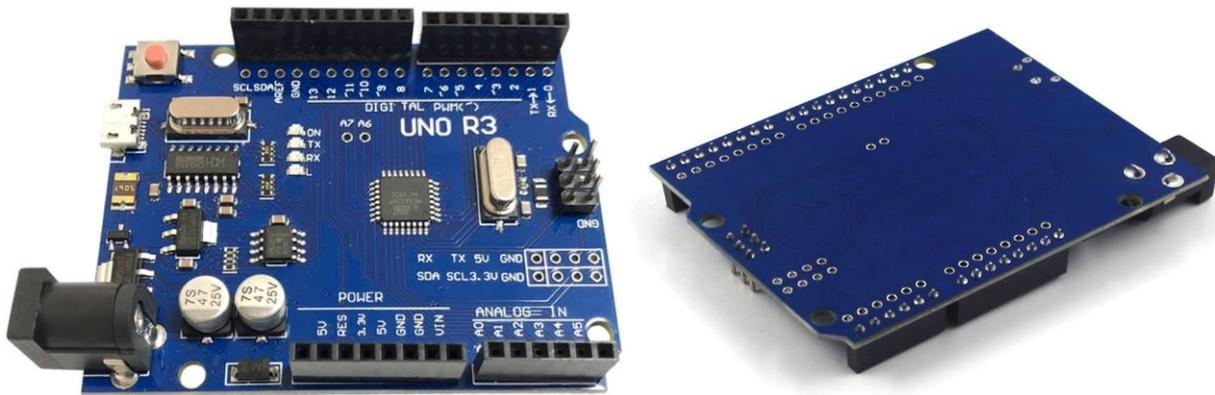


Figure.III.3 carte Arduino UNO

III.2.1.4 panneau solaire :

- Caractéristique

 - Il se compose principalement de silicium
 - Short-circuit current(ISC) : 0.62A poly cristallin (mentionné au chapitre 1)
 - Size : 350*295*17.5MM
 - Maximum power : 10w (36) le poids : 0.94 kg
 - Tolerance : 3% Cells36 Pcs,85*30 MM ,poly-crystalline silicon

Chapitre III : Conception et Réalisation d'un suiveur solaire

- Voltage at Pmax(Vmp) : 17.6 v
- Current at Pmax(Im_p) : 0.56 A
- Open-circuit voltage(VOC) : 21.1 v

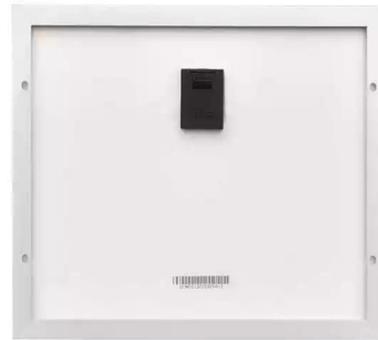


Figure.III.4 panneau solaire

III.2.1.5 L'émetteur de rotor :

MG996R - Servo numérique 15 Kg/cm

Référence : MG996R

État : Nouveau produit

Le MG996R est un servomoteur numérique robuste et dispose de pignons et roulements métalliques.

Il dispose d'un couple de 15Kg/cm et est très utilisé dans les domaines de la robotique, modélisme, domotique, et le prototypage.

- Caractéristiques techniques
 - Type : MG996R
 - Dimensions : 40.7*19.7*43mm
 - Poids : 55g
 - Pignons tout métal
 - Double roulement
 - Moteur corrélés
 - Vitesse: 0.17 sec/60° sous 4.8V - 0.13 sec/60° sous 6.0V
 - Couple: 15Kg/cm sous 6.0V, 13Kg/cm sous 4.8V
 - Tension: 4.8V - 6V
 - Prise type UNI – Grainer [32].



Figure.III.5 le moteur de rotor

III.2.1.6 Batterie (ultrafire) 18650 :

- Caractéristiques :
- Batterie Rechargeable avec circuit de protection de re/décharge.
- Fonctionnement peu récurrent ciste, protection contre les court-circuit et les surintensités.
- Sûr et respectueux de l'environnement.
- Parfait pour lampe de poche ou gadgets électroniques.
- Conserver dans un endroit sec et frais.
- Spécifications:
- Modèle: 18650
- Capacité: 7800mah
- Tension: 3.7V
- Chimie: Li-ion
- Couleur: rouge
- Taille: 65mm (longueur) x 17mm(Dia.) [33].



Figure.III.6 batterie 18650

III.2.1.7 Capteur de courant ina219 :

- Descriptif :
- L'INA219 est un circuit permettant de mesurer simplement la puissance consommée par un appareil mais on peut également l'utiliser pour mesurer la puissance délivrée par un panneau solaire ou une batterie Lio (ou un autre type de batterie). L'INA 219 permet de mesurer un courant continu jusqu'à 26V / 3.2A. Il est équipé d'un bus I2C ce qui permet de récupérer très facilement les mesures à l'aide d'un MCU (Arduino, ESP8266, ESP32) ou d'un mini PC Rosebery Pi.
- Caractéristiques :
- Capteur de courant basé sur le circuit INA219 permettant de mesurer un courant continu jusqu'à 3,2 A avec une résolution de 0,8 mA (jusqu'à 26 Vcc).
- Il communique avec un microcontrôleur Arduino ou compatible via le bus I2C et est équipé d'un shunt de 0,1 Ω (chute de tension de 320 mV pour 3,2 A).
- L'utilisation de ce module nécessite la soudure d'un connecteur inclus et d'un bornier inclus en fonction de l'utilisation.
- Alimentation: 5 Vcc
- Plage de mesure: jusqu'à 3,2 Acc
- Résolution: 0,8 mA
- Précision: $\pm 1 \%$
- Shunt: 0,1 Ω 1 % 2 W
- Dimensions: 26 x 22 x 13 mm [34].



Figure.III.7 capteur de courant ina219

III.2.1.8 Ecran d'affichage :

➤ Caractéristiques du Module:

- Résolution : 128x64
- Angle de vision super large: plus de 160 ° (l'angle de vision maximum affiche un écran)
- Consommation d'énergie ultra-faible: affichage normal 0.08W (bien en dessous de l'affichage TFT)
- Large plage d'alimentation: DC 3V-5V (sans aucun changement, directement compatible avec le système d'alimentation commun 3.3V et 5V)
- Qualité industrielle: plage de température de fonctionnement -30 degrés ~ 70 degrés
- La taille ultra-petite: (longueur) 35.4MM * (l) 33.5MM * (épaisseur) 4.3MM
- Prise en charge de plusieurs modes de fonctionnement: SPI à 3 fils, SPI à 4 fils, IIC
- Avec le signal CS de sélection de puce, vous pouvez réaliser plusieurs dispositifs SPI ou IIC sur le même travail de bus
- Compatible avec le niveau d'e/s de puce de contrôle de 3.3V et de 5V (sans aucun ensemble, directement compatible)

Chapitre III : Conception et Réalisation d'un suiveur solaire

- Ecran OLED, puce d'entraînement interne: SH1106 (fonctionnement et SSD1306 identiques) [36].

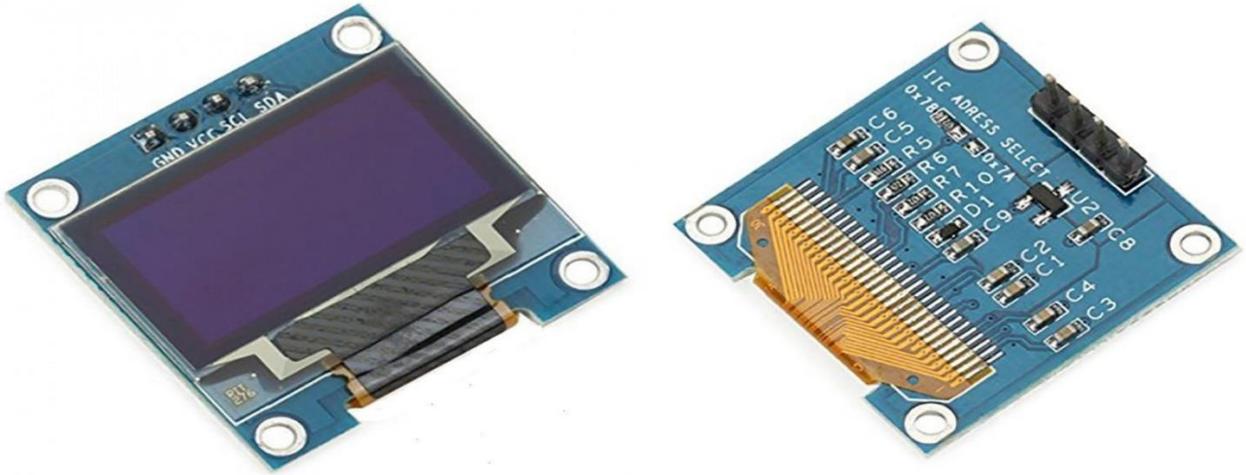


Figure.III.8 écran

III.2.1.9 Module de banque d'alimentation :

➤ Caractéristiques :

La carte mère est livrée avec une fonction de protection: protection contre la surcharge de charge,

Protection contre les surcharges, protection contre les surintensités.

Dispositif de sortie Intelligent après la charge complète, arrête automatiquement la charge, Pour éviter la surcharge des téléphones portables.

Tension de sortie et courant stables, n'endommageront pas les appareils utilisateur.

➤ Spécifications :

- Entrée Micro USB: 5V 1A
- Sortie USB: 5V 2,1a/5V 1A (double interface USB)
- Affichage de charge: affichage numérique intelligent
- Type de piles: piles au lithium-ion liquide (18650)
- Taille du produit: 57mm x 28mm
- Taille de l'écran: 28mm x 14mm [35].

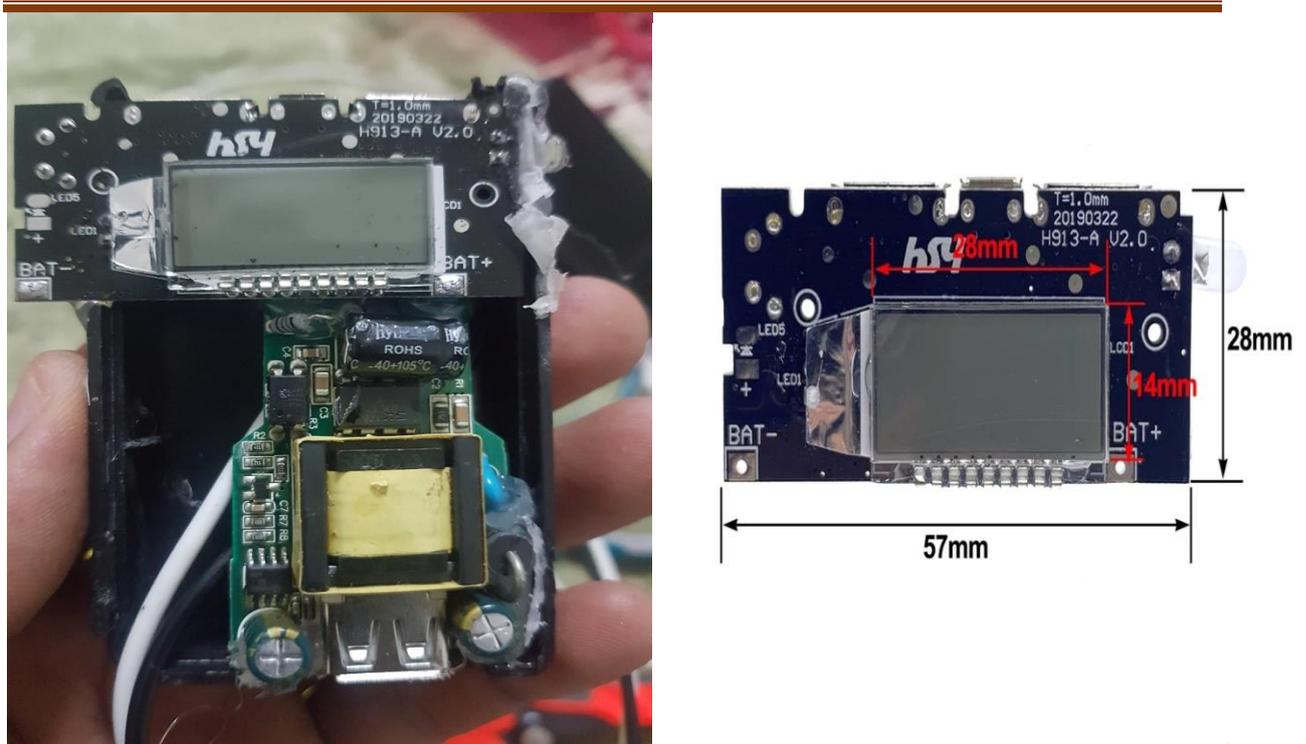


Figure.III.9 Module de banque

III.3 réalisation :

Nous allons faire fonctionner le traqueur solaire avec la carte Arduino qui a besoin de 5 volts pour fonctionner Nous le fournirons via un port USB PC.

III.3.1 Les étapes de la réalisation :

Pour réaliser notre projet, nous suivons les étapes suivantes :

- Raccordement LDR avec l'arduino :

Le premier étape raccordement les photon résistance (LDR) et les résistances en plaque d'essai avec l'arduino comme le montre de la figure III.9

Chapitre III : Conception et Réalisation d'un suiveur solaire

- Dans la troisième étape nous avons raccordez capteur de courant ina219, écran oled 0.96 inch et panneau solaire avec Arduino :

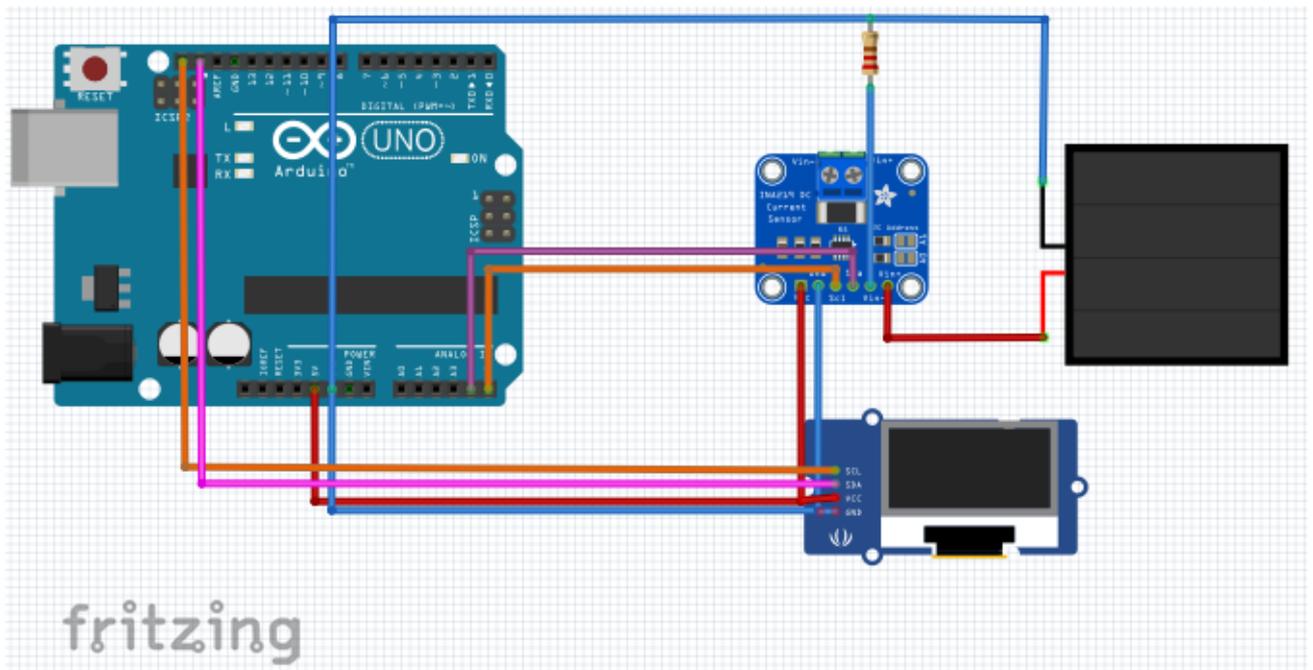


Figure.III.12 Schéma de simulation d'un panneau solaire

- Le bronchement real de notre prototype suiveur solaire :



Figure.III.13 Le montage real de poursuiveur solaire

Chapitre III : Conception et Réalisation d'un suiveur solaire

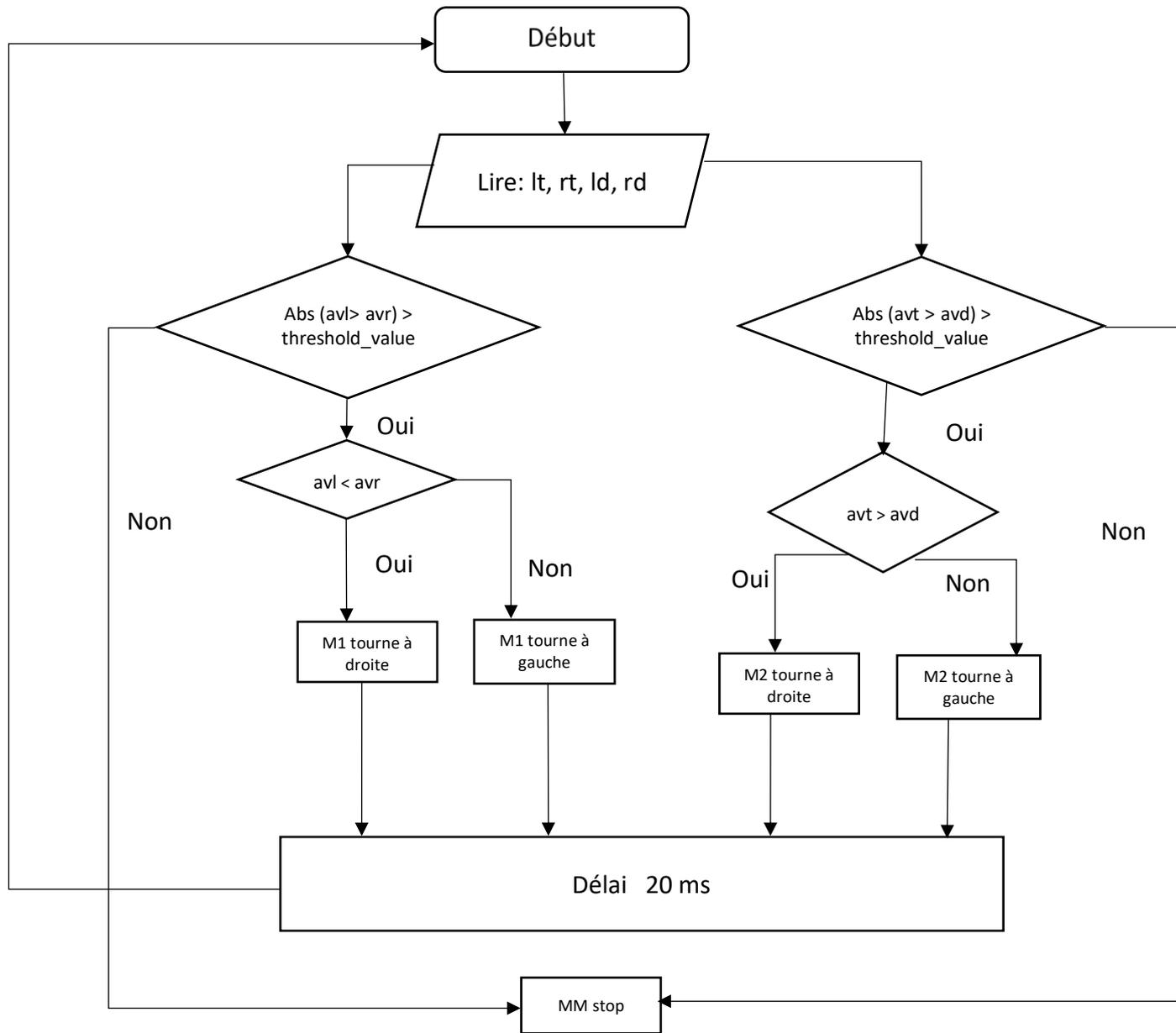
- Extraits photos du test du tracker solaire de 7h à 17h :



Figure.III.14 Expérience de traqueur solaire

Chapitre III : Conception et Réalisation d'un suiveur solaire

➤ Organigramme :



Chapitre III : Conception et Réalisation d'un suiveur solaire

III.4 Enregistrer et évaluer les résultats :

Les premier et deuxième tableaux montrent les mesures réelles prises à partir de notre prototype après deux jours suivant les tests, les premiers tableaux représentent les mesures dans le cas du panneau solaire en mouvement et la présence du traqueur solaire, et le deuxième tableau les mesures dans le cas du panneau solaire fixe du lever au coucher du soleil. Ensuite, une comparaison de ces mesures suit

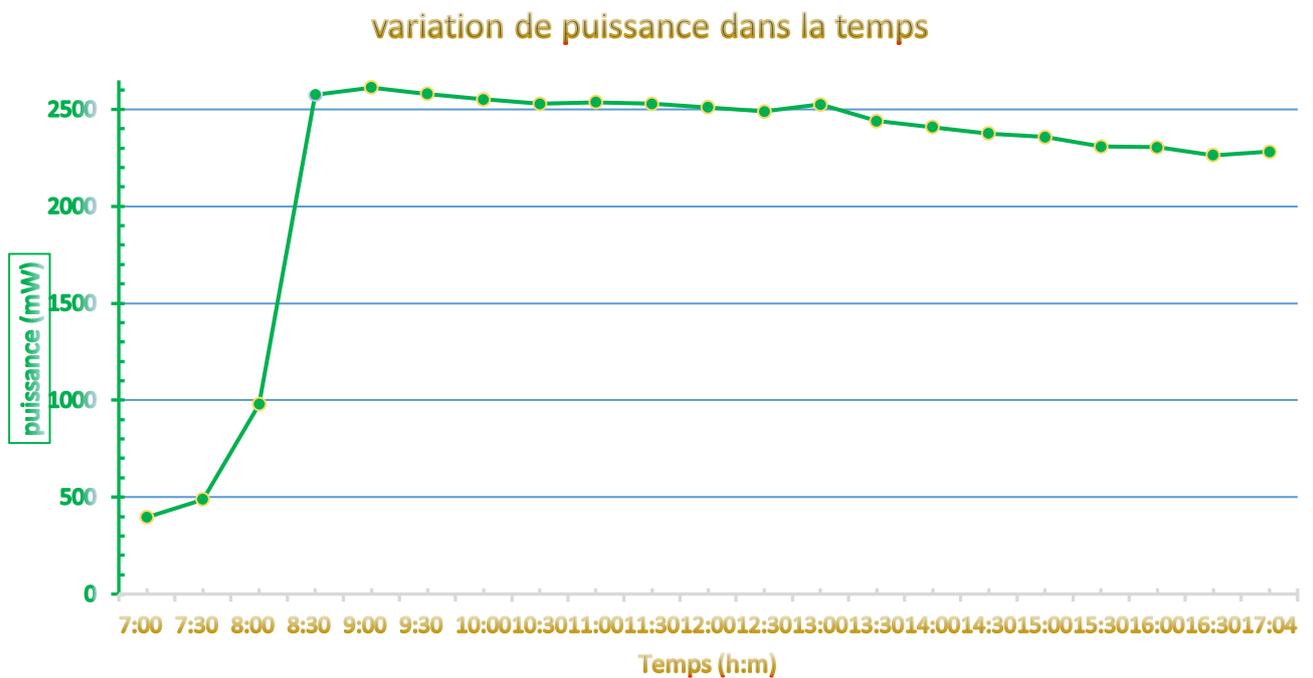
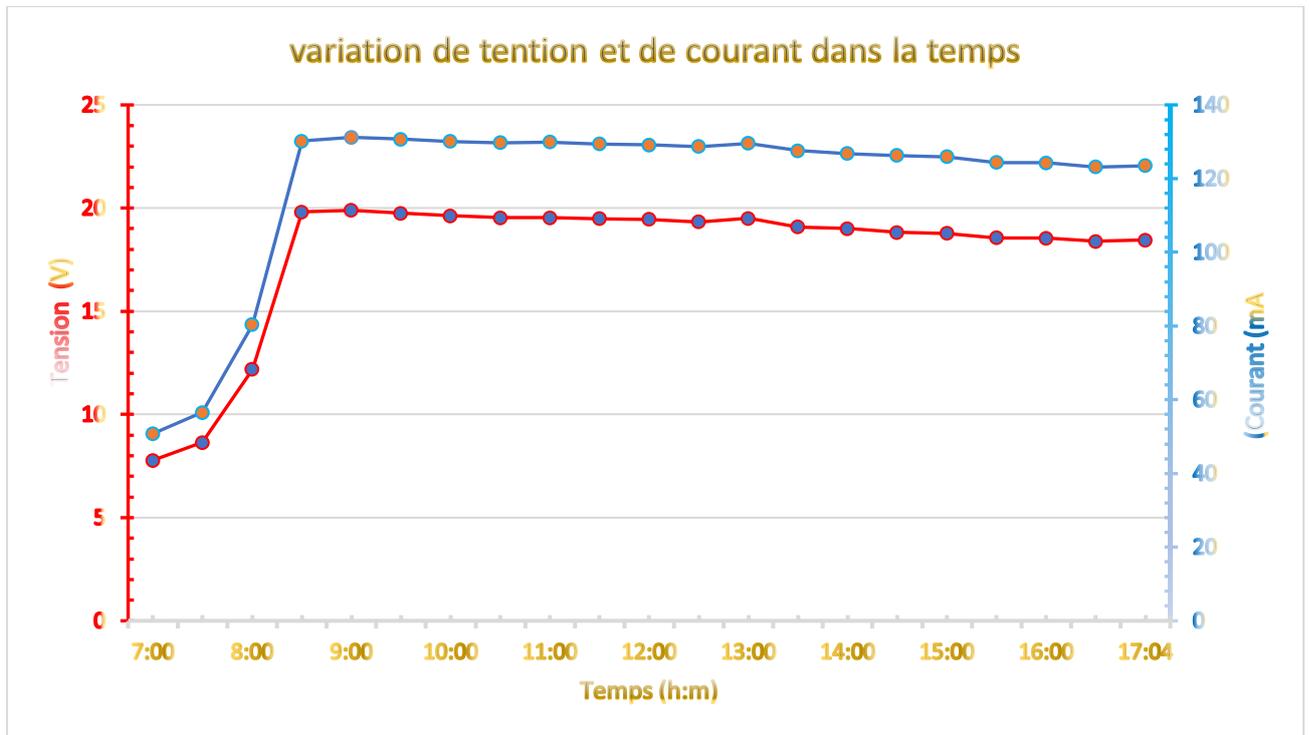
III.4.1 La première journée : (03/09/2021)

Temps (h:m)	Tension (V)	Courant (mA)	Puissance (mW)
07:00	7.78	50.80	396.00
07:30	8.64	56.52	488.80
08:00	12.19	80.32	979.20
08:30	19.81	130.20	2576.80
09:00	19.89	131.20	2612.0
09:30	19.75	130.72	2579.20
10:00	19.62	130.12	2552.00
10:30	19.53	129.72	2528.80
11:00	19.54	129.92	2537.60
11:30	19.49	129.40	2528.80
12:00	19.46	129.12	2510.40
12:30	19.33	128.72	2488.80
13:00	19.50	129.60	2525.60
13:30	19.09	127.60	2439.20
14:00	19.00	126.80	2408.00
14:30	18.82	126.32	2376.00
15:00	18.77	125.92	2356.80
15:30	18.56	124.40	2307.20
16:00	18.54	124.32	2304.00
16:30	18.39	123.12	2264.00
17:04	18.45	123.52	2282.40

Tableau III.1 les mesures réelles pour le premier jour avec le suiveur

Chapitre III : Conception et Réalisation d'un suiveur solaire

➤ Résultats Expérimentales de la première journée : (03/09/2021)



Chapitre III : Conception et Réalisation d'un suiveur solaire

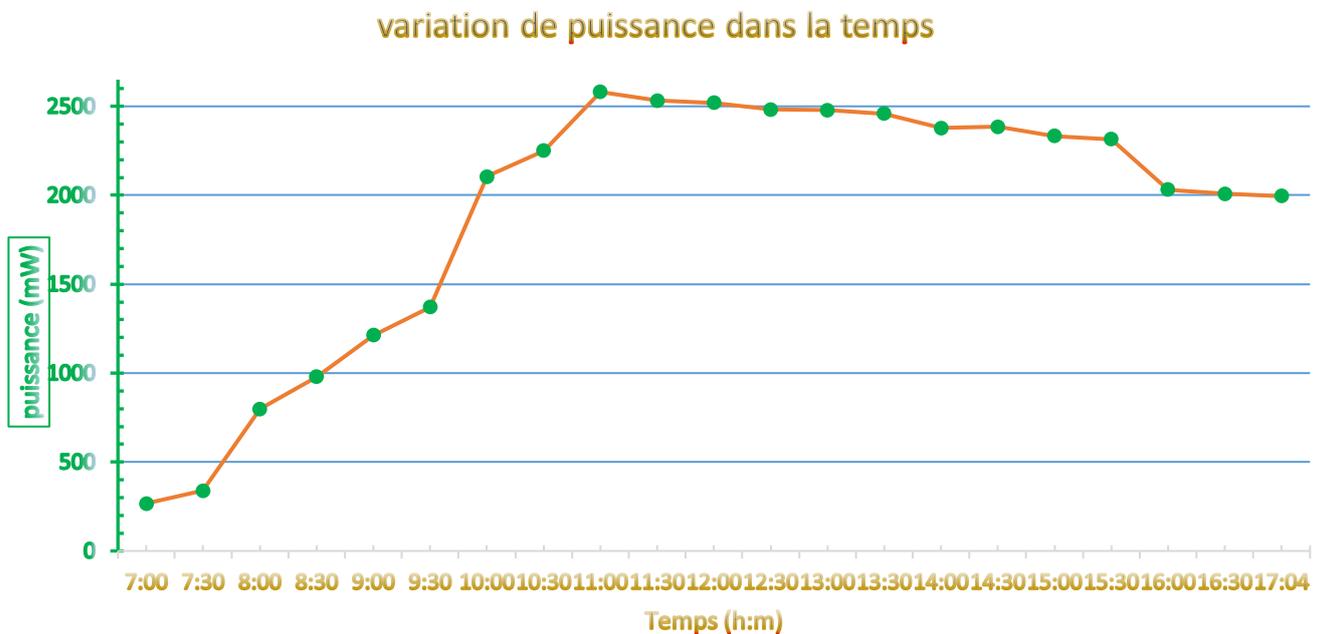
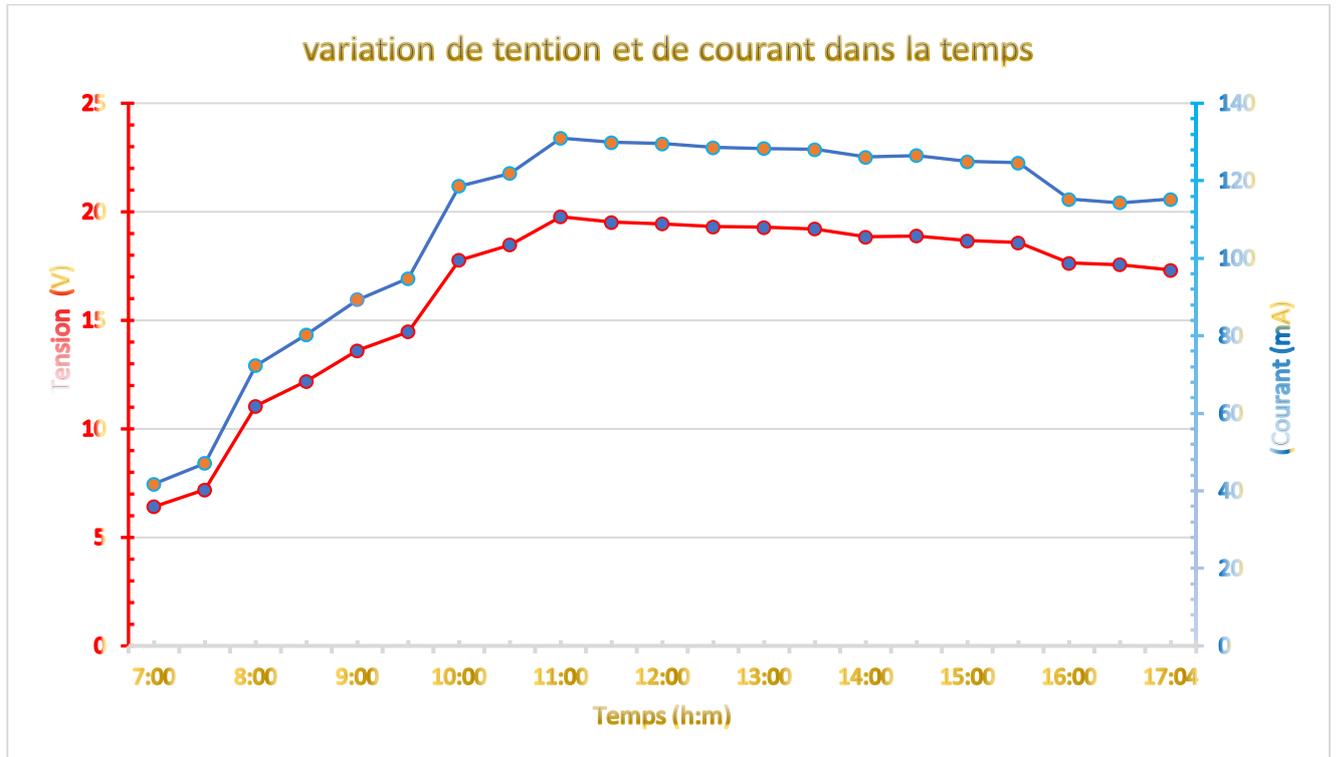
III.4.2 Deuxième journée : (04/09/2021)

Temps (h:m)	Tension	Courant (mA)	Puissance (mW)
07:00	6.41	41.80	267.20
07:30	7.20	47.12	338.40
08:00	11,04	72,32	798,4
08:30	12.19	80.32	979.20
09:00	13.60	89.32	1213.60
09:30	14.47	94.80	1371.20
10:00	17.77	118.60	2104.00
10:30	18.47	121.92	2250.40
11:00	19.77	131.00	2582.40
11:30	19.52	129.92	2532.00
12:00	19.45	129.60	2519.20
12:30	19.32	128.60	2482.40
13:00	19.29	128.32	2477.60
13:30	19.21	128.12	2459.20
14:00	18.84	126.12	2377.60
14:30	18.88	126.52	2385.60
15:00	18.67	125.00	2332.00
15:30	18.58	124.60	2314.40
16:00	17.63	115.20	2031.00
16:30	17.56	114.32	2007.60
17:04	17.32	115.20	1995.40

Tableau III. 2 les mesures réelles pour le deuxième jour avec le panneaux fixe

Chapitre III : Conception et Réalisation d'un suiveur solaire

➤ Résultats Expérimentales de la deuxième journée : (04/09/2021)



Chapitre III : Conception et Réalisation d'un suiveur solaire

III.4.2 Discussions :

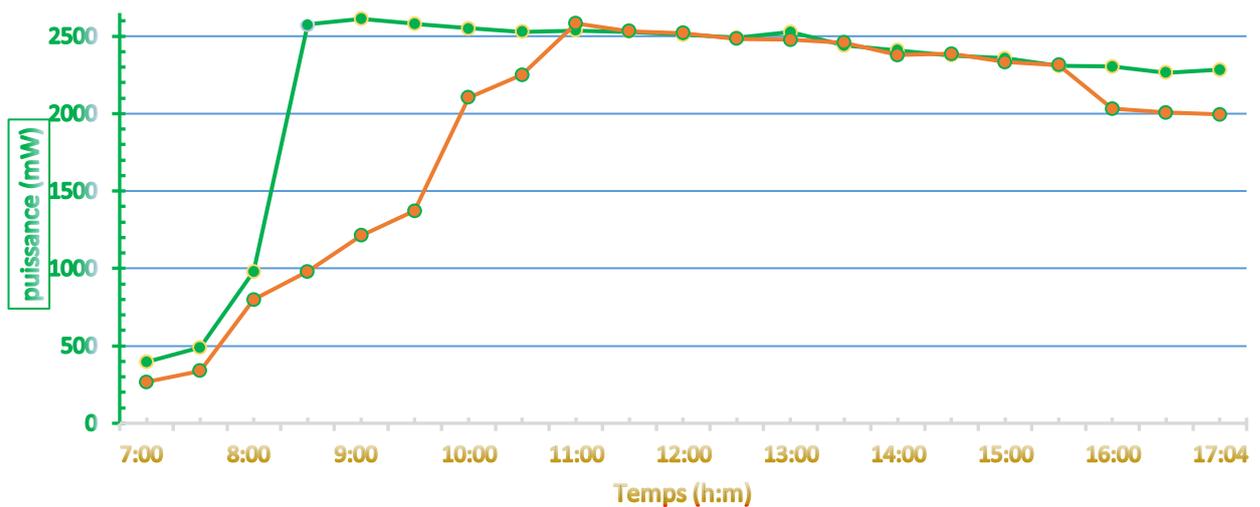
➤ La première journée : (03/09/2021)

Nous enregistrons également que le courant, la tension et la puissance ont augmenté pendant les premières heures de la journée pour atteindre leurs taux de pointe à 9h00, où leur valeur par rapport au courant était de 0.1312 A et la tension de 19.89 V. Quant à la puissance, ses valeurs étaient très proches, et cela grâce au suivi solaire et c'était le pic de la productivité énergétique en À 9h00, il atteint 2.612 watts.

➤ Deuxième journée : (03/09/2021)

En ce qui concerne le courant et la tension, ainsi que la puissance, on remarque sa hauteur pour atteindre son degré maximum à 11h00, où le courant atteignait 0.131A pour le courant, la tension atteignait 19.77 v et la capacité était de 108 W. Ensuite, nous avons enregistré une forte baisse pour chacun d'entre eux, cela est dû à l'installation du panneau solaire et à l'absence de traquer solaire.

la différence entre la puissance du tracker et la constante par rapport au temps



Les résultats dans les deux tableaux et le graphique ci-dessus montrent que le système de suivi est plus efficace que le panneau stationnaire en milieu de journée, et plus précisément à 9h00, car la productivité énergétique atteint son maximum et diminue progressivement jusqu'au coucher du soleil. après ce test Et j'ai remarqué qu'il y a une proportion directe entre les valeurs tension, le courant et la puissance due à une charge constante, qui est une résistance de 150 ohms et 20 w. Nous avons également noté qu'il n'y a pas de différences significatives de débit entre les heures de clarté, en raison de la fonction de suivi solaire. Ce dernier travaille pour suivre le soleil du lever au coucher du soleil. Nous concluons également que la fiabilité de la quantité produite par le traqueur pour les cellules solaires est meilleure et plus fiable que si les cellules sont fixes.

Chapitre III : Conception et Réalisation d'un suiveur solaire

III.4.3 Mesure du gain en puissance :

On définit le gain en puissance G_{ptotal} sur une journée de mesure comme étant le rapport entre la différence des puissances délivrées par les deux panneaux P_{pm} et P_{pf} sur la puissance P_{er} délivrée par le panneau fixe:

$$G_{\text{ptotal}} = (P_{\text{pm}} - P_{\text{pf}}) / P_{\text{pf}}$$

G_{ptotal} : le gain journalier en puissance

P_{pm} : puissance délivrée par le panneau mobil = $I_{\text{pm}} * V$

P_{pf} : puissance délivrée par le panneau fixe = $I_{\text{pf}} * V$

I_{pm} Et I_{pf} les courants délivrés par les panneaux mobile et fixe

$V = 18V$ cst

$$G_{\text{ptotal}} = (P_{\text{pm}} - P_{\text{pf}}) / P_{\text{pf}} = (I_{\text{pm}} * V - I_{\text{pf}} * V) / I_{\text{pf}} * V = (I_{\text{pm}} - I_{\text{pf}}) / I_{\text{pf}}$$

Pour déterminer ce gain , nous effectuons les calculs suivants

$$\begin{aligned} S_1 = & ((300+350)*0.5)/2 + ((350+800)*0.5)/2 + ((800+1400)*1.5)/2 \\ & + ((1400+2100)*0.5)/2 + ((2100+2300)*0.5)/2 + ((2300+2600)*0.5)/2 \\ & + ((2600+2500)*0.5)/2 + (2500*2) + ((2500+2400)*0.5)/2 + (2400*0.5) \\ & + ((2400+2300*1)/2 + ((2300+200)*0.5)/2 + (2000*1)) = 22925 \end{aligned}$$

$S_1 =$ 22925

$$\begin{aligned} S_2 = & ((400+500)*0.5)/2 + ((500+1000)*0.5)/2 + ((1000+2600)*1.5)/2 + (2600*1) \\ & + ((2600+2500)*1)/2 + ((2500+2400)*0.5)/2 + ((2400+2300)*1)/2 \\ & + ((2300+2250)*1)/2 + (2250*0.5) = 17322.5 \end{aligned}$$

$S_2 =$ 17322.5

$G_{\text{ptotal}} =$ 0.3234=32.43%
--

➤ Remarque :

On a voulu estimer l'ordre de grandeur du gain en journalier en puissance du système suiveur par rapport à l'installation fixe pour ce faire : Nous avons réalisé un suiveur deux axes commande par une carte Arduino Nano Nous avons étudié et réalise notre programme sur Arduino

III.5 Conclusion :

À travers ce chapitre, nous avons présenté les différents appareils, fournitures et outils utilisés pour construire notre prototype, ainsi que comment programmer et contrôler le moteur MG996R via une carte arduino. Nous sommes passés par trois étapes :

Connecter les résistances optiques à la carte arduino, connecter l'arduino au servomoteur (MG996R) et Module de banque et enfin connecter chacun des capteur courant (ina219) et oled 0.96 inch avec la carte arduino, ainsi notre construction de prototype est terminée.

Après avoir traversé les étapes de développement et son expérience, le modèle a réussi et suivi jusqu'au soleil.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Ce projet de fin d'étude nous est un grand bénéfice à plusieurs égards, car il nous a permis d'enrichir et d'améliorer nos connaissances dans le domaine des énergies renouvelables, notamment l'énergie solaire car il a une faible réputation et en utilise une petite partie dans notre vie quotidienne comme énergie alternative, mais grâce aux études, la recherche et l'ingéniosité de l'homme a tenté de trouver une solution économique. Il est très efficace et augmente avec le temps, de sorte qu'il garantit l'augmentation de l'énergie électrique plus qu'il n'a été produit à partir du rayonnement solaire, qui est connu sous le nom de traqueur solaire ou ce que l'on appelle (TRAQUEUR SOLAIRE), une nouvelle invention qui suit le soleil de sa luminosité à son ouest, ce que c'est comme un disque de tournesols, il est important de collecter la plus grande quantité de énergie. Pour les modules PV à condensateur, où les rayons solaires doivent être constamment perpendiculaires au panneau, un système de suivi solaire est nécessaire.

L'objectif de notre travail était de développer une technologie active pour suivre la trajectoire du soleil tout au long de l'année, et à travers notre étude, nous avons fait dans la première partie de ce travail consistant en une synthèse bibliographique sur les énergies renouvelables basée sur l'énergie solaire photovoltaïque, diverses technologies de cellules solaires et le principe de fonctionnement. Dans la deuxième partie de ce travail Le travail Nous avons essayé de donner des concepts généraux sur les coordonnées célestes et une étude générale du traqueur solaire et de ses différents types, où nous utilisons généralement la position du rayonnement à travers les coordonnées horizontales qui dirigent le panneau solaire vers l'azimut et l'élévation pour produire le maximum d'énergie et nous avons présenté les différents types et la différence entre l'installation fixe et l'installation avec un traqueur. Dans la troisième partie, nous créerons un suivi automatique du mouvement de l'énergie solaire à l'aide du programme ARDUINO et l'expliquerons avec un aperçu du travail accompli. Le dernier chapitre nous avons entré les résultats de l'expérience réelle et l'avons simulée dans le programme Exel, où les résultats de la simulation nous ont montré qu'ils sont proches de leur compatibilité avec les résultats expérimentaux.

Bibliographique

Bibliographique :

- [1] : site internet : <http://www.thermique55.com/principal/thermiquesolaire.pdf>
- [2] : A. Gama et all « Etude et réalisation d'un concentrateur cylindro-parabolique avec poursuite solaire aveugle, Revue des énergies renouvelables » Vol 11, N°3, page 437-451, septembre 2008.
- [3] : <https://www.kelwatt.fr/energie.php>
- [4] : <http://dictionnaire.sensagent.leparisien.fr/Rayonnement%20solaire/fr-fr/>
- [5] Belkbir.K et chaabi siham, 2017, « conception et réalisation d'un suiveur de soleil à basz d'une carte Arduino UNO », mémoire de Master, université Mammeri de TiziOuzou, P5
- [6] : Arafakaddouri, « Conception et réalisation d'un suiveur solaire à deux axes'' Mémoire de Projet de fin d'étude » Ingénieur d'Etat, Université Sidi Mohamed Ben Abdallah, 2015.
- [7] : Mme Samira, Mouhous-Chaouchi, « Etude statistique du rayonnement solairesur un plan incliné » Mémoire de Magister, l'université aboubekrbelkaid- tlemcen 2012
- [8] : <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/energie-renouvelable-energie-solaire-photovoltaique-4461/>
- [9] : www.photovoltaique.info
- [10] : <https://www.ef4.be/fr/pv/composants-dun-systeme/effet-photovoltaque.html>
- [11] : Necir.A et Bouchaal.A, 2018, « conception et réalidation d'un suiveur du soleil commandé par une Carte Arduino », Mémoire deMastr 2, université d'El-Oued, P 16- 17.
- [12] Axenne, Ernst, ETUDE DU DEVELOPPEMENT DE L'ENERGIE SOLAIRE EN RHONE-ALPES, 2010, Nombre de page 23.
- [13] : BENKHELIFA Abdelaziz ; « modélisation et expérimentation d'un capteur solaire plan à eau Influence de l'intensité de l'éclairement solaire et de l'inclinaison du capteur solaire sur le rendement du capteur » ; Mémoire de MASTER, univ-ourgla, 2012.
- [14] : <http://www.sundous.com/Energie.html>
- [15] : <https://en.calameo.com/read/004226489b32849fdb77>
- [16] : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Soleil>
- [17] Yves Jannot. Thermique solaire. Paris (2007).
- [18] HADJ BELKACEMI Mohammed, « Modélisation et Etude Expérimentation d'un Capteur Solaire non Vitré et Perforé », Mémoire de Master, Université Abou BekrBelkaid de Tlemcen, 2011
- [20] Khalfallaoui, S., « Comportement dynamique et automatisation d'un système solaire thermique muni d'un traqueur solaire » (Doctoral dissertation, Rouen), 2009.
- [21] Abu-Khadera, M. M., Badranb, O. O., et Abdallah, S., « Evaluating multi-axes sun-tracking system at different modes of operation in Jordan », Renewable and Sustainable Energy Re-views, 12 (2008), pp. 864–873.
- [22] : B.RABEH et D. AYOUB « Conception et Réalisation d'un Suiveur Solaire Bi-axial à Base De capteurs de lumière » -mémoire Master professionnel – Université Kasdi Merbah –électronique-Ouargla 2015/2016.
- [23] : https://dl.ummt0.dz/bitstream/handle/ummt0/6603/BelkebirKatia_ChaabiSiham
- [24] Henda BEN JAFFEL et Amira RIAHI ,Etude de conception et de réalisation d'un suiveur de soleil, Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Siliana,2009.
- [25] <https://www.ef4.be/fr/pv/composants-dun-systeme/orientation-structure.html>
-

-
- [26] <http://www.facq.be/fr/new/panneux-fixes-orientable-ou-mobilles-des-panneaux-solairepour-tous-les-toits> 28-04-2016
- [27] <https://www.memoireonline.com/03/20/11730/Tracker-solaire-a-deux-axes.html>
- [28] MohanadAlata , M.A. Al-Nimr, YousefQaroush 'Developing a multipurpose sun trackingsystem using fuzzy control'/ juin 2004.
- [29] MohanadAlata , M.A. Al-Nimr, YousefQaroush 'Developing a multipurpose sun trackingsystem using fuzzy control'/ juin 2004.
- [30] Brahmi rida et Souiouabderraouf mémoire fin étude Réalisation d'un suiveur solaire à base de PIC
- [31] <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>
- [32] https://l.facebook.com/l.php?u=https%3A%2F%2Fwww.eagle-robotics.com%2Fservomoteurs%2F30-mg996r-servo-numerique-15-kgcm-0300201370309.html%3Ffbclid%3DIwAR31GUjbyxcODLkiZuLc1xgEqnmetJfhcyzVTGUQfKkdGfg095x2IJWWBNg&h=AT1P0oIzWctuejwjzAMt6XsWhRWzDePq9a0bale7BAzSoDTFtvKUzICOotGkK99g5_M4gfJ57SkTZOejKakjwuWsZeLpFMtJqLIUcvwfU8OjSILwJpdjc-0XF1S-k4wn5qhJOA
- [33] https://l.facebook.com/l.php?u=https%3A%2F%2Fa.aliexpress.com%2F_msKWha7%3Ffbclid%3DIwAR14QrKVlzfdsObBT8Fsv3Zsm4uYRIWzEhcUgk7wldvQvuqTiZHz5qRttCQ&h=AT0t-N5klfOIIYpLDYvv_eZOM8T1ioDJ_UONu-oLr_ZVOUu5Ud5zW33RZt3yy8hedGUxUtg7dLeS_IAs-Zy6QA-D9w9OhzQzKXcrt_ellSQP3PN20VwPNKpD6dwmq52jGgZJ
- [34] https://l.facebook.com/l.php?u=http%3A%2F%2Fa2itronic.ma%2Fproduct%2Fina219-capteur-de-courant%2F%3Ffbclid%3DIwAR0hxM9AttXSBypmqEqy6gHjIFQGcELER9vUi1yL77YTpCnk6xxlNB5a6M&h=AT1P0oIzWctuejwjzAMt6XsWhRWzDePq9a0bale7BAzSoDTFtvKUzICOotGkK99g5_M4gfJ57SkTZOejKakjwuWsZeLpFMtJqLIUcvwfU8OjSILwJpdjc-0XF1S-k4wn5qhJOA
- [35] https://l.facebook.com/l.php?u=https%3A%2F%2Fa.aliexpress.com%2F_m0m1Rqb%3Ffbclid%3DIwAR2bqcwahzv2PGzXQgsm6zcvXuxNtYrTdxq26rMtZsVwP_74pG9e08mDL3c&h=AT1P0oIzWctuejwjzAMt6XsWhRWzDePq9a0bale7BAzSoDTFtvKUzICOotGkK99g5_M4gfJ57SkTZOejKakjwuWsZeLpFMtJqLIUcvwfU8OjSILwJpdjc-0XF1S-k4wn5qhJOA
- [36] https://l.facebook.com/l.php?u=https%3A%2F%2Fa.aliexpress.com%2F_mtfBTqE%3Ffbclid%3DIwAR1rCSU9flwc31Dxbqb0xgLIVM3qBuv0gK-L8f_JYCX4PNQku4VJaAjMq90&h=AT1zTTY_zYe8DSxLSAebYQxcWVUeINQZrMI5Hlvq4ZgZPfDctn7FyAq93BesyORvYGR6ewUhpSe5lQnmd0C7G7mQrBrdhoXDksNXZ43r_g2jQkeg4iun05Yk6hkXrR3hY0Husw

Annexe

➤ Programme arduino pour contrôle le suiveur solaire :

- Déclaration d'éléments :

1)le servomoteur (vertical horizontal)

```
#include<Servo.h>
// 180 horizontal MAX
Servo horizontal; // horizontal servo
Servo vertical; // vertical servo
int servoh = 90; // 90; // stand horizontal servo
int servohLimitHigh = 180;
int servohLimitLow = 0;
// 65 degrees MAX
int servov = 45; // 90; // stand vertical servo
int servovLimitHigh = 180;
int servovLimitLow = 0;
```

2)les quatre LDR

```
int dtime = 10; int tol = 50;
int lt = analogRead(0); // down left
int rt = analogRead(1); // down right
int ld = analogRead(2); // top left
int rd = analogRead(3); // top right
```

- Configuration et réinitialisation d'éléments :

1)le servomoteur (vertical horizontal)

```
// put your setup code here, to run once:
horizontal.attach(9);
vertical.attach(10);
horizontal.write(90);
vertical.write(45);
delay(3000);
```

- Commencer à boucler le programme :

```
void loop() {
```

1)calculer la moyenne entre les LDRs

```
int avt = (lt + rt) / 2; // average value top
int avd = (ld + rd) / 2; // average value down
int avl = (lt + ld) / 2; // average value left
int avr = (rt + rd) / 2; // average value right
```

2) faire la différence

```
int dvert = avt - avd; // check the diffirence of up and down
int dhoriz = avl - avr;
```

- Conclusion:

Maintenant et après avoir tout connecté, l'Arduino est prêt a recevoir les données de la carte de capteur LDR, à comparer les valeurs et a prendre des mesures pour déplacer le panneau photovoltaïque pointant vers le soleil.

