

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المركز الجامعي لعين تموشنت
Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent
Institut de Technologie
Département de Génie Electrique



Projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme de Master en :
Domaine : SCIENCE ET TECHNOLOGIE
Filière : ELECTRONIQUE
Spécialité : INSTRUMENTATION ELECTRONIQUE

Thème

*Conception et réalisation d'un
panneau solaire à base d'Arduino*

Présenté Par :

- 1) MEKKI WALID BADR-EDDINE
- 2) MOHAMMED BELHADJ ABDELKADER WELID

Devant le jury composé de :

Mme SEKKAL .M	M.C.B	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Présidente
Mr BENGANA .A	M.C.B	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Encadrant
Mr BENOSMAN.M	M.C.B	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Examineur

Année universitaire 2018/2019

Avant propos

A DIEU notre créateur nous exprimons notre profonde reconnaissance et notre gratitude

Nous tenons aussi à exprimer notre gratitude à notre encadrent Mr « BENGANA.A»

Nous remercions par ailleurs vivement les membres du jury de nous avoir fait l'honneur de juger notre travail et d'assister à notre soutenance.

Enfin, nous remercions tous nos amis et tous ceux qui de près ou de loin nous ont toujours soutenu dans cette aventure.

Dédicace

Je dédie mon travail à :

Mon père

Ma mère

Mes frères et sœur

Mes chères amies

A TOUTES LES PERSONNES QUE J'AIME, QUE JE RESPECTE

Mekki Walid Badr eddine

*Avant tout, je tiens à remercier dieu, l'unique qui m'a offert le
courage et la volonté nécessaire pour affronter les différentes
difficultés de la vie,
Je dédie ce modeste travail*

*A mes très chers parents MOHAMMED BELHADJ FATEH et
BOUHAMIDI ASIA,*

Pour leurs sacrifices, leur amour, leur prières et leur soutien.

A mon frère Akram et ma sœur Ikram

A tous mes amis,

*Sans qui la vie me semblerait bien fade, je vous souhaite la
prospérité et le succès, et à tous ceux qui nous ont assisté dans la
réalisation et le bon déroulement de ce travail.*

Walid

Nomenclatures

PV	photovoltaïque.
CDER	centre de développement énergie renouvelable.
G	Le niveau d'insolation dans des conditions quelconques (W/m ²).
N_s	Nombre des cellules en série.
GPV	Générateur photovoltaïque.
V_{co}	la tension du circuit ouvert.
V_{op}	Tension optimale du panneau.
N_P	Nombre des cellules en parallèle.
I_{cc}	Le courant de court circuit.
R_s	La résistance série.
R_{sh}	La résistance shunt.
I_{sat}	Le courant de saturation.
K	La constante de Boltzmann (1,38110 ⁻²³ J/K).
T	La température effective des cellules en Kelvin(K).
e	La charge de l'électron (e=1,6 10 ⁻¹⁹ C).
n	Le facteur d'idéalité de la jonction (1 < n < 3).
IPV	Le courant fourni par la cellule lorsqu'elle fonctionne en générateur.
VPV	La tension aux bornes de cette même cellule.
I_{ph}	La photo -courant de la cellule dépendant de l'éclairement et de la température ou Bien courant de (court-circuit).
R_{shu}	La résistance shunt caractérisant les courants de fuite de la jonction.
R_{ser}	La résistance série représentant les diverses résistances de contacts et de Connexions.
I_d	Le courant qui traverse la diode.
FF	Facteur de forme.

<i>I_{opt}</i>	Courant optimal.
<i>P_{max}</i>	La puissance maximal.
<i>P_{inc}</i>	La puissance solaire incidente.
EV A	Ethylène vynil acétate.
α	L'angle d'incidence en (°).
RN	Le rendement en puissance solaire exploitée.

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1 : Photo Alexandre Edmond	03
Figure I.2 : photo trois chercheurs américains, Chapin , Pearson et Prin	04
Figure I.3 : premier satellite américain	04
Figure I.4 : des produits fonctionnant grace a l'énergie solaire.....	05
Figure I.5 : La carte de l'irradiation solaire en Algérie publiée par le CDER à l'occasion du solstice d'été.....	06
Figure I.6 : Composantes du rayonnement solaire	06
Figure I.7 : schéma de principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....	07
Figure I.8 : panneau monocristallins	07
Figure I.9 : panneau polycristallins	08
Figure I.10 : panneau amorphes.....	08
Figure I.11 : Caractéristiques résultantes d'un groupement de N_s cellules en série.....	09
Figure I.12 : Caractéristiques résultantes d'un groupement de N_p cellules en parallèle.....	10
Figure I.13 : Schéma électrique équivalent d'une cellule PV.....	11
Figure I.14 : Module photovoltaïque.....	13
Figure I.15 : Dépendance des performances d'un panneau PV de l'angle α	14
Figure I.16 : Rendement en puissance solaire exploitée en fonction de l'angle α des rayons Solaire...15	
Figure I.17 : Exemple de caractéristique courant-tension d'un module	15
Figure I.18 : La caractéristique $I=f(v)$ en fonction de l'éclairement.....	16
Figure I.19 : La caractéristique $P=f(v)$ en fonction de l'éclairement.....	16
Figure I.20 : La caractéristique de $I=f(V)$ en fonction de température.....	17
Figure I.21 : La caractéristique de $P= f(V)$ en fonction de température.....	17

Chapitre II

Figure II.1 : Les types de suiveurs solaires.	21
Figure II.2 : Suiveur passif	22
Figure II.3 : Suiveur solaire automatique.	23
Figure II.4 : Suiveur à axe horizontal24	24
Figure II.5 : Suiveur à axe vertical incliné24	24
Figure II.6 : Suiveur à deux axes25	25
Figure II.7 : Comparaison Production électrique.....26	26
Figure II.8 : Panneau Aerovoltaique28	28
Figure II.9 : Refroidissement à ventilation forcer29	29
Figure II.10 : Panneau solaire refroidie.29	29
Figure II.11 : Système de refroidissement.30	30
Figure II.12 : différence entre panneau encrasse et panneau nettoyer.31	31

Chapitre III :

Figure III.1 : Carte ARDUINO37	37
Figure III.2 : Résistance 10k39	39
Figure III.3 : photorésistance LDR40	40
Figure III.4 : Panneau solaire.40	40
Figure III.5 : Servomoteur SG-90.41	41
Figure III.6 : Câble servomoteur.42	42
Figure III.7 : Pompe à eau USB.43	43
Figure III.8 : MODULE DE RELAIS DÉCLENCHÉUR 5v43	43
Figure III.9 : CAPTEUR DE TEMPÉRATURE ÉTANCHE DS18B20.45	45
Figure III.10 : La variation de la résistance du LDR par rapport l'éclairage.46	46

Figure III.11 : Brochage des LDR à l'Arduino.	46
Figure III.12 : Montage Circuit électrique des servomoteurs.	47
Figure III.13 : Les étapes à suivre pour test servomoteur.	47
Figure III.14 : Programme Arduino pour test Servomoteur.	48
Figure III.15 : Montage du Circuit électrique du système suiveur (fritzing).	48
Figure III.16 : Montage réel du circuit.	49
Figure III.17 : Montage système de refroidissement.	49
Figure III.18 : Montage réel système de refroidissement.	50
Figure III.19 : Montage globale (Système suiveur solaire + système de refroidissement)	50
Figure III.20 : Aperçu du prototype	51
Figure III.21 : Programme Arduino du système élaboré.....	51

AVANT PROPOS	I
Dédicace	II
Nomenclatures	IV
Liste des figures	VI
Tables des matières	IX
Introduction générale	01

Chapitre I : Principe de fonctionnement d'un système photovoltaïque

I.1 INTRODUCTION	03
I.2 Historique de la cellule photovoltaïque	03
I.3 LE POTENTIEL D'ENERGIE EN ALGERIE	05
I.3.1 Energie solaire.....	05
I.4 LE RAYONNEMENT SOLAIRE	06
I.4.1 Le rayonnement direct	06
I.4.2 Le rayonnement diffus	06
I.4.3 Le rayonnement global	06.
I.5 DEFINITION DE LA CELLULE PHOTOVOLTAIQUE	07
I.6 LES DIFFERENTS TYPES DE PANNEAUX PHOTOVOLTAIQUES	07
I.6.1 Les panneaux photovoltaïques monocristallins	07
I.6.2 Les panneaux photovoltaïques polycristallins	08
I.6.3 Les panneaux solaires amorphes	08
I.7 REGROUPEMENT DES CELLULES PHOTOVOLTAIQUES	08
I.7.1 Cellules mise en série	08
I.7.2 Cellules Mise en parallèle	09
I.7.3 Regroupement (série et parallèle)	10
I.8 CARACTERISTIQUES ELECTRIQUE D'UNE CELLULE PHOTOVOLTAIQUE	10
I.8.1 Paramètres d'une cellule photovoltaïque	12
I.8.2 Courant de court -circuit (I_{cc})	12
I.8.3 Tension de circuit –ouvert (V_{CO})	12
I.8.4 Facteur de forme	13
I.8.5 Rendement énergétique	13
I.9 MODULE PHOTOVOLTAIQUE	13

I.10 AJUSTEMENT DES MODULES	14
I.10.1 L'orientation des modules	14
I.10.2 Angle d'incidence du rayonnement solaire direct tombant sur un plan quelconque.	14
I.11 CARACTERISTIQUE COURANT-TENSION D'UN MODULE	15
I.12 LES PARAMETRES QUI INFLUENT SUR LA CARACTRISTIQUE	16
I.12.1 Influence de l'éclairement sur un PV	16
I.12.2 Influence de la température sur un PV	17
I.13 CONCLUSION	18

Chapitre II : Le système suiveur et le système de refroidissement

II.1.INTRODUCTION	20
II.2.SYSEME SUIVEUR SOLAIRE	21
II.2.1 Définition et fonctionnement.....	21
II.2.2 Les type de suiveurs solaires.....	21
II.2.2.1. Suiveur passif	22
II.2.2.2. Suiveur actif	22
II.2.3. Les différents système de suiveur solaire(selon l'axe).....	23
II.2.3.1 Un Suiveur à axe horizontal	23
II.2.3.2 Suiveur à axe vertical incliné	24
II.2.3.3 Suiveur à deux axes	25
II.2.4 La différence entre l'installation avec suiveur installation fixe	25
II.2.5 Les moyens de contrôle de l'augmentation d'énergie par traqueur	26
II.2.6 Les avantages et inconvénient de suiveur	26
II.3 SYSTEME DE REFROIDISSEMENT PANNEAU SOLAIRE	27
II.3.1 Refroidissement de PV a air.....	28
II.3.2 Système de refroidissement a eau	29
II.3.2.1 principe de fonctionnement.....	30
II.4 NETTOYAGE ET ENTRETIEN DES PANNEAUX SOLAIRES	31
II.5 ETUDE ET INTERPRETATION DES DISPOSITIVES EXISTANT	32
II.6 CONCLUSION	34

Chapitre III : Conception et Réalisation Du dispositif

III.1 INTRODUCTION	36
III.2 OUTILS DE DEVELOPPEMENT	37
III.2.1 Composants du notre prototype	37
III.2.1.1 Présentation de la Carte ARDUINO UNO	37
III.2.1.2 Résistances	39
III.2.1.3 Résistance à la lumière LDR	39
III.2.1.4 Mini panneau solaire	40
III.2.1.5 Mini servo <i>9G SG-90</i>	41
III.2.1.6 Micro pompe à eau	43
III.2.1.7 Module de relais déclencheur 5v	43
III.2.1.7 Capteur de température étanche DS18B20	45
III.3 REALISATION DU DISPOSITIF	46
III.3.1 Cahier des charges	46
III.3.2 Les étapes du Réalisation	46
III.3.2.1 Réalisation système suiveur	46
III.3.2.3. Système de refroidissement	49
III.3.2.4 L'assemblage du système suiveur solaire refroidie	50
III.4.PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME	52
III.5 EVALUATION DES RESULTATS	53
III.6 CONCLUSION	54
CONCLUSION GENERALE	56
ANNEXE	58
BIBLIOGRAPHIE	67
WEBOGRAPHIE.....	69
RESUME.....	70

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Les sources d'énergie conventionnelles, obtenues de notre environnement, tendent à diminuer avec une rapidité relative due à ses utilisations irrationnelles par l'humanité. Cette origine incontrôlée des énergies naturelles, mène notre système écologique à l'instabilité. La diminution des sources de pétrole, gaz naturel et sources naturelles de charbon mènent à faire un effort de trouver des nouvelles sources d'énergie pour permettre une réduction dans l'utilisation des sources naturelles de combustible [w1].

Le soleil peut satisfaire tous nos besoins si nous apprenons à exploiter rationnellement l'énergie qu'il rayonne vers la terre. Aujourd'hui il paraît insensé de ne pas en profiter car nous avons les moyens technologiques nécessaires. De plus il faut considérer que cette source d'énergie est gratuite, propre et inépuisable. Cette dernière, pourrait par ailleurs nous libérer de notre dépendance aux énergies fossiles ou aux autres alternatives peu sûres ou polluantes. Cette énergie peut transformée en électricité [w2].

Par un capteur solaire appelé aussi panneau solaire est un appareil prévu pour absorber des rayons du soleil pour les transformer en énergie électrique, à travers l'effet photovoltaïque. Il est mis en œuvre dans les cellules photovoltaïques pour produire de l'électricité à partir du rayonnement solaire. Il est le produit du choc des photons de la lumière sur un matériau semi-conducteur qui transmet leur énergie aux électrons qui génèrent une tension électrique. Le fonctionnement des cellules solaires dépend fortement de deux paramètres externes ; L'éclairement et la température. Ces deux paramètres extrêmement importants dans le comportement des cellules solaires. Ils influent énormément sur la caractéristique de la cellule solaire. D'où, l'importance de l'étude de l'influence de l'éclairement et de la température pour optimiser les performances des systèmes photovoltaïques puisqu'elles sont exposées au rayonnement solaire.

Notre travail est consacré à augmente le rendement énergétique d'un panneau photovoltaïque, et nous avons partagé ce mémoire en trois chapitres :

Dans le premier chapitre nous décrivons l'effet photovoltaïque et son principe de fonctionnement.

Dans le deuxième chapitre est dédié à la compréhension d'un suiveur solaire et le système de refroidissement.

Dans le troisième chapitre réalisation du suiveur solaire et son système de refroidissement.

CHAPITRE I :

Principe de fonctionnement
d'un système photovoltaïque

I.1 INTRODUCTION :

De nos jours, l'homme a à sa disposition sur la terre de nombreuses sources d'énergie. Les plus utilisées sont les énergies dites fossiles (charbon, pétrole, gaz) parce qu'elles sont faciles à exploiter, et rentables. Cependant ces énergies émettent une grande quantité de gaz à effet de serre (dioxyde de carbone, notamment) qui participent fortement au réchauffement planétaire, qui devient un problème grandissant pour la terre et les êtres vivants.

Mais il existe d'autres énergies non polluantes, renouvelables, abondantes partout sur la surface du globe qui pourraient pourtant être utilisées par l'homme. En outre, on distingue l'énergie éolienne, l'énergie hydroélectrique et l'énergie solaire.

De ces énergie la plus raisonnable a exploiter est L'énergie solaire, elle est disponible partout à la surface du globe, en quantité égale dans l'année, et a un bon rendement grâce à la technologie actuelle. Elle est de plus en plus facile à exploiter. Elle semble être l'énergie la plus prometteuse pour l'avenir.

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique. Cette conversion d'énergie s'effectue par le biais d'une cellule dite photovoltaïque (PV) basée sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque. L'énergie photovoltaïque a l'avantage d'être non polluante, souple et fiable [1].

C'est pour cela que nous avons décidé de l'étudier plus en détail. Mais comment exploiter au mieux cette énergie ? Et quels sont les enjeux liés à son utilisation.

I.2 HISTORIQUE DE LA CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE :

Considéré dans l'Antiquité comme un dieu, le soleil est aujourd'hui réduit au statut d'énergie, une énergie qu'il nous faut apprendre à capter, à transformer, à stocker ...

La conversion de la lumière en électricité, appelé effet photovoltaïque, a été découverte en **1839** par un physicien français, Alexandre Edmond←Becquerel (en irradiant une électrode en argent dans un électrolyte, il obtint une tension électrique) [w3].

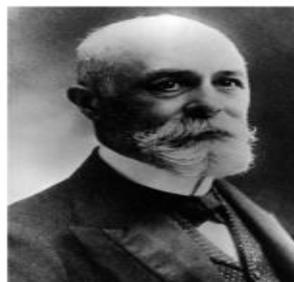


Figure I.1 : Photo Alexandre Edmond [w3].

En **1875**, le physicien Werner Von Siemens expose devant l'Académie des Sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans le semi-conducteur Et la première cellule solaire fonctionnelle fut construite en **1883** par Charles Fritts. Mais le rendement de sa cellule, étant très faible, empêcha à l'époque son utilisation.

Seulement, le phénomène est encore considéré comme anecdotique jusqu'à la Seconde Guerre Mondiale. Les premières vraies cellules sont apparues en **1930** avec les cellules à oxyde cuivreux puis au sélénium.

Les recherches d'après-guerre ont permis d'améliorer leurs performances et leur taille et ce n'est qu'en **1954** que trois chercheurs américains, Chapin, Pearson et Prince mettent au point une cellule photovoltaïque au silicium dans les laboratoires de la compagnie Bell téléphone. On entrevoit alors la possibilité de fournir de l'électricité grâce à ces cellules. Au même moment, l'industrie spatiale naissante, cherche de nouvelles solutions (autre que le procédé nucléaire) pour alimenter ses satellites [w3].



Figure I. 2 : Photo de trois chercheurs américains, Chapin , Pearson et Prin [w3].

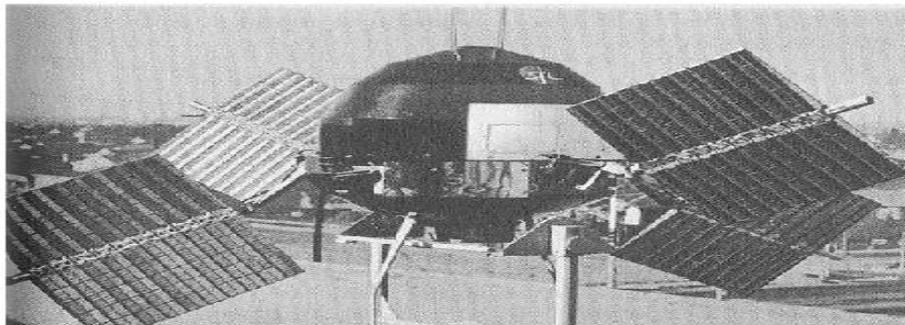


Figure I.3 : Premier satellite américain [w3].

C'est en **1958**, que les premiers satellites avec panneaux solaires sont envoyés dans l'espace et au même moment une cellule avec un rendement de 9% est mise au point.

Mais il faudra attendre les années 70 pour que les gouvernements et les industries investissent dans la technologie photovoltaïque. En effet des efforts ont été faits pour réduire les coûts de sorte que l'énergie photovoltaïque soit également utilisable pour des applications

terrestres. Et en 1973, la première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'Université de Delaware.

Ainsi au cours des années 80, la technologie photovoltaïque terrestre a progressé régulièrement par la mise en place de plusieurs centrales de quelques mégawatts. La croissance de l'industrie fut spectaculaire, et notamment à travers de nombreux produits de faible puissance fonctionnant grâce à l'énergie solaire, tel que : montres, calculatrices, balises radio et météorologiques, pompes et réfrigérateurs solaires. En 1983 la première voiture, alimentée par énergie photovoltaïque, parcourt une distance de 4 000 km en Australie.



Figure I.4 : Des produits fonctionnant grâce à l'énergie solaire [w3].

En 1995, des programmes de toits photovoltaïques raccordés au réseau, ont été lancés, au Japon et en Allemagne, et se généralisent depuis 2001. Bien que le prix se soit peu stabilisé, la quantité de modules Photovoltaïques expédiés chaque année ne cesse d'augmenter... [w3].

I.3 LE POTENTIEL D'ENERGIE EN ALGERIE :

I.3.1 Energie solaire :

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un gisements solaire les plus élevés au monde.

La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1m^2 est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de $1700\text{KWh}/\text{m}^2/\text{an}$ au Nord et $2263\text{ kWh}/\text{m}^2/\text{an}$ au Sud du pays [w4].

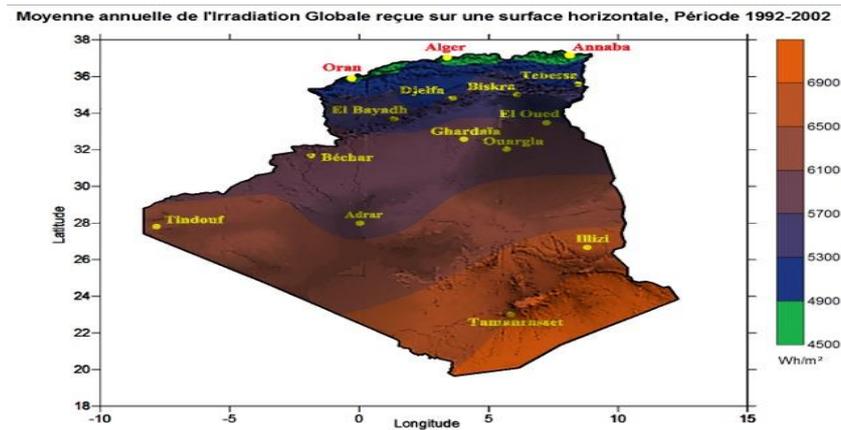


Figure I.5 : La carte de l'irradiation solaire en Algérie publiée par le CDER à l'occasion du solstice d'été [w4].

I.4 LE RAYONNEMENT SOLAIRE :

Le rayonnement solaire constitue la ressource énergétique la mieux partagée et la plus abondante sur terre, la quantité d'énergie libérée par le soleil et captée par notre planète pendant une heure pourrait suffire à couvrir les besoins énergétiques mondiaux d'une année [2].

I.4.1 Le rayonnement direct :

Le rayonnement direct est le rayonnement incident sur un plan donné en provenance d'un petit angle solide centré sur le disque solaire, nous parvient en ligne droite et par temps clair [2].

I.4.2 Le rayonnement diffus :

Le rayonnement diffus résulte de la diffraction de la lumière par les molécules atmosphériques, et de sa réflexion par le sol, il parvient de toute la voûte céleste [2].

I.4.3 Le rayonnement global :

Le rayonnement global (G) est la somme des rayonnements diffus et direct [2].

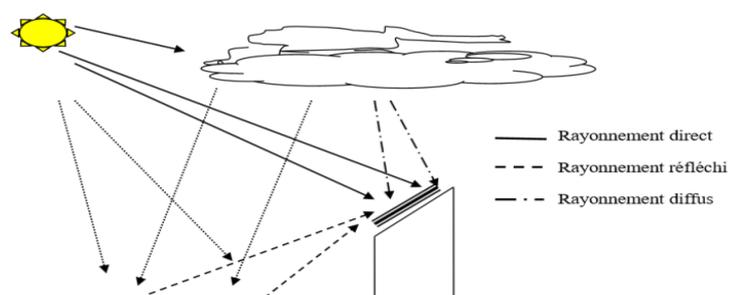


Figure I.6 : Composantes du rayonnement solaire [2].

I.5 DENITION DE LA CELLULE PHOTOVOLTAIQUE :

Les cellules photovoltaïques sont des composants électroniques capables de produire de l'électricité à partir de l'énergie solaire, et ceci grâce à l'effet photovoltaïque. Ce phénomène est basé sur le comportement des matériaux semi-conducteurs lorsqu'ils reçoivent un rayonnement solaire. En effet, lorsque les photons de la lumière du soleil rentrent en contact avec ces matériaux particuliers, ils transmettent leur énergie aux électrons des semi-conducteurs qui génèrent alors une tension électrique. Le matériau semi-conducteur le plus massivement employé à l'heure actuelle par les fabricants de modules photovoltaïques demeure le silicium [w5].

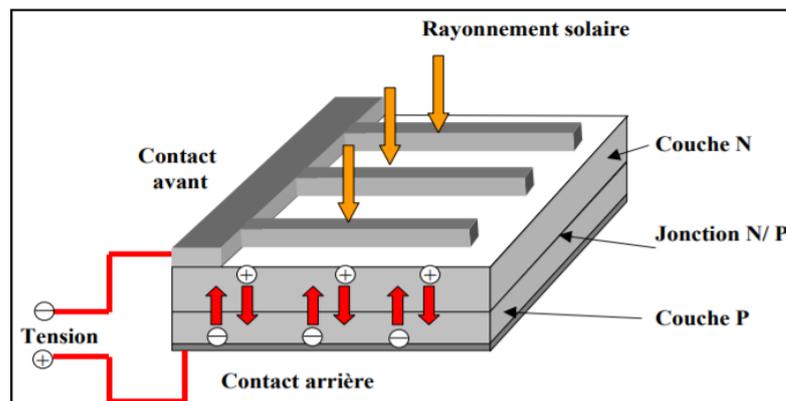


Figure I.7 : schéma de principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque [w5].

I.6 LES DIFFERENTS TYPES DE PANNEAUX PHOTOVOLTAIQUES :

I.6.1 Les panneaux photovoltaïques monocristallins :

Les panneaux solaires monocristallins sont des panneaux photovoltaïques fabriqués à base de silicium pur. Ils présentent un rendement le plus élevé [18 à 24%]. Les panneaux solaires monocristallins sont notamment recommandés dans les zones à fort ensoleillement [w6].



Figure I.8 : Panneau monocristallins [w6]

I.6.2 Les panneaux photovoltaïques polycristallins :

Aujourd'hui, ce sont les panneaux photovoltaïques les plus utilisés au monde en offrant un meilleur compromis entre prix et performance ils présentent un taux de rendement [14 à 18%].

Alors que les cellules d'un panneau solaire monocristallin sont constituées d'un seul cristal de silicium de grande taille, les cellules du panneau solaire polycristallin sont issues de la fonte de chutes de silicium monocristallin.

Les morceaux sont chauffés, fondus puis refroidis et assemblés pour créer une cellule. L'ensemble des cellules rassemblées forme un panneau polycristallin [w6].



Figure I.9 : Panneau poly cristallins [w6].

I.6.3 Les panneaux solaires amorphes :

Enfin, il y a les panneaux photovoltaïques à base de cellules amorphes. Elles sont produites à partir de « *gaz de silicium* ».

Ce type de cellules, sont adaptés aux régions à faible ensoleillement. Celui-lui, possède le moins bon rendement [5 à 7%]. Ce type de silicium est moins cher que les siliciums cristallins, ils représentent aujourd'hui environ 10 % du marché des panneaux photovoltaïques. On les différencie grâce à leur couleur gris foncé uniforme [w6].



Figure I.10 : Panneau amorphes [w6].

I.7 REGROUPEMENT DES CELLULES PHOTOVOLTAIQUES :

I.7.1 Cellules mise en série :

Une association de N_S cellules en série permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque (GPV). Les cellules sont alors traversées par le même courant et la caractéristique résultant du groupement série est obtenue par addition des tensions élémentaires de chaque cellule, figure (I.11) L'équation (I.1) résume les caractéristiques électriques d'une association série de N_S cellules.

$$V'_{co} = N_s \cdot V_{co} \quad (I.1)$$

V_{co} : la tension du circuit ouvert

Ce système d'association est généralement le plus communément et utilisé pour les modules photovoltaïques du commerce. Comme la surface des cellules devient de plus en plus importante, le courant par une seule cellule augmente régulièrement au fur et à mesure de l'évolution technologique alors que sa tension reste toujours très faible.

L'association en série permet ainsi d'augmenter la tension de l'ensemble et donc d'accroître la puissance de l'ensemble. Les panneaux commerciaux constitués de cellules de première génération sont habituellement réalisés en associant 36 cellules en série ($V_{cons} = 0.6 \text{ V} * 36 = 21.6 \text{ V}$) afin d'obtenir une tension optimale du panneau V_{op} proche de celle d'une tension de batterie [3].

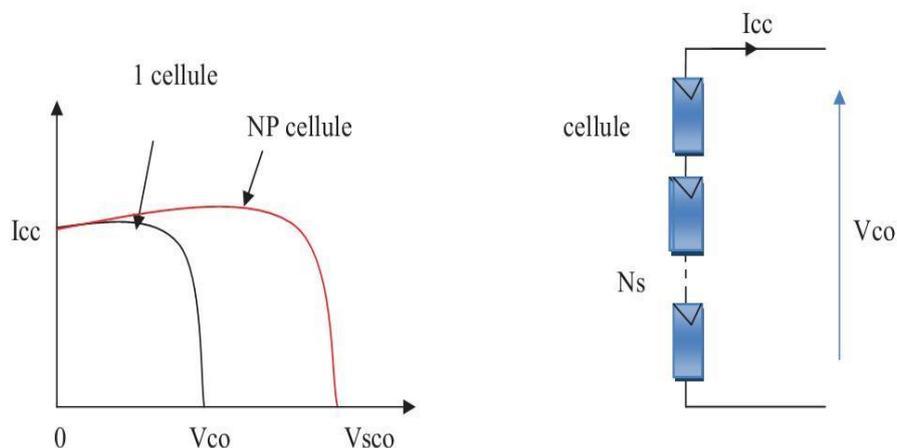


Figure I.11 : Caractéristiques résultantes d'un groupement de N_s cellules en série [1].

I.7.2 Cellules Mise en parallèle :

D'autre part, une association parallèle de NP cellules est possible et permet d'accroître le courant de sortie de générateur ainsi créé. Dans un groupement de cellules identiques connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultant du groupement est obtenue par addition des courants, **Figure (I.12)**. L'équation (I.2) résume à son tour les caractéristiques électriques d'une association parallèle de NP cellules.

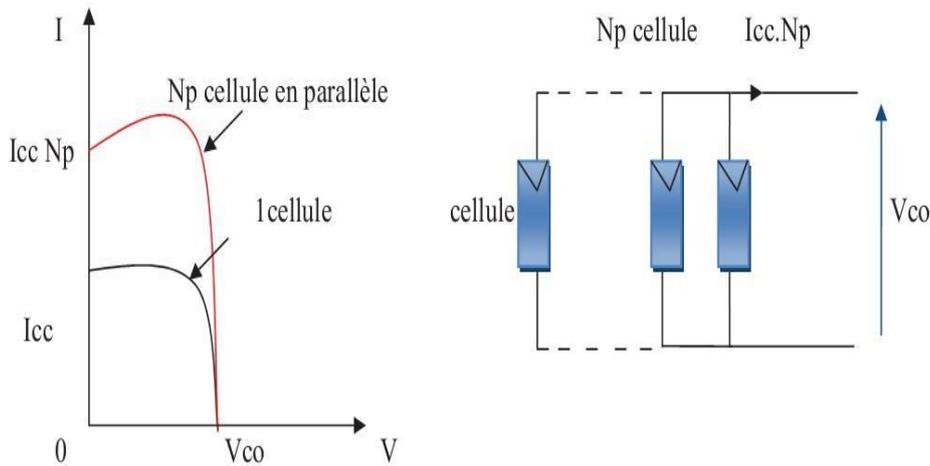


Figure I.12 : Caractéristiques résultantes d'un groupement de N_p cellules en parallèle [1].

$$I'_{CC} = N_p \cdot I_{CC} \quad (I.2)$$

Avec I_{cc} : le courant de court-circuit

Si l'on désire avoir un générateur PV ayant un courant de sortie plus intense, on peut soit faire appel à des cellules PV de plus grande surface et de meilleur rendement, soit associer en parallèle plusieurs modules PV de caractéristiques similaires. Pour qu'un générateur PV ainsi constitué puisse fonctionner de façon optimale, il faut que les (N_s , N_p) cellules se comportent toutes de façon identique [3].

I.7.3 Regroupement (série et parallèle) :

On utilise généralement ce type d'association pour en tirer une tension importante puisque l'association en série des photopiles délivre une tension égale à la somme des tensions individuelles et un courant égal à celui d'une seule cellule. La caractéristique d'un groupement de deux modules solaires est représentée ci-dessous, ce qui peut être généralisé sur une gamme de N_s modules solaires en série. Ce genre de groupement augmente le courant. Afin d'obtenir des puissances de quelques kW, sous une tension convenable, il est nécessaire d'associer les modules en panneaux et de monter les panneaux en rangées de panneaux série et parallèle pour former ce que l'on appelle un générateur photovoltaïque [4].

1.8 CARACTERISTIQUE ELECTRIQUE D'UNE CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE :

La figure (I.13) présente le schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque sous éclairage. Il correspond à un générateur de courant monté en parallèle avec une diode. Deux résistances parasites sont introduites dans ce schéma.

Ces résistances ont une certaine influence sur la caractéristique $I = f(V)$ de la cellule :

La résistance série (R_s) est la résistance interne de la cellule ; elle dépend principalement de la résistance du semi-conducteur utilisé ;

La résistance shunt (R_{sh}) est due à un courant de fuite au niveau de la jonction ; elle dépend de la façon dont celle-ci a été réalisée

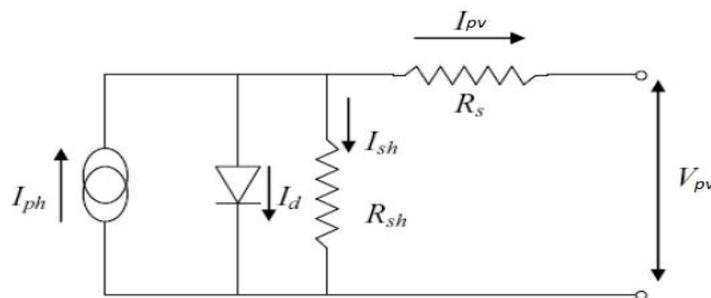


Figure I.13 : Schéma électrique équivalent d'une cellule PV [5].

Le modèle mathématique pour la caractéristique courant-tension d'une cellule PV est donné par la formule (I.3)

$$I_{PV} = I_{ph} - I_{sat} \left[\exp \left(\frac{e(V_{PV} + I_{PV} R_{ser})}{nKT} \right) - 1 \right] - \frac{V_{PV} + I_{PV} R_{ser}}{R_{shu}} \quad (I.3)$$

Où :

- **I_{sat}** : est le courant de saturation,
- **K** : est la constante de Boltzmann ($1,38110 \cdot 10^{-23} J/K$),
- **T** : est la température effective des cellules en Kelvin(K),
- **e** : est la charge de l'électron ($e = 1,6 \cdot 10^{-19} C$),
- **n** : est le facteur d'idéalité de la jonction ($1 < n < 3$),
- **I_{PV}** : est le courant fourni par la cellule lorsqu'elle fonctionne en générateur,
- **V_{PV}** : est la tension aux bornes de cette même cellule,
- **I_{ph}** : est la photo-courant de la cellule dépendant de l'éclairement et de la température ou bien courant de (court-circuit),
- **R_{shu}** : est la résistance shunt caractérisant les courants de fuite de la jonction,
- **R_{ser}** : est la résistance série représentant les diverses résistances de contacts et de connexions. I_d : le courant qui traverse la diode [5].

I.8.1 Paramètres d'une cellule photovoltaïque :

Ces paramètres peuvent être déterminés à partir des courbes courant- tension, ou de l'équation caractéristique. Les plus usuels sont les suivantes [5] :

I.8.2 Courant de court -circuit (I_{CC}) :

C'est le courant pour lequel la tension aux bornes de la cellule ou du générateur PV est nulle. Dans le cas idéal (nulle et infinie), ce courant se confond avec la photo – courant dans le cas contraire, en annulant la tension V dans l'équation (1.4) [5] en obtient :

$$I_{CC} = I_{ph} - I_{sat} \left[\exp \left(\frac{e(I_{CC} \cdot R_{ser})}{nKT} \right) - 1 \right] - \frac{(I_{CC} \cdot R_{ser})}{R_{shu}} \quad (I.4)$$

Pour la plupart des cellules (dont la résistance série est faible), on peut négliger le terme

$$I_{sat} \left[\frac{e(I_{PV} \cdot R_{ser})}{nRT} - 1 \right] \text{ devant } I_{ph} \quad (I.5)$$

- Quantitativement, il a la plus grande valeur du courant généré par la cellule
- (pratiquement $I_{cc} = I_{ph}$).

I.8.3 Tension de circuit –ouvert (V_{CO})

La tension à circuit ouvert est obtenue quand le courant qui traverse la cellule est nul. Elle dépend de la barrière d'énergie, et décroît avec la température et varie peu avec l'intensité lumineuse.

$$V_{CO} = V_T \ln \left[\frac{I_{ph}}{I_{sat}} + 1 \right] \quad (I.6)$$

$$V_T = \frac{nKT}{e} \quad (I.7)$$

Si la résistance série est nulle et celle parallèle est infinie l'expression de la tension de circuit ouvert sera :

$$V_{CO} = V_T \ln \left[\frac{I_{ph}}{I_{sat}} \right] \quad (I.8)$$

I.8.4 Facteur de forme :

On appelle facteur de forme FF, dit aussi facteur de courbe ou facteur de remplissage (fill factor), le rapport entre la puissance maximum fournie par la cellule P_{max} (I_{opt}) et le produit du courant de court-circuit I_{CC} par la tension de circuit –ouvert V (c'est-à-dire la puissance maximale d'une cellule idéale). Le facteur de forme indique la qualité de la cellule, plus il s'approche de l'unité watt plus la cellule est performante, Il est de l'ordre de 0.7 watt pour les cellules performantes ; et diminue avec la température [5]. Il traduit l'influence des pertes par les deux résistances parasites R_{ser} et R_{shu} . Il est défini par [5]

$$FF = \frac{P_{max}}{I_{CC}V_{CO}} = \frac{I_{opt} V_{opt}}{I_{CC} V_{CO}} \quad (\text{I.9})$$

I.8.5 Rendement énergétique :

C'est le rapport entre la puissance électrique maximale fournie par la cellule P_{max} (I_{opt}) et la puissance solaire incidente. Il est donné par [5]

$$n = \frac{P_{max}}{P_{inc}} = \frac{I_{opt} V_{opt}}{P_{inc}} \quad (\text{I.10})$$

Avec P_{inc} égale au produit de l'éclairement et de la surface totale des générateurs PV. Ce paramètre reflète la qualité de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique.

I.9 MODULE PHOTOVOLTAÏQUE :

Pour produire plus de puissance, les cellules solaires sont assemblées pour former un module figure (I.14-a). Les connections en série de plusieurs cellules augmentent la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle accroît le courant en conservant la tension. Ces cellules sont protégées de l'humidité par encapsulation dans un polymère EVA (éthylène-vynil- acétate) figure (I.14-b) et protégé sur la surface avant d'un verre, trempé à haute transmission et de bonne résistance mécanique, et sur la surface arrière d'une ou de polyéthylène [1].

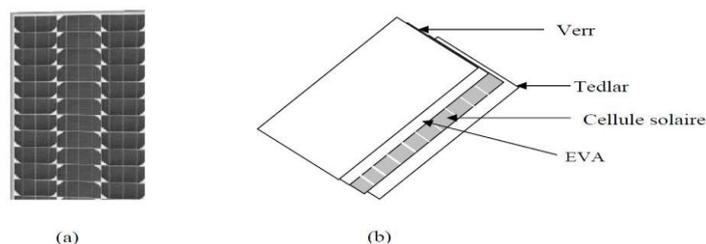


Figure I.14 : Module photovoltaïque [1].

I.10.AJUSTEMENT DES MODULES :

I.10.1 L'orientation des modules :

L'orientation des modules doit être plein sud pour les sites de l'hémisphère Nord et plein nord pour les sites de l'hémisphère sud. L'utilisation d'une boussole est fortement recommandée pour éviter toute approximation qui risquerait d'introduire une perte de puissance consécutive à une mauvaise orientation [1].

I.10.2. Angle d'incidence du rayonnement solaire direct tombant sur un plan quelconque :

Comme mentionné auparavant, l'énergie fournie par le panneau PV dépend fortement de la quantité d'éclairement solaire absorbée par ce dernier. Cette quantité dépend de l'orientation du panneau par rapport au soleil. Pour collecter le maximum d'énergie, le panneau PV doit être constamment orienté perpendiculairement aux rayons solaires [7] (Figure (I.15)).

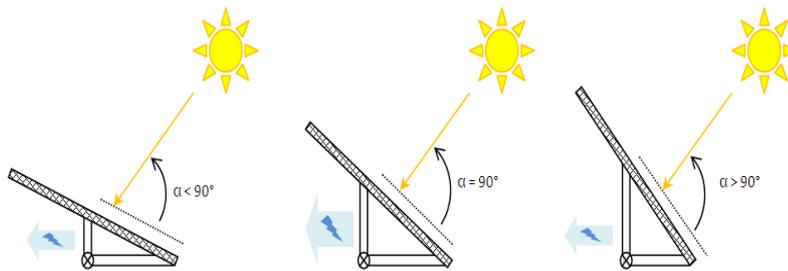


Figure I.15 : Dépendance des performances d'un panneau PV de l'angle α [7].

Avec : α l'angle formé entre le plan du panneau et les rayons lumineux incidents, l'angle optimal correspond à un angle de 90° comme indiqué dans la figure (I.16).

Chaque fois que cet angle diminue ou augmente, la surface (m^2) du panneau exposée aux rayons diminue et donc en partant de la puissance produite, le rendement diminue aussi, d'où l'importance de l'orientation des panneaux par rapport à la position du Soleil [7].

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

$$\mathbf{RN = \sin (\alpha) \times 100} \quad \mathbf{(I.11)}$$

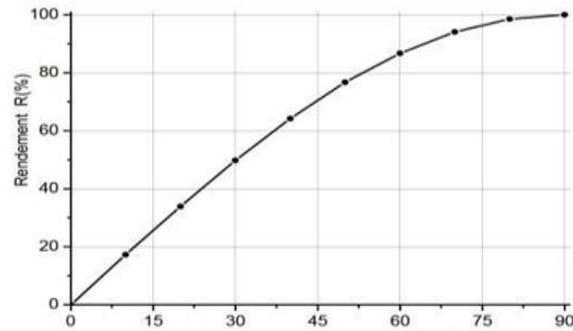


Figure I.16 : Rendement en puissance solaire exploitée en fonction de l'angle α des rayons solaires [7].

I.11 CARACTERISTIQUE COURANT-TENSION D'UN MODULE :

Le courant produit par un module varie conformément aux diagrammes courant/tension. Il dépend de l'éclairement solaire et de la température des cellules.

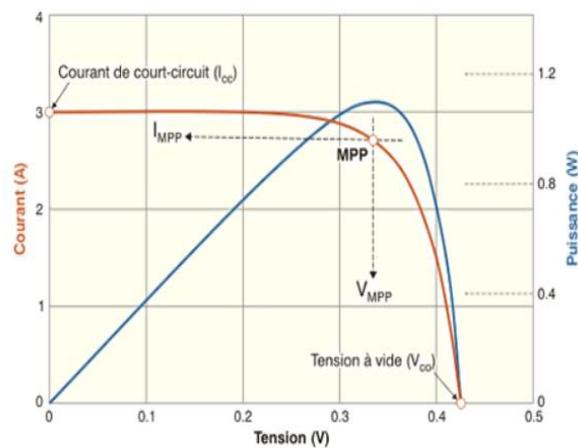


Figure I.17 : Exemple de caractéristique courant-tension d'un module [w7].

I.12 LES PARAMETRES QUI INFLUENT SUR LA CARACTÉRISTIQUE

$I = f(v)$ et $P = f(v)$:

I.12.1 Influence de l'éclairement sur un PV :

Les figures (I.18) et (I.19) présentent un exemple des courbes pour différents niveaux de rayonnement [8] :

Nous avons fixé la température pour différents éclairagements.

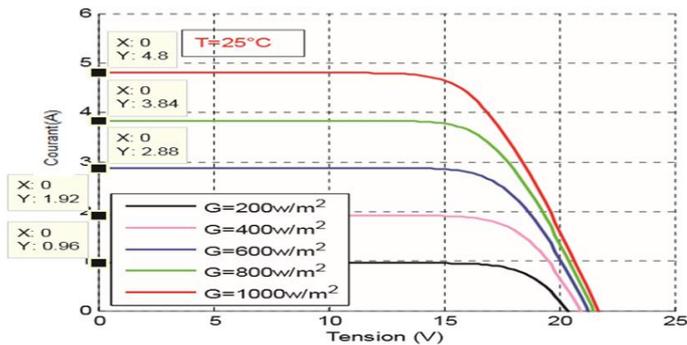


Figure I.18 : La caractéristique $I=f(v)$ en fonction de l'éclairement [8].

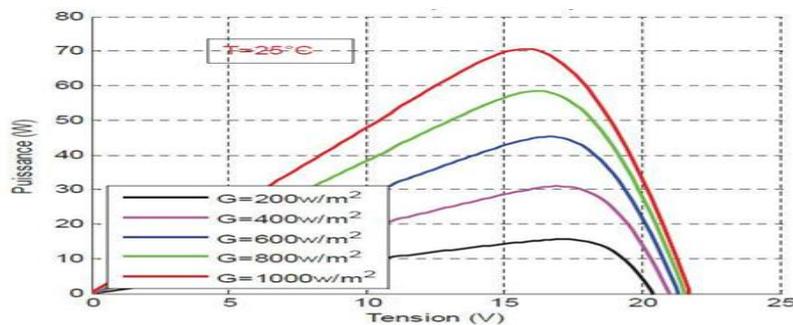


Figure I.19 : La caractéristique $P=f(v)$ en fonction de l'éclairement [8].

Pour la figure (I.18) on remarque que pour l'éclairement $G=1000 w/m^2$ le courant $I_{sc}=4.8A$, et pour $G=800w/m^2$ le courant $I_{sc}=3.84A$ on peut voir que le courant subit une variation importante, quand l'éclairement augmente le courant de court-circuit augmente, mais par contre la tension varie légèrement [8].

I.12.2 Influence de la température sur un PV :

Nous présentons ci-dessous les caractéristiques I-V et P-V figure (I.20) et(I.21) d'un module photovoltaïque pour un niveau d'ensoleillement G donné et pour différentes températures [8] :

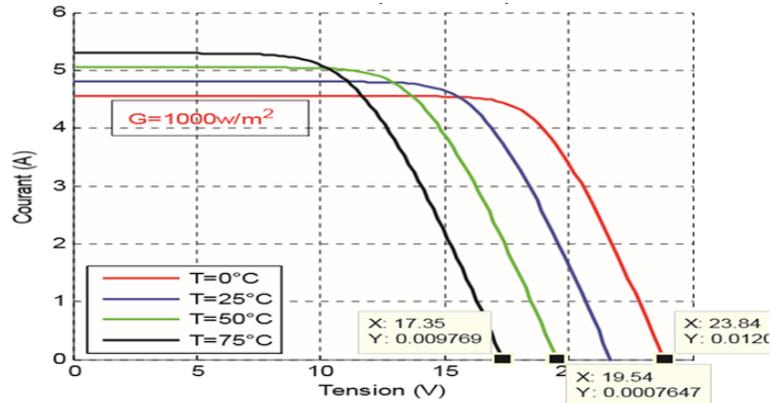


Figure I.20 : La caractéristique de $I=f(V)$ en fonction de température [8].

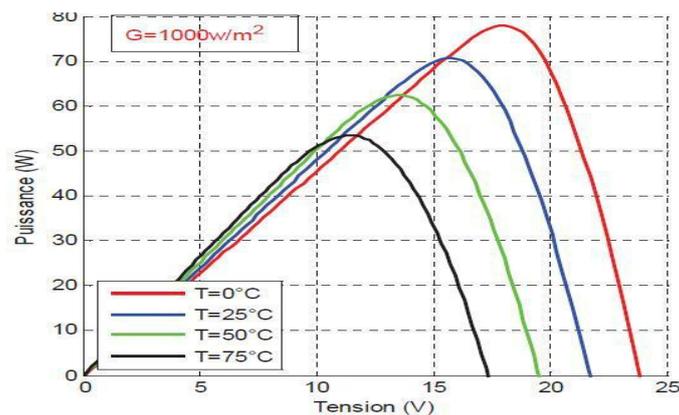


Figure I.21 : La caractéristique de $P=f(V)$ en fonction de température [8].

Pour la figure (I.20) Nous remarquons que le courant dépend de la température puisque le Courant augmente légèrement à mesure que la température augmente, on constate que la Température influe négativement sur la tension de circuit ouvert. Quand la température augmente la tension de circuit ouvert diminue. Et par contre la puissance maximale du générateur subit une diminution lorsque la température augmente figure (I.21) [8].

I.13 CONCLUSION :

Actuellement, l'électricité solaire photovoltaïque est l'une des disciplines mondiales les plus importantes dans le développement durable. Malgré la maîtrise de la technologie de fabrication des cellules solaires et de leur encapsulation, les installations photovoltaïques sont encore chères.

Les graphes dans le chapitre confirment l'importance d'un suiveur solaire à deux axes doté en plus d'un système de refroidissement par rapport un suiveur conventionnel, en termes de production annuelle d'énergie électrique. Pour une même installation donnée la présence du suiveur solaire refroidit permettre une augmentation importante d'énergie électrique.

CHAPITRE II :

Le système suiveur et
le système de refroidissement

II.1 INTRODUCTION :

Afin d'optimiser le rendement d'un panneau solaire il faut jouer sur plusieurs facteurs : type de panneau et sa surface, un système d'orientation qui permet la poursuite de la trajectoire du soleil et garder une température idéal du panneau photovoltaïque.

Puisque la position du soleil par rapport à un point de captation fixe est variable durant la journée, donc il faut ajouter des paramètres et modifier le panneau solaire classique (fixe) en utilisant un système qui permettra l'alignement des panneaux solaires automatiquement en fonction de l'avancée du soleil (un suiveur solaire).

Un suiveur solaire motorisé permet de maintenir une orientation des panneaux par rapport aux rayons du soleil. Cette orientation bi-axiale permet de maximiser la production d'électricité des panneaux photovoltaïques et optimiser leurs rendement par rapport aux panneaux fixes.

Puisque l'augmentation de la chaleur influe sur le rendement des cellules photovoltaïques un système de refroidissement est indispensable pour un rendement optimal

Dans ce chapitre nous allons voir les deux systèmes pour avoir un rendement maximal, le système suiveur solaire et le système de refroidissement.

II.2 SYSTEME SUIVEUR SOLAIRE :

II.2.1 Définition et fonctionnement :

Un Traqueur solaire, ou suiveur de soleil est un dispositif permettant à un télescope héliographique (observer le soleil ou certains de ses effets dans l'atmosphère), ou à une installation de production d'énergie solaire de suivre le soleil selon le principe de l'héliostat, cette structure portante motorisée oriente les panneaux solaires pour en augmenter la productivité [9].

Le système vise à orienter en temps réel les capteurs vers le Soleil, pour placer le panneau dans une position optimale par rapport à l'incidence du rayonnement solaire (perpendiculaire au rayonnement si possible), car tout au long de la journée et de l'année (selon les saisons) la position du soleil varie constamment et d'une manière différente selon la latitude. Cette adaptation en temps réel a pour effet de substantiellement augmenter la captation et production d'énergie [9].

Elle 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, de nouveau, 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) [9].

II.2.2 Les types des suiveurs solaires :

On distingue principalement deux grandes familles de suiveur solaire

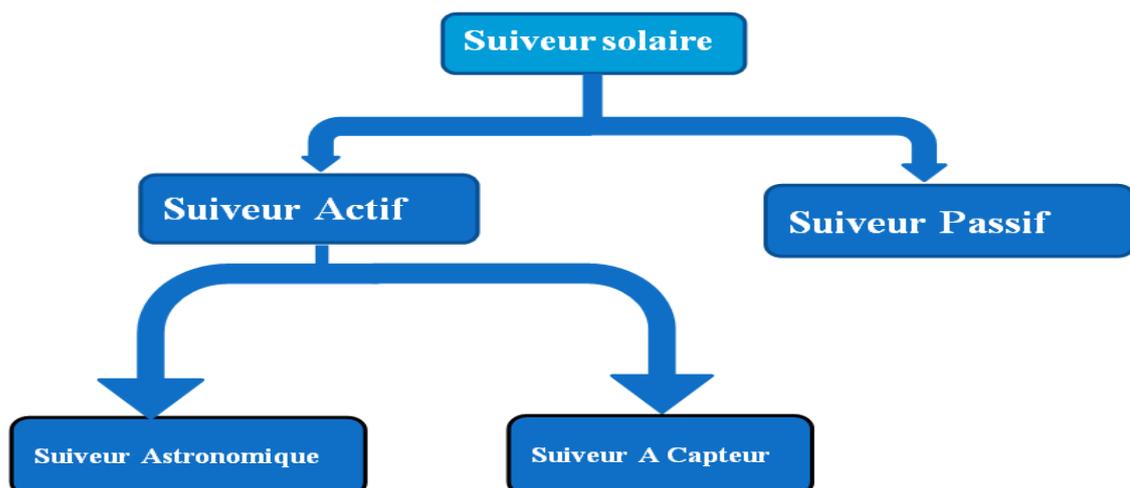


Figure II.1 : Les types de suiveurs solaires.

II.2.2.1 Suiveur passif :

Le premier type des suiveurs passifs est constitué dans son architecture de deux tubes en cuivre Montés sur les côtés Est et Ouest du panneau PV. Le tube de matière cuivre (figure II.2) est rempli de fluides chimiques capable de se vaporiser à basse température. En effet, lorsque l'exposition au rayonnement solaire augmente la température d'un côté du panneau, le composé dans le tube en cuivre se vaporise [10]. La partie gazeuse du composé occupe un plus grand volume interne, et sa partie liquide est décalée vers le côté ombragé.

Cette opération de transfert de masse ajuste l'équilibre du panneau PV en le faisant tourner vers la source des rayons solaires.

Ce type de suiveur ne consomme aucune énergie pour le repositionnement du panneau

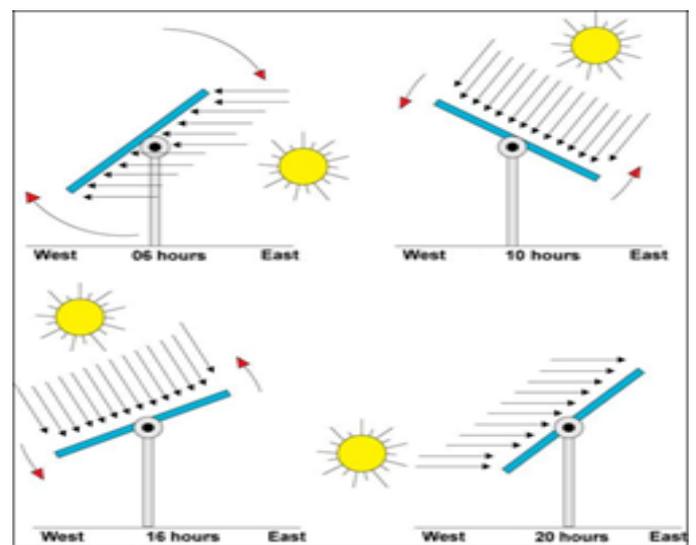


Figure II.2 : Suiveur passif [10].

II.2.2. Suiveur actif :

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

Il existe deux grandes techniques pour assurer le suivi et c'en tenant compte de la précision voulue. L'une repose sur le calcul de la position du soleil en se basant sur les équations géométriques et astronomiques prédéfinies et qui nécessite une intervention manuelle pour modifier la latitude du site, la date du jour et l'heure. Cette technique est dite la méthode astronomique du fait que la position est directement fonction du parcours solaire préprogrammé

L'autre méthode est dite active, permanente ou asservie vu que les algorithmes adoptés sont basés sur des capteurs de lumière, photorésistances pour déterminer la position du soleil à tout moment, permettant ainsi un suivi instantané et notamment une orientation optimale du panneau [10].

(C'est vers cette dernière que va orienter notre travail, en réalisant un système de poursuite automatique)



Figure II.3 : Suiveur solaire automatique.

II.2.3. Les différents systèmes de suiveur solaire (selon l'axe) :

Le rendement des panneaux solaires peut être amélioré en suivant deux logiques. La première consiste à suivre l'azimut (c'est-à-dire la course du soleil), les panneaux doivent donc suivre le soleil d'Est en Ouest. La deuxième consiste à améliorer l'incidence des rayons solaire en ajustant la hauteur des panneaux. L'incidence des rayons solaires dépend des saisons (en hiver le soleil est en moyenne plus bas qu'en été) et de l'heure de la journée [11].

Les différents types de suiveurs rencontrés sur le marché sont les suivants :

II.2.3.1 Un Suiveur à axe horizontal :

Ce type de suiveur n'apporte que très peu de gain par rapport à un système fixe. Il est plus intéressant d'utiliser des suiveurs à un axe vertical (voir figure 2.2). En revanche, sa conception

est la plus simple de l'ensemble des suiveurs, il faudrait qu'un suiveur permettant une plage d'inclinaison allant de 10 à 30° pour obtenir la meilleure solution.

Cependant, le gain resterait assez faible : de l'ordre de 2,2% (ce gain ne compense pas le surcoût) [11].

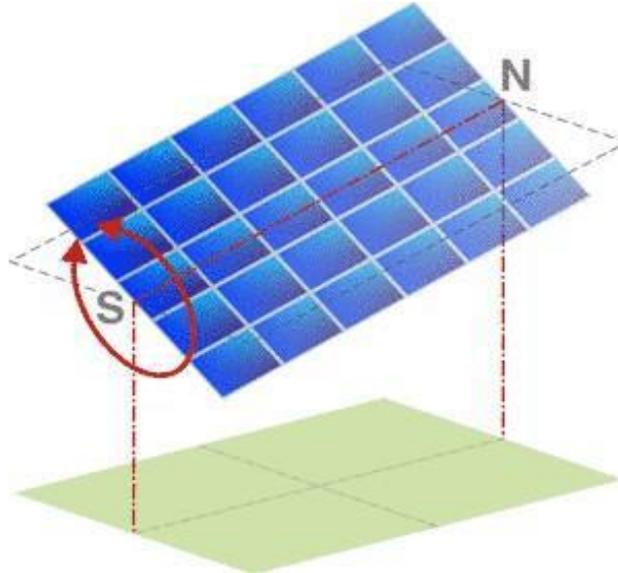


Figure II.4 : Suiveur à axe horizontal [11].

II.2.3.2 Suiveur à axe vertical incliné :

Ce type de suiveur permet un gain d'environ 20%. Il est souvent moins imposant que les suiveurs à 2 axes, moins coûteux et permet d'installer plus de puissance sur un terrain donné comparé aux 2 axes [11].

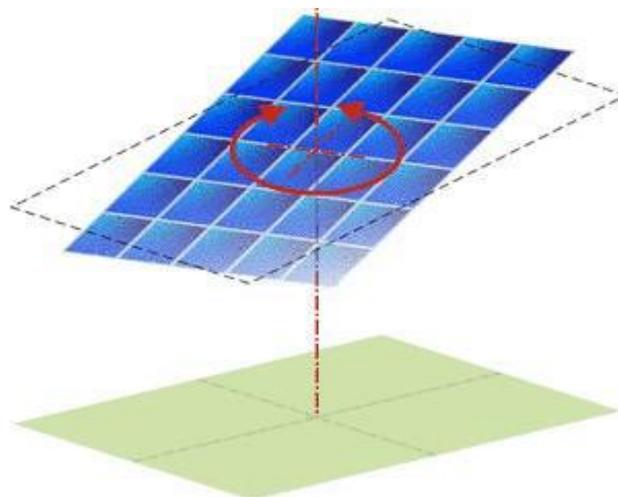


Figure II.5 : Suiveur à axe vertical incliné [11].

II.2.3.3 Suiveur à deux axes :

Les suiveurs à deux axes permettent un gain d'environ 30%. Ce type de suiveur est très imposant et visible de loin il permet l'orientation du panneau sur les 02 axes [11].

(Sur ce type qu'on a basé notre projet)

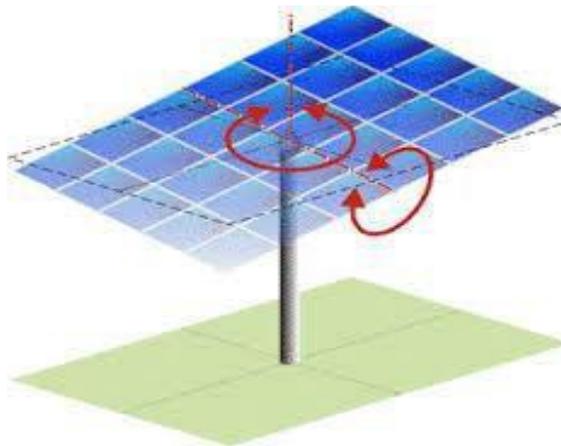


Figure II.6 : Suiveur à deux axes [11].

II.2.4 la différence entre l'installation avec suiveur et l'installation fixe :

-Augmentation de la productivité énergétique des panneaux :

Les suiveurs peuvent absorber un maximum de lumière solaire tout au long de la journée, ils produisent de 30 à 40% de plus que des installations de même tailles et de même puissances installées sur des toits dans des conditions optimales [12].

-La meilleure rentabilité :

Le bon rendement du côté financier est lié forcément à la bonne productivité énergétique c'est pour cela, une installation équipée d'un système de poursuite solaire peut augmenter le taux de son rendement de 30% à 40% par rapport à une installation fixe qui augmente à son tour les bénéfices financiers. La figure II.7 représente le rendement d'une installation fixe et installation avec suiveur « bi-axial et mono-axial » [12].

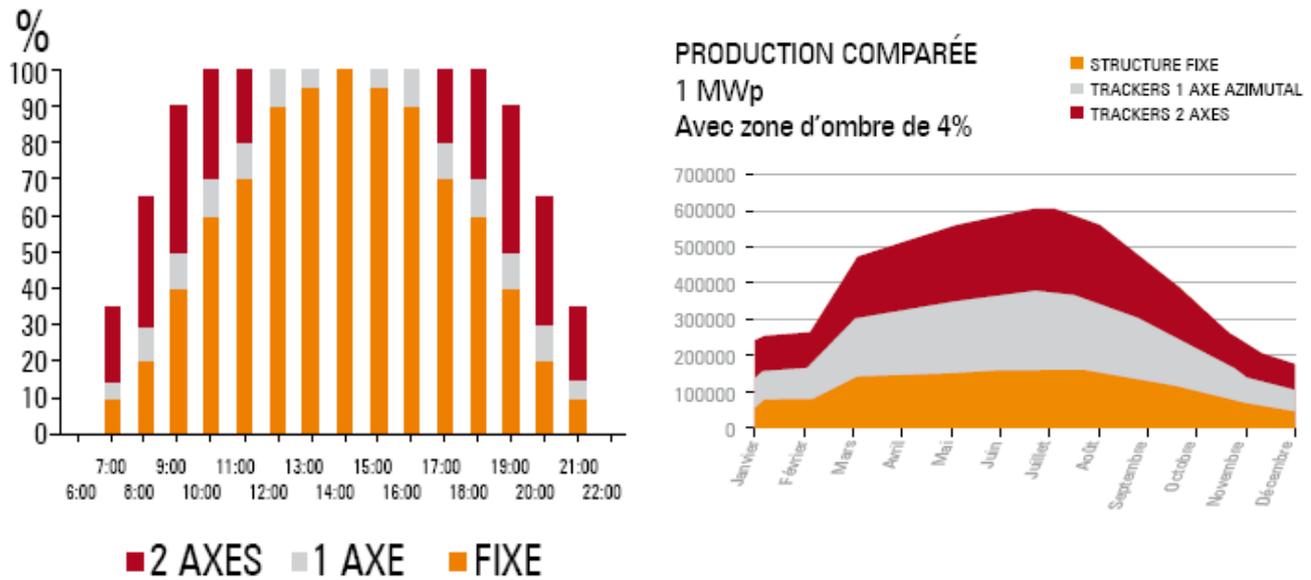


Figure II.7 : Comparaison Production électrique [12].

II.2.5 les moyens de contrôle de l'augmentation d'énergie par traqueur :

Le gain d'un Traqueur est différent à chaque installation, Il existe plusieurs moyenne pour contrôler le niveau de la production d'électricité pour un Traqueur solaire, on distingue plusieurs facteur [12] :

- La latitude du site d'installation.
- L'ensoleillement et la climatologie du site.
- La course angulaire de suivi solaire.
- La fréquence de positionnement.
- La densité de puissance installée et le facteur d'ombre induit.
- Les gains (non comptabilisés) de repli par temps de neige qui peuvent être très importants

II.2.6 Les avantages et inconvénient de suiveur :**Avantage :**

- Plus de 40 % de production.
- Augmente le nombre de cas d'implantation quand les solutions classiques ne sont pas possibles.
- Peut valoriser les espaces de terrains perdus.
- Ils s'adaptent pour capter un maximum de lumière du soleil tout au long de la journée.
- Dès lors, il n'est pas étonnant que les suiveurs produisent 40 à 50 % de plus qu'une installation de même taille ou de même puissance installée sur un toit dans des conditions optimales. Le petit moteur du suiveur consomme moins d'énergie (environ 180 W) qu'une ampoule de 100 W qui resterait allumée toute la journée.
- En réalité, le moteur ne fonctionne qu'une demi-heure à une heure par jour. Un automate programmé permet de démarrer et d'arrêter le moteur quand cela est nécessaire. Le suiveur ne bouge pas de manière continue. Il fait une rotation de 5 à 15 degrés (en fonction des saisons) pour se positionner idéalement face au soleil [13].

Inconvénients :

- Encombrant et demande un grand terrain.
- Risque de panne du suiveur, l'intervention est difficile ou délicate [13].

II.3. Système de refroidissement panneau solaire

Le panneau photovoltaïque (PV) absorbe seulement environ 16% de l'énergie solaire incidente qui est convertie en électricité. L'efficacité des cellules photovoltaïques diminue lorsque la température augmente. Cela peut généralement donner lieu à une perte du rendement de 0,5% par 1°C d'accroissement de la température de fonctionnement de la cellule. Étant donné que, par exemple, les cellules solaires de silicium sont caractérisées à 1000W/m² et 25°C comme température idéale pour la cellule, en maintenant la température de la cellule à 25 °C peut conserver l'efficacité nominale de la cellule. Les cellules subiront également une dégradation à long terme si la température dépasse une certaine limite [14].

Ce problème peut être évité en maintenant une température uniforme dans tout le panneau. La circulation d'air naturelle ou forcée est une méthode simple et peu coûteuse pour évacuer la chaleur à partir des modules du PV, mais elle est moins efficace si la température de l'air ambiant dépasse 20 °C, comme il est habituel pour de nombreux mois dans les pays à basse latitude [14].

Une autre façon, plus efficace est d'utiliser un liquide comme fluide de refroidissement du panneau, afin d'absorber plus de chaleur et de refroidir le panneau de manière plus efficace [14].

II.3.1 Refroidissement de PV a air :

Le passage de flux d'air à travers un panneau photovoltaïque permet de diminuer sa température, plusieurs dispositifs ont été mis sur le marché « panneau Aerovoltaïque »

(Figure II.8).



Figure II.8 : Panneau Aerovoltaïque.

Le panneau Aerovoltaïque est un dispositif qui utilise l'air comme fluide de refroidissement (figure II.8) qui circule par ventilation naturelle à l'intérieur du panneau et refroidit les cellules photovoltaïques.

L'inconvénient de ce dispositif est si le flux du vent change sa direction ou bien il est nul, le dispositif ne sera plus fonctionnelle ce qui impose d'ajouter une ventilateur pour assurer le passage d'air à travers le panneau (ventilation forcer).

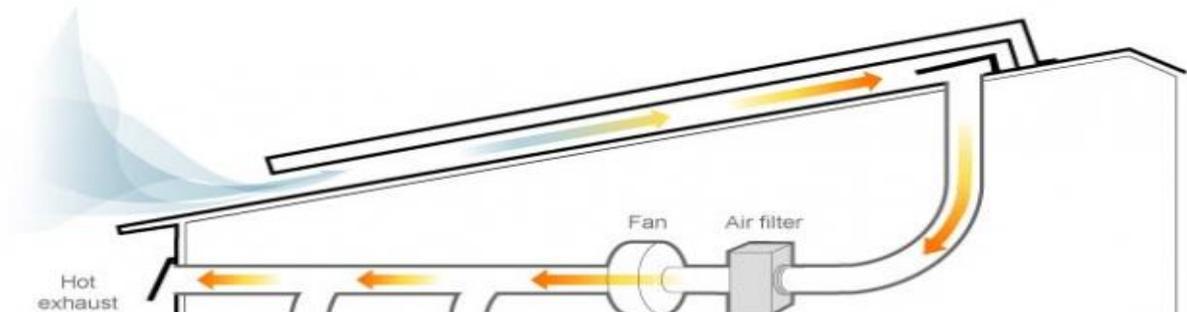


Figure II.9 : Refroidissement à ventilation forcer

II.3.2 Système de refroidissement à eau :

Système de refroidissement a eau pour panneaux solaires, c'est un système qui permet de maintenir la température idéal pour le bon rendement du panneau solaire

(La perte de rendement au-delà de 25°C est de 0,5% par degrés C, ce qui donne 25% de perte pour un panneau a 75°C . Et en été) [14].

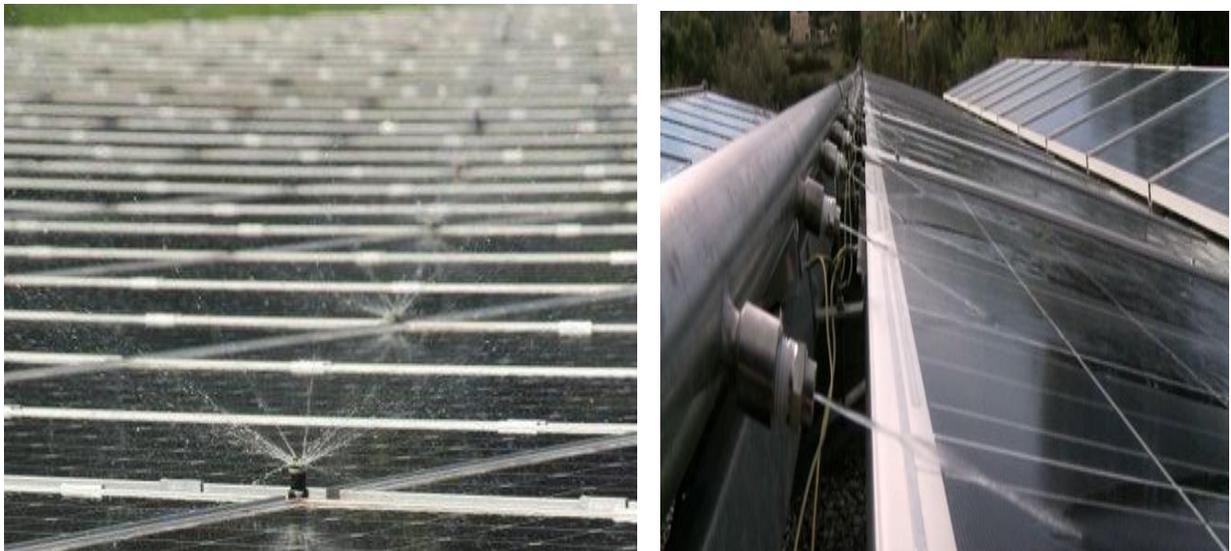


Figure II.10 : Panneau solaire refroidie.

II.3.2.1 Principe de fonctionnement :

À l'aide d'une pompe à eau, permettant d'envoyer de l'eau dans des tuyaux, la déposant ainsi sur les panneaux afin d'abaisser la température.

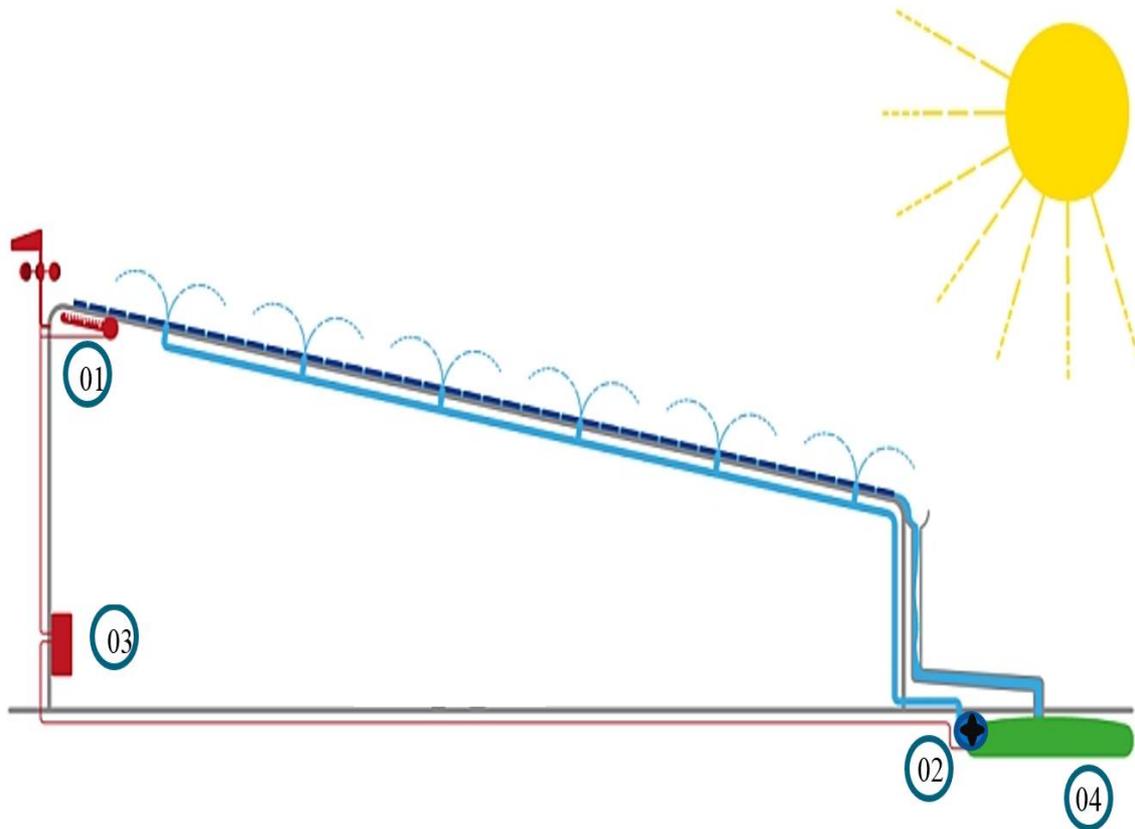


Figure II.11 : Système de refroidissement.

Ce système est composé de : (figure II.11)

1. capteur de température : sert à mesurer la température du panneau solaire
2. pompe à eau : permettant d'envoyer de l'eau dans des tuyaux vers le panneau pour les refroidir
3. Microcontrôleur qui sert à l'acquisition et traitement des données du capteur de température et donne l'ordre du démarrage et l'arrêt de la pompe à eau
4. Réservoir : stockage d'eau

En théorie, la consommation de la pompe sera largement amortie par le gain de puissance.

Le tout sera également automatisé grâce au microcontrôleur, un capteur de température mesurant la température des panneaux. Lorsque la température s'élève, le système démarre automatiquement sans intervention humaine.

II. 4. NETTOYAGE ET ENTRETIEN DES PANNEAUX SOLAIRES :

Les saletés et la poussière qui s'accumulent sur les panneaux solaires peuvent impacter sur leurs performances.

Diverses études de fabricants ont démontré que leur rendement pouvait même diminuer jusqu'à 15% annuellement, à cause de ces débris qui s'y encrassent. Un bon entretien optimisera donc leur fonctionnement et leur production d'énergie électrique. Et il n'y a pas que la productivité qui est en jeu, mais aussi la durée de vie de votre panneau solaire, qui pourrait se voir écourter considérablement [w8].

En outre le système qu'on a mis au point permet un refroidissement et un nettoyage pour une production maximale



Figure II.12 : différence entre panneau encrassé et panneau nettoyé.

II.5. ETUDE ET INTERPRETATION DES DISPOSITIVES EXISTANT

La technologie des panneaux photovoltaïques traceur n'est pas nouvelle, beaucoup de recherche ont été menées et différentes techniques employées pour résoudre le problème de panneaux photovoltaïques fixes, beaucoup de concepts ont vu le jour

On a effectué des études sur plusieurs projets et prototypes qui ont été réalisés dans ce domaine afin de rendre notre prototype plus fiable et performant.

1/ Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Magister en électronique « Conception et réalisation d'un système de Suiveur Solaire » U.S.T.O (08/02/2011)

- Analyse :

Ce projet est basé sur un système mécanique très complexe composé de :

- Deux Vérins (déplacement linéaire)
- Deux Roulements de déplacement horizontal et vertical
- Deux photos cellules pour la détection de la lumière
- Des supports en aluminium

- Problématique :

Ce système est peu fiable et demande une maintenance régulière et changement des composants mécaniques ce qui influe sur le coût

- Solution :

Remplacement des composants mécaniques par des composants électriques afin de réduire le nombre des composants utilisés et éviter la défaillance mécanique

2/ Projet de fin d'études Pour l'obtention du diplôme de Master en Domaine SCIENCE ET TECHNOLOGIE Spécialité : Commande Des systèmes Electriques « Etude et réalisation d'un système de production d'énergie électrique par des panneaux photovoltaïques » CENTRE UNIVERSITAIRE AIN TEMOUCHENT 2016/2017

- Analyse :

Ce prototype utilise une technologie plus récente basée sur :

- Deux moteurs (assurent le déplacement en deux axes)
- Quatre photorésistances LDR pour la détection de la lumière émise du soleil

- Carte électronique programmable (ARDUINO) sert à contrôler les moteurs

Ce système présente plus d'avantage il est plus compacte plus résistant demande juste une maintenance préventive

- Problématique :

L'inconvénient de ce système réside dans leur forte exposition au soleil qui engendre la hausse de la température de panneaux photovoltaïque à cette effet le rendement de panneaux photovoltaïque baisse

- Solution :

Pour avoir une production des panneaux photovoltaïque optimale nous avons opté pour un système de refroidissement à eau composé de :

- Pompe à eau (sert à l'injection de l'eau sur le panneau solaire)
- Capteur de température

Ces composants sont connectés à une carte électronique programmable afin de rendre notre système plus fiable

II.6. CONCLUSION :

Ce chapitre nous a permis de comprendre le principe de fonctionnement des deux systèmes ; suiveur et refroidissement ainsi les composants de chaque système. Cette étude nous sera utile pour la conception et la réalisation de notre prototype panneau solaire.

L'intégration des mécanismes des deux systèmes suiveur-refroidissement dans un panneau solaire apporte des avantages énergétiques très considérables par rapport panneaux solaire fixes.

CHAPITRE III :

Conception et Réalisation Du dispositif

III.1 INTRODUCTION :

Dans ce chapitre nous allons réaliser un panneau solaire intelligent « qui suit automatiquement le mouvement du soleil durant la journée et qui est doté d'un système de refroidissement ». Ce système assure une augmentation optimale du rendement du panneau solaire

Ce chapitre est repartie en deux parties la première a été concrétisée par la présentation des différents outils utilisés pour la réalisation de notre prototype en justifiant le choix des composants, ainsi le logiciel utilisé « ARDUINO ».

Dans la deuxième partie nous avons donné le coté réalisation de notre projet

Pour cela on vous présentera l'ensemble du dispositif expérimental que nous avons réalisé et les étapes de réalisation du notre prototype.

- Outils de développement ; là où on va présenter les composants du dispositif, ces fonctionnements et on justifiant notre choix du composant
- Logiciels utilisés « ARDUINO », « Fritzing » (voir annexe)
- Test des composants
- Réalisation du prototype panneau solaire

III.2 OUTILS DE DEVELOPPEMENT :

III.2.1 Composants du notre prototype :

Les composants sont à base électronique, Chaque élément est caractérisé selon les conditions d'utilisation.

III.2.1.1 Présentation de la Carte ARDUINO UNO :

Très simple à utiliser, elle se programme et peut s'utiliser directement en la connectant à un ordinateur sous OS Windows, Mac ou Linux.

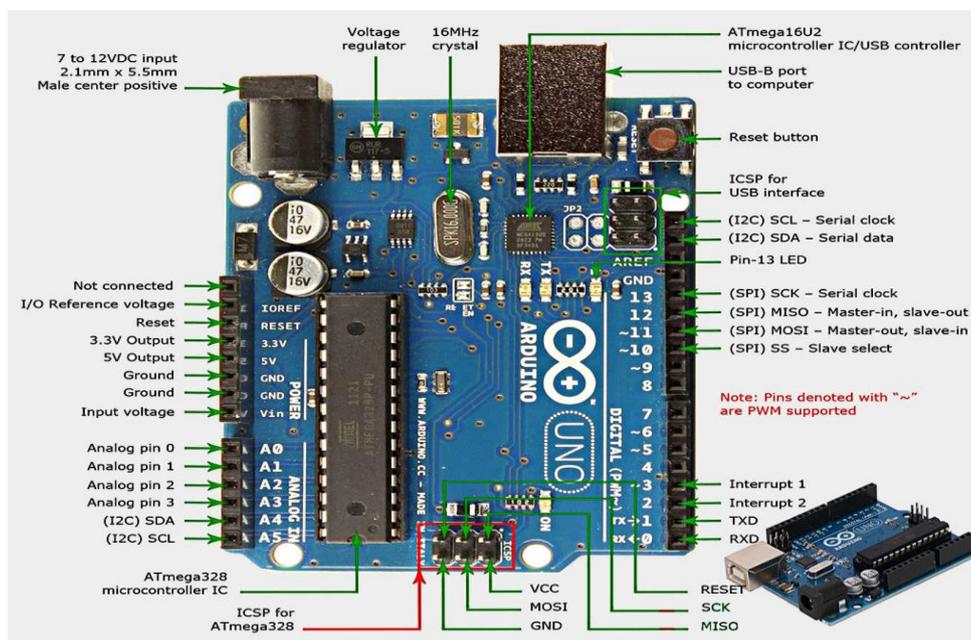


Figure III.1 : carte ARDUINO

➤ Les Caractéristiques de la carte ARDUINO UNO :

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

- Dimensions = 68.6mm x 53.3mm
- L'interface USB /série.

➤ Le microcontrôleur :

Un microcontrôleur ATMEGA 328T-PU est un petit processeur informatique relié à des entrées et des sorties numériques (0 ou 1) ou analogiques (tension variable). Il est capable de mémoriser et d'exécuter un programme visant à interpréter les entrées pour agir sur les sorties. Il se programme en général à l'aide d'un ordinateur mais peut fonctionner de manière autonome. Ils sont en général programmés en C/C++ et nécessitent des connaissances approfondies en électronique. Mais des différences peuvent apparaître pour des fonctions plus complexes [1].

➤ L'alimentation électrique :

Commençons par la tension d'alimentation, car sans elle, rien n'est possible. Il existe différentes possibilités. Quand nous travaillons avec Arduino ou que nous le programmons, il est indispensable d'établir une connexion USB avec l'ordinateur. Cette liaison assure deux fonctions :

- transmettre l'indispensable tension d'alimentation de 5 V ;
- offrir un canal de communication entre l'ordinateur et la carte Arduino.

Les deux fonctions sont remplies par le port USB

La tension d'alimentation doit être comprise entre 7 et 12 V CC

(CC = courant continu). Vous trouverez de plus amples informations [15].

➤ Entrées/sorties :

C'est par ces connexions que le microcontrôleur est relié au monde extérieur.

Une carte Arduino standard est dotée de :

- 6 entrées analogiques.
- 14 entrées/sorties numériques dont 6 peuvent assurer une sortie PWM

Les entrées analogiques lui permettent de mesurer une tension variable (entre 0 et 5 V) qui peut provenir de capteurs ou d'interfaces divers (potentiomètres, etc.). Les entrées/sorties numériques reçoivent ou envoient des signaux « 0 » ou « 1 » traduits par 0 ou 5 V. On décide du comportement de ces connecteurs (entrée ou sortie) en général dans l'initialisation du programme mais il peut être aussi changé dans le corps du programme [15].

III.2.1.2 Résistances :

Quatre résistances de 10 k Ω sont utilisées afin de protéger les entrées de la carte d'interface.



Figure III.2 : Résistance 10k

III.2.1.3 Résistance à la lumière LDR :

Une photo-résistance est un composant dont la valeur en ohms dépend de la lumière à laquelle il est exposé. On la désigne aussi par LDR (Light Dependent Resistor = résistance dépendant de la lumière)

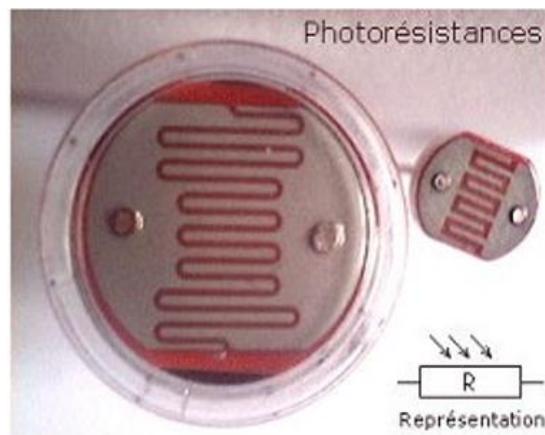


Figure III.3 : photorésistance LDR

➤ Caractéristiques :

La résistance photosensible est la résistance d'un matériau semi-conducteur, la variation de conductivité avec l'intensité lumineuse varie.

L'utilisation de cette fonction fonctionnera avec différentes formes et zones de réception de lumière de la résistance photosensible.

La photorésistance est largement utilisée dans les jouets, les lampes, les caméras et autres industries.

- Modèle : GL5528
- Tension maximale : 150V, DC
- Puissance maximale : 100mW
- Température de fonctionnement : $-30^{\circ}\text{C} \sim 70^{\circ}\text{C}$
- Pic spectral : 540nm
- Résistance lumineuse (10Lux) ($\text{K}\Omega$) : 10 - 20
- Résistance foncée : 1 $\text{M}\Omega$
- Temps de réponse : 20ms (Rise), 30ms (Down)

(Justification du choix : faible cout, disponibilité)

III.2.1.4 Mini panneau solaire :

Le panneau solaire est destiné à récupérer l'énergie du rayonnement solaire pour la transformer en énergie électrique.



Figure III.4 : Panneau solaire.

- Caractéristique du panneau
 - Taux de conversion élevé, rendement élevé
 - Excellent effet de lumière faible
 - Puissance : 1.1W
 - Tension : 6V
 - Matériau : Silicium polycristallin (voir chapitre I)
 - Faible cout

III.2.1.5 Mini servo 9G SG-90:

Un servomoteur est un système qui a pour but de produire un mouvement précis en réponse à une commande externe, C'est un actionneur (système produisant une action) qui mélange l'électronique, la mécanique et l'automatique.

Un servomoteur est composé :

- - d'un moteur à courant continu
- - d'un axe de rotation
- - un capteur de position de l'angle d'orientation de l'axe (très souvent un potentiomètre)
- - une carte électronique pour le contrôle de la position de l'axe et le pilotage du moteur à courant continu

Un servomoteur est capable d'attendre des positions prédéterminées dans les instructions qui lui on était donné, puis de les maintenir.

Le servomoteur à l'avantage d'être asservi en position angulaire, cela signifie que l'axe de sortie du servomoteur respectera la consigne d'instruction que vous lui avez envoyée en son entrée.

Même si un obstacle si tiens sur la route, qui viendrait à lui faire changer l'orientation de sa trajectoire, le servomoteur essaiera de conserver la position [w9].



Figure III.5 : servomoteur SG-90.

➤ Principe de fonctionnement :

Le fonctionnement interne d'un servomoteur est assez basique. Un petit circuit électronique permet de contrôler un moteur à courant continu en fonction de la position d'un potentiomètre intégré au servomoteur.

La sortie du moteur à courant continu est reliée mécaniquement à une série d'engrenages qui augmente la force (le couple) du servomoteur en réduisant la vitesse de rotation de celui-ci. Quand le moteur tourne, les engrenages s'animent, le bras bouge et entraine avec lui le potentiomètre. Le circuit électronique ajuste continuellement la vitesse du moteur pour que le potentiomètre (et par extension le bras) reste toujours au même endroit [w9].

➤ Les caractéristiques du SG90 sont les suivantes :

- Dimensions : 22 x 11.5 x 27 mm.
- Poids : 9 gr.
- Tension d'alimentation : 4.8v à 6v.
- Vitesse : 0.12 s / 60° sous 4.8v.
- Couple : 1.2 Kg / cm sous 4.8v.
- Amplitude : de 0 à 180°.

Le servomoteur est équipé d'une prise de type Graupner à 3 fils.

La correspondance des fils est la suivante :

Marron	→	Masse
Rouge	→	+5 volt
Orange	→	Commande

(Voir figure III.6)



Figure III.6 : Câble servomoteur.

(On a choisi ce servomoteur suite à sa disponibilité sur le marché, faible cout, faible tension d'alimentation et couple élevé. Cela le rendre un choix idéal pour notre prototype).

III.2.1.6 Micro pompe à eau :

Une pompe à eau est une pompe qui permet la mise en mouvement de l'eau



Figure III.7 : Pompe à eau USB.

➤ Les caractéristiques :

- Débit est réglable avec bouton en face de la pompe
- Tension d'entrée : DC 3.5-9 v
- Puissance : 1-3 w
- Débit : Max. 200L/H
- Hmax. : 1.3-4.9 pieds/0.4-1.5 mètres
- Diamètre de sortie : Env. 8mm
- Dimension (L x P x H) : Env. 3.7x3.3x2.7 cm/1.5x1.3x1.1 pouces
- Composé de deux files : rouge = VCC (+) / noir = GND (-)

On a choisi cette pompe suite à sa disponibilité sur le marché, faible cout, faible tension d'alimentation. Cela la rendre un choix idéal pour notre prototype

III.2.1.7 Module de relais déclencheur 5v :

Un relais électronique est un interrupteur qui se commande avec une tension continue de faible puissance. La partie interrupteur sert à piloter des charges secteur de forte puissance (jusqu'à 10A couramment).



Figure III.8 : Module de relais déclencheur 5v

➤ Description :

- capacité de conduite et des performances stables
- Le module peut être haut ou bas à l'aide d'un déclencheur de réglage de cavalier
- Conception à tolérance de pannes, même si la ligne de commande est cassée, le relais ne fonctionnera pas
- L'indicateur d'alimentation (vert), l'indicateur d'état du relais (rouge)
- Charge maximale : 250V CA / 10A, 30V CC / 10A
- Courant de déclenchement : 5mA
- Tension de travail : 5V
- DC + : alimentation positive (VCC)
- DC- : alimentation négative (GND)
- IN : peut-être un relais de contrôle de niveau haut ou bas
- NON : interface de relais normalement ouverte
- COM : relais d'interface commune
- NC : interface de relais normalement fermée
- Il s'agit d'un déclencheur de niveau bas lorsque le cavalier se connecte à la broche LOW.
- Il s'agit d'un déclencheur de haut niveau lorsque le cavalier se connecte à la broche HIGH.

III.2.1.7 Capteur de température étanche DS18B20 :

Les sondes de température (ou *capteurs de température*) sont des dispositifs permettant de transformer l'effet du réchauffement ou du refroidissement sur leurs composants en signal électrique



Figure III.9 : Capteur de température étanche DS18B20.

- Caractéristiques
- Fonctionnalités : la résistance de la flexibilité, une meilleure conductivité thermique.
- Longueur du câble : 200 CM
- la taille de la gaine en acier inoxydable : 6 x 50mm
- plage d'alimentation : 3.0V à 5.5V
- Température de fonctionnement : -55 °C à + 125 °C (-67 ° F à + 257 ° F)
- plage de température de stockage : -55 °C à + 125 °C (-67 ° F à + 257 ° F)
- précision sur la plage de -10 °C à + 85 °C : ± 0.5 °C.
- application : commandes thermostatiques ; systèmes industriels ; des produits de consommation ; thermomètres ; un système thermosensible.
- Brancher : rouge (VCC), jaune (DATA), noir (GND)

(Justification du choix : faible cout, disponibilité, Étanchéité)

III.3 Réalisation du dispositif

III.3.1 Cahier des charges :

- ✓ L'asservissement de notre suiveur solaire sera alimenté par la carte ARDUINIO (5v) cette dernière sera alimenté par PC (sortie USB) qu'il est sensé maintenir en charge

« Dans le cas réel on remplace l'alimentation via le PC par une batterie, cette dernière sera rechargé par le panneau solaire ce qui le rend indépendant. »

- ✓ Il faudra limiter au maximum les déplacements (lorsqu'un passage du nuage devant le soleil) en augmentant le délai d'exécution interaction au niveau de la programmation
- ✓ On devra pouvoir protéger le panneau l'été contre le rayonnement excessif du soleil, (chaleur) en utilisant un système de refroidissement automatique

III.3.2 Les étapes de la Réalisation :

Afin de réaliser notre prototype on est passé par trois étapes

III.3.2.1 Réalisation système suiveur

- ❖ Test LDR



Valeur LDR dans l'ombre



Valeur LDR sous éclairage

Figure III.10 : la variation de la résistance du LDR par rapport l'éclairage.

- ✓ Le montage des LDR dans notre système suiveur (voir figureIII.10)

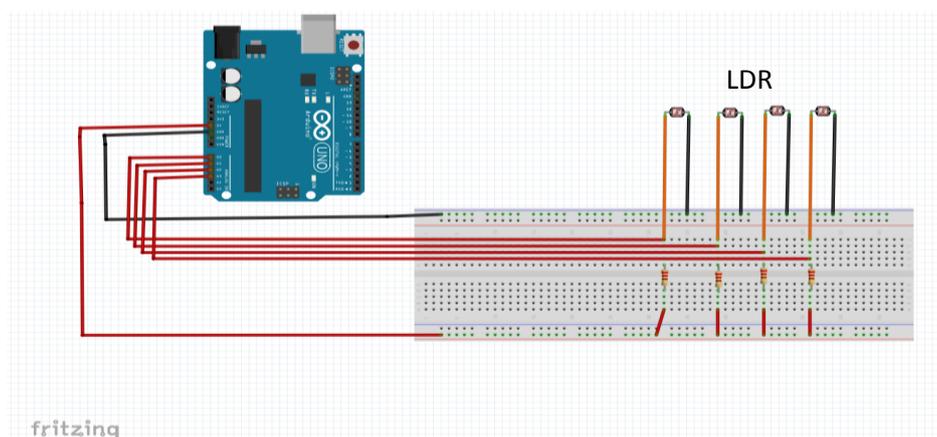


Figure III.11 : Brochage des LDR à l'Arduino.

- ❖ Tester le fonctionnement des servomoteurs
 - ✓ On réalise le montage suivant (figure III.12)

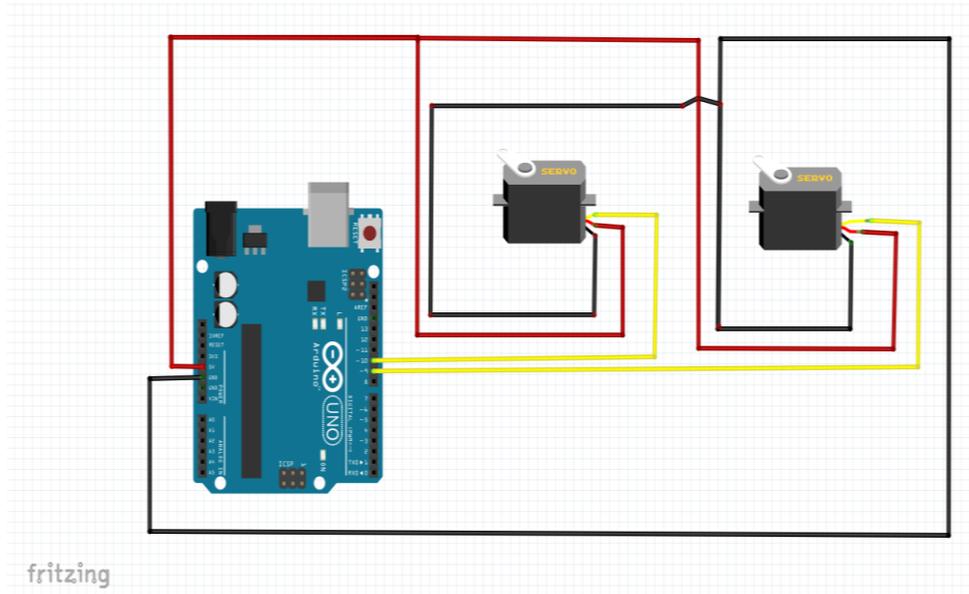


Figure III.12 : Montage Circuit électrique des servomoteurs.

- ❖ On injecte le programme de teste qui se situe dans la bibliothèque des exemples Arduino >Fichier > Exemples> Servo> Sweep (voir figure III.12)

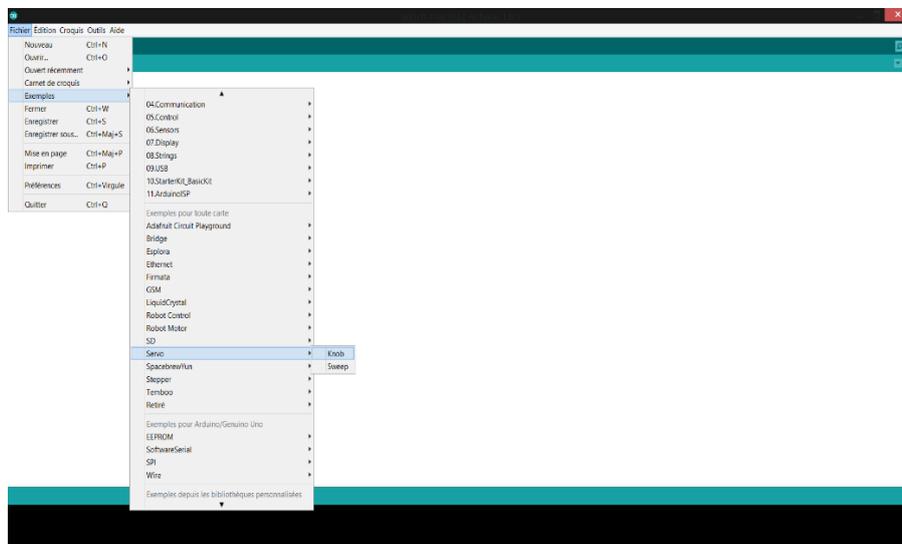


Figure III.13 : les étapes à suivre pour test servomoteur.

```

Fichier Édition Croquis Outils Aide
Knob
Controlling a servo position using a potentiometer (variable resistor)
by Michal Rinott <http://people.interaction-ivrea.it/m.rinott>

modified on 8 Nov 2013
by Scott Fitzgerald
http://www.arduino.cc/en/Tutorial/Knob
*/

#include <Servo.h>

Servo myservo; // create servo object to control a servo

int potpin = 0; // analog pin used to connect the potentiometer
int val; // variable to read the value from the analog pin

void setup() {
  myservo.attach(9); // attaches the servo on pin 9 to the servo object
}

void loop() {
  val = analogRead(potpin); // reads the value of the potentiometer (value between 0 and 1023)
  val = map(val, 0, 1023, 0, 180); // scale it to use it with the servo (value between 0 and 180)
  myservo.write(val); // sets the servo position according to the scaled value
  delay(15); // waits for the servo to get there
}

```

Figure III.14 : programme Arduino pour test Servomoteur.

« Le servomoteur va de 0° à 180° ce qui assure son bon fonctionnement »

❖ Montage du système suiveur solaire

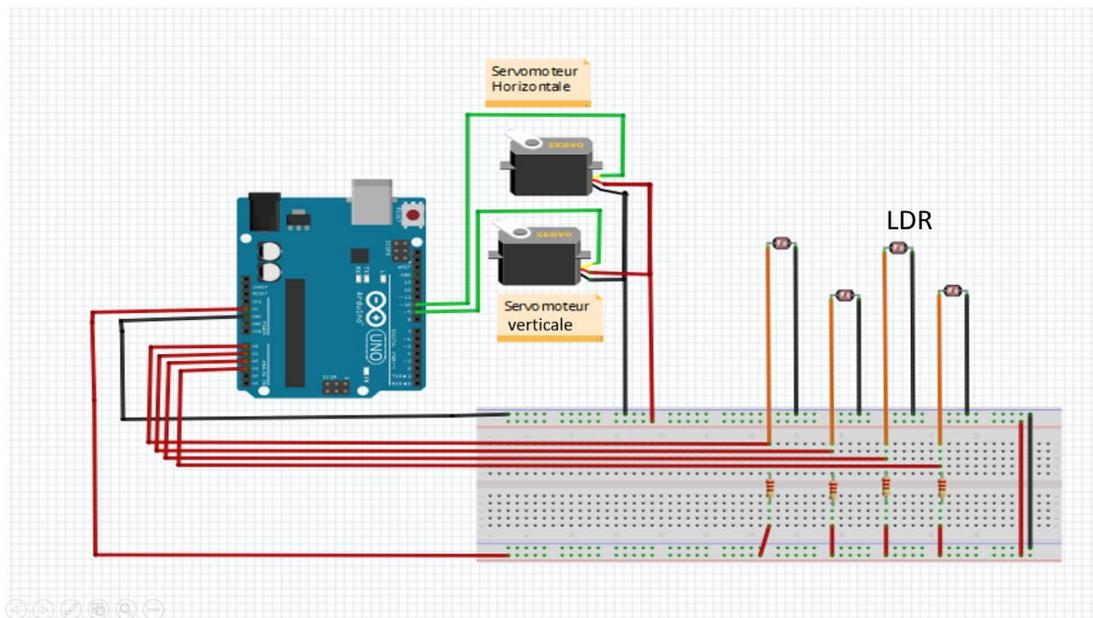


Figure III.15 : montage du Circuit électrique du système suiveur (fritzing).

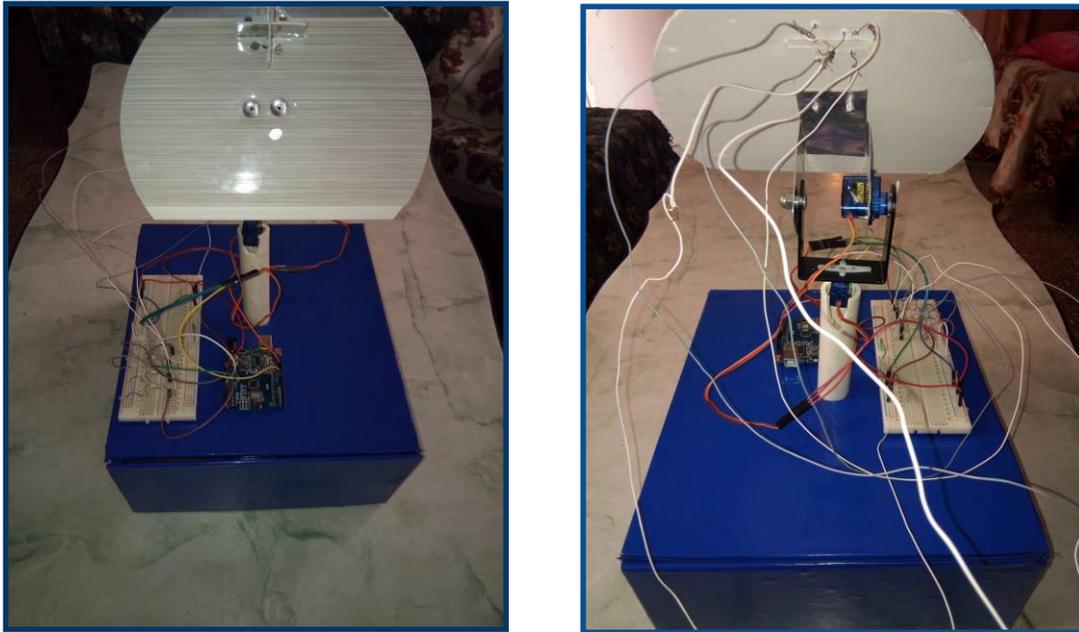


Figure III.16 : Montage réel du système suiveur solaire.

III.3.2.3. Système de refroidissement

- ❖ Principe de fonctionnement du système de refroidissement à eau :
 - ✓ Le système utilise capteur de température DS18B20 pour mesurer la température du panneau
 - ✓ Lorsque le panneau solaire s'échauffe et atteint 25°C le système se lance automatiquement en démarrant la pompe à eau
 - ✓ Le refroidissement est à base liquide (eau) stocké dans un réservoir sous terrain sous forme d'un circuit fermé
- ❖ Montage système de refroidissement (capteur température DS18B20 + Relai + pompe à eau)
Réaliser le montage suivant (figure III.17)

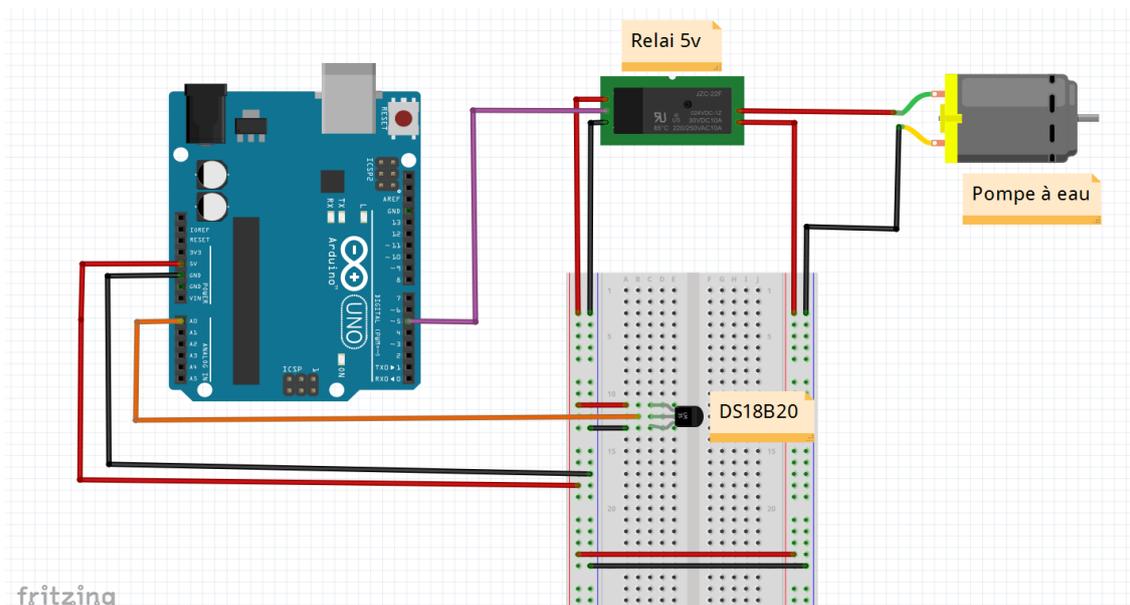


Figure III.17 : Montage système de refroidissement.

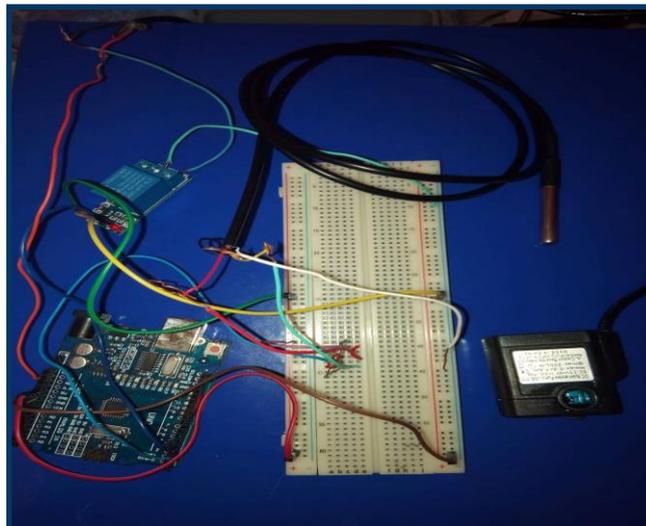


Figure III.18 : Montage réel système de refroidissement.

III.3.2.4 L'assemblage du système suiveur solaire refroidie

Montage globale (Système suiveur solaire + système de refroidissement)

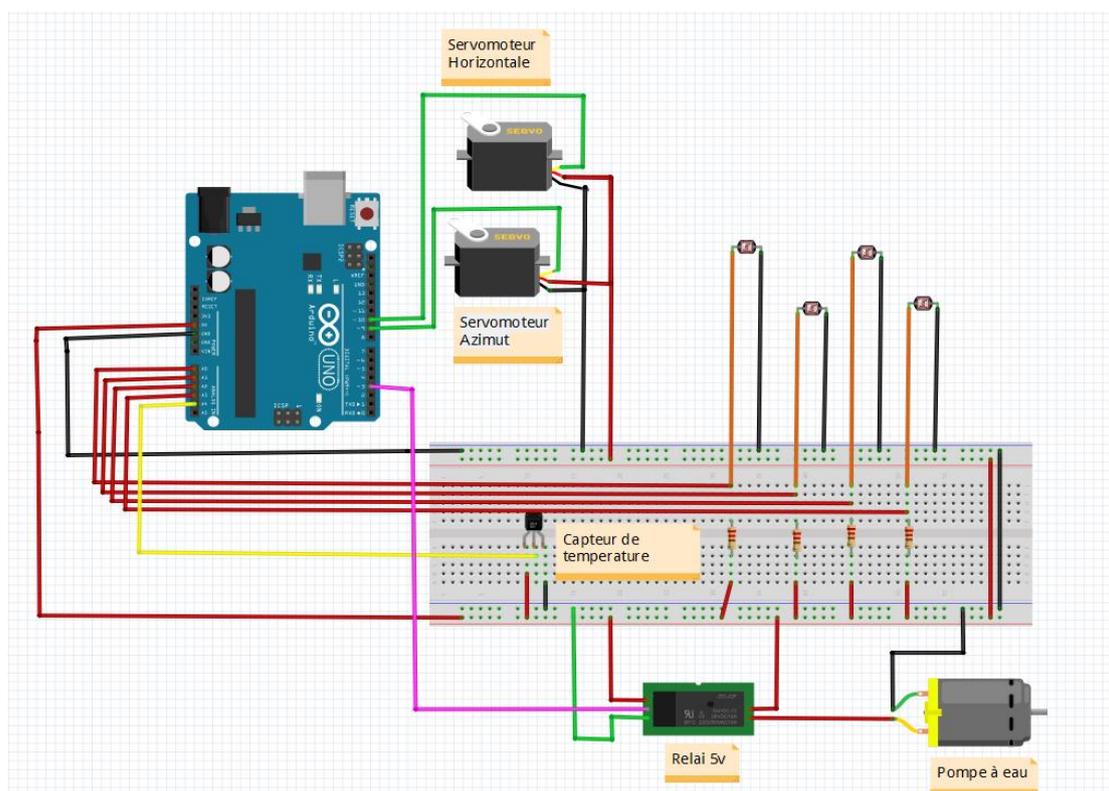


Figure III.19 : Montage globale (Système suiveur solaire + système de refroidissement)

❖ Le montage final de notre prototype

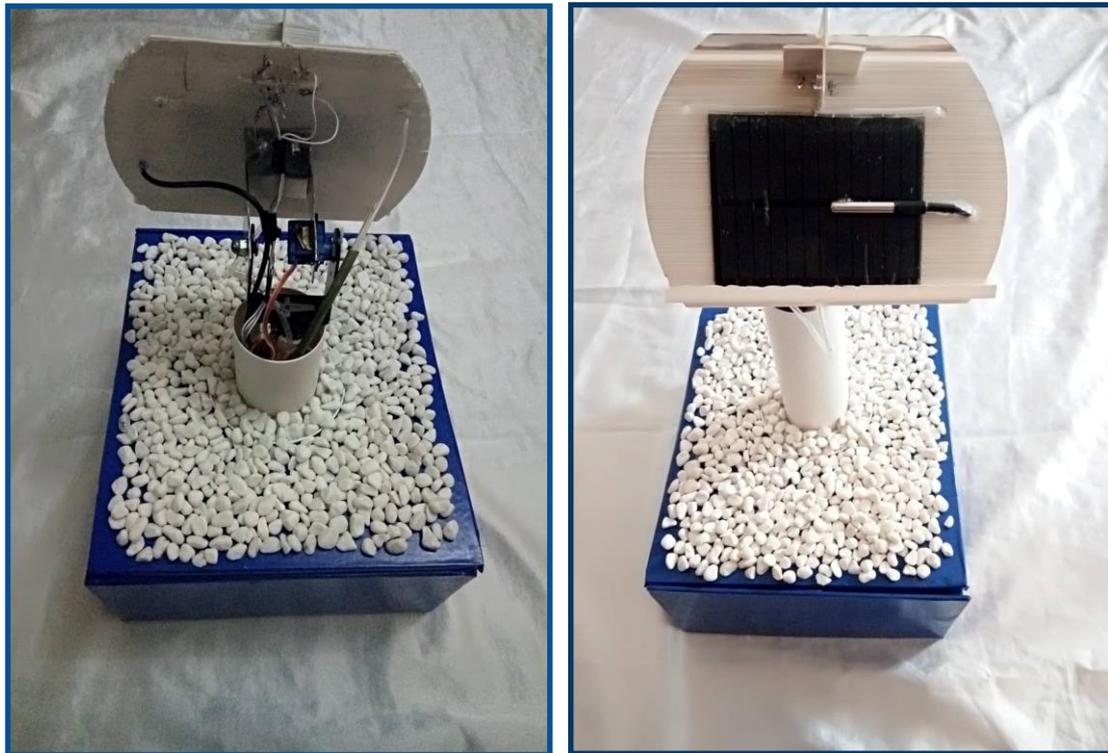


Figure III.20 : Aperçu du prototype

❖ Programme a injecter (voir annexe)

```

Fichier Edition Croquis Outils Aide
-----
SerialMon
//
// Système éclairé à deux axes + système de refroidissement
// Auteur: MUSAH Wajid badr eddine + Med Welhadi Abdelkader wajid
// Encodé par: Dr. Bejjana Fathi
// Année: 2018/2019
// Matériels Utilisés:
// 1x LDR
// 1x Résistance 10kOhm
// 2x Servomoteurs MG995
// 1x Carte Arduino Uno
// 1x Relais 5v
// 1x Pompe à eau
// 1x Capteur température
//
#include <Servo.h> // include Servo library
// 180 horizontal MAX
Servo horizontal1; // horizontal servo
int servoh = 180; // 90; // stand horizontal servo

int servohminAngle = 180;
int servohmaxAngle = 0;

// 45 degree MAX
Servo vertical1; // vertical servo
int servov = 45; // 90; // stand vertical servo

int servovminAngle = 90; // 140
int servovmaxAngle = 15;

// LDR pin connections
// name = analogPin;
int ldrPin = 0; // LDR top left - BOTTOM LEFT
int ldrPin = 1; // LDR top right - BOTTOM RIGHT
int ldrPin = 2; // LDR down left - TOP LEFT
int ldrPin = 3; // LDR down right - TOP RIGHT

void setup()
{
}
    
```

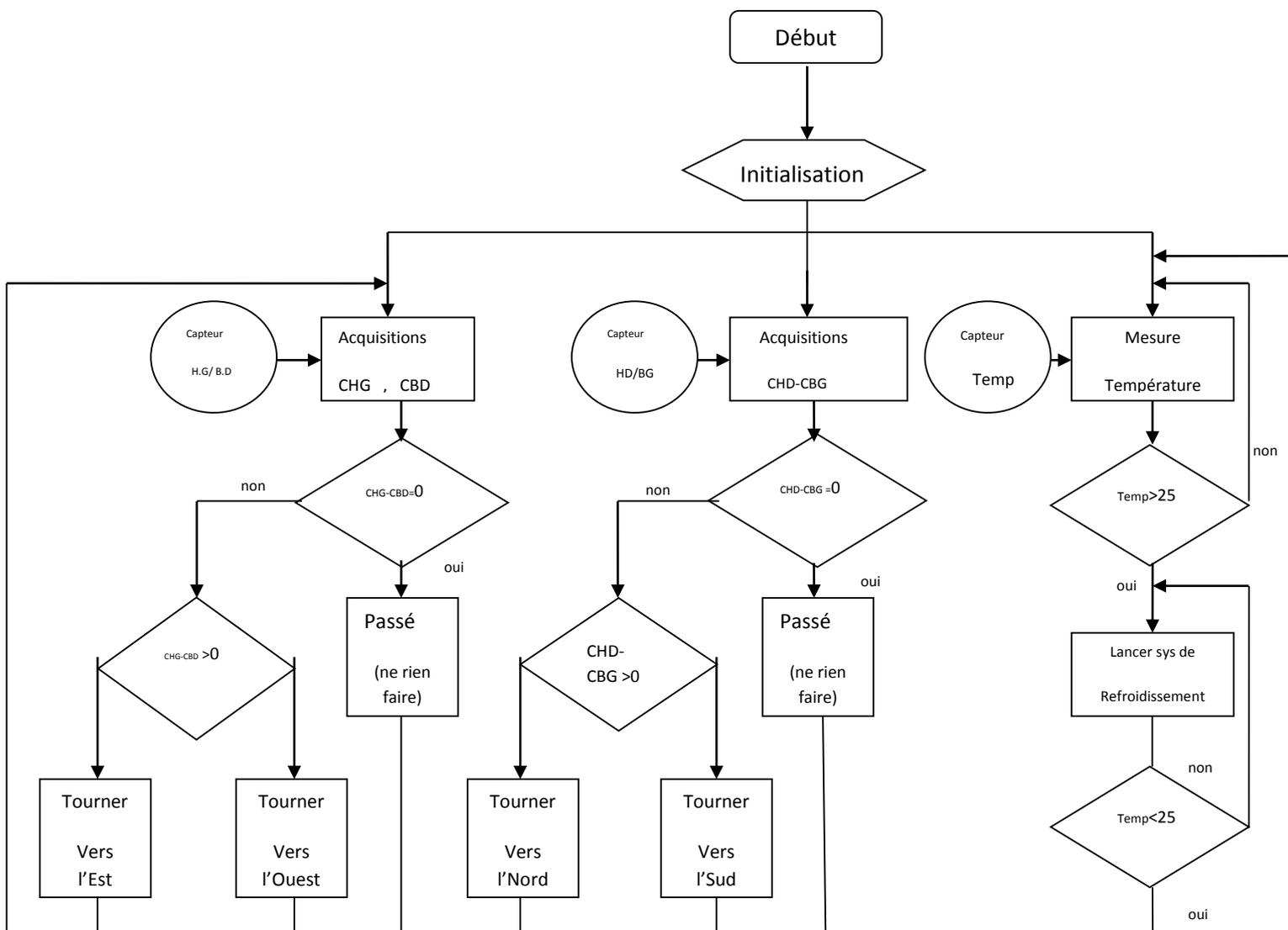
Figure III.21 : Programme Arduino du système élaboré.

III.4.PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME

Nous avons choisis l'utilisation de photorésistances écartées l'une de l'autre et déterminer l'orientation du soleil en calculant la différence d'éclairage, si par exemple la LDR haute à gauche reçoit plus de lumière que la LDR bas droit donc le servomoteur d'azimut va tourner en direction de haute à gauche pour égaliser tout ça. Le même principe s'applique sur l'axe vertical.

EN parallèle on a mis un capteur qui vas mesurer la température si elle va dépasser la consigne le système de refroidissement s'enclencher pour refroidir le panneau photovoltaïque, et il s'arrête automatiquement lorsque la température revient à la normal.

L'organigramme suivant résume le principe de fonctionnement :



Algorithme du contrôle.

III.5. EVALUATION DES RESULTATS

Type	Date	Horaires	T (Température du panneau)	V (Voltage généré) Vc.o	I (Courant court- circuit)	P (Puissance généré)	N (Rendement du panneau)	M (Rendement moyen de la journée)
Fixe (orienté vers le sud)	15/06/2019	06 :00	19°C	4.5v	0.04A	0.13W	16%	43%
		12 :00	33°C	4.2v	0.19A	0.79W	72%	
		18 :00	25°C	5.8v	0.08A	0.46W	42%	
Suiveur	16/06/2019	06 :00	19°C	5.4v	0.10A	0.54W	49%	67%
		12 :00	37°C	3.9v	0.19A	0.74W	67%	
		18 :00	25°C	5.9v	0.16A	0.94W	85%	
Suiveur Refroidi	17/06/2019	06 :00	17°C	5.3v	0.10A	0.57W	51%	81%
		12 :00	23°C	6.0v	0.19A	1.1W	100%	
		18 :00	20°C	5.9v	0.17A	1.0W	92%	

Le tableau précédent montre des mesures réelles prises de notre prototype durant trois jours d'essai et interprétation des résultats.

Les résultats montrent que malgré le système suiveur est plus performant qu'un panneau fixe vu qu'il absorbe plus d'éclairement durant la journée, mais l'exposition du panneau face au soleil durant toute la journée augmente sa température ce qui influe sur son rendement.

Contrairement au panneau suiveur refroidi vu qu'il complète le simple panneau suiveur par un système de refroidissement afin d'éviter l'augmentation de la température ce qui le rend le plus fiable et le plus performant.

III.6. CONCLUSION

Dans ce chapitre on a présenté la construction de notre prototype constituer d'un système de suiveur solaire et un système de refroidissement commandé par un microcontrôleur « carte ARDUINO ».

Après le passage par les différentes étapes de développement Ce prototype a fonctionné correctement, il suit la trajectoire du soleil et il déclenche automatiquement le système de refroidissement lorsque le panneau s'échauffe

L'interprétation d'évaluation des résultats notre prototype a atteint l'objectif prévu

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale et perspectives

La principale contribution de ce travail est de réaliser un système qui permet l'augmentation du rendement d'un panneau solaire

Notre solution consiste à associer un système suiveur solaire qui assure la poursuite du soleil durant la journée grâce aux capteurs de lumière et deux servomoteurs, avec un système de refroidissement constitué d'un capteur de température et une pompe à eau afin de refroidir le panneau et garder sa température idéale

La première partie de notre projet consiste d'étudier le système photovoltaïque, son principe de fonctionnement et les facteurs qui influent sur le rendement d'énergie généré par notre panneau

La deuxième partie nous avons identifié les différents systèmes de suiveur et systèmes de refroidissement

La dernière étape consiste la réalisation de notre prototype « la combinaison entre un système suiveur solaire et un système de refroidissement »

L'interprétation et l'évaluation des résultats nous ont mené que le système suiveur solaire refroidi assure une augmentation du rendement qui peut atteindre jusqu'à 40%

Ce mémoire nous ouvre une perspective, telle que :

- un système de refroidissement plus fiable à base liquide qui s'infiltrerait entre les cellules photovoltaïques assure un refroidissement plus efficace et plus rapide
- Un panneau solaire connecté via wifi permet l'affichage du rendement sur une application mobile

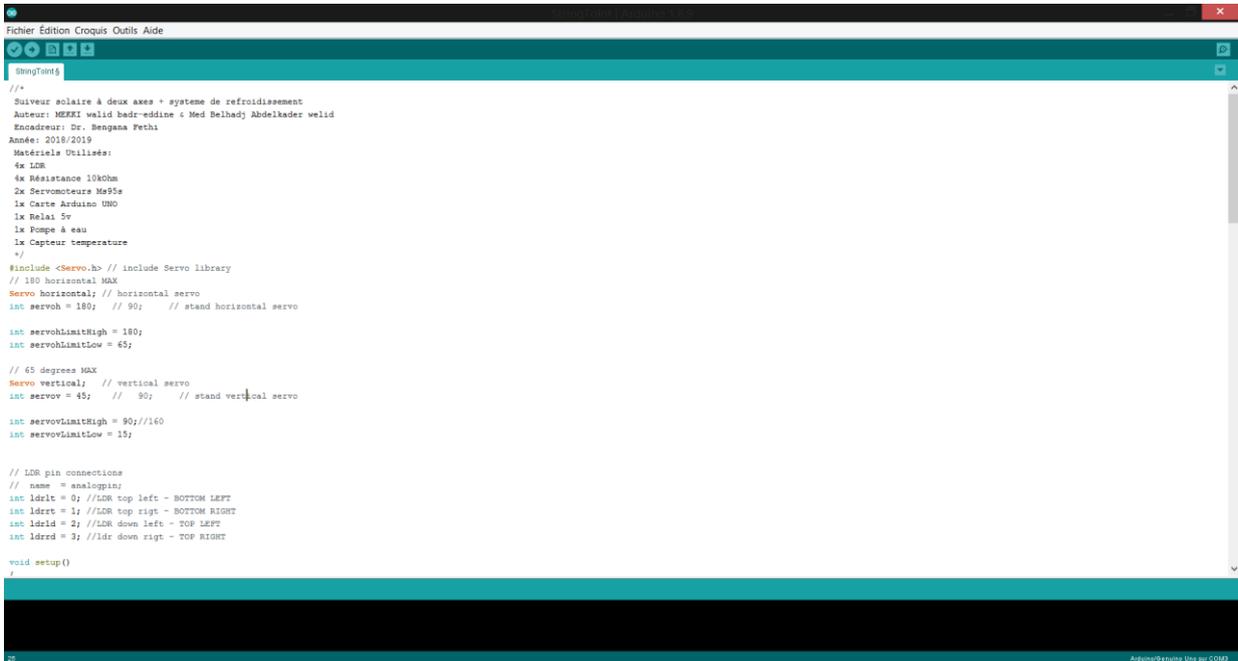
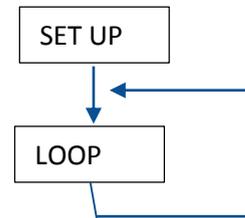
ANNEXE

. Logiciel utilisé

❖ 1. Arduino [w10]

Langage proche du C.

- Programme structuré :
- Une section « setup » 1 seule exécution après RàZ ;
- Une section « loop » exécutée indéfiniment en boucle.
- De très nombreuses bibliothèques logicielles disponibles.



```
/*
  Suiveur solaire à deux axes + système de refroidissement
  Auteur: MEFKI walid badr-eddine & Med Belhadj Abdelkader velid
  Enseigneur: Dr. Bengana Fehi
  Année: 2018/2019
  Matériels Utilisés:
  4x LDR
  4x Résistance 10kOhm
  2x Servomoteurs M955
  1x Carte Arduino UNO
  1x Relai 5v
  1x Pompe à eau
  1x Capteur temperature
  */
#include <Servo.h> // include Servo library
// 180 horizontal MAX
Servo horizontal; // horizontal servo
int servoh = 180; // 90; // stand horizontal servo

int servohLimitHigh = 180;
int servohLimitLow = 65;

// 45 degrees MAX
Servo vertical; // vertical servo
int servov = 45; // 90; // stand vertical servo

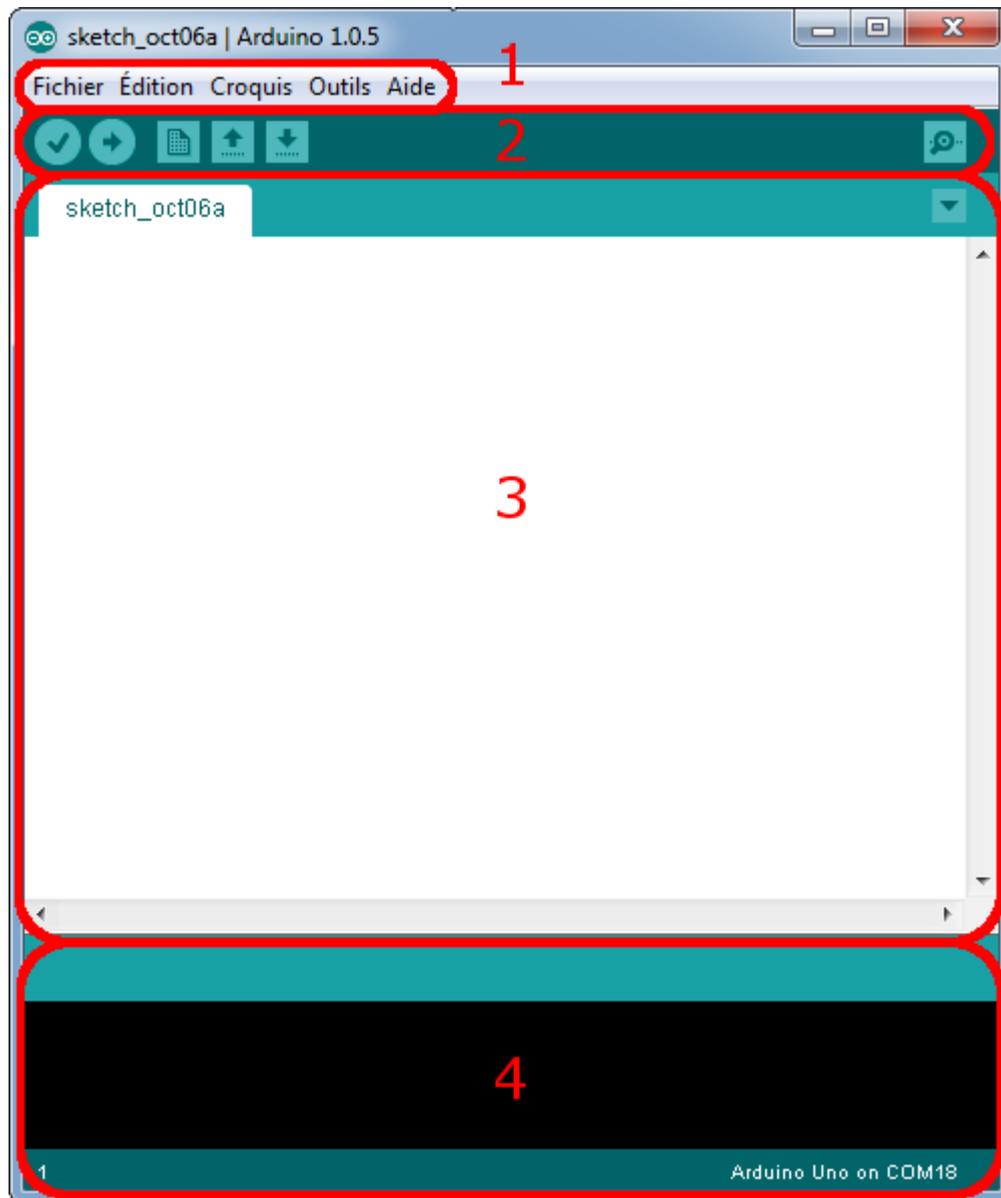
int servovLimitHigh = 90;//160
int servovLimitLow = 15;

// LDR pin connections
// name = analogpin;
int ldrt = 0; //LDR top left - BOTTOM LEFT
int ldrt = 1; //LDR top right - BOTTOM RIGHT
int ldrl = 2; //LDR down left - TOP LEFT
int ldrr = 3; //ldr down right - TOP RIGHT

void setup()
{
}
```

l'interface du logiciel arduino

✓ Présentation de l'interface du logiciel



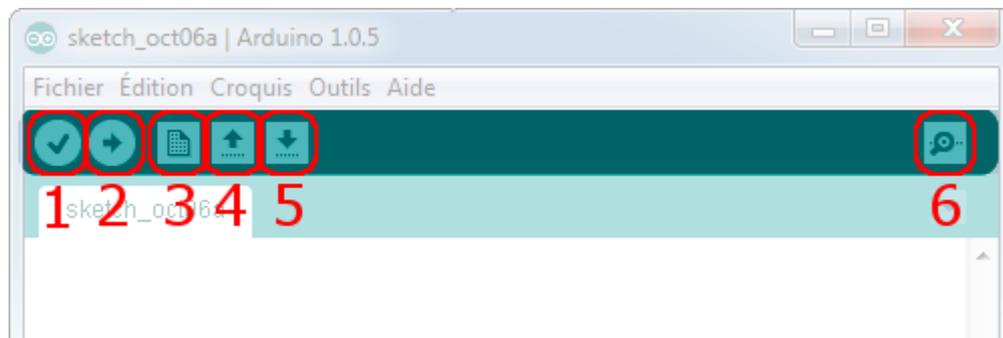
L'interface de l'IDE Arduino en détail

➤ Correspondance

- Le cadre numéro 1 : ce sont les options de configuration du logiciel
- Le cadre numéro 2 : il contient les boutons qui vont nous servir lorsque l'on va programmer nos cartes
- Le cadre numéro 3 : ce bloc va contenir le programme que nous allons créer
- Le cadre numéro 4 : celui-ci est important, car il va nous aider à corriger les fautes dans notre programme.

➤ Les boutons

Voyons à présent à quoi servent les boutons, encadrés en rouge et numérotés par le chiffre 2 dans la figure précédente.



La barre d'outils

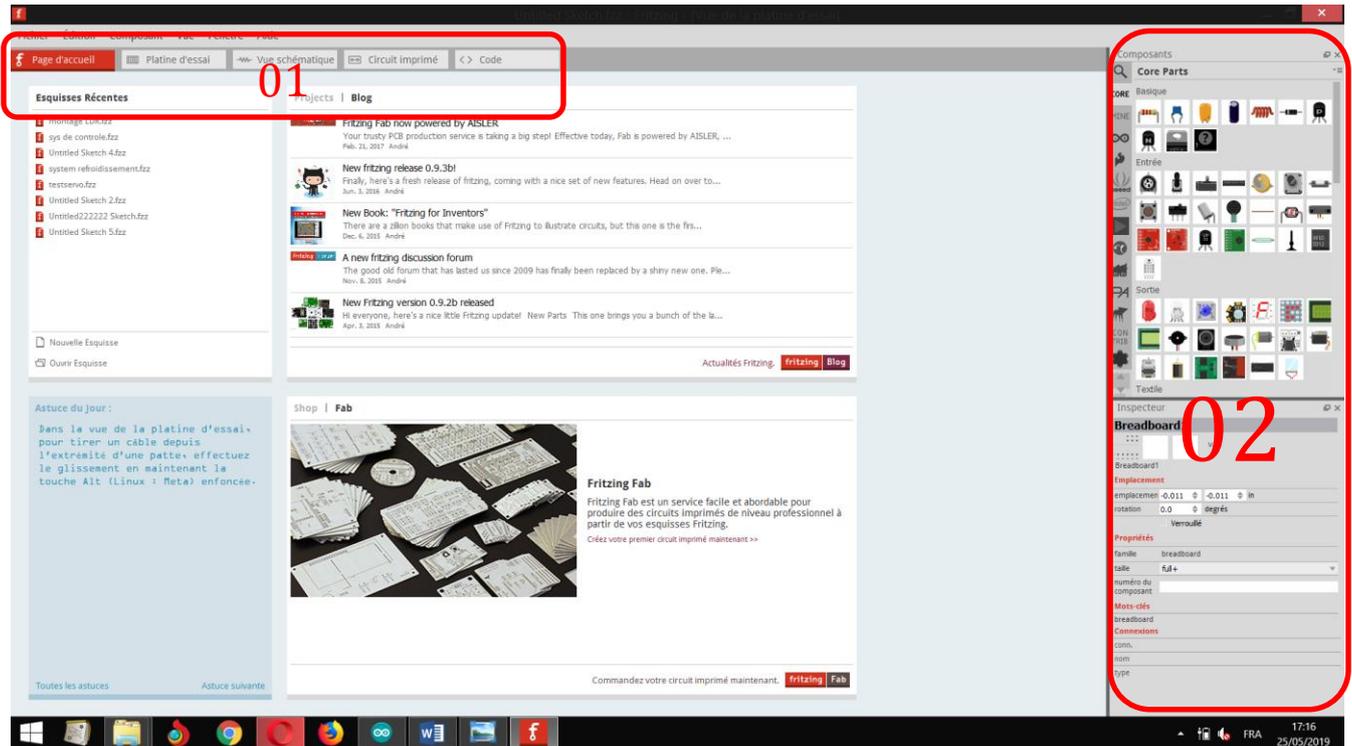
- Bouton 1 : Ce bouton permet de vérifier le programme, il actionne un module qui cherche les erreurs dans votre programme
- Bouton 2 : Charge (téléverse) le programme dans la carte Arduino.
- Bouton 3 : Crée un nouveau fichier.
- Bouton 4 : Ouvre un fichier.
- Bouton 5 : Enregistre le fichier.
- Bouton 6 : Ouvre le moniteur série

❖ 2. Fritzing



C'est logiciel très simple sert a réalisé des montages électronique

Présentation du logiciel



Figure

Correspondance

- 01 : barre d'outils composé de « platine d'essai », « vue schématique », « circuit imprimé », « code »
- 02 : liste des composants

Le programme utilisé

```
#include <Servo.h> // include Servo library
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#define ONE_WIRE_BUS 2
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
Servo horizontal; // horizontal servo
DallasTemperature sensors(&oneWire);
int servoh = 180; // 90; // stand horizontal servo
const int te=5;
unsigned long ta,tb,ts;
int servohLimitHigh = 180;
int servohLimitLow = 50;
float vl,tm;
int N=10;
int i=0;
Servo vertical; // vertical servo
int servov = 45; // 90; // stand vertical servo
int r=5;
int servovLimitHigh = 80;//160//90
int servovLimitLow = 05;//15

int analogInput = 3;
float vout = 0.0;
float vin = 0.0;
float R1 = 10000.0; // resistance of R1 (100K) -see text!
float R2 = 1000.0; // resistance of R2 (10K) - see text!
int value = 0;

int ldrLt = 0; //LDR top left - BOTTOM LEFT <--- BDG
int ldrRt = 1; //LDR top right - BOTTOM RIGHT
int ldrLd = 2; //LDR down left - TOP LEFT
int ldrRd = 3; //ldr down right - TOP RIGHT

void setup()
{
  millis();

  Serial.begin(9600);
  pinMode(5,OUTPUT);
  digitalWrite(5, HIGH);
  sensors.begin();
  horizontal.attach(9);
  vertical.attach(11);
  horizontal.write(180);
  vertical.write(45);
  delay(1000);
```

ANNEXE

```
}
void loop()
{ ta=millis();
  do
  {
    int lt = analogRead(ldrLt); // top left
    int rt = analogRead(ldrRt); // top right
    int ld = analogRead(ldrLd); // down left
    int rd = analogRead(ldrRd); // down right
    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

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

    if (-1*tol > dvert || dvert > tol) // check if the diffirence is in the tolerance else change vertical
    angle
    {
      if (avt > avd)
      {
        servov = ++servov;
        if (servov > servovLimitHigh)
        {
          servov = servovLimitHigh;
        }
      }
      else if (avt < avd)
      {
        servov = --servov;
        if (servov < servovLimitLow)
        {
          servov = servovLimitLow;
        }
      }
      vertical.write(servov);
    }

    if (-1*tol > dhoriz || dhoriz > tol) // check if the diffirence is in the tolerance else change
    horizontal angle
    {
      if (avl > avr)
      {
        servoh = --servoh;

```

```
    if (servoh < servohLimitLow)
    {
        servoh = servohLimitLow;
    }
}
else if (avl < avr)
{
    servoh = ++servoh;
    if (servoh > servohLimitHigh)
    {
        servoh = servohLimitHigh;
    }
}
else if (avl = avr)
{
horizontal.write(servoh);
}
delay(dtime);

    value = analogRead(analogInput);
    vout = (value * 5.0) / 1024.0; // see text
    vin = vout / (R2/(R1+R2));
    if (vin<0.09) {
    vin=0.0;//statement to quash undesired reading !
    }
    tb=millis();
    ts=tb-ta;
    Serial.println(tm);
}while (ts<10000);
    Serial.print(" Requesting temperatures...");
sensors.requestTemperatures(); // Send the command to get temperature readings
Serial.println("DONE");
Serial.print("Temperature is: ");
Serial.print(sensors.getTempCByIndex(0));
sensors.requestTemperatures();
if (sensors.getTempCByIndex(0) >30)
{
    digitalWrite(5, LOW);
}
else
{
    digitalWrite(5, HIGH);
}
//delay(0); // Attendre quelques secondes puis continuer la boucle.*
Serial.println(sensors.getTempCByIndex(0));
}
```

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

- [1] Hadj Abderrahmane Mohammed El Amine et Ghezzal Mohammed Walid
Memoire Etude et réalisation d'un système de production d'énergie électrique par des
panneaux photovoltaïques MASTER2 Centre Universitaire Belhadj Bouchaib
d'Ain-Temouchent 2016/2017.
- [2] Sidane Younes et FERHOUNE Nassim memoire evaluation des performances d'un suiveur
solair MASTER 2 Université Abderrahmane Mira de BEJAIA 2013/2014.
- [3] Labani imad eddine riadh Attig abdelkrim Mémoire Principe de fonctionnement et mesure
des caractéristiques d'une cellule photovoltaïque MASTER 2 Université Dr Moulay Tahar
de Saida 2016/2017 .
- [4] Othmane Benseddik Fathi Djaloud Mémoire Etude et optimisation du fonctionnement
d'un système photovoltaïque MASTER 2 Université Kasdi Merbah- Ouargla 2011/2012 .
- [5] Bensaci Wafa, modélisation et simulation d'un système photovoltaïque adapté par une
commande MPPT, mémoire de Master 2 ; université Kasdi-Merbah–Ouargla 2011-2012.²
- [6] Belhadj Mohamed, modélisation d'un système de captage photovoltaïque autonome,
mémoire de magistère; Centre universitaire, Institut des Sciences Exactes–Bechar
2007-2008.
- [7] Bouziane Rabeh Dokkar Ayoub Mémoire Conception et Réalisation d'un Suiveur
Solaire Bi-axial à Base De capteurs de lumière MASTER PROFESSIONNEL
Universite Kasdi Merbah Ouargla 2015/2016.
- [8] Hananou Fatiha Rouabah Aicha Mémoire Modélisation et simulation d'un système
photovoltaïque MASTER ACADEMIQUE UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
2013/2014.
- [9] Noble, Grégoire des trackeurs nouvelle génération pour capter et concentrer le soleil
breve de Batiactublie le 17/03/2016.
- [10] Benmohammadi. Zahra : « Etude, conception et réalisation d'une commande d'un suiveur
solaire)», Mémoire de projet de fin d'étude, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah,
Fès, juin 2014.
- [11] Mémoire boulahbal aminamaster Etude et simulation du fonctionnement du système
suiveur des panneaux solaires Université Badji Mokhtar Annaba

- [12] Brahim Rida et Souiou Abderraouf mémoire fin d'étude réalisation d'un suiveur solaire base de PIC 2013/2014
- [13] Saheb Sihem mémoire étude et réalisation d'un suiveur solaire bi-axial à base d'un microcontrôleur Arduino Master 2 université el arbi ben m'hidi oum el bouaghi 2016/2017
- [14] Nehari Taie mémoire Etude du refroidissement des cellules photovoltaïques par un matériau à changement de phase Diplôme de Doctorat en Sciences Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf
- [15] Le grand livre Arduino edition 3

WEBOGRAPHIE

Webographie

- [w1] <http://thesis.univ-biskra.dz/1151/2/introduction%20g%C3%A9n%C3%A9rale.pdf>
(dernier accès 01-06-2019)
- [w2] <http://www.aros-solar.com/fr/1%E2%80%99energie-solaire-une-solution-intelligente-au-service-environnement> (dernier accès 01-06-2019)
- [w3] <http://tpeenergiephotovoltaique.e-monsite.com/pages/la-cellule-photovoltaique/historique-de-la-cellule-photovoltaique.html> (dernier accès 14-04-2019)
- [w4] <http://www.energy.gov.dz> (dernier accès 26-04-2019)
- [w5] http://www.energies-renouvelables.org/solaire_photovoltaique.asp(dernier accès 01-05-2019)
- [w6] <https://www.ecolodis-solaire.com/conseils/panneau-solaire-photovoltaique-fonctionnement-et-description-les-differents-types-de-panneaux-solaires-photovoltaiques-1>
(dernier accès 05-05-2019)
- [w7] <https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16696> (dernier accès 06-05-2019)
- [w8] <https://www.comwatt.com/photovoltaique-autoconsommation/entretien/nettoyage-et-entretien-des-panneaux-solaires/> (dernier accès 25-05-2019)
- [W9] <https://www.supinfo.com/articles/single/296-qu-est-ce-qu-servomoteur>
(dernier accès 20-05-2019)
- [W10] <https://zestedesavoir.com/tutoriels/686/arduino-premiers-pas-en-informatique-embarquee/742-decouverte-de-larduino/3416-le-logiciel/>

Résumé

La technologie photovoltaïque est la révolution des énergies renouvelable, c'est une énergie primordiale pour le future des énergies durable

Ce travail présente une réalisation d'un système de poursuite solaire à deux axes associé à un système de refroidissement qui assure l'exposition des panneaux photovoltaïques face au soleil et en gardant la température idéal pour le bon fonctionnement des panneaux solaire dans le but d'augmenter leur rendement énergétique

ملخص

إن التقنية الضوئية هي ثورة في الطاقات المتجددة، إنها طاقة حيوية لمستقبل الطاقات المستدامة يقدم هذا العمل تحقيقاً لنظام تتبع للطاقة الشمسية ذي محورين يرتبط بنظام تبريد يضمن تعرض الألواح الكهروضوئية التي تواجه أشعة الشمس والحفاظ على درجة الحرارة المثالية لتشغيل الألواح الشمسية بشكل صحيح لغرض زيادة كفاءة الطاقة الخاصة بهم