

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

جامعة ابي بكر بلقايد – تلمسان-

Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE

**Département de Génie Electrique et Electronique**



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE  
POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER

**En :** Electrotechnique

**Spécialité :** Commandes électriques

**Présenté par :** - BENAHMED Salim Riad  
- BEMMAMI Fethallah

**Intitulé**

**ETUDE ET CONCEPTION AVEC SIMULATUION 3D  
D'UN SUIVEUR SOLAIRE**

Soutenu le, devant le jury composé de :

Monsieur Sidi Med MELIANI,	MCA	Univ. Tlemcen	Président
Monsieur Boumediene BELARBI	MCB	Univ. Tlemcen	Directeur
Madame Wahida HANDOUZI	MCB	Univ. Tlemcen	Examinatrice

Année universitaire 2020/2021

## REMERCIEMENTS



*Tout d'abord,*

*Nous tenons à remercier et glorifier Allah, notre Dieu tout puissant et miséricordieux de nous avoir guidé, avec clairvoyance, pour accomplir notre travail et de le mener à terme.*

*En premier, c'est un plaisir de reconnaître ce que nous devons pour exprimer et remercier avec notre profonde reconnaissance à notre promoteur,*

*Monsieur Boumediene BELARBI,*

*Docteur chercheur et enseignant à la Faculté de Technologie de l'Université Abou Bekr Belkaid de Nemcen ainsi que membre du Laboratoire IPSIL, à l'Ecole National Polytechnique d'Oran- ENPO-MA, d'avoir accepté d'encadrer et de diriger ce travail. Monsieur, votre thème avec l'idée innovatrice et votre participation à la préparation des travaux de Recherches tous le long de ce Master, nous à donner la chance de le réaliser.*

*Nous tenons à remercier aussi,*

*Monsieur Sidi Med MELIAN,*

*Zui nous a fait l'honneur, de bien vouloir accepter de présider le jury de la soutenance de notre Master, formé par,*

*Madame Wahida HANDOUZI.*

*Nos Humbles Jury, nous sommes très sensibles à l'honneur que vous nous faites en acceptant d'examiner le présent travail, que nous souhaitant est d'un bon niveau,*

*Par ailleurs, nos remerciements, vont à tous le personnel du département GEE, pour acquérir toutes les informations nécessaires. Sans oublier aussi tous ceux qui ont contribués au bon déroulement de notre œuvre de notre mémoire, merci.*

*Bemmami et Benahmed.*



*Nous nous engageons dans cet humble travail de présenter :*

*Nos remerciements à nos chers parents, qui nous ont soutenus tout au long de nos études, afin que nous puissions réaliser nos rêves en nous engageant aujourd'hui dans ce projet extraordinaire et éclairant.*

*Merci à nos frères et sœurs, et à toutes les familles qui nous ont encouragés à donner plus et le meilleur de nous-mêmes.*

*Merci à nos amis et camarades pour avoir passé un bon moment pendant le travail et les études universitaires.*

*À tous nous dédions ce modeste travail*

# Table de matières

Chapitre I Etat de l'Art et Connaissance Préliminaire .....	2
1.1 Introduction .....	3
1.2 Soleil Source d'énergie .....	3
1.3 Le rayonnement solaire .....	4
1.3.1 L'énergie solaire.....	5
1.3.2 Mouvement du Globe Terrestre.....	6
1.3.3 Repérage du soleil .....	6
1.3.4 Position du soleil .....	7
1.3.5 Moment apparent du Soleil .....	8
1.3.6 Les Gisements Solaires en Algérie.....	8
1.4 Panneau Photovoltaïque .....	9
1.4.1 Le principe de fonctionnement.....	10
1.4.2 Matériel photovoltaïque.....	11
1.4.3 Zones de fonctionnement du module solaire .....	12
1.5 Idée générale du suiveur solaire .....	14
1.6 Types de suiveurs solaires .....	14
1.6.1 Selon le nombre des axes de rotation .....	15
1.6.2 Selon le principe de suivi .....	18
1.6.3 Avantages et Inconvénients de l'Énergie Photovoltaïque .....	19
1.7 Les Moteurs.....	21
1.8 Conclusion.....	21
2 Chapitre II: .....	22
Modélisation et Méthodologie .....	22
2.1 Introduction : .....	23
2.2 Principe Du Tracker Solaire Avec Arduino .....	23
2.3 Description des composants du système .....	23
2.3.1 Suiveur solaire :.....	23
2.3.2 La Carte de Développement Arduino.....	24
2.3.3 Moteur pas a pas.....	26
2.3.4 Bloc alimentation .....	27
2.3.5 Le pont H.....	27
PONT EN H INTEGRE pour 2 moteurs (L 298).....	28
2.3.6 Capteur LDR .....	28

2.4	Méthodologie du suiveur solaire :.....	29
2.5	Lieu des essaies .....	29
2.6	Réalisation Sur Proteus .....	31
2.6.1	Réalisation du programme sur Arduino IDE.....	31
2.6.2	Organigramme descriptive .....	31
2.6.3	Code Arduino IDE .....	35
	Initialisation des variables .....	35
	Partie manuelle.....	36
	Partie Automatique.....	37
2.6.4	Schéma sur Tinkcad:.....	38
2.6.5	La réalisation virtuelle «PROTEUS».....	38
2.7	Simulation 3D du suiveur sur PVsyst :.....	39
2.7.1	Représentation du suiveur sur PVsyst .....	41
2.8	conclusion :.....	42
3	Chapitre III : .....	43
	Application, résultat et validation .....	43
3.1	Introduction: .....	44
3.2	Résultat de la simulation du suiveur :.....	44
3.2.1	Schéma Proteus.....	45
3.2.2	Résultat obtenue sur la simulation 3D.....	48
3.3	Conclusion: .....	55
	Conclusion générale et perspective .....	56

## Table de figures

<b>Figure 1.1</b> : Distance Terre-Soleil [9] .....	3
<b>Figure 1.2</b> : Représentation des différents rayonnements solaires terrestres reçus sur une installation donnée [13].....	5
<b>Figure 1.3</b> : Mouvement de rotation de la terre [13] .....	7
<b>Figure 1.4</b> : Repérage de la position du Soleil [13].....	7
<b>Figure 1.5</b> : Mouvement apparent du Soleil observé d'un point d'altitude [27] .....	8
<b>Figure 1.6</b> : Potentiel solaire [16].....	9
<b>Figure 1.7</b> : Fonctionnement d'une cellule photovoltaïque [18] .....	10
<b>Figure 1.8</b> : Cellule photovoltaïque en silicium monocristallin [24] .....	11
<b>Figure 1.9</b> : Les différentes zones de la caractéristique I (V) [12].....	13
<b>Figure 1.10</b> : Angle d'inclinaison des modules photovoltaïques [5].....	13
<b>Figure 1.11</b> : Les différents types des suiveurs solaires [24] .....	15
<b>Figure 1.12</b> : Traker solaire passif [23] .....	16
<b>Figure 1.13</b> : Suiveur à axe vertical [13] .....	17
<b>Figure 1.14</b> : Suiveur à 1 axe horizontal [13].....	17
<b>Figure 1.15</b> : Suiveur à 2 axes [13] .....	18
<b>Figure 1.16</b> : Suiveur basé sur des capteurs de lumière LDR [7].....	19
<b>Figure 1.17</b> : Comparaison entre panneau fixe et suiveur [20] .....	20
<b>Figure 2.1</b> : Suiveur à 2 axes [13] .....	23
<b>Figure 2.2</b> : Constitution de la carte Arduino UNO [2].....	25
<b>Figure 2.3</b> : Constitution interne d'une carte arduino UNO [2] .....	26
<b>Figure 2.4</b> : Moteur pas à pas[25].....	27
<b>Figure 2.5</b> : PontH avec 2 moteur DC [11] .....	28
<b>Figure 2.6</b> : Capteur de lumière LDR GL5528 [4].....	29
<b>Figure 2.7</b> : Capteurs de lumière en quatre quadrants en forme(+)et (x) [21, 6] .....	29
<b>Figure 2.8</b> : Diagramme de la projection solaire à Tlemcen 'SunEarthTools' .....	30
<b>Figure 2.9</b> : Organigramme complet expliquant .....	32
<b>Figure 2.10</b> : Organigramme partie Auto .....	33
<b>Figure 2.11</b> : Organigramme partie manuelle .....	34
<b>Figure 2.12</b> : schéma du système sur tinkercad.....	38
<b>Figure 2.13</b> : Schéma du système sur proteus .....	39
<b>Figure 2.14</b> : interface PVsyst .....	40
<b>Figure 2.15</b> : scène d'ombrage environnante .....	40
<b>Figure 2.16</b> : scène 3D pour l'emplacement du suiveur .....	41
<b>Figure 2.17</b> :spécification des angles pour le suiveur solaire sur la simulation PVsyst.....	42
<b>Figure 3.1</b> : Schéma final de la carte Arduino sur tinkercad .....	44
<b>Figure 3.2</b> : Schéma complet sur Proteus .....	45
<b>Figure 3.3</b> : LDR 2 ALLUMÉ.....	46
<b>Figure 3.4</b> : LDR 1 ALLUMÉ.....	46
<b>Figure 3.5</b> : LDR3 ALLUMÉ.....	46
<b>Figure 3.6</b> : LDR 4 ALLUMÉ.....	47
<b>Figure 3.7</b> : Trajectoires du soleil à Tlemcen Latitude 34.9196 Longitude -1.30195.....	48

<b>Figure 3.8</b> : modèle 3D de notre suiveur .....	48
<b>Figure 3.9</b> : Photo 3D en perspective .....	49
<b>Figure 3.10</b> : Photo 3D vue de droite .....	49
<b>Figure 3.11</b> : Photo 3D vue de face .....	50
<b>Figure 3.12</b> : Photo 3DR.....	50
<b>Figure 3.13</b> : Production normal par KWH.....	51
<b>Figure 3.14</b> : le ratio de performance .....	52
<b>Figure 3.15</b> : diagramme de perte.....	54
<b>Figure 3.16</b> : Comparaison entre différents types de panneaux photovoltaïques fixes et mobiles.....	54
<b>Figure 3.17</b> :diagramme de comparaison d'énergie sur différent angles d'inclinaison.....	55
<b>Tableau 1</b> : résultat principale et balance.....	52

## **Introduction Générale**

En début du 21ème siècle, notre planète est illuminée comme jamais et plus de 80% de notre énergie vient de l'énergie fossile, ils alimentent nos habitations, nos transports et nos usines, partout l'énergie s'explode.

Les ressources énergétiques deviennent de plus en plus rares et il est estimé que les réserves mondiales seront épuisées entre 2030 et 2100, parlant à propos des conséquences de l'extraction et l'utilisation de ces énergies fossiles comme le coût d'une part, la pollution avec une grande échelle au niveau de l'environnement et le réchauffement atmosphérique d'une autre part, elles nous forcent de trouver des sources d'énergies renouvelables économiques, inépuisables et non polluantes.

L'une des énergies renouvelables et surtout inépuisables à l'échelle humaine du temps est l'énergie solaire. Ce dernier est disponible, non polluant et facilement exploitable grâce aux panneaux solaires photovoltaïques qui sont considérés comme le principal substitut énergétique utilisé pour la production à grande échelle d'électricité propre, elle convertit directement la lumière en courant électrique continue. Néanmoins pour avoir un rendement maximal de ce panneau photovoltaïque il est impératif qu'ils doivent être perpendiculaire au soleil et ceci sera faisable grâce au système du suiveur solaire. De ce fait, notre travail développé en chapitres sera d'optimiser l'énergie absorbé par ce panneau photovoltaïque en suivant le mouvement du soleil pendant la journée

Ce mémoire se compose ainsi de trois chapitres :

Dans le premier chapitre nous présenterons le soleil et l'énergie solaire mais aussi le rayonnement solaire, en étudiant profondément le développement de l'énergie photovoltaïque mais aussi les différents types de suiveur solaire

Le deuxième chapitre sera consacré au travail réalisé avec choix du suiveur et matériaux utilisés avec explication des étapes suivie sur la simulation sur Proteus et PVsyst

Le troisième chapitre sera consacré au test et résultat obtenue par la simulation du suiveur sur Proteus et PVsyst

### **Problématique :**

La problématique de ces suiveurs solaires et que le soleil est en constant mouvement, donc la réception d'énergie peut varier d'un emplacement un autre, pour avoir un très bon rendement d'énergie l'utilisation d'un suiveur solaire a 2 axes est nécessaire pour permettre au suiveur d'être perpendiculaire au soleil.



# **Chapitre I**

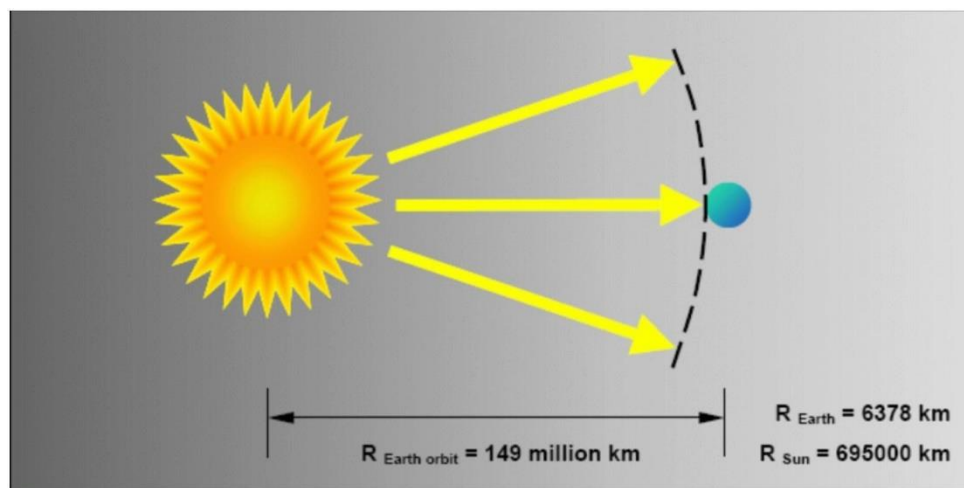
## **Etat de l'Art et Connaissances Préliminaires**

## 1.1 Introduction

A cause du changement climatique et l'augmentation a l'effet de serre l'humanité s'est tournée vers une consommation d'énergie plus saine et plus économique. 95 millions de barils de pétrole sont consommés chaque jour dans le monde, en raison de l'épuisement des énergies fossiles l'homme a commencé à investir de plus en plus vers l'énergie renouvelable étant une meilleure solution économique et environnementale. Ces dernières années, les chercheurs dans les domaines énergétiques et les énergies renouvelables surtout s'intéressent beaucoup plus à l'énergie solaire photovoltaïque qui est basée sur la conversion directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique au niveau des cellules PV du panneau solaire sous le nom d'un phénomène physique appelée effet photovoltaïque.

## 1.2 Soleil Source d'énergie

Le soleil est l'étoile la plus proche de la terre dans notre système solaire a environ 150 millions de kilomètres, étant d'une masse de  $1,9891 \times 10^{30}$  kg, composé principalement 75% d'hydrogène et 25% d'hélium, son centre a une température de 10 à 15 millions de degrés Celsius [1]. Le soleil est le plus important car il est à l'origine de la vie sur terre la grande quantité d'énergie fournie annuellement est estimée à  $1,5 \times 10^{18}$  kWh. L'énergie solaire permet la présence d'eau liquide et la photosynthèse des plantes. L'énergie solaire est également responsable des phénomènes climatiques et météorologiques (figure 1.1).



**Figure 1.1** : Distance Terre-Soleil [9]

### 1.3 Le rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est l'énergie émise sous forme d'ondes électromagnétiques, dans toutes les directions de l'espace et atteint la surface de la terre directement à partir du soleil dans une durée très petite équivalente à 8 minutes et 19 secondes seulement. Cela est mesuré avec un appareil qui s'appelle pyromètre [8]. Ce dernier consiste essentiellement en :

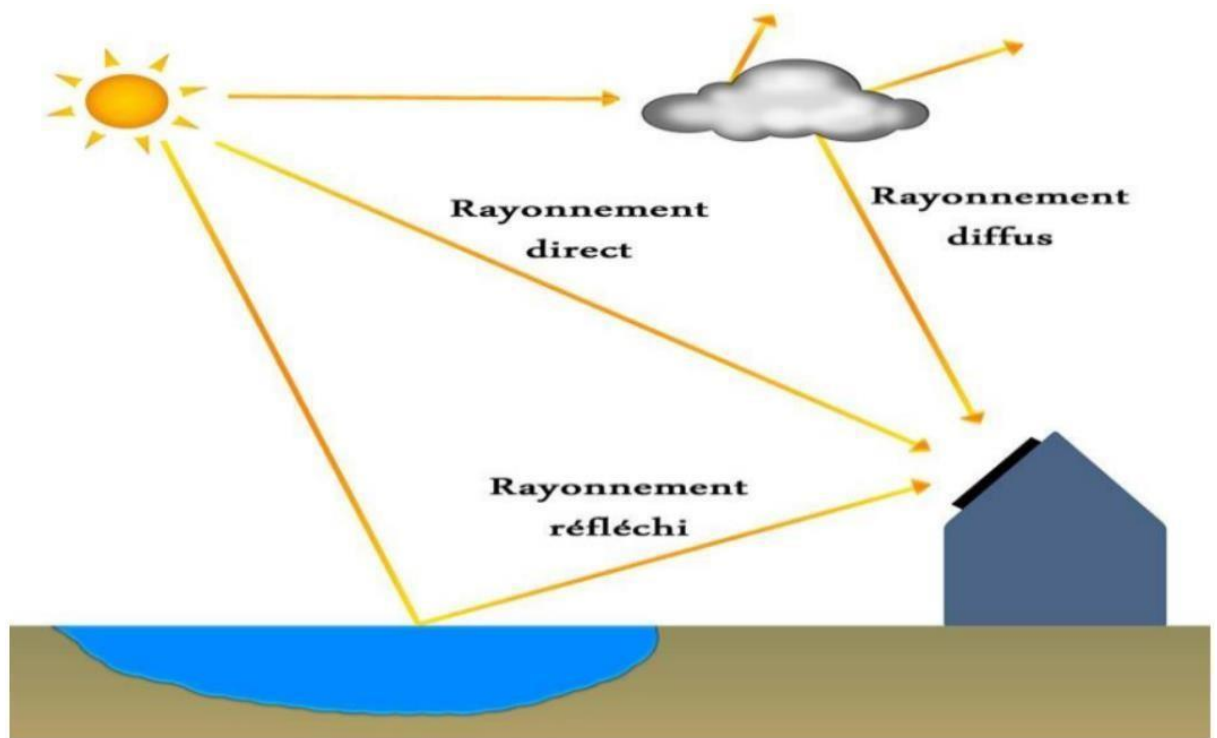
- Une lumière visible d'une longueur d'onde comprise entre 400 nm et 800 nm.
- Un rayonnement infrarouge (IR) d'une longueur d'onde inférieure à 400 nm.
- Un rayonnement ultraviolet (UV) d'une longueur d'onde supérieure à plus de 800 nm.

L'atmosphère absorbe une grande partie des rayonnement infrarouge et ultraviolet IR. Plus près des pôles, les rayons sont plus inclinés : la même quantité d'énergie est répartie sur une plus grande surface. Pour cette raison, le rayonnement solaire diminue par unité de surface reçue de l'équateur vers les pôles (c'est à l'origine du phénomène des saisons avec l'inclinaison de l'axe de la terre).

- En changeant les jours et les nuits.
- En raison de la couverture nuageuse (cela réduit l'énergie solaire à 50%)
- Selon les fluctuations saisonnières [19].

Il existe plusieurs types de rayonnement

- Rayonnement direct : celui qui atteint la surface de la terre directement à partir du soleil qui tombe directement sans avoir aucune barrière la surface de la terre. Cela est basé sur l'épaisseur de l'atmosphère et de l'inclinaison des rayons vers le sol.
- Rayonnement diffus : Ce type de rayonnement présente le reste du rayonnement solaire absorbé et diffusé par l'atmosphère et les nuages.
- Rayonnement réfléchi : Ces rayons sont produits par la réflexion de la lumière sur les différents sols (eau, neige.) (figure 1.2) [8].



**Figure 1.2:** Représentation des différents rayonnements solaires terrestres reçus sur une installation donnée [13].

### 1.3.1 L'énergie solaire

C'est une source d'énergie renouvelable (chaleur et lumière) produite par le Soleil et capturée par la terre. L'énergie reçue pendant une heure est suffisante pour répondre aux besoins énergétiques du monde en un an malgré qu'elle ne reçoive qu'une petite partie des rayons émis par le soleil, mais cela surtout encore pour répondre aux besoins énergétiques de tous les êtres humains. Cette énergie renouvelable est produite à partir du rayonnement solaire et elle est principalement utilisée dans deux modes de fonctionnement :

- Solaire photovoltaïque : L'énergie solaire est utilisée pour la production d'électricité.
- Énergie Thermique : Dans ce cas, le liquide est chauffé par le rayonnement solaire. Cette énergie peut également être utilisée pour produire de l'électricité [13].

### **1.3.2 Mouvement du Globe terrestre**

Le cycle du jour et de la nuit est un phénomène naturel qui a lieu sur terre. Les planètes du système solaire sont toujours en mouvement et elles tournent autour du soleil. Toutes ces planètes, même la terre tournent aussi autour de leurs axes propres. La terre a deux mouvements, le premier mouvement c'est un mouvement de rotation sur elle-même, elle tourne autour de son propre axe, c'est ce qu'on appelle la rotation de la terre et elle revient à son point de départ en 24 heures cette rotation entraîne le jour et la nuit sur la terre. Il y a un deuxième mouvement qui est la révolution de la terre, c'est le mouvement cyclique que fait la terre pendant un an, en fait c'est un parcours autour du soleil pendant un an en plus elle va tourner autour d'elle même tous les jours [13].

### **1.3.3 Repérage du soleil**

Le circuit de la terre autour du soleil est ovale. Grâce à cette révolution annuelle, La terre tournera autour de ses pôles et de son axe une fois toutes les 24 heures. L'axe nord-sud fait un angle de  $23^{\circ} 27'$  avec la direction perpendiculaire à l'orbite de la terre en orbite autour du soleil. Pendant tout le mouvement autour du soleil, cette inclinaison est constante et elle est à l'origine de fluctuations saisonnières. En conséquence, pendant notre hiver, la durée du rayonnement solaire dans l'hémisphère nord est relativement courte. Dans l'hémisphère sud en été, le soleil ne se lève pas très haut dans le ciel. Dans notre été, la situation s'est inversée : l'hémisphère nord s'est tourné vers le soleil. Ensuite, le jour est plus long que la nuit dans l'hémisphère nord, et le rayonnement incident est proche de la direction verticale [13]. À l'équinoxe du printemps et d'automne (21 mars, 21 septembre), la direction du rayonnement est perpendiculaire à l'équateur (latitude  $0^{\circ}$ ). Au solstice d'été (21 juin), la terre s'incline vers les rayons du soleil, et ils sont perpendiculaires au tropique du Cancer ( $23^{\circ} 27'$  de latitude nord) à midi. Pendant le solstice d'hiver (22 décembre), l'angle d'inclinaison sera inversé, qui est la zone tropicale ( $23^{\circ} 27'S$ ) de la constellation du Cap (figure 1.3) [3].

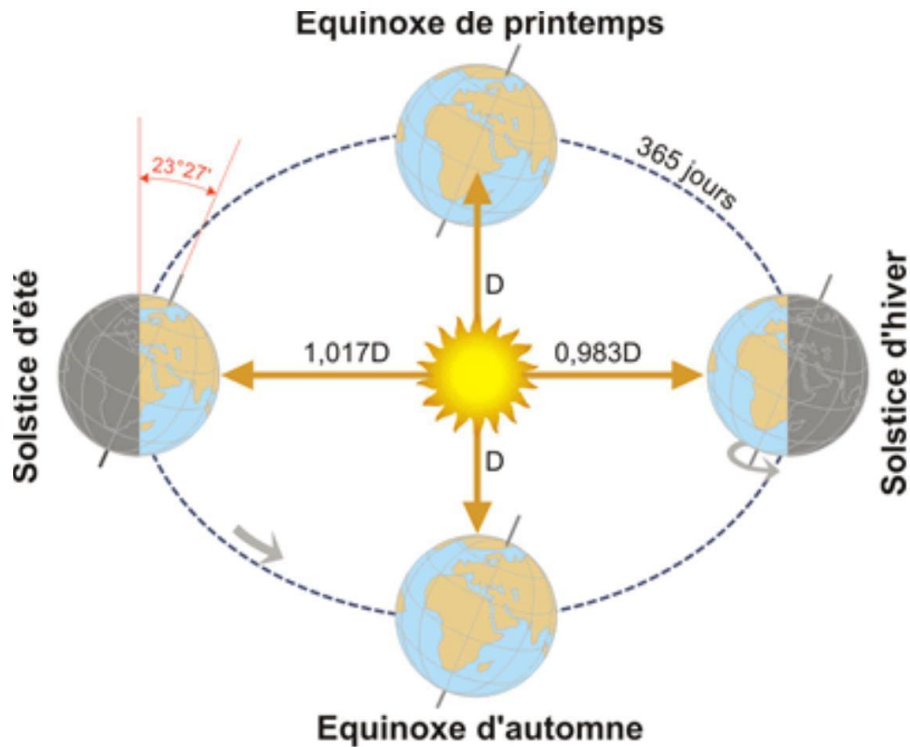


Figure 1.3 : Mouvement de rotation de la terre [13]

### 1.3.4 Position du soleil

Pour déterminer la position du soleil dans le ciel, on utilise deux angles :

- Hauteur  $h$  : l'angle entre la direction du soleil et sa projection sur le plan horizontal ;
- L'azimut  $a$  : l'angle entre cette projection et la direction sud est considéré comme positif à l'ouest et négatif à l'est. Nous définissons un jour comme le moment où la terre tourne autour d'elle-même. Divisez une journée de 24 heures. Lorsque le soleil est à sa plus haute altitude (le soleil est au zénith), nous mettons  $TS = 12$  heures comme heure solaire  $TS$  (figure 1.4) [13].

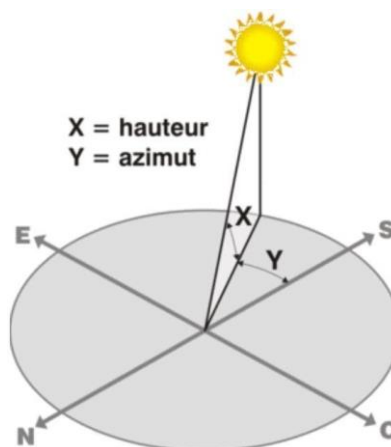


Figure 1.4: Repérage de la position du Soleil [13]

### 1.3.5 Moment apparent du soleil

Le mouvement apparent du soleil observé par un observateur stationnaire à la latitude  $L$  au nord de l'équateur est illustré à la (figure 1.5). A midi, l'angle entre la direction du soleil et la ligne verticale du lieu est supérieur ( $L - \delta$ ) à 12 heures de mars au 21 septembre

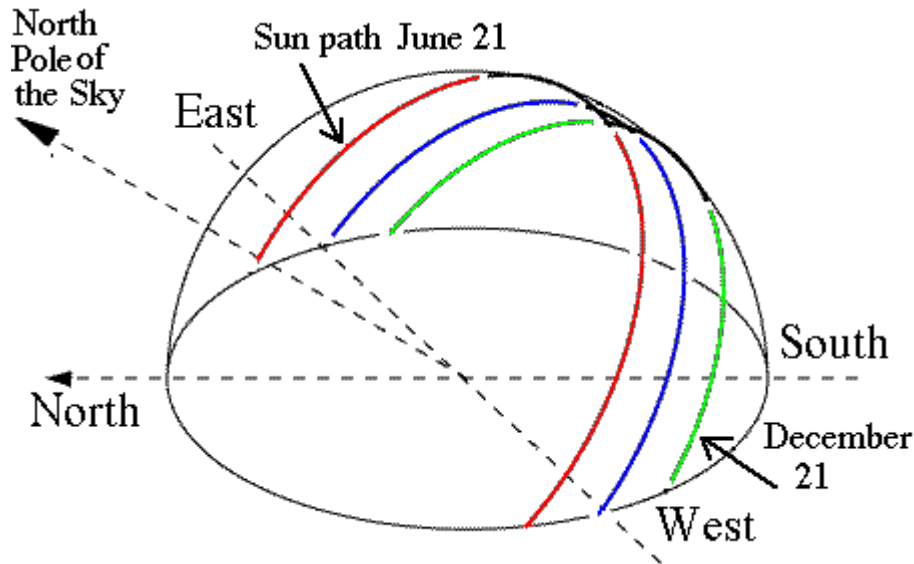
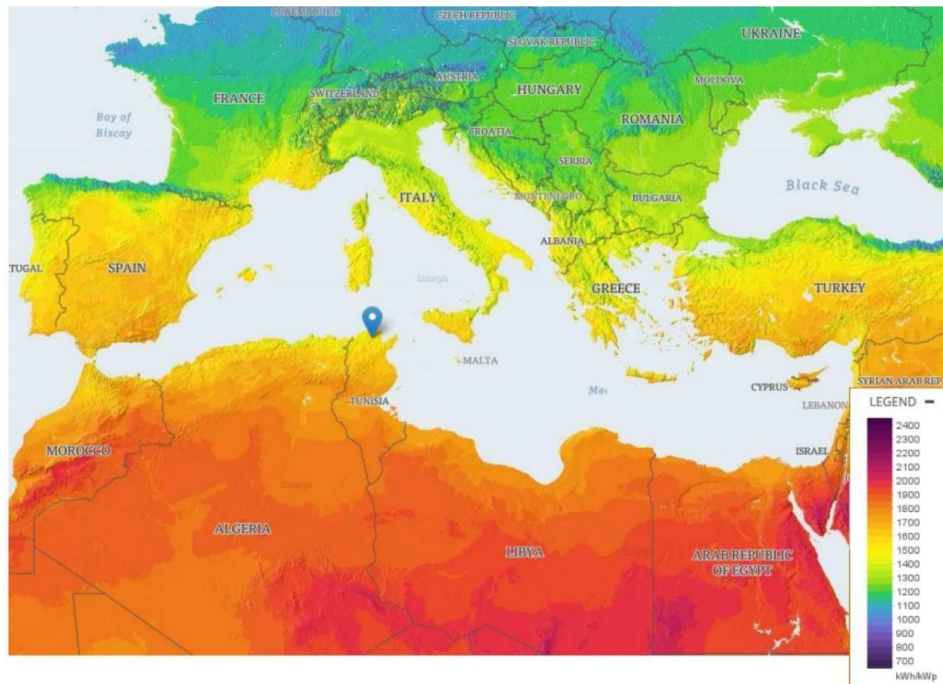


Figure 1.5 : Mouvement apparent du Soleil observé d'un point d'altitude [27]

### 1.3.6 Les gisements solaires en Algérie

Jusqu'à présent, diverses études sur le potentiel de l'énergie solaire en Algérie ont montrer un grand potentiel dans l'utilisation de cette forme d'énergie. En effet, l'Algérie qui couvre une superficie de plus de 2 millions de kilomètres carrés, a acquis un terrain équivalent à 300 milliards d'euros Consommation d'énergie solaire de Tep par an. En termes d'ensoleillement, Niveau  $1m^2$  Environ 5 kWh sur la quasi-totalité du territoire national, la durée du coup de chaleur dépasse 2000 heures par an, qui peut atteindre 3900 Heures sur le plateau et le désert du Sahara. Conscient de l'intérêt croissant pour l'énergie solaire, face à ses enjeux, l'Algérie a intégré son développement dans sa politique énergétique de la manière suivante : Un cadre juridique propice à l'expansion de cette énergie, planification de grands projets L'énergie hybride des centrales diesel, le démarrage de deux grands plans d'électrification, et la projection d'un fabricant de modules photovoltaïques en est un bon exemple. En effet, ces projets s'inscrivent dans un plan de développement énergétique majeur, énergie renouvelable spécifiée dans le plan indicatif de développement des infrastructures de production des plans pour augmenter la part des énergies renouvelables dans le bilan de production d'électricité (figure 1.6) [16].



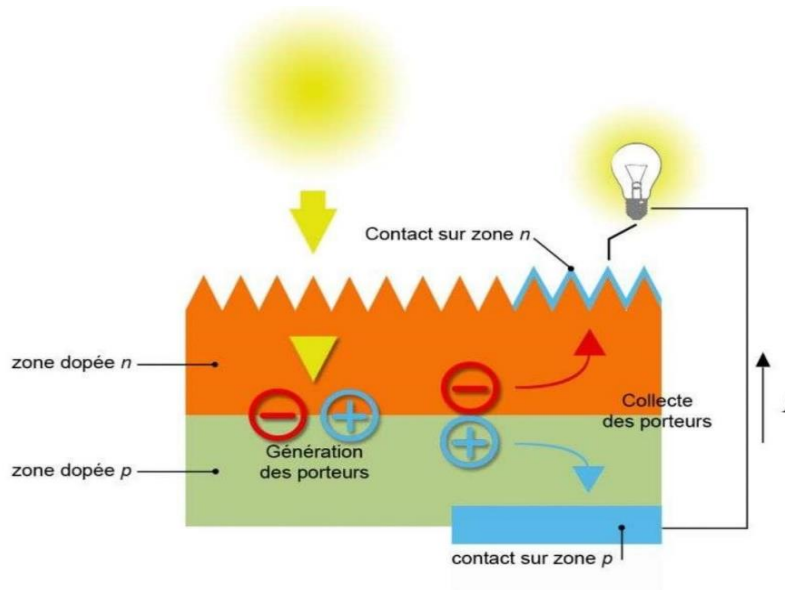
**Figure 1.6:** Potentiel solaire [16].

## 1.4 Panneau photovoltaïque

Un panneau photovoltaïque est un module électrique regroupant des cellules photovoltaïques reliées entre elles en série et en parallèle permettant de convertir les photons de lumière en énergie électrique par réaction chimique lorsqu'elles entrent en contact avec les rayons du soleil. Ceci est faisable grâce à de nombreuses cellules photovoltaïques qui constituent le panneau. Il est possible d'installer ces panneaux solaires sur des supports fixes ou sur des systèmes mobiles qui suivent le soleil, d'où ce dernier cas la production électrique augmente d'environ 30% par rapport à un P. V fixe. Aux électrons du Silicium, ces électrons vont alors se mettre en mouvement. Ce déplacement crée un courant électrique continu. Il est indispensable de transformer l'énergie continue en énergie alternative afin de pouvoir la consommer ou l'injecter sur le réseau. C'est le rôle de l'onduleur, appareil central dans la chaîne de production les prix des modules photovoltaïques ont très largement chuté tandis que la qualité et la puissance se sont améliorées ceci contribue au développement des fermes solaires pouvant produire jusqu'à plusieurs centaines de mégawatts ce sont des gigantesques centrales qui peuvent alimenter plus de  $10^6$  foyers. Les panneaux photovoltaïques sont également utilisés sur les sites isolés ou pour alimenter la signalisation ou des équipements embarqués. Lorsqu'une cellule P.V est exposée vers la lumière, une force électromotrice est créée sous le nom de la phénomène physique 'effet photovoltaïque'. La tension générée peut varier entre 0,3 et 0,7 V en fonction du matériau utilisé et de sa disposition ainsi que de la température de sa cellule [22]. Une cellule photovoltaïque est constituée de deux couches de silicium, une dopée P (dopée au



bore) et une dopée N (dopée au phosphore), ce qui crée une jonction PN avec une barrière de potentiel. - Les conducteurs transfèrent leurs énergies aux atomes de la jonction PN, de sorte que les électrons (N charges) et les trous (P charges) créent une différence de potentiel entre les deux couches. Cette différence de potentiel peut être mesurée entre les connexions des bornes positives et négatives de la cellule. La cellule est d'environ 0,6 V pour un courant nul, c'est la tension en circuit ouvert appelée COV. Le courant maximum se produit lorsque les bornes de la cellule sont court-circuit. On l'appelle le courant de court-circuit ISC et cela dépend fortement du niveau d'éclairage (figure 1.7) [22].

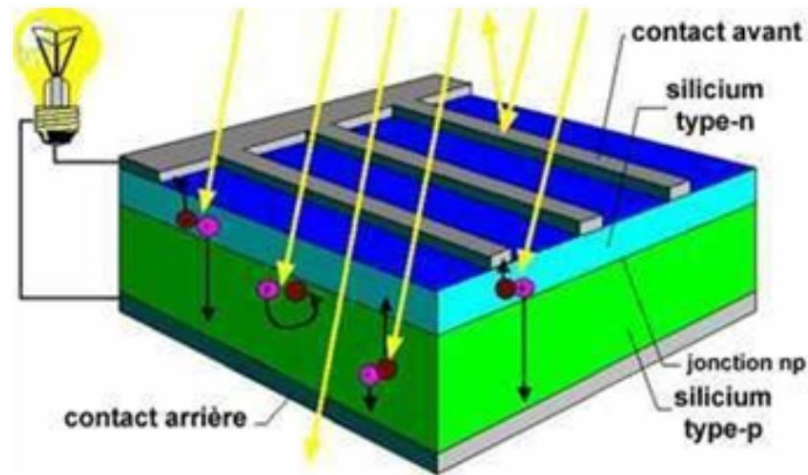


**Figure 1.7** : Fonctionnement d'une cellule photovoltaïque [18]

#### 1.4.1 Le principe de fonctionnement

Le principe fondamental de la production photovoltaïque est de transformer le rayonnement solaire en courant électrique au moyen d'un panneau, ou module photovoltaïque. Les cellules qui composent ces panneaux sont en général produit à l'aide d'un matériel semi-conducteur appelé le Silicium. Lorsque la lumière du soleil vient frapper la surface du panneau, les photons qui transportent l'énergie lumineuse translatent cette énergie est d'environ 12%. C'est assez complexe à faire ; Rappelons que les « rechutes » de silicium issus de la quadrature du silicium monocristallin sont ramassés puis fondus dans un creuset à 1 430 °C. Après fusion, le fond du creuset est refroidi. ; La solidification s'effectue de bas en haut pour obtenir une structure colonnaire multicristallines à gros grains. Le lingot obtenu est ensuite découpé en pierres mesurant 101,5 x 101,5 mm ou actuellement 120 x 120 mm. Son rapport qualité/prix est sans conteste le meilleur des types que nous avons étudiés, et ceci

principalement "grâce" à sa fabrication, ce qui implique des performances respectables pour un petit prix (figure 1.8) [14].



**Figure 1.8:** Cellule photovoltaïque en silicium monocristallin [24]

#### 1.4.2 Matériel photovoltaïque

Le silicium cristallin est le meilleur choix dans le domaine commercial. Le terme 'cristallin' signifie que tous les atomes du matériau photovoltaïque actif font partie d'une structure cristalline simple dans laquelle la disposition ordonnée des atomes ne sera pas perturbée.

##### **Le silicium poly cristallin**

C'est un silicium cristallin, c'est-à-dire que sa structure est ordonnée de manière à ce que les atomes de Si qui le composent soient disposés symétriquement. La bande passante interdite d'un poly cristal est de 1,1 eV. Par conséquent, les électrons peuvent être libérés plus facilement que dans les amorphes, c'est pourquoi leur capacité est meilleure, elle est d'environ 12%. C'est assez complexe à faire ; Rappelons que les « rechutes » de silicium issus de la quadrature du silicium monocristallin sont ramassés puis fondus dans un creuset à 1430°C. Après fusion, le fond du creuset est refroidi. ; La solidification s'effectue de bas en haut pour obtenir une structure colonnaire multi cristalline à gros grains. Le lingot obtenu est ensuite découpé en pierres mesurant 101,5 x 101,5 mm ou actuellement 120 x 120 mm. Son rapport qualité/prix est sans conteste le meilleur des types que nous avons étudiés, et ceci principalement "grâce" à sa fabrication, ce qui implique performances respectables pour un petit prix [14].

## **Le silicium monocristallin**

La cellule monocristalline a le rendement le plus élevé (jusqu'à 23%). Sous un éclairage uniforme et à la même température, en reliant les mêmes cellules photovoltaïques, la tension augmentera ; si elles sont connectées en parallèle, le courant généré augmentera, de sorte qu'un générateur photovoltaïque approprié puisse être créé pour l'application cible. En fait, ils sont possibles et souvent utilisés pour obtenir la tension et le courant de sortie requis. Pour les cellules NS connectées en série formant  $N_p$  branches parallèles, la puissance disponible en sortie du générateur photovoltaïque est définie comme suit [9] :

$$PPV = N S.V P V.NP.IP V$$

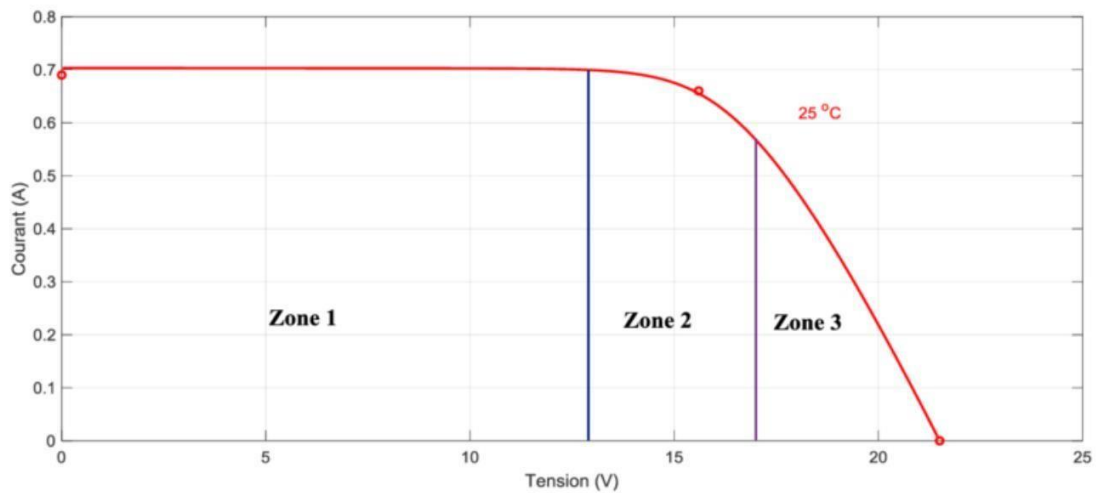
### **1.4.3 Zones de fonctionnement du module solaire**

Les principales caractéristiques du générateur photovoltaïque spécifiés pour un éclairage et une température spécifiques n'affecteront pas le courant ou la tension de fonctionnement.

La courbe I (V). C'est la valeur de charge sur la borne du générateur, qui détermine le point de fonctionnement de la zone du système photovoltaïque (I) : ici, quelle que soit la tension, le courant reste constant, car le générateur photovoltaïque fonctionne comme un générateur dans cette zone.

Zone de courant (II) : selon la courbe caractéristique, la zone médiane entre les deux zones est la zone préférée pour le fonctionnement du générateur, où le point optimal (caractérisé par la puissance maximale) peut être déterminé

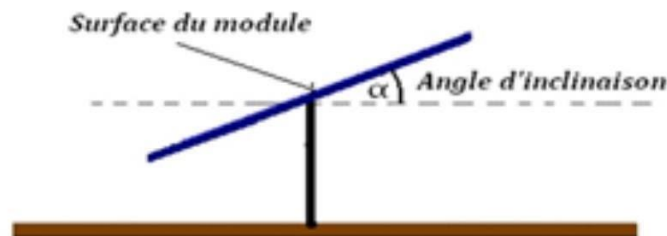
La zone (III) : qui se distingue par une variation de courant correspondant à une tension presque constante, dans ce cas le générateur est assimilable à un générateur de tension (figure 1.9).



**Figure 1.9:** Les différentes zones de la caractéristique I (V) [12]

- **Importance de l'inclinaison des modules par rapport à la position du soleil**

L'angle d'inclinaison correspond à l'angle du plan du panneau solaire par rapport au plan horizontal. Le développement de la trajectoire du soleil change avec les saisons (figure 1.10).



**Figure 1.10 :** Angle d'inclinaison des modules photovoltaïques [5]

L'angle d'inclinaison (pour les modules photovoltaïques sans dispositif rotatif) est plus petit en été et plus grand en hiver. L'inclinaison du module photovoltaïque par rapport à la ligne horizontale est dérivée de la relation suivante.

$$\alpha = L - \sin^{-1} \left( 0.4 * \sin \left( \frac{N * 360}{365} \right) \right)$$

Avec : (L) latitude du lieu, (N) nombre de jour entre l'équinoxe de printemps (21 mars de chaque année) et le jour considéré.

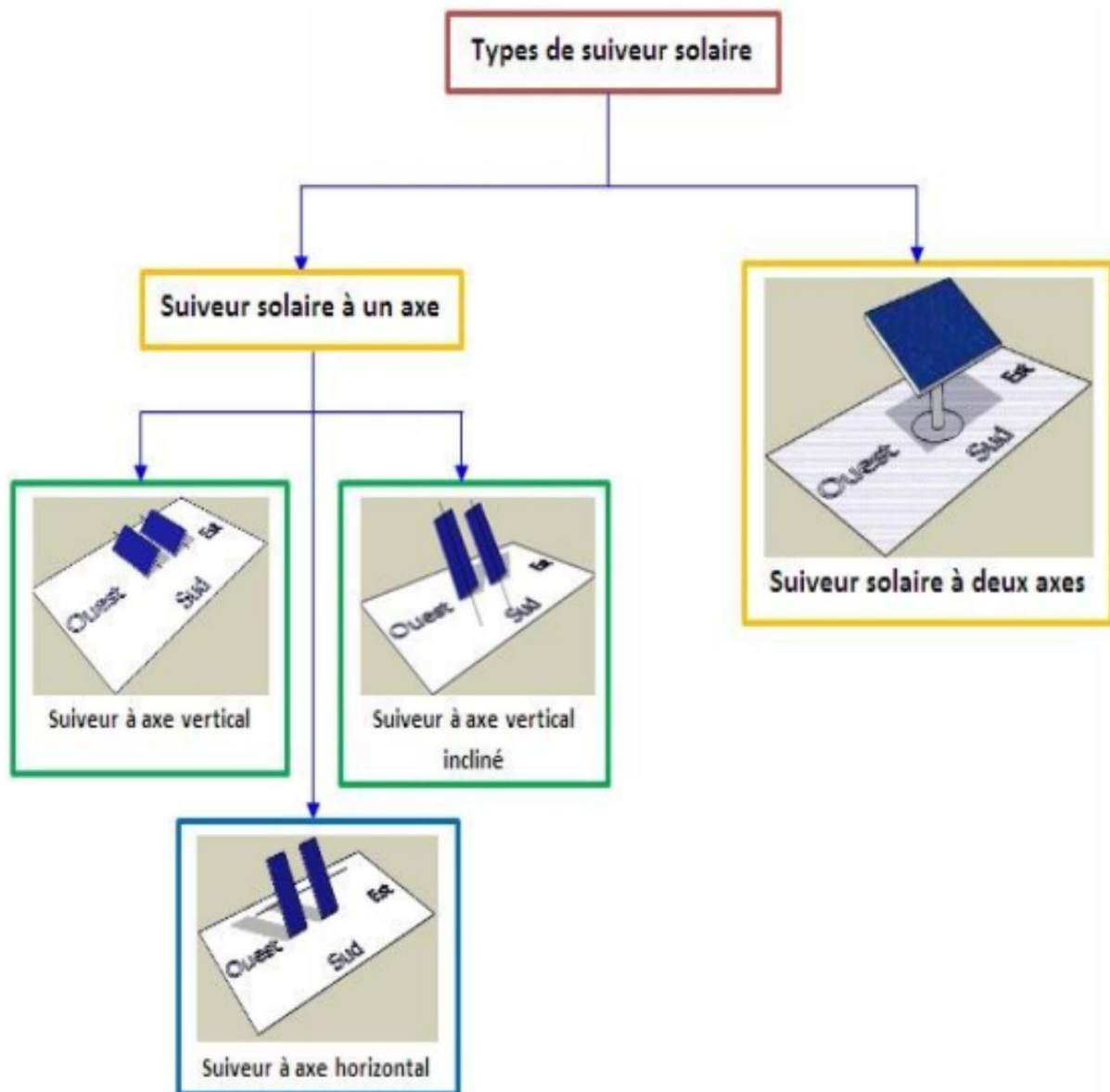
Ce ratio peut fournir de meilleures performances, uniquement lorsque les panneaux solaires impliqués ont système de support [5].

## **1.5 Idée générale du suiveur solaire**

Un tracker solaire (suivi solaire) est un appareil mobile permettant de suivre le soleil grâce à un plancher rotatif ou l'héliostat. Cette structure porteuse motorisée oriente les capteurs solaires en temps réel vers le soleil pour obtenir un gain significatif de productivité de 25% à 50% par rapport aux panneaux photovoltaïques classiques. Car la position du soleil varie en fonction des saisons sur la latitude [15].

## **1.6 Types de suiveurs solaires**

Le système est conçu pour orienter le capteur vers le soleil en temps réel pour que le panneau soit toujours dans une position perpendiculaire au rayonnement solaire, car le déplacement du soleil au cours de la journée et au cours de l'année (selon la saison) est en constante évolution. Cet ajustement en temps réel permet un gain très important de la production d'énergie. La rotation peut se faire soit selon le nombre des axes de rotations ou bien selon le principe de suivi (figure 1.11).

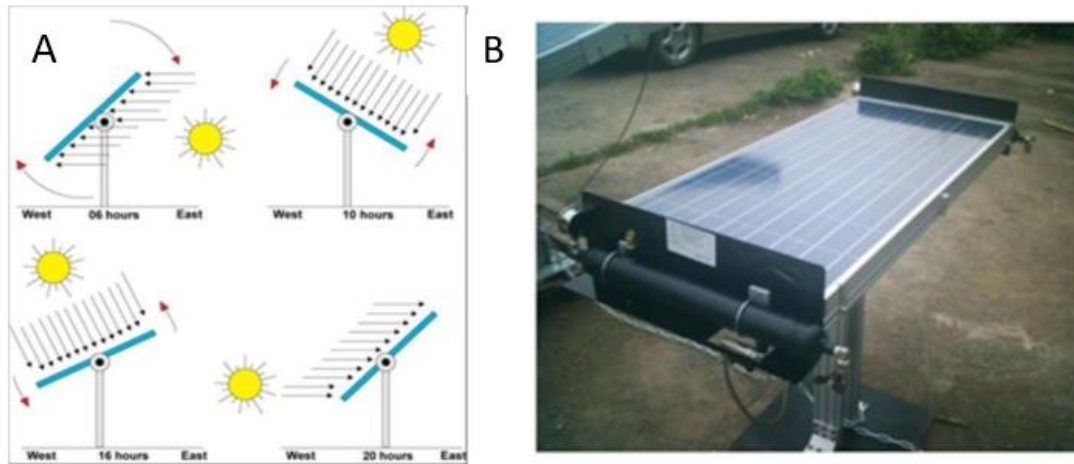


**Figure 1.11** : Les différents types des suiveurs solaires [24]

### 1.6.1 Selon le nombre des axes de rotation

- **Trackers solaires passifs :**

Ils utilisent un fluide gazeux chimique comprimé dans deux tubes en cuivre montés sur les côtés Est et Ouest du panneau. Ce liquide a la caractéristique de se vaporiser à basse température et redevient liquide lors de l'exposition prolongé au soleil, le liquide dans le grand tube s'évapore, permettant au gaz de s'écouler à travers le tube de l'autre côté du système photovoltaïque. Le mouvement du gaz et du liquide modifié lentement le poids d'un côté du panneau, manœuvrant ainsi efficacement le dispositif vers le soleil sans avoir besoin d'une source d'énergie ou bien une machine (figure 1.12) [10].



**Figure 1.12** : Traker solaire passif [23]

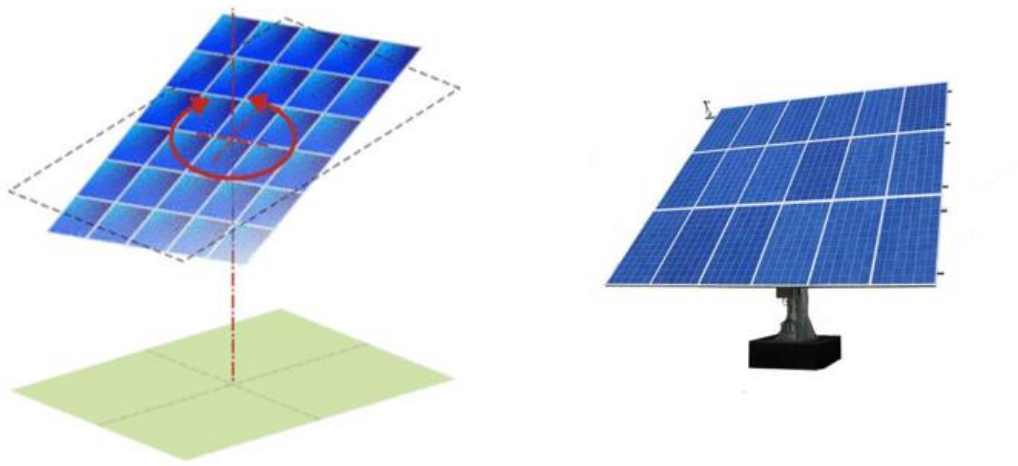
- **Trackers solaires actifs :**

Un suiveur solaire peut avoir deux degrés de liberté de rotation : dans le sens horizontal pour régler l'inclinaison et dans le sens vertical pour l'orientation. Les trackers solaires actifs utilisent les LDRs (capteurs de lumière) pour suivre la trajectoire du soleil et obtenir un angle d'incidence du rayonnement optimal. Il existe deux types de panneaux se basant sur ce principe [13] :

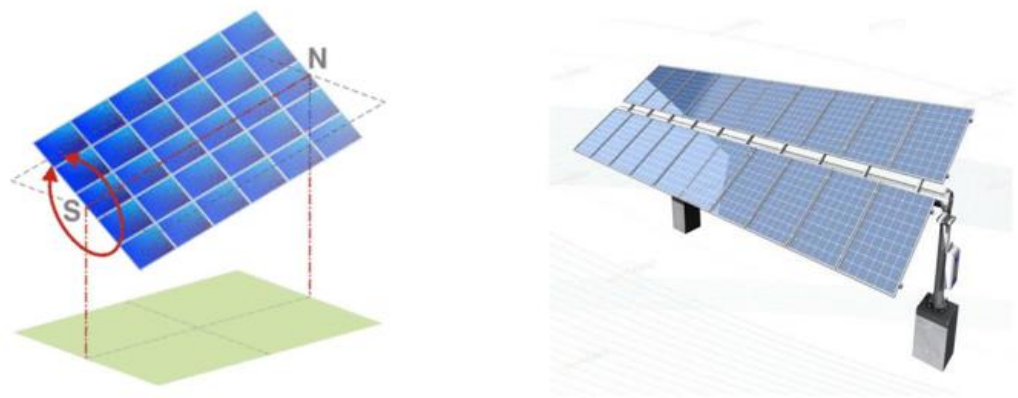
Le tracker mono-axe et le tracker double axe. Par rapport aux trackers passifs, ce dernier offre un suivi plus précis ainsi qu'un gain augmenté par rapport au système fixe [13].

— **Suiveur Actif Mono-Axe** : Ce tracker tourne autour d'un axe (sud-est). les panneaux solaires seront orientés à l'est le matin et à l'ouest l'après-midi. L'angle d'inclinaison du panneau ne peut être changer mais il peut être placé en fonction de l'angle (latitude de la position) le plus adéquat pour avoir un ensoleillement maximal durant toute l'année, comme cet angle peut être ajuster au début de chaque saison mais son angle azimutal change durant la journée. Le système de suivi mono-axe est le dispositif le plus utilisé du fait de sa simplicité mais ils apportent moins de précision [13].

Le suiveur à axe horizontal ainsi que le suiveur à axe vertical font tous deux partie de cette catégorie. Ce type de suiveur permet d'obtenir un gain d'énergie d'environ 25%, en plus d'être moins coûteux donc on peut installer plus de suiveurs solaires comparé aux 2 axes (figure 1.13) [13].



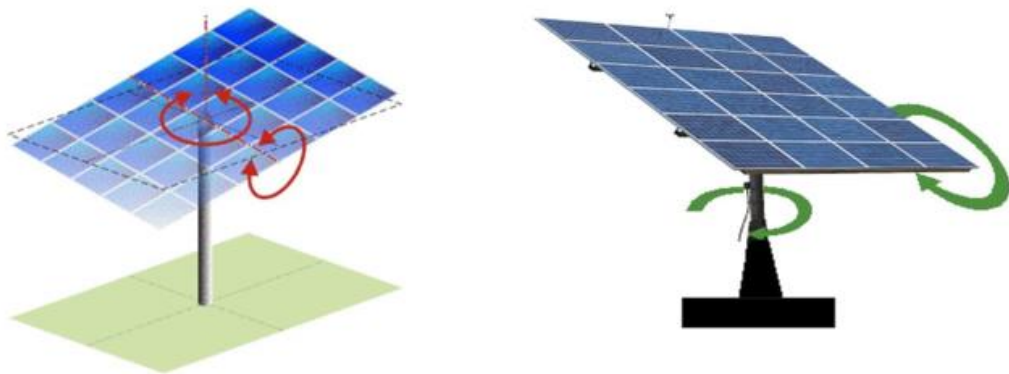
**Figure 1.13** : Suiveur à axe vertical [13]



**Figure 1.14** : Suiveur à 1 axe horizontal [13]



— **Suiveur Actif Double-Axe** : comme son nom l'indique, ce tracker solaire possède deux axes, lui donnant la possibilité de suivre les mouvements d'azimut et d'inclinaison pendant la journée. De ce fait, le capteur est perpétuellement orienté vers le soleil. Donc si on le compare au suiveur Solaire mono-axe, le suiveur solaire double-axe donne des performances supérieures (figure 1.15).

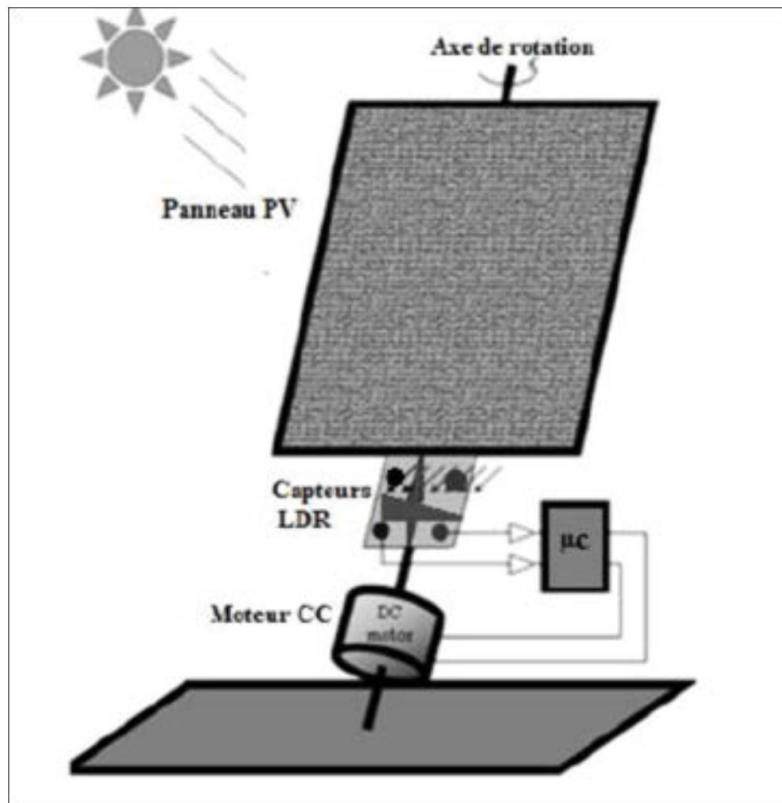


**Figure 1.15** : Suiveur à 2 axes [13]

### 1.6.2 Selon le principe de suivi

**Suiveur à boucle ouverte (La méthode astronomique)** : Cette méthode repose sur des calculs et des équations géométriques et astronomiques permettant de déterminer la position du soleil, les coordonnées du soleil sont fournies en fonction de l'heure et des coordonnées GPS, qui doivent être préalablement enregistrés pour un emplacement particulier. Utilise comme points d'entrée : date, jour et heure en plus de la longitude et la latitude. Cette méthode peut-être influencer voire fausser par des perturbations ou des erreurs de modélisation [28].

**Suiveur à boucle fermée (La méthode des capteurs de lumière)** : Le suiveur solaire en boucle fermée est basé sur le principe de détection instantanée de la lumière par un capteur de lumière photo-cellulaire permettant un bon guidage des panneaux photovoltaïques et de surcroit une production d'énergie bien plus importante (figure 1.16) [28].



**Figure 1.16** : Suiveur basé sur des capteurs de lumière LDR [7]

### 1.6.3 Avantages et Inconvénients de l'Énergie Photovoltaïque

Les principaux avantages des cellules photovoltaïques sont :

- Elle est gratuite
- Elle ne pollue pas l'environnement
- Sa fiabilité et la longue durée de vie du système
- Sa structure robuste
- Sa flexibilité (basée sur la taille requise, modulaire)
- L'installation ne présente aucun inconvénient de la production d'énergie photovoltaïque :

Les principaux désavantages des cellules photovoltaïques sont :

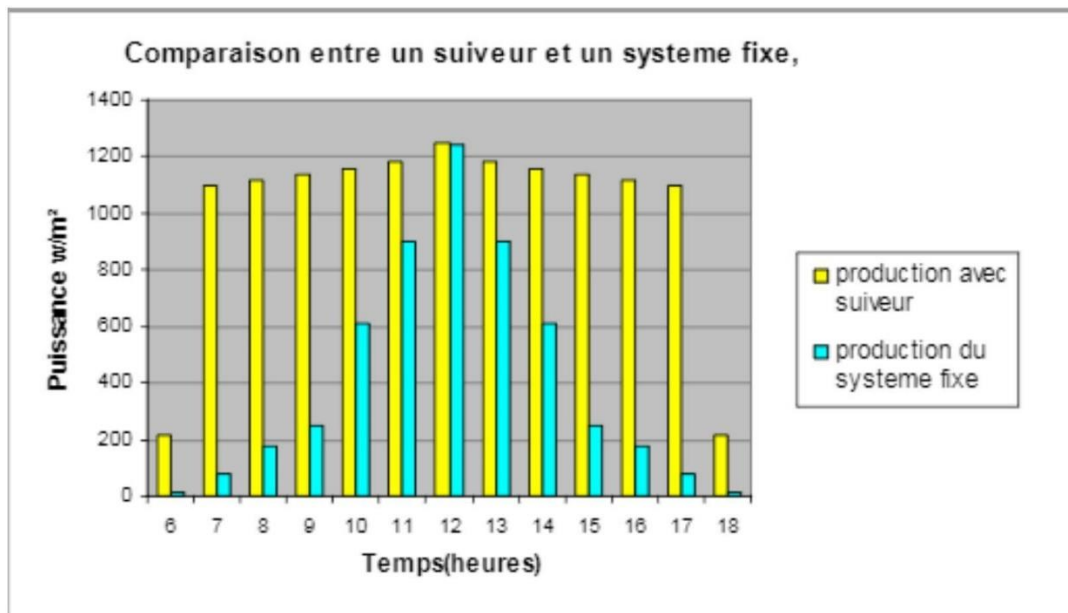
- Coût d'installation élevé.
- Rendement de l'effet photoélectrique relativement faible surtout durant l'hiver.
- Production intermittente, liée à la présence du soleil (absent la nuit).

- **L'avantage des panneaux mobile par rapport aux panneaux fixe**

Pendant la journée, le soleil se déplace en continu tandis qu'un générateur photovoltaïque est fixé dans sa position et perd ainsi une quantité importante d'énergie.

Si les modules photovoltaïques sont toujours orientés vers le soleil, c'est comme si la condition midi était toujours présente, la puissance générée est toujours à son maximum. Les modules photovoltaïques placés sur des suiveurs solaires sont nettement plus économes en énergie que les installations fixes.

Par une journée ensoleillée, un panneau solaire non mobile de 1 kW produit 5,5 kWh d'énergie, sachant que le même panneau placé sur un suiveur produit 11 kWh d'énergie dans les mêmes conditions de rayonnement solaire (figure 1.17) [20].



**Figure 1.17** : comparaison entre panneau fixe et suiveur [20]

La figure représente la comparaison entre panneau fixe et suiveur solaire. Nous pouvons constater que l'électricité du panneau photovoltaïque fixe est inférieure à celle d'un suiveur solaire.

## 1.7 Les Moteurs

Dans les suiveurs solaires les mouvements de rotation des panneaux sont fait grâce au moteurs plus fréquemment les moteurs a courant continue pour faciliter l'alimentation avec l'énergie acquise des panneaux, avec nos rechercher bibliographique nous avons abordé le type de moteurs qui va nous intéresser dans notre travail.

### **Machine tournante :**

Ce type de machine dans son utilisation va produire un mouvement rotatif qui va de suite transfère cette puissance rotative au dispositif auquel il est attaché. Dans ce type de machine il existe beaucoup de variante nous allons citer quelque exemple :

**Moteur pas à pas :** ce type de moteur permets d'avoir une précision au niveau des positions angulaires très élevés.

**Moteur a courant continue :** ce type de moteurs conviennent très bien aux applications dynamiques exigeant une grande précision au niveau de la vitesse, l'arrêt, les accélérations ou changement de rotation marches vers l'arrière s'effectuent rapidement (exemples : ascenseurs, robots).

**Machine a courant alternatif :** ces machines sont particulièrement adaptés aux applications nécessitant des mouvements continus et peu de changements de vitesses (exemple : Les pompes, les convoyeurs et les ventilateurs) . Ou même dans les applications qui ne demande pas une grande précision s'ils sont utilisés avec une vitesse variable.

## 1.8 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons décrit les énergies renouvelables plus précisément l'énergie solaire, y compris la production d'électricité par panneaux photovoltaïques. Nous montrons également le principe de production de l'électricité sur les panneaux.

Ensuite nous avons consacré une partie pour les suiveurs solaire, les différents types de suiveurs, pour ensuite les classés par rapport au diffèrent axes de mouvement des suiveurs avec les méthodes d'exploitation citant méthode a boucle fermé, boucle ouverte cela nous permet de comprendre les principes fonctionnels des modules photovoltaïques, et les méthodes, techniques et équipements utilisés pour mettre en œuvre ces systèmes de surveillance

## **2 Chapitre II:**

### **Modélisation et Méthodologie**

## 2.1 Introduction :

Les panneaux photovoltaïques ne donnent pas un rendement énergétique fixe, ce rendement dépend de la position du soleil mais surtout de la quantité du rayonnement solaire collecter par les P.V. Donc la position changeante du soleil dans le ciel tout au long de la journée affecte la production d'énergie des panneaux photovoltaïque. Les développeurs ont mis au point une nouvelle technique dans le but de maximiser le rendement tout au long de l'année, cette technique se nomme « suiveur solaire » dont le principe est inspiré par la plante « Tournesol ». Dans le cadre de notre travaille nous allons réaliser par simulation un suiveur solaire a doublé axes pour une possibilité de réception d'énergie des plus maximum, pour cela le système va être en boucle fermée.

## 2.2 Principe Du Tracker Solaire Avec Arduino

La carte Arduino qui est relié avec le suiveur solaire peut lire les informations détectées par des capteurs, après programmer et commander les actionneurs et comme ça il peut suivre la source de lumière et effectuer le meilleur alignement dans la direction du faisceau. Le mouvement de rotation se produit le long d'un axe (horizontal) ou de deux axes (vertical et horizontal). ...) Selon le système de suivi, la méthode utilisée variera en fonction du type de tracker solaire

## 2.3 Description des composants du système

### 2.3.1 Suiveur solaire :

On a choisi un suiveur mobile à deux axes pour une meilleure production électrique par rapport aux panneaux fixes et donne des performances supérieures qui peut aller jusqu'à 25 % et plus (figure 2.1).



Figure 2.1 : Suiveur à 2 axes [13]

### 2.3.2 La Carte de Développement Arduino

Arduino est une plateforme de prototypage open source qui se compose d'une carte électronique et logiciel de programmation. elle permet à l'utilisateur de formuler ses projets par expérimentation directe. Les projets Arduino peuvent être autonomes car ils peuvent communiquer avec d'autres logiciels installés sur l'ordinateur tels que Flash, Processing ou MaxMPS. Ces cartes sont basées sur une interface d'entrée / sortie simple et un environnement de développement proche du langage [17].

- **la carte Arduino**

Arduino est une carte de circuit imprimé en matériau libre sur laquelle se trouve un microcontrôleur qui peut être programmé pour analyser, calculer et générer des signaux électriques pour effectuer une grande variété de tâches (contrôle des systèmes automatisés, contrôle des appareils électroménagers - éclairage, chauffage) etc. Il existe différents types de cartes Arduino comme la carte UNO, Nano, Méga etc. Notre choix s'est basé sur la carte Arduino UNO car d'une part elle répond à nos exigences techniques et au faible coût d'autre part [2].

- **caractéristique Arduino UNO**

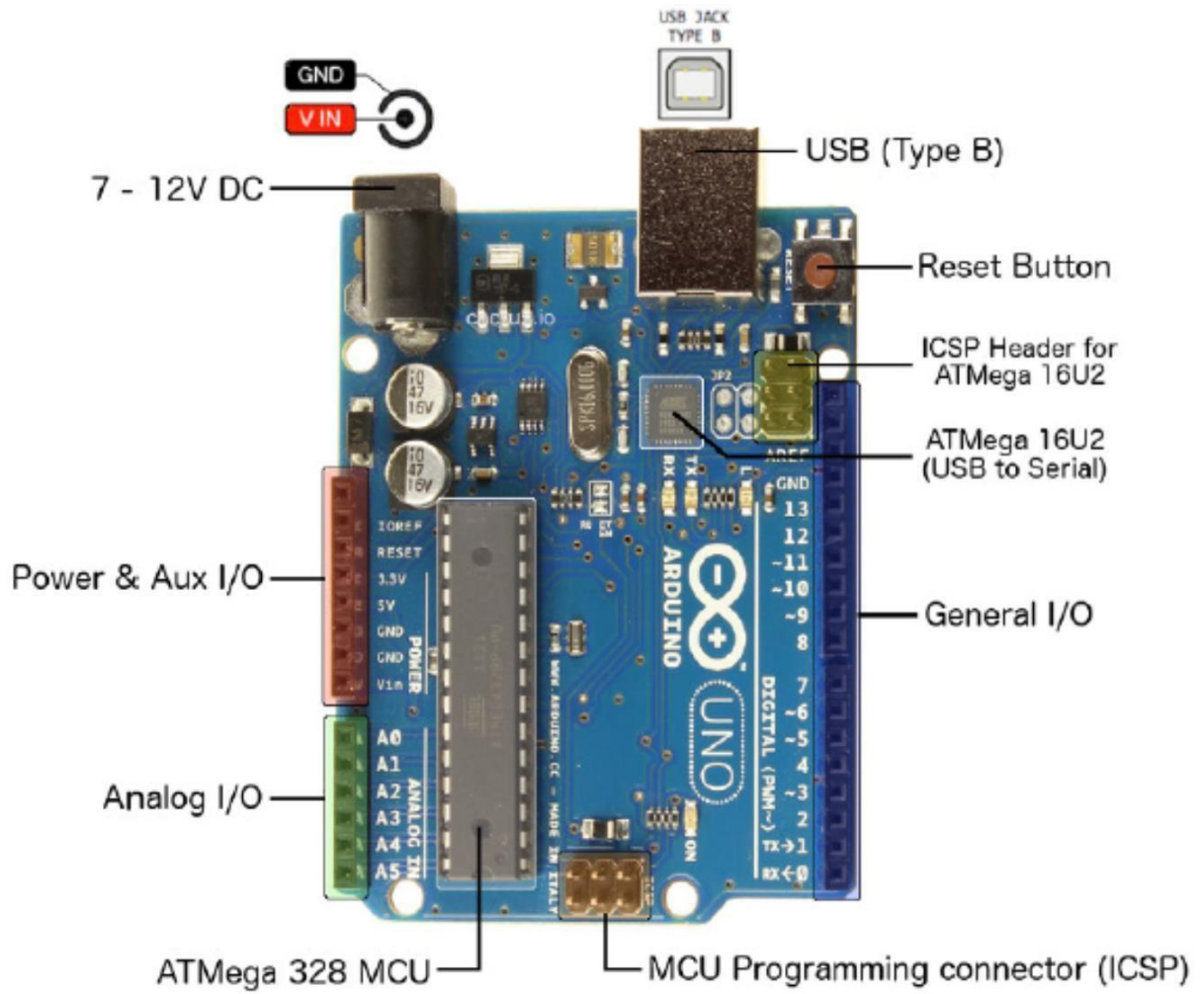
La carte Arduino Uno est une carte à microcontrôleur basée sur l'ATmega328

Elle dispose :

- De 14 broches numériques d'entrées/sorties (dont 6 peuvent être utilisées en sorties

PWM (largeur d'impulsion modulée)),

- De 6 entrées analogiques (qui peuvent également être utilisées en broches entrées/sorties numériques),
- D'un quartz 16Mhz, — D'une connexion USB,
- D'un connecteur d'alimentation jack,
- D'un connecteur ICSP (programmation "in-circuit"),
- Et d'un bouton de réinitialisation (reset) (figure 2.2). [2].



**Figure 2.2 :** Constitution de la carte Arduino UNO [2]



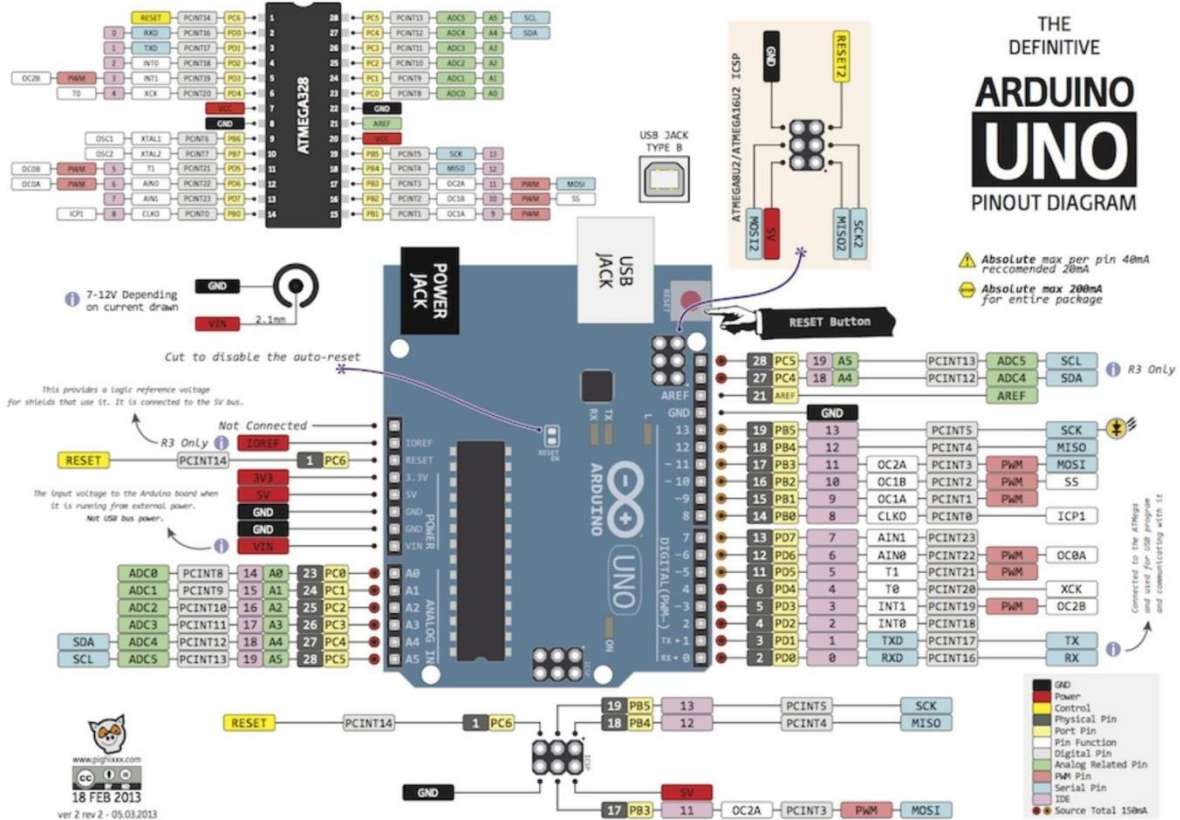


Figure 2.3 : constitution interne d'une carte arduino UNO [2]

### • Pourquoi Arduino UNO

Dans notre projet, nous avons utilisé la carte Arduino UNO pour les raisons suivantes :

- Elle offre une capacité de mémoire et grand un nombre de broches numériques d'entrée/sortie ;
- Le logiciel Arduino compatible sous la plupart des systèmes d'exploitation ;
- Un environnement de programmation clair et simple : l'environnement de programmation Arduino est facile [2].

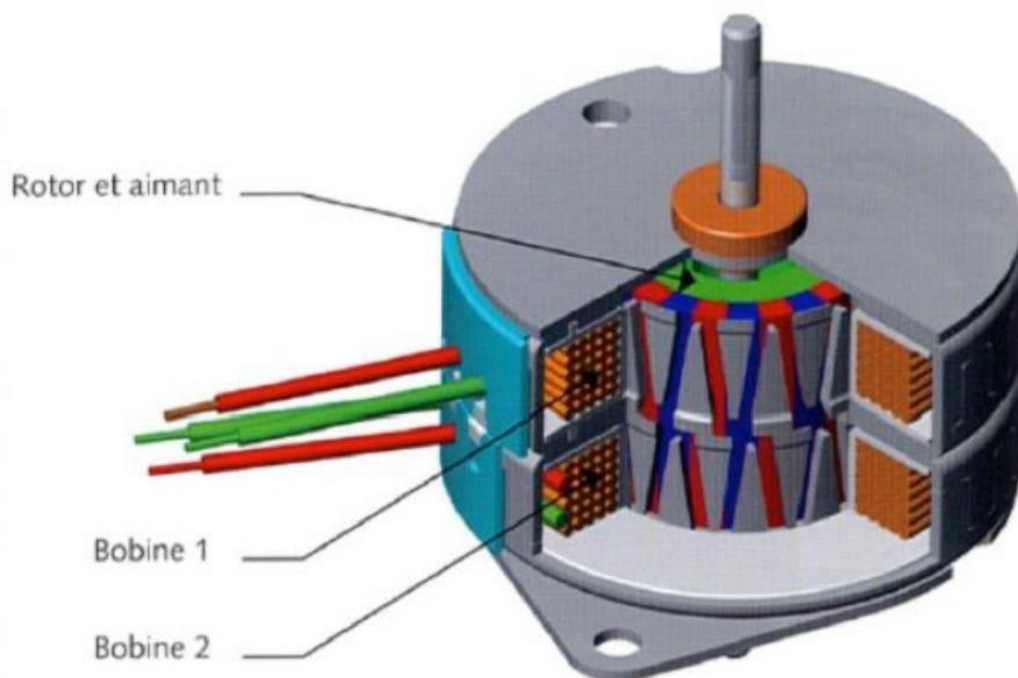
### 2.3.3 Moteur pas a pas

Pour notre travaille nous nous sommes penché vers les moteurs pas à pas grâce à leur précision lors du déplacement des panneaux

Un moteur pas à pas est un moteur à courant continu qui permet de transformer une impulsion électrique reçue dans ses enroulements en un mouvement angulaire.

Le moteur pas a pas peut effectuer 200 pas pour une rotation d'arbre complète (360°) ce qui signifie qu'un seul pas d'arbre est effectué tous les 1,8°, il peut même tourne de la moitié de

l'angle ( $0,9^\circ$ ) dans le mode demi pas. En faisant varier la fréquence des impulsions on peut avancer de  $90^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $18^\circ$ , ou d'une fraction de degré seulement par impulsion., on peut faire tourner le moteur pas à pas très lentement, d'un pas à la fois, ou rapidement à des vitesses aussi élevées que 4000 r/min. Lorsque le sens du courant dans l'une des bobines change de sens, il fait un pas. Son principe de fonctionnement est dû à l'attraction du champ magnétique vers la masse polaire (rotor). Le champ est plus lent que le champ (selon son nombre de pôles). C'est une alternative bon marché aux moteurs synchrones traditionnels car la vitesse peut difficilement être modifiée et l'électronique de commande est plus compliquée et difficile à utiliser. Les moteurs synchrones peuvent être alimentés par le secteur (220 V-50 Hz). Grâce au gradateur. Au contraire, le moteur pas à pas permet une large gamme de changements de vitesse, il est plus stable et précis, et certaines peuvent rencontrer tension continue faible qui est plus facile à trouver (batterie) sur le terrain. ils sont utilisés pour les positionnements angulaires précis (imprimantes, scanners, disques durs ...) (figure 2.4) [26].



**Figure 2.4 :** Moteur pas à pas[25]

### 2.3.4 Bloc alimentation

Afin de fonctionner, les moteurs ont besoin d'une alimentation avec un minimum de tension de 12V dans notre projet nous nous somme diriger vers une alimentation de 24V 1.83 A 42watt.

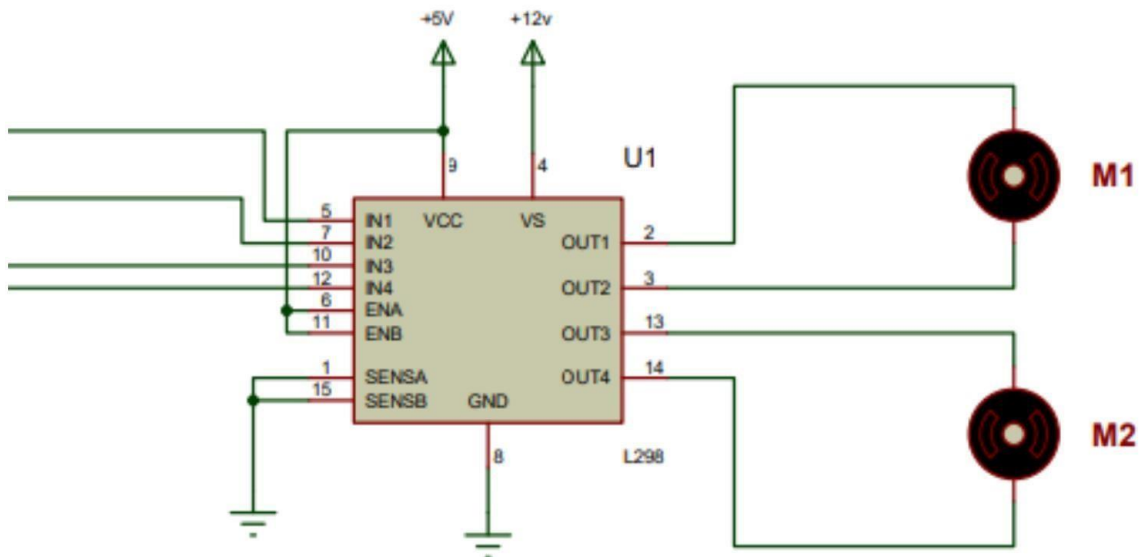
### 2.3.5 Le pont H

Le H-Bridge est un assemblage électronique de transistors utilisée pour inverser et changer la polarité sur les bornes d'un récepteur (comme l'inversement de la rotation d'un moteur à

courant continu). [11].

### **PONT EN H INTEGRE pour 2 moteurs (L 298)**

Comme exemple le plus connu, on peut citer la version bipolaire du L293 (1A) et L298 (4A) et la version MOS du SHC3060. Ces circuits intégrés peuvent être utilisés pour l'intégration car ils peuvent piloter 2 moteurs à courant continu (figure 2.5) [11].

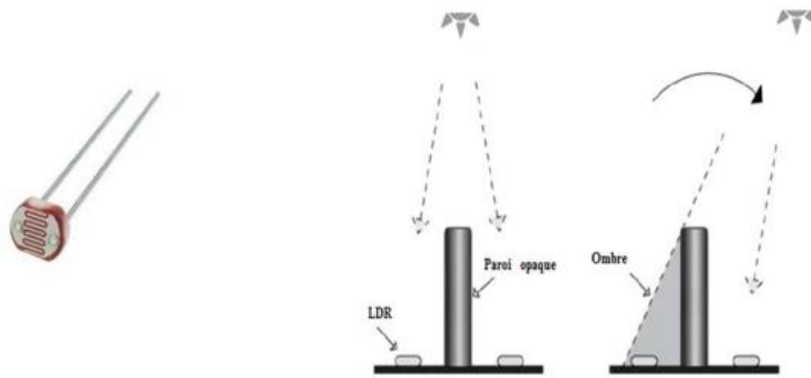


**Figure 2.5** : PontH avec 2 moteurs DC [11]

### **2.3.6 Capteur LDR**

Une photorésistance LDR (Light Dépendent Résistor) modèle GL5528 à une résistance dépendante de l'intensité de la lumière reçu. Ce composant est fait de matériaux se comportant comme des semi-conducteurs, ceux les plus souvent utilisés sont le sulfure de cadmium et le séléniure. La photorésistance est principalement utilisée pour mesurer l'intensité lumineuse (caméra, comptage, système d'alarme, etc.)

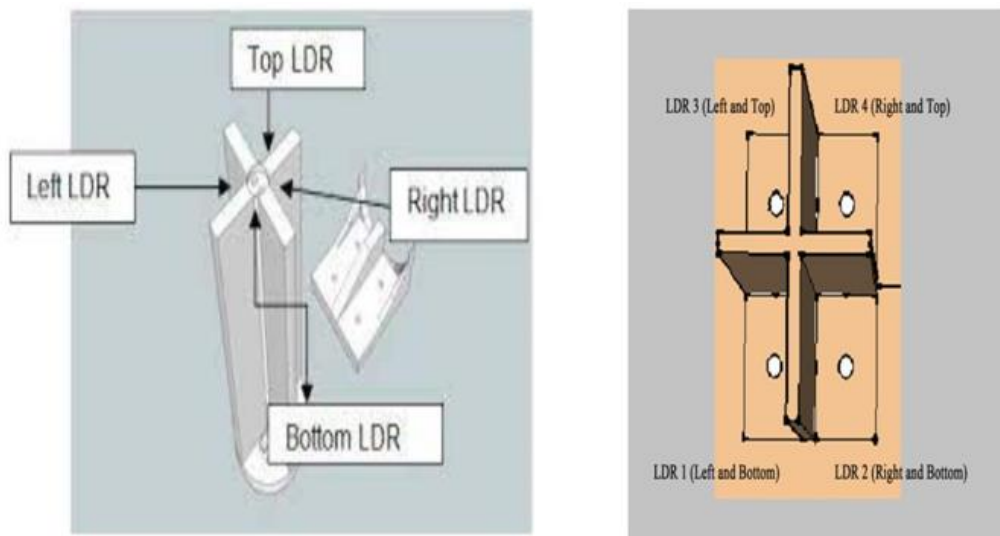
La photodiode permet la même chose mais dans notre étude nous avons préféré axer nos recherches sur le LDR parce qu'il offre un temps de réponse plus court (figure 2.6) [4].



**Figure 2.6** : Capteur de lumière LDR GL5528 [4]

### Emplacement des LDR sur les PV

La figure (2.10) illustre l'emplacement en quatre quadrants en utilisant quatre capteurs séparé par deux plants (forme +) et la forme (x) (figure 2.7)..



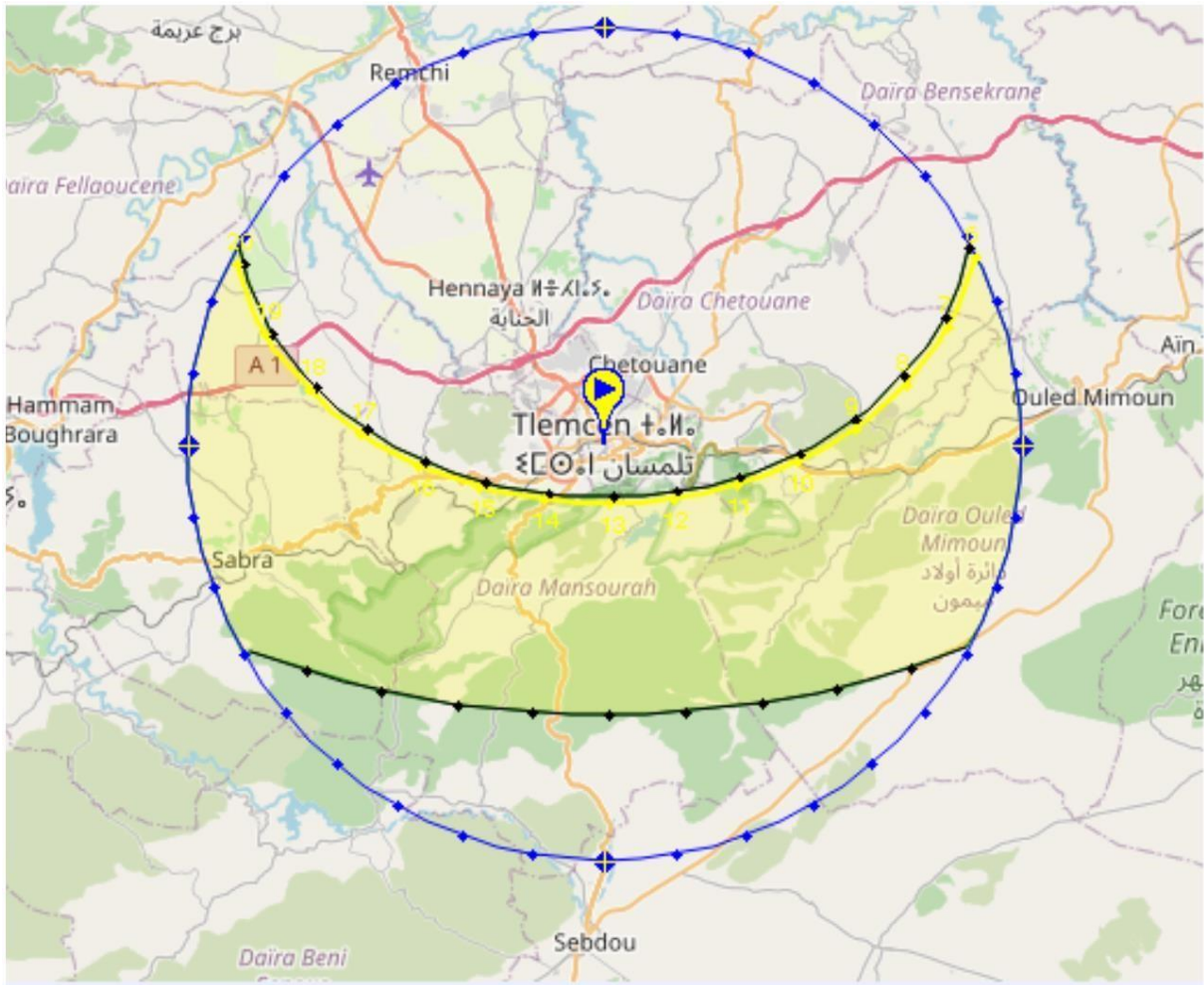
**Figure 2.7** : Capteurs de lumière en quatre quadrants en forme(+)et (x) [21, 6]

## 2.4 Méthodologie du suiveur solaire :

Le principe consiste a réalisé un suiveur solaire bi-axial manuel/auto en utilisant un Arduino Uno. Nous avons utilisé les sortie 12, 11, 10, 9 de notre Arduino pour notre pont H de type l298

## 2.5 Lieu des essaies

La figure 2.8 représente l'emplacement géographique du suiveurs (Tlemcen / université de chetouane).



**Figure 2.8** : Diagramme de la projection solaire à Tlemcen 'SunEarthTools'

## **2.6 Réalisation Sur Proteus**

Dans cette partie nous allons démontrer toutes les démarches suivies pour la réalisation du système sur Proteus et TinkerCad

### **2.6.1 Réalisation du programme sur Arduino IDE**

D'abord, nous déclarons toutes les variables utilisées, puis l'Arduino Le port est initialisé sur la sortie "SORTIES", puis appelle les routines de minuterie déjà présentes dans le compilateur IDE. Pour la partie mécanique nous nous sommes orientés vers l'utilisation de 2 moteurs, un premier pour un déplacement vers un angle azimutal, et l'autre pour un déplacement d'angle d'inclinaison

### **2.6.2 Organigramme descriptive**

Dans la **figure 2.9** on vous présente l'organigramme explicatif du fonctionnement du suiveur dans le quelle on peut voir au début on initialise les ports de sortie/entrée ensuite on a un teste dans le quelle on va voir si nous sommes en manuelle ou en auto.

- **Explication de l'Organigramme :**

Le programme commence par l'initialisation des valeurs des portes SORTIE/ENTREE, ensuite le système va vérifier la position du switch, pour connaitre si le fonctionnement est en auto ou manuelle (Figure 2.9)

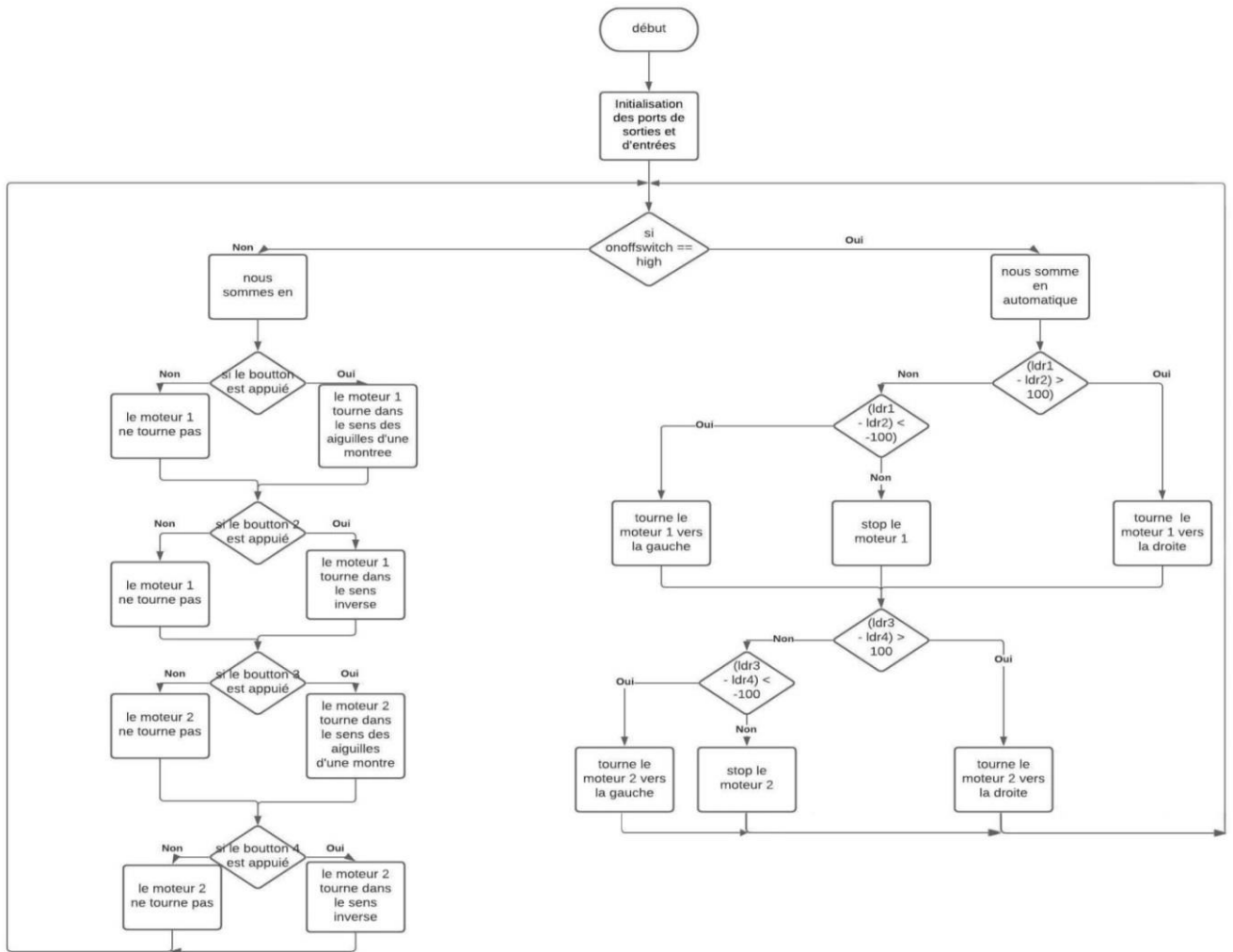
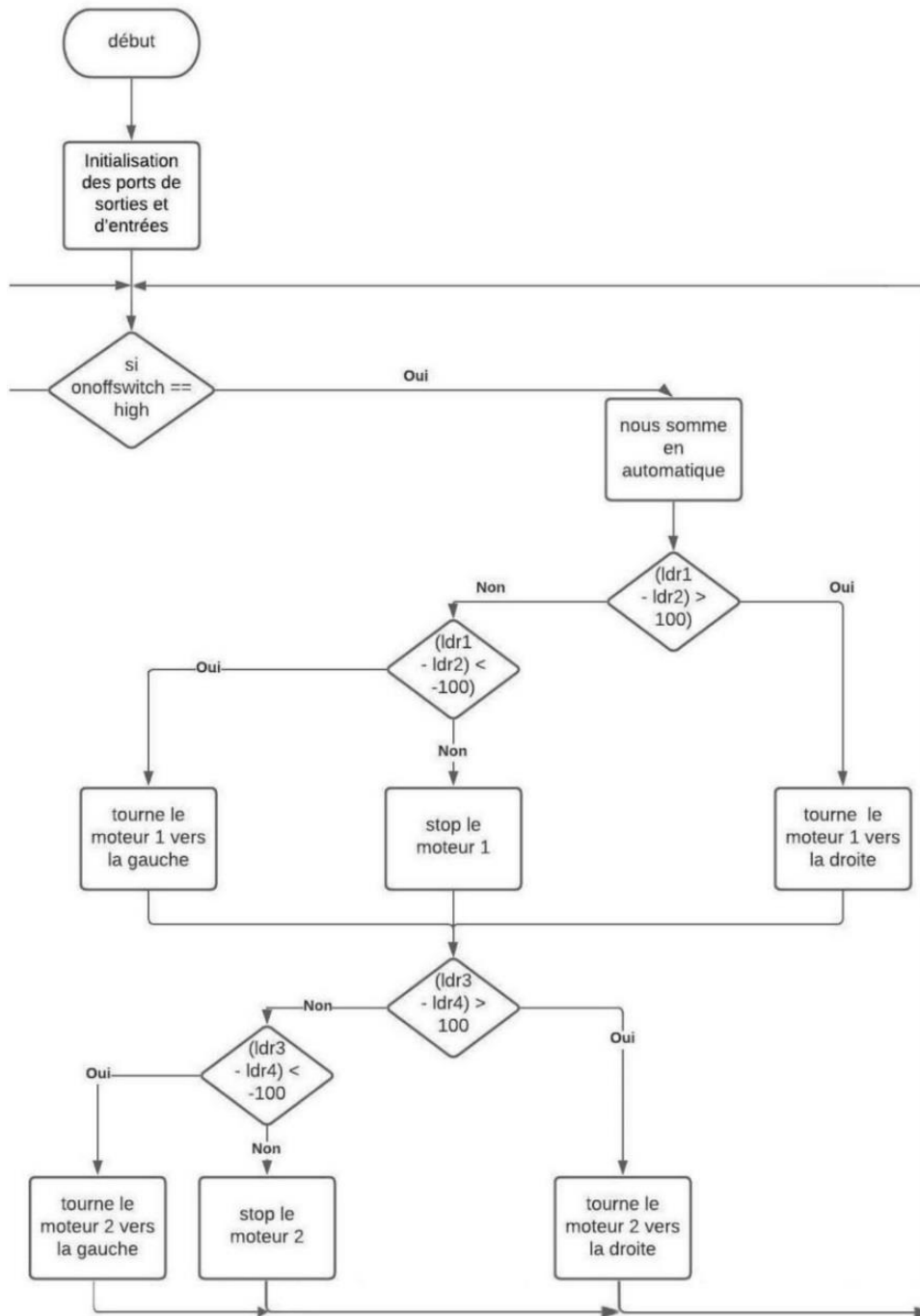


Figure 2.9 : organigramme complet expliquant

**Partie A :**

Si le switch est en position HIGH, le system va lancer le mode automatique.

Si LDR1-LDR2 le moteur va tourner dans le sens d'aiguilles d'une montre, si la différence est inférieure il va tourner dans l'autre sens, si LDR1=LDR2 le moteur ne tourne pas. Le même principe est appliqué pour LDR3 et LDR4



**Figure 2.10:** organigramme partie Auto

**La partie B :**

Si le switch est en mode DOWN, le système sera en mode manuelle.

Il est composé de 4 parties chaque partie le system va comparer la valeur des boutons et va orienter le panneau vers un sens ou il choisit de reste dans la même position



La première partie va commencer avec le bouton 1, si le bouton est appuyé le moteur va tourner dans le sens des aiguilles sinon il reste dans la même position.

La deuxième partie sera sur le bouton 2, s'il est appuyé il va faire tourner le moteur dans le sens inverse.

La troisième partie sera sur le bouton 3, s'il est appuyé il va faire tourner le moteur suivant dans le sens des aiguilles sinon il ne bouge pas

La quatrième sera sur le bouton 4, et il fera tourner le moteur dans le sens inverse

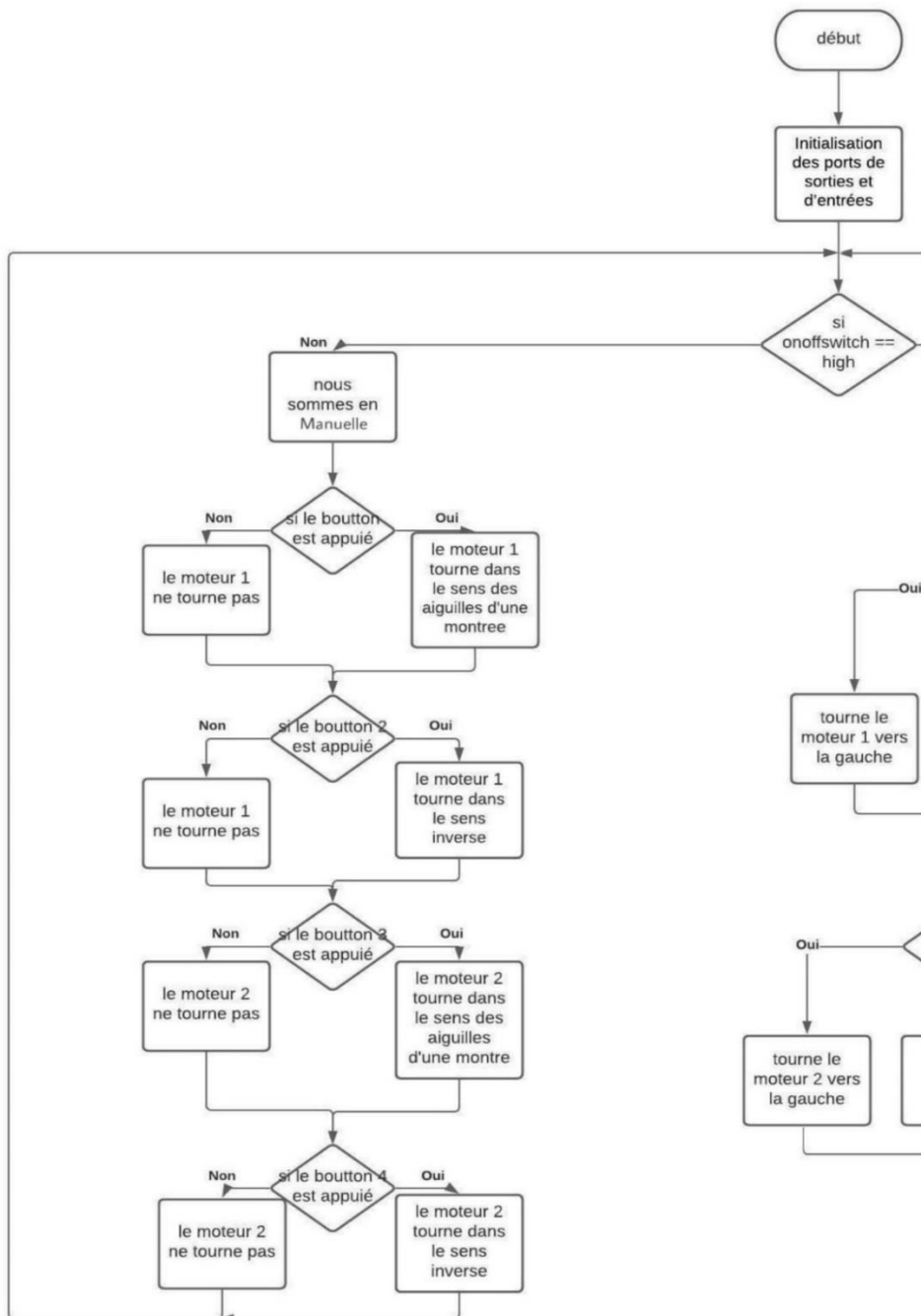


Figure 2.11: organigramme partie manuelle

A la fin de chaque mode (AUTO/MANU) le système revient à l'état initial.

## 2.6.3 Code Arduino IDE

### Initialisation des variables

```
// Initialisation des variables
int buttonPin1 = 2;
int buttonPin2 = 3;
int buttonPin3 = 4;
int buttonPin4 = 5;
int switch1Pin = 11;
int ldr1 = A0;
int ldr2 = A1;
int ldr3 = A2;
int ldr4 = A3;
int IN1 = 12;
int IN2 = 13;
int IN3 = 7;
int IN4 = 8;
int i = 0;
int j = 0;
int button1 = 0;
int button2 = 0;
int button3 = 0;
int button4 = 0;
int onoffswitch = 0;
int delay_time = 800;
void setup() {
  // Mapping entre circuit integret et variable du code
  Serial.begin(9600);
  pinMode(A0, INPUT);
  pinMode(A1, INPUT);
  pinMode(A2, INPUT);
  pinMode(A3, INPUT);
  pinMode(2, INPUT_PULLUP);
  pinMode(3, INPUT_PULLUP);
  pinMode(4, INPUT_PULLUP);
  pinMode(5, INPUT_PULLUP);
  pinMode(11, INPUT_PULLUP);
  pinMode(9, OUTPUT);
  pinMode(IN1, OUTPUT);
  pinMode(IN2, OUTPUT);
  pinMode(10, OUTPUT);
  pinMode(IN3, OUTPUT);
  pinMode(IN4, OUTPUT);
}
```

## Partie manuelle

Dans cette partie nous avons utilisé 4 boutons poussoir ces boutons vont nous permettre de tourner les moteurs dans les 2 sens différents manuellement.

Le programme dédié à cette partie est le suivant :

```
// Loop est une fonction équivalente à main en plus d'avoir la fonctionnalité d'une boucle infinie
void loop() {
  onoffswitch = digitalRead(switch1Pin);
  if (onoffswitch == LOW) {
    Serial.println("Control Avec Buttons");
    //manual rotating of the panel
    ldr1 = analogRead(A0);
    ldr2 = analogRead(A1);
    ldr3 = analogRead(A2);
    ldr4 = analogRead(A3);

    button1 = digitalRead(buttonPin1);
    if (button1 == HIGH) {
      digitalWrite(IN1, HIGH);
    } // Rotate of the top disk from {X} to {Y} / X, Y = Left OR Right
    else {
      digitalWrite(IN1, LOW);
    }
    button2 = digitalRead(buttonPin2);
    if (button2 == HIGH) {
      digitalWrite(IN2, HIGH);
    } // Rotate of the top disk from left to right
    else {
      digitalWrite(IN2, LOW);
    }
    button3 = digitalRead(buttonPin3);
    if (button3 == HIGH) {
      digitalWrite(IN3, HIGH);
    } // Rotate of the top disk from left to right
    else {
      digitalWrite(IN3, LOW);
    }
    button4 = digitalRead(buttonPin4);
    if (button4 == HIGH) {
      digitalWrite(IN4, HIGH);
    } else {
      digitalWrite(IN4, LOW);
    } // Rotate of the top disk from right to left
    onoffswitch = digitalRead(switch1Pin);
  }
}
```

## Partie Automatique

Sur cette partie nous avons utilisé les LDR, ces capteurs de lumière vont nous permettre de faire tourner les moteurs vers le point le plus lumineux pour avoir un rendement d'énergie plus efficace. Pour cela Nous avons calculé les moyennes de tensions délivrées par les LDR à travers les équations suivantes.

$$i = \text{abs}(\text{ldr1} - \text{ldr2}) \quad j = \text{abs}(\text{ldr3} - \text{ldr4})$$

Ensuite, nous avons utilisé la commande "if else" va nous permettre de faire tourner les moteurs vers la LED la plus illuminé en utilisant cette commande.

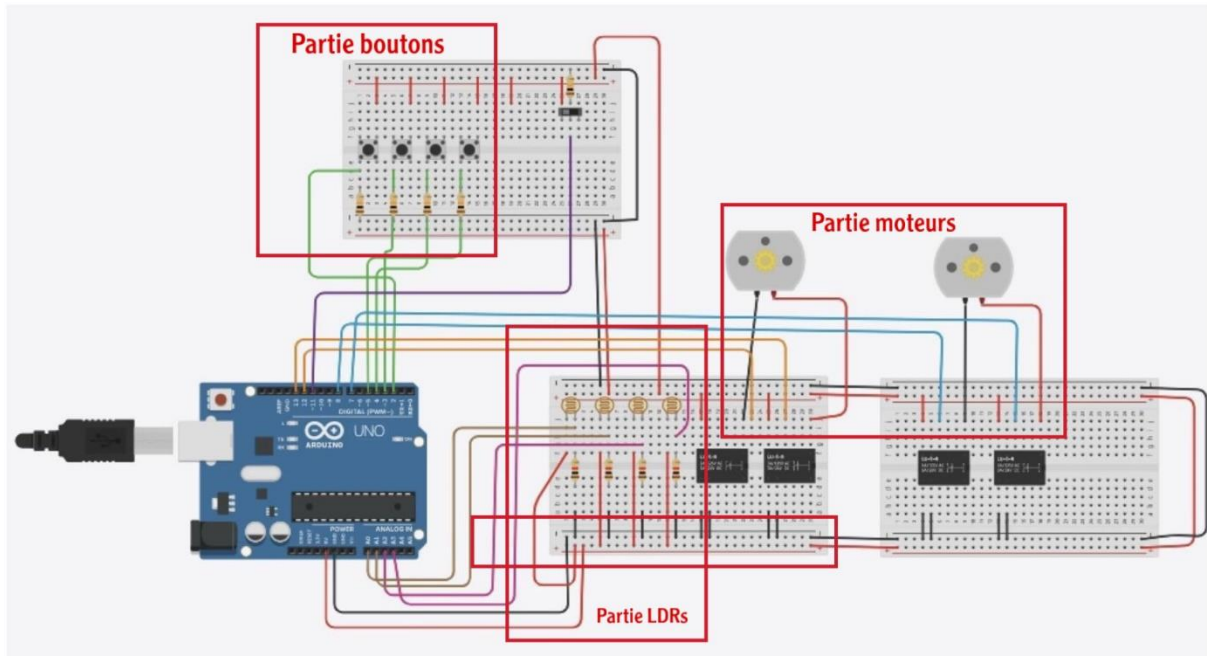
If ((ldr1 - ldr2) >100)

```
// automatically rotating of the panel
onoffswitch = digitalRead(switch1Pin);
if (onoffswitch == HIGH) {
  Serial.println("Control Automatique\t");
  int ldr1 = analogRead(A0);
  int ldr2 = analogRead(A1);
  int ldr3 = analogRead(A2);
  int ldr4 = analogRead(A3);

  i = abs(ldr1 - ldr2);
  j = abs(ldr3 - ldr4);

  if ((ldr1 - ldr2) >60) {
    analogWrite(10, map(i, 0, 1024, 0, 255));
    digitalWrite(IN1, LOW);
    digitalWrite(IN2, HIGH);
  } else if ((ldr1 - ldr2) < -60) {
    analogWrite(10, map(i, 0, 1024, 0, 255));
    digitalWrite(IN1, HIGH);
    digitalWrite(IN2, LOW);
  } else {
    digitalWrite(10, LOW);
  }
  if ((ldr3 - ldr4) > 60) {
    analogWrite(9, map(j, 0, 1024, 0, 255));
    digitalWrite(IN3, LOW);
    digitalWrite(IN4, HIGH);
  } else if ((ldr3 - ldr4) < -60) {
    analogWrite(9, map(j, 0, 1024, 0, 255));
    digitalWrite(IN3, HIGH);
    digitalWrite(IN4, LOW);
  } else {
    digitalWrite(9, LOW);
  }
}
Serial.print("IN1: "); Serial.println(digitalRead(IN1));
Serial.print("IN2: "); Serial.println(digitalRead(IN2));
Serial.print("IN3: "); Serial.println(digitalRead(IN3));
Serial.print("IN4: "); Serial.println(digitalRead(IN4));
delay(delay_time);
}
```

## 2.6.4 Schéma sur Tinkercad:



**Figure 2.12** : Schéma du système sur Tinkercad

Partie boutons : représenté les boutons utilisé pour la partie manuelle

Partie LDR : représenté les capteur LDR utilise

Partie moteurs : représente les moteurs utilisés

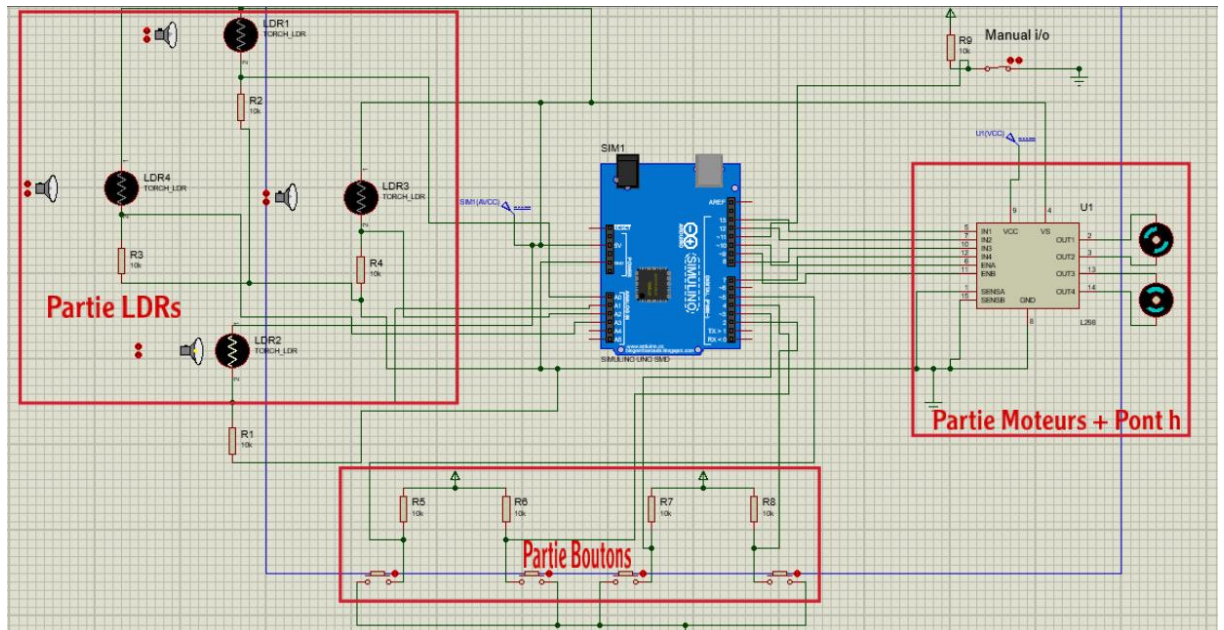
A droite ce trouve Arduino Uno relié au différents partie du système

## 2.6.5 La réalisation virtuelle «PROTEUS»

Pour notre réalisation virtuelle Nous utilisons une CAO : c'est ISIS-PROTEUS, c'est une CAO électronique avancée de Lab center Electroniques qui permet de dessiner, simuler et réaliser les circuits imprimés correspondants, outils qui sont regroupés en modules au sein d'une même interface. Notre simulation est continué d'un :

- Simulino Uno
- Quatre LDR
- 8 RES 10K
- 4 boutons poussoir
- 1 switch
- 2 moteur DC
- L298

La figure démontre l'installation des différents composant sur Proteus



**Figure 2.13** : Schéma du système sur Proteus

Partie moteurs + pont : représente la disposition des moteurs relié au pont H.

Partie LDR : représenté les capteurs LDR en forme de (+).

Partie Boutons : représente les 4 boutons utilise pour le mode manuel.

Au milieu se trouve Arduino uno

## 2.7 Simulation 3D du suiveur sur PVsyst :

Les simulations ont été réalisées et analysés sur une base quotidienne puis mensuelle à l'aide du logiciel PVsyst.

PVsyst est un logiciel de simulation 3D consacré à la simulation photovoltaïque. Il nous permet d'obtenir diverses informations telles que la production d'énergie, l'irradiation et production annuelle d'énergie.

La figure 2.20 représente l'interface du logiciel PVsyst.

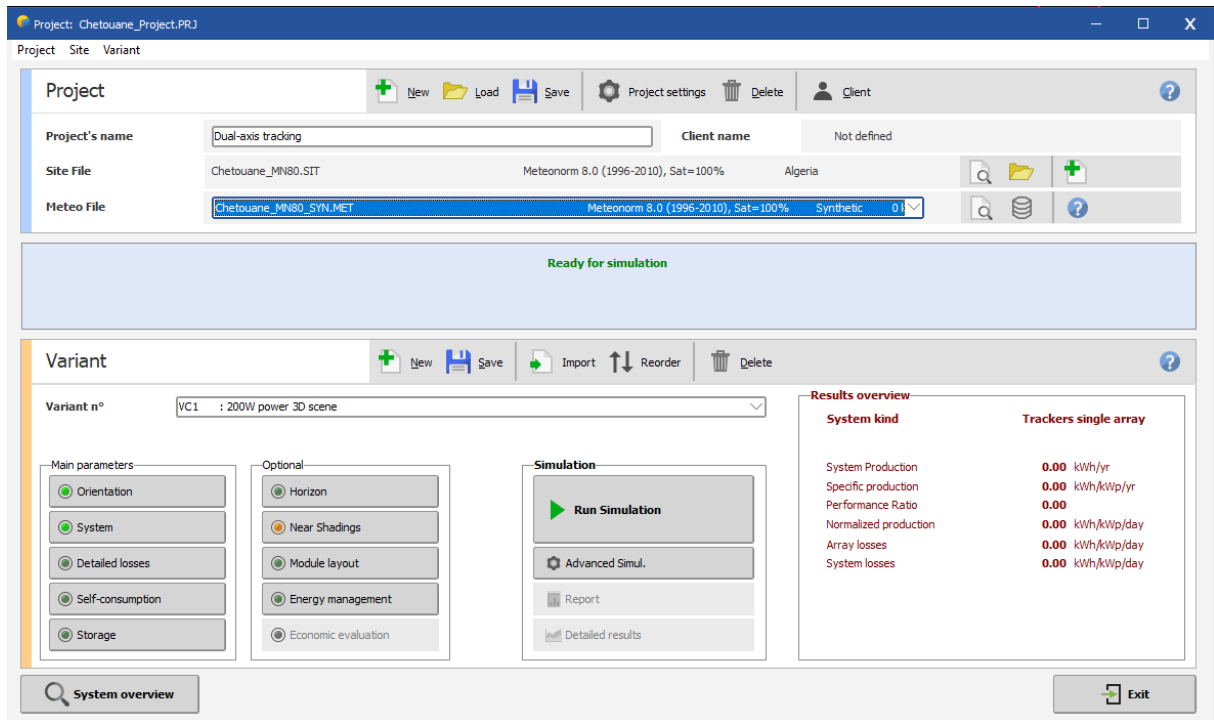


Figure 2.14: interface PVsyst

Le PV utilisé est de modèle Jinkosolar JKM 200PP-48 fixé au niveau du toit du bloc-c (Université de Technologie de Tlemcen).

La photo dessous montre un plan 3D Perspective du champ PV avec les quatre points cardinaux (nord, sud, est et ouest)

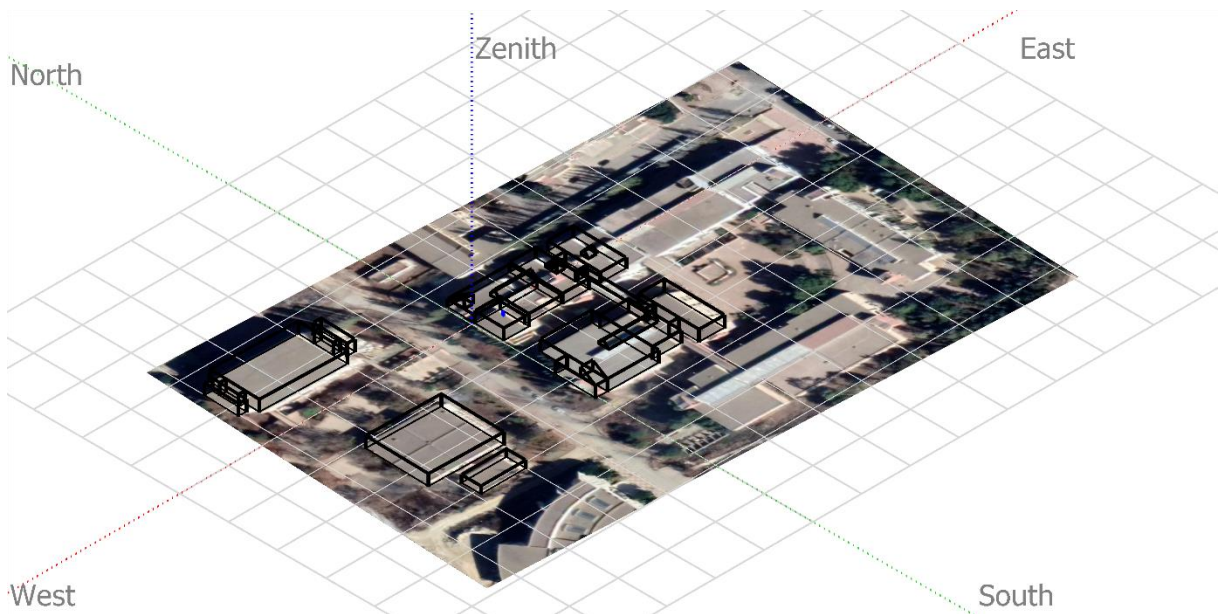
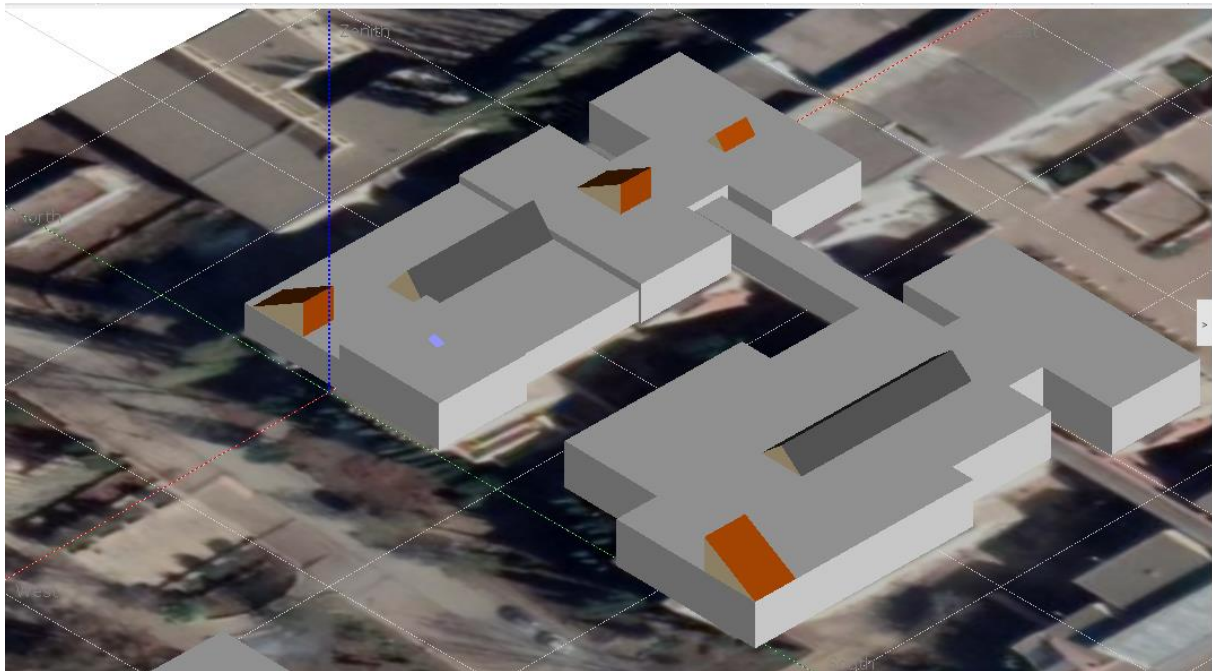


Figure 2.15: scène d'ombrage environnante

La figure 2.22 représente l'emplacement choisis pour la simulation du suiveur solaire.

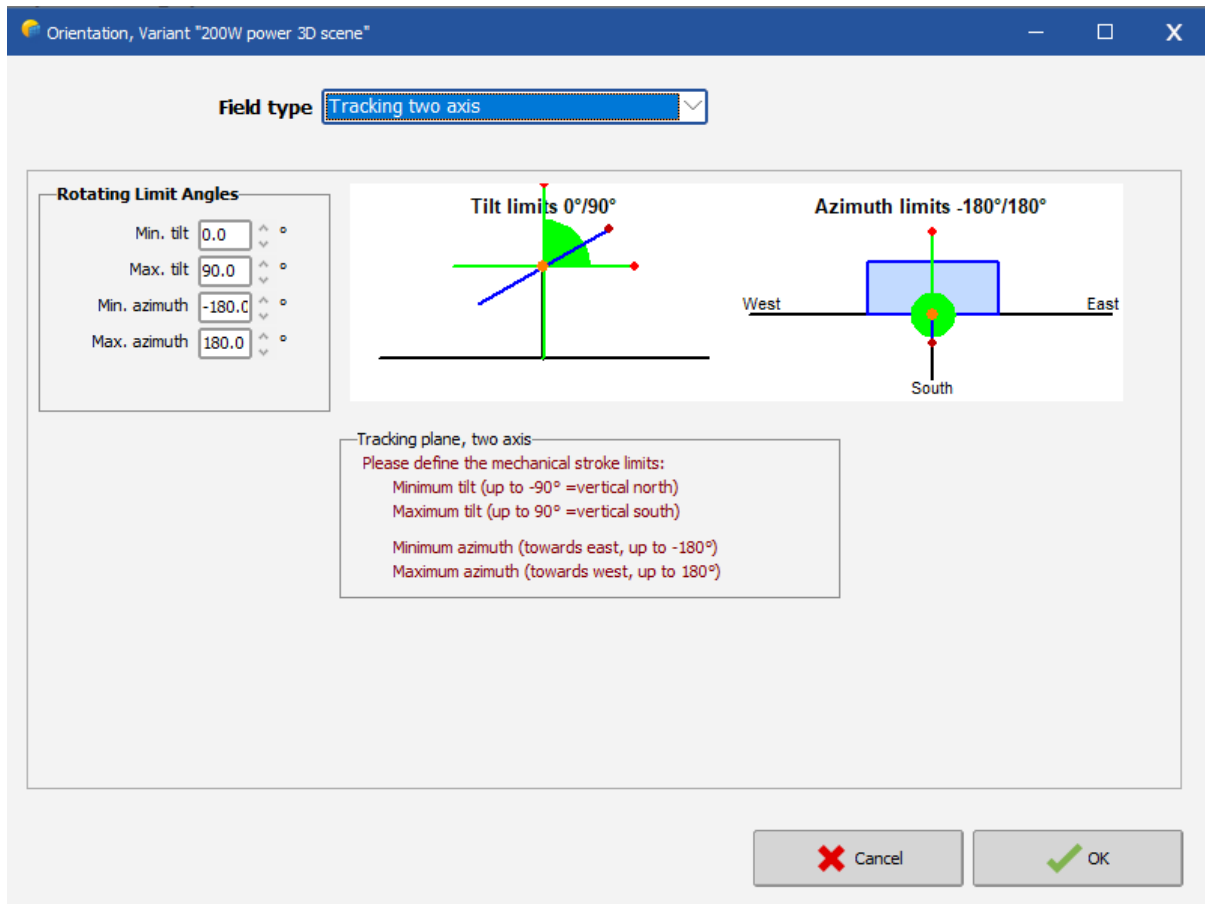


**Figure 2.16** : scène 3D pour l'emplacement du suiveur

### **2.7.1 Représentation du suiveur sur PVsyst**

Le suiveur solaire a deux axes a 2 diffèrent degré de liberté la figure si dessous monte la spécification de ces deux degrés de liberté sur le logiciel PVsyst





**Figure 2.17** : spécification des angles pour le suiveur solaire sur la simulation PVsyst

## 2.8 conclusion :

Ce chapitre a été consacré à l'explication au choix du suiveur avec les matériaux utiliser pour la simulation. Puis la mise en œuvre du system du suiveur sur Proteus avec démonstration de toute les étapes suivies à la réalisation. Ensuite l'utilisation du logiciel PVsyst pour la simulation 3D avec choix de l'emplacement du suiveur solaire.

### **3 Chapitre III :**

## **Application, résultat et validation**

### 3.1 Introduction:

Dans ce chapitre, nous présenterons les résultats obtenus de notre simulation du système sur PROTEUS et PVsyst avec commentaires et discussions sur le contenu.

### 3.2 Résultat de la simulation du suiveur :

Pour cause du Covid 19 et du confinement la réalisation pratique n'a pas pu être faite, néanmoins la simulation virtuelle du suiveur solaire nous a permis d'avoir des résultats proches de la réalité.

#### a. Schéma final sur Tinkercad :

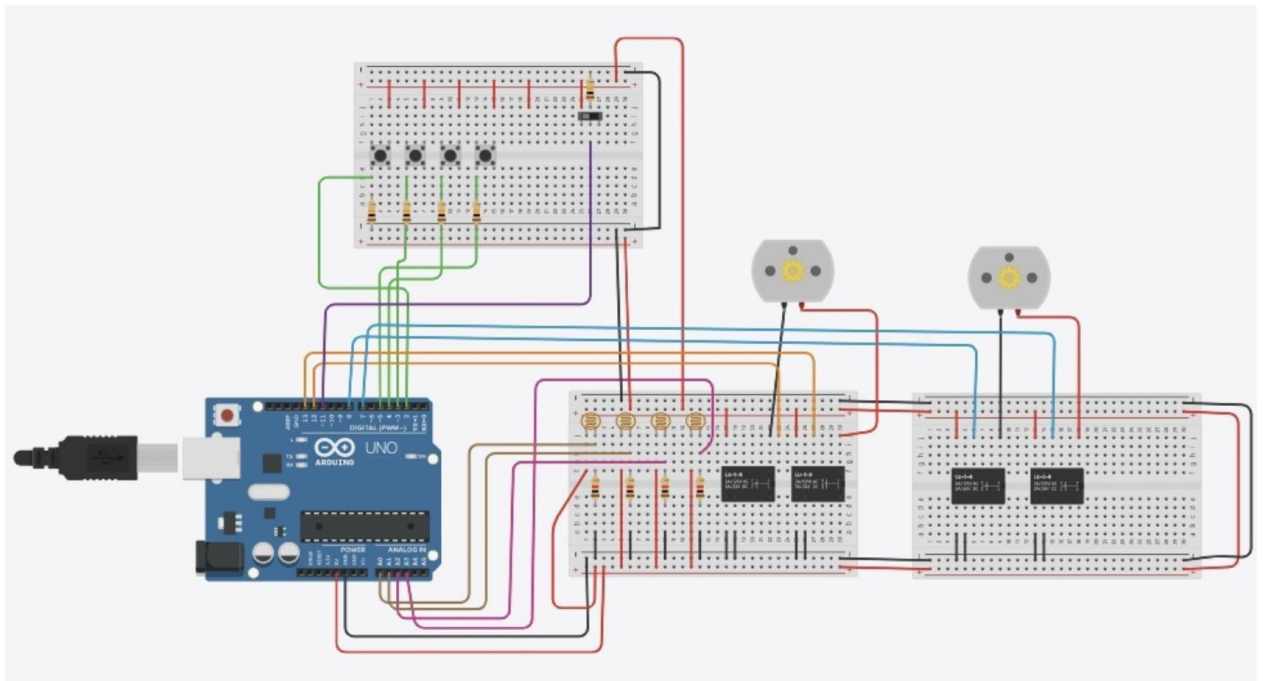


Figure 3.1 : Schéma final de la carte Arduino sur Tinkercad

### 3.2.1 Schéma Proteus

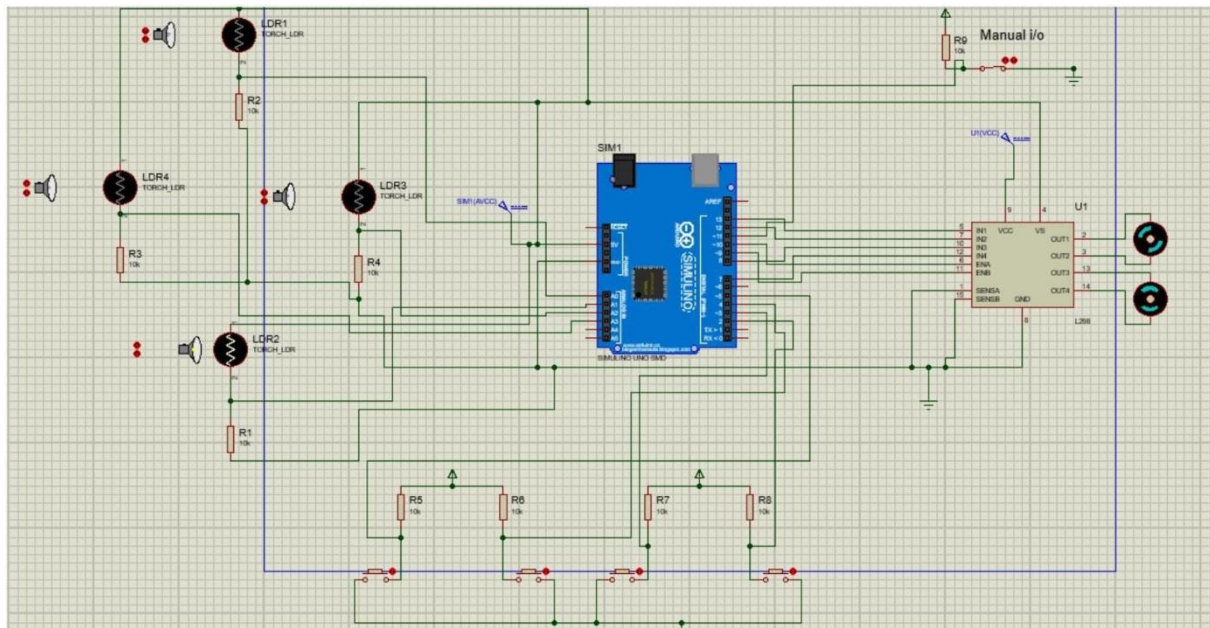


Figure 3.2 : Schéma complet sur Proteus

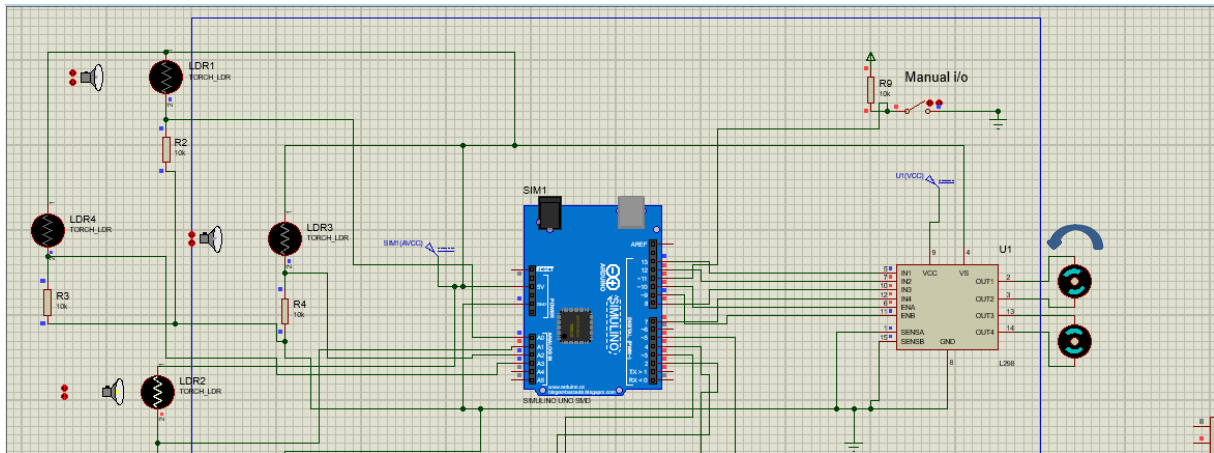
Sur le schéma Proteus la partie gauche est consacré au LDR, ces capteurs sont branchés sur les pins A0 A1 A2 A3 respectivement sur notre carte Arduino cela va nous permettre d'avoir un mécanisme auto de notre projet.

En bas du schéma nous pouvons trouver des boutons poussoir, les deux boutons gauches sont utilisés pour faire tourner notre moteur d'inclinaisons vers les deux sens, et les deux boutons droits pour la rotation du moteur azimut.

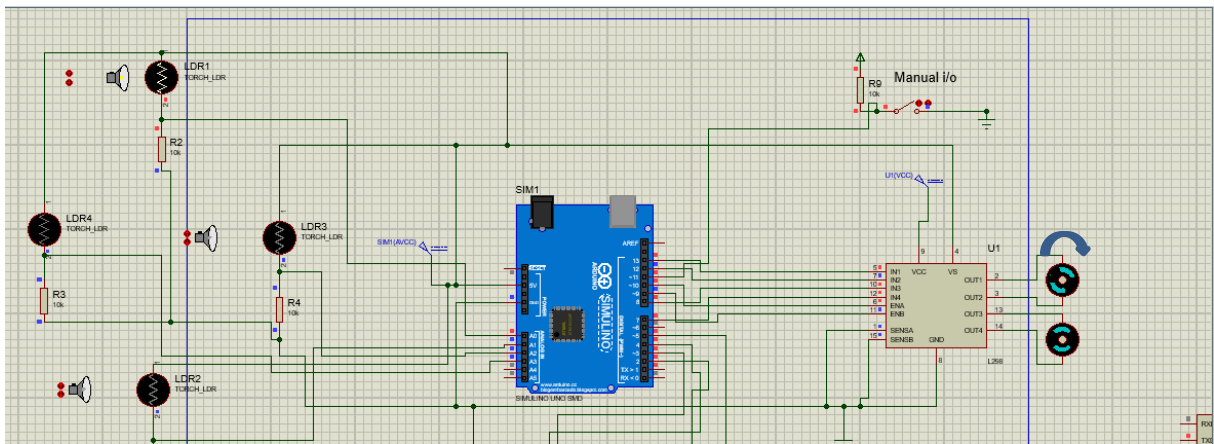
Sur la partie droite haute ce trouve le Switch qui va nous permettre de passé de mode auto a manuelle et vice versa.

La partie droite est constitué de 2 moteurs relié à un pont H vers la carte Arduino.

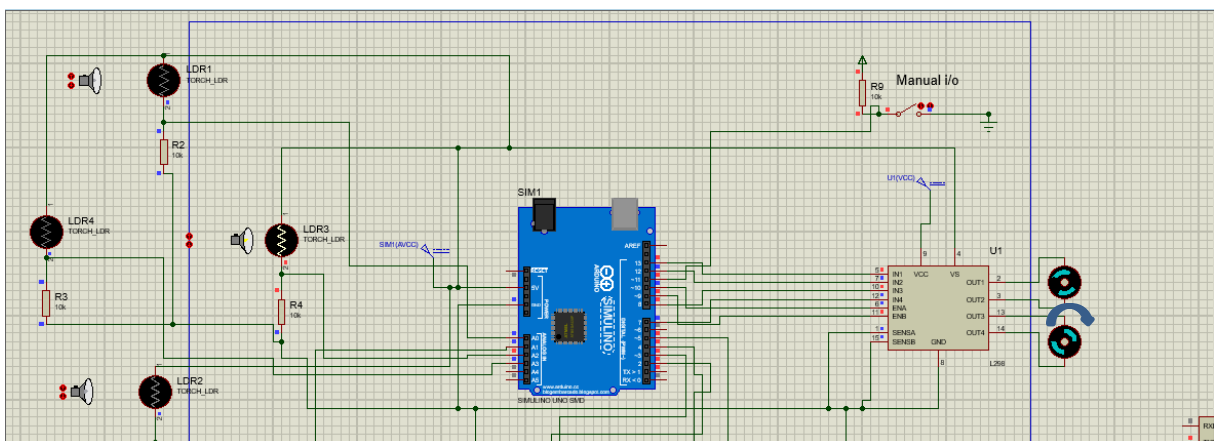
Les figures suivante (figure 3.3 / 3.4 / 3.5 / 3.6) représente le fonctionnement de notre système sur le logiciel PROTEUS d'après l'organigramme qui a était cité (chapitre 2)



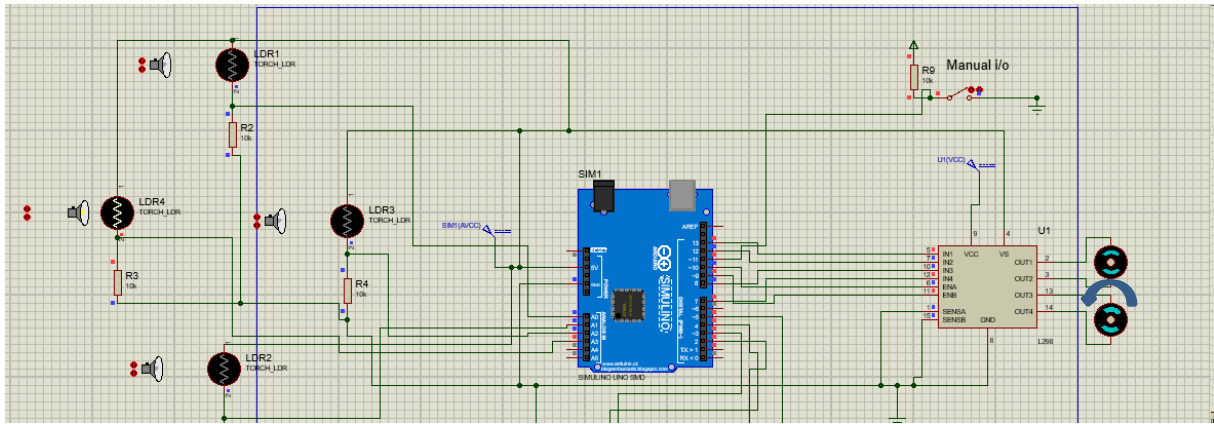
**Figure 3.3 : LDR 2 allumé**



**Figure 3.4 : LDR 1 allumé**

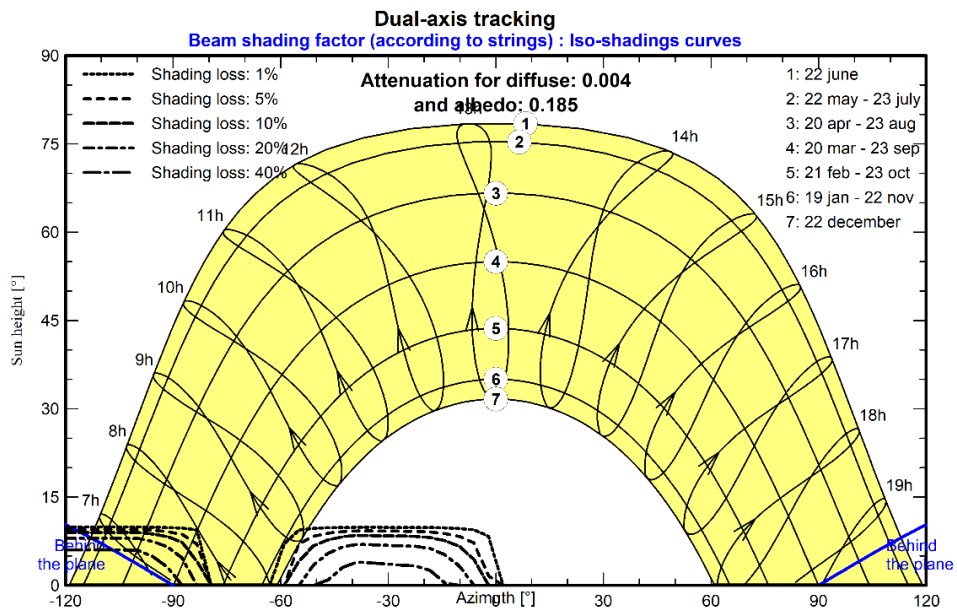


**Figure 3.5 : LDR3 allumé**



**Figure 3.6: LDR 4 allumé**

### 3.2.2 Résultat obtenue sur la simulation 3D



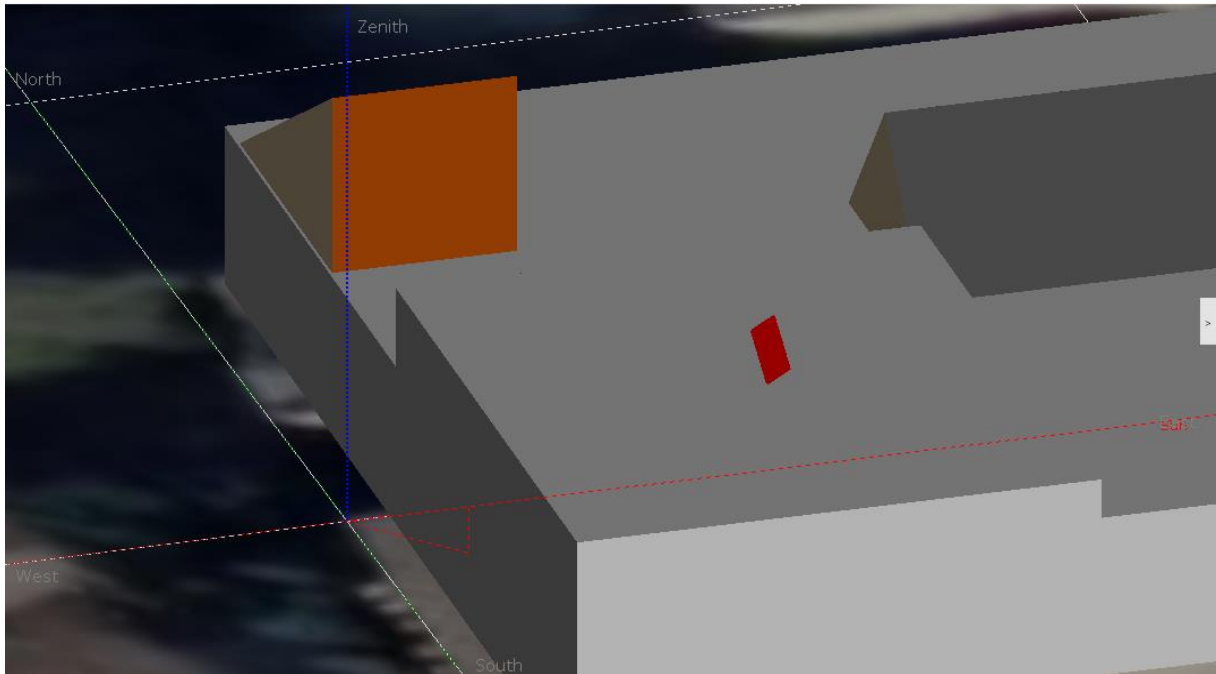
**Figure 3.7 :** Trajectoires du soleil à Tlemcen Latitude 34.9196 Longitude -1.30195

L'axe X est l'angle d'azimut (°) et l'axe Y est la hauteur du soleil (°). La ligne bleue indique que le soleil est disponible pour 13h de 06h30 à 19h30 environ le soir.



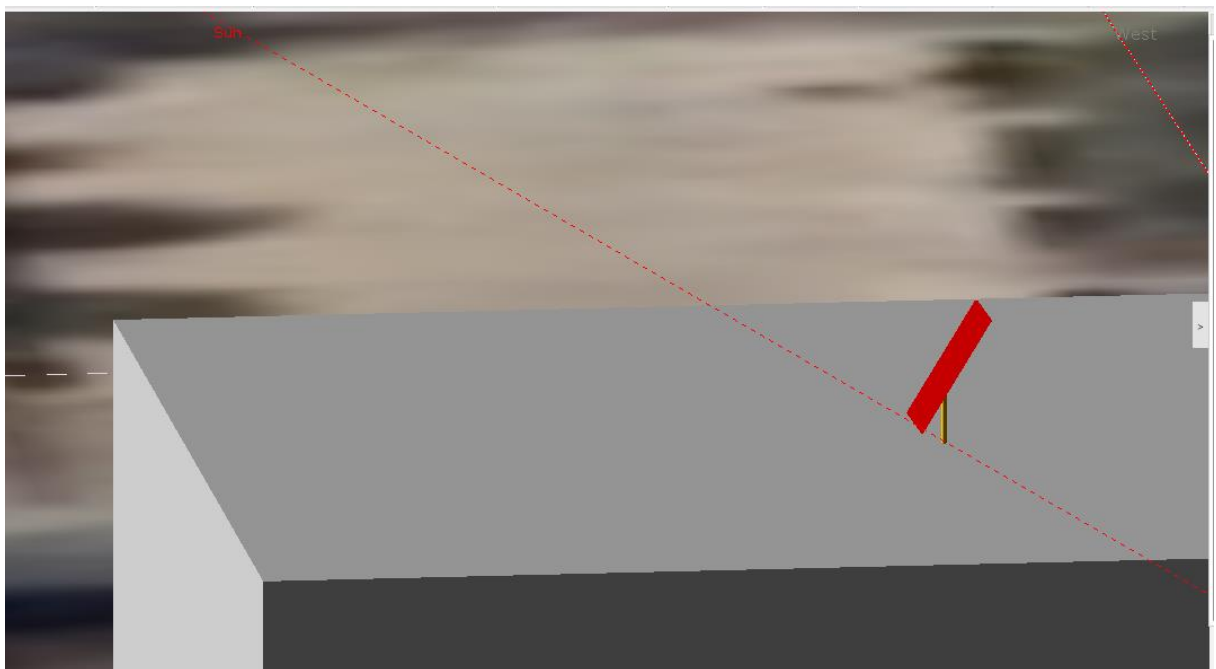
**Figure 3.8 :** modèle 3D de notre suiveur

Les figures (3.9 3.10 3.11 3.12) représentent la simulation 3D du suiveur solaire. La partie en gris représente le toit de l'Université avec l'entrée en orange, puis notre suiveur avec la couleur rouge, ces figures vont représenter le suiveur à différents moments du jour, les figures sont prises à différents angles pour avoir une meilleure perception du déplacement du suiveur :



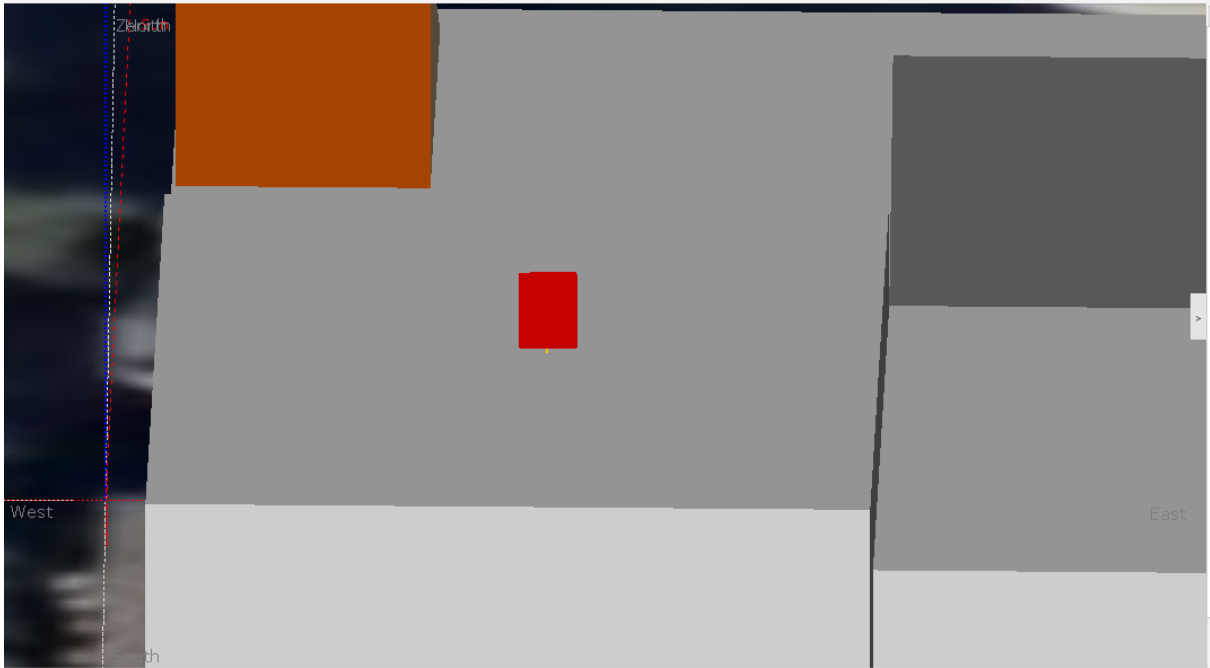
**Figure 3.9** : Photo 3D en perspective

La figure 3.9 va représenter notre suiveur incliné vers le soleil en début de journée avec une vision de face vers le suiveur



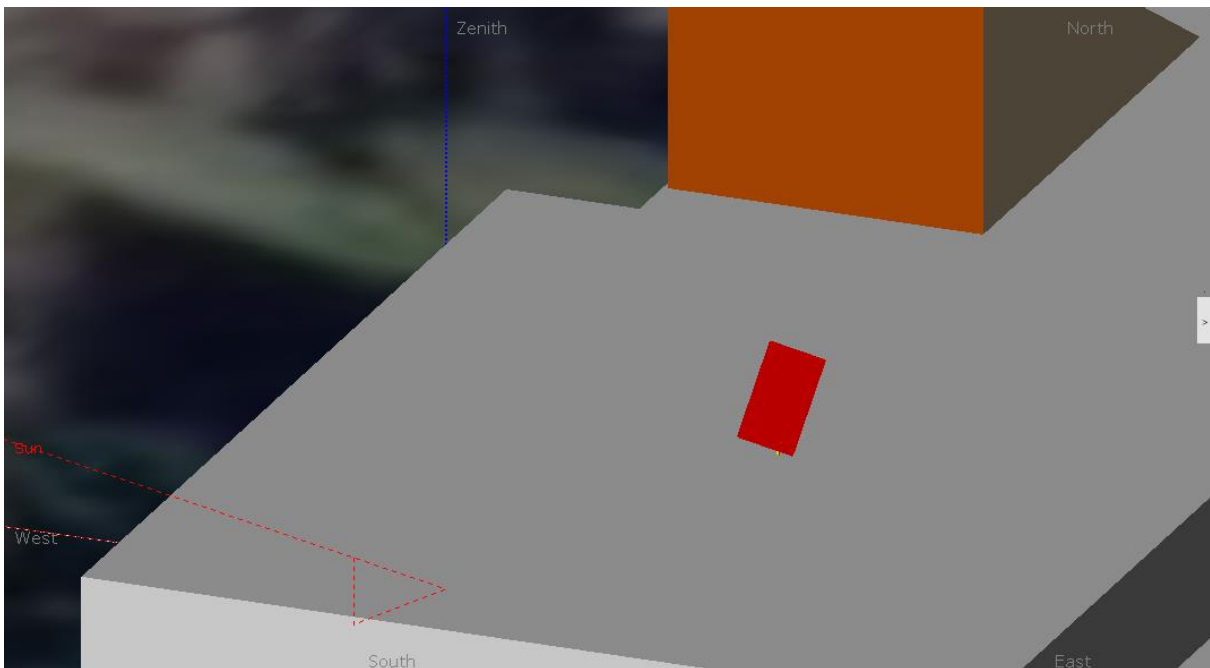
**Figure 3.10** : Photo 3D vue de droite





**Figure 3.11** : Photo 3D vue de face

Cette figure 3.11 représente notre suiveur avec un angle de vision du soleil comme on peut le constater le suiveur est perpendiculaire



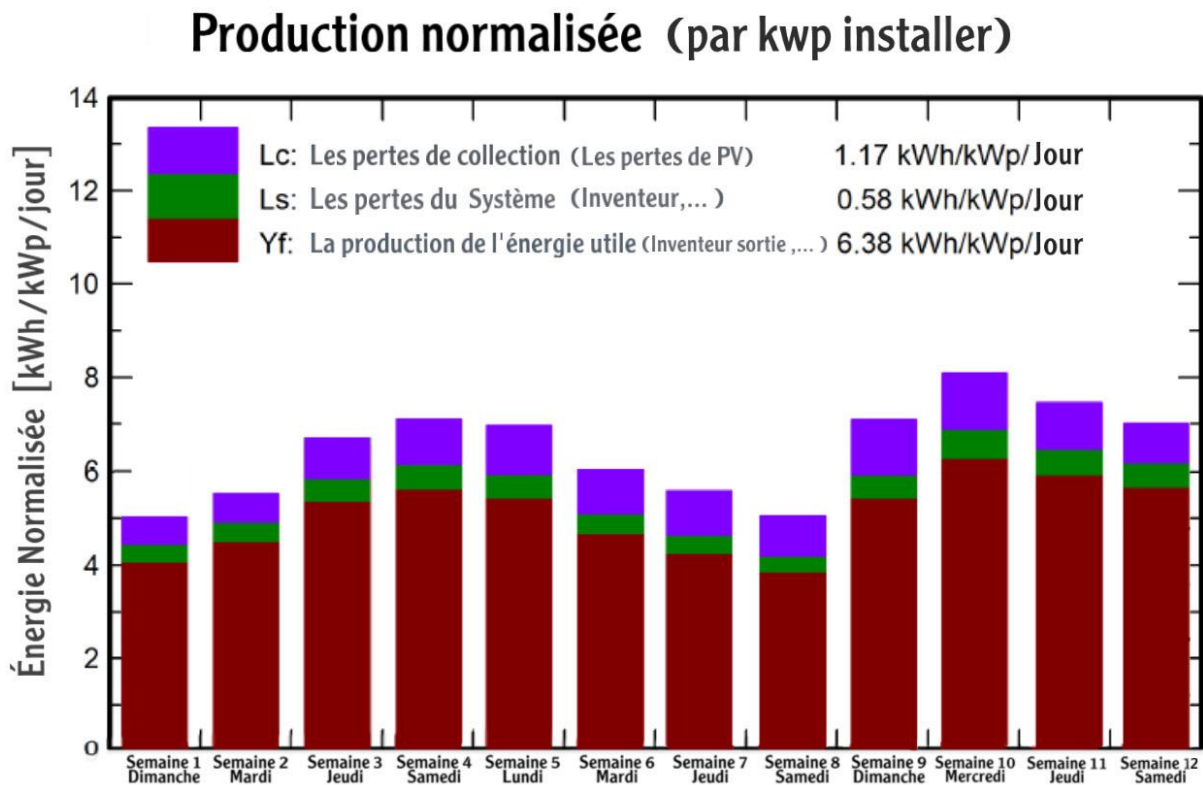
**Figure 3.12** : Photo 3DR

Cette figure 3.12 représente notre suiveur vers une fin de journée avec une vision de face vers l'emplacement

## **Production du system**

Energie produite 16.63 kWh/mois  
 Production spécifique 6.38 kWh/kWh/jour  
 Ration de performance PR 78.48%

- **Remarque : Nous avons simulé notre suiveur une fois par semaine pendant 3 mois**

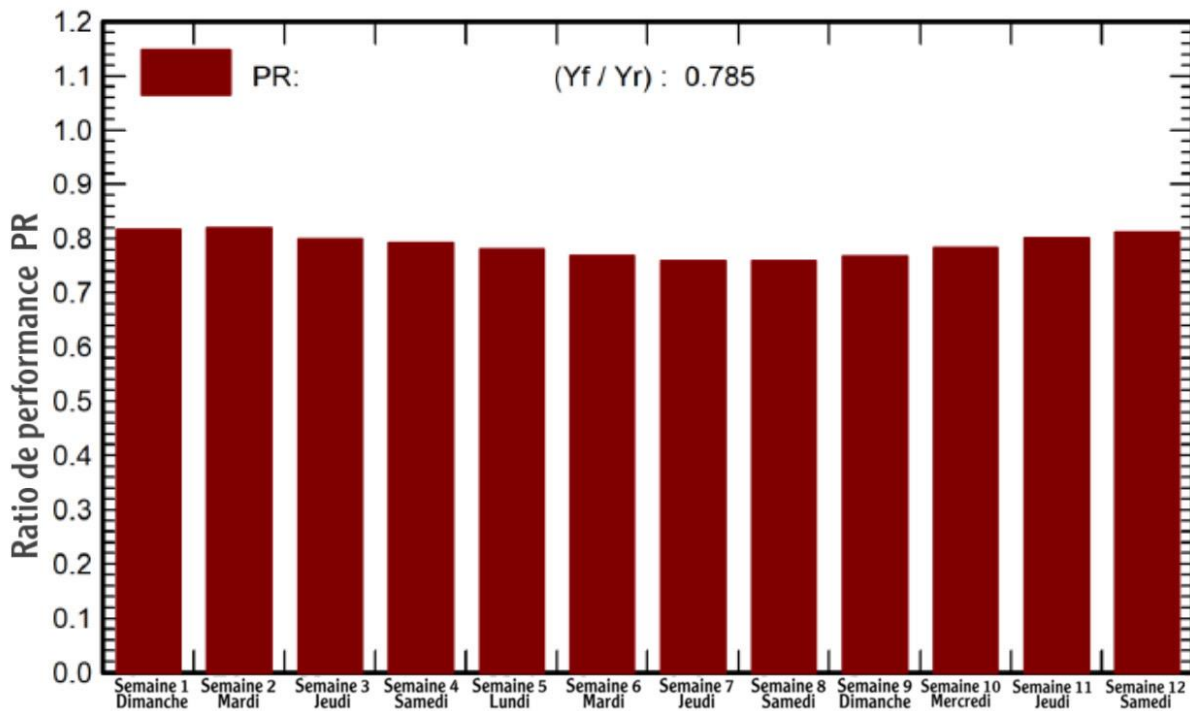


**Figure 3.13 : Production normal par KWH**

La figures présentes : les productions normalisées, les pertes du système, les pertes de collecte, et l'énergie utile produite. Ces productions normalisées sont :

- La production de l'énergie utile (YF) était meilleure durant le mois de juin d'où l'énergie produite entre 7 kWh/kWp/jour et 8 kWh/kWp/jour par contre une production plus faible et basse durant les mois précédents : entre 5 kWh/kWp/jour et 6.8 kWh/kWp/jour
- Les pertes de collection (Lc) varié avec la variation de la production de l'énergie utile, elles augmentent durant le mois de mai et diminue avec la diminution de production de l'énergie utile d'où elle ne dépasse pas 1.17 kWh/kWp/jour
- Les pertes du système (Ls) : sont presque stable durant l'année environs de 0,58 kWh/kWp/jour

Cette figure nous a apporté des informations sur la taux de production d'énergie de notre suiveur lors des 3 mois mais aussi des pertes.



**Figure 3.14 :** le ratio de performance

Le ratio de performance est le rapport entre l'énergie produite au niveau de la plaque solaire et l'énergie calculée au niveau de la simulation. Le PR varie entre 0,7 et 0,8 pour cela prouve que le panneau solaire fonctionne bien

Cela nous a permis de savoir que notre suiveur a u de meilleur performance lors du mois d'avril et juin

Mois /Sem	Jours	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	DiffHor kWh/m <sup>2</sup>	GlobInc kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	EArray kWh	E_Grid kWh	PR ratio	
Avril : 1ere semaine	Dimanche	3.264	1.023	6.892	6.828	1.229	1.125	0.816	
	2eme semaine	Mardi	3.828	1.383	6.817	6.739	1.219	1.117	0.820
	3eme semaine	Jeudi	5.670	1.682	9.125	9.032	1.592	1.458	0.799
	4eme semaine	Samedi	6.654	2.231	9.750	9.632	1.684	1.544	0.792
Mai : 1ere semaine	Lundi	5.857	1.901	9.153	9.035	1.531	1.584	0.781	
	2eme semaine	Mardi	4.785	1.630	8.064	7.975	1.377	1.718	0.768
	3eme semaine	Jeudi	3.482	1.088	7.100	7.028	1.243	1.650	0.760
	4eme semaine	Samedi	3.025	0.915	6.510	6.446	1.153	1.575	0.760
Juin : 1ere semaine	Dimanche	7.457	2.707	10.16	10.03	1.732	1.403	0.767	
	2eme semaine	Mercredi	8.067	2.782	11.19	11.02	1.873	1.263	0.783
	3eme semaine	Jeudi	8.078	2.937	10.86	10.57	1.797	1.137	0.801
	4eme semaine	Vendredi	7.442	2.636	10.83	10.26	1.715	1.056	0.811
<b>Mensuel</b>		67.609	22.923	106.003	104.8	18.151	16.638	0.785	

**Tableau 1** résultat principale et balance

**Legends**

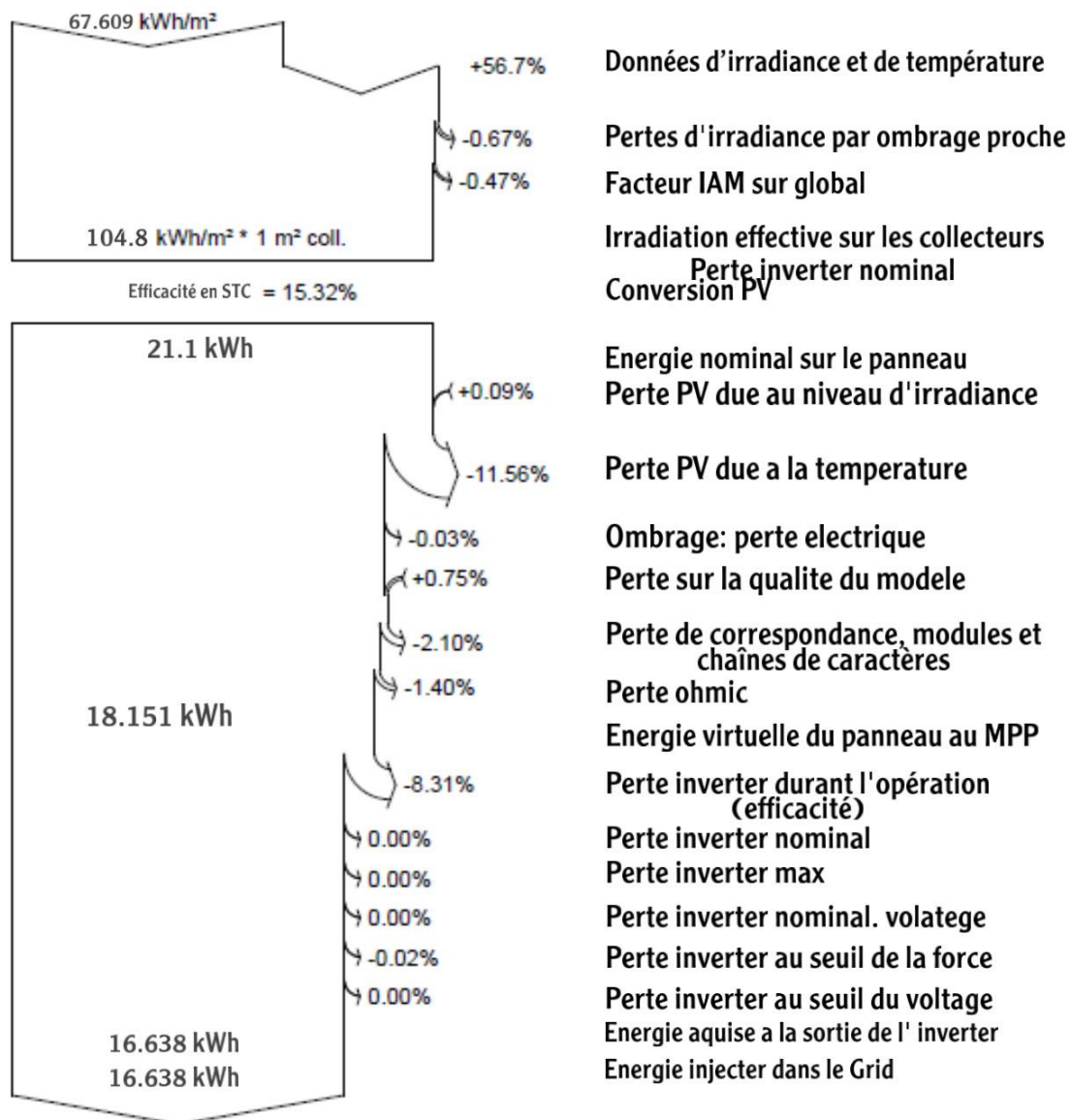
GlobHor	l'irradiation global horizontal
DiffHor	irradiation diffuse horizontal
GlobInc	données d'irradiance et de température.
GlobEff	efficacité global pour IEM et ombrage
EArray	Énergie effective à la sortie du panneau
E_Grid	énergie injecte sur le Grid
PR	Ratio de performance

Le Tableau (n 1) démontre les variations de l'énergie produite, efficace et injecté dans le réseau tracé en fonction des différentes étapes de l'irradiation globale.

L'éclairage énergétique global annuel sur le plan horizontal est de 67.609 kWh/m<sup>2</sup>.

Les données d'irradiance et de température annuelle sont 106.003 kWh/m<sup>2</sup>.

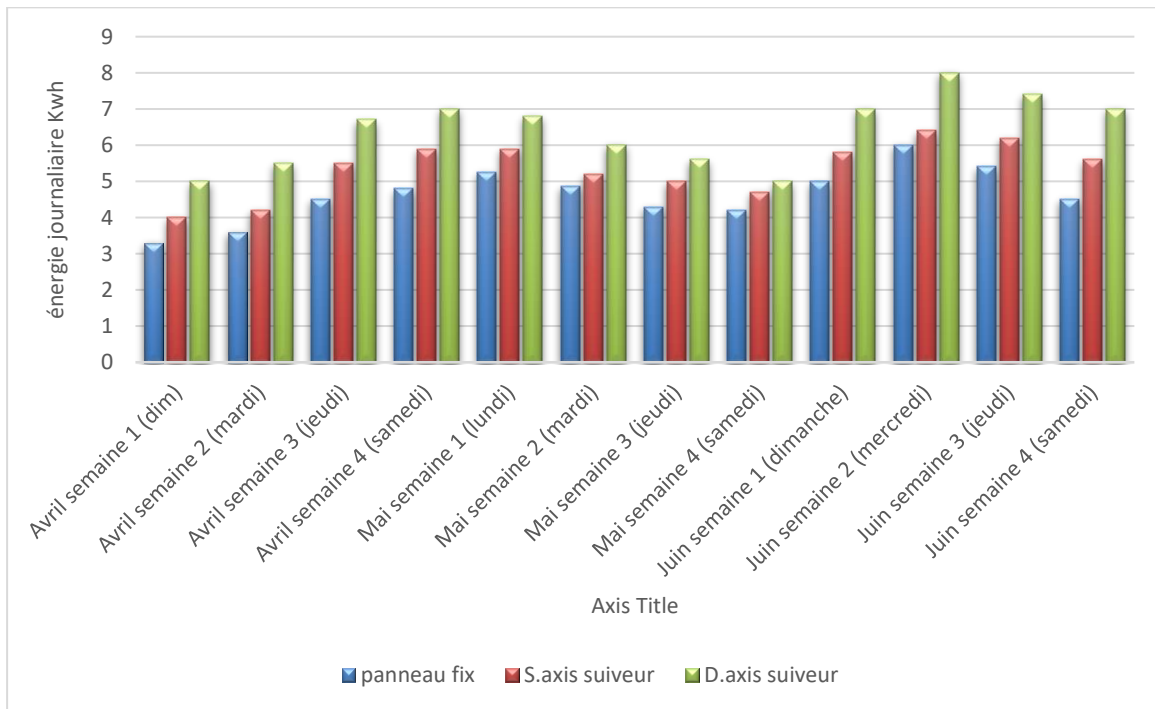
L'énergie annuelle produite est de 18.151MWh et l'énergie annuelle éjectée dans le réseau est de 16.638MWh.



**Figure 3.15** : diagramme de perte

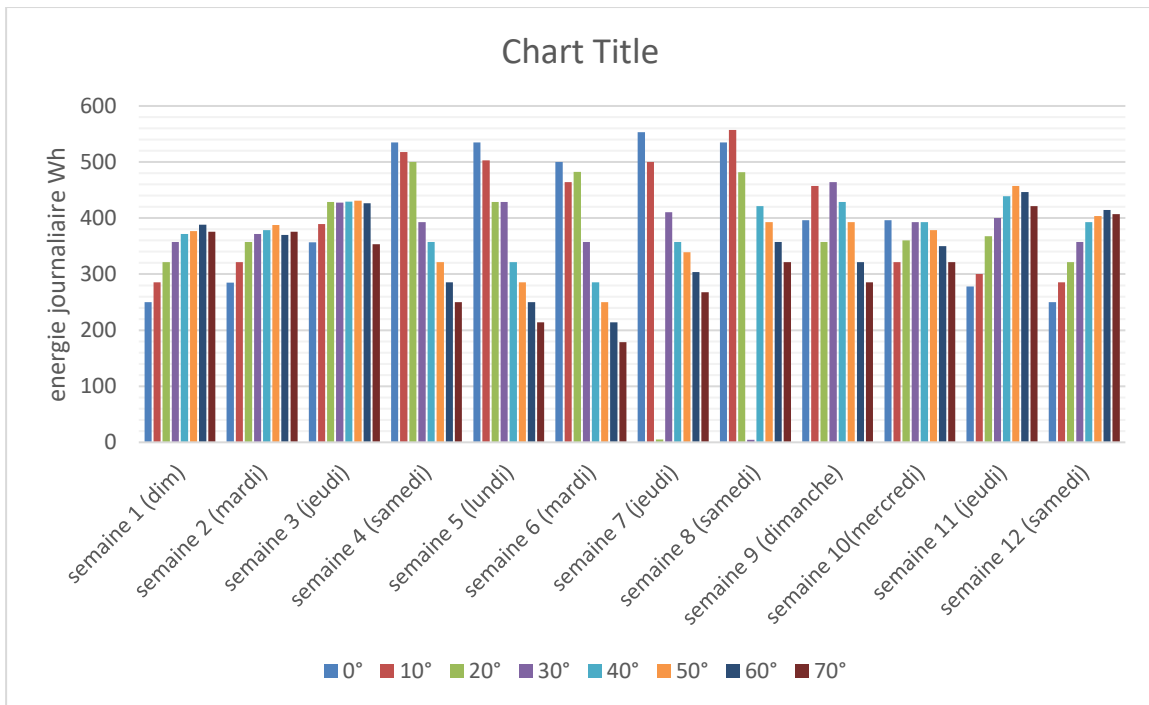
Le diagramme de perte illustre diverses pertes pour le système simulé.

L'irradiation effective sur collecteurs est de 104.8 kWh/m<sup>2</sup> et dan l'autre côté l'irradiation globale sur le plan horizontal est de 67.609 kWh/m<sup>2</sup>, qui est égale à une perte de 1,5% due au niveau d'irradiation. Quand l'irradiation effective couvrent un module ou un réseau elle produire une énergie électrique. Cela donne une capacité au système PV au STC de 15,32 %. L'énergie virtuelle annuelle du réseau au MPP est de 18.151 kWh. Les pertes à ce stade sont de 11.56% dues à la température, 2.1% à cause de décalage au niveau de réseau, 0.75% dues à la dégradation et 1,4% en raison des pertes de câblage ohmiques. L'énergie annuelle disponible à la sortie de l'onduleur et injectée dans le réseau est de 16.638 kWh avec deux pertes produites : 8,31% pour fonctionnement de l'onduleur et 0,02 % de perte de l'onduleur en raison du seuil de puissance.



**Figure 3.16** : Diagramme Comparaison entre différents types de panneaux photovoltaïques fixes et mobiles

La **figure 3.16** représente la comparaison entre les différents types de system photovoltaïque. L'intégration de suiveurs solaires aux panneaux photovoltaïques améliore considérablement la performance énergétique. Plus en détail, nous pouvons constater que l'électricité annuelle des systèmes PV à panneau fixe est inférieure à celle d'un panneau PV équipé d'un suiveur solaire à cadre EW à axe unique qui oriente l'angle d'inclinaison par rapport au soleil. En outre, parmi les trois cas de suiveurs solaires, l'électricité dans le cas du suiveur à deux axes est beaucoup plus élevée.



**Figure 3.17** : diagramme de comparaison d'énergie sur différents angles d'inclinaison

Nous pouvons remarquer dans la **figure 3.17** l'importance de l'angle d'inclinaison du suiveur au soleil qui prouve l'utilité du suiveur solaire à deux axes.

### 3.3 Conclusion:

Ce dernier chapitre a été consacré au test et résultat du suiveur solaire sur la réalisation 3D via la simulation en utilisant les logiciels ISIS Proteus 8 et PVsyst. Tout d'abord nous avons commencé à faire des tests du suiveur sur Proteus et PVsyst puis nous avons défini les résultats obtenus de la simulation et comparé avec différents types de suiveurs.

## **Conclusion générale et perspective**

Les suiveurs solaires jouent un rôle clé dans l'amélioration et la maximisation de l'efficacité des panneaux solaires, en particulier dans les zones à faible rayonnement solaire au cours de l'année.

La problématique de ces suiveurs solaires vient du fait que le soleil est en constant mouvement, donc la réception d'énergie peut varier d'un emplacement un autre.

Le but de ce travail était de développer des systèmes de suivi solaire pour des applications photovoltaïques. Cela nous permet de démontrer, par comparaison, l'importance d'un tel équipement dans l'augmentation du rendement des panneaux.

Le projet a été réalisé à l'aide de deux Logiciels de simulation appelés ISIS Proteus et PVSyst.

Le premier sert à faire une simulation du fonctionnement du suiveur solaire et aussi a programmé la carte Arduino pour pouvoir commander le suiveur solaire. Quant au second, il est dédié à la simulation 3D du suiveur solaire et acquérir des résultats sur la simulation proche de la réalité.

Dans le premier chapitre, nous avons décrit les énergies renouvelables plus précisément l'énergie solaire , y compris la production d'électricité par panneaux photovoltaïques. Nous montrons également que l'électricité générée par ces panneaux est principalement due à l'effet photovoltaïque dans les cellules de la jonction PN des cellules .

Ensuite nous avons consacré une partie à la compréhension du suiveur solaire. En commençons tout d'abord par les différents type de suiveurs, ensuite avons classé les suiveurs par rapport au différent axes de mouvement des suiveurs avec les méthodes d'exploitation citant méthode a boucle fermé, boucle ouvert

Cela nous permet de comprendre les principes fonctionnels des modules photovoltaïques. Et les méthodes, techniques et équipement utilisés pour mettre en œuvre ces systèmes de surveillance

Le deuxième chapitre a été consacré à l'explication du choix de notre suiveur avec une présentation de l'Arduino Uno et des différent matériaux utiliser pour la réalisation du suiveur.

Puis une démonstration de la réalisation du suiveur sur ISIS Proteus qui fonctionne avec deux mode manuelle et auto puis une réalisation et PVsyst avec choix de l'emplacement.

Pour le troisième chapitre, a été consacré au test et au résultats obtenu de notre suiveur solaire sur Proteus et PVsyst

La simulation 3D sur PVsyst, donne le rapport énergétique calculés sur la base de données réelles ce qui donne des résultats fiables.

En fin, nous sommes arrivés à la conclusion que pour avoir un très bon rendement d'énergie l'utilisation d'un suiveur solaire a 2 axes est nécessaire pour permettre au panneau d'être perpendiculaire au soleil a tous moment et maximiser ainsi la production de l'énergie électrique.

En perspective nous projetons a ajouter différents protection pour notre suiveurs concernant les facteurs climatique qui peuvent interfère dans notre rendement énergétique.



## Références bibliographiques.

- [1] Le soleil source d'énergie, Nov 1999. URL <https://meteocentre.com/intermet/temperature/soleil.htm>.
- [2] Jul 2013. URL [http://www.mon-club-elec.fr/pmwiki\\_reference\\_arduino/pmwiki.php?n=Main.MaterielUno](http://www.mon-club-elec.fr/pmwiki_reference_arduino/pmwiki.php?n=Main.MaterielUno).
- [3] saison astronomique, june 2021. URL <https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/solstice.xml>.
- [4] A. ABDELKRIM. Conception et Réalisation d'un tracker solaire intelligent à Bas d'une Carte Arduino-Uno. PhD thesis, Université Mouloud Mammeri de TIZI-OUZOU, 2017.
- [5] M. Adouane, M. Haddadi, N. Benamrane, K. Touafek, A. Khelifa, and I. Tabet. Evaluation de l'inclinaison des modules photovoltaïques sur la production d'énergie d'un système hybride. *Revue des Energies Renouvelables*, pages, pages 87–92, 2014.
- [6] B. Ambedkar. Dual axis solar tracking system for solar panel, 2016. URL <https://media.neliti.com/media/publications/61461-EN-dual-axis-solar-tracking-system-for-sola.pdf>.
- [7] C. S. BELKEBIR KATIA. Conception et Réalisation d'un Suiveur de Soleil à Bas d'une Carte Arduino UNO. PhD thesis, Université Mouloud Mammeri de TIZI-OUZOU, 2017.
- [8] S. Bessemoulin, Oliviéri. Le rayonnement solaire et sa composante ultraviolette. PhD thesis, Rouen, 2000.
- [9] O. Boukli-Hacene. Conception et réalisation d'un générateur photovoltaïque muni d'un convertisseur MPPT pour meilleur gestion énergétique. PhD thesis, 2011.
- [10] S. S. Cheema and S. K. Jain. Simulation studies on dual axis solar photovoltaic panel tracking system. PhD thesis, 2012.
- [11] G. Deremetz. Livret mis à jour le 21 03 18, Mar 2018. URL <https://pdf.lu/82g2>.
- [12] T. Djamel. Étude et réalisation d'un système de poursuite du point de puissance maximale en utilisant les réseaux de neurones artificiels - Application au système photovoltaïque -. PhD thesis, 06 2018.
- [13] e. energieplus. Ensoleillement, 2010. URL <https://energieplus-lesite.be/theories/climat8/ensoleillement-d8/>.
- [14] B. A. Etude. simulation du fonctionnement du système suiveur des panneaux solaires. PhD thesis, Thèse de master, Université Badji Mokhtar, Annaba 2013, 2014.
- [15] S. Khalfallaoui. Comportement dynamique et automatisation d'un système solaire

thermique muni d'un traqueur solaire. PhD thesis, Rouen, 2009.

- [16] A. KHELIF. Experience, potentiel et marche photovoltaïque algérien, 2017. URL <https://www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/21505314>.
- [17] S. Landranlt and H. Weisslinger. Premier pas en informatique embarquée. Edition CC BY-NC-SA, 1, 2014.
- [18] Q. Mauguit. Anatomie d'une cellule photovoltaïque, 2013. URL <https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/developpement-durable-cellules-photovoltaïques-coeur-panneaux-solaires-1688/page/5/>.
- [19] S. MIHOUB. Commande d'héliostat plan refectionnant le rayonnement solaire vers une cible fixe. 2010.
- [20] B. Mohamed. Conception et réalisation d'un système de suiveur solaire pour des systèmes photovoltaïques. PhD thesis, Université Mohamed Boudiaf des sciences et de la technologie, 2011.
- [21] E. G. Nader Barsoum, Rinoe Nizam. Solar tracking prototype, 2016. URL <https://pdfs.semanticscholar.org/c450/b8a49197ad04411d94c713ab218058314812.pdf>.
- [22] A. C. Pastor. CONCEPTION ET REALISATION DE MODULES PHOTOVOLTAIQUES ELECTRONIQUES. PhD thesis, l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 2006.
- [23] Rafa KADDOURI. Conception et réalisation d'un suiveur solaire à deux axes. PhD thesis, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, 2015.
- [24] solarpedia. Anatomie d'une cellule photovoltaïque, 2013. URL [http://fr.solarpedia.net/wiki/index.php?title=Le\\_photovoltaïque\\_sous\\_concentration#cite\\_note-](http://fr.solarpedia.net/wiki/index.php?title=Le_photovoltaïque_sous_concentration#cite_note-).
- [25] walschaerts. Les moteurs pas à pas, 2021. URL [https://eric-walschaerts.canoprof.fr/eleve/LES\\_MOTEURS/.activites\\_cachees/MOTEURS\\_PAS\\_A\\_PAS/](https://eric-walschaerts.canoprof.fr/eleve/LES_MOTEURS/.activites_cachees/MOTEURS_PAS_A_PAS/).
- [26] G. Yvraut. Les Moteurs Pas à Pas. 1999.
- [27] Le trajet du soleil, l'écliptique. (2005). Dr. David P. Stern. Published. <http://www.iki.rssi.ru/mirrors/stern/stargaze/Feclipt.htm>
- [28] Boujnane.S, 2016, Tracker solaire à deux axes, mémoire de mastre, université Sidi Mohamed ben Abdellah.

## Annexe A

```
// Initialisation des variables
int buttonPin1 = 2;
int buttonPin2 = 3;
int buttonPin3 = 4;
int buttonPin4 = 5;
int switch1Pin = 11;
int ldr1 = A0;
int ldr2 = A1;
int ldr3 = A2;
int ldr4 = A3;
int IN1 = 12;
int IN2 = 13;
int IN3 = 7;
int IN4 = 8;
int i = 0;
int j = 0;
int button1 = 0;
int button2 = 0;
int button3 = 0;
int button4 = 0;
int onoffswitch = 0;
int delay_time = 800;
void setup() {
  // Mapping entre circuit integret et variable du code
  Serial.begin(9600);
  pinMode(A0, INPUT);
  pinMode(A1, INPUT);
  pinMode(A2, INPUT);
  pinMode(A3, INPUT);
```

---

```

pinMode(3, INPUT_PULLUP);
pinMode(4, INPUT_PULLUP);
pinMode(5, INPUT_PULLUP);
pinMode(11, INPUT_PULLUP);
pinMode(9, OUTPUT);
pinMode(IN1, OUTPUT);
pinMode(IN2, OUTPUT);
pinMode(10, OUTPUT);
pinMode(IN3, OUTPUT);
pinMode(IN4, OUTPUT);
}
// loop est une fonction equivalente a main en plus d'avoir la fonctionnalité d'une boucle infini
void loop() {
  onoffswitch = digitalRead(switch1Pin);
  if (onoffswitch == LOW) {
    Serial.println("Control Avec Buttons");
    //manual rotating of the panel
    ldr1 = analogRead(A0);
    ldr2 = analogRead(A1);
    ldr3 = analogRead(A2);
    ldr4 = analogRead(A3);

    button1 = digitalRead(buttonPin1);
    if (button1 == HIGH) {
      digitalWrite(IN1, HIGH);
    } // Rotate of the top disk from {X} to {Y} / X, Y = Left OR Right
    else {
      digitalWrite(IN1, LOW);
    }
  }

  button2 = digitalRead(buttonPin2);
  if (button2 == HIGH) {
    digitalWrite(IN2, HIGH);
  } // Rotate of the top disk from left to right
  else {
    digitalWrite(IN2, LOW);
  }
  button3 = digitalRead(buttonPin3);
  if (button3 == HIGH) {
    digitalWrite(IN3, HIGH);
  } // Rotate of the top disk from left to right
  else {
    digitalWrite(IN3, LOW);
  }
  button4 = digitalRead(buttonPin4);
  if (button4 == HIGH) {
    digitalWrite(IN4, HIGH);
  } else {
    digitalWrite(IN4, LOW);
  } // Rotate of the top disk from right to left
  onoffswitch = digitalRead(switch1Pin);
}

// automatically rotating of the panel
onoffswitch = digitalRead(switch1Pin);
if (onoffswitch == HIGH) {
  Serial.println("Control Automatique\t");
  int ldr1 = analogRead(A0);
  int ldr2 = analogRead(A1);

```

```

if ((ldr1 - ldr2) >60) {
  analogWrite(10, map(i, 0, 1024, 0, 255));
  digitalWrite(IN1, LOW);
  digitalWrite(IN2, HIGH);
} else if ((ldr1 - ldr2) < -60) {
  analogWrite(10, map(i, 0, 1024, 0, 255));
  digitalWrite(IN1, HIGH);
  digitalWrite(IN2, LOW);
} else {
  digitalWrite(10, LOW);
}
if ((ldr3 - ldr4) > 60) {
  analogWrite(9, map(j, 0, 1024, 0, 255));
  digitalWrite(IN3, LOW);
  digitalWrite(IN4, HIGH);
} else if ((ldr3 - ldr4) < -60) {
  analogWrite(9, map(j, 0, 1024, 0, 255));
  digitalWrite(IN3, HIGH);
  digitalWrite(IN4, LOW);
} else {
  digitalWrite(9, LOW);
}
}
Serial.print("IN1: "); Serial.println(digitalRead(IN1));
Serial.print("IN2: "); Serial.println(digitalRead(IN2));
Serial.print("IN3: "); Serial.println(digitalRead(IN3));
Serial.print("IN4: "); Serial.println(digitalRead(IN4));
delay(delay_time);
}

```

## Résumé

Afin de maximiser la production d'énergie du système photovoltaïque, il est recommandé d'aligner les modules de manière optimale pour capter le maximum de rayonnement solaire, Pour cela le panneau solaire sera fixé sur une structure mécanique qui contient deux axes mobiles réalisée à base de deux servomoteurs pour donner une dynamique à notre système pour suivre la position du soleil qui est capter par Les 4 photo résistance LDRs qui sont utilisé comme des capteurs de lumière. Après tout, on a développé un code arduino avec deux modes, le premier mode peut suivre avec précision la position du soleil automatiquement et l'autre mode est faite pour le contrôle manuel. De plus, par rapport aux systèmes fixes, les suiveurs solaires ont d'excellents résultats et rendement en termes d'amélioration de l'efficacité par rapport au panneau photovoltaïque fixe.

Mots clés : PV, Suiveur solaire, LDR, Arduino, moteur pas à pas, 3D.

## Abstract

In order to maximize the energy production of the photovoltaic system, it is recommended to align the modules in an optimal way to capture the maximum solar radiation, this solar panel will be fixed on a mechanical structure which contains two mobile axes made on the basis of two servomotors to give dynamic to the system to follow the position of the sun which is captured by the 4 photo resistors LDRs which are used as light sensors. After all, we have developed a code Arduino with two modes, the first mode can accurately follow the position of the sun automatically and the other mode is made for manual control. In addition, compared to fixed systems, solar trackers have excellent results and performance in terms of efficiency improvement compared to fixed photovoltaic panel.

Keywords: PV, Solar tracker, LDR, Arduino, stepper motor, 3D.

## ملخص

من أجل رفع إنتاج الطاقة في نظام الألواح الضوئية ، يفضل وضع الوحدات بشكل متقارب لالتقاط أكبر قدر من الإشعاع الشمسي ، لذلك سيتم تثبيت لوحنا الشمسي على هيكل ميكانيكي يحتوي على محورين متحركين مرتبطين بمحركين لإعطاء ديناميكية للنظام لمتابعة موضع الشمس بفضل المقاومات الضوئية التي تستعمل كمستشعرات ضوئية بعد كل شيء ، قمنا بتطوير كود يحتوي على وضعيتين الأولى تتبع موضع الشمس تلقائياً و الوضعية الأخرى للتحكم اليدوي. بالإضافة إلى ذلك ، مقارنةً بالأنظمة الثابتة ، تتمتع وأداء ممتازين من حيث تحسين الكفاءة مقارنةً باللوحه الكهروضوئية الثابت. أجهزة التعقب بالطاقة الشمسية بنتائج

