



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

Université de Ghardaïa

N°d'enregistrement

/...../...../...../...../.....



كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم: الآلية والالكتروميكانيك

Département d'Automatique Et Electromécanique

Mémoire de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme

**Master 2**

Domaine : Science et Technologie

Filière : Automatique.

Spécialité : Automatique.

**Thème**

**Conception et réalisation d'un système de Tracker Solaire  
à Base d'un Automate Installé Dans La Région de  
Ghardaïa**

Présenté par : SOBHI Khadîdja

Soutenu publiquement le...../...../.....

Mr.TOUAFEK Khaled	Directeur de Rech	URAER	Président
Mr.KHELIFI Reski	Maitre de Rech(A)	URAER	Encadrant
Mr.BECHAOUAT Mohcen	Maitre de con(A)	Univ de Ghardaïa	Co-encadrant
Mme.YETTOU Fatiha	Directrice de Rech	URAER	Examinatrice

Devant le jury composé de:

Année universitaire : 2021/2022



## *Remercîment*

Je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience qui m'ont permis d'accomplir ce modeste travail.

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce à l'aide de plusieurs personnes à qui je voudrai témoigner toute ma reconnaissance.

Je voudrai tout d'abord adresser toute ma gratitude à l'encadreur de ce mémoire, **Dr KHELIFI REZKI** et le cou-encadreur **Dr BACHOUAT MOHCEN** et **Dr GAMA AMOR** (chef de division MCS) pour ses patiences, ses disponibilités et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

Mes vifs remerciements à tous les enseignants qui ont contribué à ma formation du Master 2 (Automatique) et aussi à Mr le chef de département ST Dr **BOUKHARI HAMED**.

Mes profonds remerciements vont aussi a **Mr.HAMMADA AHMED** (Ingénieur MCS) qui m'aider pour la réalisation pratique de projet.

## **Résumé**

Les panneaux photovoltaïques sont largement utilisés en tant qu'une énergie renouvelable propre en préservant l'environnement, et efficace en termes de productivité et de durée de vie. Cependant, l'exploitation maximale de ces panneaux ne peut être atteinte sans avoir recours à des systèmes électromécaniques. Dans ce contexte, l'emploi des suiveurs solaires améliore d'une façon considérable le rendement énergétique de ces panneaux photovoltaïques.

Le but principal de ce mémoire consiste à faire une conception d'un système de poursuite solaire qui permet, d'une part, d'orienter les panneaux photovoltaïques de façon perpendiculaire avec les rayons solaires, et d'autre part, d'assurer une poursuite permanente. Tout d'abord, nous avons fait une généralité sur les Énergies solaire et le Rayonnement. Nous avons ensuite décrit les différents types de suiveurs. Puis, nous avons fait une conception mécanique d'un tracker en 3D à l'aide de Logiciel SOLIDWORKS et une conception électronique à l'aide de Logiciel PROTEUS. En fin une étude comparative entre le PV Fixe et le Tracker est fait pour évaluer notre étude.

**Mots clés :** Système deux axes, Héliostats, tracker PV.

## **Abstract**

Photovoltaic panels are widely used as clean, environmentally friendly renewable energy, and efficient in terms of productivity and lifespan. However, the maximum exploitation of these panels cannot be achieved without the use of electromechanical systems. In this context, the use of solar trackers considerably improves the energy efficiency of these photovoltaic panels. The main purpose of this thesis is to design a solar tracking system that allows, on the one hand, to orient the photovoltaic panels perpendicularly with the solar rays, and on the other hand, to ensure a permanent pursuit. First of all, we made a generality on Solar Energy and Radiation. We then described the different types of trackers. Then, we made a mechanical design of a 3D tracker using SOLIDWORKS software and an electronic design using PROTEUS Software. At the end a comparative study between the Fixed PV and the Tracker is made to evaluate our study.

**Keywords:** Two-axis system, Heliostats, PV tracker.

## ملخص

تُستخدم الألواح الكهروضوئية على نطاق واسع كطاقة متجددة نظيفة وصديقة للبيئة ، وفعالة من حيث الإنتاجية والعمر الافتراضي. ومع ذلك ، يمكن تحقيق أقصى استفادة من هذه الألواح بدون استخدام الأنظمة الكهروميكانيكية . في هذا السياق ، يؤدي استخدام أجهزة التعقب بالطاقة الشمسية إلى تحسين كفاءة الطاقة لهذه الألواح الكهروضوئية بشكل كبير . الهدف الرئيسي من هذه المذكرة هو تصميم نظام تتبع شمسي يسمح من ناحية بتوجيه الألواح الكهروضوئية بطريقة متعامدة مع الأشعة الشمسية ومن ناحية أخرى ضمان السعي الدائم.

أولاً قمنا بدراسة عامة حول الطاقة الشمسية والإشعاع. ثم وصفنا الأنواع المختلفة من أجهزة التتبع. ثم قمنا بتصميم ميكانيكي لمتتبع ثلاثي الأبعاد باستخدام برنامج صوليدوركس وتصميم إلكتروني باستخدام برنامج برتوس. وفي النهاية ، و لتقييم دراستنا تم إجراء مقارنة بين مردودية الألواح الشمسية الثابتة و بين مردودية متعقب شمسي .

**الكلمات المفتاحية:** نظام ثنائي المحور ، هيليوستات ، جهاز تعقب الكهروضوئية.

## Sommaire

Liste des abréviations .....	12
Nomenclatures .....	12
Introduction Général .....	13
<b>CHAPITRE I :Energies Solaire et Rayonnement</b>	
<b>I.1.Introduction.....</b>	<b>16</b>
<b>I.2. Historique de l'énergie solaire .....</b>	<b>16</b>
I.3.1 Dès l'Antiquité Dans l'antiquité .....	16
I.3.2 Au XVIIIème siècle .....	17
I.3.3 Au XIXème siècle .....	19
I.3.4 A partir du XXème siècle .....	19
<b>I.4. L'énergie solaire photovoltaïque .....</b>	<b>21</b>
<b>I.5 L'énergie solaire thermique : .....</b>	<b>23</b>
<b>I.6. Gisement solaire .....</b>	<b>24</b>
I.6.1. Mouvement orbital de la terre autour du soleil .....	25
<b>I.7. Paramètres géométriques.....</b>	<b>25</b>
I.7.1. Coordonnées géographiques terrestres.....	25
I.7.2. Coordonnées horaires.....	27
I.7.3 Les coordonnées horizontales .....	29
<b>I.8 Les temps .....</b>	<b>30</b>
I.8.1 Le temps universel (TU) .....	30
I.8.2 Le temps local (TL).....	30
I.8.3 Le temps solaire moyen (TSM).....	31
I.8.4 Le temps solaire vrai (TSV) .....	31
I.8.5 Equation du temps .....	31
<b>I.9 Rayonnement solaire : .....</b>	<b>31</b>
I.9.1 Les différents types de rayonnement solaire : .....	32
I.9.1.1 Rayonnement global : .....	32
I.9.1.2 Rayonnement direct .....	32
I.9.1.3 Rayonnement diffus et réfléchi .....	32
<b>I.10 Le gisement solaire en Algérie .....</b>	<b>33</b>
<b>I.11 Généralité Sur Les Tracker Solaire .....</b>	<b>34</b>
I.11.1-Définition : .....	34
I.11.2-Historique : .....	34

<b>I.11.3 Principes fondamentaux des suiveurs :</b> .....	35
<b>I.12 Type de Trackers solaires</b> .....	36
<b>I.12.1. Les Trackers solaires avec commande passif :</b> .....	36
<b>I.12.2 Les Tracker solaires avec commande actif :</b> .....	36
<b>I.13 Conclusion :</b> .....	37
<b>Chapitre II : Conception Mécanique d'un Tracker Solaire</b>	
<b>I.1 Introduction</b> .....	39
<b>II.1.1. Le Solidworks :</b> .....	39
<b>II.2 Conception Mécanique d'un Tracker</b> .....	43
<b>II.2.1. Structure Mécanique de système</b> .....	43
<b>II.3 Conception et Modélisation géométrique du système</b> .....	43
<b>II.3.1. L'emplacement de tracker solaire (PV et Héliostat) étudié</b> .....	43
<b>II.3.2. Assemblage de système</b> .....	43
1. Partie réalisation mécanique d'un tracker: .....	44
<b>II.4 Conclusion :</b> .....	46
<b>Chapitre III : Conception Elecronique d'un Tracker Solaire</b>	
<b>III.1.Introduction</b> .....	48
<b>III.1.1 Le Proteus</b> .....	48
<b>ISIS</b> .....	49
<b>ARES</b> .....	49
<b>III.1.2 Matériels utilisés</b> .....	50
<b>III.2.Schéma bloc du suiveur solaire</b> .....	50
<b>III.3.Circuit de commande</b> .....	51
<b>III.4.Circuit de puissance</b> .....	55
<b>III.5.Le moteur pas à pas</b> .....	55
<b>III.6.La carte électronique réalisée</b> .....	56
<b>III.7.Le prototype final</b> .....	58
<b>III.8.Etude Comparative</b> .....	58
<b>III.9.Teste Et Résultats</b> .....	60
<b>III.10.Conclusion</b> .....	61
<b>Conclusion Général</b> .....	62
<b>Annexe</b> .....	66
<b>I. Le tracker solaire : principe et explications</b> .....	66

<b>Un fonctionnement basé sur le principe de l'héliostat .....</b>	<b>66</b>
<b>Tracker 1 axe et 2 axes : voici la différence .....</b>	<b>66</b>
<b>Les avantages et inconvénients du tracker solaire .....</b>	<b>66</b>
<i>Une optimisation de l'énergie produite.....</i>	<i>66</i>
<i>Les limites de l'utilisation du tracker solaire.....</i>	<i>67</i>
<b>II. Les trackers Photovoltaïque (Suiveurs).....</b>	<b>67</b>
<b>Les Avantages et les Inconvénients des suiveurs solaires .....</b>	<b>68</b>
<b>Bibliographies .....</b>	<b>70</b>

## Liste des Figures

Figure I.1 : Incendie de la flotte romaine lors du siège de Syracuse en -212 .....	17
Figure I.2 : Un miroir ardent. ....	18
Figure I.3 : Le concentrateur à lentilles de Lavoisier (1774) .....	18
Figure I.4 : Plans et photos de la centrale thermique de Méadi en Egypte en 1913. ....	20
Figure I.5 : Le four de Mont-Louis.....	21
Figure I.6 : Coupe transversale d'une cellule PV typique. ....	22
Figure I.7 : Relation de cellule avec le module et la matrice "Array" photovoltaïque ..	23
Figure I.8 : Principe de captation de l'énergie solaire .....	24
Figure I.9 : Schématisation des mouvements de la terre autour du soleil .....	25
Figure I.10 : Les coordonnées terrestre .....	26
Figure I.11 : Coordonnées Géographiques .....	27
Figure I.12 : La sphère céleste équatoriale. ....	28
Figure I.13 : Variation de la déclinaison solaire en fonction du jour.....	29
Figure I.14 : Position du soleil par rapport à un point fixe de la terre (hauteur et azimut du soleil). ....	30
Figure I.15 : Carte du monde de l'irradiation moyenne annuelle en kWh/m <sup>2</sup> /jour sur un plan horizontal.....	32
Figure I.16 : Le potentiel de l'Algérie en énergie solaire. ....	33
Figure I.17 : Schéma de fonctionnement de suiveur. ....	34
Figure I.18 : Modèle d'un héliostat dans ses premières applications.....	35
Figure I.19 : Types de suiveur solaire. ....	36
Figure I.20 : Suiveur mono-axe.....	37
Figure II.21 : Quelques possibilités disponibles aux concepteurs SOLIDWORKS.....	42
Figure II.22 : Les étapes d'assemblage d'un tracker solaire en SOLIDWORKS.....	44
Figure II.23 : Schéma du système sur l'interface du logiciel SolidWorks .....	45
Figure II.24 : Vérin Super jack 36 ,12 pouces. ....	46
Figure II.25 : Partie fixe et mobile du tracker.....	46
Figure III.26 : Les fenêtres composant l'interface du logiciel Proteus. ....	49
Figure III.27 : Schéma bloc d'un suiveur solaire .....	50
Figure III.28 : Les différents composants de l'Arduino ESP32.....	53
Figure III.29 : Projet Arduino. ....	53
Figure III.30 : Organigramme de fonctionnement d'ESP32.....	54

<b>Figure III.31 : Schéma de la carte électronique de circuit de commande en Proteus. ....</b>	<b>55</b>
<b>Figure III.32 : Principe de fonctionnement du moteur.....</b>	<b>55</b>
<b>Figure III.33 :Le moteur pas a pas utilisé.....</b>	<b>56</b>
<b>Figure III.34 : Photo réel de la carte de commande de notre Tracker solaire. ....</b>	<b>57</b>
<b>Figure III.35 : Schéma synoptique du prototype final à réaliser.....</b>	<b>58</b>
<b>Figure III.36 : Prototype d'un PV fixe et d'un Tracker installé au niveau de l'URAER – Ghardaia- .....</b>	<b>58</b>
<b>Figure III.37 : Courbe de puissance électrique d'un Tracker. ....</b>	<b>59</b>
<b>Figure III.38 : Courbe de I(V) d'un Tracker.....</b>	<b>59</b>
<b>Figure III.39 : Courbe de I(V) d'un PV Fixe.....</b>	<b>59</b>
<b>Figure III.40 : Courbe de I(V) d'un PV Fixe.....</b>	<b>59</b>
<b>Figure III.31 : Photo réel de Tracker au niveau de l'URAER-Ghardaïa-.....</b>	<b>60</b>

## Liste des abréviations

**PV** : Photovoltaïque.

**TSV** : Temps Solaire Vrai.

**TSM** : Temps Solaire Moyen.

**TU** : Temps Universel.

**DC** : Courant Direct.

**IGH** : Rayon Global sur une surface horizontale.

**IGi** : Rayon Global sur une sur face inclinée.

**CSP** : Central Solaire Thermique.

## Nomenclatures

$\lambda$ : Longitude.

$\phi$  : Latitude.

$\omega$  : Angle horaire.

$\delta$  : Déclinaison.

$N_p = 2\pi N / 365.25$

**N** : le jour Julian variant de 1 du premier Janvier à 365 (366) au 31 Décembre

## **Introduction Général**

## Introduction Général

L'héliostat ou Trackers est un dispositif d'orientation, soit du module photovoltaïque ou du miroir de réflexions planes ou les tours solaire vers le soleil. La position et la trajectoire du soleil dans le ciel varie avec la saison et l'heure de la journée, comme l'efficacité soit des modules photovoltaïques et miroirs de réflexion est liées à la quantité de lumière reçue, donc le système de poursuite solaire peut augmenter l'efficacité énergétique d'un tel système de conversion. Dans ce travail, nous cherchons d'améliorer la qualité du système de poursuite solaire, où le collecteur d'énergie et le rayon de soleil forment un angle de  $90^\circ$  tout au long de la journée pour collecter autant de rayons solaires que possible. Cette stratégie est possible en développant un prototype du système de suiveur solaire.

Notre mémoire intitulé « **Conception et réalisation d'un système de Tracker Solaire à Base d'un Automate Installé Dans La Région de Ghardaïa** » est un projet pratique que nous avons abordé à travers trois chapitres décrits comme suit :

Un premier qui présentera une généralité sur les énergies et les trackers solaires et on a cité les types des trackers solaire (PV et Héliostat). Dans la deuxième partie, une conception mécanique de système poursuite à deux axes va exécuter à l'aide d'un logiciel de simulation SOLIDWORKS, avec une commande par une carte Arduino ESP 32 à l'aide de quatre Relais. Finalement, Réalisation du système (partie électronique) et son installation sur le champ de l'Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables – Ghardaïa- avec une étude comparative entre un PV fixe et un Tracker solaire pour évaluer notre étude.

Pour atteindre ce travail, une étude avec une réalisation pratique d'un suiveur solaire (Tracker Solaire) et teste toutes les étapes de trajectoire on 3D par logiciel Labview.

# CHAPITRE I

### **I.1.Introduction :**

La Terre dépend fortement du rayonnement solaire car c'est l'une des meilleures et des plus importantes sources d'énergie pour cette Terre. Avec ce rayonnement solaire qui atteint la terre pendant un certain temps, il peut répondre aux besoins énergétiques mondiaux. La Terre intercepte une très petite partie de ce rayonnement solaire émis depuis l'espace. Le rayonnement qui atteint le niveau de la mer à midi dans un ciel clair est de 1000 W/m<sup>2</sup> et est décrit comme le rayonnement de la masse d'air '1' (ou AM1). Lorsque le soleil se couche dans le ciel, la lumière traverse une plus grande épaisseur d'air et perd plus d'énergie. Le soleil n'étant à son zénith que pour un court instant, la masse d'air est toujours plus importante, donc la puissance disponible est inférieure à 1000 W/m<sup>2</sup>.

Dans ce premier chapitre, nous commençons par la présentation de quelques notions générales. Commencant par historique de l'énergie solaire et leur importance dans notre vie, ensuite le Gisement solaire et le rayonnement solaire, enfin, nous allons présenter quelque type des suiveurs solaires.

### **I.2. Historique de l'énergie solaire**

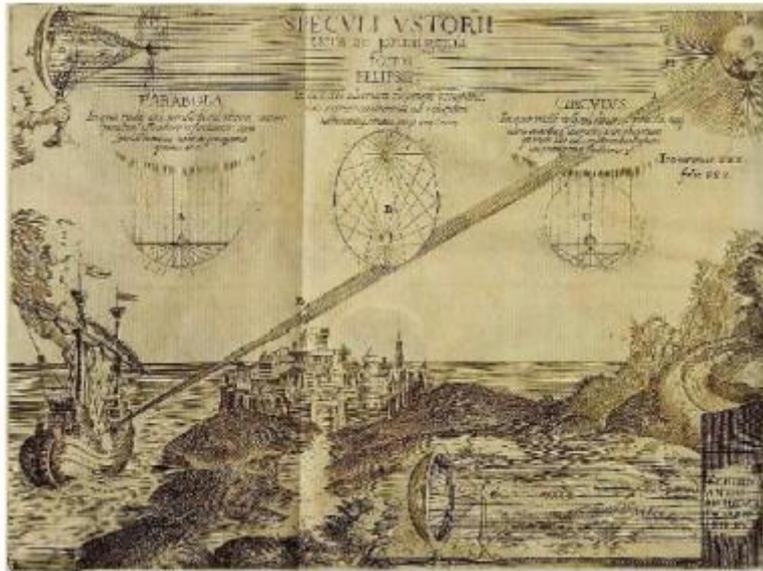
L'utilisation de l'énergie solaire est un fait très ancien. L'énergie solaire est à l'origine de la vie sur Terre : les premiers organismes photosynthétiques l'utilisaient déjà il y a 3,6 milliards d'années pour produire leurs matières organiques. Le but de cette sous-partie est de montrer que l'évolution des techniques d'exploitation de l'énergie solaire s'est faite en plusieurs phases.

#### **I.3.1 Dès l'Antiquité Dans l'antiquité**

Les Grecs et les Romains savaient utiliser l'énergie solaire. Pour allumer la flamme des jeux olympiques, ils utilisaient une sorte de miroir parabolique primitif, le skaphia, car pour eux seuls les rayons du Soleil étaient assez purs pour allumer cette flamme [1]. [EPIA, 2013]

Le philosophe grec Socrate (-470 ; -399) a enseigné l'architecture bioclimatique en expliquant que les maisons orientées au sud bénéficiaient de la chaleur du Soleil en hiver, tandis qu'en été, le soleil se retrouvait quasiment au-dessus des toits laissant les maisons dans une extrême fraîcheur. On raconte qu'Archimède (-287 ; -212) réussit à enflammer des bateaux de la flotte romaine qui assiégeait Syracuse en -212 (Figure I.1), grâce à de nombreux miroirs géants en bronze polis tous orientés sur le même point du navire. Mais ce fait a fait débat au cours des siècles, certains savants jugeant en effet cette histoire improbable. Aujourd'hui on est pourtant presque sûr que cette histoire est un mythe, si l'on en croit l'expérience réalisée par des

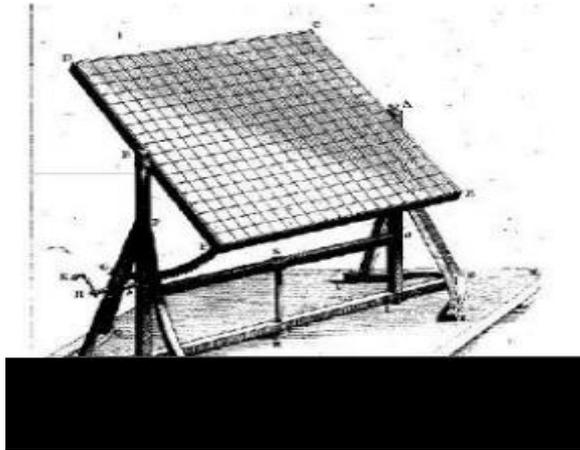
étudiants du MIT (Massachusetts Institute of Technology) qui ont réitéré l'expérience d'Archimède en 2005 et on réussit à enflammer en 10 minutes et à 30 mètres une reconstitution de bateau romain, qui cependant était sèche et immobile, ce qui a facilité l'inflammation.



**Figure I.1 : Incendie de la flotte romaine lors du siège de Syracuse en -212 [2].**

### **I.3.2 Au XVIIIème siècle**

Le Siècle des Lumières voit renaître l'intérêt pour le Soleil et les premières études et expériences sur son énergie. En 1747, le botaniste Buffon met au point une machine capable d'enflammer des planches en bois à 48 mètres (Figure I.1). Cet engin est composé de 168 petits miroirs plans de 16 centimètres de largeur sur 22 de hauteur qui réfléchissent les rayons du soleil en un point unique permettant une élévation de la température. Ainsi, il parvient à enflammer du bois à une distance de 65 mètres, et de faire fondre de l'étain à 49 mètres, du plomb à 42 mètres, et de l'argent à 20 mètres.



**Figure I.2 : Un miroir ardent. [3]**

Le célèbre chimiste français Antoine Laurent de Lavoisier (1743-1794) invente en 1774 un très puissant four solaire dans le but de faire fondre des métaux sans que ceux-ci soient pollués par les produits des combustibles (Figure I.3). Pour cela il utilise deux lentilles convergentes montées comme un télescope et dont les foyers sont alignés sur une droite parallèle aux rayons du Soleil, et qui lui permettent d'obtenir une température d'environ 1755°C.



**Figure I.3 : Le concentrateur à lentilles de Lavoisier (1774) [3].**

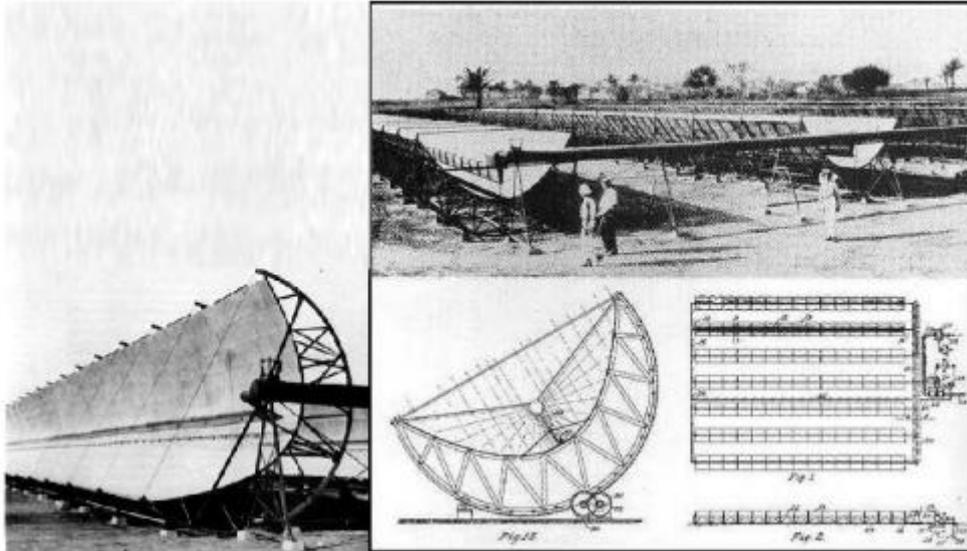
### **I.3.3 Au XIX<sup>ème</sup> siècle**

Le XIX<sup>ème</sup> est marqué par la découverte de l'effet photovoltaïque et le perfectionnement des techniques d'exploitation du solaire thermique. En 1839, le physicien Alexandre Edmond Becquerel découvre par hasard l'effet photovoltaïque. Une nouvelle voie de l'exploitation de l'énergie solaire s'ouvre alors. Il faudra attendre 1900 pour qu'Einstein explique cet effet et 1910 pour qu'il soit mis en évidence par Robert Andrew Millikan. En 1872, l'ingénieur suédois Charles Wilson construit un distillateur solaire au Chili dans le but d'alimenter en eau douce une mine. Sur une surface de 4700 m<sup>2</sup>, ce distillateur produisit pendant 40 ans 23000 litres d'eau par jour à un prix minime. En 1875, l'industriel allemand Werner Von Siemens décrit le principe d'une cellule photovoltaïque au silicium ainsi que le principe photovoltaïque devant l'Académie des Sciences de Berlin. Le professeur français Augustin Mouchot inventa le principe de poursuite du Soleil avec un capteur à concentration. En 1873, grâce à une subvention du conseil général de Tours il construit une machine de 4 m<sup>2</sup> qu'il présente en 1875 à l'Académie des Sciences. En 1877, c'est une subvention du conseil général d'Alger qui lui permet de construire un nouveau capteur de 20 m<sup>2</sup> couplé à une machine à vapeur qu'il expose lors de l'Exposition Universelle de Paris de 1878. L'engin, d'une puissance d'un demicheval (368 W), permet d'imprimer le journal par l'Exposition au Soleil à raison de 500 exemplaires/heures. La machine eut un grand succès et fut primée. Augustin Mouchot avait déjà deviné que les énergies fossiles que les occidentales commençaient à utiliser n'étaient pas inépuisables. C'est pour cela qu'il préconisait et étudiait l'énergie solaire qui selon lui était déjà l'énergie du futur. C'est ce qu'il écrivait dans le livre qu'il publiait en 1869, *La Chaleur Solaire et ses Applications Industrielles*.

### **I.3.4 A partir du XX<sup>ème</sup> siècle**

Après 1900, toutes les technologies découvertes au siècle précédant sont améliorées. De nouvelles découvertes sont faites et dès 1970 le solaire connaît un vif regain d'intérêt. Les premières centrales solaires sont construites, et les premières applications individuelles apparaissent. Le physicien anglais Charles Vernon Boys (1855; 1944) est l'inventeur du capteur cylindro-parabolique. Son invention servit pour la première fois en Egypte (Figure I.4), à Meadi, où on construisit en 1912 une centrale thermique qui fonctionnait sur le principe de Boys, permettant d'irriguer une grande surface de cultures. Cette centrale était composée de 5 réflecteurs de 60 mètres de long pour une ouverture de 4 mètres qui sont couplés à une pompe permirent de pomper plus de 2000 litres d'eau par minute à partir de 1913, irriguant

200 hectares de champs de coton. Des installations similaires à celle-ci furent prévues dans le Soudan anglais et dans les colonies africaines de l'empire Allemand, mais ces centrales restèrent à l'état de projet à cause du début de la seconde guerre mondiale.



**Figure I.4 : Plans et photos de la centrale thermique de Méadi en Egypte en 1913.[4]**

A partir de 1920, aux Etats-Unis, des particuliers installent chez eux des chauffe-eaux solaires, et des « Crystal House », maisons chauffées uniquement grâce à l'apport énergétique du Soleil, sont construites. Le français Félix Trombe (1906; 1985) invente le premier four solaire à concentration: en 1944, lors de leur fuite, les allemands abandonnent un projecteur de DCA. Ces projecteurs très puissants qui permettaient de repérer les avions ennemis dans le ciel nocturne sont des miroirs paraboliques orientables au foyer duquel on plaçait une puissante ampoule ce qui donnait un faisceau de lumière parallèle. Trombe décide de réutiliser le projecteur abandonné à l'envers et de jour. Le projecteur est placé de telle manière que les rayons du soleil sont concentrés au foyer du miroir. Quand on place une bûche de bois au niveau du foyer celle-ci s'enflamme instantanément. Il est le directeur de la construction d'un prototype de four solaire d'une puissance de 50 kW à Mont-Louis (Figure I.5) dans les Pyrénées-Orientales. Puis il dirige celle du four solaire d'Odeillo d'une puissance de 1000 kW. C'est le plus puissant four solaire du monde. Il est utilisé par l'industrie. Il faut attendre 1954 pour voir la création de la toute première cellule photovoltaïque au silicium. Elle est mise au point par les américains Gerald Pearson, Daryl Chapin et Calvin Fuller, des laboratoires de la Bell Téléphone. Mais la technologie mise au point est hors de prix : non

seulement elle a un faible rendement mais en plus elle nécessite l'utilisation du silicium très cher à l'époque. Il faut attendre 1958 et l'invention d'une cellule d'un rendement de 8% pour son premier emploi par l'industrie aéronautique. Le premier satellite équipé de cellules photovoltaïques, Vanguard 1, est donc lancé en 1958.



**Figure I.5 : le four de Mont-Louis.[5]**

La première maison alimentée en électricité par des cellules photovoltaïques est construite en 1973. Puis le choc pétrolier de 1973 donne un grand élan aux technologies solaires devenant d'un coup moins cher. De nombreux projets de centrales thermiques solaires apparaissent dans le monde, comme la centrale Thémis en France dont la construction s'étale de 1978 à 1982.

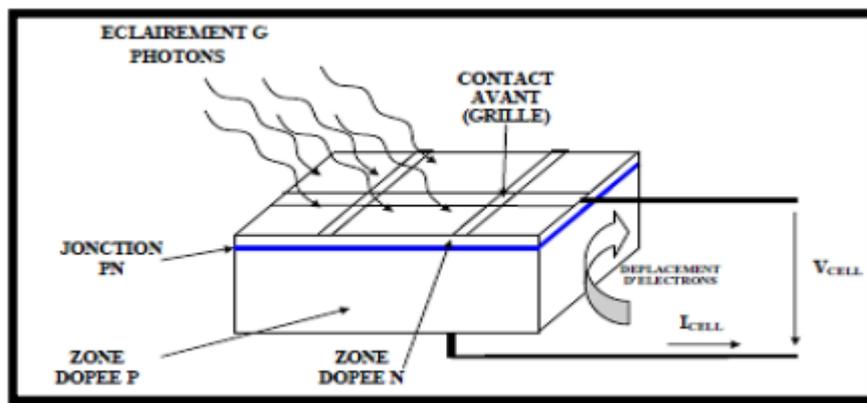
### **I.4. L'énergie solaire photovoltaïque**

L'énergie photovoltaïque se base sur l'effet photoélectrique pour créer un courant électrique continu à partir d'un rayonnement électromagnétique. Cette source de lumière peut être naturelle (soleil) ou artificielle (une ampoule). L'énergie photovoltaïque est captée par des cellules photovoltaïques, un composant électronique produit de l'électricité lorsqu'il est exposé à la lumière. Plusieurs cellules peuvent être reliées pour former un module solaire photovoltaïque ou un panneau photovoltaïque. Une installation photovoltaïque connectée à un réseau d'électricité se compose généralement de plusieurs panneaux photovoltaïques, leur nombre pouvant varier d'une dizaine à plusieurs milliers. La cellule PV est le plus petit

élément d'une installation photovoltaïque. Elle est composée de matériaux semi-conducteurs et transforme directement l'énergie lumineuse en énergie électrique. Nous allons ici présenter rapidement le fonctionnement du phénomène photovoltaïque [3] :

Le phénomène photovoltaïque est la transformation directe de la lumière en électricité à l'échelle atomique. Certains matériaux se caractérisent par une propriété connue sous le nom d'effet photoélectrique qui leur fait absorber les photons de la lumière et libérer des électrons. Lorsque ces électrons libres sont capturés, il en résulte un courant électrique qui peut être utilisé comme de l'électricité. La cellule photovoltaïque est fabriquée à partir de deux couches de Silicium (matériau semi-conducteur).

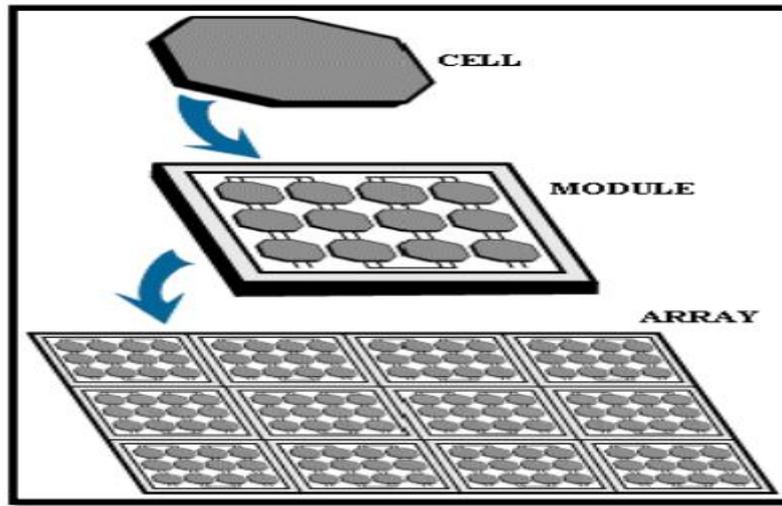
Il contient une couche dopée avec du Bore qui possède moins d'électrons que le Silicium, cette zone est donc dopée positivement (zone P). Aussi il contient une couche dopée avec du Phosphore qui possède plus d'électrons que le Silicium, cette zone est donc dopée négativement (zone N). Lorsqu'un photon de la lumière arrive, son énergie crée une rupture entre un atome de silicium et un électron, modifiant les charges électriques. C'est ce qu'on appelle l'effet photovoltaïque. Les atomes, chargés positivement, vont alors dans la zone P et les électrons, chargés négativement, dans la zone N. Une différence de potentiel électrique, c'est-à-dire une tension électrique, est ainsi créée (Figure I.6).



**Figure I.6 : Coupe transversale d'une cellule PV typique. [3].**

Le module photovoltaïque est un groupement de cellules connectées entre elles, le Matrice "array" photovoltaïque est un groupement de modules connectés entre ils. Il est protégé en face avant par une plaque de verre, et en face arrière par un autre matériau (ou autre plaque de verre). Le tout est installé sur un cadre aluminium anodisé. Le rendement d'une cellule

dépend de l'intensité de la lumière, de sa température et de son orientation par rapport au soleil (Figure I.7).



**Figure I.7 : Relation de cellule avec le module et la matrice "Array" photovoltaïque [6].**

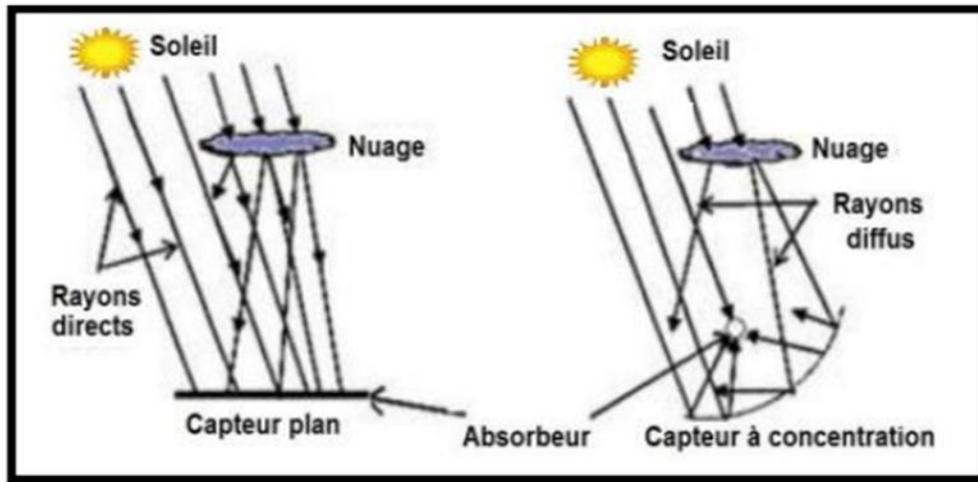
### **I.5 L'énergie solaire thermique :**

L'énergie solaire thermique consiste à capturer l'énergie du soleil pour la transférer à un support de transfert de chaleur, généralement de l'eau ou de l'air.

Parmi les diverses applications de l'énergie solaire thermique il est possible de produire de l'électricité. La technologie actuelle permet à l'eau de chauffer avec le rayonnement solaire pour produire de la vapeur et ensuite obtenir de l'électricité. Le capteur plan est considéré comme un simple absorbeur de rayonnement solaire direct et diffus qui les transforme en chaleur. Le rayonnement solaire est non seulement absorbé par le ciel, mais aussi par tout l'environnement.

Un capteur plan est relativement insensible aux conditions du ciel, dont la réalisation ne demande pas une conception compliquée. Cependant, la conception d'un collecteur avec effet de concentration, fait appel à des techniques plus au moins complexes, dont le principe consiste à focaliser le rayonnement incident sur un absorbeur de surface réduite que la surface d'ouverture du collecteur, afin d'augmenter la concentration du rayonnement direct aux niveaux de l'absorbeur. Les capteurs plans utilisent le rayonnement diffus provenant du ciel et du sol, par contre les concentrateurs n'utilisent que le rayonnement direct. La (Figure I.8)

montre le principe de captation par les deux types de conversion thermique de l'énergie solaire [5].



**Figure I.8 : Principe de captation de l'énergie solaire**

Les concentrateurs solaires utilisent des surfaces réfléchissantes (miroirs) paraboliques ou cylindre-paraboliques pour concentrer les rayons solaires respectivement dans un foyer ponctuel ou linéaire. Dans le foyer ponctuel ou le long du foyer linéaire se trouvent les récepteurs (absorbeurs) qui captent la chaleur solaire ainsi concentrée. Naturellement, ces concentrateurs doivent suivre le mouvement apparent du soleil. Dans un concentrateur cylindro-parabolique, le fluide caloporteur (eau, huile thermique ou gaz) peut être porté à environ 400 °C. On peut obtenir des températures plus élevées jusqu'à 1500 °C pour les concentrateurs ponctuels. Ces types de collecteurs solaires sont plus adaptés pour la production de chaleur industrielle et d'électricité. L'utilisation des systèmes à concentration présente des avantages et des inconvénients.

### **I.6. Gisement solaire**

Le soleil est une étoile du système solaire, composée quasiment d'hydrogène à 80% et de 19% d'hélium, le 1% restant est un mélange de plus de 100 éléments. Son diamètre est de

139100 km (100 fois le diamètre de la terre), sa masse est de l'ordre de 2.1027 tonnes, situé à une distance de la terre égale à environ 150 millions de km.

### I.6.1. Mouvement orbital de la terre autour du soleil

La terre décrit une ellipse dans son mouvement autour du soleil (Figure I.9). La révolution complète d'effectue en une période de 365.25 jours. Le plan de cette ellipse est appelé l'écliptique. La terre tourne également sur elle-même autour d'un axe appelé l'axe des pôles. Cette rotation s'effectue en une journée. L'axe des pôles et l'écliptique font entre eux un angle appelé déclinaison, il est égal à  $23^{\circ}27'$ . C'est au solstice d'hiver (21 décembre) que la terre est la plus proche du soleil : 147 millions de km. Au 21 juin la distance terre-soleil est de 152 millions de km, c'est le jour ou la terre est la plus éloignée, c'est le solstice d'été. Le 21 mars et le 21 septembre sont appelés respectivement équinoxes de printemps et équinoxes d'automne. Aux équinoxes le jour et la nuit sont égaux.

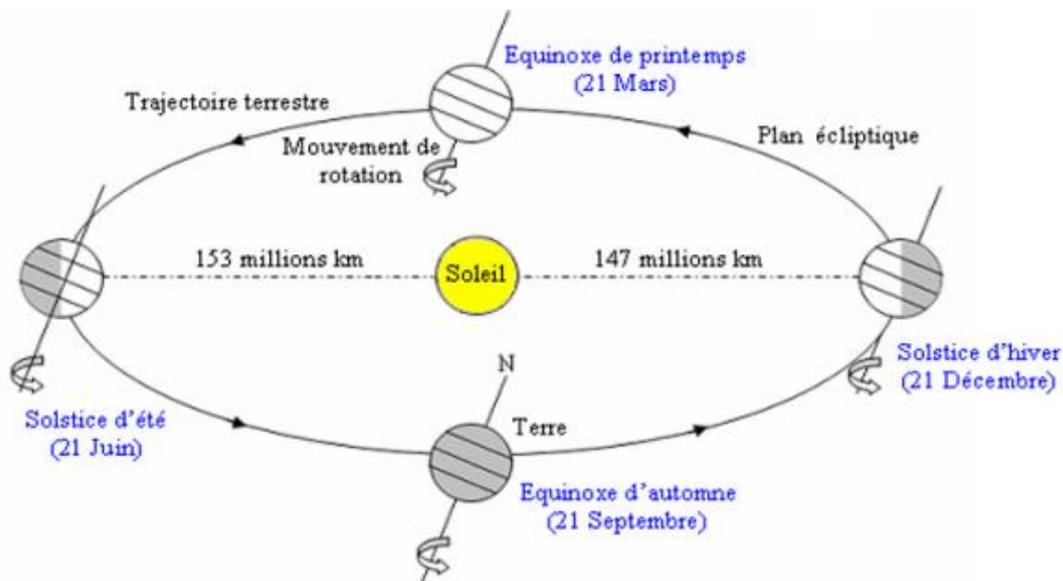
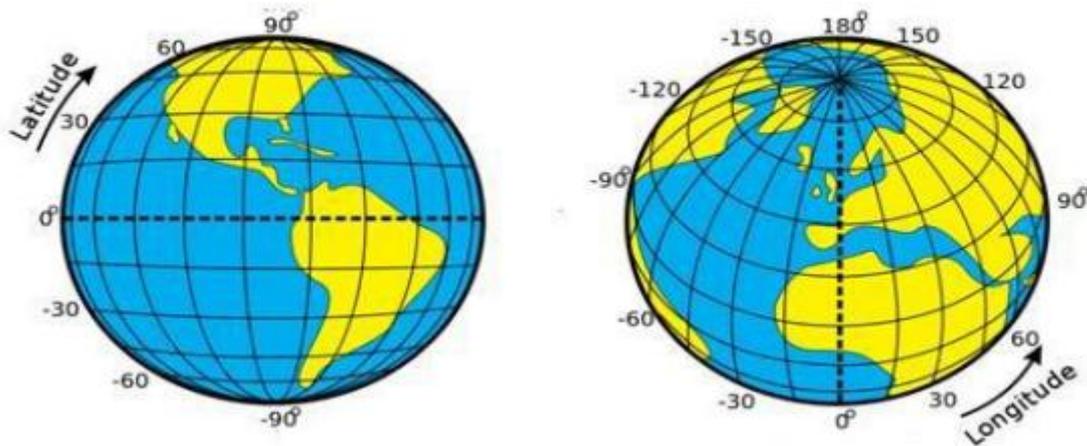


Figure I.9 : Schématisation des mouvements de la terre autour du soleil [6].

## I.7. Paramètres géométriques

### I.7.1. Coordonnées géographiques terrestres

Toute application solaire exige la connaissance du mouvement apparent du soleil pour un point de la surface terrestre donnée, caractérisé par sa latitude et de sa longitude (voir figure I. 10).



**Figure I.10 : Les coordonnées terrestres [6].**

- **La latitude  $\varphi$  :**

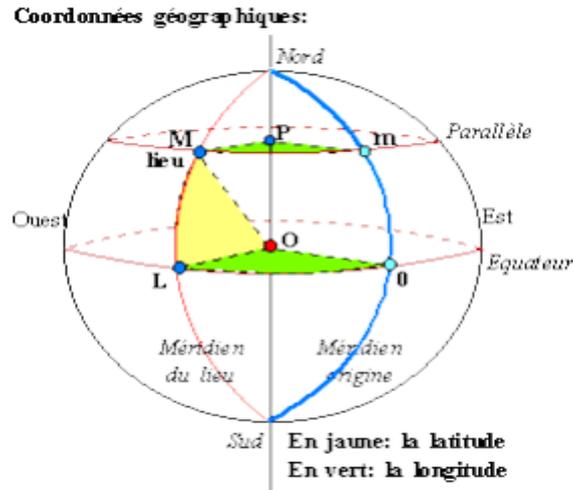
La latitude( $\varphi$ ) permet de repérer la distance angulaire d'un point quelconque par rapport à l'équateur. Elle varie de  $0^\circ$  à l'équateur à  $90^\circ$  au pôle Nord.

- **La longitude  $\lambda$  :**

C'est l'angle ( $\lambda$ ) formé par le méridien de Greenwich et le méridien du lieu Considéré. La longitude est comprise entre -180 (vers l'ouest) et +180 (vers l'est). Comme la terre met 24 heures pour faire un tour sur elle-même ( $360^\circ$ ), chaque heure Représente  $15^\circ$  d'écart de longitude et donc, chaque degré de longitude représente [6].

- **L'altitude  $z$  :**

L'altitude( $z$ ) correspond le point à la distance verticale exprimée en mètres (m) et entre ce point et une surface de référence.



**Figure I.11 : Coordonnées Géographiques [6]**

**I.7.2. Coordonnées horaires**

- **Angle horaire ( $\omega$ )**

L'angle horaire ( $\omega$ ) étant l'angle formé par le plan méridien passant par le centre du soleil et le plan vertical du lieu (méridien) définit le temps solaire vrai TSV, l'angle horaire s'exprime parfois en heures figure (I.12). Au midi solaire on a  $\omega = 0$ , ensuite chaque heure correspond à une variation de  $15^\circ$ , car la terre effectue un tour complet sur elle-même en 24h.

$$\omega = 0.261799. (t - 12) \tag{1}$$

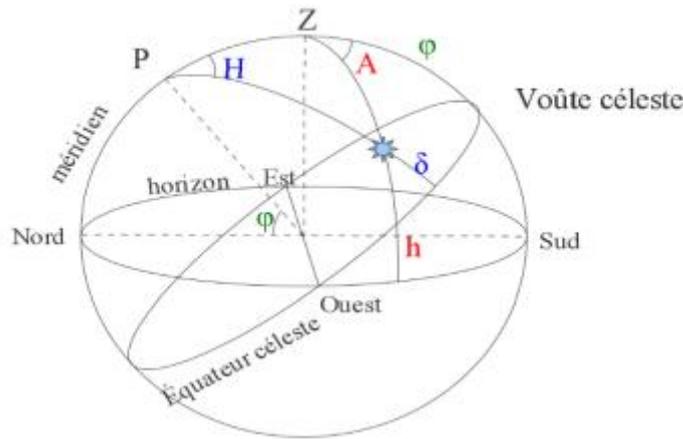
Pour calculer l'angle horaire, Capderou dans l'ASA, a utilisé la formule suivante :

$$\omega = 15. (TSV - 12) \tag{2}$$

Le temps solaire vrai TSV est donné par l'équation (3), avec DEest le décalage horaire, il est égal à 1 pour l'Algérie.

$$TSV = t - DE + \frac{(ET + 4. \lambda)}{60} \tag{3}$$

Le temps solaire vrai TSV est donné par l'équation (3), avec DE<sub>est</sub> le décalage horaire, il est égal à 1 pour l'Algérie.



**Figure I.12 : La sphère céleste équatoriale. [6]**

- **La déclinaison ( $\delta$ )**

C'est l'angle que fait, la direction du soleil avec le plan équatorial de la terre. La déclinaison varie de  $-23^{\circ}27'$  au solstice d'hiver à  $+23^{\circ}27'$  et détermine l'inégalité des durées des jours. Elle s'obtient à partir de la formule suivante :

$$\sin(\delta) = 0.3972. \sin[N_p - 1.4 + 0.0355. \sin(N_p - 0.0489)] \quad (4)$$

Avec :  $N_p = 2\pi. N/365.25$

Dans l'Atlas Solaire de l'Algérie, Capéou a utilisé l'expression (5) pour le calcul de la déclinaison, et qui donnerait le même résultat que l'expression précédente (4) :

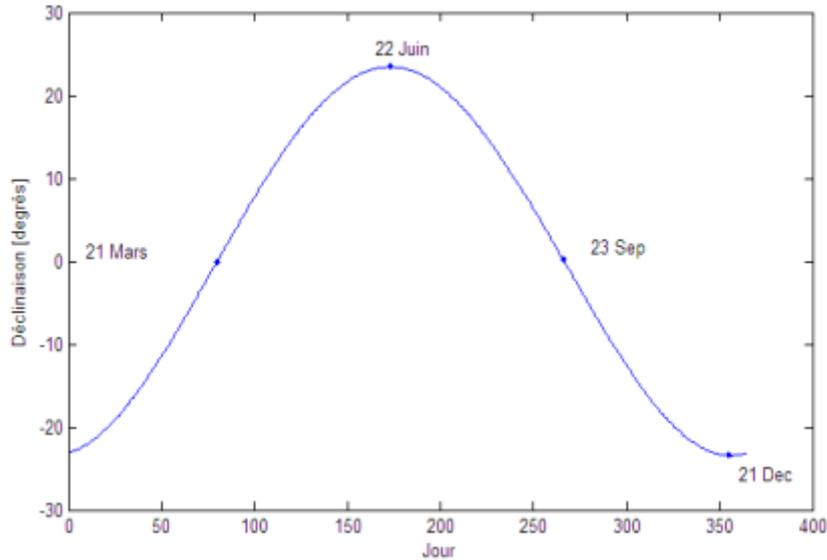
Avec :

$$N_p = \frac{2\pi. N}{365.25}$$

Dans l'Atlas Solaire de l'Algérie, Capderou a utilisé l'expression (6) pour le calcul de la déclinaison, et qui donnerait le même résultat que l'expression précédente (4) :

$$\sin(\delta) = 0.3978. \sin\left[\frac{360}{365}(N - 82) + 2. \sin\left[\frac{365}{360}(N - 2)\right]\right] \quad (5)$$

$N$  est le jour Julian variant de 1 du premier Janvier à 365 (366) au 31 Décembre. La variation de la déclinaison en fonction du jour de l'année est décrite sur la figure (3)



**Figure I.13 : Variation de la déclinaison solaire en fonction du jour. [6]**

### **I.7.3 Les coordonnées horizontales**

Pour poursuivre la position de soleil il faut détermine les deux angles (la hauteur et l'azimutsolaire) chacun des deux angles sont utilisés pour la commande du système de poursuite solaire d'un héliostat (voir figure I.14) [6].

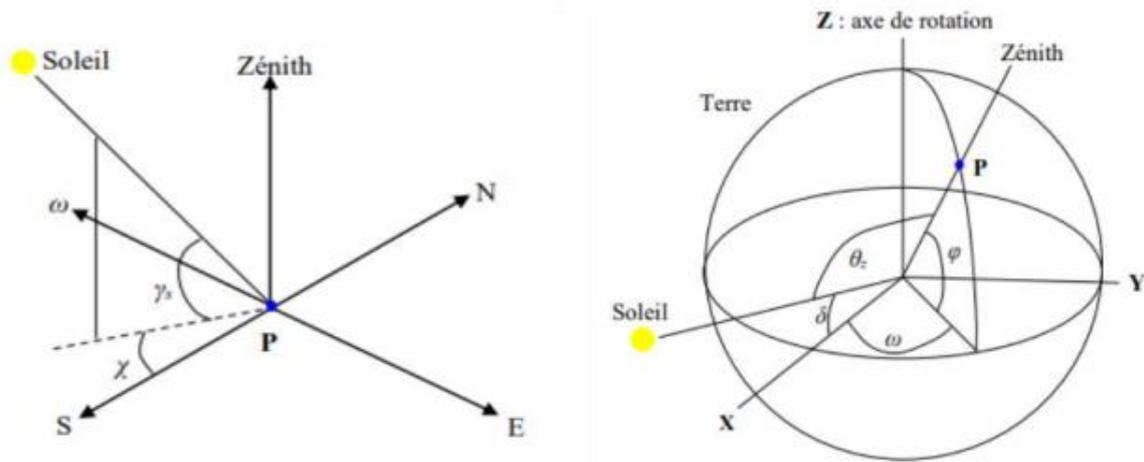
- **L'azimut solaire (a)**

Est l'angle mesuré dans le sens des aiguilles d'une montre entre le point cardinal Sud (dans l'hémisphère nord) ou Nord (dans l'hémisphère sud) et la projection sur le plan horizontal local de la droite reliant la terre au soleil. Il est compté de 0° à 360° d'ouest en est, ou de 0° à 180° à partir du sud vers l'ouest, défini par l'équation suivante.

$$\sin \alpha = \frac{\cos \delta \sin \omega}{\cos h} \quad (6)$$

**Note :** l'azimut solaire est négatif le matin (direction Est), nul ou égal à 180° à midi et positif l'après-midi (direction Ouest), sur tout le globe. Il diffère de l'azimut géographique, le quel est toujours mesuré dans le sens des aiguilles d'une montre à partir du Nord, indépendamment de l'hémisphère du point d'observation.

La hauteur ( $h$ ) : C'est l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection. Il est compté de  $0^\circ$  à  $90^\circ$  vers le zénith et de  $0^\circ$  à  $-90^\circ$  vers le nadir, On appelle quelquefois distance zénithale le complément de l'angle  $h$  :  $z + h = 90^\circ$ , L'angle de la hauteur solaire est donné par [3] :



**Figure I.14 : Position du soleil par rapport à un point fixe de la terre (hauteur et azimut du soleil). [6]**

### I.8 Les temps

La Terre subit deux types de déplacement : la rotation de la terre autour de l'axe des pôles et sa révolution autour du soleil. Le mouvement de la terre sur elle-même définit la notion de journée solaire. Une rotation complète s'effectue en 24 heures. Elle amène ainsi la définition du temps, puisque chaque heure correspond à un écart angulaire de  $15^\circ$ . La rotation de la terre autour du soleil définit les saisons et amène à distinguer le temps solaire vrai [6].

#### I.8.1 Le temps universel (TU)

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

#### I.8.2 Le temps local (TL)

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

$$TL = TU + \text{décalage} \quad (7)$$

### **I.8.3 Le temps solaire moyen (TSM)**

Il se déduit de l'équation suivante :

$$TSM = TU + \frac{\lambda}{15} \quad (8)$$

Avec

$\lambda$  : Longitude de l'lieu, TSM en heure.

### **I.8.4 Le temps solaire vrai (TSV)**

C'est le temps défini par les coordonnées angulaires vraies du soleil.

$$TSV = TSM + Et \quad (9)$$

Où :  $Et$  est l'équation du temps.

### **I.8.5 Equation du temps**

Le temps  $Et$  varie de -14,5 minutes (du 10 au 15 Février) à +16,5 minutes (du 25 au 30 Octobre).

Une bonne approximation du temps  $Et$  est donnée par l'équation suivante :

$$Et = 9.9 \sin 2 0.986nj + 100 + 7.7 \sin 0.986nj - 2 \quad (10)$$

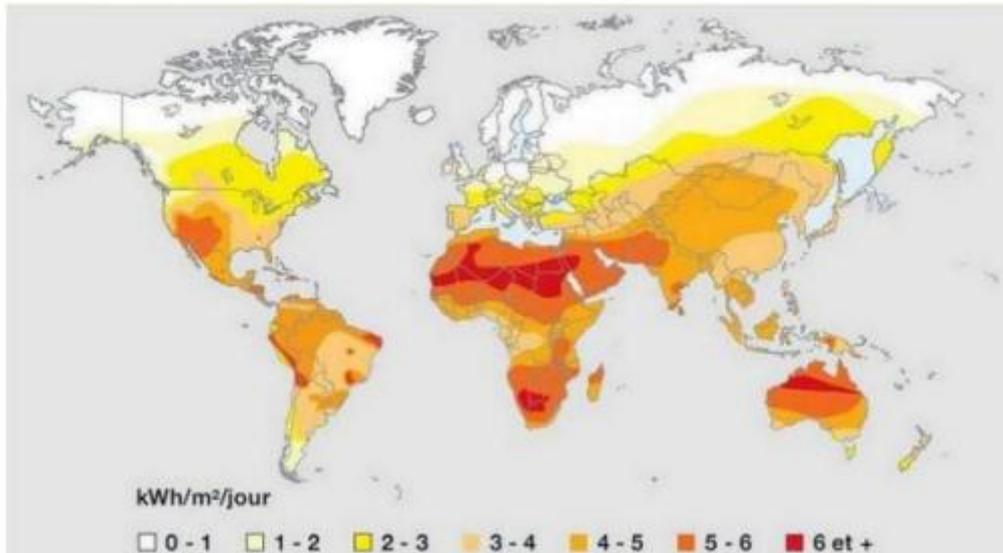
## **I.9 Rayonnement solaire :**

Est défini comme la puissance reçue par une surface. Elle est exprimée en  $W/m^2$  (watt par mètre carré). Le S.I. (Système international d'unités) recommande l'utilisation du symbole  $G$  [6].

La terre reçoit chaque année une valeur moyenne de l'éclairement  $1.36 TWh/m^2$  (Figure I.15).

Il est à noter qu'en plus de l'impact de l'atmosphère, l'irradiation solaire en dépend :

- l'orientation et l'inclinaison de la surface
- la latitude du lieu et son degré de pollution,
- la période de l'année et l'heure considérée



**Figure I.15 : Carte du monde de l'irradiation moyenne annuelle en kWh/m<sup>2</sup>/jour sur un plan horizontal [6]**

### **I.9.1 Les différents types de rayonnement solaire :**

#### **I.9.1.1 Rayonnement global :**

-Rayonnement Global sur une surface horizontale ((**IGH**) : est la somme du rayonnement direct et du rayonnement diffus.

- Le rayonnement Global sur une surface inclinée(**IGi**): est la somme des composantes directe, diffuse et réfléchi par le sol du rayonnement solaire [6].

#### **I.9.1.2 Rayonnement direct**

C'est l'éclairement qui a fait un trajet dans l'atmosphère sans déviation géométrique, et correspond donc à la portion du rayonnement incident dans la direction d'éclairement du Soleil.

#### **I.9.1.3 Rayonnement diffus et réfléchi**

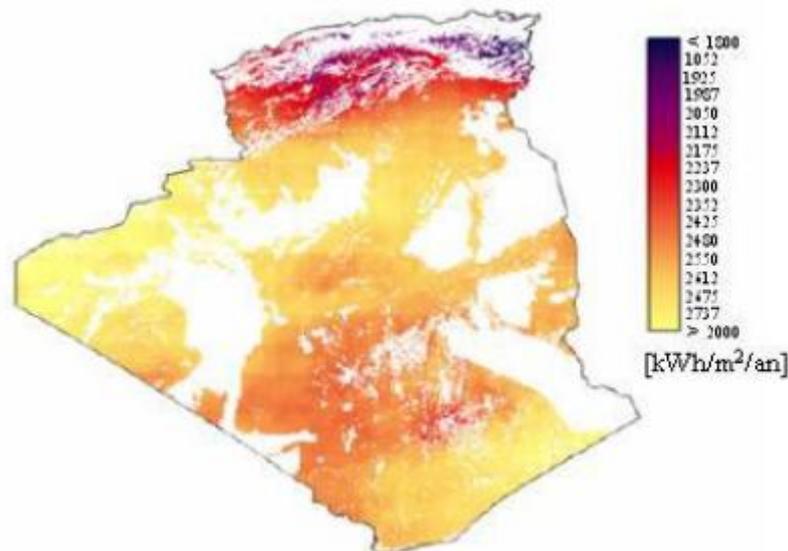
C'est l'éclairement qui résulte des diffractions du rayonnement direct par les nuages et les particules atmosphériques.

Le rayonnement réfléchi est à prendre en compte seulement dans le cas d'une surface inclinée. Il est directement proportionnel au rayonnement global. Le sol réfléchit une partie de rayonnement qu'il reçoit en fonction de sa nature.

- Sol cultivé 10 à 25%,
- Neige 60 à 90%,
- Sable 30 à 40%.

### I.10 Le gisement solaire en Algérie

Avec 2381741 km<sup>2</sup> de surface, l'Algérie est le pays le plus vaste du méditerranéen, selon une étude de l'agence aérospatiale allemande, l'Algérie offre de plus grandes possibilités intéressantes ; à long terme, pour investir dans les centrales thermiques solaires. En effet l'Algérie est l'un des pays de la méditerrané qui dispose d'un potentiel solaire énorme, selon les données d'ensoleillement (Figure I.16), l'Algérie est comptée parmi les meilleurs pays ensoleillé au monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures dans les hauts plateaux et le Sahara, l'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1m<sup>2</sup> est de l'ordre de 5 kWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700 kWh/m<sup>2</sup>/an au Nord et 2263 kWh/m<sup>2</sup>/an au Sud du pays, le potentiel des ressources solaires de notre payé est donc optimal pour l'exécution des projets solaires [6].



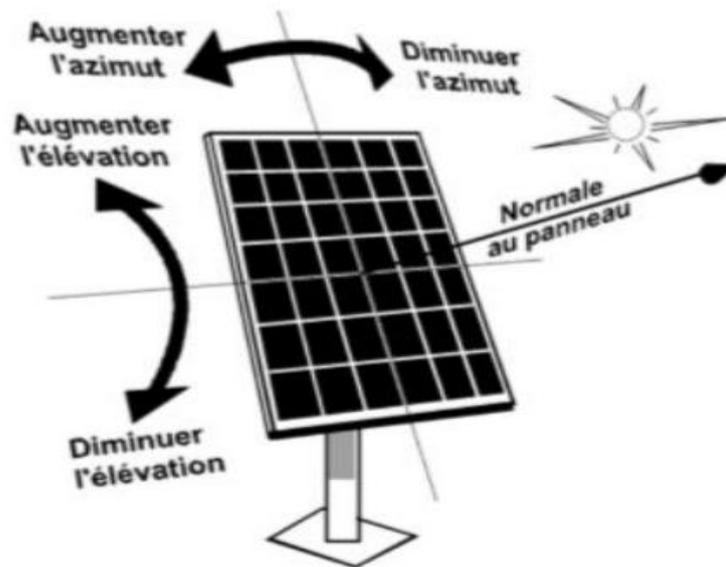
**Figure I.16 : Le potentiel de l'Algérie en énergie solaire. [6]**

## **I.11 Généralité Sur Les Tracker Solaire**

### **I.11.1-Définition :**

Un Tracker solaire, ou suiveur de soleil est un système mécanique permettant à une installation de production d'énergie solaire de suivre le soleil selon le principe de l'héliostat, cette structure peut être dotée de moteurs électriques qui permettent d'orienter les panneaux solaires afin d'augmenter la productivité de ces derniers [6].

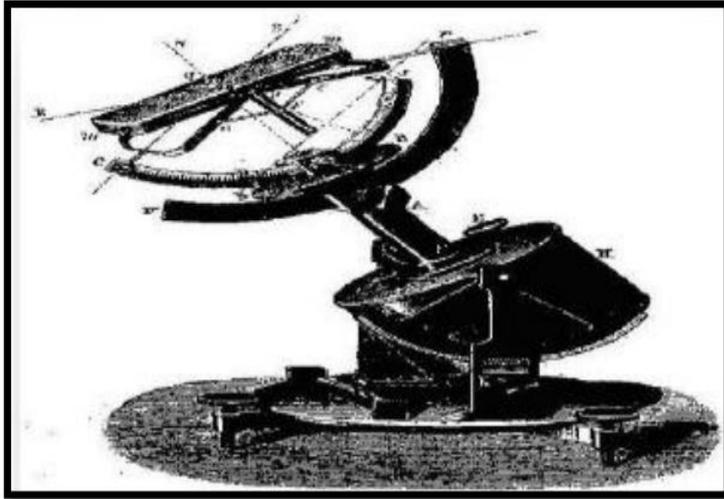
Puisque la position du soleil varie constamment et d'une manière différente selon la latitude tout au long de la journée et de l'année (selon les saisons), les trackers sont utilisés pour orienter les PV en temps réel vers le soleil afin d'améliorer le rendement des panneaux (voir figure I.17)



**Figure I.17 : Schéma de fonctionnement de suiveur. [7]**

### **I.11.2-Historique :**

Les premières applications des Trackers solaires remontent vers les années 1750 où le principe repose sur l'utilisation de l'héliostat (Figure I.18). La rotation du miroir de l'héliostat est assurée par un mécanisme d'horlogerie dont la plus ancienne mention du système se trouve dans des publications datant de 1742 du physicien néerlandais Willem Jacob Gravesande [7]

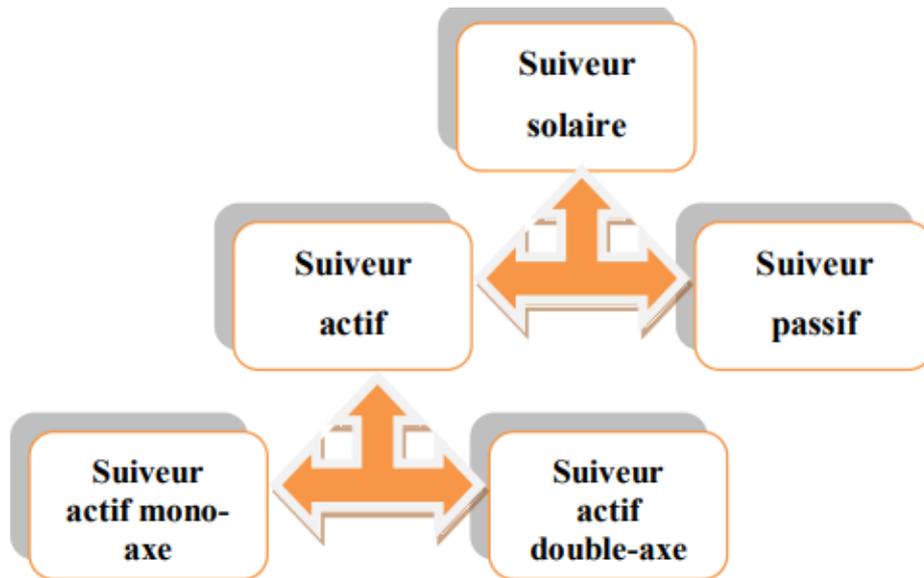


**Figure I.18 : Modèle d'un héliostat dans ses premières applications. [8]**

### **I.11.3 Principes fondamentaux des suiveurs :**

Également appelé le tracker solaire qui est un système de production d'énergie solaire qui met en œuvre le principe de l'héliostat (ou tourne sol). Une telle installation permet d'orienter les panneaux solaires en fonction de la course du soleil et ainsi d'en augmenter la productivité et le rendement. Selon les saisons et les heures de la journée, la position du soleil varie. L'utilisation d'un suiveur solaire permet de positionner en permanence les panneaux solaires selon la meilleure inclinaison possible, généralement perpendiculaire au soleil, afin qu'ils soient exposés au maximum. On estime que, par rapport à une installation solaire fixe orientée plein sud, la mise en place d'un suiveur solaire permet d'améliorer le rendement des panneaux solaires jusqu'à 40 %. Afin de permettre au suiveur solaire d'être orienté de la façon la plus optimale, il est possible de le faire selon deux axes :

- **Suivre le soleil « en azimut » :** soit d'est en ouest, au fur et à mesure de la journée : c'est le cas des suiveurs qui s'orientent selon un seul axe. Le rendement est alors augmenté d'environ 25 %.
- **Suivre le soleil en hauteur :** il s'agit de jouer sur la hauteur des panneaux solaires, au fur et à mesure de la journée et également en fonction des saisons, afin d'optimiser l'incidence des rayons du soleil. Les suiveurs solaires qui prennent en compte ce paramètre s'orientent selon deux axes. Le rendement est alors augmenté d'environ 40 % solaires jusqu'à 40 %. Afin de permettre au suiveur solaire d'être orienté de la façon la plus optimale, il est possible de le faire selon deux axes.



**Figure I.19 : Types de suiveur solaire. [8]**

## **I.12 Type de Trackers solaires**

### **I.12.1. Les Trackers solaires avec commande passif :**

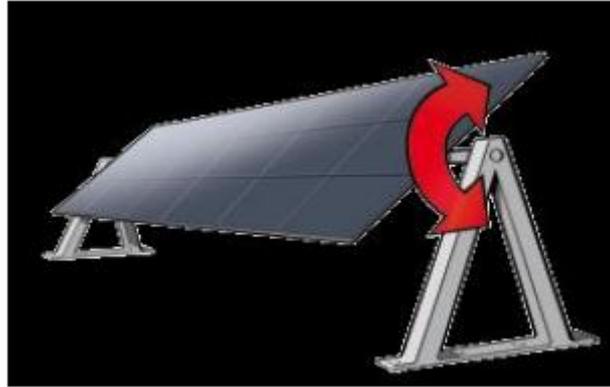
Utilisent le rayonnement des soleils pour chauffer le gaz qui déplace le Tracker à travers le ciel, où sont constitués dans son architecture de deux tubes en cuivre montés sur les côtés Est et Ouest du collecteur solaire. Le tube de matière cuivre est rempli de fluides chimiques capable de se vaporiser 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. [8]

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 collecteur solaire en le faisant tourner vers la source des rayons solaires, comme la montre la figure ci-dessous.

### **I.12.2 Les Tracker solaires avec commande actif :**

Il détecte la lumière suivant la trajectoire solaire en cherchant à optimiser au maximum l'angle d'incidence du rayonnement solaire sur leur surface. On trouve deux types de suiveur mono axe et double –axe.

**Suiveur solaire mono-axe:** Il permet une rotation selon l'axe d'azimut seulement, c'est-à-dire d'est en ouest, L'angle d'inclinaison du panneau est fixe. Il est placé selon l'angle le plus propice a recevoir un maximum de rayons de soleil, il est le plus souvent utilisé en raison de sa simplicité [8].(figure 20)



**Figure I.20 : Suiveur mono-axe. [8]**

**Suiveur solaire double-axe:** Contrairement au suiveur mono-axe ce type de suiveur possède deux axes: un horizontal et un autre vertical, qui lui permet de suivre les mouvements en azimut et en inclinaison. Ce type de système fournit de meilleures performances, et est généralement employé pour commander les télescopes astronomiques [8]

### **I.13 Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons présenté les bases indispensables à la compréhension du sujet traité. Nous avons rappelé quelques notions sur historique de l'énergie solaire et le Gisement solaire et le rayonnement solaire, et son application dans le domaine photovoltaïque et thermique. Aussi, nous avons exposé les différents types de suiveur solaire ainsi que leur rôle.

Dans le prochain chapitre, nous allons le dédier à la conception et à la réalisation du Tracker solaire avec le *SOLIDWORKS*.

## **Chapitre II**

### I.1 Introduction

Pour réaliser le système de tracker, nous avons utilisés la conception mécanique et électronique en deux parties :

1. Parties de conception Mécanique on a utilisé logiciel SOLIDWORKS (version 2013).
2. Partie de conception électronique on a utilisé le Proteus 8.0.

#### II.1.1. Le Solidworks :

SOLIDWORKS® est basé sur la définition paramétrique des composants et fonctionnalités et peut être utilisé d'une manière très intuitive [SON, 2009]. [9]

Contrairement à d'autres outils de modélisation 3D, SOLIDWORKS® n'est pas entièrement en trois dimensions, qui est, on dessine dans un plan et ensuite extrude solides par rapport au plan qui est utilisé pour obtenir la position dans l'espace 3D. SOLIDWORKS® est une fonction très innovante qui permet la conception facile des pièces complexes. il est devenu le logiciel principal de conception 3D de la plateforme PC [DEV, 2003 & LIA, 2011]. [10]

Le SOLIDWORKS® peut modifier et compléter les pièces physiques dans l'environnement des assemblages, où la fonction montage intelligent permet de modifier et d'ajuster automatiquement une pièce à l'emplacement approprié pour améliorer l'efficacité de conception. Ainsi, SOLIDWORKS® semble le plus puissant que les autres logiciels commerciaux lors de la conception d'assemblages à grande échelle portant sur plus de dix mille éléments. En outre, SOLIDWORKS® a beaucoup d'autres outils qui rendent la vie des ingénieurs et des chercheurs concepteurs très simples. Par conséquent, la simulation visuelle dynamique peut être réalisée facilement avec SOLIDWORKS® [CHO, 2004 & TAO, 2012]. [11]

Tous ces avantages ont contribué et motivé le choix de ce logiciel pour modéliser géométriquement le NSSS2 et le système de MS-2. Ce logiciel couvre un très grand nombre de domaines qui nécessitent beaucoup de précision.

Nous pouvons mentionner par exemple les secteurs ou modules suivants :

##### a) **Modélisation d'assemblages :**

Un assemblage est un ensemble de pièces connexes enregistrées dans un même fichier de document SOLIDWORKS® portant l'extension.

### Les assemblages :

3. Contiennent de deux composants à plus d'un millier. Ces derniers peuvent être des pièces ou d'autres assemblages, appelés sous-assemblages.

4. Affichent le mouvement entre des pièces connexes dans les limites de leurs degrés de liberté. Les composants d'un assemblage sont définis les uns par rapport aux autres à l'aide de contraintes d'assemblage. Vous reliez les composants de l'assemblage en utilisant différents types de contraintes : coïncidentes, coaxiales, à distance, etc.

**b) Mise en plan** : Les mises en plan sont créées à partir de modèles de pièces ou d'assemblages. Les mises en plan sont disponibles dans plusieurs vues, telles que les 3 vues standard et les vues isométriques (3D). Nous pouvons importer les côtes du document de modèle et ajouter des annotations telles que des symboles de cible de référence. Nous créons des mises en plan à partir de fonds de plan. Chaque document de mise en plan renferme des feuilles de mise en plan contenant des vues de mises en plan. Les feuilles de mise en plan contiennent des fonds sous-jacents.

**c) Construction Mécano-soudées** : La fonctionnalité Construction soudée nous permet de concevoir une construction soudée en tant qu'une seule pièce à corps multiple. Nous utilisons des esquisses 2D et 3D pour définir la structure de base. Nous créons alors des éléments mécano-soudés contenant des groupes de segments d'esquisse. Nous pouvons également ajouter des goussets, des embouts, etc. à l'aide des outils de la barre d'outils constructions soudées.

**d) Conception de moules** : Nous créons un moule à l'aide d'une séquence d'outils intégrés qui contrôlent le processus de création de moules. Nous pouvons utiliser ces outils de moulage pour analyser et corriger les défauts dans les modèles SOLIDWORKS® ou les modèles importés de pièces à mouler. Les outils de moulage vont de l'analyse initiale à la création des volumes noyau/empreinte. La fonction volume noyau/empreinte crée une pièce à corps multiple contenant des corps séparés pour la pièce moulée, le noyau et l'empreinte, ainsi que des corps optionnels tels que les noyaux latéraux. Le fichier de pièce à corps multiple renferme notre intention de conception. Les modifications apportées à la pièce moulée sont automatiquement reflétées dans l'outillage.

**e) SOLIDWORKS Routing**: Nous permet de créer un type de sous-assemblage particulier pour construire un routage de tuyauterie, de tubes ou de câbles électriques entre différents composants. Lorsque nous insérons certains composants dans un assemblage, un sous assemblage de routage est automatiquement créé. A la différence des autres types de sous assemblages, nous ne pouvons pas créer un assemblage de routage dans sa propre

## Chapitre II : Conception Mécanique d'un Tracker Solaire

fenêtre, puis l'insérer en tant que composant dans l'assemblage de niveau supérieur. Un sous assemblage de routage est composé de trois types d'entités :

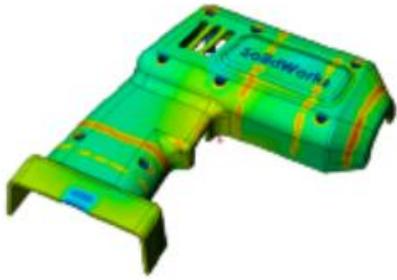
5. Les composants, qui sont des accessoires et des connecteurs, notamment des brides, des téés, des connecteurs électriques et des attaches.
6. Des pièces de routage, notamment des tuyaux, des tubes, des fils et des câbles.
7. Une fonction Routage, qui inclut une esquisse 3D de la ligne de construction de la trajectoire.

**f) Tôlerie** : Nous pouvons concevoir une pièce de tôlerie seule, sans aucune référence aux pièces qu'elle va inclure, la concevoir dans le contexte d'un assemblage contenant les composants joints, ou encore à l'intérieur d'un autre document de pièce dans le contexte d'un environnement à corps multiples.

**g) Conception de tuyaux/tubes** : générons et documentons des systèmes mécaniques en 3D, avec des chemins de tuyau/ tube, des manchettes et pentes de tuyau, et une nomenclature complète.

**h) Conception de câbles/harnais de câbles électriques et de conduits** : importons des informations relatives aux connexions électriques, générons et documentons des routages électriques en 3D et complétons la nomenclature de notre conception.

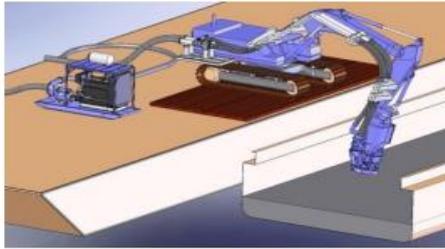
## Chapitre II : Conception Mécanique d'un Tracker Solaire



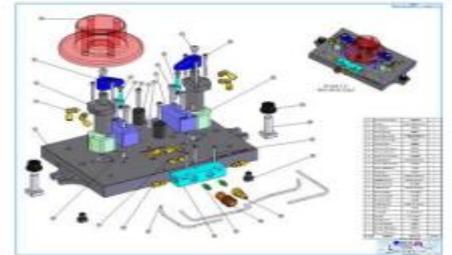
**Modélisation des pièces**



**Constructions Mécano-soudées**



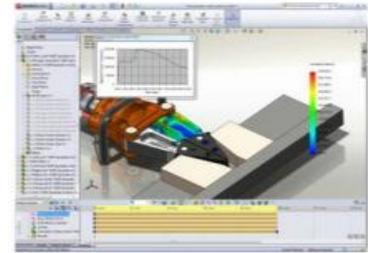
**Modélisation d'assemblages**



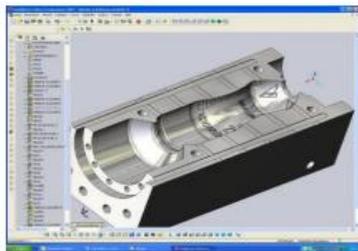
**Mise en plan**



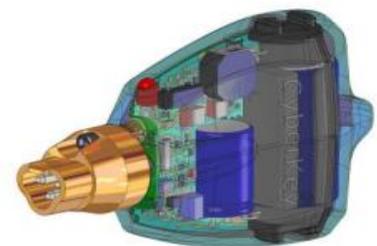
**SolidWorks Simulation (COSMOSWorks)**



**Solid Motion**



**Conception de moules SolidWorks Routing**



**Circuit Works**

**Figure II.21 : Quelques possibilités disponibles aux concepteurs SOLIDWORKS.[12]**

### **II.2 Conception Mécanique d'un Tracker**

#### **II.2.1. Structure Mécanique de système**

Le système mécanique comporte également deux organes, le premier organe est une partie fixe et le deuxième qui est mobile, les deux parties sont reliées par un mécanisme de rotation (roulements).

Nous avons mis deux roulements l'un pour faire orienter la partie mobile dont elle supporte le panneau horizontalement (azimutal), est le deuxième est dédié au déplacement vertical (élévation). Nous avons ainsi associé à chaque déplacement (horizontal/vertical) un moteur asynchrone muni d'un vérin à déplacement linéaire pour l'axe d'élévation.

### **II.3 Conception et Modélisation géométrique du système**

#### **II.3.1. L'emplacement de tracker solaire (PV et Héliostat) étudié**

Notre tracker solaire est réalisé au niveau de l'unité de recherche appliquée en énergies renouvelables-URAER- Ghardaïa.

L'histoire de l'unité remonte à 1991, année pendant laquelle ont débuté les travaux de construction du bâtiment administratif et des logements d'astreinte. Ces travaux de construction s'achevèrent en 1999. Destinée au départ pour abriter l'actuel CDER, l'unité s'est vite transformée en lieu de recherche appliquée. Elle fut officiellement créée le 27 novembre 2002 comme première unité de recherche dans la région.

#### **II.3.2. Assemblage de système**

La structure représentée sur la figure (II.22) possède les différentes étapes d'assemblage de notre système de poursuite.

## Chapitre II : Conception Mécanique d'un Tracker Solaire

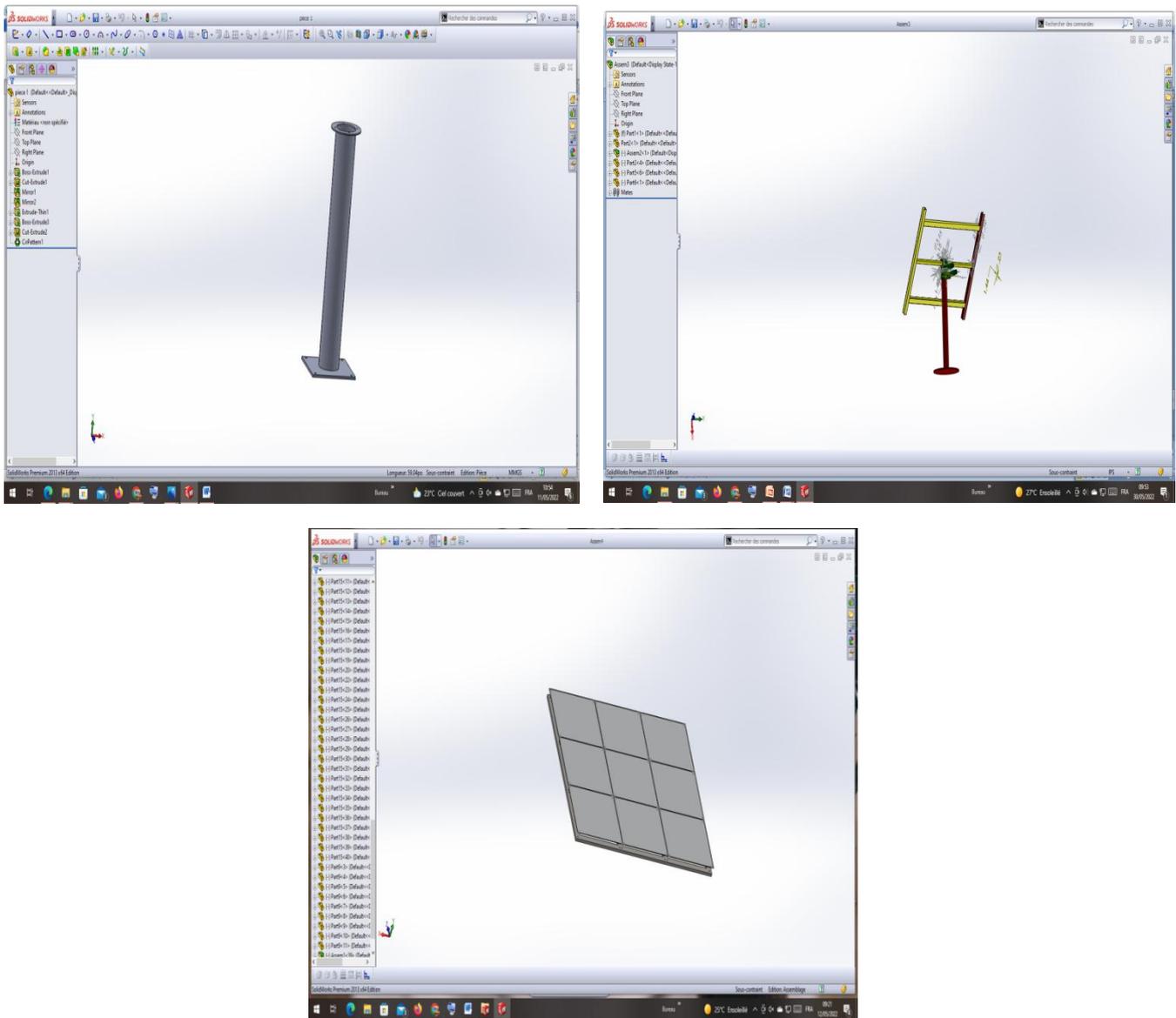


Figure II.22 : Les étapes d'assemblage d'un tracker solaire en SOLIDWORKS.

### 1. Partie réalisation mécanique d'un tracker:

Le système mécanique comporte également deux organes, le premier organe est une partie fixe et le deuxième qui est mobile, les deux parties sont reliées par un mécanisme de rotation (roulements).

Nous avons mis deux roulements l'un pour faire orienter la partie mobile dont elle supporte le panneau horizontalement (azimutal), est le deuxième est dédiée au déplacement vertical (élévation).

## Chapitre II : Conception Mécanique d'un Tracker Solaire

Nous avons ainsi associé à chaque déplacement (horizontal/vertical) un moteur à courant continu muni d'un vérin à déplacement linéaire (le model est à vis tournante de la marque (Super Jack, le seul model disponible sur le marché).



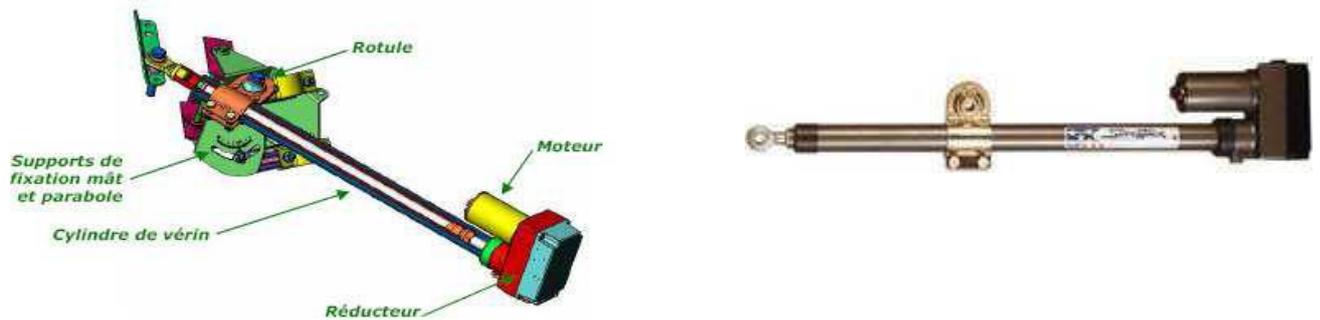
**Figure II.23 : Schéma du système sur l'interface du logiciel SolidWorks**

### ➤ Les vérins mécaniques :

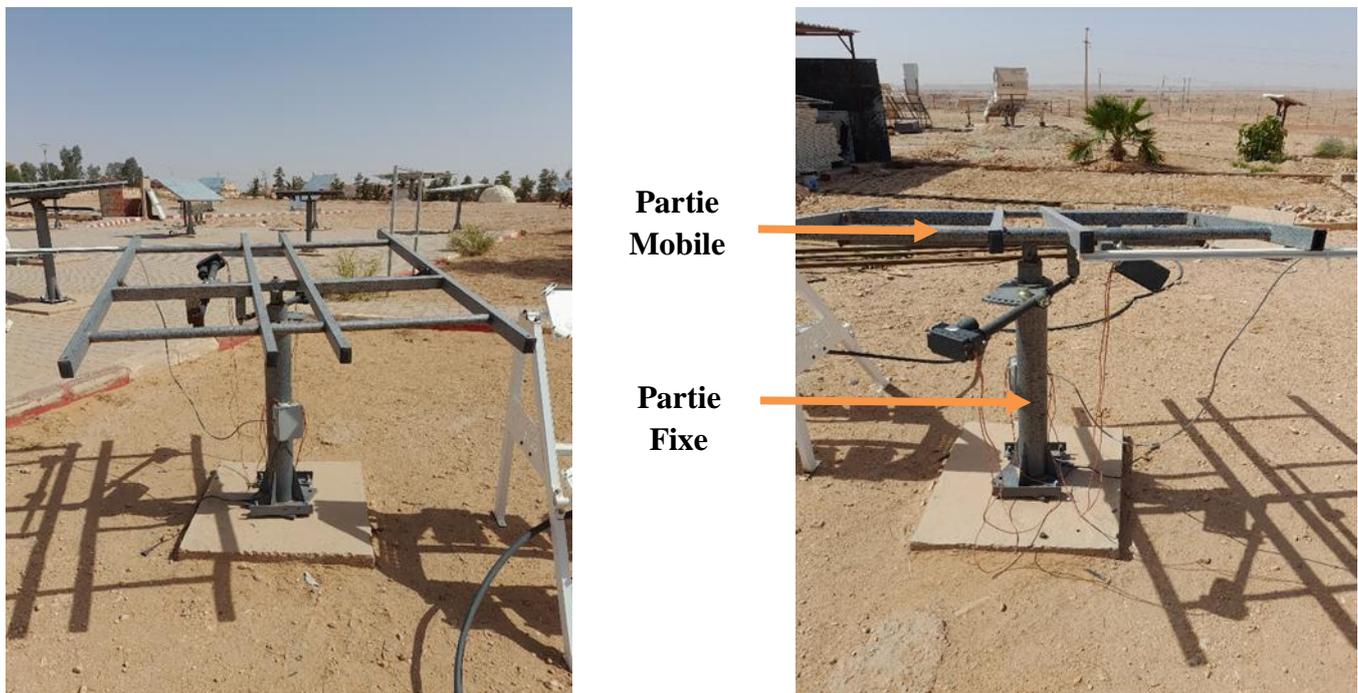
Les vérins mécaniques permettent de transformer un mouvement rotatif fourni par un moteur électrique, hydraulique ou pneumatique en un mouvement linéaire de traction, de compression ou de positionnement

Leur utilisation en accouplement avec des arbres de jonction et renvois d'angle, permet d'effectuer des mouvements de levage avec une parfaite synchronisation, même lorsque la charge n'est pas uniformément répartie.

Ils existent dans le marché avec plusieurs type et tailles selon leurs puissance et le type de fonction.



**Figure II.24 : Vérin Super jack 36 ,12 pouces. [13]**



**Figure II.25 : Partie fixe et mobile du tracker.**

#### **II.4 Conclusion :**

Dans ce chapitre on a fait une description générale sur les logiciels de simulation utilisés pour réaliser la structure de notre système et aussi on a cité les différents étages utilisés dans le command de poursuite.

Dans le prochain chapitre, nous allons le dédier à la réalisation électronique de circuit de commande de tracker solaire (PV et héliostat) et leur programmation.

**Chapitre III**

### III.1.Introduction

Notre projet a pour but de réaliser d'un Tracker Solaire par deux moteurs à courant continu à deux degrés de libertés de type (Verticale/Horizontale) par une carte électronique basé sur *Arduino ESP32* et *quatre relais*.

Ce système est basé une programmation aveugle pour détecter et calcules la position de soleil suive pondant de la journée avec les cordonné de la structure Tracker (Verticale/Horizontale) qui introduite sur la carte Arduino ESP32.Cette coordonné de système est commandée par des moteur à courant continu (vérin de déplacement linéaire), donc nous avons faire une simulation électronique à l'aide de logiciel Proteus 8.0 SP1, puis nous réalisons notre carte électronique.

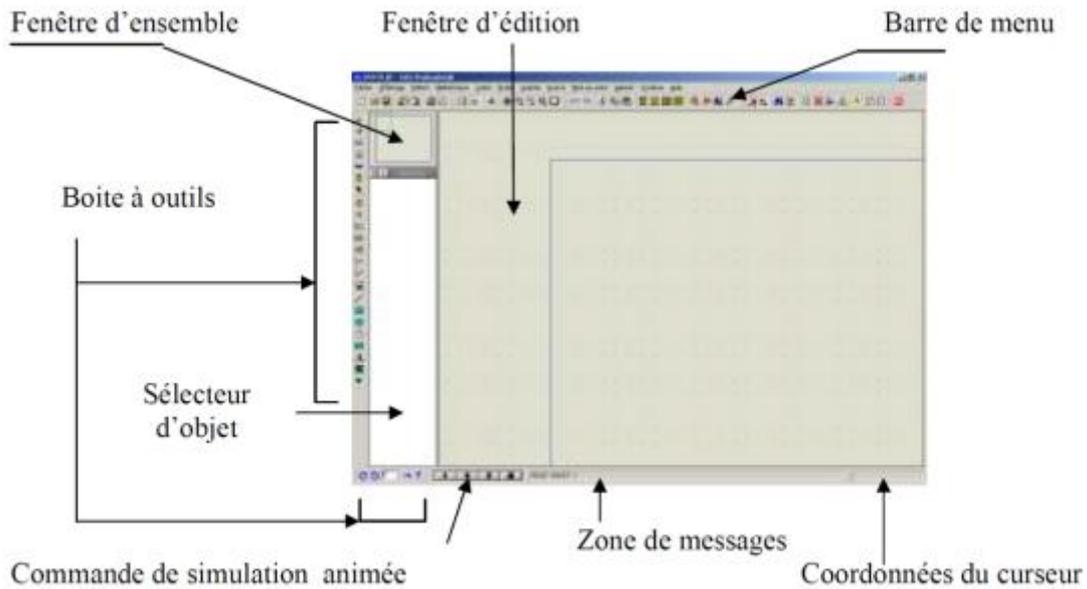
#### III.1.1 Le Proteus

**Le Proteus** est une suite logicielle destinée à l'électronique. Développé par la société Labcenter Electronics, les logiciels incluent dans Proteus permettent la CAO dans le domaine électronique. Deux logiciels principaux composent cette suite logicielle: ISIS, ARES, PROSPICE et VSM (Figure III.26). [14]

##### Présentation générale

Cette suite logicielle est très connue dans le domaine de l'électronique. De nombreuses entreprises et organismes de formation (incluant lycée et université) utilisent cette suite logicielle. Outre la popularité de l'outil, Proteus possède d'autres avantages :

- Pack contenant des logiciels facile et rapide à comprendre et utiliser
- Le support technique est performant
- L'outil de création de prototype virtuel permet de réduire les coûts matériel et logiciel lors de la conception d'un projet.



**Figure III.26 : Les fenêtres composant l'interface du logiciel Proteus. [14]**

### ISIS

Le logiciel ISIS de Proteus est principalement connu pour éditer des schémas électriques. Par ailleurs, le logiciel permet également de simuler ces schémas ce qui permet de déceler certaines erreurs dès l'étape de conception. Indirectement, les circuits électriques conçus grâce à ce logiciel peuvent être utilisés dans des documentations car le logiciel permet de contrôler la majorité de l'aspect graphique des circuits.

### ARES

Le logiciel ARES est un outil d'édition et de routage qui complète parfaitement ISIS. Un schéma électrique réalisé sur ISIS peut alors être importé facilement sur ARES pour réaliser le PCB de la carte électronique. Bien que l'édition d'un circuit imprimé soit plus efficace lorsqu'elle est réalisée manuellement, ce logiciel permet de placer automatiquement les composants et de réaliser le routage automatiquement.

### III.1.2 Matériels utilisés

La carte électronique utilisée pour commander le système de poursuite contient plusieurs composants :

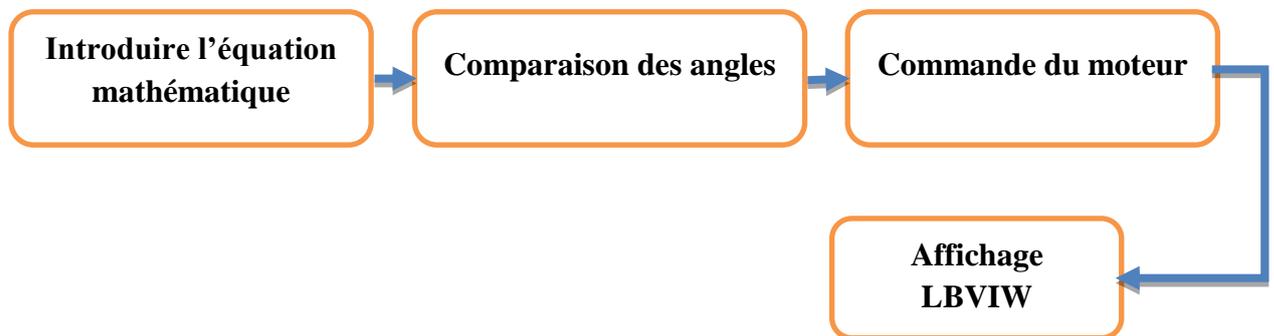
Le composant	Quantité	Référence et Valeur
Diode	04	1N4004
Relai	04	OSCLE-1-DC12
Résistance	10	10 k $\Omega$
Résistance	03	4.7 k $\Omega$
Résistance	02	1 k $\Omega$
Capacité	04	1 nF
Capacité	02	100 nF
Capacité	02	10 $\mu$ F
Transistor	02	PN2222A
LED	04	-----
Transistor Mosfet	02	U1 7812
		U2 7805

**Tableau III.1 : Les composants utilisés dans la carte électronique.**

### III.2.Schéma bloc du suiveur solaire

Le schéma bloc du suiveur solaire est représenté sur la figure (III.27). Il comporte :

- Introduire l'équation mathématique (cordonnée positions de soleil et tracker).
- Comparaison de deux angles (la position actuelle de l'héliostat et la position de réflexion).
- Commande du moteur (mouvement des héliostats vers la position de réflexion).



**Figure III.27 : Schéma bloc d'un suiveur solaire.**

### **III.3.Circuit de commande**

Le circuit de commande de notre système est basé complètement sur un circuit programmable dit « ARDUINO », l'avantage de ce dernier est de minimiser la surface des cartes électriques donc on minimise l'utilisation des quantités des composants électroniques.

#### *La carte Arduino Utilisé*

**ESP32** est une série de microcontrôleurs de type système sur une puce (SoC) d'expressif System, basé sur l'architecture Xtensa LX6 de Tensilica , intégrant la gestion du Wi-Fi et du Bluetooth (jusqu'à LE 5.0 et 5.11) en mode double, et un DSP. C'est une évolution d'ESP8266. [15]

#### *Les caractéristiques Techniques de la carte*

Les ESP32 comprennent notamment les caractéristiques techniques suivantes :

##### *Processeurs :*

1. CPU : Xtensa double-cœur (ou simple-cœur), microprocesseur LX 32 bits, fonctionnant à 160 ou 240 MHz et fournissant jusqu'à 600 DMIPS.
2. Coprocesseur ultra basse consommation (ULP).

*Mémoire* : 520 KiO SRAM.

##### *Connectivité sans-fil :*

3. Wi-Fi : 802.11 b/g/n.
4. Bluetooth : v 4.2 BR/EDR et BLE jusqu'à v 5.0 et v 5.1.

##### *Interfaces de périphériques :*

5. Segmentation 12-bit sur les ADC (SAR ADC) jusqu'à 18 canaux.
6.  $2 \times 8$  bit DAC.
7.  $10 \times$  capteurs de touché (GPIO de capteur capacitif (en)).
8.  $4 \times$  SPI .
9.  $2 \times$  interfaces I<sup>2</sup>S .
10.  $2 \times$  interfaces I<sup>2</sup>C .
11.  $3 \times$  UART .
12. contrôleur hôte SD/SDIO/CE-ATA (en)/MMC/eMMC .
13. Contrôleur esclave SDIO/SPI.
14. Interface MAC Ethernet avec DMA dédié et support du protocole de temps précis IEEE 1588 .
15. Bus de données CAN 2.0.

### **Chapitre III : Conception Electronique d'un Tracker Solaire**

16. Contrôleur infrarouge distant (TX/RX, jusqu'à 8 canaux).
17. Moteur PWM .
18. LED PWM (jusqu'à 16 canaux).
19. Capteur à effet Hall
20. Pré-amplificateur analogique ultra-basse consommation.

#### **Sécurité :**

21. Standard de sécurité supportant complètement IEEE 802.11, incluant WPA/WPA2 et WAPI de WFA .
22. Secure boot (démarrage sécurisé) .
23. Chiffrement de la Flash.
24. 1024-bit OTP, jusqu'à 768 bit pour les clients.
25. Accélération matérielle du chiffrement : AES, SHA-2, RSA, Cryptographie sur les courbes elliptiques (ECC), Générateur de nombres aléatoires (RNG) .

#### **Gestion de l'énergie :**

26. Low-dropout regulator (en) interne.
27. Domaines d'alimentation individuels pour le RTC
28. Alimentation en sommeil profond de 5  $\mu$ A ;
29. Réveil depuis des interruptions GPIO, timer, mesure ADC, interruption du capteur de touché capacitif

### Chapitre III : Conception Electronique d'un Tracker Solaire

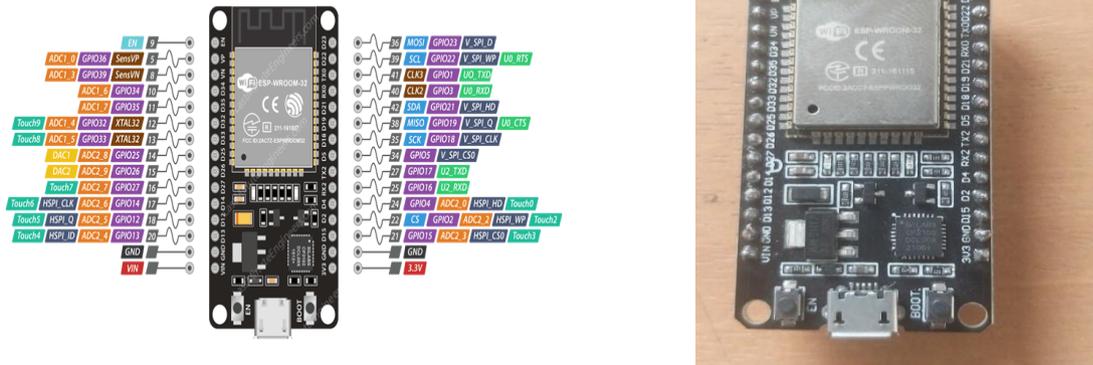


Figure III.28 : Les différents composants de l'Arduino ESP32.



Figure III.29 : Projet Arduino. [16]

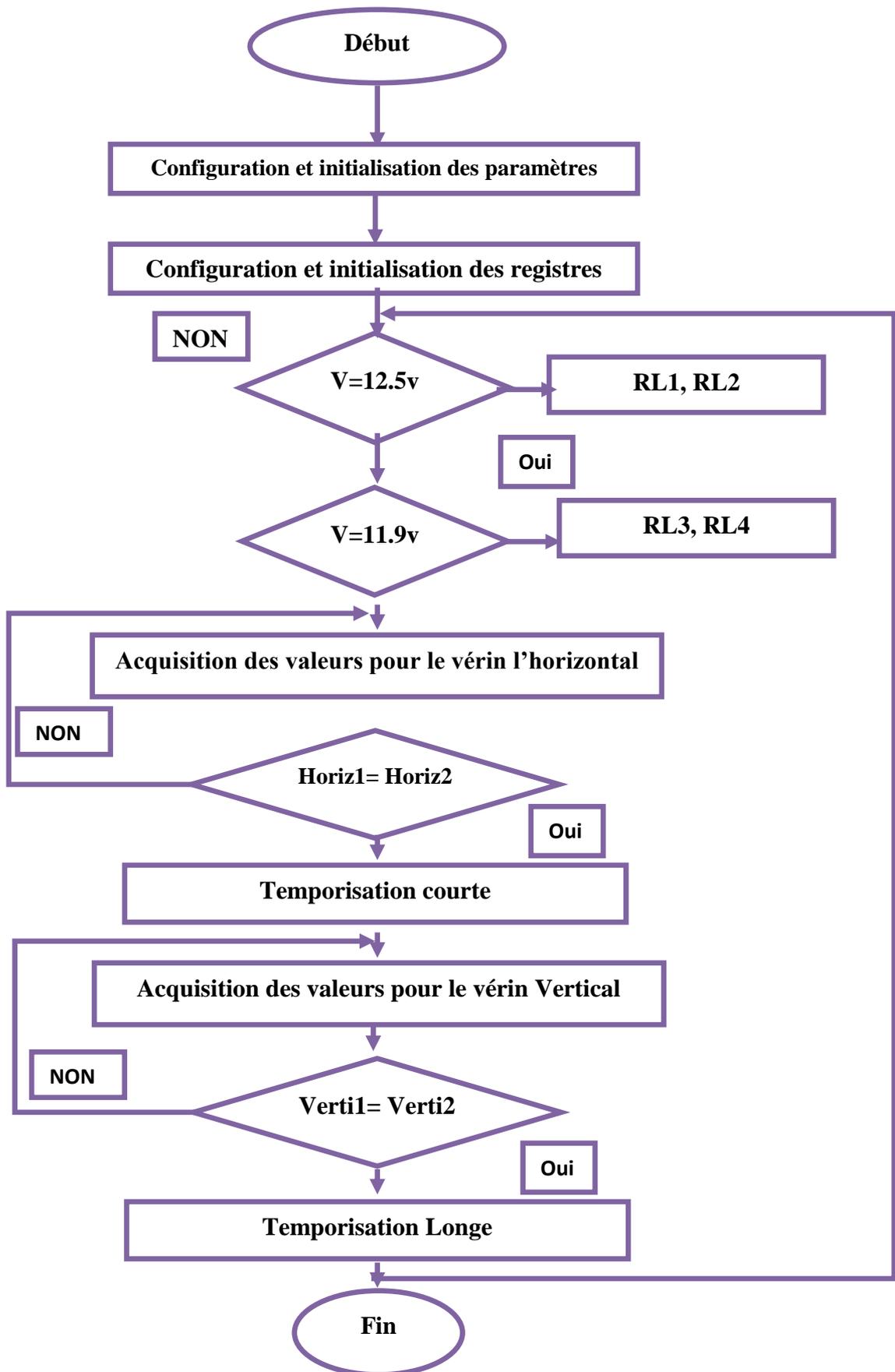
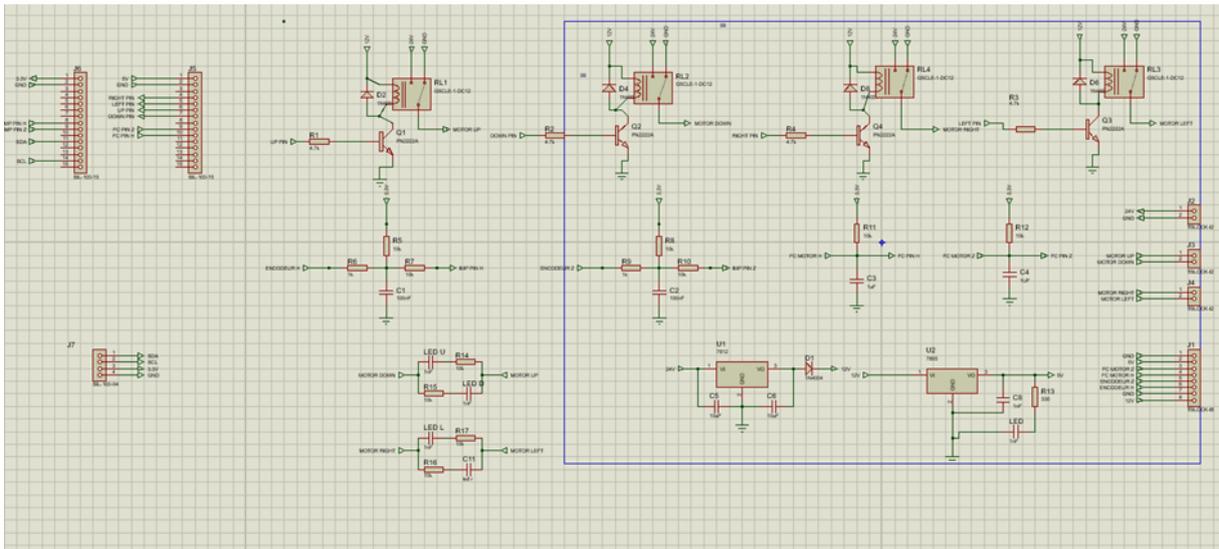


Figure III.30 : Organigramme de fonctionnement d'ESP32.

### III.4.Circuit de puissance

Le circuit de puissance est la partie intermédiaire qui relie le moteur et le Carte ESP32. La carte ESP32 génère en sortie 4 signaux. Pour piloter les deux moteurs à courant continu du Tracker solaire dans les deux sens.

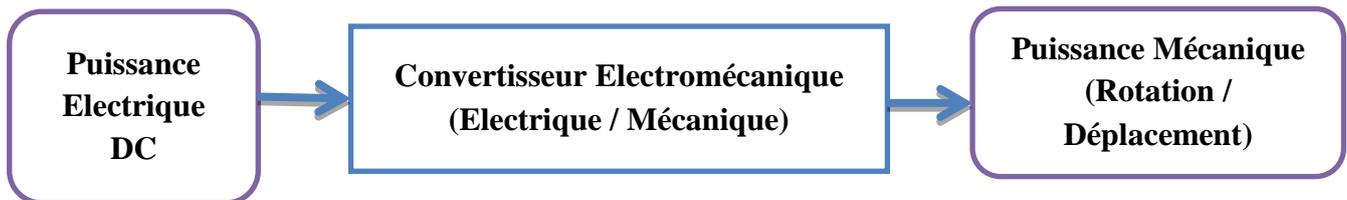
La figure (III.31) représente la carte électronique de commande de notre système de poursuite réalisée à l'aide de proteus 8.0.



**Figure III.31 : Schéma de la carte électronique de circuit de commande en Proteus.**

### III.5.Le moteur pas à pas

Le moteur pas à pas est un moteur qui tourne en fonction d'impulsions électriques reçues dans ses bobinages. L'angle de rotation minimal entre deux modifications des impulsions électriques s'appelle un pas. On caractérise un moteur par le nombre de pas par tour (c'est à dire pour 360°). Les valeurs courantes sont 48, 100 ou 200 pas par tour. [16]



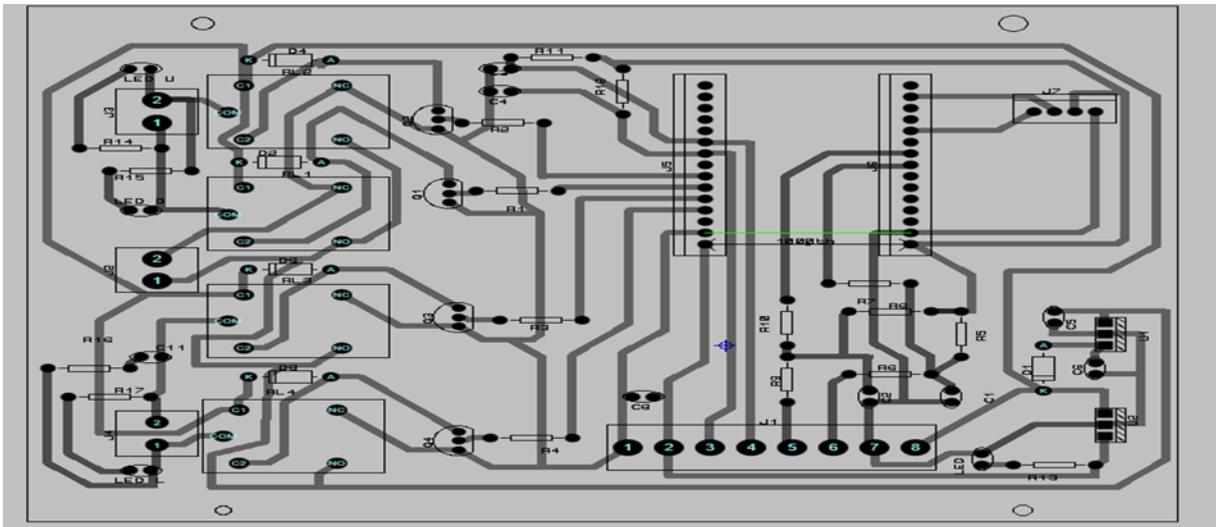
**Figure III.32 : Principe de fonctionnement du moteur**



**Figure III.33 :Le moteur pas a pas utilisé**

### III.6.La carte électronique réalisée

Une fois établi emplacement des composant électronique, nous avons retranscrit les attentes techniques et fonctionnelles du notre prototype sous la forme d'un schéma électrique (circuit électronique).



**Figure III.34 : Circuit électrique de système de commande.**

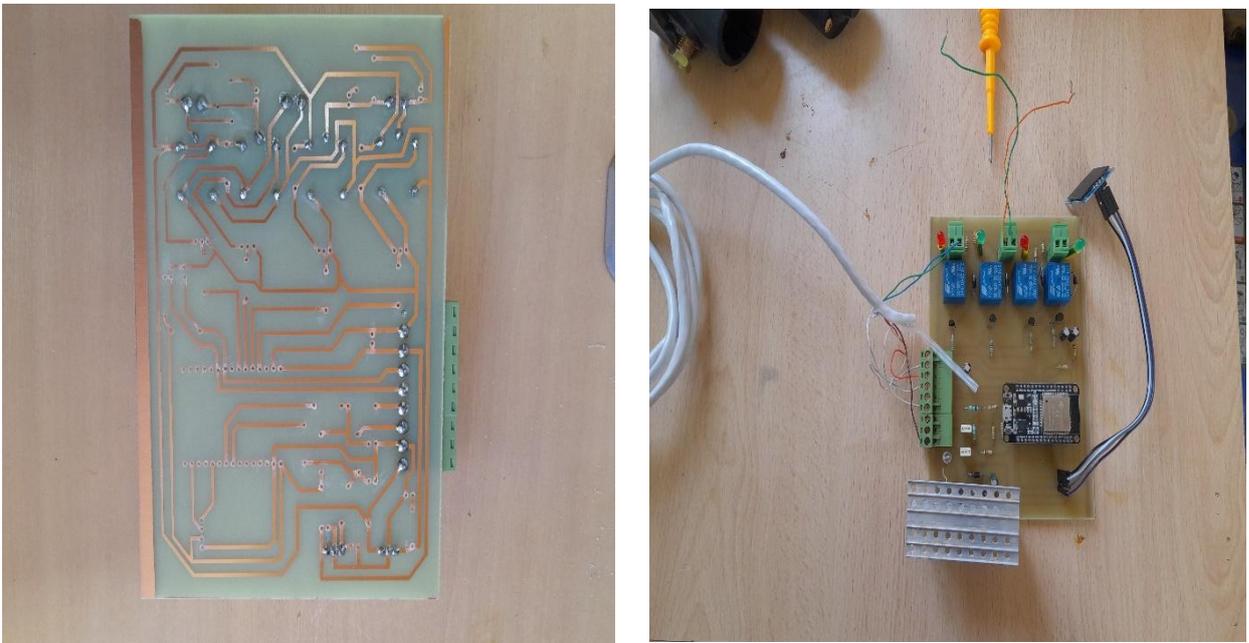
### Chapitre III : Conception Electronique d'un Tracker Solaire

Nous avons réalisé une carte électronique basée sur 02 parties nécessaire de fonction suivante :

**1- Partie d'un circuit électronique basé sur une carte d'arduino Esp32 et les relais** : Nous avons choisi une carte Arduino ESP32. Parce qu'il a une grande capacité de stockage des données différentes, cette carte fait les calculs des modelés mathématiques compliqué qui introduite dans la carte Arduino ESP32 (cordonné de soleil et Tracker).

**2- Partie de gestion réseaux** : Dans cette partie on a utilisé les résultats calculés à l'aide de la programmation des cordonnés (soleil et tracker) puis on a transféré ces paramètres par les adresses wifi de la carte ESP32 pour donner les ordres aux vérins.

Le deuxième mode basé sur les calculs des positions du soleil, ce mode s'effectue quand le ciel est complètement couvert et que les capteurs ne soient plus sensibles à la lumière.



**Figure III.34 : Photo réel de la carte de commande de notre Tracker solaire.**

### III.7. Le prototype final

Le prototype final à réaliser peut-être représenté par un schéma synoptique constitué de cinq blocs de base comme le montre la figure ci-dessus



**Figure III.35 : Schéma synoptique du prototype final à réaliser.**

### III.8. Etude Comparative

Dans cette partie, nous allons faire une étude comparative entre le panneau solaire fixe à un angle optimal de  $32^\circ$  (Angle d'inclinaison  $\beta$ ), ainsi que le panneau solaire avec le Tracker solaire à un angle d'azimut de  $-39.51^\circ$  et la zenith  $47.70^\circ$  de, le jour de : 15/06/2022 à 09 :00



**Figure III.36 : Prototype d'un PV fixe et d'un Tracker installé au niveau de l'URAER – Ghardaia-**

Dans les courbes ci-dessous (figure III.37 38 39 40), nous pouvons voir les résultats de la comparaison, où nous voyons la différence entre la puissance produit par le Tracker est plus élevée par rapport de celui qui produit par le PV fixe grâce à la poursuite de soleil tout la journée.

### Chapitre III : Conception Electronique d'un Tracker Solaire

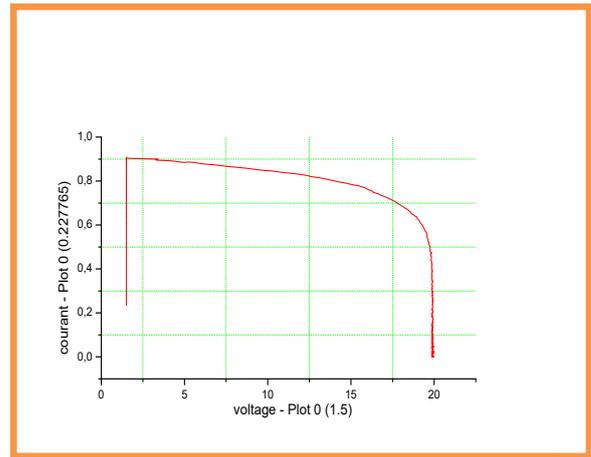
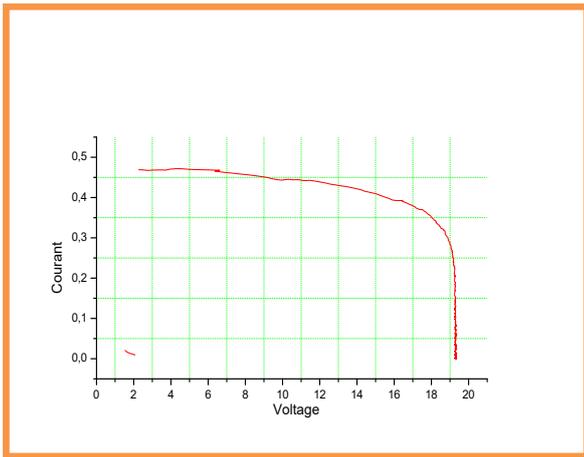


Figure III.37 : Courbe de I(V) d'un PV Fixe.

Figure III.37 : Courbe de I(V) d'un

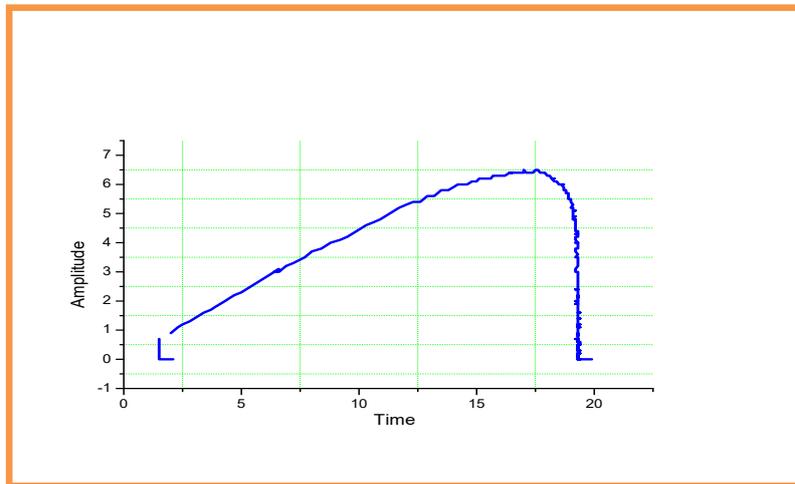


Figure III.39 : Courbe de puissance électrique d'un PV fixe.

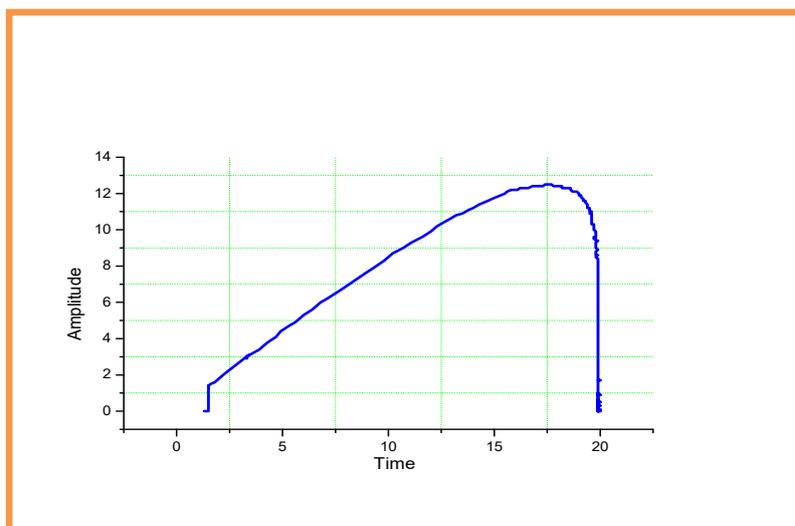
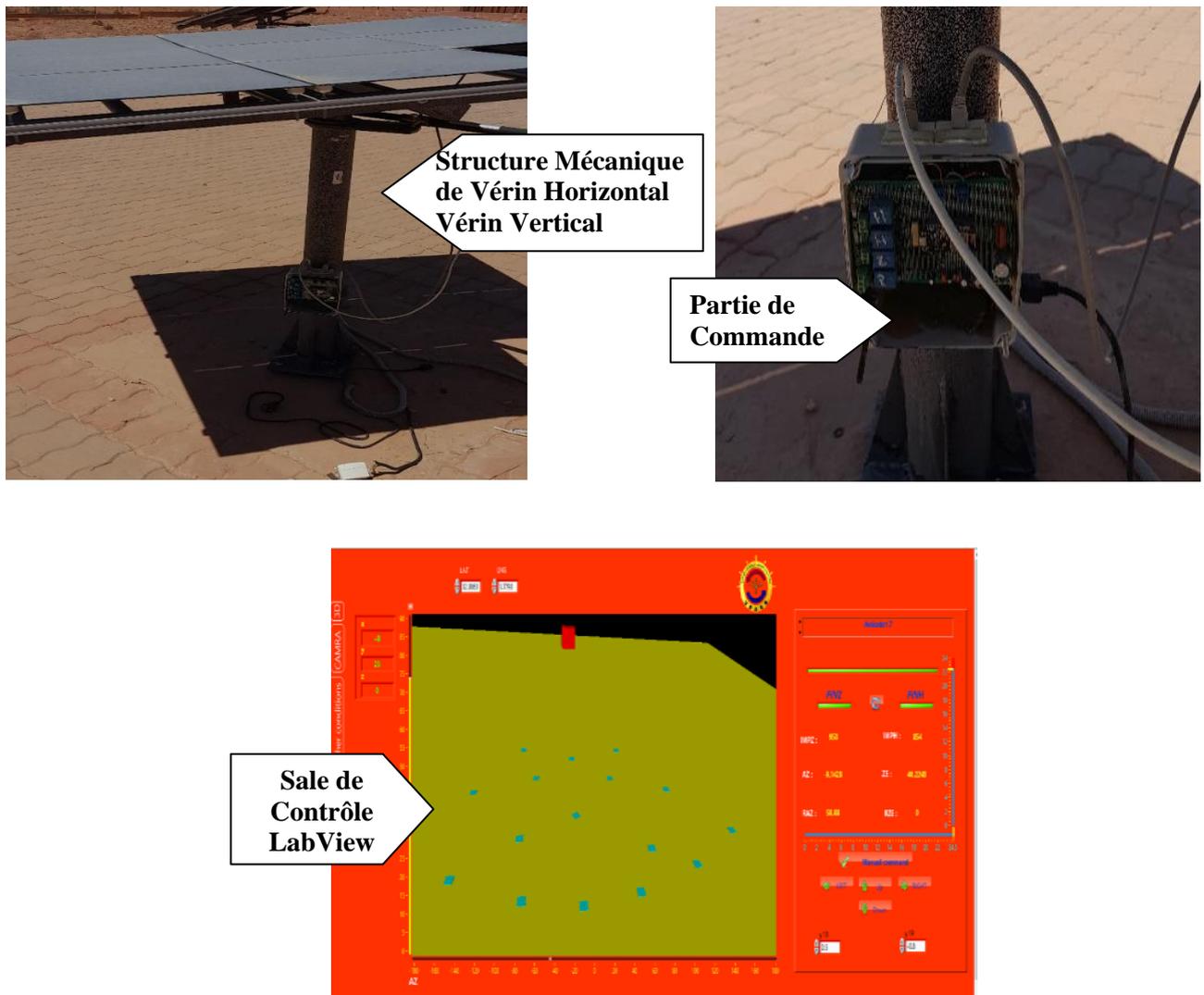


Figure III.40 : Courbe de puissance électrique d'un Tracker.

**III.9. Teste Et Résultats**

Après avoir préparé toutes les parties et les blocs fonctionnels de sale de contrôle (LabVIEW) pour être associés avec la structure qui installé dans la Platform de l'unité de recherche Ghardaïa URAER (figure III.41), il fallait passer à l'expérimentale plus importante étape dans n'importe quelle recherche scientifique.

Après plusieurs essais, on est arrivé à bien adapter le mouvement du suiveur avec les commandes que fournie le programme de contrôle Arduino ESP32 à travers de la carte électronique ou chaque fois on fait allumer les LED indiqué le moteur tourner la gauche et droite (Horizontale). Même remarque pour le cas du haut et du bas (vertical), on en conclu que le code de programmation de la carte ESP 32 est exécutable avec succès.



**Figure III.41 : Photo réel de Tracker au niveau de l'URAER-Ghardaïa-**

### **III.10.Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté la description des composants électroniques utilisés. Nous avons ensuite montré les différentes étapes et la méthodologie suivie pour la conception et la réalisation électronique d'un suiveur solaire à l'aide d'Arduino ESP 32 avec des simulations en ISIS et IDE Arduino et avec des organigrammes simplifiés.

La réalisation du Tracker solaire nécessite un bon choix du composants électronique utilise pour ne pas compliqué le principe de commande et pour réduire la consommation de l'énergie consommé par le Tracker.

Dans le même chapitre, nous avons expérimenté avec notre Tracker en comparant un PV fixe avec autre PV connecté pour Tracker, les résultats ont été très impressionnants.

## **Conclusion Général**

## Conclusion Général

Le travail présenté dans ce rapport porte sur « **Conception et réalisation d'un système de tracker solaire à base d'un automate installé dans la région Ghardaïa** » à l'aide des composants électroniques programmable gérés par un microcontrôleur ESP 32.

L'objectif de notre travail était de faire une conception d'un Tracker solaire. Les Trackers ou bien les suiveurs jouent un rôle primordial pour augmenter et maximiser le rendement des panneaux solaires et augmenter la réflexion de flux vers la tour solaire notamment dans les saisons et les régions peu ensoleillée. En effet, l'étude menée a permis de comprendre le principe de fonctionnement des panneaux photovoltaïques ainsi que les techniques, méthodes et dispositifs utilisés pour réaliser ces systèmes suiveurs. L'implémentation du système suiveur, dont il a été effectué à l'aide d'un logiciel de simulation appelé ISIS Proteus (Conception Electrique) et le SOLIDWORKS (Conception Mécanique) et l'étude avec une réalisation pratique d'un suiveur solaire et le teste de toutes les étapes de trajectoire on 3D est fait par logiciel Labview.

**E**n perspective, nous souhaitons améliorer nos outils en ajoutant des systèmes pour aider à protéger contre le changement climatique soudain dans le système de suivi (grain de de sable, les vents, etc.).



# **Annexe**

## Annexe

### I. Le tracker solaire : principe et explications

#### Un fonctionnement basé sur le principe de l'héliostat

Le tracker solaire, également appelé suiveur solaire, est un bras motorisé qui permet à des panneaux photovoltaïques de suivre le soleil tout au long de la journée. Il se comporte de la même façon que les tournesols : durant toute la journée, le bras tourne pour capter le plus de rayons solaires possible.

Le but de ce tracker est très simple : il permet d'améliorer le rendement de votre installation photovoltaïque. Celui-ci dépend en effet de l'orientation et de l'inclinaison des panneaux. En utilisant un suiveur solaire, ces deux éléments sont optimisés tout au long de la journée.

#### Tracker 1 axe et 2 axes : voici la différence

Il existe deux systèmes : les trackers 1 axe et les trackers 2 axes. Le premier suit la course du soleil (l'azimut) d'est en ouest. Il optimise l'orientation des panneaux tout au long de la journée. Le second prend également en compte l'incidence des rayons du soleil en modifiant la hauteur des panneaux. Il optimise à la fois l'orientation et l'inclinaison. Ils sont donc plus performants.

La programmation des suiveurs solaires prend en compte l'heure de la journée, la saison, ainsi que la latitude à laquelle se trouve l'installation sur Terre.

#### Les avantages et inconvénients du tracker solaire

##### *Une optimisation de l'énergie produite*

L'utilisation d'un suiveur solaire permet :

- D'obtenir un meilleur rendement sur une installation photovoltaïque. Avec un tracker solaire 1 axe, le rendement est supérieur de 25 % à 30 % par rapport à une installation classique orientée sud. Pour les suiveurs 2 axes, le rendement est supérieur de 40 %.
- Il peut être utilisé avec des panneaux photovoltaïques comme avec les panneaux solaires thermiques.
- Il est peu énergivore

- Il s'agit d'une structure indépendante : il n'y a donc pas de travaux à prévoir au sein de votre habitation. La demande de permis de construire n'est pas obligatoire non plus.

### *Les limites de l'utilisation du tracker solaire*

Malgré tous les avantages que présentent les suiveurs solaires, il y a quelques limites non négligeables à leur utilisation :

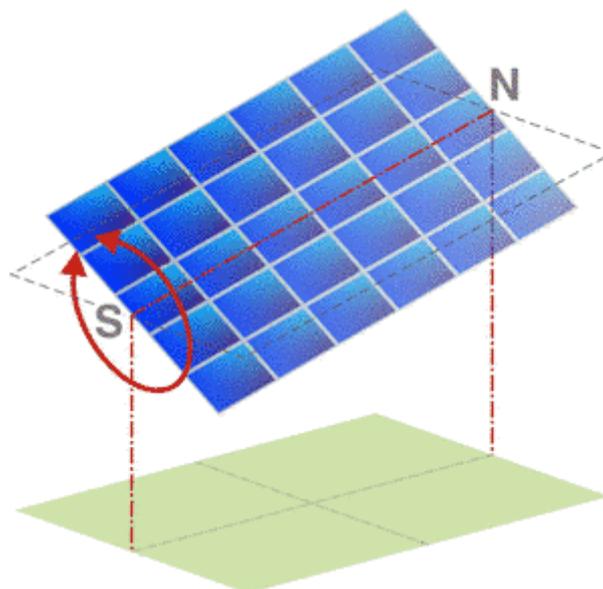
- Leur coût reste important par rapport aux installations classiques
- Ils nécessitent une régularité
- Ils doivent impérativement être positionnés parallèles au sol lorsque le vent est fort.

## **II. Les trackers Photovoltaïque (Suiveurs)**

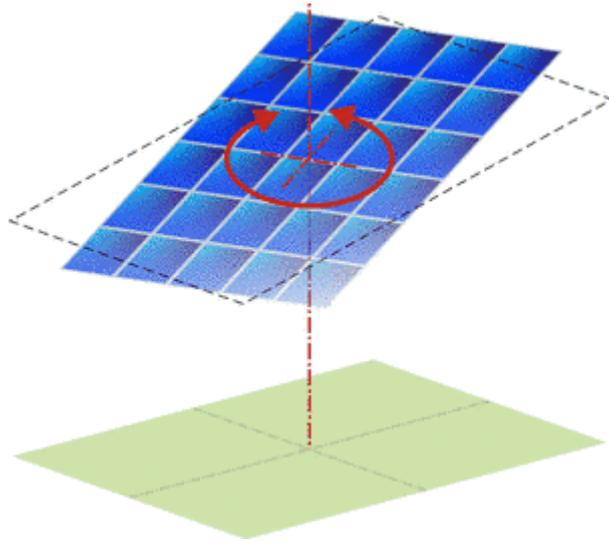
Un suiveur solaire est un dispositif mécanique - action automatique qui guide favorablement les rayons du soleil provenant d'un panneau photovoltaïque, d'un panneau solaire thermique ou d'un concentrateur solaire.

L'objectif d'un suiveur solaire est de pouvoir suivre le soleil tout au long des mois et de la journée. En suivant continuellement la position du soleil, ce système permet d'assurer une production électrique maximum.

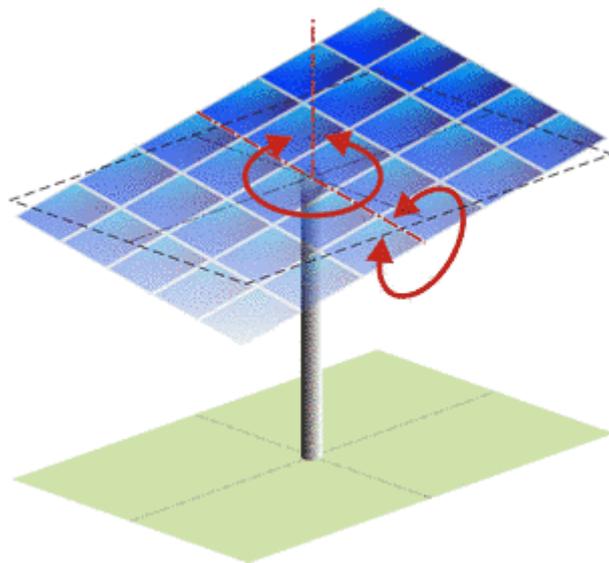
Un suiveur solaire peut avoir deux degrés de liberté de rotation : horizontal pour régler l'inclinaison et vertical pour l'orientation. Il en existe différents types :



**Simple axe vertical.**



**Simple axe longitudinal.**



**Double axe.**

### **Les Avantages et les Inconvénients des suiveurs solaires**

Dans tous les cas susmentionnés, les aspects négatifs des suiveurs solaires se traduisent par des problèmes mécaniques qui entraînent inévitablement l'usure du temps et la fermeture de l'installation qui en résulte. Les servomécanismes de traçage sont des organes peu sollicités, mais de par leur nature, ils sont soumis à

des conditions météorologiques défavorables pendant au moins 20 ans. Ces limites doivent être respectées en préparant un programme de maintenance prudent, à temps et après les enquêtes qui seront effectuées avec chaque phase de nettoyage du système.

La consommation électrique des composants électroniques est négligeable dans un système moderne conçu correctement

La maintenance ordinaire est généralement simple et, dans le domaine de l'énergie photovoltaïque, vous bénéficiez d'une sensibilité moindre de l'effet photovoltaïque à la poussière déposée à la surface des modules, grâce au meilleur angle d'incidence moyen du rayonnement solaire.

Les études de cas disponibles à ce jour confirment que le domaine d'utilisation le plus rentable pour les suiveurs solaires est celui des grandes installations terrestres.

## **Bibliographies**

- [1][EPIA, 2013] EPIA, European Photovoltaic Industry Association, Manuscript at <http://www.epia.org/>.
- [2][MOU, 2009] Mousazadeh, H., Keyhani, A., Javadi, A., Mobli, H., Abrinia, K.A. and Sharifi, A. « A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output », Renewable and sustainable energy reviews, Vol 13, pp. 1800-1818, 2009.
- [3][BUF, 1747] De Buffon, L.C., « Invention de miroirs ardents, pour brusler à une grande distance » Mémoire de l'Académie Royale des Sciences / CNRS-CRHST, 1747.
- [4] Mlle BENMOHAMMADI Zahra Mémoire de fin d'étude « master » « Etude, conception et réalisation d'une commande d'un tracker solaire (suiveur solaire) ».
- [5] BAB AOUAMER Hocine IDER Amine, « étude des défauts dans un générateur photovoltaïque », Mémoire de Master, univ-ghardaïa, 2017.
- [6] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Coordonn%C3%A9es\\_g%C3%A9ographiques](https://fr.wikipedia.org/wiki/Coordonn%C3%A9es_g%C3%A9ographiques)
- [7] R.Bernard, G. Menguy et M. Schwartz, 'Le rayonnement solaire, conversion thermique et applications', technique & documentation, Ed. Lavoisier, France, 250 p., 1983.
- [8] J.M. Chasseriau, 'Conversion thermique du rayonnement solaire', Ed. Dunod, France., 1984.
- [9] [DEV, 2003] Deviprasad, T., T. Kesavadas, T., «Virtual prototyping of assembly components using process modeling », Journal of Manufacturing Systems, Volume 22, Issue 1, 2003, Pages 16-27.
- [10][CHO, 2004] Choi, S.H., et Chan, A.M.M., « A virtual prototyping system for rapid product development », Computer-Aided Design, Volume 36, Issue 5, April 2004, Pages 401-412.
- [11][SON, 2009] Songbai C., Guohua C., Qingguang C., Xueying X., « Research on 3D dynamic visualization simulation system of toxic gas diffusion based on virtual reality technology », Process Safety and Environmental Protection, Volume 87, Issue 3, May 2009, Pages 175-183.
- [12] [DAS, 2013] DassaultSystemes, Manuscript at <http://www.solidworks.com/>.
- [13] True Thomas B. Greenslade, Jr., « Heliostats », Jules-Célestin Jamin — « Cours de physique de l'École polytechnique. Tome 3 - Fasc. 2 » Gauthier-Villars et fils (Paris) - 1885-1906
- [14]SahraMouhamed et DjediaiLazhari Mémoire de fin d'étude « Optimisation d'un Système poursuit solaire appliquée au champ photovoltaïque» Université de Ouargla, 2011

[15] Saheb, S., « mémoire étude et réalisation d'un suiveur solaire bi-axial à base d'un microcontrôleur Arduino », Mémoire de Master 2, Université El Arbi Ben M'hidi, Oum El Bouaghi, 2017

[16] Quoilin Sylvain, 2007, Les Centrales Solaires à Concentration, [www.sft.asso.fr/Local/sft/dir/user-3775/documents/actes/journeessft/JSFT-13-6-12/4.pdf](http://www.sft.asso.fr/Local/sft/dir/user-3775/documents/actes/journeessft/JSFT-13-6-12/4.pdf), 16/06/2015

## Résumé

Les panneaux photovoltaïques sont largement utilisés en tant qu'une énergie renouvelable propre en préservant l'environnement, et efficace en termes de productivité et de durée de vie. Cependant, l'exploitation maximale de ces panneaux ne peut être atteinte sans avoir appel à des systèmes électromécaniques. Dans ce contexte, l'emploi des suiveurs solaires améliore d'une façon considérable le rendement énergétique de ces panneaux photovoltaïques.

Le but principal de ce mémoire consiste à faire une conception d'un système de poursuite solaire qui permet, d'une part, d'orienter les panneaux photovoltaïques de façon perpendiculaire avec les rayons solaires, et d'autre part, d'assurer une poursuite permanente. Tout d'abord, nous avons fait une généralité sur les Énergies solaire et le Rayonnement. Nous avons ensuite décrit les différents types de suiveurs. Puis, nous avons fait une conception mécanique d'un tracker en 3D à l'aide de Logiciel SOLIDWORKS et une conception électronique à l'aide de Logiciel PROTEUS. En fin une étude comparative entre le PV Fixe et le Tracker est fait pour évaluer notre étude.

**Mots clés :** Système deux axes, Héliostats, tracker PV.

## Abstract

Photovoltaic panels are widely used as clean, environmentally friendly renewable energy, and efficient in terms of productivity and lifespan. However, the maximum exploitation of these panels cannot be achieved without the use of electromechanical systems. In this context, the use of solar trackers considerably improves the energy efficiency of these photovoltaic panels. The main purpose of this thesis is to design a solar tracking system that allows, on the one hand, to orient the photovoltaic panels perpendicularly with the solar rays, and on the other hand, to ensure a permanent pursuit. First of all, we made a generality on Solar Energy and Radiation. We then described the different types of trackers. Then, we made a mechanical design of a 3D tracker using SOLIDWORKS software and an electronic design using PROTEUS Software. At the end a comparative study between the Fixed PV and the Tracker is made to evaluate our study.

**Keywords:** Two-axis system, Heliostats, PV tracker.

## ملخص

تُستخدم الألواح الكهروضوئية على نطاق واسع كطاقة متجددة نظيفة وصديقة للبيئة ، وفعالة من حيث الإنتاجية والعمر الافتراضي. ومع ذلك ، يمكن تحقيق أقصى استفادة من هذه الألواح بدون استخدام الأنظمة الكهروميكانيكية. في هذا السياق ، يؤدي استخدام أجهزة التعقب بالطاقة الشمسية إلى تحسين كفاءة الطاقة لهذه الألواح الكهروضوئية بشكل كبير . الهدف الرئيسي من هذه المذكرة هو تصميم نظام تتبع شمسي يسمح من ناحية بتوجيه الألواح الكهروضوئية بطريقة متعامدة مع الأشعة الشمسية ومن ناحية أخرى ضمان السعي الدائم.

أولاً قمنا بدراسة عامة حول الطاقة الشمسية والإشعاع. ثم وصفنا الأنواع المختلفة من أجهزة التتبع. ثم قمنا بتصميم ميكانيكي لمتتبع ثلاثي الأبعاد باستخدام برنامج صوليدوركس وتصميم إلكتروني باستخدام برنامج بروتوس. وفي النهاية ، ولتقييم دراستنا تم إجراء مقارنة بين مردودية الألواح الشمسية الثابتة و بين مردودية متعقب شمسي .

**الكلمات المفتاحية:** نظام ثنائي المحور ، هيليوستات ، جهاز تعقب الكهروضوئية.