

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA**  
**RECHERCHE SCIENTIFIQUE**  
**UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA**

**FACULTE DE Technologie**  
**DEPARTEMENT Electronique**

**N° :**



**FILIÈRE : Electronique**  
**OPTION : Système Embarqué**

**Mémoire présenté pour l'obtention**  
**Du diplôme de Master Académique**

**Par :**

El-Hassen Tahi

Manel Safer

**THÈME**

**Réalisation d'un Suiveur Solaire Bi-axial à**  
**Base de capteurs de lumière**

**Soutenu devant le jury composé de :**

Dr. BENAHCENE Madani	Université M <sup>ed</sup> Boudiaf –M'sila	Président
DR. GARAH Messaoud	Université M <sup>ed</sup> Boudiaf –M'sila	Rapporteur
Mr.MEZAACHE Hatem	Université M <sup>ed</sup> Boudiaf –M'sila	Examineur

**Année universitaire : 2021 /2022**

## **Remerciement**

*En préambule à ce mémoire nous remerciant ALLAH qui nous aide et nous donne la patience, la force et le courage durant ces longues années d'étude.*

*Très sincères remerciements :*

*A nos encadrant Dr. GARAH MESSAOUD pour leurs conseils avisés. Nous avons apprécié leurs patiences, leurs efforts, leurs conseils et leurs disponibilités tout au long de la réalisation de ce projet. Nous tenons à remercier tous les membres de jury qui nous ont fait L'honneur de jury ce projet.*

*En fin, nous remercions tous ceux qui de près ou de loin on contribue à l'aboutissement de ce projet.*

## **Dédicace**

*Avant tous, je remercie ALLAH le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience pour réaliser ce travail malgré toutes les difficultés rencontrées.*

*Je dédie ce travail :*

*\*A mon père et à mère, que dieu les récompense et les gardes, qui n'ont jamais cessé de m'aider, de m'encouragé et de me soutenir tout au long de mon cursus scolaire et universitaire.*

*\*A tout la famille TAHI ; à toute ma famille de près ou de loin*

*\*A mes enseignants et spécialement ceux qui sont intervenus dans mon cursus universitaire.*

*\*A tous mes voisins et mes amis.*

*\*A tous les membres de ma promotion du master Electronique, option « Electronique Du Système Embarqué »*

*\* A tous les amis d'étude surtout ceux d'électronique promotion 2022.*

**TAHI EL-HASSEN**

## **Dédicace**

*Avant tous, je remercie ALLAH le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience pour réaliser ce travail malgré toutes les difficultés rencontrées.*

*Je dédie ce travail :*

*\*A mon père et à mère, que dieu les récompense et les gardes, qui n'ont jamais cessé de m'aider, de m'encouragé et de me soutenir tout au long de mon cursus scolaire et universitaire.*

*\*A tout la famille SAFER ; à toute ma famille de près ou de loin*

*\*A mes enseignants et spécialement ceux qui sont intervenus dans mon cursus universitaire.*

*\*A tous mes voisins et mes amis.*

*\*A tous les membres de ma promotion du master Electronique, option « Electronique Du Système Embarqué »*

*\* A tous les amis d'étude surtout ceux d'électronique promotion 2022.*

**SAFER MANEL**

## Sommaire

<b>Table des matières .....</b>	<b>1</b>
<b>Table des figures .....</b>	<b>5</b>
<b>Table des tableaux .....</b>	<b>6</b>
<b>Introduction générale .....</b>	<b>7</b>
• <b>Table des matières :</b>	
<b>Chapitre I : Energie solaire .....</b>	<b>10</b>
1. Introduction .....	11
2. Energie .....	11
2.1 Définition de l'énergie .....	11
2.2 Caractéristiques de l'énergie .....	12
1. Énergies primaires .....	12
2. Énergies secondaires .....	13
2.3 Sources d'énergie.....	13
1. Les énergies fossiles.....	14
2. L'énergie nucléaire .....	14
3. Les énergies renouvelables.....	14
2.4 Relation énergie/environnement.....	15
1. L'effet de serre.....	15
2. L'impact de l'énergie sur la qualité de l'air.....	16
2.5Etat actuel des ressources énergétiques mondiales.....	16
1. Sources fossiles .....	16
2. Sources renouvelables .....	17
3. Energie solaire .....	17
3.1 Le soleil.....	17
3.2 La constante solaire.....	17
3.3 Le rayonnement solaire .....	18
1. Définition.....	18
2. Types de rayonnement.....	18
3.4 Les différentes voies de l'énergie solaire .....	19

## Sommaire

1. L'électricité solaire thermodynamique.....	19
2. L'énergie solaire thermique.....	19
3. L'électricité solaire photovoltaïque .....	19
4. Conclusion.....	20
<b>Chapitre II : Photovoltaïque et Technique de Suiveur de Solaire .....</b>	<b>21</b>
1. Introduction .....	22
2. Énergie solaire photovoltaïque .....	22
2.1 Technologie photovoltaïque (PV) : définition.....	22
2.2 Principe de fonctionnement .....	23
2.3 Paramètres physiques d'une cellule PV .....	23
2.4 Les différentes filières photovoltaïques .....	25
2.5 Modules et panneaux photovoltaïques .....	26
3 Variations cycliques du rayonnement solaire .....	27
3.1 Coordonnées géographiques d'un point sur Terre.....	27
1. Latitude.....	28
2. Longitude.....	28
3. Altitude .....	28
3.2 Mouvements du globe terrestre.....	29
3.3 Angles et mouvements solaires.....	30
1. Déclinaison solaire .....	30
2. Angle horaire du soleil .....	31
3. Le temps solaire .....	31
4. Trajectoire du soleil dans le ciel et zénith .....	31
5. La trajectoire du Soleil au fil des saisons .....	32
3.4 Technique du suivie solaire .....	33
1. Définition .....	33
2. Premières utilisations .....	33
3. Types de suiveurs solaires .....	34

4. Avantages et inconvénients de suiveurs solaires .....	36
4. Conclusion .....	36
<b>Chapitre III Introduction sur l'ARDUINO .....</b>	<b>37</b>
1. Introduction .....	38
2. Qu'est-ce qu'un Arduino ? .....	38
3. A quoi sert-il ? .....	38
4. Qu'y a-t-il au la carte ? .....	39
4.1 Alimentation (USB/ Barrel Jack) .....	40
4.2 Broches (5 V, 3,3 V, GND, analogique, numérique, PWM, AREF) .....	40
4.3 GND .....	40
4.4 5V et 3,3V .....	40
4.5 Analogique .....	40
4.6 Numérique .....	40
4.7 PWM .....	40
4.8 AREF .....	41
4.9 Bouton de réinitialisation (Reset) .....	41
4.10 Témoin d'alimentation (Index) .....	41
4.11 LED TX-RX .....	41
4.12 CI principal .....	41
4.13 Régulateur de tension .....	42
5. La famille Arduino .....	42
5.1 Caractéristique d'Arduino UNO .....	43
5.2 Caractéristique d'Arduino NANO .....	43
5.3 Caractéristique d'Arduino MEGA .....	44
5.4 Cararacteristique d'Arduino Leonardo .....	44
5.5 Déférence entre les cartes Arduino .....	45
6. Comment programmer une carte Arduino .....	46
6.1 Langage de programmation .....	46
6.2 Arduino ide .....	46
6.3 Structure d'un programme .....	47

7. Conclusion .....	47
<b>Chapitre VI : Réalisation de suiveur de soleil .....</b>	<b>48</b>
1. Introduction .....	49
2. Schéma Synoptique.....	49
3. différent bloc de système .....	50
3.1 Les capteurs de lumière (LDR) .....	50
3.2 Le circuit de commande.....	51
1. La carte Arduino UNO.....	51
2. Cable USB .....	52
3. Fils de Pin d'Arduino .....	52
3.3 Circuit de puissance.....	53
1. Les moteurs à courant continu 'SG90' .....	53
2. Batterie du stockage 3,7V .....	53
4. Plan de travail.....	54
4.1 Partie de programmation .....	54
4.2 Partie de simulation.....	55
4.3 Partie mécanique .....	55
1. types d'orientation.....	55
4. Conclusion .....	56
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>57</b>

**Bibliographie.**

**Résumé.**

- **Liste des figures :**

**Figure 1.1** - Énergie primaire mondiale 2006. (Source : AIE).

**Figure 1.2** - Schéma montrant quelques sources renouvelables.

**Figure 1.3** - Schéma du processus effet de serre.

**Figure 1.4** - Part des énergies renouvelables dans la consommation mondiale finale d'énergie 2013.

**Figure 1.5** - Répartition du spectre solaire au-dessus de l'atmosphère terrestre.

**Figure 2.1** - Caractéristique  $I(V)$  sous obscurité et sous éclairement d'une cellule photovoltaïque

**Figure 2.2** - Evolution des différentes filières photovoltaïques.

**Figure 2.3** - Exemple d'un module photovoltaïque

**Figure 2.4** - Composition d'un module photovoltaïque

**Figure 2.5** - Latitude et longitude sur Terre

**Figure 2.6** - Schématisation du mouvement de la terre autour du Soleil.

**Figure 2.7** - Schématisation du mouvement de la terre autour d'elle-même.

**Figure 2.8** - Equinoxes

**Figure 2.9** - Représentation schématique de la trajectoire du Soleil pendant

La journée et des étoiles pendant la nuit sur la voûte céleste

**Figure 2.10** - Trajectoires du Soleil au cours de l'année

**Figure 2.11** - Modèle d'un héliostat dans ses Premières utilisations

**Figure 2.12** - Schéma du principe de fonctionnement d'un champ d'héliostats

**Figure 3.1** - les composant commun entre la majorité des carte Arduino

**Figure 3.2** - la famille Arduino (les plus utilisée)

**Figure 3.3** - Caractéristique d'Arduino Uno

**Figure 3.4** - Cararcteristique d'Arduino Nano

**Figure 3.5** - Cararcteristique d'Arduino Mega

**Figure3.6** - Cararcteristique d'Arduino Leonardo

**Figure 3.7** - Arduino Lilypad et Arduino Yun

**Figure 3.8** - Integrated Development Environment

**Figure 4.1** - Schéma synoptique présente le principe de travail

**Figure 4.2** - Photorésistance LDR

**Figure 4.3** - Symbole du capteur LDR

**Figure 4.4** - Schéma des quatre capteurs LDR

**Figure 4.5** - La carte Arduino Uno

**Figure 4.6** - Cable USB type A/B (Arduino UNO)

**Figure 4.7** - Fils de Pin d'Arduino

**Figure 4.8** - micro servomoteur à 360 degrés

**Figure 4.9** - batterie de stockage 3,7

**Figure 4.10** - Plateforme Arduino IDE

**Figure 4.11** - schéma globale sur PROTEUS-ISIS

**Figure 4.12** - Orientation a deux axes.

- **Liste des tableaux :**

**Tableau 3.1** - déférence entre les cartes Arduino

**Tableau 3.2** - déférence entre les cartes Arduino

# Introduction générale

Les sources d'énergie renouvelables sont d'une grande importance au niveau mondial, en raison de leur propriété et de l'absence d'impacts sur l'environnement, en plus d'être impénétrables, en particulier l'énergie solaire, où le globe reçoit une énorme énergie solaire équivalente à trois mille fois la demande énergétique mondiale en l'an 2000. Le monde arabe est considéré comme la meilleure région du monde pour investir dans l'énergie solaire, avec des conditions climatiques appropriées, une situation astronomique idéale et une vaste zone qui aide à investir dans l'énergie solaire.

De nombreuses recherches scientifiques ont été menées dans le domaine de la conversion de l'énergie solaire.

Un système de suivi solaire est une structure qui permet de traquer en temps réel le mouvement apparent du soleil [1]. Les traqueurs solaires sont conçus et construits pour optimiser le rendement de puissance des modules PV en s'assurant qu'ils sont perpendiculaires au soleil à tout moment pendant la journée. Le travail présenté dans ce mémoire a porté sur l'étude, la conception et la réalisation d'un tel système, et pour ce faire nous avons présenté ce manuscrit de la façon suivante :

Dans le premier chapitre, nous nous intéressons aux types et les sources d'énergie, la relation entre l'énergie et l'environnement, ainsi que l'énergie lumière du soleil et rayonnement solaire.

Ensuite, dans le deuxième chapitre nous nous intéressons aux fondamentaux de la technologie photovoltaïque avant d'établir les différents paramètres pouvant servir à décrire la trajectoire du Soleil dans le ciel. Ensuite, dans le troisième chapitre, nous fournirons des informations générales sur la carte programmable Arduino et sa famille.

En fin, Dans le quatrième chapitre, nous présenterons les différents éléments de notre suiveur solaire, et le travail pratique de notre tracker qui se décompose en quatre parties, partie programmation, partie simulation, partie mécanique et partie électrique.

# **CHAPITRE 01**

# **ENERGIE SOLAIRE**

## **1. Introduction :**

De plus en plus, on pose la question de l'avenir énergétique sur la terre. De nos jours, les ressources les plus utilisées sont les énergies fossiles ou nucléaires, non renouvelables. Ces sources, selon les experts, se raréfieront au cours de ce siècle, à commencer par le charbon vers 2040.

Il ne faut pas oublier non plus que les déchets nucléaires posent d'évidents problèmes de stockage. L'avenir se trouve sûrement dans l'utilisation des énergies dites renouvelables : l'énergie éolienne qui utilise la force du vent, l'énergie marémotrice qui utilise les courants d'eau mais également l'énergie solaire. Cette dernière peut avoir deux fonctions : elle peut servir à produire de la chaleur dans une maison par exemple, mais également à produire de l'électricité, par le biais de la conversion photovoltaïque.

La production d'électricité par le soleil, outre la conversion elle-même, pose une évidente contrainte : la production de courant électrique ne peut se faire toute la journée. Alors, comment obtenir un courant électrique réellement adapté aux besoins à partir du Soleil ? Quels sont les véritables intérêts de la solution pour aujourd'hui et demain ? [1].

Nous allons voir sur ce chapitre la présentation de quelques notions générales autour de l'énergie. Ensuite, nous exposerons les bases du rayonnement solaire. Enfin, nous allons finaliser ce chapitre par les définitions des voies de l'énergie solaire.

## **2. Energie :**

### **2.1 Définition de l'énergie :**

Plusieurs définitions peuvent être attribuées au terme « énergie », selon le domaine ou/et le contexte d'étude. Par exemple, les définitions suivantes données par la littérature peuvent être citées :

- L'énergie est tout ce qui permet d'agir : sans elle, rien ne se passe, pas de mouvement, pas de lumière, pas de vie.
- Autrement dit, l'énergie caractérise la capacité à modifier un état, à produire un travail entraînant un mouvement, ou produisant par exemple de la lumière, de la chaleur ou de l'électricité.

- En outre, la réalisation de plusieurs phénomènes naturels n'est permise que par l'énergie : croissance des plantes, vent, courants des rivières, vagues, chute d'objets, ...

- Un tel terme est utilisé également en technologie et en économie afin d'évoquer les ressources énergétiques (consommation, développement, épuisement et impact écologique).

[2]

## **2.2 Caractéristiques de l'énergie :**

### **2.2.1 Énergies primaires :**

Les énergies primaires sont celles que l'on trouve dans la nature (à l'état brut) comme par exemple :

- L'énergie des muscles ou encore l'énergie musculaire issue de la nourriture.
- L'énergie hydraulique fournie par le mouvement de l'eau.
- L'énergie du vent ou encore l'énergie éolienne.
- L'énergie des combustibles (pétrole, gaz naturel, charbon, biomasse ...) Cependant, l'électricité statique et l'électricité des éclairs, ne sont pas des énergies primaires, car elles ne sont pas exploitables par l'homme. A l'échelle industrielle, les énergies primaires sont réparties en : 10
- Énergies Renouvelables (soleil, eau, vent...).
- Énergies non renouvelables (énergies fossiles : pétrole, charbon, gaz et énergie nucléaire).

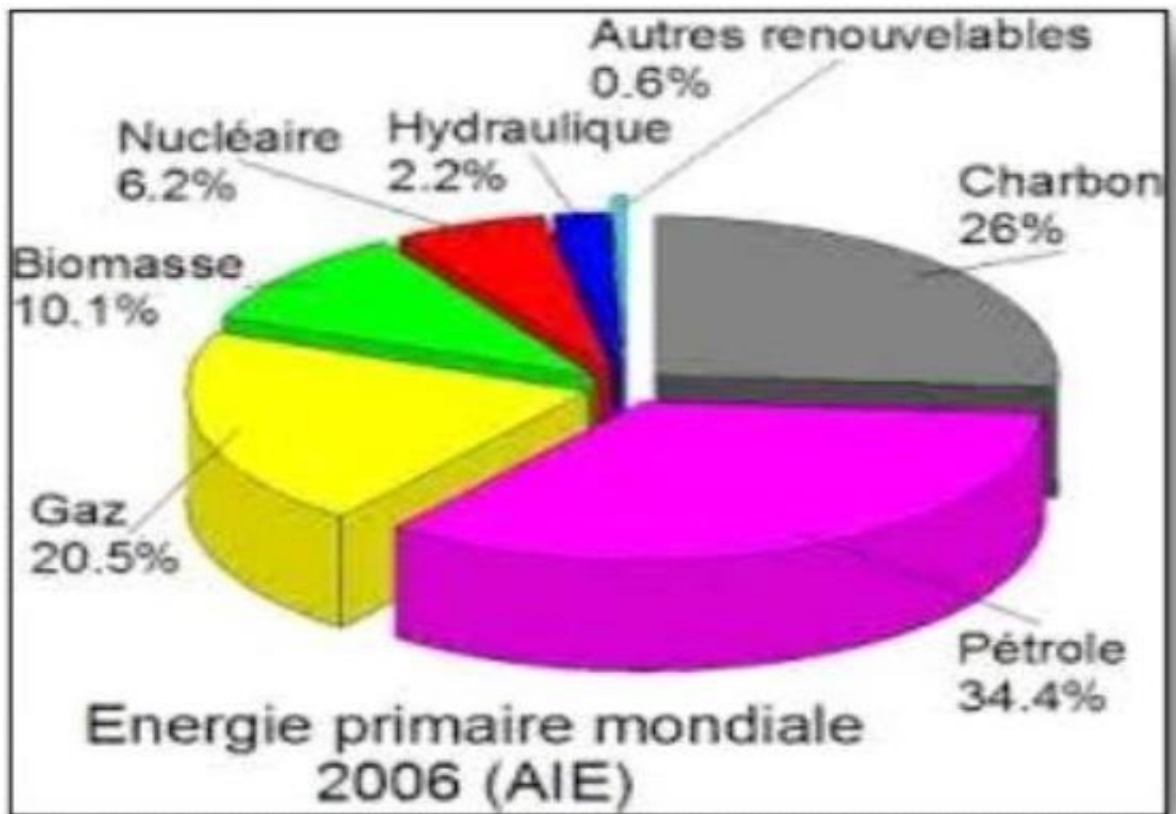


Figure 1.1 - Énergie primaire mondiale 2006. (Source : AIE). [2]

### 2.2.2 Énergies secondaires :

Les énergies secondaires résultent des transformations faites par l'être humain sur les énergies primaires comme par exemple :

- L'électricité : produite à partir du gaz, du charbon, de l'eau, du vent ou du soleil.
- Les carburants. Il faut ensuite noter, que l'énergie secondaire est transformée en énergie finale, telle que la lumière, la chaleur et l'énergie mécanique. [2]

### 2.3 Sources d'énergie :

De façon générale, vous pouvez entendre parler de 3 sources d'énergie différentes :

- Les énergies fossiles
- L'énergie nucléaire
- Les énergies renouvelables

Même, si ces sources sont différentes, elles conservent une réalité commune : elles sont en cœur des discussions sur la pollution de l'air, les risques pour la santé ainsi que l'avenir de la planète. [3]

### **2.3.1 Les énergies fossiles :**

Les énergies fossiles permettent une production assez simple d'électricité, de chaleur ou de carburant, grâce à leur combustion. Les principales énergies fossiles sont le charbon, le pétrole et le gaz naturel. Cependant, ces énergies ont 3 points négatifs importants :

- Elles sont la cause principale des émissions de gaz à effet de serre.
- Leurs réserves risquent de s'épuiser dans le temps.
- Elles sont réparties inégalement dans le monde, ce qui cause des tensions géopolitiques entre les différents Etats.

### **2.3.2 L'énergie nucléaire :**

L'énergie nucléaire est issue de la fission de minéraux radioactifs tels que l'uranium. Cette technique permet de produire de l'électricité en grosse quantité. Pour autant, contrairement aux énergies fossiles, l'énergie nucléaire émet peu de gaz à effet de serre. Néanmoins, la question des déchets radioactifs est souvent pointée du doigt quant à la gestion de ces déchets et l'éventuel risque d'accident.

### **2.3.3 Les énergies renouvelables :**

Les énergies renouvelables sont issues de ce l'on appelle les « énergies vertes » c'est-à-dire de phénomènes naturels comme les rayons du soleil, le vent ou encore les déchets organiques. Ces ressources ont l'avantage d'être quasi inépuisables et les émissions de gaz à effet de serre sont nulles. Les politiques énergétiques mises en place cherchent à développer des innovations énergétiques afin de réduire l'utilisation des énergies fossiles et de l'énergie nucléaire. C'est ce qu'on appelle la transition énergétique. Cependant, les rendements et le coût de ces énergies restent encore des questions ralentissant leur développement. Voici les principales énergies renouvelables :

- L'énergie solaire.
- L'énergie hydraulique.
- L'énergie éolienne.
- L'énergie géothermique. [3]

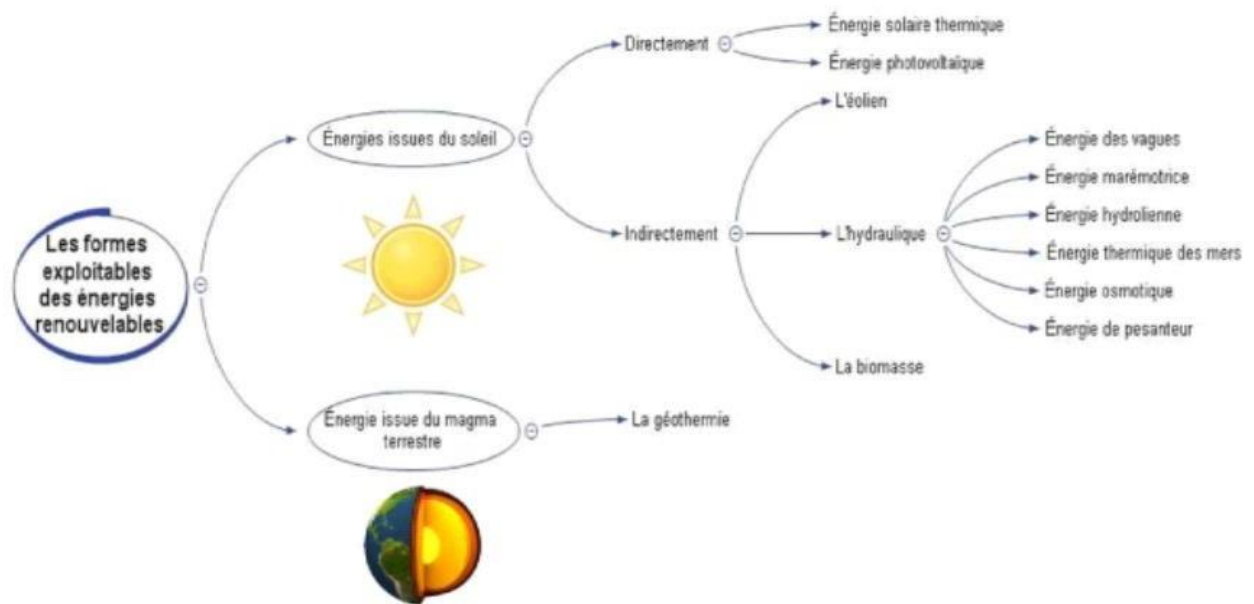


Figure 1.2 - Schéma montrant quelques sources renouvelables.

## 2.4 Relation énergie/environnement :

Ce n'est pas un secret : l'humanité a un impact énorme sur son environnement. Et cet impact, dans l'ensemble, est plutôt destructeur. Plusieurs secteurs d'activité sont en cause (pollution chimique en agriculture, bétonisation, etc.). Mais le secteur de l'énergie reste, de loin, le plus problématique de tous. Il est grand temps d'agir ! Mais avant d'agir, il faut comprendre. Comprendre le problème et mesurer son ampleur, avant de lui faire face.

### 2.4.1 L'effet de serre :

Certains gaz sont fourbes : ils laissent passer l'énergie du soleil dans un sens, mais pas dans l'autre... Du coup, cette énergie se concentre. L'atmosphère se réchauffe... Ce sont les fameux "gaz à effet de serre. Les molécules de ces gaz comportent plus de trois atomes – ou alors deux atomes différents. On va donc retrouver, parmi les gaz à effet de serre, le fameux CO<sub>2</sub>, que rejettent tous les moteurs thermiques (voitures, bateaux, avions) et toutes les centrales à flamme (charbon, gaz). [4]

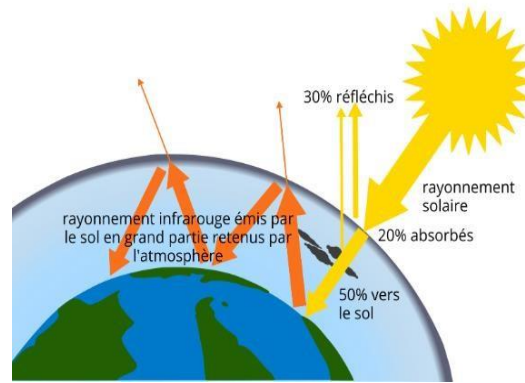


Figure 1.3 - Schéma du processus effet de serre.

#### 2.4.2 L'impact de l'énergie sur la qualité de l'air :

La plupart des centrales ont des cheminées. Les voitures ont des pots d'échappement. Et ça crache... Car la production d'énergie, comme la consommation d'énergie, génère le plus souvent des gaz, des fumées, des déchets volatiles et tout un tas de particules malsaines pour l'environnement. [4]

#### 2.5 Etat actuel des ressources énergétiques mondiales :

Dans le monde, chaque pays utilise les sources d'énergie qui lui y sont le plus accessible. La Chine, par exemple, utilise beaucoup le charbon pour faire fonctionner ses centrales afin de produire de l'électricité. La France, quant à elle, a misé sur l'énergie nucléaire pour satisfaire ses besoins en termes d'énergie et l'Algérie, ayant d'importantes réserves de pétrole et de gaz naturel, se repose presque entièrement sur ces sources fossiles pour subvenir à ses besoins énergétiques. [6]

##### 2.5.1 Sources fossiles :

Le charbon est aujourd'hui la source d'énergie la plus utilisée pour la production d'électricité dans le monde, notamment en Chine (80%) et en Inde (68%). Cette source se trouve en abondance sur les cinq continents et selon les dernières estimations, il resterait encore entre 850 et 900 milliards de tonnes de charbon dans le monde (figure 4). [6]. Concernant les autres sources fossiles, nous remarquons que les réserves de pétrole et de gaz naturel dans le monde, fin 2013, ont été estimées à 238.2 milliards tep et 185.7 milliards tep, respectivement. [6]

### 2.5.2 Sources renouvelables :

Actuellement et dans de nombreux pays, les sources d'énergie renouvelables se développent et commencent à prendre plus de part du marché au côté des sources fossiles. Selon les estimations, les énergies renouvelables représentent environ 19.1% de la consommation mondiale finale en termes d'énergie. [6]

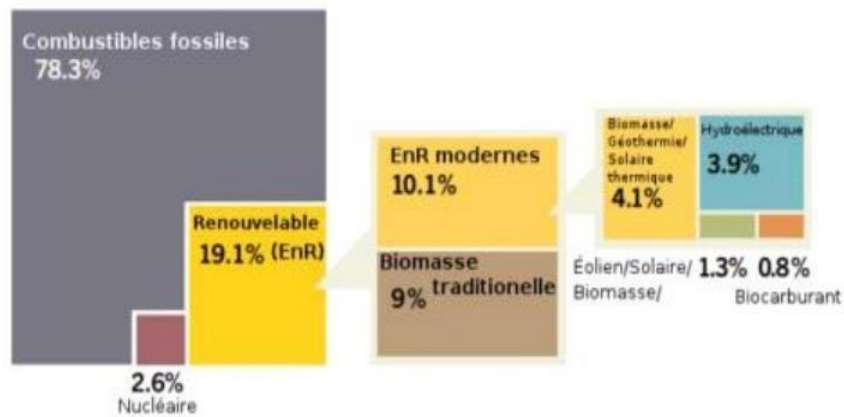


Figure 1.4 - Part des énergies renouvelables dans la consommation mondiale finale d'énergie 2013. [6]

## 3. Energie solaire :

### 3.1 Le soleil :

Le soleil est l'étoile centrale du système solaire, sa lumière met environ 8 minutes et 17 secondes pour atteindre la terre. Il est presque sphérique d'une masse d'environ  $2 \times 10^{30}$  kg, Son diamètre est d'environ 1,4.10 Km. Il est constitué principalement d'hydrogène 75% de la masse ou 92 % du volume et d'hélium 25 % de la masse ou 8 % du volume. La distance entre le soleil et la terre est d'environ 150 millions de km. Il est le siège de réactions de fusion nucléaire permanentes et sa température de cœur atteint 10.

### 3.2 La constante solaire :

C'est La valeur du rayonnement solaire reçu par une surface perpendiculaire aux rayons solaires placée à la limite supérieure de l'atmosphère terrestre (environ 80 Km d'altitude) varie au cours de l'année avec la distance Terre/Soleil. Sa valeur moyenne "I0" appelée constante solaire est de l'ordre de 1354 W.m<sup>-2</sup>.

### 3.3 Le rayonnement solaire :

#### 3.3.1 Définition :

Le rayonnement émis par le Soleil comporte des ondes électromagnétiques dont une partie, appelée le rayonnement solaire, ne cesse de parvenir à la limite supérieure de l'atmosphère terrestre. En raison de la valeur prise par la température superficielle du Soleil — environ 5 800 K —, l'énergie de rayonnement que ce rayonnement (figure 6).

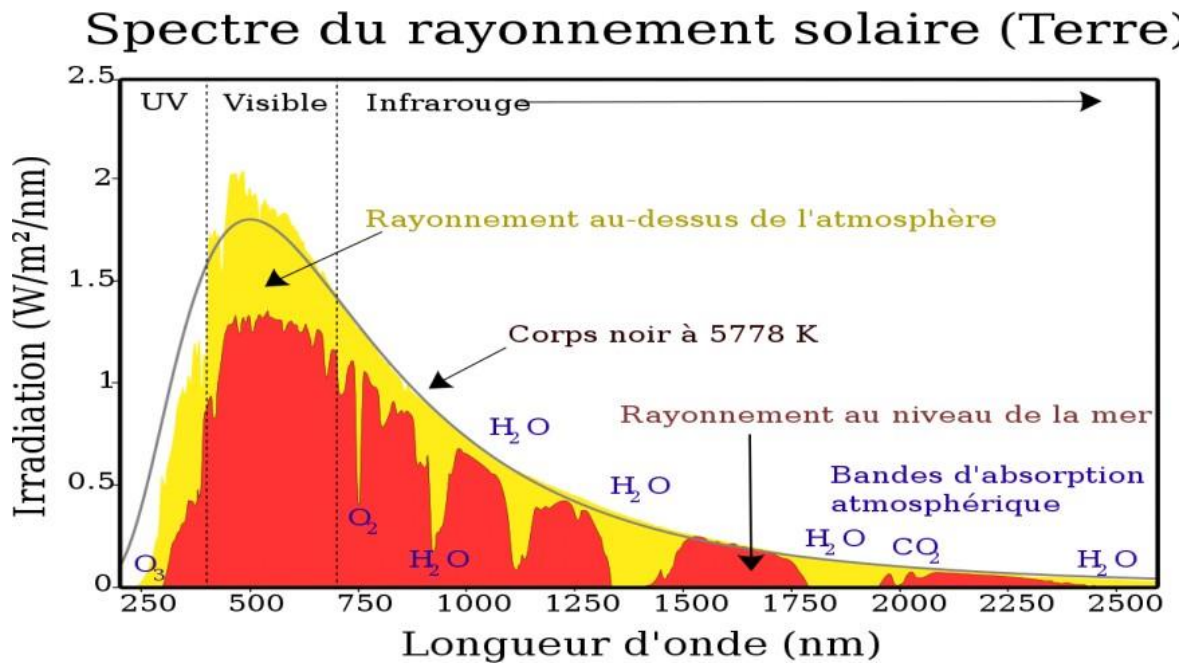


Figure 1.5 - Répartition du spectre solaire au-dessus de l'atmosphère terrestre.

#### 3.3.2 Types de rayonnement :

Le rayonnement se différencie en :

- Rayonnement global (ondes courtes vers le bas (KW ↓))
- Rayonnement direct et diffus (diffusé)
- Réflexion de rayonnement d'ondes courtes (ondes courtes vers le haut (KW ↑))
- Rayonnement terrestre (ondes longues vers le haut (LW ↑))
- Contre-radiation atmosphérique (ondes longues vers le bas (LW ↓)) (également appelé "green house")

En relation avec le rayonnement à ondes courtes, il existe également des définitions importantes :

**Rayonnement global (GHI) :** Le rayonnement global fait référence à l'ensemble du rayonnement à ondes courtes qui frappe la surface (horizontale) de la Terre. Celui-ci peut être divisé en ses composants : le rayonnement direct et le rayonnement diffus.

**Rayonnement diffus (DIF) :** Ici, seul un pyromètre mesure la lumière diffuse du ciel, recouvrant le soleil d'un projecteur d'ombre.

**Rayonnement direct (DIR) :** Le rayonnement horizontal direct n'est généralement pas mesuré mais calculé à partir d'un rayonnement diffus et global.

**Irradiation normale directe (DNI) :** Le rayonnement normal direct désigne le rayonnement qui frappe l'instrument à angle droit, c'est-à-dire le rayonnement direct sur une surface perpendiculaire à la position du soleil. Ce rayonnement est mesuré par un pyrhélio mètre et peut être un multiple du rayonnement direct sur une surface horizontale, en particulier lorsque le soleil est peu profond (voir instruments de mesure). [7]

### **3.4 Les différentes voies de l'énergie solaire :**

#### **3.4.1 L'électricité solaire thermodynamique :**

Le solaire thermodynamique ou CSP (Concentrated Solar Power) désigne l'ensemble des techniques visant à transformer l'énergie du rayonnement solaire en chaleur pour la convertir en énergie électrique, au moyen d'un cycle thermodynamique moteur couplé à une génératrice électrique (une turbine et un générateur, par exemple). Le solaire thermodynamique est principalement destinée aux pays à fort ensoleillement et permet, contrairement aux centrales photovoltaïques, de lisser plus facilement la production grâce à un stockage thermique tampon moins onéreux que les systèmes de batterie. [8]

#### **3.4.2 L'énergie solaire thermique :**

L'énergie solaire thermique est l'énergie thermique du rayonnement solaire. Elle est captée dans le but d'échauffer un fluide (liquide ou gaz). L'énergie reçue par le fluide peut être ensuite utilisée directement (eau chaude sanitaire, chauffage, etc.) ou indirectement (production de vapeur d'eau pour entraîner des alternateurs et ainsi obtenir de l'énergie électrique, production de froid, etc.). [9]

#### **3.4.3 L'électricité solaire photovoltaïque :**

Les cellules solaires transforment les rayons du soleil en énergie électrique, sans déchets, sans bruit et sans pollution. Cette technique s'appelle « photovoltaïque ». Elle représente un élément important de l'approvisionnement en énergie du futur, et on en reparlera plus en détail dans le prochain chapitre. [10]

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

Dans ce premier chapitre de notre mémoire, nous avons détaillé plusieurs notions en relation avec l'énergie. Ce qui la rend comme étant un domaine d'étude très vaste. Ensuite, après avoir détaillé l'intime relation qui peut exister entre énergie solaire et environnement, nous nous sommes concentrés sur l'énergie solaire, une source qui est considéré comme la plus répandue et la plus connue des sources d'énergies dites renouvelables. En effet, cette dernière, à travers ses différentes technologies, représente l'avenir de la transition énergétique.

**CHAPTRE 02**

**PHOTOVOLTAIQUE**

**ET TECHNIQUE DU SUIVEUR DE SOLEIL**

## **1. Introduction :**

Le solaire PV est le secteur technologique de l'énergie solaire. Il traite de la production d'énergie électrique par conversion directe. Énergie lumineuse (photons).

La production d'électricité par système photovoltaïque dépend du rayonnement solaire reçu par les panneaux qui composent ce système. Cela a mené à des experts dans ce domaine réalisant de nombreuses études et recherches pour accroître la conversion efficace des panneaux, leur permettant notamment de recevoir plus de rayonnement à la poursuite de la course du soleil dans le ciel à tout moment : C'est ce qu'on appelle la technologie de suivi solaire (ou système de suivi solaire).

En fait, notre étoile dont nous tirons chaleur et lumière naturellement, n'a pas de position fixe dans le ciel. D'est en ouest, du nord au sud, le soleil bouge constamment et nous devons augmenter la quantité de lumière capturée par nos palettes, la laissant toujours face au soleil. Dans ce chapitre nous verrons les concepts de base de cette technique après une brève introduction à l'énergie photovoltaïque, nous ferons une simulation pour montrer comment

L'utilisation d'un système de suivi solaire est bénéfique pour la production de cellules photovoltaïques.

## **2. Énergie solaire photovoltaïque :**

### **2.1 Technologie photovoltaïque (PV) : définition**

Des dispositifs électroniques, communément appelés « cellules solaires », transforment les rayons lumineux du soleil en énergie électrique ; sans déchets, sans bruit et sans pollution, cette technologie est connue sous l'appellation « photovoltaïque » et représente un élément important de l'approvisionnement en énergie du futur.

Généralement, on distingue trois grands types d'applications susceptibles d'être alimentées par cette énergie, à savoir [11] :

- Les systèmes de production autonomes pour l'alimentation de sites ou d'équipements isolés et non raccordés au réseau électrique.
- Les systèmes de pompage pour l'alimentation en eau (que ce soit de l'eau potable ou de l'eau pour l'irrigation).
- Les systèmes de production raccordés au réseau général de distribution de l'électricité.

## 2.2 Principe de fonctionnement : [12]

L'effet photoélectrique utilisé dans les cellules permet une conversion directe. L'énergie lumineuse du soleil est convertie en électricité. Ceci est réalisé grâce à génération et transport de charges dans un matériau semi-conducteur. Courants électriques positifs et négatifs sous l'influence de la lumière.

De manière basique, une cellule solaire est composée d'un matériau semi-conducteur comportant deux parties, l'une présentant un excès d'électrons (dite dopée de type n), et l'autre un déficit en électrons (dite dopée de type p) :

- **Étape 1** : Comme résultat de la mise en contact des deux parties, on remarque aux abords de la surface de contact ce qui suit :

- \* Les électrons diffusent de la partie n vers la partie p grâce à un gradient de concentration. Le côté n devient chargé positivement.

- \* Les trous diffusent de la partie p vers la partie n grâce à un gradient de concentration. Le côté p devient chargé négativement.

- **Étape 2** : Une région de charge d'espace (Z.C.E) est générée et un champ électrique E est généré entre la partie n (charges positives) et la partie p (chargée négativement). La jonction "p-n" est configurée.

- **Étape 3** : L'énergie des photons est obtenue par illumination de la jonction s'il dépasse la bande passante, l'atome est excité. Tout le monde. Ce dernier permet aux électrons de passer de la bande de valence à la bande. Il laisse également une fente portable pour la fermeture. C'est notre. La formation de paires est appelée "trou d'électron". C'est une paire de trous électroniques il est séparé par un champ électrique E.

- **Étape 4** : Si les contacts métalliques sont des deux côtés si notre réseau est à l'opposé de ces réseaux convection (comme une lampe), les électrons de la région n combinés trou de zone P à travers des contacts externes variations possibles : Courant de crue.

## 2.3 Paramètres physiques d'une cellule PV :

Le courant délivré sur une charge par une cellule photovoltaïque éclairée s'écrit. [13]

$$(V) = I_{ph} - I_{obs}$$

Avec :  $I_{obs}$  : courant d'obscurité et  $I_{ph}$  : le photocourant.

Pour une cellule photovoltaïque idéale, l'équation précédente peut être réécrite sous la forme suivante :

$$(V) = I_{cc} - I_s [(qV/AkTj) - 1]$$

Avec :

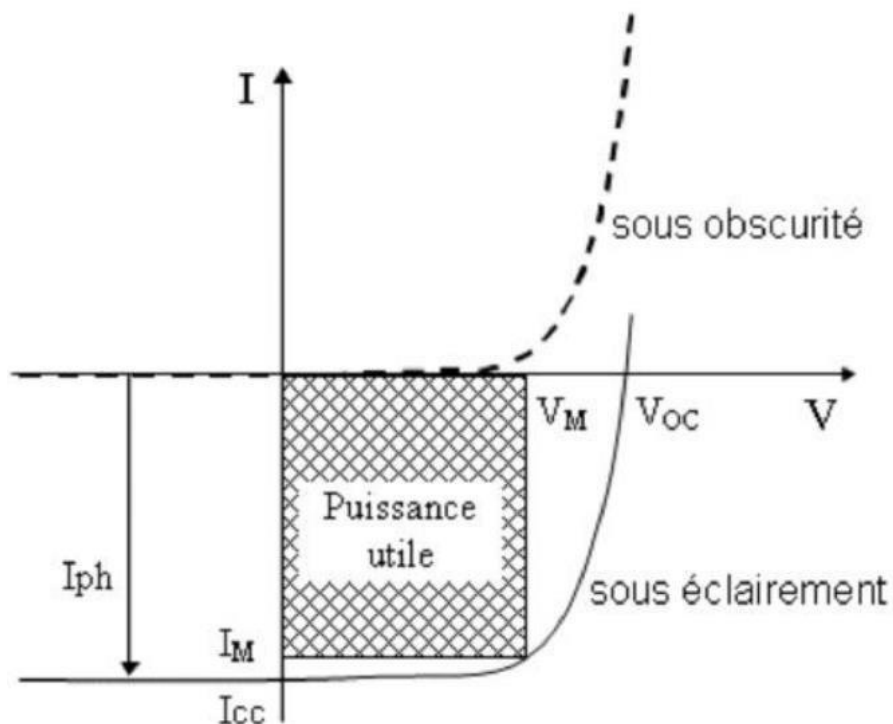
$I_s$  : Courant de saturation de la diode (A).

$k$  : Constante de Boltzmann.

$A$  : Facteur d'idéalité de la diode

$T_j$  : Température de jonction (°C).

$q$  : Charge de l'électron.



**Figure 2.1 – Caractéristique  $I(V)$  sous obscurité et sous éclaircissement d'une cellule photovoltaïque [13]**

Une cellule solaire est caractérisée par un ensemble de paramètres appelés paramètres photovoltaïques. Ces paramètres s'obtiennent à partir de la courbe caractéristique  $I(V)$  :

- **Courant de court-circuit** : Ce flux est préservé dans la mesure du possible. La valeur appliquée à la cellule est 0. C'est le plus grand courant que la cellule peut produire. Renvoie une dépendance linéaire de l'intensité de la lumière reçue.
- **Tension de circuit ouvert** : Une charge ou une cellule qui n'est pas connectée à une charge résistance infinie.
- **Facteur de forme** : c'est un paramètre important puisque son utilisation sert à qualifier la qualité d'une cellule ou d'un générateur photovoltaïque. Il représente le rapport entre la puissance maximale que peut délivrer la cellule notée  $P_{max}$  et la puissance formée par le rectangle  $I_{cc}V_{co}$
- **Le rendement  $\eta$**  : ce paramètre désigne le rendement de conversion en puissance. On le considère comme le rapport entre la puissance maximale délivrée par la cellule et la puissance lumineuse incidente  $P_i$ .

#### 2.4 Les différentes filières photovoltaïques :

En pratique, trois principales filières sont utilisées pour concevoir des cellules solaires photovoltaïques :

- **Le Silicium** : Le silicium a l'avantage de pouvoir être fabriqué à partir de composants de quartz, de granit, de sable et de grès, qui épuisent rarement les ressources naturelles. La technologie de mise en œuvre des cellules solaires au silicium est bien développée et fonctionne depuis plusieurs années. Il n'est donc pas surprenant que ce secteur représente actuellement 90% du marché mondial de l'énergie solaire. [14]
- **Les couches minces** : Couper les flocons en blocs. Le silicium provoque une perte d'environ 30 %. Contactez ces chercheurs introduction d'une approche en couches minces épaisses. Déposé sur des substrats micron, en verre ou flexibles. Empilez pour profiter de la qualité des différents matériaux En particulier, il inclut la possibilité d'utiliser la longueur de chacun d'eux. Ondes lumineuses légèrement différentes. [14]

• **Cellules organiques et plastiques** : Les cellules organiques sont encore au stade de laboratoire, comprennent les voies cellulaires dites « humides ». Les voies de « Graetzel » ou des polymères organiques sont également appelées cellules. Plastique. Les progrès sur ces questions sont rapides, mais leur avenir aussi. Bien que l'industrie ne soit pas encore établie, l'appareil est très peu coûteux [15].

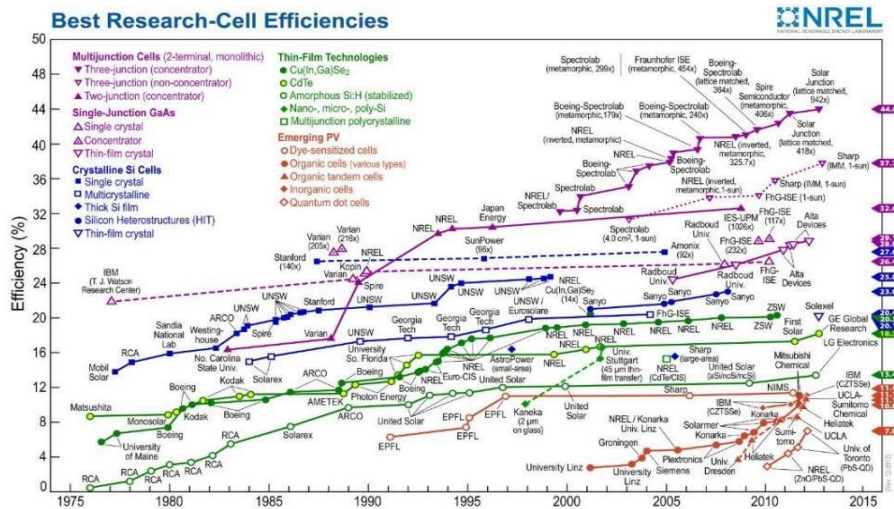


Figure 2.2 – Evolution des différentes filières photovoltaïques.

### 2.5 Modules et panneaux photovoltaïques :

Pour générer plus de puissance et répondre aux exigences de charge vous devez considérer les groupes de cellules qui sont utilisés le plus fréquemment. Les cellules photovoltaïques sont connectées en série ou en parallèle. Cet assemblage forme ce qu'on appelle « module photovoltaïque » (figure 2.3) [16].

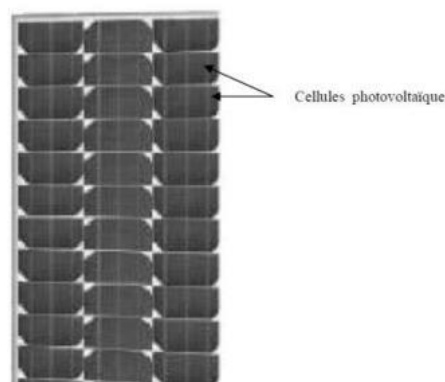
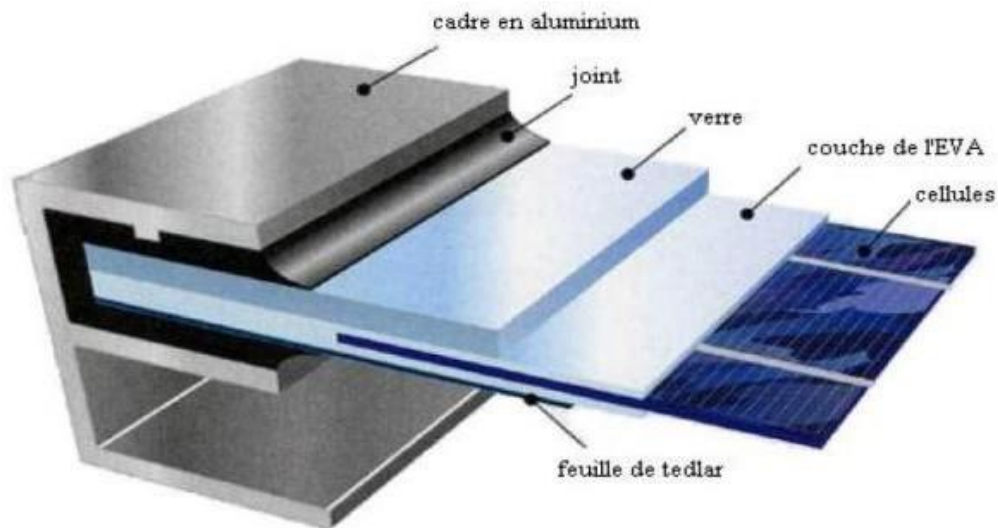


Figure 2.3 – Exemple d'un module photovoltaïque

Un module solaire photovoltaïque est composé généralement de six éléments (figure 2.4) :  
[16]



**Figure 2.4 – Composition d'un module photovoltaïque**

- Cadre en aluminium
- Joint pour fixer le module.
- Verre pour la protection du module.
- Couche de l'EVA (éthylène-acétate de vinyle) pour résister aux intempéries et à l'humidité.
- Cellules photovoltaïques.
- Feuille de Tedlar blanc pour plus de résistance mécanique des grands modules.

### **3. Variations cycliques du rayonnement solaire :**

Avant de passer à la section suivante, Sun Tracking Technology, nous avons jugé nécessaire de donner quelques concepts sur le mouvement du Soleil (et de la Terre) et de donner quelques concepts à suivre en matière d'énergie rayonnante. Restaurez notre planète.

#### **3.1 Coordonnées géographiques d'un point sur Terre :**

### 3.1.1 Latitude :

La latitude est une coordonnée géographique représentée par une valeur angulaire, expression de la position d'un point sur Terre (ou sur une autre planète), au Nord ou au Sud de l'équateur qui est le plan de référence (figure 2.5) [17].

### 3.1.2 Longitude :

La longitude est une donnée géographique représentée par une valeur angulaire, expression du positionnement Est-Ouest d'un point sur Terre (ou sur une autre planète). La longitude de référence sur Terre est le méridien de Greenwich (figure 2.5) [17].

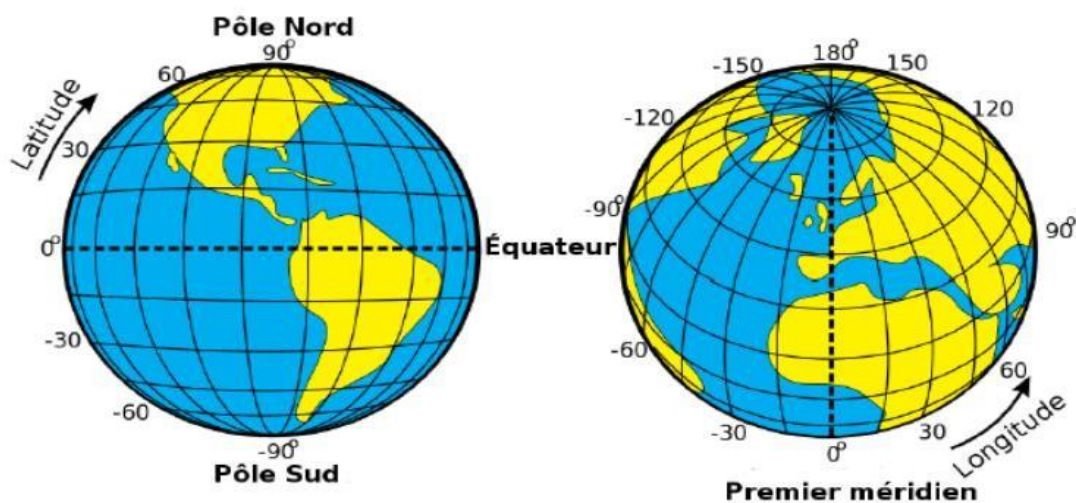


Figure 2.5 – Latitude et longitude sur Terre

### 3.1.3 Altitude :

L'altitude est une grandeur qui exprime un écart entre un point donné et un niveau de référence ; par convention, sur Terre ce niveau est le plus souvent le niveau de la mer (ou « niveau zéro »). On utilise aussi le terme d'élévation [18].

### 3.2 Mouvements du globe terrestre :

La trajectoire de la Terre autour du soleil est une ellipse focalisée sur le soleil. Le plan de cette ellipse s'appelle l'écliptique. L'excentricité de cette ellipse est si faible que la distance Terre/Soleil ne change que de  $\pm 1,7\%$  de la distance moyenne  $149\,675\,106\text{ km}$ . De la terre autour du soleil est une ellipse dont le soleil est l'un des foyers. Le plan de cette ellipse est appelé l'écliptique. L'excentricité de cette ellipse est faible ce qui fait que la distance Terre/Soleil ne varie que de  $\pm 1,7\%$  par rapport à la distance moyenne qui est de  $149\,675\,106\text{ km}$  [19].

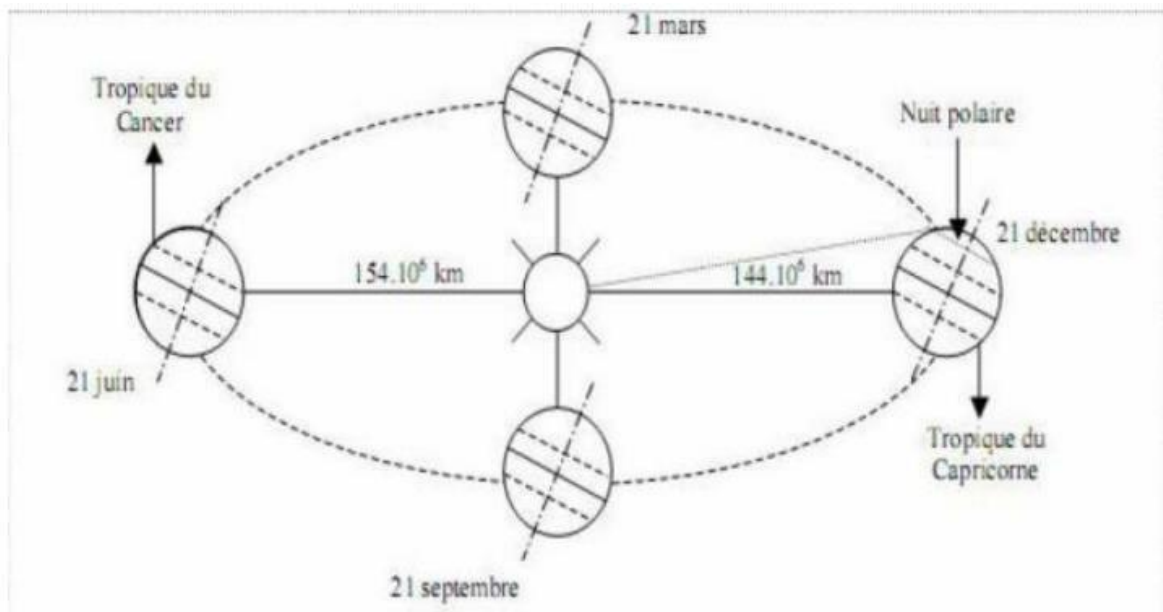


Figure 2.6 – Schématisation du mouvement de la terre autour du Soleil.

La terre tourne également sur elle-même autour d'un axe appelé l'axe des pôles. Cet axe n'est pas perpendiculaire à l'écliptique (figure 2.7).

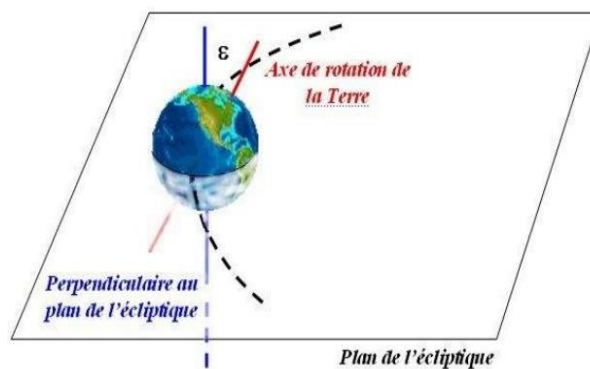


Figure 2.7 Schématisation du mouvement de la terre autour d'elle-même.

La rotation de la Terre est un mouvement complexe qui peut être décrit comme la combinaison de trois mouvements [20] :

- La rotation propre, mouvement circulaire autour de l'axe.
- La précession, mouvement lent qui va faire une rotation complète de l'axe sur une durée d'environ 26 000 ans tout en conservant environ la même inclinaison (de l'axe).
- La nutation, qui est un mouvement oscillant périodique rapide de petite amplitude autour d'une position moyenne.

### 3.3 Angles et mouvements solaires :

#### 3.3.1 Déclinaison solaire :

La déclinaison solaire est l'angle formé par la droite reliant la terre au soleil et le plan équatorial (positif vers le Nord). Cette déclinaison est égale à zéro aux équinoxes et varie de  $+23,45^\circ$  (22 juin) à  $-23,45^\circ$  (22 décembre) [21].

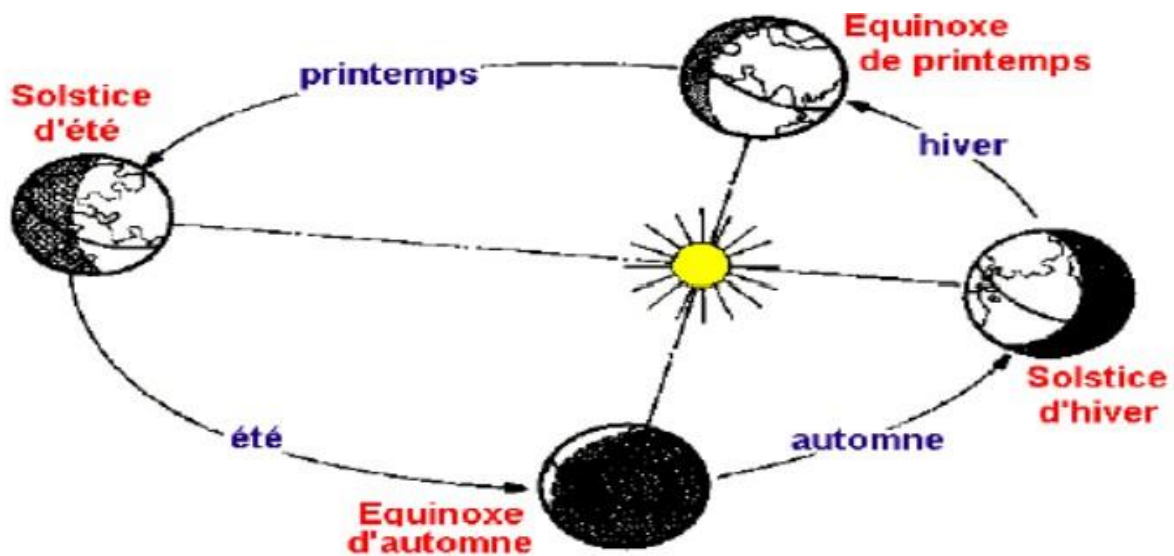


Figure 2.8 – Equinoxes

Les équinoxes (figure 2.8) sont les deux dates de l'année où le soleil traverse le plan équatorial : sa déclinaison est alors nulle et les durées du jour et de la nuit sont égales. L'équinoxe d'automne intervient vers le 22 septembre et l'équinoxe de printemps vers le 22 mars [21].

### 3.3.2 Angle horaire du soleil :

L'angle horaire ( $\omega$ ) est l'arc de la trajectoire solaire compris entre le soleil et le plan méridien du lieu, il augmente de  $15^\circ$  par heure et il est compté positivement dans le sens rétrograde de  $0^\circ$  à  $360^\circ$  [22].

### 3.3.3 Le temps solaire :

On distingue [22] :

- Le temps solaire vrai  $T_{sv}$  qui représente l'angle horaire entre le plan méridien passant par le centre du soleil et le méridien du lieu considéré, il est donné par l'expression :

$$T_{sv} = 12 + \omega / 15$$

- Le temps solaire moyen  $T_{sm}$  qui est donné par :

$$T_{sv} - T_{sm} = E_r$$

$$E_r = 9.87 \times \sin(2N) - 7.53 \times \cos(N) - 1.5 \times \sin(N)$$

$$N = (n - 81) \times 360 / 365$$

Avec : n numéro du jour de l'année.

- Le temps universel  $TU$  est le temps moyen de Greenwich :

$$TU = T_{sm} - \lambda / 15$$

- Le temps légal  $TL$  est le temps officiel d'un état, il est donné par :

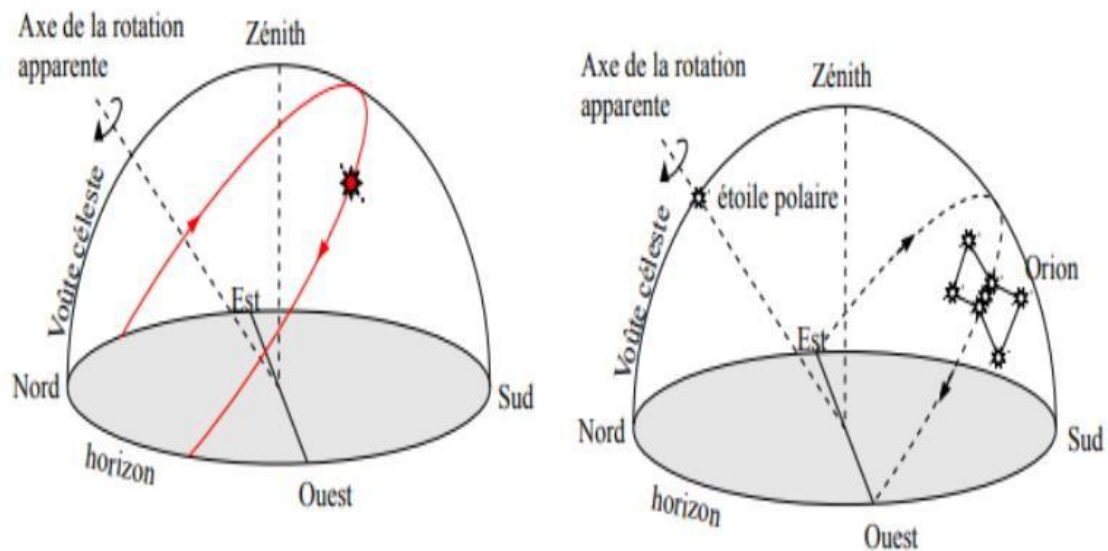
$$TL = TU + \Delta H$$

Avec : H le décalage horaire entre le méridien de Greenwich et le point considéré.

### 3.3.4 Trajectoire du soleil dans le ciel et zénith :

Aujourd'hui, nous savons que la trajectoire du soleil dans le ciel est un mouvement. Reflète visiblement le vrai mouvement de la Terre : notre propre rotation le jour lui-même explique la continuation du jour et de la nuit sur cette planète et son orbite autour du soleil en un an explique la suite des saisons. C'est l'interprétation héliocentrique préconisée pour la première fois par Nicolas Copernic 1543. [23]

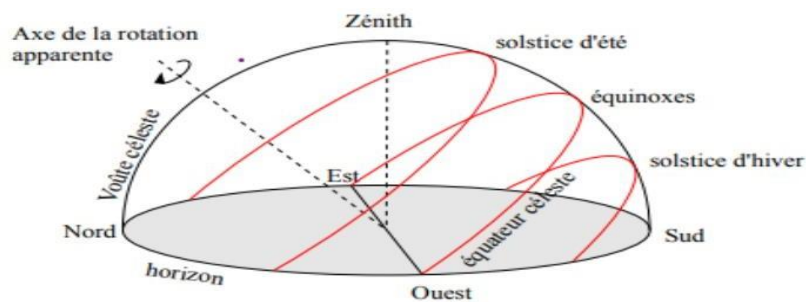
Pendant la journée, le soleil fait une trajectoire circulaire dans le ciel. (Fig. 2.9). Il s'élève de l'est et s'élève progressivement. Il culmine en un point orienter vers le sud, puis redescend et repose sur son flanc. De l'Ouest. La nuit, c'est au tour des étoiles de faire quelque chose de semblable en faisant tourner le ciel d'est en ouest il ne reste qu'une seule étoile : l'étoile Le Pôle Nord, indique la direction du Nord. [23]



**Figure 2.9– Représentation schématique de la trajectoire du Soleil pendant la journée et des étoiles pendant la nuit sur la voûte céleste**

### 3.3.5 La trajectoire du Soleil au fil des saisons :

Au fil de l'année, la trajectoire que suit le Soleil dans le ciel évolue chaque jour. Le soleil est plus haut ou plus bas dans le ciel. Il se produit et se produit dans de nombreux endroits et continue dans une certaine mesure à ce jour. La trajectoire du Soleil dans le ciel change quotidiennement, mais toutes les trajectoires sont parallèles les unes aux autres et perpendiculaires à l'axe de rotation de la Terre. (Figure 2.10) [23].



**Figure 2.10 – Trajectoires du Soleil au cours de l'année**

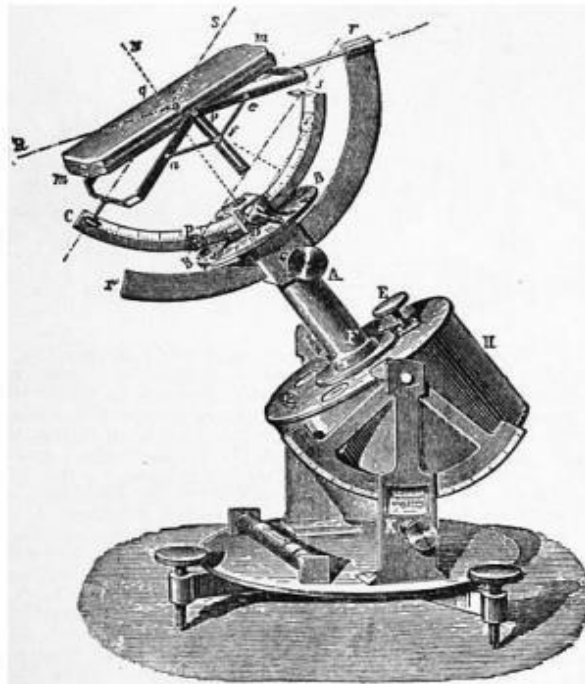
### 3.4 Technique du suivie solaire :

#### 3.4.1 Définition :

Un traquer ou système de suivi solaire est un dispositif qui permet à un télescope solaire (qui surveille le soleil ou certains de ses effets sur l'atmosphère) ou à des centrales solaires de suivre le soleil en utilisant le principe de l'héliostat. La structure de support alimentée électriquement aligne les panneaux solaires pour augmenter la productivité. Car idéalement, le panneau PV devrait avoir un plan collecteur perpendiculaire au rayonnement solaire afin d'atteindre des performances maximales. [24]

#### 3.4.2 Premières utilisations :

Les premières utilisations de traqueurs à énergie solaire remontent aux années 1850. A cette époque, le principe reposait sur l'utilisation d'un pare-soleil (Fig. 2.11). La rotation du miroir de l'héliostat est assurée par le mécanisme de l'horloge. La première mention du système était dans une publication en 1742 par le physicien hollandais Willem Jacob's Gravesande. [25]



**Figure 2.11– Modèle d'un héliostat dans ses**

**Premières utilisations [25]**

Un champ d'héliostats repère le mouvement du soleil en convergeant les rayons lumineux vers un même point, concentrant ainsi la lumière incidente en employant des miroirs de réflexion tout au long de la journée. Ce dernier se rencontre dans diverses installations utilisant l'énergie solaire, notamment les Chapitre II Photovoltaïque et Technique de Suivi Solaire 42 centrales solaires à concentration appelés champs d'héliostats. (Figures 2.11 et 2.12) [25]

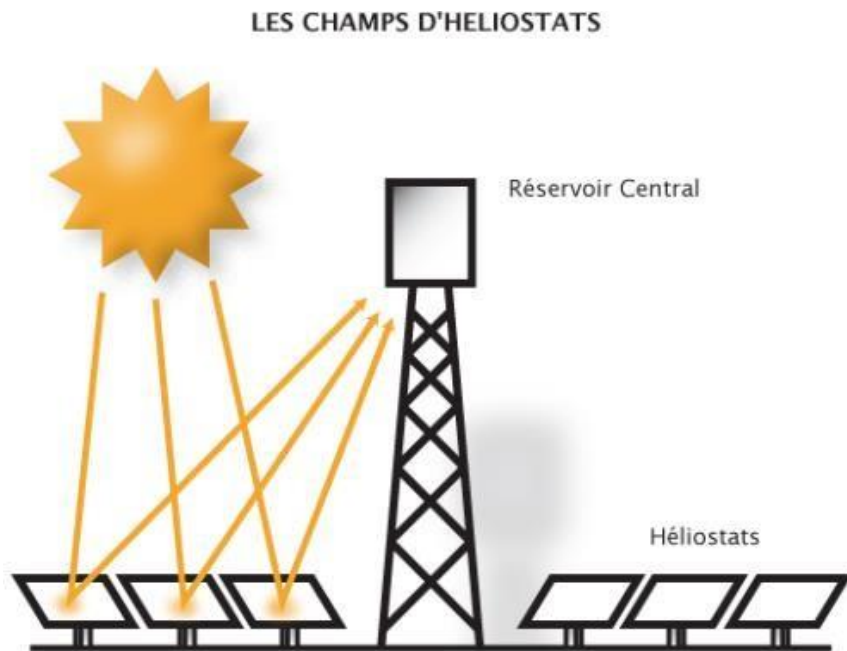


Figure 2.12 – Schéma du principe de fonctionnement d'un champ d'héliostats

### 3.4.3 Types de suiveurs solaires :

#### a. Suiveur solaire à axe horizontal :

Dans ce type de système de suivi, un long tube horizontal est supporté. Un pivot de roulement monté sur tube sur l'essieu qui suit le mouvement apparent. Le soleil pendant la journée. Parce qu'il n'est pas incliné vers l'équateur Il n'est donc pas très efficace en hiver (sauf si vous êtes près de l'équateur), Cependant, les systèmes de repérage sont très utiles au printemps et en été. Quand le soleil est haut dans le ciel. [26]

**b. Suiveur solaire à axe vertical :**

Dans ce type de système de suivi, la plaque est montée sur un axe vertical avec un angle d'élévation fixe, spécifié ou suivi. Les traqueurs à angle d'inclinaison fixe conviennent aux altitudes élevées (saisonniers). En fait, la course apparente du Soleil n'est pas particulièrement élevée aux hautes latitudes, mais en été, elle se traduit par de longues journées de voyage dans de longs arcs. [26]

**c. Suiveur solaire à deux axes :**

Les raccords bis axiaux ont un axe de pivot vertical ou un anneau de montage horizontal qui permet à l'appareil de pivoter dans la direction du point de base. Le deuxième axe est l'axe d'élévation horizontal monté sur la plate-forme d'azimut. Il peut être dans l'hémisphère ascendant. Le système nécessite un capteur commandé par ordinateur ou un capteur de suivi pour faire fonctionner l'unité de commande du moteur qui aligne le panneau avec le soleil. [26]. C'est ce type de suiveur solaire qu'on a construit dans notre mémoire.

**d. Suiveur solaire actif :**

Les trackers solaires actifs utilisent le principe de détection de la lumière le long de la trajectoire du soleil et tentent en même temps d'optimiser au maximum l'angle d'incidence du rayonnement solaire sur la surface. Il existe deux types de ce groupe : les suiveurs unis axiaux et biaxiaux. Ce dernier a un avantage sur les trackers passifs en ce sens qu'il a une meilleure précision de suivi et ne nécessite pas d'intervention manuelle pour s'ajuster. [25]

**e. Suiveur solaire passif :**

Le premier type de tracker passif se compose de deux structures.

Des tubes en cuivre ont été installés sur les côtés est et ouest du générateur photovoltaïque. Un tube en cuivre (encerclé sur la Fig. 2.13) est rempli d'un liquide. Produits chimiques qui peuvent s'évaporer à basse température. En fait quand Lorsqu'elle est exposée au soleil, la température de la plaque augmente, Le composé dans le tube de cuivre s'évapore. La partie gazeuse du composé Il occupe un volume interne plus important et la partie liquide se déplace latéralement. Ombragé.

Ce processus de transfert global équilibre le générateur photovoltaïque comme suit : Orientez-le vers la lumière du soleil. Adeptes de ce type Aucune alimentation nécessaire pour réorganiser ne la carte. [25]

### **3.4.4 Avantages et inconvénients de suiveurs solaires :**

Tout produit a des avantages et des inconvénients, c'est le cas aussi des suiveurs solaires. En effet, les systèmes de suivi solaires sont utilisés pour orienter les capteurs continuellement vers le soleil. Ainsi, ces derniers sont plus exposés au soleil que les capteurs fixes. Ils peuvent aider à minimiser l'investissement en augmentant le rendement des capteurs qui peuvent fonctionner même en présence des nuages. Cependant, en cas de pannes du suiveur, l'intervention est difficile ou délicate. Les progrès de la technologie et de la fiabilité des composants électroniques et mécaniques ont considérablement réduit les problèmes de maintenance à long terme des suiveurs solaires. Les systèmes de suivi sont légèrement plus chers que leurs homologues fixes, en raison de la technologie plus complexe et des pièces mobiles nécessaires à leur fonctionnement. Les suiveurs solaires sont généralement conçus pour les climats avec peu ou pas de neige, ce qui en fait une solution plus viable dans les climats plus chauds. Le rayonnement fixe s'adapte plus facilement aux conditions environnementales difficiles que les systèmes de suivi. En effet, pour des raisons de sécurité, les panneaux solaires doivent être parallèles au sol lors de vents forts.

## **4. Conclusion :**

Ce chapitre commence par un schéma de principe général du domaine photovoltaïque. Après avoir examiné les principes et les bases du fonctionnement des cellules solaires et les différentes techniques dans ce domaine, nous avons commencé la partie sur les changements périodiques du rayonnement solaire abordée dans le chapitre précédent. Ainsi, nous avons constaté que la trajectoire du soleil dans le ciel et les différents angles qu'il prend sont très importants lors de l'étude de la conversion de cette source en d'autres formes d'énergie utile.

Ensuite, nous avons consacré une grande partie au sujet principal de notre mémoire, la technologie de poursuite solaire. En l'identifiant, nous pouvons voir les débuts de ses bases et les utiliser avant de passer à d'autres méthodes de suivi du soleil.

# **Chapitre 03**

## **Introduction sur l'Arduino**

## 1. Introduction :

L'électronique numérique dans notre vie contemporaine est l'essence qui met en œuvre les fonctions de nombreux appareils et systèmes que nous utilisons quotidiennement dans nos maisons, dans notre travail et dans divers domaines. Arduino est une plate-forme de prototypage d'objets interactifs à usage créatif constituée d'une carte électronique et d'un environnement de programmation.

Arduino a plusieurs fonctions et avantages que ces fonctions peuvent être déterminées par vous grâce à la programmation. Ce chapitre est consacré aux principes généraux d'un microcontrôleur, la plate-forme de prototypage. Et connaître les principaux composants (unité centrale, mémoires, ports) et savoir à quoi ils servent. Ainsi nous allons donner des généralités sur la famille des cartes Arduino les plus couramment utilisées.

## 2. Qu'est-ce qu'un Arduino ?

Arduino est une plate-forme open source utilisée pour la construction de projets électroniques. Arduino se compose à la fois d'une carte de circuit imprimé physique programmable (souvent appelée microcontrôleur) et d'un logiciel, ou IDE (environnement de développement intégré) qui s'exécute sur votre ordinateur, utilisé pour écrire et télécharger du code informatique sur la carte physique.

La plate-forme Arduino est devenue très populaire auprès des personnes débutant en électronique, et pour cause. Contrairement à la plupart des cartes de circuits imprimés programmables précédentes, l'Arduino n'a pas besoin d'un matériel séparé (appelé programmeur) pour charger un nouveau code sur la carte - vous pouvez simplement utiliser un câble USB. De plus, l'IDE Arduino utilise une version simplifiée de C++, ce qui facilite l'apprentissage de la programmation. Enfin, Arduino fournit un facteur de forme standard qui répartit les fonctions du microcontrôleur dans un package plus accessible.

## 3. A quoi sert-il ?

Le matériel et le logiciel Arduino ont été conçus pour les artistes, les concepteurs, les amateurs, les hackers+9, les débutants et toute personne intéressée par la création d'objets ou d'environnements interactifs. Arduino peut interagir avec des boutons, des LED, des moteurs, des haut-parleurs, des unités GPS, des caméras, Internet et même votre smartphone ou votre téléviseur ! Cette flexibilité, combinée au fait que le logiciel Arduino est gratuit, que les cartes matérielles sont assez bon marché et que le logiciel et le matériel sont faciles à

apprendre, a conduit à une grande communauté d'utilisateurs qui ont contribué au code et publié des instructions pour une grande variété de Projets basés sur Arduino. [27]

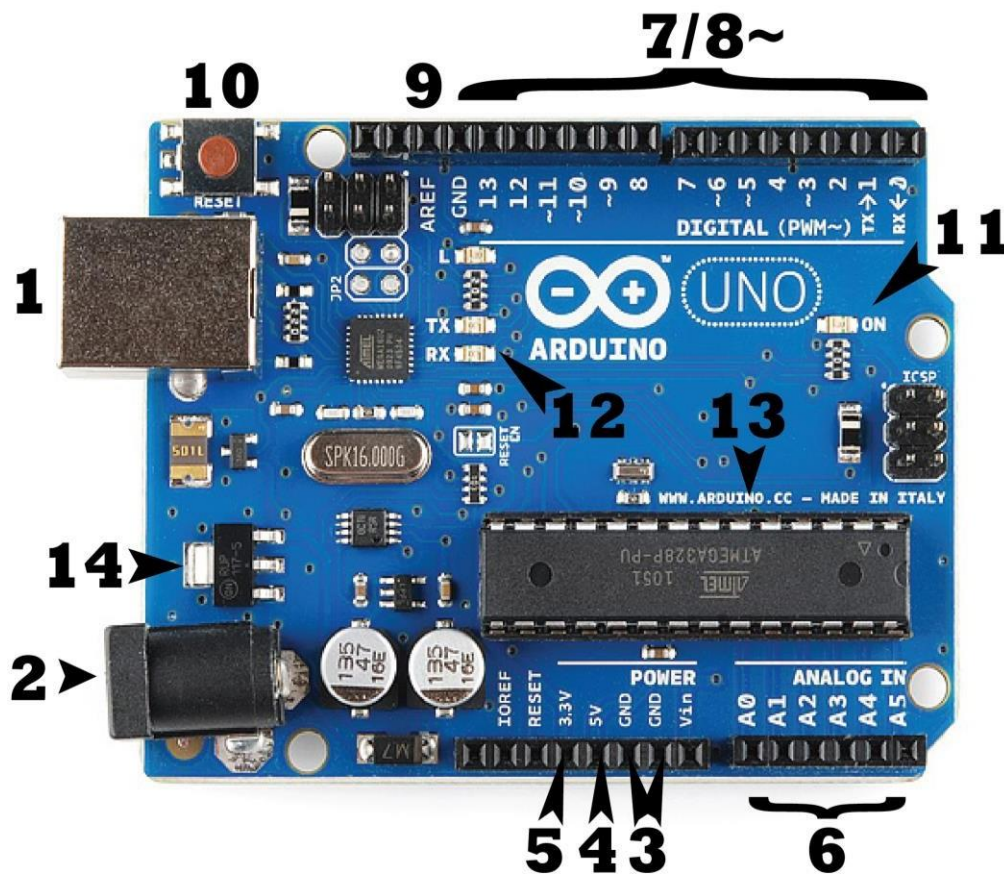


Figure 3.1 - les composants communs à la majorité des cartes Arduino.

#### 4. Qu'y a-t-il sur la carte ?

Il existe de nombreuses variétés de cartes Arduino qui peuvent être utilisées à des fins différentes. Certaines cartes semblent un peu différentes, mais la plupart des Arduino ont la majorité de ces composants en commun.

#### **4.1 Alimentation (USB/ Barrel Jack) [27] :**

Chaque carte Arduino a besoin d'un moyen d'être connectée à une source d'alimentation. L'Arduino UNO peut être alimenté à partir d'un câble USB provenant de l'ordinateur ou d'une alimentation murale (comme celle-ci) qui se termine par une prise cylindrique. Dans l'image ci-dessus, la connexion USB est étiquetée (1) et la prise cylindrique est étiquetée (2). La connexion USB est également permet de charger le code sur la carte Arduino. [27]

#### **4.2 Broches (5 V, 3,3 V, GND, analogique, numérique, PWM, AREF) :**

Les broches de la carte Arduino sont les endroits où vous connectez des fils pour construire un circuit (probablement en conjonction avec une planche à pain et du fil. Ils ont généralement des "en-têtes" en plastique noir qui vous permettent de brancher un fil directement sur la carte. A plusieurs types de broches, chacune étant étiquetée sur la carte et utilisée pour différentes fonctions. [27]

**4.3 GND (3) :** Abréviation de « Terre ». Il y a plusieurs broches GND sur l'Arduino, chacune pouvant être utilisée pour mettre à la terre notre circuit. [26]

**4.4 5V (4) et 3,3V (5) :** la broche 5V fournit 5 volts d'alimentation et la broche 3,3V fournit 3,3 volts d'alimentation. La plupart des composants simples utilisés avec l'Arduino fonctionnent avec 5 ou 3,3 volts. [27]

**4.5 Analogique (6) :** la zone des broches sous l'étiquette "Analog In" (A0 à A5 sur l'UNO) sont des broches d'entrée analogique. Ces broches peuvent lire le signal d'un capteur analogique (comme un capteur de température) et le convertir en une valeur numérique que nous pouvons lire. [27]

**4.6 Numérique (7) :** en face des broches analogiques se trouvent les broches numériques (0 à 13 sur l'UNO). Ces broches peuvent être utilisées à la fois pour l'entrée numérique (comme dire si un bouton est enfoncé) et pour la sortie numérique (comme alimenter une LED). [27]

**4.7 PWM (8) :** nous pouvons remarquer le tilde (~) à côté de certaines des broches numériques (3, 5, 6, 9, 10 et 11 sur l'UNO). Ces broches agissent comme des broches numériques normales, mais peuvent également être utilisées pour quelque chose appelé modulation de largeur d'impulsion (PWM). [27]

**4.8 AREF (9)** : signifie référence analogique. La plupart du temps, on peut laisser cette épingle seule. Il est parfois utilisé pour définir une tension de référence externe (entre 0 et 5 volts) comme limite supérieure pour les broches d'entrée analogiques. [27]

### **4.9 Bouton de réinitialisation (Reset) :**

Tout comme la Nintendo d'origine, l'Arduino a un bouton de réinitialisation (10). Le pousser connectera temporairement la broche de réinitialisation à la terre et redémarrera tout code chargé sur l'Arduino. Cela peut être très utile si notre code ne se répète pas, mais que vous souhaitez le tester plusieurs fois. Contrairement à la Nintendo d'origine, souffler sur l'Arduino ne résout généralement aucun problème. [27]

### **4.10 Témoin d'alimentation (Index)**

Juste en dessous et à droite du mot "UNO" sur votre circuit imprimé, il y a une petite LED à côté du mot "ON" (11). Cette LED doit s'allumer chaque fois que vous branchez votre Arduino sur une source d'alimentation. Si ce voyant ne s'allume pas, il y a de fortes chances que quelque chose ne va pas. Il est temps de vérifier votre circuit. [27]

### **4.11 LED TX-RX**

TX est l'abréviation de transmission, RX est l'abréviation de réception. Ces marquages apparaissent assez souvent en électronique pour indiquer les broches responsables de la communication série. Dans notre cas, il y a deux endroits sur l'Arduino UNO où TX et RX apparaissent - une fois par les broches numériques 0 et 1, et une seconde fois à côté des LED indicatrices TX et RX (12). Ces LED nous donneront de belles indications visuelles chaque fois que notre Arduino reçoit ou transmet des données (comme lorsque nous chargeons un nouveau programme sur la carte). [27]

### **4.12 CI principal**

La chose noire avec toutes les pattes métalliques est un circuit intégré, ou circuit intégré (13). Considérez-le comme le cerveau de notre Arduino. Le circuit intégré principal de l'Arduino est légèrement différent d'un type de carte à l'autre, mais provient généralement de la gamme ATmega de circuits intégrés de la société ATMEL. Cela peut être important, car vous devrez peut-être connaître le type de CI (ainsi que votre type de carte) avant de charger un nouveau programme à partir du logiciel Arduino. Ces informations peuvent généralement être trouvées par écrit sur la face supérieure du CI. Si vous voulez en savoir plus sur la différence entre les différents circuits intégrés, la lecture des fiches techniques est souvent une bonne idée. [27]

### 4.13 Régulateur de tension

Le régulateur de tension (14) n'est pas réellement quelque chose avec lequel vous pouvez (ou devriez) interagir sur l'Arduino. Mais il est potentiellement utile de savoir qu'il est là et à quoi il sert. Le régulateur de tension fait exactement ce qu'il dit - il contrôle la quantité de tension qui est laissée dans la carte Arduino. Considérez-le comme une sorte de gardien ; il détournera une tension supplémentaire qui pourrait endommager le circuit. Bien sûr, il a ses limites, alors ne branchez pas votre Arduino à une tension supérieure à 20 volts. [27]

### 5. La famille Arduino :

Dans ce chapitre, nous mentionnerons les cartes les plus couramment utilisées. Dans la figure suivante, vous pouvez voir quatre cartes Arduino créées par l'équipe Arduino.

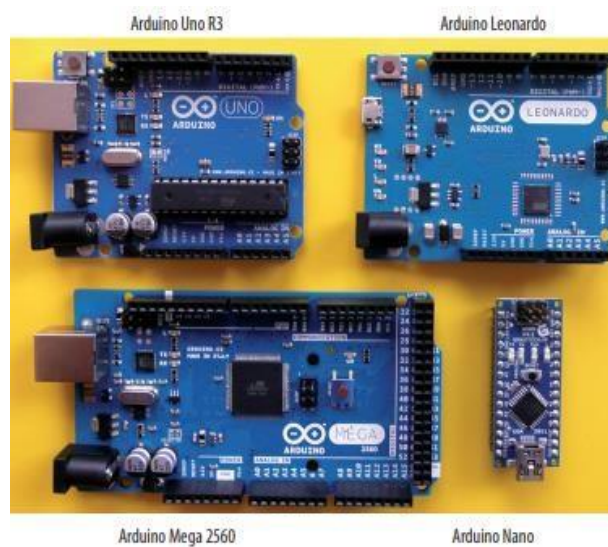


Figure 3.2 - la famille Arduino (les plus utilisée)

### 5.1 Caractéristique d'Arduino Uno :

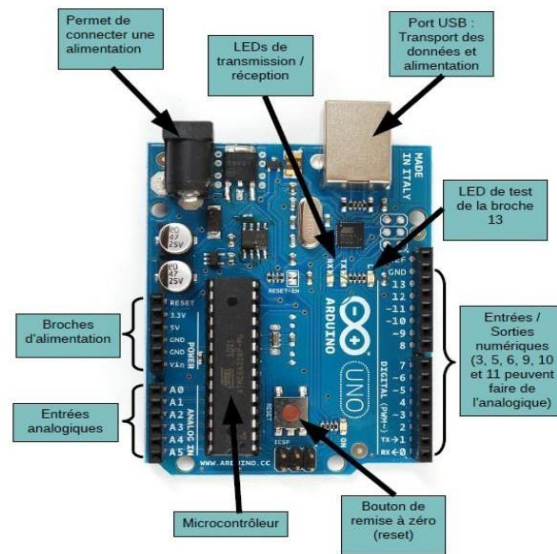


Figure 3.3 - Caractéristique d'Arduino Uno

### 5.2 Caractéristique d'Arduino Nano :

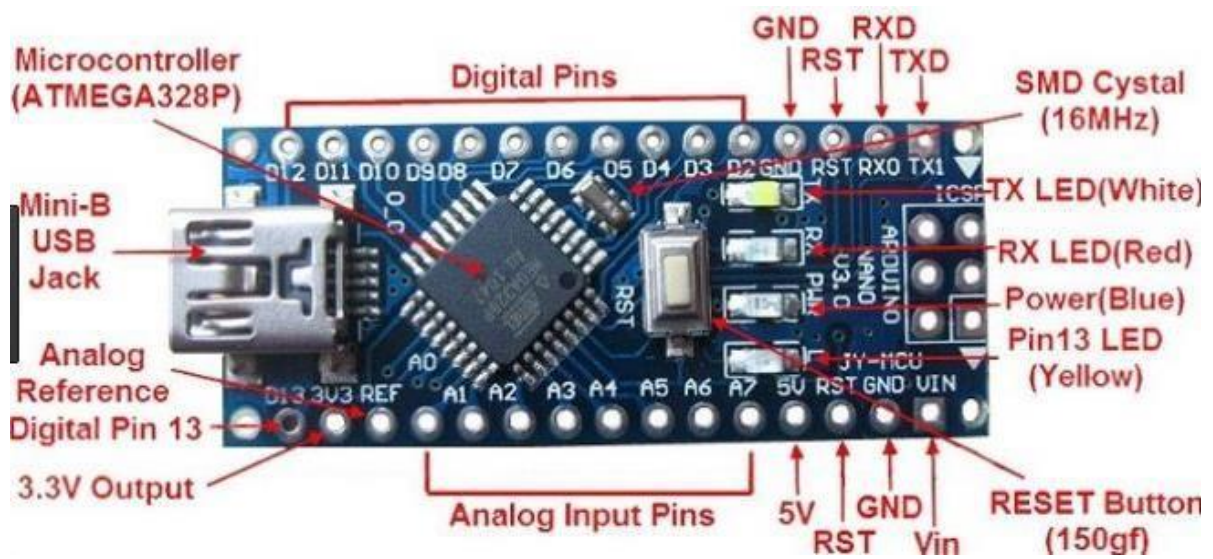


Figure 3.4 - Caractéristiques d'Arduino Nano

### 5.3 Caractéristique d'Arduino Mega :

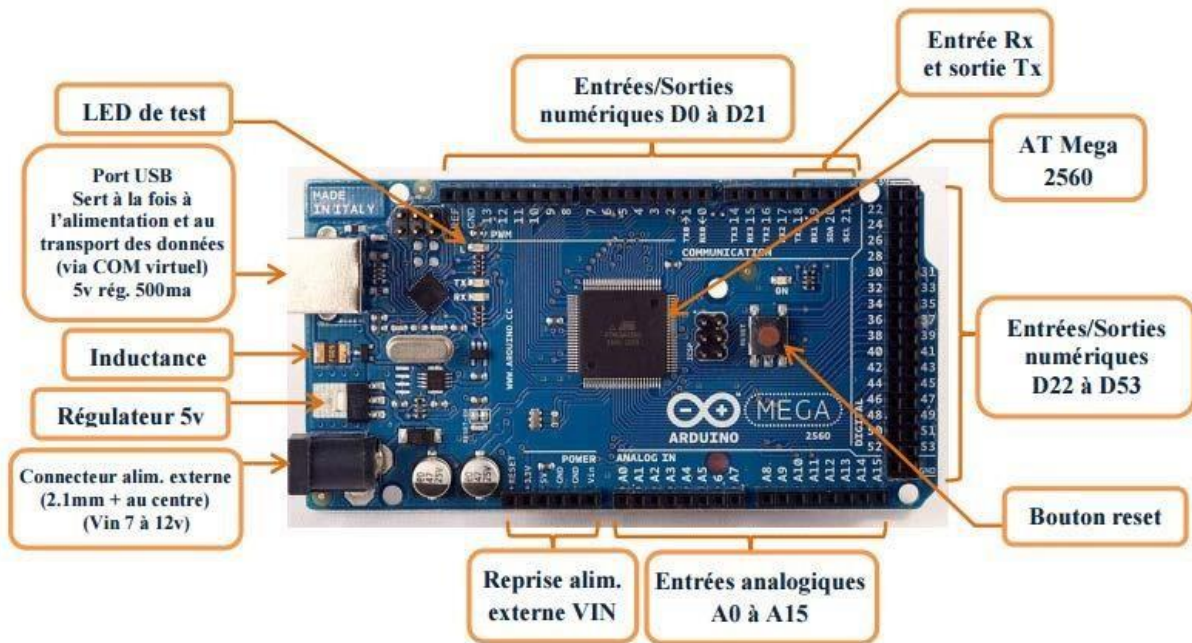


Figure 3.5 - Caractéristique d'Arduino Mega

### 5.4 Caractéristiques d'Arduino Leonardo :

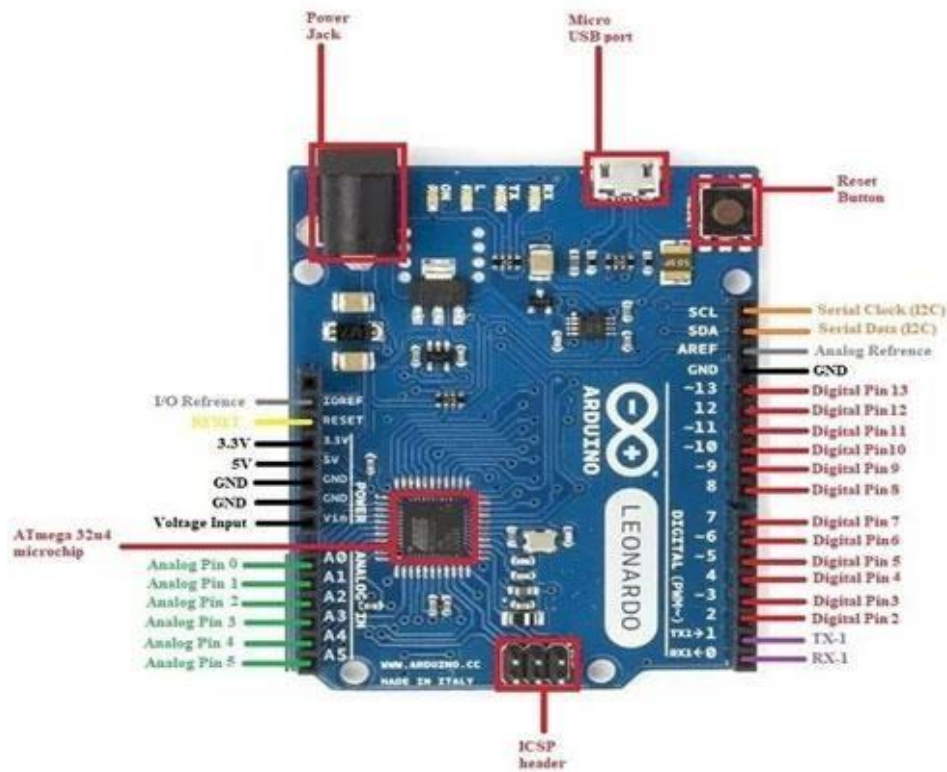


Figure3.6 - Caractéristiques d'Arduino Leonardo

Et il y a autre carte comme Arduino LilyPad et Arduino Yun

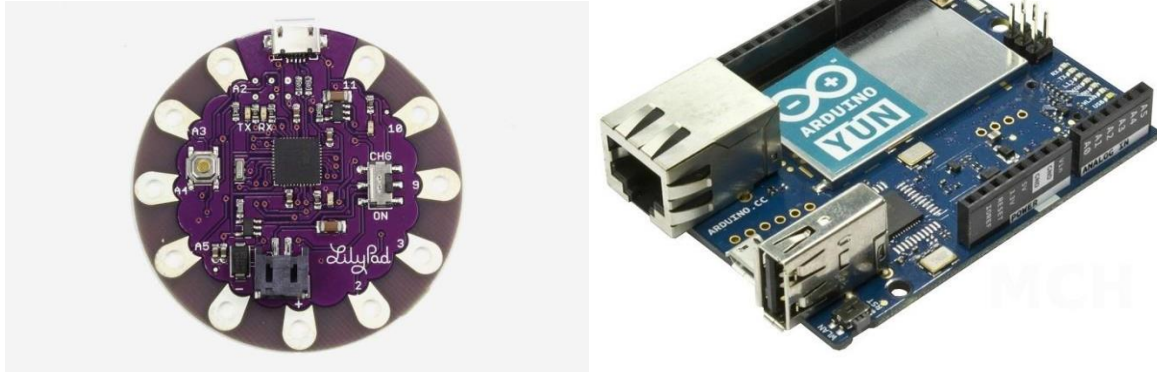


Figure 3.7 - Arduino LilyPad et Arduino Yun

5.5 Différence entre les cartes Arduino :

Carte Arduino	Processeur	Mémoire Flash (Kb)	E / S numériques	E / S analogiques	Alimentation (V)
Uno	ATmega328P	32	14	6	5
Nano	ATmega328P	32	14	8	5
Leonardo	ATmega32U4	32	54	12	5
Mega	ATmega2560	256	20	16	5

Tableau 3.1 – différence entre les cartes Arduino

Carte Arduino	Prix (Euro)	Dimension (mm)	Connexion
Uno	19.44	69*54	USB A/B
Nano	21	45*18	USB micro
Leonardo	19.90	68.6*53	USB A/B
Mega	35.94	101*53	USB A/B

Tableau 3.2 – différence entre les cartes Arduino

## 6. Comment programmer une carte Arduino ?

### 6.1 Langage de programmation :

Pour la programmation du microcontrôleur Arduino il est nécessaire de maîtriser le langage C/C++. La programmation des cartes Arduino se fait par un logiciel appelé ARDUINO IDE.

### 6.2 Arduino ide :

IDE (Integrated Development Environment), c'est une plateforme ou environnement de développement, cette plateforme est le moyen pour entrer directement en contact avec la carte.

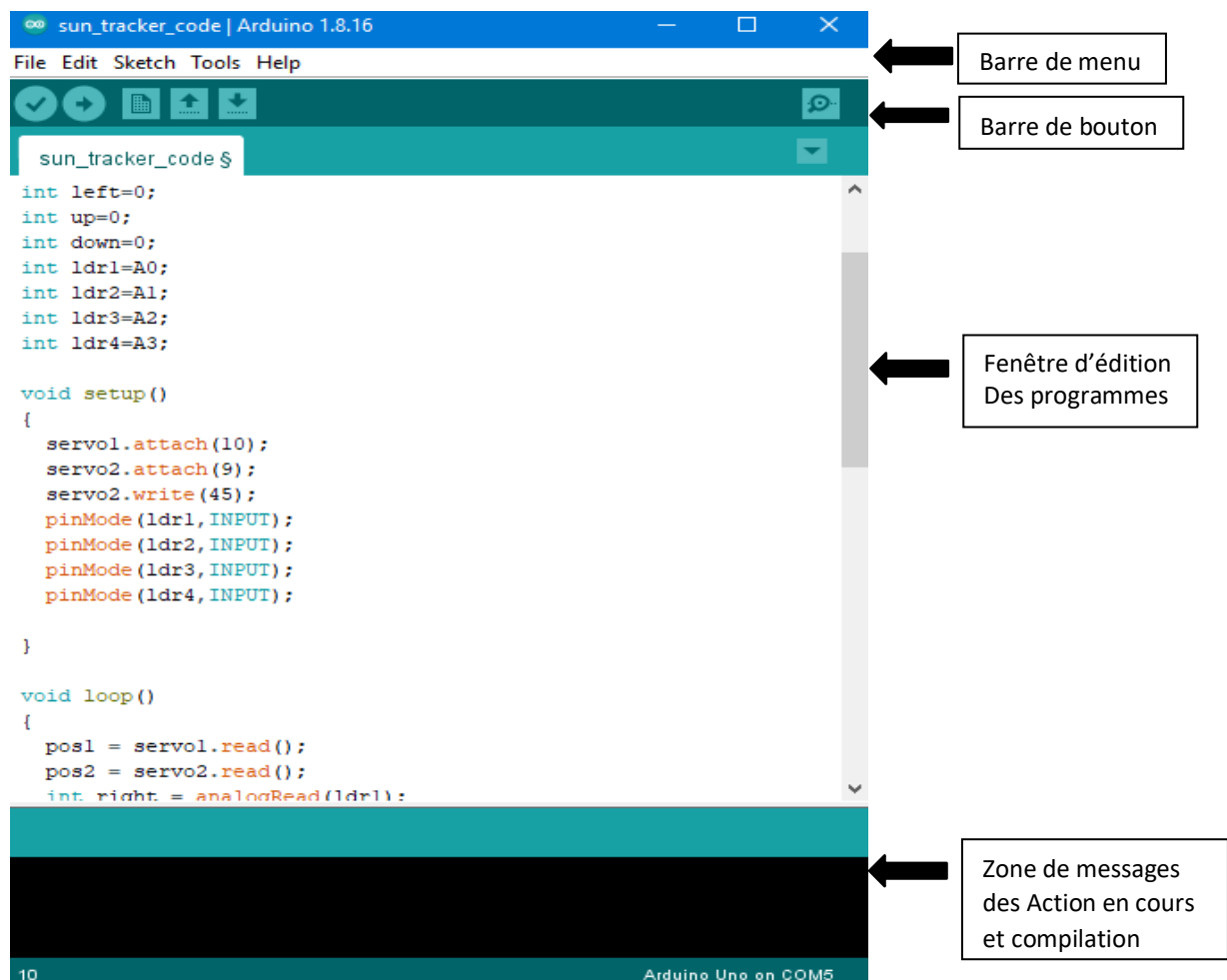





Figure 3.8 - Integrated Development Environment

### 6.3 Structure d'un programme :

<b>en-tête déclarative</b>	<b>Fichier d'inclusion</b> <b>déclaration des constantes</b> <b>declaration des variables globales</b>	
<b>fonction setup</b>	<b>configuration initiale</b> <b>declaration des variables locales</b> <b>configuration des pattes</b> <b>initialisation des variables</b> <b>initialisation des fonctionnalités</b>	
<b>fonction loop</b>	<b>instruction exécutées</b> <b>en boucle sans fin</b>	

### 7. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons fourni des informations générales sur la famille Arduino et leurs fonctionnalités, nous avons présenté la plate-forme de développement Arduino IDE pour la programmation de la carte Arduino.

# **CHAPITRE 4**

## **REALISATION PRATIQUE DU SUIVEUR DE SOLEIL**

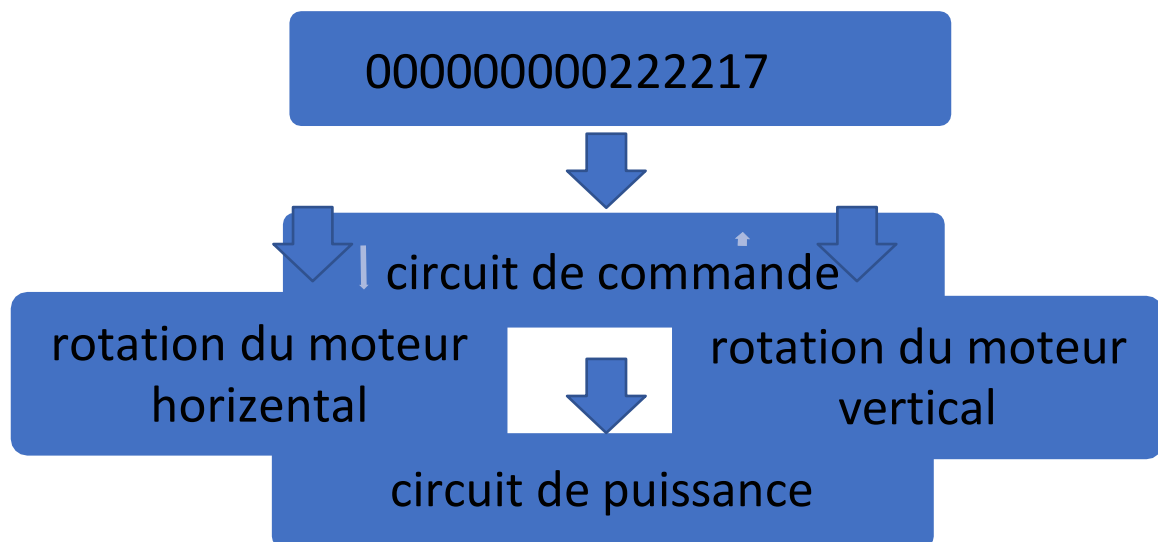
## 1. Introduction :

Une carte électronique est l'ensemble de composants qui sont assemblés sur une plaque électrique pour former un circuit pouvant accomplir une ou plusieurs fonctions.

Dans ce chapitre, nous aborderons l'étude de ce dispositif d'un point de vue appliqué, sur la base des informations fournies dans les chapitres précédents, où nous expliquerons la fonction de chaque composant électronique existant dans ce projet, qui est de « Suiveur Solaire Bi-axial à Base de capteurs de lumière ».

## 2. Schéma Synoptique :

Ce système s'était utilisé par des capteurs photovoltaïques et d'envoyer ces tensions de la Arduino. Elles s'étaient converties en valeur en tant que la commande des deux moteurs afin de rétablir la position d'équilibre entre les capteurs pour un rendement plus efficace.



**Figure 4.1 - Schéma synoptique présente le principe de travail**

### 3. Différent bloc de système :

#### 3.1 Les capteurs de lumière (LDR) :

La photorésistance est un dipôle dont la résistance dépend de la lumière qu'il reçoit. La partie sensible du capteur est une piste de sulfure de cadmium en forme de serpent : l'énergie lumineuse déclenche une augmentation de porteurs libres dans ce matériau, de sorte que sa résistance électrique diminue a priori. [28].

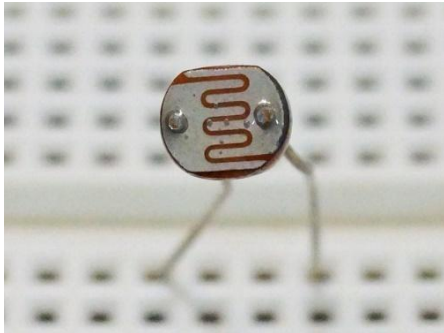
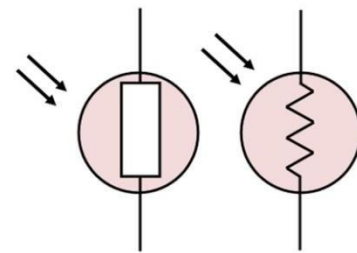


Figure 4.2 - Photorésistance LDR



Learn Electronics with me

Figure 4.3 - Symbole du capteur LDR

La tension délivrée par le capteur est donnée par la relation :

Avec :

$V_B$  : tension de batterie (en V)

$R_{LDR}$  :

LDR (en  $\Omega$ )

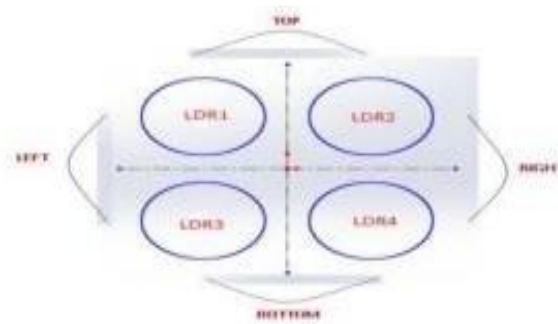


Figure 4.4 - Schéma des quatre capteurs LDR

### 3.2. Le circuit de commande

Le circuit de commande de notre système est basé à un circuit programmable dit Arduino.

#### 3.2.1. La carte Arduino Uno:

L'Arduino UNO est une carte microcontrôleur basée sur le ATmega328. Elle est dotée de 14 broches Entrées/Sorties numériques dont 6 en PWM et 6 configurables en entrées analogiques, d'un oscillateur à quartz 16 MHz, d'une connexion USB, d'un jack d'alimentation, d'un support ICSP et d'un bouton reset. La carte Arduino UNO est livrée prête à fonctionner, il suffit de la connecter à un ordinateur par le câble USB et de l'alimenter à l'aide d'un adaptateur USB ou de piles [29].

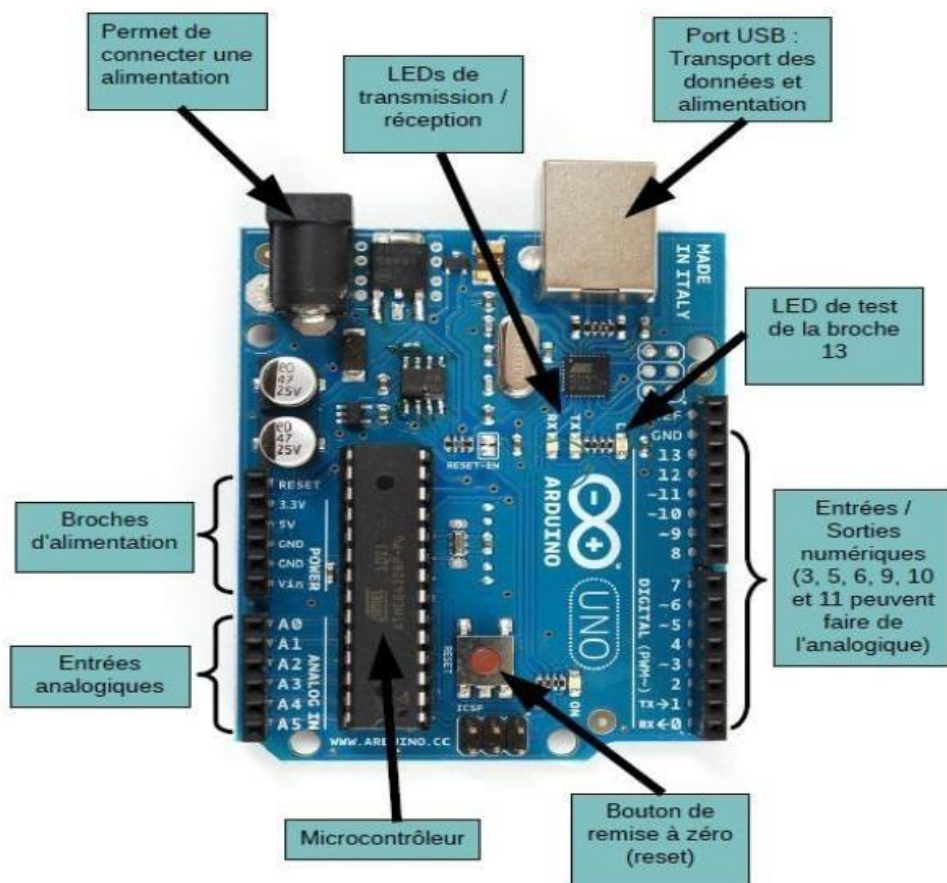


Figure 4.5 - La carte Arduino Uno

### 3.2.2 Câble USB :

Pour alimenter la carte Arduino et sa connexion avec l'ordinateur nous utilisons un câble USB, ce dernier permet à tous les deux de faire tourner le projet Arduino à programmer carte (via Arduino IDE) mais aussi pour utiliser Serial Monitor.



**Figure 4.6 - Cable USB type A/B (Arduino UNO)**

### 3.2.3. Fils de Pin d'Arduino :

C'est un appareil qui permet de réaliser un prototype du circuit électronique, il est utilisé dans la plupart des expériences Arduino, parmi lesquelles il sert à connecter ce dernier et à le connecter avec d'autres parties. Et aussi dans le but de tester.



**Figure 4.7 - Fils de Pin d'Arduino**

### 3.3 Circuit de puissance :

#### 3.3.1 Les moteurs à courant continu 'SG90' :

Un servomoteur est un système qui vise à produire un mouvement précis en réponse à une commande externe. C'est un actionneur (système produisant une action) qui mélange l'électronique, la mécanique et l'automatique. Il est composé d'un moteur à courant continu avec deux caractéristiques spéciales : au lieu d'avoir une rotation constante, il est asservi en position.



Figure 4.8 - micro servomoteur à 360 degrés

#### 3.3.2. Batterie du stockage à 3,7V :

Le rôle d'une batterie est le stockage de la puissance électrique produite par le panneau photovoltaïque. Dans notre projet, nous avons utilisé une batterie 3.7V-1A-2A comme montré dans la figure 4.9.



Figure 4.9 - batterie de stockage 3,7

### 4. Plan de travail :

Après avoir décrit la partie matérielle (hardware) de notre système, nous sommes arrivés à la partie la plus importante de notre travail qui est la conception et la réalisation du système suiveur. Les étapes principales de notre réalisation se décomposent en trois parties principales

#### 4.1 Partie de programmation :

Pour la programmation du microcontrôleur Arduino il est nécessaire de maîtriser le langage C/C++. La programmation des cartes Arduino fait par un logiciel appelé ARDUINO IDE,



```
sun4 | Arduino 1.8.10
Fichier Édition Croquis Outils Aide

}

void loop() {

  int sensorTop = analogRead(A0);
  int sensorBottom = analogRead(A1);
  int sensorLeft = analogRead(A3);
  int sensorRight = analogRead(A2);

  int avgT=(sensorTop+sensorBottom)/2;
  int avgB=(sensorLeft+sensorRight)/2;
  int avgL=(sensorTop+sensorLeft)/2;
  int avgR=(sensorBottom+sensorRight)/2;

  if (avgT > avgB)
  {
    UpDown(sensorTop, sensorBottom);
  }
  if(avgT < avgB)
  {
    UpDown(sensorTop, sensorBottom);
  }
  if(avgL > avgR)
  {
    LeftRight(sensorLeft, sensorRight);
  }
}
```

Erreur durant le téléchargement de [https://downloads.arduino.cc/packages/package\\_index.json](https://downloads.arduino.cc/packages/package_index.json)

**Figure 4.10 – Plateforme Arduino IDE**

## 4.2 Partie de simulation :

La simulation de notre projet a été fait sur logicielle PROTEUS-ISIS qui aide à tester notre schéma et donner les résultats de la simulation, La figure suivante montre notre schéma.

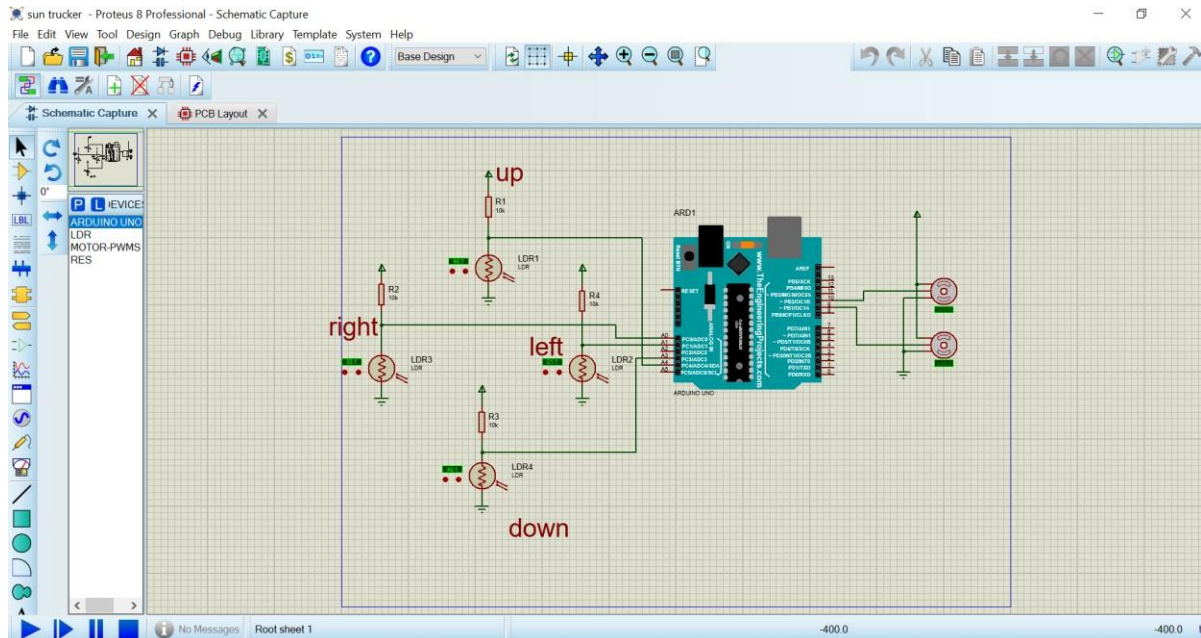


Figure 4.11 - schéma globale sur PROTEUS-ISIS

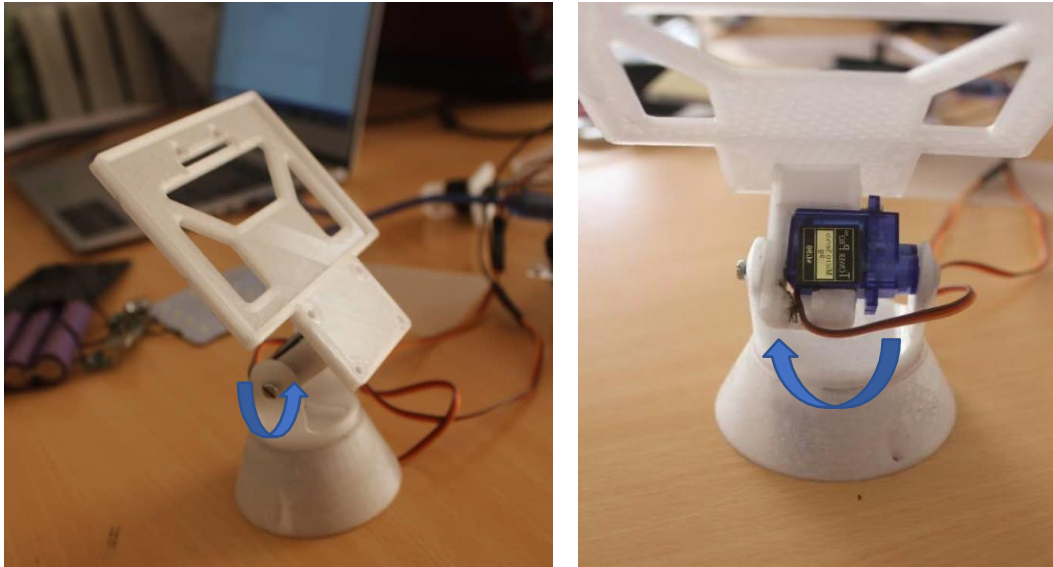
## 4.3 Partie mécanique :

Les rayons provenant directement du soleil doivent avoir un angle d'incidence de  $90^\circ$  pour fournir le maximum d'énergie. Lorsque la normale au plan du panneau est dirigée vers le soleil, l'orientation du panneau est idéale.

### 4.3.1 Types d'orientation :

#### a. Orientation a deux axes :

Pour une rotation à deux axes il faut utilisée deux moteurs. Le premier assure la rotation est /ouest et le deuxième assure la rotation nord /sud. La structure explique dans la figure suivante :



**Figure 4.12 - Orientation a deux axes.**

**b. Descriptions de la structure :**

Notre structure mécanique est composée de deux parties mobiles. Une sur l'axe horizontal pour le mouvement d'élévation du panneau par rapport au soleil, et l'autre sur l'axe vertical pour la variation d'azimut du panneau.

**5. Conclusion :**

Dans cette section, nous avons présenté l'ensemble de composants de notre dispositif conçu, qui permettront d'optimiser les performances d'un panneau PV tout en assurant le bon fonctionnement de ce dernier .

# **CONCLUSION GENERALE**

## Conclusion générale

Ce mémoire présente une étude et réalisation d'un Suiveur Solaire Bi-axial à base de capteurs de lumière (LDR) et à l'aide des composants électroniques programmable gérés par une carte Arduino. Ce mémoire est composé de quatre chapitres principaux :

⊖ Dans le premier chapitre, nous avons présenté des généralités sur le système photovoltaïque et son principe de fonctionnement.

⊖ Le deuxième chapitre présente un aperçu général sur la technique de suiveur de soleil, son principe de fonctionnement et ses types.

Dans le troisième chapitre nous avons donné des généralités sur la carte programmable Arduino et sa famille.

⊖ Dans le quatrième chapitre, nous avons présenté les différents éléments de notre suiveur solaire, le travail pratique du notre suiveur qui décompose de quatre parties ; partie de programmation, partie de simulation, partie mécanique et partie électrique.

Comme futures perspectives, nous envisageons de développer la partie mécanique en remplaçant les moteurs par des vérins hydraulique plus un accès à distance pour le contrôle.

## Bibliographie

- [1] <https://us.search.yahoo.com/search?fr=yhs-invalid&p=introduction+sur+l%27energie+solaire>
- [2] [ÉNERGIES & ENVIRONNEMENT \(univ-batna2.dz\)](#)
- [3] [Tout savoir sur les différentes sources d'énergie | LeLynx.fr](#)
- [4] <https://plum.fr/blog/energie-ecologie/energie-et-environnement/>
- [5] [https://search.yahoo.com/search;\\_ylt=AwrhbegRsXVifzwCqi.JzbfF?p=l%27ffet+de+serre&fr=yhs-invalid&fr2=p%3As%2Cv%3Ai%2Cm%3Apivot&styp=web](https://search.yahoo.com/search;_ylt=AwrhbegRsXVifzwCqi.JzbfF?p=l%27ffet+de+serre&fr=yhs-invalid&fr2=p%3As%2Cv%3Ai%2Cm%3Apivot&styp=web)
- [6] Z.Bouزيد, « Contribution à l'optimisation d'un système de conversion éolien Photovoltaïque : Application pour un site isolé », Thèse de Doctorat, Université Abou-Bekr Belkaid de Tlemcen, 20
- [7] <https://content.meteoblue.com/fr/specifications/sources-des-donnees/mesures/rayonnement>
- [8] [https://www.google.com/search?q=L%E2%80%99%C3%A9lectricit%C3%A9+solaire+thermodynamique+%3A&rlz=1C1SQJL\\_frDZ821DZ840&oq=L%E2%80%99%C3%A9lectricit%C3%A9+solaire+thermodynamique+%3A&aqs=chrome..69i57j0i546l4j69i60l2.10094j0j4&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=L%E2%80%99%C3%A9lectricit%C3%A9+solaire+thermodynamique+%3A&rlz=1C1SQJL_frDZ821DZ840&oq=L%E2%80%99%C3%A9lectricit%C3%A9+solaire+thermodynamique+%3A&aqs=chrome..69i57j0i546l4j69i60l2.10094j0j4&sourceid=chrome&ie=UTF-8)
- [9] [https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie\\_solaire\\_thermique](https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie_solaire_thermique)
- [10] <https://us.search.yahoo.com/search?fr=yhsinvalid&p=%E2%80%99%C3%A9lectricit%C3%A9+solaire+photovolta%C3%AFque%3A>
- [11] « L'électricité solaire, une énergie inépuisable », [docplayer.fr/2006672-Lelectricite-solaire-une-energie-inepuisable.html](http://docplayer.fr/2006672-Lelectricite-solaire-une-energie-inepuisable.html) (dernier accès 20-01- 2018)
- [12] Z.Bouزيد, « Dimensionnement des systèmes photovoltaïques autonomes basé sur le concept d'utilisabilité horaire. Application au sud Algérien », Mémoire de Master, Université Abou-Bekr Belkaid de Tlemcen, 2012.
- [13] A.AitMokran, A.Moussaoui, « Extraction des paramètres d'une cellule photovoltaïque », Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira Bejaia, 2017.
- [14] « les différents types de technologies photovoltaïques », <https://www.planet-energies.com/> (dernier accès 05-04-2018)
- [15] [sfp.in2p3.fr/Debat/debat\\_energie/websfp/jourde.htm](http://sfp.in2p3.fr/Debat/debat_energie/websfp/jourde.htm)
- [16] F.Guessoumi, A.Saadi, « Commande de panneau solaire à l'aide d'une carte à PIC », Mémoire de Master, Université Mohamed Khider Biskra, 2010.
- [17] Z.Bouزيد, « Contribution à l'optimisation d'un système de conversion éolien Photovoltaïque :

## Bibliographie

Application pour un site isolé », Thèse de Doctorat, Université Abou-Bekr Belkaid de Tlemcen, 20

[18] Wikipédia, « Coordonnées géographiques », <https://fr.wikipedia.org/wiki/> (dernier accès 05-04-2018)

[19] M.Hadj Belkacem, « Modélisation et étude expérimentation d'un capteur solaire non vitré et perforé », Mémoire de Master, Université Abou-Bekr-Belkaid de Tlemcen, 2011.

[20] Wikipédia, « Rotation de la Terre », <https://fr.wikipedia.org/wiki/> (dernier accès 05-04-2018)

[21] « Déclinaison solaire : définition », [outilssolaires.com/](http://outilssolaires.com/) (dernier accès 10-04-2018)

[22] W.BELAID. « Analyse des pertes thermiques de l'utilisation des matériaux sélectifs des convertisseurs de l'énergie solaire », Thèse de doctorat, Université Abou-Bekr Belkaid de Tlemcen, 2014

[23] E.Josse, V.Schaller, A.Villeneuve, « Durée des saisons et mouvement du Soleil », Olympiades de physique, Lycée Jean Monnet – Annemasse, 2012.

[24] Wikipédia, « Tracker solaire », <https://fr.wikipedia.org/wiki/> (dernier accès 10-05-2018)

[25] Z.Benmohammadi, « Etude, conception et réalisation d'une commande d'un tracker solaire (suiveur solaire) », Mémoire de Master, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah de Fés, 2014.

[26] <https://learn.sparkfun.com/tutorials/w>

[27] [anarduino/all?fbclid=IwAR0N8eUV4i39Dowdsh27kVgeHCJt8xZ01c-Fx3qB8E1c3gEyjcn8p6\\_RlpM](https://anarduino.com/all?fbclid=IwAR0N8eUV4i39Dowdsh27kVgeHCJt8xZ01c-Fx3qB8E1c3gEyjcn8p6_RlpM)

[27]. Malik, Boukhalfa, and C. H. A. B. A. N. E. Yanis. Utilisation d'un capteur de température et de lumière pour un émulateur photovoltaïque. Diss. Université Mouloud Mammeri, 2018.

[28] <http://www.gotronic.fr/art-carte-arduino-uno-12420.htm>. le 02/05/2016 -14:43

## Résumé

Parmi les sources d'énergie à développer, l'énergie solaire. Afin d'augmenter sa production en énergie électrique, un système photovoltaïque doit donc être muni d'un suiveur solaire

Dans ce travail, nous avons fait une étude pour réaliser un prototype pilote et pratique dans le domaine du contrôle d'un suiveur du rayonnement solaire à travers une carte "Arduino UNO" pour obtenir la valeur maximale de la puissance produite.

### ملخص

من بين مصادر الطاقة التي سيتم تطويرها ، الطاقة الشمسية . من أجل زيادة إنتاج الطاقة الكهربائية ، يجب أن يكون النظام الكهروضوئي مزودًا بجهاز تعقب للطاقة الشمسية .

في هذا العمل قمنا بعمل دراسة لتصميم نموذج أولي عملي في مجال التحكم في متعقب الإشعاع الشمسي من خلال لوحة " Arduino UNO " للحصول على أقصى قيمة . للطاقة المنتجة .