République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Yahia Farés Médéa Faculté
de la technologie Département de Génie
mécanique

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Electromécanique

Spécialité : Mécatronique

Réalisation d'un concentrateur solaire cylindro-parabolique de suivi automatique à base d'un microcontrôleur.

Présenté par

Mr. BENYAHIA MOHAMED

Mr. GHERIBI MAHDI

Proposé et dirigé par

Dr. N. OULD CHERCHALI

Dr. AHMED BENREKIA

Juin 2023

Remerciements

En remercie Dieu Le Tout-Puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Tout d'abord ce travail ne sera pas aussi riche sans l'encadrement de Monsieur **OULD CHERCHALI**, Monsieur **BENREKIA** on les remercie pour la qualité de leur encadrement.

Nos remerciements s'adressent également à tous nos professeurs pour leur générosité et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles.

Nous tenons à remercier également tous ceux qui nous ont aidés de près et de loin pour l'élaboration de ce mémoire.

À tous ceux dont le soutien nous a été utile et nécessaire nous disons : merci.

Dédicace

Je dédie ce travail :

À ma chère mère KANZA.

Qui n'ont jamais cessé, de formuler des prières à mon égard deme soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

À mes frères : Mohamed - ABDELKADER –

ANESS et ABDELRAHIM et le petit ADEM.

À mes sœurs : LOUBNA – IKRAM.

Pour se soutien moral et leurs conseils précieux tout au longde mes études

.

À mon binôme : MAHDI.

A mes chères amies : HIBA - RIEDH- AYMEN - MOHAMED RAYEN.

Pour leur support dans les moments difficiles.

À toute ma famille.

Dédicace

Je dédie ce travail :

À ma chère grand-mère : FADHILA.

À ma chère mère ASSIA, à mon cher père NACER.

Qui n'ont jamais cessé, de formuler des prières à mon égard deme soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

A MON FRERE YACINE

Pour se soutien moral et leurs conseils précieux tout au longde mes études.

À mon binôme : MOHAMED.

A mes chères amies : ZAKARIA - LAKJDER – YOUNES et OUSSAMA

, ABDELLAH ET La petite fille BASMA

Pour leur support dans les moments difficiles.

MERCI POUR VOTRE SUPPOT

ملخص

في هذا العمل، صممنا ونفذنا نظام تركيز شمسي باستخدام مركز أسطواني مكافئ. كان الهدف الرئيسي لهذا النظام هو التقاط ضوء الشمس وتركيزه بكفاءة للاستخدام في المستقبل، مثل إنتاج الماء الساخن.

يعتمد مشروعنا على مبدأ تدوير عاكس الشمس الأسطواني المكافئ كدالة لحركة الشمس على مدار اليوم، بناءً على معادلات المجال الشمسي، لعكس أشعة الشمس على المجمعات التي نستخدمها (مقاوم خفيف، الخلايا الكهروضوئية، الساعة في الوقت الفعلي) باستخدام بطاقة اردوينو

الكلمات الدالة: جهاز تعقب شمسي أحادي المحور ، RTC ، مكثف شمسي ، اسطوانة مكافئ ، اردوينو

Résumé

Dans Ce travail, nous avons conçu et mis en œuvre un système de concentration solaire utilisant un concentrateur cylindro-parabolique. L'objectif principal de ce système était de capturer et de concentrer efficacement la lumière solaire pour une utilisation ultérieure, telle que la production de l’eau chaude.

Notre projet est basésur le principe de la rotation du réflecteur solaire cylindro-parabolique en fonction du mouvement du soleil toutau long de la journée, basé sur les équations du gisement solaire, pour réfléchir les rayons du soleil sur les capteurs que nous utilisant (LDR, cellule photovoltaïque, RTC) en utilisant une carte Arduino.

Mots clés : suiveur solaire un axe , RTC , concentrateur solaire , cylindro parabolique ,Arduino

Abstract

In this work, we designed and implemented a solar concentration system using a cylinder-parabolic concentrator. The main objective of this system was to capture and efficiently concentrate sunlight for future use, such as hot water production.

Our project is based on the principle of rotating the solar reflector cylinder-parabolic as a function of the movement of the sun throughout the day, based on the equations of the solar field, to reflect the sun’s rays on the sensors that we using (**LDR, photovoltaic cell**, **RTC**) using an Arduino card module.

key words: one axis solar tracker, RTC, solar concentration , cylinder-parabolic ,Arduino

Sommaire

Introduction Générale

Chapitre I : généralités sur les systèmes solaires a concentration et état de l'art

I.1 Introduction 2

I.2 Gisement solaire 2

I.2.1 Le Soleil : une source inépuisable d'énergie.....2

I.2.2 Caractéristiques principales du soleil 3

I.2.3 L'énergie solaire. 3

I.2.3.a. Le solaire photovoltaïque.....3

I.2.3.b. Le solaire thermique. 3

I.2.4 Les formes d'énergie solaire. 4

I.2.4.a Le solaire passif 4

I.2.4.b Le solaire actif. 4

I.3 Solaire thermique. 5

I.3.1 Les collecteurs thermique. 5

I.3.1.a Potentiel solaire en Algérie 5

I.3.2 Calcul de la position du soleil 6

I.3.2.a Coordonnées géographiques.....6

I.3.2.b Coordonnées horaires 7

I.3.2.c Coordonnées horizontales 8

I.4. Rayonnement solaire. 9

I.4.1. Rayonnement direct 9

I.4.2. Rayonnement solaire diffus 9

I.4.3. Rayonnement réfléchir 9

I.5. Les types des capteurs solaires à concentration 10

I.5.1. Le concentrateur parabolique. 10

I.5.2. Les centrales à tour 10

I.5.3. Les centrales linéaires Fresnel ….....10

I.5.4. Le capteur solaire cylindro-parabolique 10

I.5.4.1 Principe de fonctionnement d'un concentrateur cylindro-parabolique.....12

I.6. Conclusion 13

Chapitre II : étude et conception de la partie mécanique

II.1 Introduction.....14

II.2 Étude thermique d'un capteur cylindro parabolique 14

II.2.1. Le champ solaire. 14

II.2.2. Le collecteur 14

II.2.3. Montage d'un capteur cylindro-parabolique 15

II.2.4. Technologie à capteur cylindro-parabolique 16

II.2.5. Les composent d'un concentrateur cylindro-parabolique 16

II.2.5.1. Réflecteur.....16

II.2.5.2. Les paramètres géométriques.....17

II.2.5.3. Le récepteur (absorbeur). 21

II.2.5.4. Le système optique d'une surface parabolique ….....23

II.2.5.5. Dimension du récepteur 23

II.2.5.6. Température de l'ouverture du récepteur.....24

II.3. Conception mécanique d'un concentrateur cylindo parabolique 25

II.3. Conclusion 25

Chapitre III : étude de la partie électrique

III.1 Introduction.....26

III.2 Etude des différents blocs.....26

III.2.1 Le bloc commande 26

III.2.1.a Le circuit Arduino.....26

III 2.1.a.1 Le microcontrôleur 26

III 2.1.a.2 Les caractéristiques de l'A Tmega328P 27

III.2.1.a.3 Configuration des broches ATMega328.....27

III.3.1.b CARTE ARDUINO NANO.....28

III.3.1.b.1 Caractéristiques 28

III.3.1.b.2 Alimentation électrique 29
III.3.2 Le bloc puissance 30
III.3.2.a Le servomoteur 30
III.3.2.a.1 Définition.....30
III.3.2.a.2 Les composants d'un servomoteur 31
III.3.2.b Capteur LDR.....32
III.3.2.b.1 Principe de fonctionnement.....33
III.3.2.c L'horloge en temps réel 34
III.3.2.c.1 Définition 34
III.3.2.c.2 Description des broches du DS3231.....34
III.3.2.c.3 Les caractéristiques du DS3231 35
III.3.2.d L'environnement de la programmation.....35
III.3.2.E cellule photovoltaïque.....36
III.3.2.E.1 Le principe de fonctionnement 37
III.4 Conclusion.....37

Chapitre IV : réalisation d'un concentrateur cylindo parabolique

IV.1 Introduction 38
IV.2 Cahier de charge.....38
IV.3 Partie mécanique 38
IV.3.1 Réalisation du réflecteur.....38
IV.3.2 Absorbeur.....39
IV.3.3 La Base 40
IV.3.4 montages de servo moteur en réflecteur solaire 41
IV.4 les méthodes de travail 42
IV.4.1 La premier méthode (avec deux capteur LDR) 42
IV.4.1.a Partie programmation.....43
IV.4.1.b Partie électrique/électronique 45
IV.4.1.C Montage réale avec LDR.....46
IV.4.2 La deuxième méthode (avec cellule photovoltaïque).....46
IV.4.2.a Partie programmation.....47

IV.4.2.b Partie électrique/électronique 48

IV.4.2.C Montage réale avec cellules photovoltaïques.....48

IV.4.3 La troisième méthode (RTC) 49

IV.4.3.a Partie programmation 50

IV.4.2.b Partie électrique/électronique 50

IV.4.3.C Montage réale avec RTC.....51

IV.5. Etude comparative 52

IV.6. Conclusion.....53

Conclusion générale 54

Bibliographie.

Liste de figures

Chapitre I : généralités sur les systèmes solaires a concentration et état de l'art

Figure I.1: L'utilisation directe de l'énergie solaire 4

Figure I.2 : L'irradiation globale reçue sur une surface horizontale [Wh/m²]. 5

Figure I.3 : Coordonnées terrestres 6

Figure I.4 : Coordonnées horizontales. 8

Figure I.5 : Rayonnes solaires.....9

Figure I.6 : Schéma d'un concentrateur solaire parabolique. 10

Figure I.7 : Schéma de principe d'une centrale à tour. 11

Figure I.8 : Schéma d'un concentrateur solaire de Fresnel 11

Figure I.9 : Description d'un collecteur cylindro-parabolique.....12

Chapitre II : étude et conception de la partie mécanique

Figure (II.1) : champ solaire [18].....14

Figure (II.2) : Montage d'un capteur cylindro- parabolique.....15

Figure (II.3) : Réflecteur cylindro-parabolique. 17

Figure (II.4) : Paramètres géométriques d'un cylindro parabolique.....17

Figure (II.5) : Parabole. 19

Figure (II.6) : Surface d'ouverture du collecteur et du récepteur... 20

Figure (II.7) : Segments de parabole ayant le même foyer et le même diamètre d'ouverture 20

Figure (II.8) : Tube absorbeur. 21

Figure (II.9) : Schéma du soleil à la température Ts à la distance R d'un capteur à concentration de surface d'ouverture A0 et de récepteur At 23

Figure (II.10) : Système optique d'une surface parabolique. 23

Figure (II.11) : L'image ellipse 24

Figure (II.12) : concentrateur cylindo parabolique en 3D **.....25**

Chapitre III : étude de la partie électrique

Figure III.1 : microcontrôleur Atmega328P 27

Figure III.2: mappage des broches entre Arduino Nano et la puce ATmega328P. 28

Figure III.3: Description des entrées/sorties de la carte Arduino Nano. 29

Figure III.4: : Servomoteur.....30

Figure III.5: Les composants du servomoteur 31

Figure III.6: Signal de contrôle.....32

Figure III.7 : Symbole et Capteur LDR.....32

Figure III.8 : Circuit équivalent du capteur LDR utilisé. 33

Figure III.9: Les broches du module RTC DS3231 34

Figure III.10 : Interface IDE Arduino. 36

Figure III.11 : cellule photovoltaïque. 36

Chapitre IV : réalisation d'un concentrateur cylindo parabolique

Figure IV.1: une tôle inox. 39

Figure IV.2: le réflecteur. 39

Figure IV.3: Absorbeur. 40

Figure IV.4: La Base du réflecteur. 41

Figure IV.5: Montage de servo moteur en réflecteur solaire. 41

Figure IV.6: Organigramme d'un concentrateur de type Cylindro-parabolique avec deux LDR. 43

Figure IV.7: interface du logiciel Arduino. 44

Figure IV.8 : Schéma de branchement de la partie électronique du deux LDR. 45

Figure IV.9 : Montage réale avec LDR. 46

Figure IV.10: Organigramme d'un concentrateur de type Cylindro-parabolique avec deux cellules photovoltaïques. 47

Figure IV.11 : Schéma de branchement de la partie électronique des deux cellules photovoltaïques 48

Figure IV.12 : Montage réel avec cellules photovoltaïques. 48

Figure IV.13: Organigramme d'un concentrateur avec RTC. 50

Figure IV.14 : Schéma de bronchement de la partie électronique du RTC DS3231. 51

Figure IV.15 : Montage réel avec RTC. 51

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Caractéristiques principales du soleil 3

Tableau IV.1 : Caractéristiques principales du soleil (étude comparative) 52

Sigles et Abréviations

(ϕ) : La latitude(degrés)

(L) : La longitude (degrés)

(γ) : L'altitude (m)

(δ) : La déclinaison (degrés)

(ω) : L'angle horaire (degrés)

(A) : L'azimut (degrés)

(h) : La hauteur angulaire (m)

(θ) : Angle d'incidence (degrés)

(Ψ) : L'angle d'ouverture (degrés)

(f) : Distance focale

(Aa) : Surface cylindro-parabolique

(Cg) : La concentration géométrique

LDR : light-dépendent résistor

CPC : concentrateur cylindro-parabolique

CSP : Concentrating Solar Power (Centrale Solaire à Concentration)

RTC : horloge en temps réel (real time clock)

TSV : Le temps solaire vrai

LSTM : Méridien de l'heure normale locale

LT : l'heure locale

ET : Équation du temps

Introduction générale

Introduction Générale :

Selon des études faites par certains instituts de recherche, la consommation en énergie des pays en voie de développement va connaître une augmentation très importante, surtout après la mondialisation du commerce et des échanges entre les états. Le dernier choc pétrolier et la catastrophe de la centrale nucléaire de Tchernobyl, ont beaucoup stimulé la recherche et le développement de nouvelles sources d'énergies renouvelables et particulièrement solaires.

Cette énergie peut être transformé en chaleur à basse température, par des capteurs plans, utilisant conjointement l'absorption par une surface sélective et l'effet de serre crée par le vitrage, ces capteurs ne permettent pas en général de dépasser la température de 100°C. Pour travailler à température élevée, il faut accroître le flux optique incident qui pourrait être réalisé par concentration de rayonnement solaire. Cette opération est réalisée à l'aide de capteurs appelés concentrateurs solaires. Parmi ce type de concentrateurs, il y a les concentrateurs solaires cylindro-parabolique.

Ces systèmes comportent en général une surface réfléchissante sous forme cylindro-parabolique destinée à concentrer l'énergie solaire sur une surface absorbante, ce qui permet d'avoir une forte augmentation de chaleur. L'avantage d'une telle méthode est de pouvoir atteindre des températures élevées bien adaptées pour le chauffage d'eau (production d'eau stérilisée et de vapeur d'eau), pour les cuisines solaires et production d'électricité par les moteurs Stirling.

Notre travail est consacré à la modélisation du concentrateur solaire cylindro-parabolique parabolique et l'estimation théorique de la température au niveau du récepteur.

Ce mémoire comporte 04 chapitres :

- Le premier chapitre est consacré des Généralités sur les systèmes solaires à concentration et état de l'art.et les différents types de CSP.

- Dans le deuxième chapitre, est consacré à la théorie du concentrateur parabolique et l'estimation des rayonnements solaire et des températures de fluide.

- Dans le troisième chapitre on va étudier la partie électrique de notre système.

- Le quatrième chapitre ou s'intéresse à la réalisation du concentrateur cylindro-parabolique.

Chapitre I

Généralités sur les systèmes solaires à concentration et état de l'art

I.1 Introduction :

L'énergie solaire est l'énergie électromagnétique liée au rayonnement émis par le soleil. Cette énergie est à l'origine des ressources énergétiques fossiles, accumulées au cours des ères géologiques, comme le charbon, le pétrole et le gaz naturel, et des ressources naturelles renouvelables, comme les rayonnements solaires et l'énergie éolienne ou hydraulique. Les ressources énergétiques dans le monde peuvent être classées en deux classes :

Ressources fossiles et fissiles non renouvelables qui se sont entassées dans l'écorce terrestre au cours des ères géologiques à cause des processus biologiques ou physico-chimiques.

Ressources renouvelables qui trouvent leur origine dans les différents flux énergétiques naturels incidents à la surface de la terre, qui sont :

- Le rayonnement solaire qui fournit 99.97% de sa densité thermique.
- La chaleur interne terrestre qui fournit 0.03% de sa densité thermique.
- Le travail des forces de gravitation.

L'énergie solaire est la plus dominante de toutes les énergies renouvelables, elle est à l'origine de la quasi-totalité des sources énergétique utilisées par l'homme. C'est l'énergie produite dans toutes les directions par le soleil grâce au rayonnement solaire. [01]

Afin d'exploiter au mieux cette ressource énergétique pour tout projet ou étude des installations solaires, la connaissance de certaines notions est plus que nécessaire et qui seront et présentées dans ce chapitre, tel que : L'énergie solaire, Le gisement solaire, la technologie CSP.

I.2 Gisement solaire :

I.2.1 Le Soleil : une source inépuisable d'énergie :

Le Soleil est une étoile de dimension moyenne, une énorme boule chaude de gaz. C'est une étoile parmi des milliards dans notre galaxie (la voie lactée). Bien que sa distance moyenne à la Terre soit de 149,6 millions de kilomètres [2].

I.2.2 Caractéristiques principales du soleil :

Les Caractéristiques principales du soleil est présenter dans le tableau suivant :

Diamètre (km)	$14x10^5$
Masse (kg)	$\mathbf{2x}10^{30}$
Surface (km2)	$\mathbf{6.09x}10^{12}$
Volume (km3)	$\mathbf{1.41x}10^{18}$
Masse volumique moyenne (kg/m3)	**1408**
Vitesse orbitale (km/s)	**217**
Distance du centre de la voie lactée (km)	$\mathbf{2.5x}10^{47}$

Tableau I.1 : Caractéristiques principales du soleil [3].

I.2.3 L'énergie solaire :

L'énergie solaire est l'énergie diffusée par le rayonnement du Soleil. Des ondes radio aux rayons gamma en passant par la lumière visible, tous ces rayonnements sont constitués de photons, les composants fondamentaux de la lumière et les vecteurs de l'énergie solaire. L'énergie solaire est issue des réactions de fusion nucléaire qui animent le Soleil. Sur la Terre [4].

Il existe deux voies principales d'exploitation de l'énergie solaire :

a. Le solaire photovoltaïque : Qui transforme directement le rayonnement solaire en électricité.

b. Le solaire thermique : Qui transforme directement le rayonnement en chaleur. Le solaire dit « thermodynamique » est une variante du solaire thermique. Cette technique se différencie en cela qu'elle utilise l'énergie thermique du soleil afin de la transformer dans un second temps en électricité. De nombreux programmes de recherche sont en cours afin d'améliorer les rendements des nouvelles technologies d'exploitation de l'énergie solaire [5].

I.2.4 Les formes d'énergie solaire :

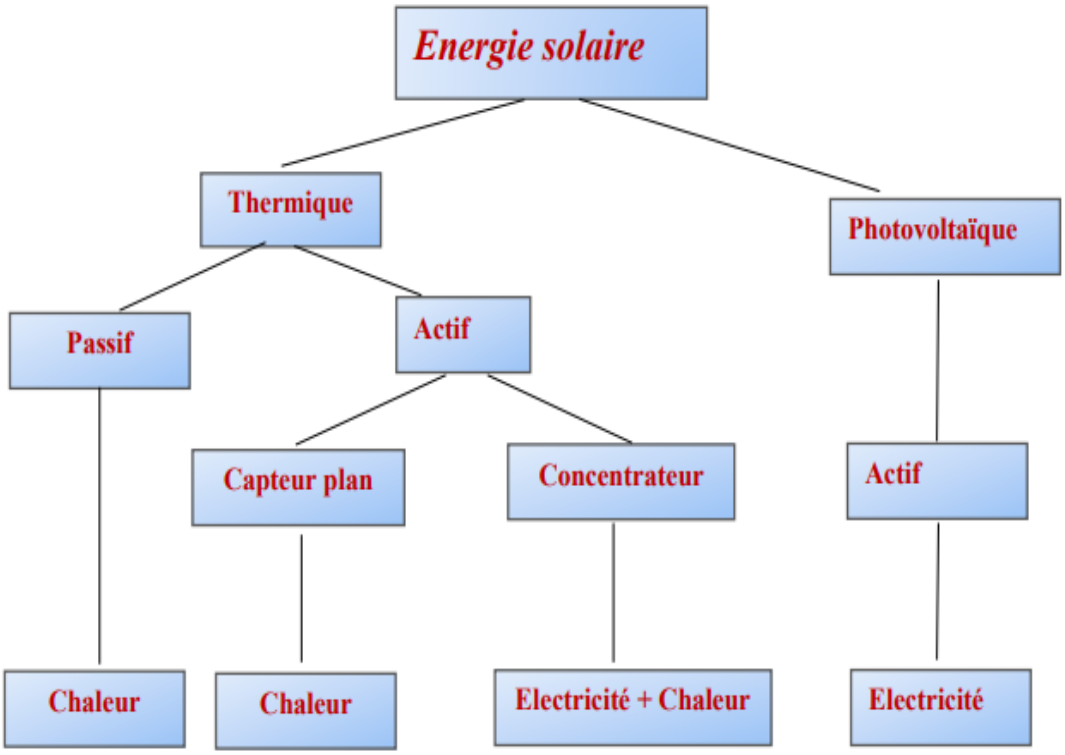


Figure I.1 : L'utilisation directe de l'énergie solaire.

a. Le solaire passif

L'énergie solaire passive est un type d'énergie solaire dans laquelle aucune énergie externe n'est utilisée. L'objectif est de profiter les rayons du soleil et réduire la consommation d'énergie. [6].

b. Le solaire actif :

L'énergie solaire active est une technologie solaire qui utilise des équipements mécaniques ou électriques pour améliorer les performances des panneaux solaires. Ces mécanismes sont également utilisés pour traiter l'énergie obtenue et obtenir de l' énergie électrique ou mécanique. Ces éléments peuvent être des ventilateurs, des pompes à eau, des trackers solaires, etc. [6].

I.3 Solaire thermique :

Le principe de l'énergie thermique consiste à transformer le rayonnement solaire en énergie thermique grâce à un fluide qui circule dans des panneaux exposés au soleil [7].

I.3.1 Les collecteurs thermiques :

La conversion photo thermique se fait à l'aide de collecteurs thermiques qui consistent en une transformation directe du rayonnement solaire en chaleur, comme le chauffage domestique, les cuisines solaires, la chaleur pour des processus industriels. Elle se fait selon deux manières : une captation avec concentration et sans concentration [8].

a. **Potentiel solaire en Algérie :** De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1m2 est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700KWh/m2/an au Nord et 2650 kWh/m2/an au Sud du pays. Ce gisement solaire dépasse les 5 milliards de GWh (voir la figure Figure I.2**)** [9].

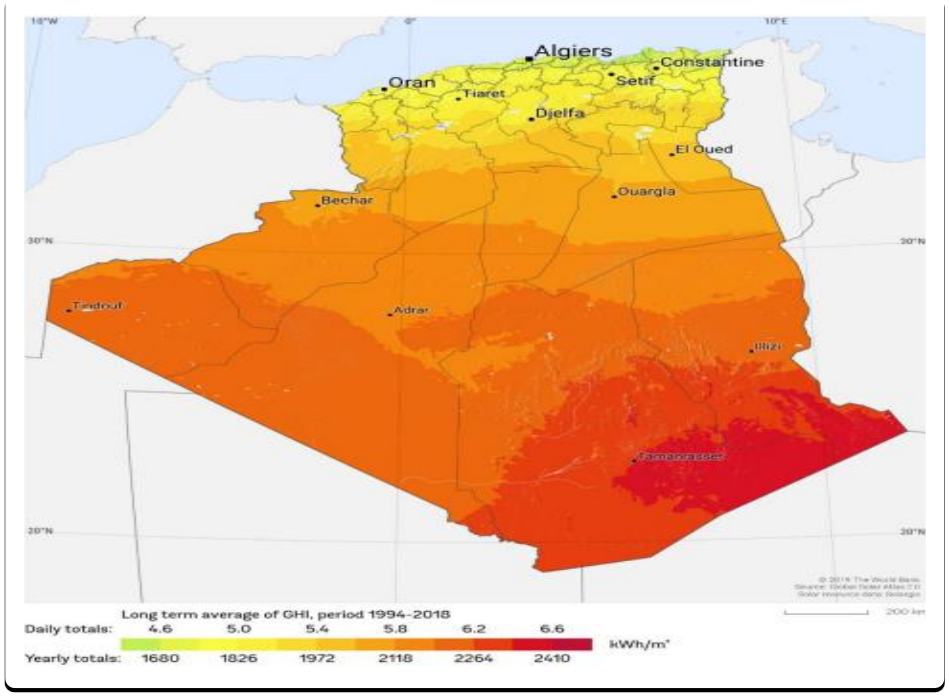


Figure I.2 : L'irradiation globale reçue sur une surface horizontale [Wh/m²].

I.3.2 Calcul de la position du soleil :

a) Coordonnées géographiques : Ce sont les coordonnées angulaires qui permettent le repérage d'un point sur la terre.

- **Longitude (λ) :** c'est l'angle formé par le méridien de Greenwich et le méridien du lieu considéré.
- **Latitude (φ) :** c'est l'angle que fait la verticale de lieu avec le plan équatorial.
- **L'altitude :** c'est la distance verticale séparant le point considéré du relief terrestre du niveau de la mer, pris comme surface de référence [10].

$$Altitude = arc\sin(\sin(\sigma).\sin(\rho) + \cos(\sigma).\cos(\rho).\cos(H)) \qquad (I.1)$$

- **L'azimut :** L'azimut symbolise A, en astronomie est un angle qui a pour sommet

L'observateur, et qui se mesure sur l'horizon local, à partir d'un arc de méridien terrestre allant de l'observateur au pôle SUD jusqu' au pied d'une vertical contenant l'astre. Il se mesure de o dégrée a 360 dégrée positivement de SUD vers l'ouest

$$A = arc\tan[\sin(\theta) \div (\cos(\sigma).\sin(\sigma) - \tan(\sigma).\cos(\sigma))] \qquad (I.2)$$

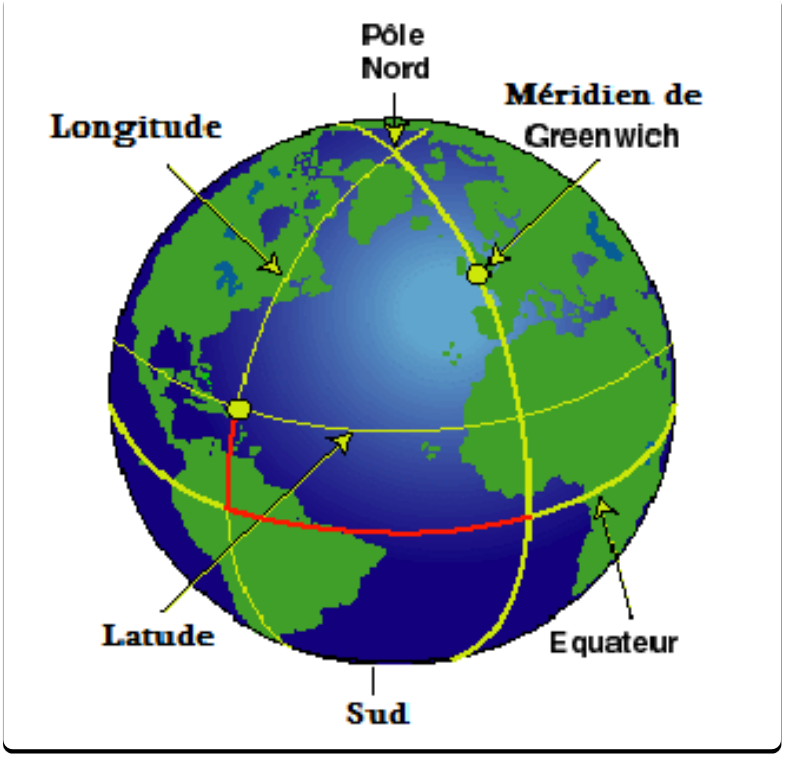


Figure I.3 : Coordonnées terrestres.

b. Coordonnées horaires :

- **. Déclinaison solaire(δ) :**

La déclinaison solaire δ est l'angle formé par la direction du soleil et le plan équatorial terrestre. Cet angle varie au cours des saisons

$$\delta = 23{,}45 \sin[(360 \div 365).(284 + n)] \quad \text{(I.3)}$$

- **Angle horaire (h) :**

L'angle horaire du soleil est l'angle formé par le plan méridien du lieu et celui qui passe par la direction du soleil si l'on prend comme origine le méridien de Greenwich. Il est calculé comme suite [11] :

$$h = 15° \, (ts - 12) \quad \text{(I.4)}$$

Avant midi h >0 et après midi h <0

Où **Ts** est le temps solaire vrai en heures, il est donné par :

$$\mathbf{Ts} = t + EOT + (lst\text{est} - llocal) \, \frac{4min}{degree} \quad \text{(I.5)}$$

- **Définition du TSV :**

Le TSV calculé dans le programme et affiché dans les résultats est le temps solaire vrai, on a inclus des équations dans le code pour calculer ce dernier en fonction des coordonnées et de l'heure de la zone dans laquelle le système doit être réalisé, les quelles [12] :

- **L'heure solaire locale ou vraie (TSV) et l'heure locale (LT) :**

L'heure solaire locale de midi (HNL) est définie comme lorsque le soleil est le plus haut dans le ciel. L'heure locale (LT) varie généralement de celle de l'heure d'été en raison de l'excentricité de l'orbite terrestre et des ajustements humains tels que les fuseaux horaires et l'heure d'été.

- **Méridien de l'heure normale locale (LSTM)**

Le méridien de l'heure standard locale (LSTM) est un méridien de référence utilisé pour un fuseau horaire particulier et est similaire au méridien principal, qui est utilisé pour l'heure de Greenwich.

Le (LSTM) est calculé selon l'équation :

$$LSTM\ T = 15° \Delta\ UTC \qquad (I.6)$$

Où ΔT UTC est la différence entre l'heure locale (LT) et le temps universel coordonné (UTC) en heures. ΔT UTC est également égal au fuseau horaire. 15 ° = 360 ° / 24 heures. Par exemple, Sydney Australie est UTC +10, donc le méridien de l'heure standard locale est de 150 ° E. Phoenix, USA est UTC -7 donc le LSTM est 105 ° W.

- **Équation du temps (EoT) :**

L'équation du temps (EoT) (en minutes) est une équation empirique qui corrige l'excentricité de l'orbite terrestre et l'inclinaison axiale de la Terre. Une approximation précise à moins d'une demi-minute est :

$$EoT\ B = 9{,}87.\sin(2b) - 7{,}53.\cos(B) - 1{,}5.\sin(B). \qquad (I.7)$$

C. Coordonnées horizontales :

- **Hauteur angulaire du soleil (α)** : c'est l'angle compris entre la direction du soleil et le plan horizontal. Il est donné par l'équation suivante [11] :

$$\mathrm{Sin}(\alpha) = \sin(\delta) \times \sin(\varphi) + \cos(\delta) \times \cos(\varphi) \times \cos(h) \qquad (I.8)$$

- **Angle de zénith (θz) :** C'est l'angle entre la verticale d'une surface et un rayon du soleil, il est donné par l'équation suivante :

$$Cos(\theta z) = \sin(\varphi)\sin(\delta) + \cos(\delta)\cos(\varphi)\cos(h) \qquad (I.9)$$

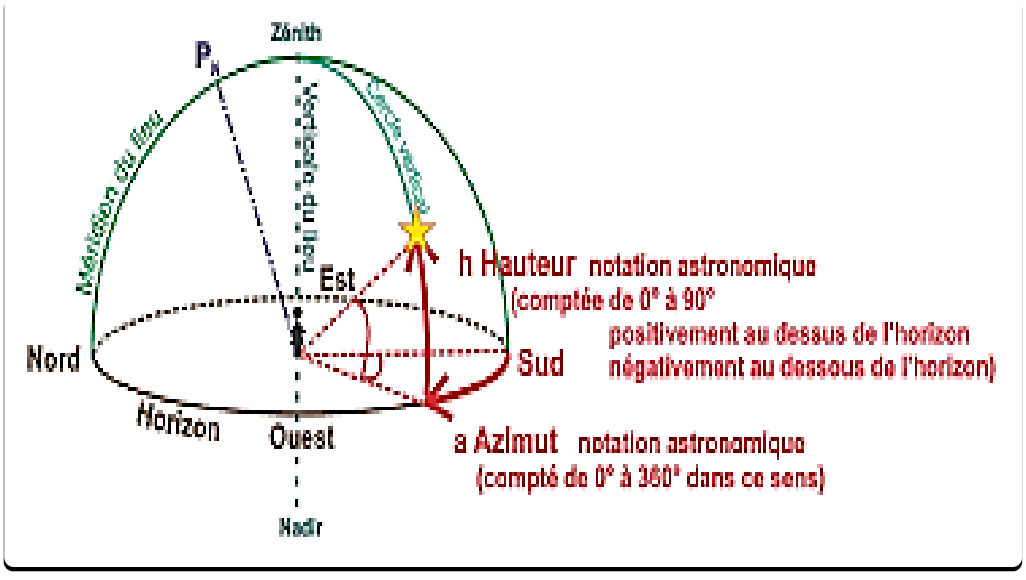


Figure I.4 : Coordonnées horizontales.

I.4. Rayonnement solaire [13] :

Le rayonnement solaire est l'ensemble des ondes électromagnétiques émises par le Soleil. Il est composé de toute la gamme de rayonnements (Ultraviolet, Visible et Infrarouge).

I.4.1. Rayonnement direct :

Le rayonnement solaire direct se définit comme étant le rayonnement provenant du seul disque solaire. Il est donc nul lorsque le soleil est occulté par les nuages.il est mesuré à l'aide d'un pyrhéliomètre constamment dirigé vers le soleil.

I.4.2. Rayonnement solaire diffus :

Dans sa traversée de l'atmosphère, le rayonnement solaire est diffusé par les molécules de l'air et les particules en suspension. Le rayonnement solaire diffus n'est donc nul que la nuit.

Il est mesuré à l'aide d'un pyranomètre auquel on adjoint un écran destiné à occulter le disque solaire.

I.4.3. Rayonnement réfléchir :

C'est la partie réfléchie par le sol. Il dépond de l'environnement du site (voir la figure I.5).

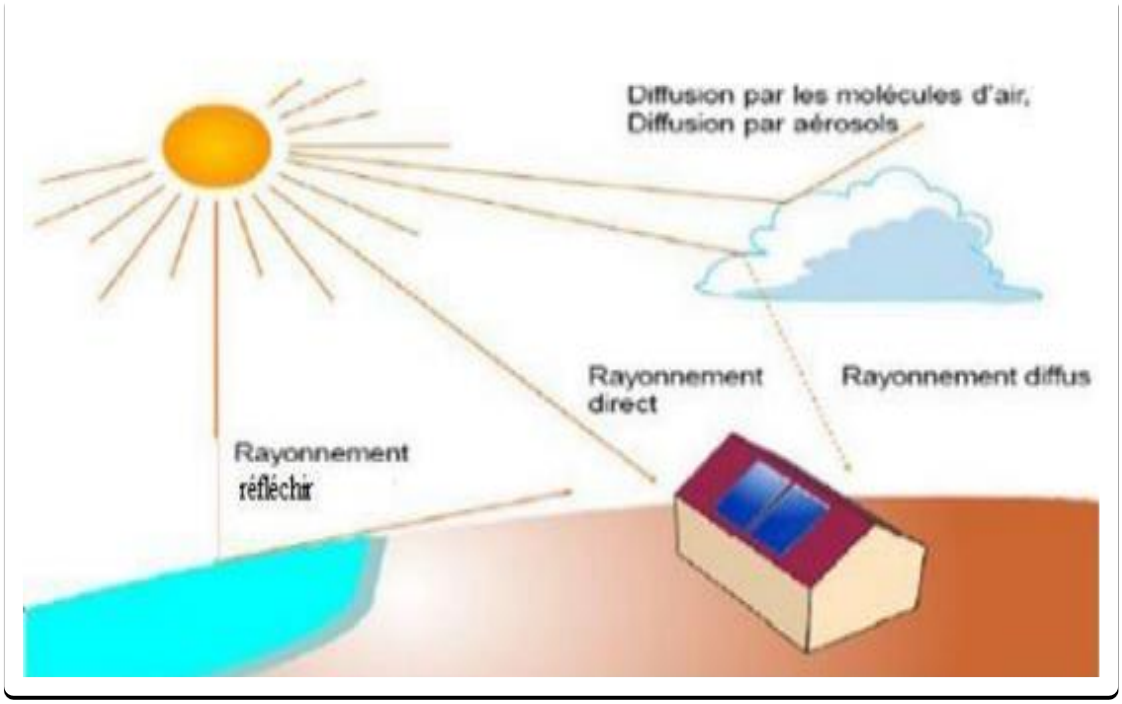


Figure I.5 : Rayonnes solaires.

I.5. Les types des capteurs solaires à concentration :

I.5.1. Le concentrateur parabolique :

Les capteurs paraboliques fonctionnent d'une manière autonome. Ils suivent le soleil sur 2 axes afin de concentrer le rayonnement solaire sur le foyer de la parabole réfléchissante. Le rapport de concentration est souvent supérieur à 2000 avec une température de 750°C. De toutes les technologies solaires, les capteurs paraboliques ont démontré les meilleurs rendements solaire électricité (29.4%) (voir la figure I.6).

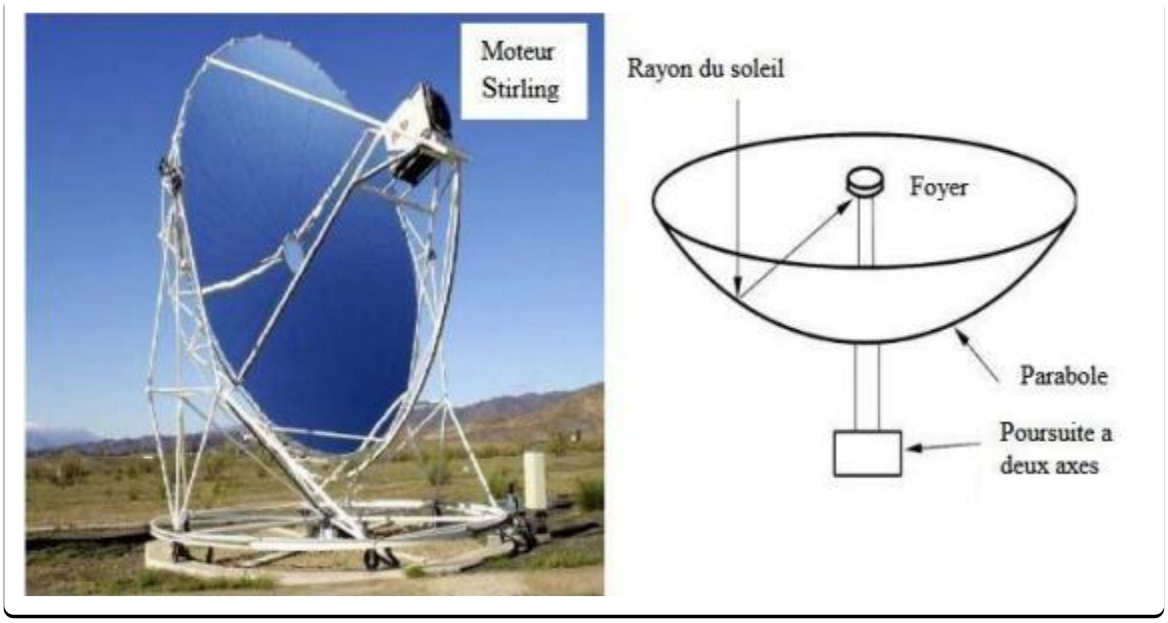


Figure I.6: Schéma d'un concentrateur solaire parabolique

I.5.2. Les centrales à tour :

Les centrales à tour ont été développées pour des installations destinées à une production à grande échelle, développant de fortes puissances et travaillant à haute température. Le principe de fonctionnement de la centrale est décrit sur la (Figure I.17) [14].

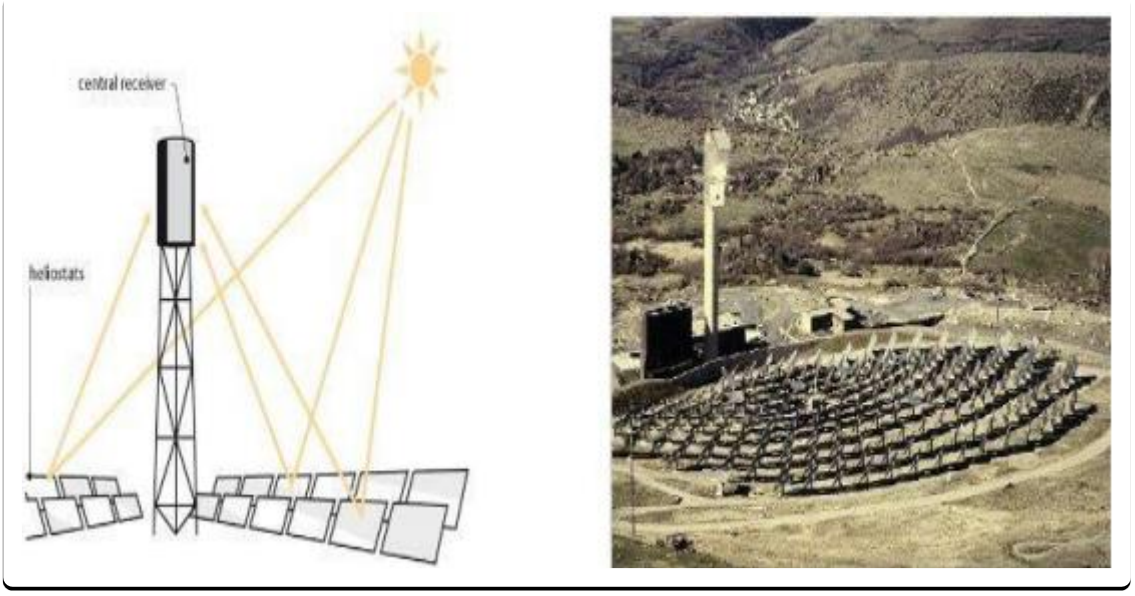


Figure I.7: Schéma de principe d'une centrale à tour.

I.5.3. Les centrales linéaires Fresnel :

Un concentrateur à réflecteur linéaire Fresnel (LFR) utilise des miroirs plans pour concentrer le rayonnement solaire sur un récepteur fixe situé au-dessus du champ solaire (Figure I.8) [14].

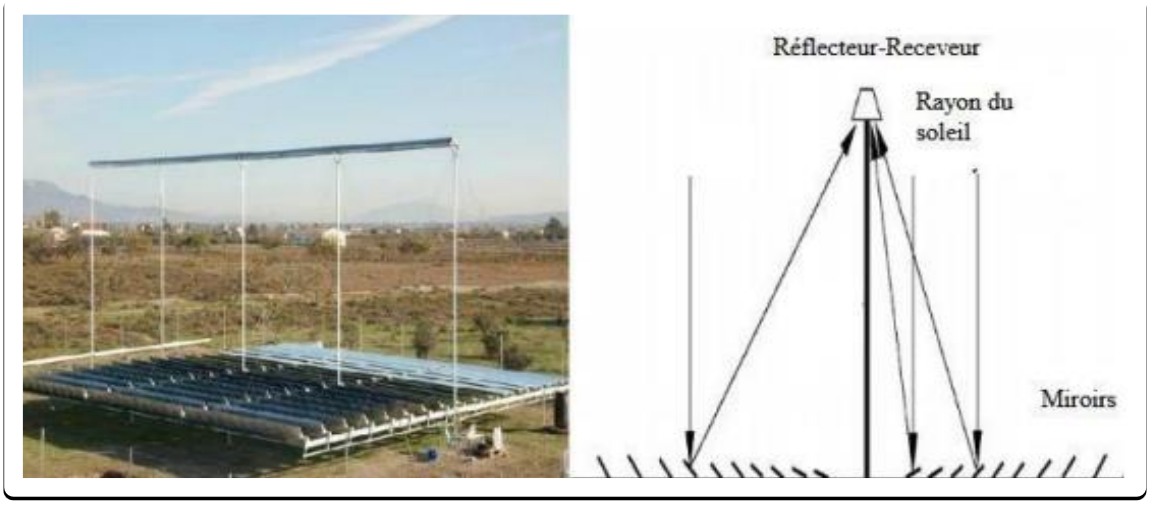


Figure I.8: Schéma d'un concentrateur solaire de Fresnel.

I.5.4. Le capteur solaire cylindro-parabolique :

Le capteur cylindro-parabolique est constitué d'un miroir cylindro-parabolique linéaire qui collecte et concentre le rayonnement solaire sur un tube récepteur placé le long de sa ligne focale Pour les systèmes à miroirs cylindro-paraboliques, les facteurs de concentration

atteignent 80. La structure portante est munie de joints de dilatation assurant la compatibilité entre les dilatations thermiques inégales des divers composants. Le rôle du mécanisme de poursuite est d'adapter l'inclinaison du capteur de manière à ce que la radiation solaire incidente soit toujours perpendiculaire au reflecteur.de cette manière, la radiation est réfléchie au foyer de la parabole et concentre sur un tub récepteur dans lequel circule le fluide caloporteur. L'ensemble de concentrateur cylindro-parabolique est mobile, il est orienté selon un axe nord sud et suit la course de soleil d'est en ouest. [14] Un collecteur cylindro parabolique est constitué de deux principales entités, voire la (Figure I.9).

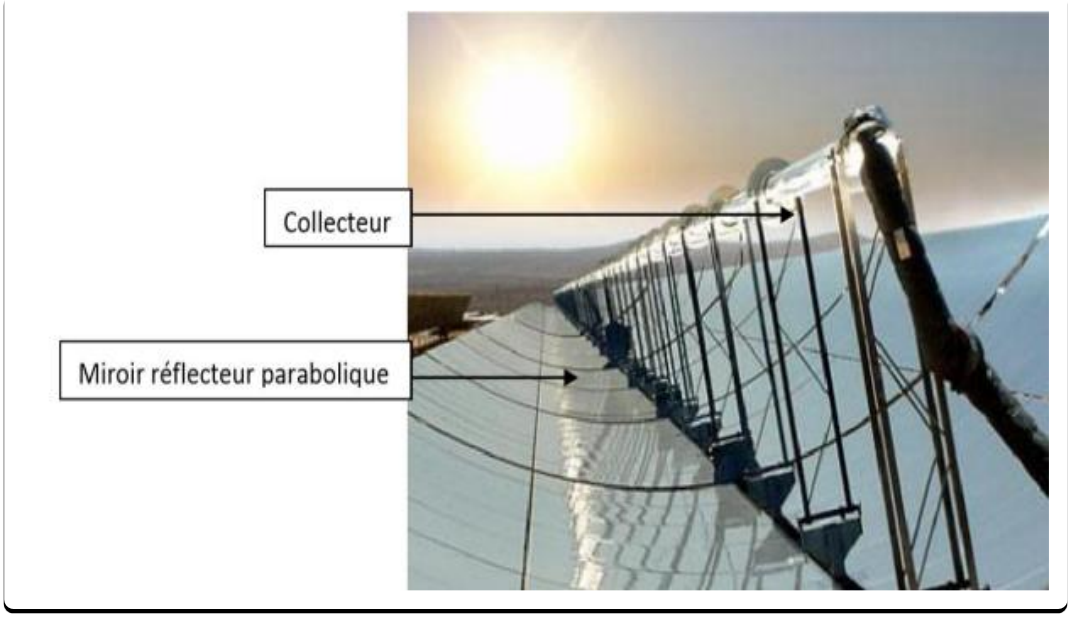


Figure I.9: Description d'un collecteur cylindro-parabolique.

I.5.4.1 Principe de fonctionnement d'un concentrateur cylindro-parabolique :

Dans ce type de centrale solaire, les miroirs réflecteurs sont rangés parallèlement et tournent autour d'un axe horizontal pour suivre la course du soleil et réunir le plus de rayonnement solaire possible. Ces rayonnements sont ensuite concentrés sur un tube horizontal, dans lequel circule un fluide colporteur qui peut atteindre une température de 400°C. Ce fluide servira à transporter la chaleur vers le réservoir thermique. L'énergie récoltée par ce fluide est transférée à un circuit d'eau, la vapeur alors produite actionne une turbine/générateur qui produit de l'électricité.

I.6. Conclusion :

On a présenté dans ce chapitre un aperçu général sur la source d'énergie solaire on a présenté aussi les différents concentrateurs solaires, en particulier les concentrateurs solaires cylindro-parabolique, ses constitutions et ces paramètres géométriques.

Chapitre II

Étude et conception de la partie mécanique

II.1 Introduction :

Pour une compréhension profonde de l'idée du concentrateur cylindro-parabolique et pour une conception claire de ce type de technique solaire, dans ce chapitre, nous aborderons la description théorique du concentrateur cylindro-parabolique. Nous expliquerons ses composants de base, le système optique ainsi que l'énergie reçue.

II.2 Étude thermique d'un capteur cylindro parabolique :

II.2.1. Le champ solaire :

Est la partie réceptrice de l'installation, c'est un ensemble des lignes des miroirs pauvre en fer a une forme hémicylindrique placée parallèlement et capable de tourner à la direction est–oust pour suivre la trajectoire du mouvement du soleil par un axe horizontal pour absorber les rayons solaires. Ces miroirs utilisent pour refléter les rayons vers un tube récepteur appelé collecteur, dans lequel circule un fluide caloporteur.

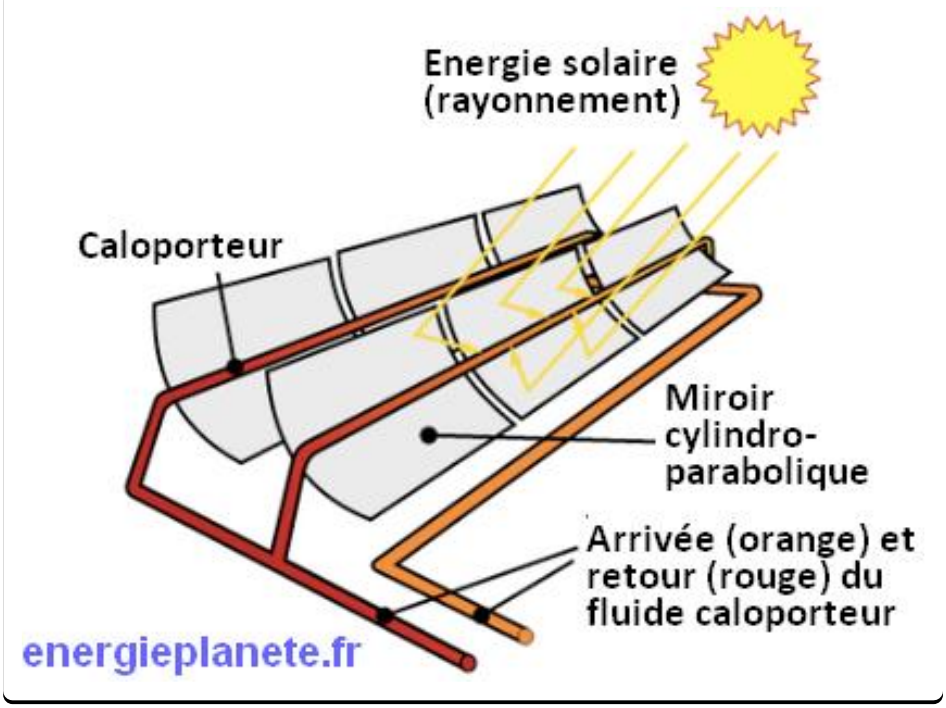


Figure (II.1) : champ solaire [15].

II.2.2. Le collecteur :

Le collecteur est le composant de base du champ solaire, il se présente comme un module ayant un réflecteur de forme parabolique cylindrique, ce collecteur est placé horizontalement dans le sens nord-sud, il se compose de deux éléments un tube en verre contient a l'intérieure un fluide thermique (généralement huile) capable de chauffe jusqu'à

500°C, ce tube contient un tuyau métallique sous vide à l'intérieur un fluide de travail (généralement eau). Le tube collecteur doit avoir les caractéristiques suivantes [16] :

● **Bonne absorption du rayonnement :** son coefficient d'absorption doit être aussi élevé que possible afin d'éviter toute réflexion du rayonnement incident.

● **Pertes thermiques limitées :** La température du tube dépassant généralement 400°C, les pertes par échanges convectifs et radiatifs sont très importantes. Afin de les limiter, le tube est entouré d'une enveloppe de verre sous vide.

II.2.3. Montage d'un capteur cylindro-parabolique :

Il existe deux types de montage d'un capteur cylindro-parabolique [17] :

▪ Le montage suivant l'axe du monde : le tube récepteur est parallèle à l'axe de rotation de la Terre. Le suivi du Soleil nécessite un simple asservissement en rotation autour de cet axe.

▪ Le montage est-ouest : le tube récepteur est orienté est-ouest. Il faut orienter le capteur vers le soleil deux ou trois fois par jour pour optimiser la réception du rayonnement. Le rendement de captation est moins bon qu'avec le montage est-ouest asservi en rotation.

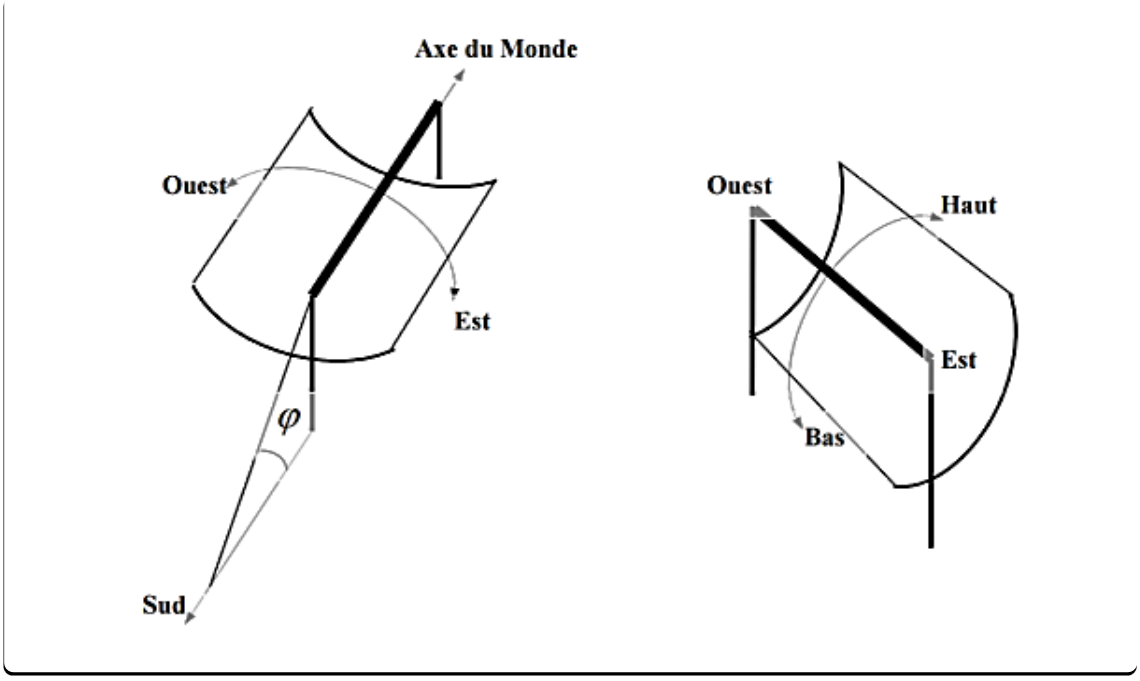


Figure (II.2) : Montage d'un capteur cylindro- parabolique.

II.2.4. Technologie à capteur cylindro-parabolique :

Un collecteur cylindro-parabolique est le composant de base du champ solaire. Il s'agit d'un réflecteur de forme cylindro-parabolique qui concentre le rayonnement solaire sur un récepteur linéaire situé le long de la ligne focale du réflecteur. Ce récepteur est composé d'un tube absorbeur protégé par une enveloppe en verre. L'ensemble est équipé d'un système de poursuite pour suivre la course du soleil. Cette technologie est actuellement la plus éprouvée des techniques de concentration solaire. [18]

Il s'agit de la technologie la plus utilisée dans les grandes centrales solaires thermodynamiques de production d'électricité. Le miroir concentrateur est un cylindre de section parabolique et ne comporte qu'une seule direction de courbure. La concentration a lieu sur la ligne où est placé le récepteur tubulaire dans lequel circule le fluide caloporteur.

Le concentrateur cylindro-parabolique, présente la technologie solaire la plus mature actuellement. Il se distingue par sa simplicité ainsi que ses performances élevées dans le domaine de la production de la vapeur d'eau. La détermination des performances d'un champ de concentrateur cylindro-parabolique dépend de plusieurs paramètres géométriques et optiques. (Facteur optique).

II.2.5. Les composent d'un concentrateur cylindro-parabolique :

II.2.5.1. Réflecteur :

Les réflecteurs d'une centrale cylindro-parabolique (CCP) étaient généralement en miroir ou autre métal réfléchissant. Les miroirs sont composés de verre pauvre en fer, ce verre est recouvert d'une pellicule d'argent en sa partie inférieure et d'un enduit spécial de protection. Le matériau réfléchissant le mieux indiqué est l'aluminium pur, l'acier inoxydable a été expérimenté mais il n'est pas conseillé parce que son pouvoir de réflexion est insuffisant .

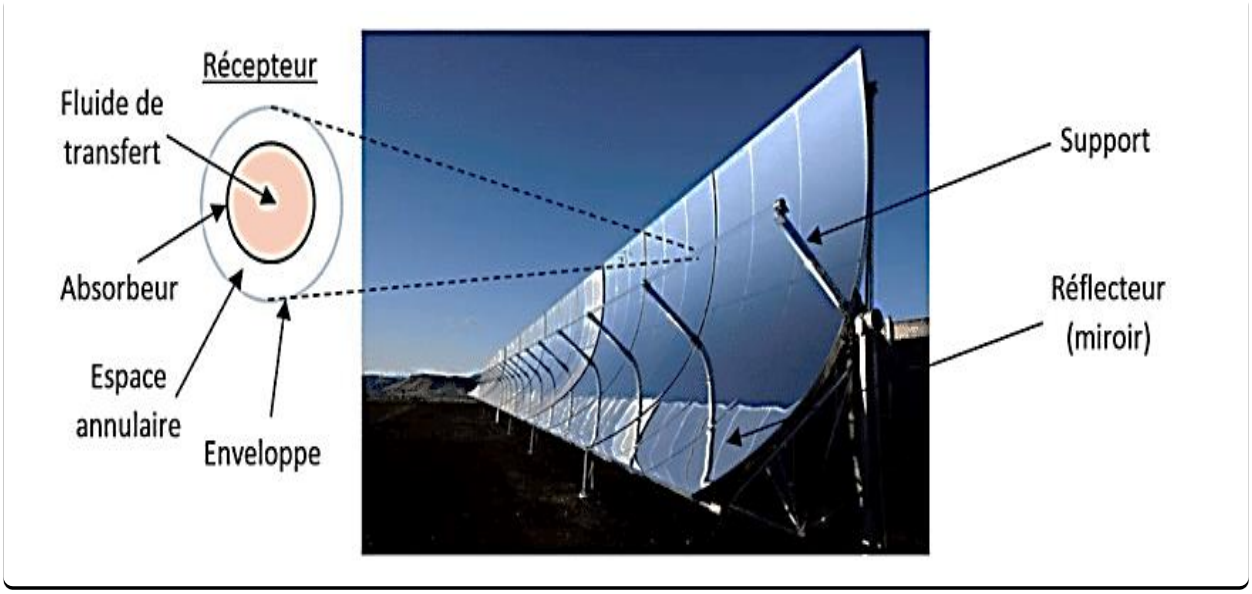


Figure (II.3) : Réflecteur cylindro-parabolique.

II.2.5.2. Les paramètres géométriques :

Les quatre paramètres suivants sont utilisés pour caractériser la forme et la taille d'un cylindro parabolique : la longueur de cylindro-parabolique, la distance focale, la largeur de l'ouverture et l'angle d'ouverture. (Figure I.4).

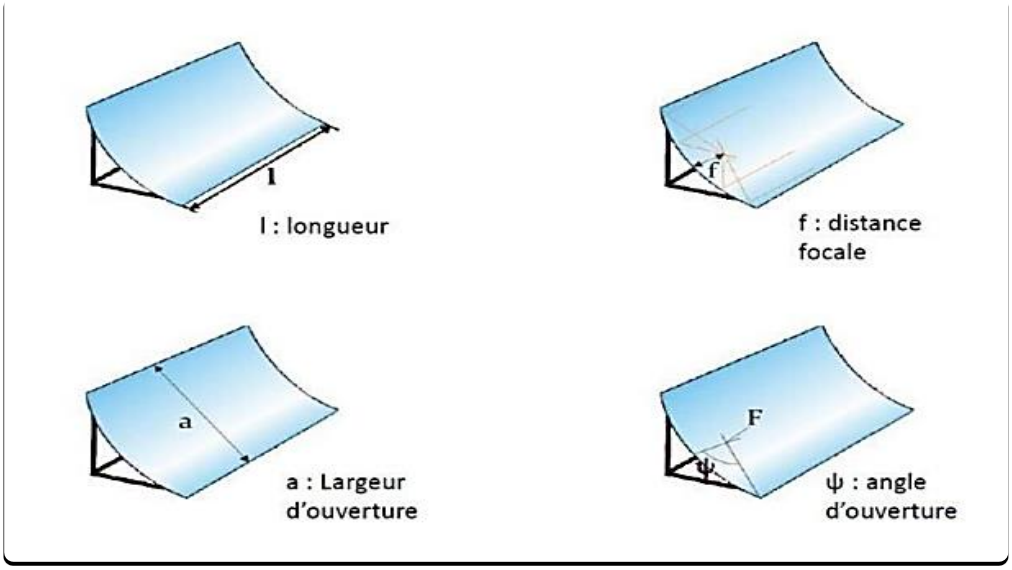


Figure (I.4) : Paramètres géométriques d'un cylindro parabolique.

- **La longueur de cylindro parabolique l :**

  C'est la longueur du miroir, elle peut atteindre les 4.06 *m.*

- **L'angle d'ouverture (ψ) :** C'est l'angle au point focal entre l'axe optique (Y) et le segment reliant le point focal au bord du miroir.

Deux des trois paramètres de l'angle d'ouverture, de la largeur d'ouverture et de la distance focale sont suffisants pour déterminer complètement la section transversale d'un cylindro-parabolique, c'est-à-dire la forme et la taille. Cela signifie également que deux d'entre eux sont suffisants pour calculer le troisième. Ψ Peut être exprimée en fonction du rapport entre la largeur d'ouverture et la distance focale :

$$\tan \psi = \frac{\frac{a}{f}}{2-\frac{1a}{8f}} \qquad \text{(I.10)}$$

- **La largeur de l'ouverture a :** La plupart des collecteurs réels sont d'un largueur d'ouverture d'environ 6 m, la distance focale est (approximativement à l'angle d'ouverture et à la largeur d'ouverture) d'environ 1,75 m et la longueur du module est comprise entre 12 et 14 m. Il existe des collecteurs qui ont des largeurs d'ouverture plus petites (Solarlite) ou plus grandes (Skyfuel, Heliotric) avec différentes longueurs focales correspondantes.

- **La distance focale :**

$$y^2 = 4 \cdot f \cdot x \qquad \text{(II.11)}$$

$$p = \frac{2f}{1+cos\psi} \qquad \text{(II.12)}$$

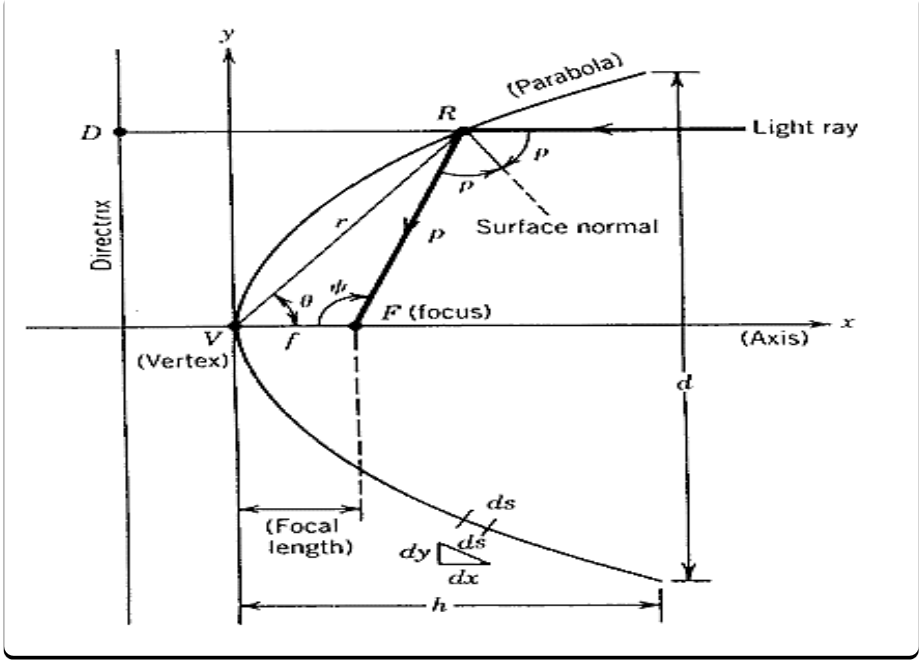


Figure (II.5) : Parabole.

Ψ : angle mesuré à partir de la ligne (VF) et le rayon parabolique (P).

P : rayon parabolique, distance (RF) entre la courbe de la parabole et le foyer f.

- **La surface du miroir et la surface d'ouverture :**

  Pour un (rayonnement normal direct) et position solaire données ; la surface d'ouverture de miroir est calculée comme le produit de la largeur de l'ouverture a et de la longueur du collecteur l.

$$\mathbf{Aa} = a.l \qquad \text{(II.13)}$$

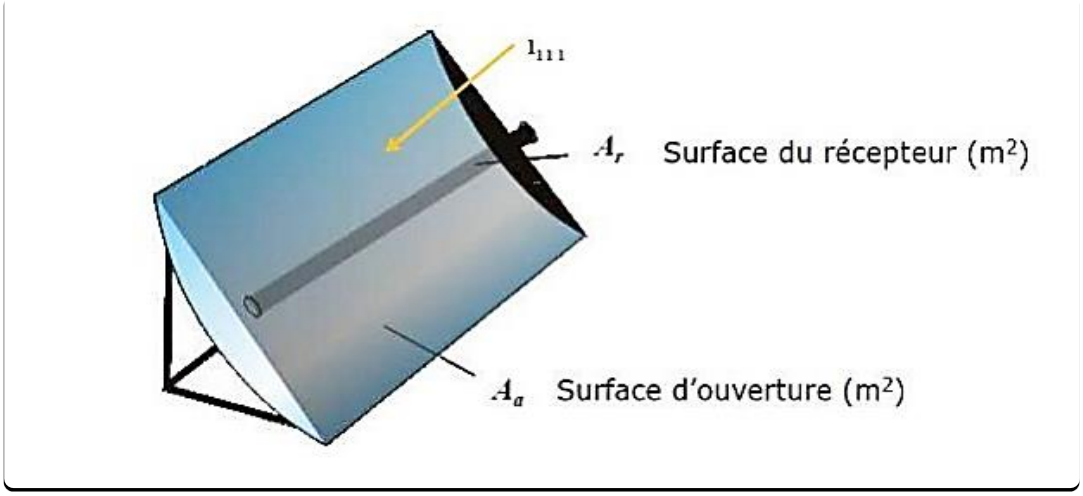


Figure (II.6) : Surface d'ouverture du collecteur et du récepteur.

En énergie solaire, les paraboles utilisées ont des limites, par conséquent, la parabole peut être décrite en fonction de l'angle d'ouverture'' Rim angle '' et du rapport entre la distance focale et le diamètre d'ouverture (f/d) [19].

Divers angles de jante sont disponibles pour la même ouverture, comme le montre Figure (II.7). Il est également démontré que le rapport foyer-ouverture, qui détermine la courbure de la parabole, varie selon les angles de jante. Avec un angle de jante de 90 degrés, la distance moyenne foyer-réflecteur et donc la dispersion réfléchie du faisceau sont minimisées, ce qui entraîne des problèmes de pente et de suivi moins prononcés. Cependant, à mesure que l'angle de la jante est réduit, la surface du collecteur diminue. La tentation d'utiliser des angles de jante plus étroits se pose parce que la perte d'efficacité optique est faible, mais les économies de coûts dans le matériau de réflexion est importante. [20]

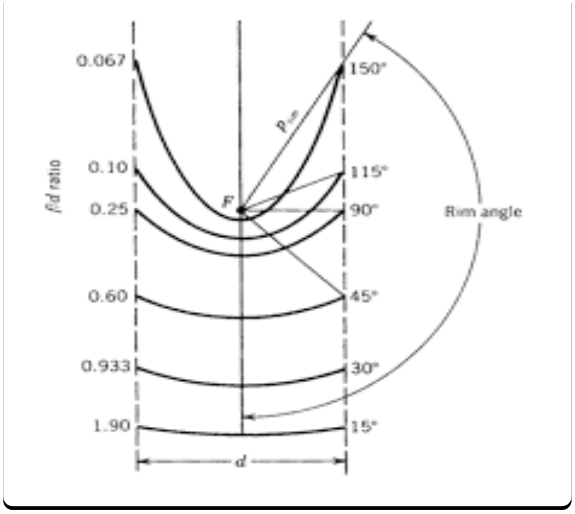


Figure (II.7) : Segments de parabole ayant le même foyer et le même diamètre d'ouverture.

II.2.5.3 Le récepteur (absorbeur) :

Un absorbeur est un dispositif permettant de réceptionner un rayonnement pour le convertir en chaleur exploitable.

L'élément le plus important est le tube d'absorption. Le tube d'absorption en cuivre est souvent recouvert d'une peinture noire pour augmenter l'efficacité de l'absorption, il est entouré d'une enveloppe en verre transparente et d'une zone d'air entre le tube absorbant et le couvercle en verre, comme indiqué dans la figure (II.8).

L'enveloppe de l'absorbeur doit être conçue de manière à maximiser l'absorption thermique du rayonnement, tout en limitant les pertes thermiques.

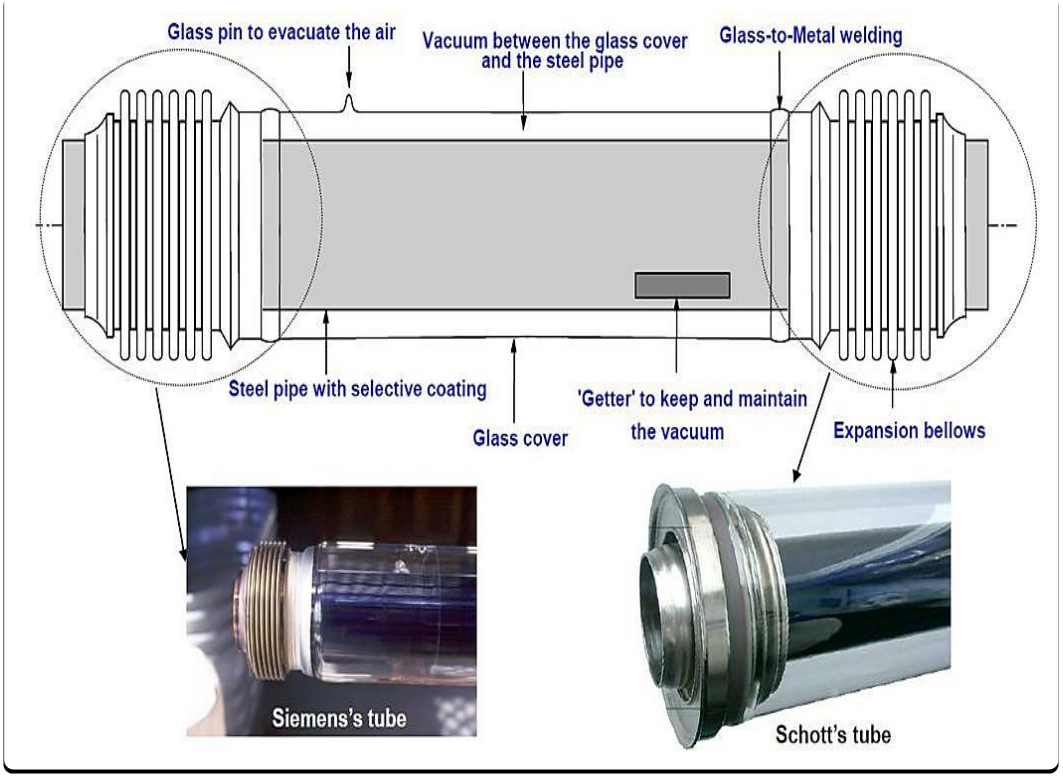


Figure (II.8) : Tube absorbeur.

- **La concentration :**

Ce paramètre indique la quantité de concentration légère d'énergie réalisée par un collecteur donné, Les quatre définitions normales de la concentration solaire sont la concentration géométrique (surface) [19].

- **Ouverture du concentrateur :**

Le concentrateur est le dispositif optique qui permet de concentrer le rayonnement vers l'absorbeur. L'ouverture du concentrateur est la surface plane qui s'appuie sur ses bords et à travers laquelle passe le rayonnement incident. Pour un concentrateur cylindrique, l'ouverture est caractérisée par la largeur tandis que pour une parabole, elle est caractérisée par le diamètre d'ouverture. [19].

- **La concentration géométrique :**

La concentration géométrique est le rapport de la surface d'ouverture A0 à celle de l'absorbeur At. [19].

$$Cg = \frac{A0}{At} \qquad \text{(II.14)}$$

- **Les limites de la concentration :**

La concentration ne peut dépasser une valeur limite appelée concentration idéale. Cette notion fut introduite par Winston et reprise par Rabl.la concentration limite est différente selon que le système est à deux dimensions (concentrateurs linéaires) ou à trois dimensions (paraboloïde).

La concentration limite est basée sur le second principe appliqué à l'échange radiatif entre le soleil et un récepteur. Considérons un système à trois dimensions de surface d'ouverture Aa et de récepteur Ar regardant le soleil de rayon r à la distance R [19].

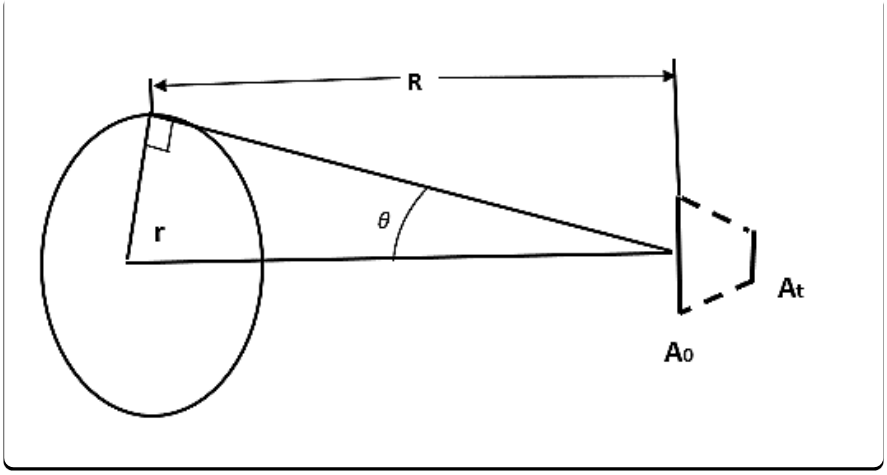


Figure (II.9) : Schéma du soleil à la température Ts à la distance R d'un capteur à concentration de surface d'ouverture A0 et de récepteur At.

II.2.5.4. Le système optique d'une surface parabolique :

La figure. II.10 Montre le système optique d'un concentrateur solaire parabolique. D'après les lois de réflexion, tout rayon lumineux parallèle à l'axe de la parabole est réfléchi par la parabole suivant une droite passant par le foyer. Donc la parabole focalise tous les rayons réfléchis en un point appelé ≪ foyer ≫ [21].

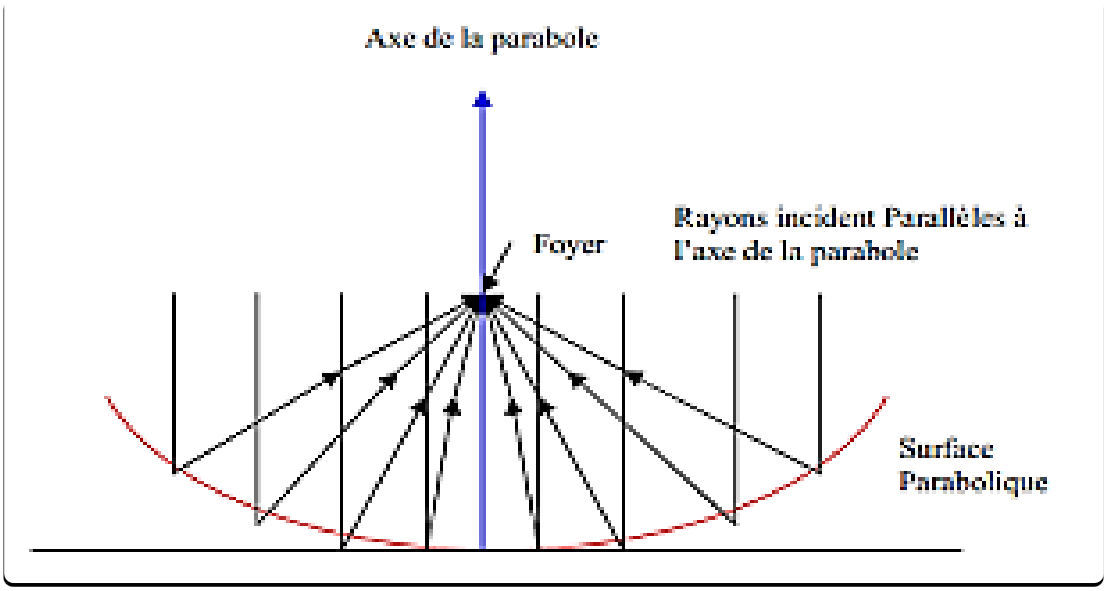


Figure (II.10) : Système optique d'une surface parabolique.

II.2.5.5. Dimension du récepteur :

La surface parabolique réfléchit tous les rayons incidents au foyer de la parabole. Mais réellement, les rayons réfléchis ne se coupent pas en un seul point, mais elles forment une tache de forme elliptique concentrée au point focal de petit rayon Sf et de grand rayon rf avec un diamètre Qs.

$$Sf = f.\frac{qs}{1+\cos\psi} \quad \text{(II.15)}$$

$$rf = f.\frac{qs}{(1+cos\psi)cos\psi} \quad \text{(II.16)}$$

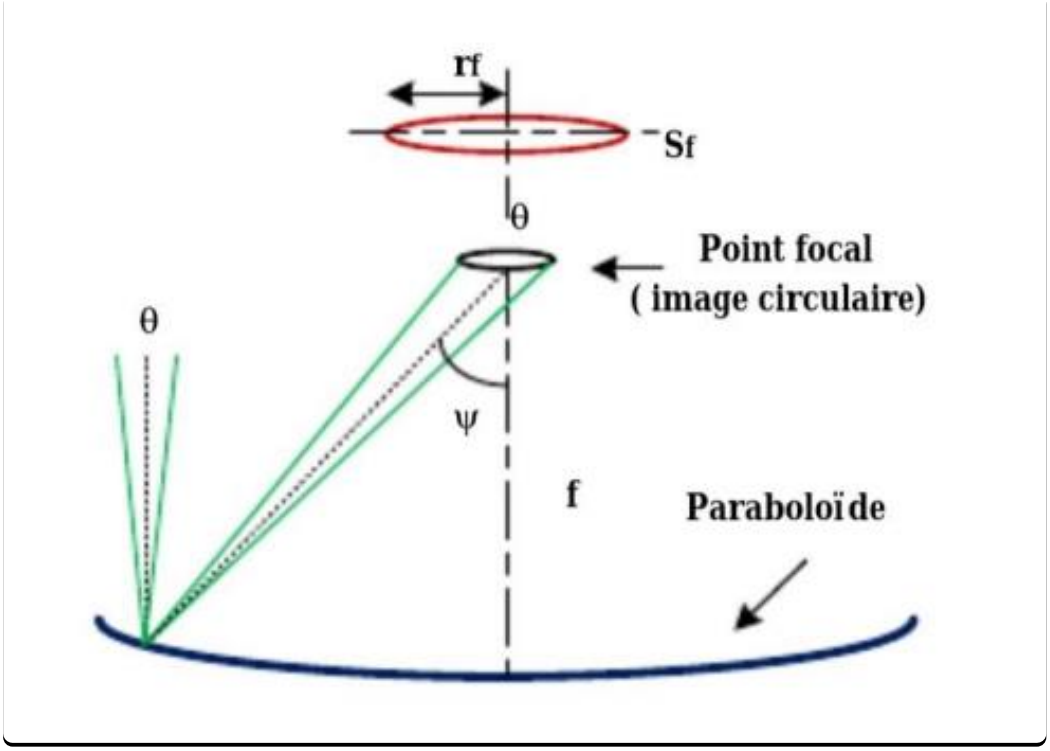


Figure (II.11) : L'image ellipse.

II.2.5.6. Température de l'ouverture du récepteur :

A la surface d'ouverture du récepteur le bilan énergétique est donné par la formule suivante : [22]

L'expression de la puissance utile est donnée par l'équation (II.16) :

$$(\text{Mair Cair} + \text{MrCr})\left(\frac{dT}{dt}\right) = \text{Qu} = \text{Qa} - \text{Qp}. \quad \text{(II.16)}$$

II.3. Conception mécanique d'un concentrateur cylindo parabolique :



Figure (II.12) : concentrateur cylindo parabolique en 3D.

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons vu les différentes parties d'une centrale cylindro-Parabolique et leurs caractéristiques et nous avons abordé principalement les équations de transferts thermique qui régissent la centrale cylindro-parabibliques.

Chapitre III

Étude de la partie électrique

III.1 Introduction :

Dans ce chapitre, on présentera les différents composants eux quelle nous avons besoin pour réaliser notre concentrateur cylindro-parabolique. Notre concentrateur est constitué d'une partie électronique constituée d'une carte microcontrôleur « Arduino » et une horloge a temps réel, et un Capteur LDR.

III.2 Etude des différents blocs :

III.2.1 Le bloc commande :

Le bloc commande de notre système est basé complètement sur Arduino NANO. Il est composé de deux choses principales : le matériel et le logiciel.

a. Le circuit Arduino :

Arduino est une plate-forme de prototypage d'objet interactif à usage créatif constituée d'une carte électronique et d'un environnement de programmation. Sans tout ne connaître ni tout comprendre de l'électronique, cet environnement matériel et logiciel permet à l'utilisateur de formuler ses projets par l'expérimentation directe. La société Arduino a créé plusieurs modèles d'Arduino : (Arduino Miga, Arduino Micro pro, Arduino Uno …).

2.1.a.1 Le microcontrôleur :

Un microcontrôleur est un petit processeur informatique relié à des entrées et des sorties numériques (0 ou 1) ou analogiques (tension variable). Il est capable de mémoriser et d'exécuter un programme visant à interpréter les entrées pour agir sur les sorties. Il se programme en général à l'aide d'un ordinateur mais peut fonctionner de manière autonome.

Arduino Nano est une carte de développement compacte, complète et compatible protocordé basée sur le microcontrôleur ATmega328P.

2.1.a.2 Les caractéristiques de l'A Tmega328P :

L'ATmega328P est le microcontrôleur de 8 bits de la famille AVR qui équipe certains des modèles les plus populaires de cartes Arduino. (Figure **III.1**)

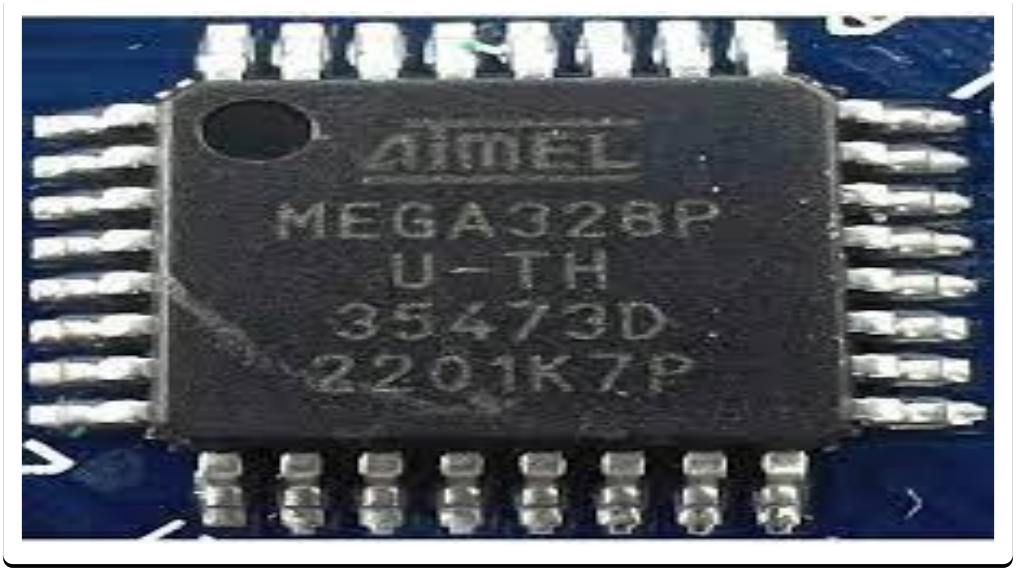


Figure III.1 : microcontrôleur Atmega328P.

Ce microcontrôleur contient 28 broches, avec 14 broches digitales (in/out) avec 6 de ses 14 broches qu'on peut utiliser comme PWM (générateur des signaux) out.

2.1.a.3 Configuration des broches ATMega328 [31] :

ATMEGA328P est une puce à 28 broches comme indiqué dans le diagramme de broches ci-dessus. De nombreuses broches de la puce ont ici plus d'une fonction :

- ✓ Broches : 7, 8, 22

7 : VCC : Tension d'alimentation numérique, (on peut utiliser de 6v au minimum jusqu'à 20v max).

8, 22 : GND : terre.

- ✓ Broches : 14, 15, 16, 17, 18, 19, 9 et 10 : port B : sont des ports de 8bit bidirectionnel (in/out).

Vous trouverez ci-dessous le mappage des broches entre Arduino Nano et la puce ATmega328P [23].

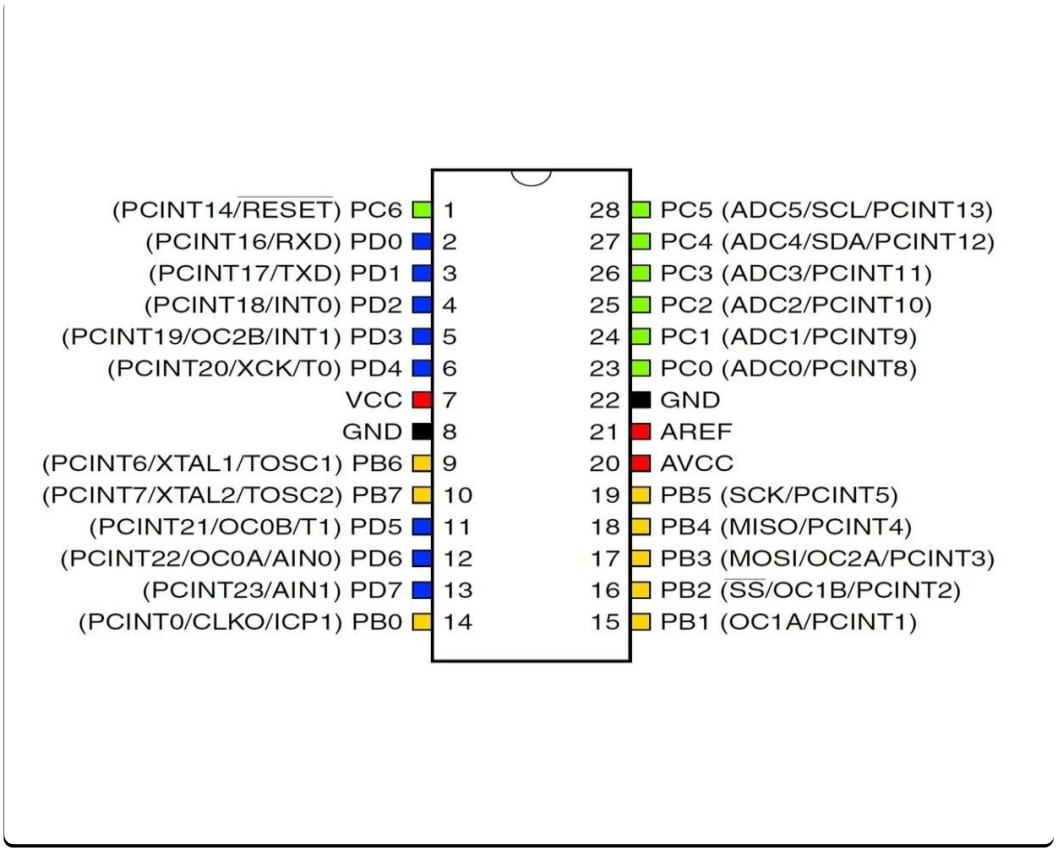


Figure III.2: mappage des broches entre Arduino Nano et la puce ATmega328P [24].

III.3.1.b CARTE ARDUINO NANO :

La carte Arduino Nano est un produit plus spécifique que les cartes Arduino Nano et Arduino Méga. Compacte, elle est parfaite pour les applications un peu plus petites, mais malgré sa petite taille, elle contient une puissance intéressante pour permettre la construction d'objets intelligents et portables [25].

III.3.1.b.1 Caractéristiques :

- **Alimentation :**
  - via port USB ou
  - 5 Vcc régulée sur broche 27 ou
  - 6 à 20 V non régulée sur broche 30
- **Microprocesseur :** ATMega328
- Mémoire flash : 32 KB
- Mémoire SRAM : 2 KB

- Mémoire EEPROM : 1 KB
- **Interfaces :**
  - 14 broches d'E/S dont 6 PWM
  - 8 entrées analogiques 10 bits
  - bus série, I2C et SPI
- Intensité par E/S : 40 mA
- **Cadencement :** 16 MHz
- Gestion des interruptions
- Fiche USB : mini-USB
- Boîtier DIL30
- **Dimensions :** 45 x 18 x 18 mm

  - La carte Arduino Nano est constituée de 14 broches d'entrées/sorties digitales, dont six sont utilisables en PWM, de 8 broches d'entrées analogiques, d'une connectique mini-USB à la place d'un port USB classique, d'un port ICSP et d'un bouton RESET (voir la figure **III.3)** [25].

III.3.1.b.2 Alimentation électrique :

Il est possible d'alimenter la carte Arduino Nano par le port mini-USB, par la broche 5V ou par la broche d'entrée d'alimentation VIN. La source d'alimentation fournissant le meilleur voltage sera sélectionnée comme source d'alimentation par la carte.

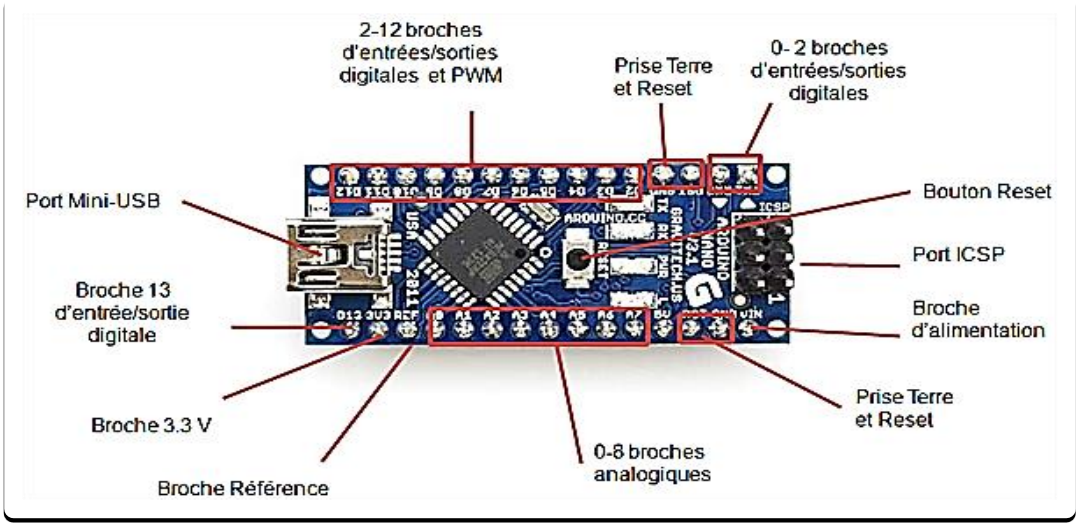


Figure III.3: Description des entrées/sorties de la carte Arduino Nano.

III.3.2 Le bloc puissance :

III.3.2.a Le servomoteur :

III.3.2.a.1 Définition :

Un servomoteur est un type de moteur particulier. Sa fonction principale consiste à assurer la production d'un mouvement afin de répondre à une commande externe. Comme l'étymologie du terme le laisse deviner (""servomoteur"" vient du latin ""servus"", ""esclave""), le servomoteur désigne simultanément un système asservi et un actionneur utilisé pour le déclenchement d'une action [26].

Il embarque dans le même boîtier l'électronique et la mécanique. Un servomoteur est capable de maintenir une position prédéterminée dans les instructions.



Figure III.4 : Servomoteur.

III.3.2.a.2 Les composants d'un servomoteur :

Un servomoteur est un ensemble mécanique et électronique comprenant [27] :

-Un moteur à courant continu

-Un réducteur en sortie de ce moteur diminuant la vitesse mais augmentant le couple

-Un potentiomètre (faisant fonction de diviseur résistif) qui génère une tension variable, proportionnelle à l'angle de l'axe de sortie

-Un dispositif électronique d'asservissement

-Un axe dépassant hors du boîtier avec différents bras ou roues de fixation.

Il est commandé par l'intermédiaire d'un câble électrique à trois fils :

Masse : Noir ou Marron

5V : Rouge

Signal : Jaune ou Blanc ou Bleu.

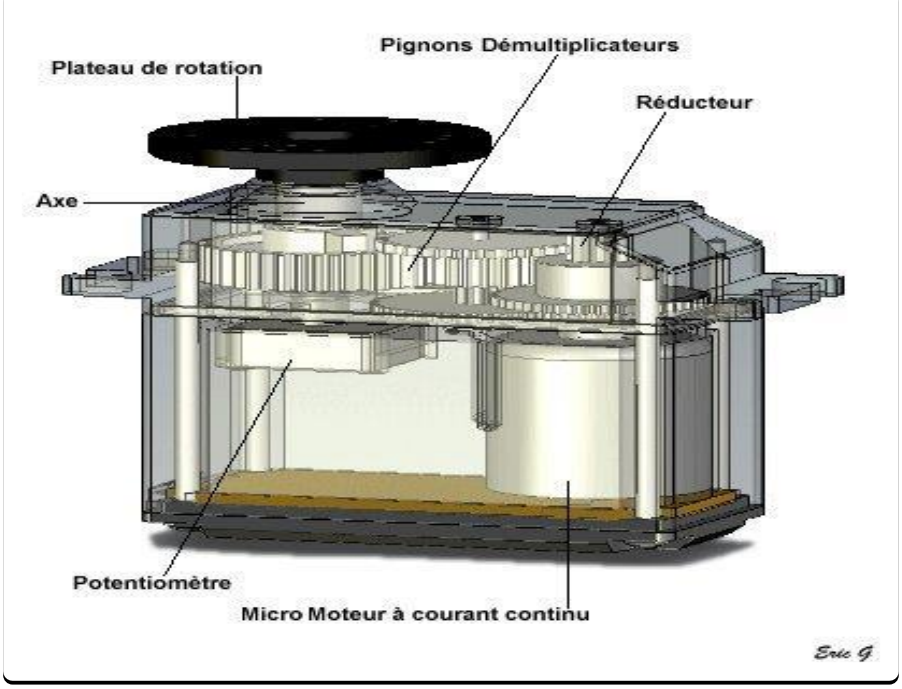


Figure III.5 : Les composants du servomoteur.

• Une impulsion de 1 milliseconde correspond à un angle de 0°.

• Une impulsion de 2 millisecondes correspond à un angle de 180°.

• En envoyant une impulsion d'une longueur intermédiaire, on obtient des angles différents, 90° avec une impulsion de 1.5 milliseconde par exemple(voir la figure **III.6**).

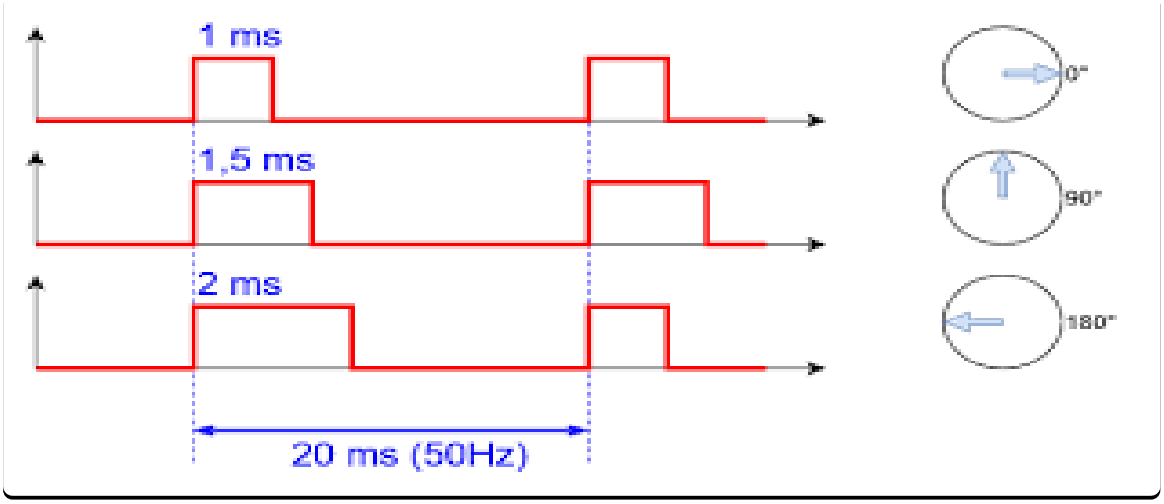


Figure III.6 : Signal de contrôle [35].

III.3.2.b Capteur LDR :

Une photo résistance LDR (Light Dépendent Résistor ou résistance dépendant de la lumière) est un composant dont la valeur en Ohms dépend de la lumière à laquelle il est exposé. Les matériaux utilisés pour la construction sont généralement du Sulfure ou du Séléniure de Cadmium qui se comporte comme des semi-conducteurs. La principale utilisation de la photo résistance est la mesure de l'intensité lumineuse (Appareil photo, de comptage, système d'alarme ... etc.).

Elle est fortement concurrencée par la photodiode. Dans notre projet on a choisi d'utiliser la LDR grâce à son temps de réponse qui est beaucoup plus court.

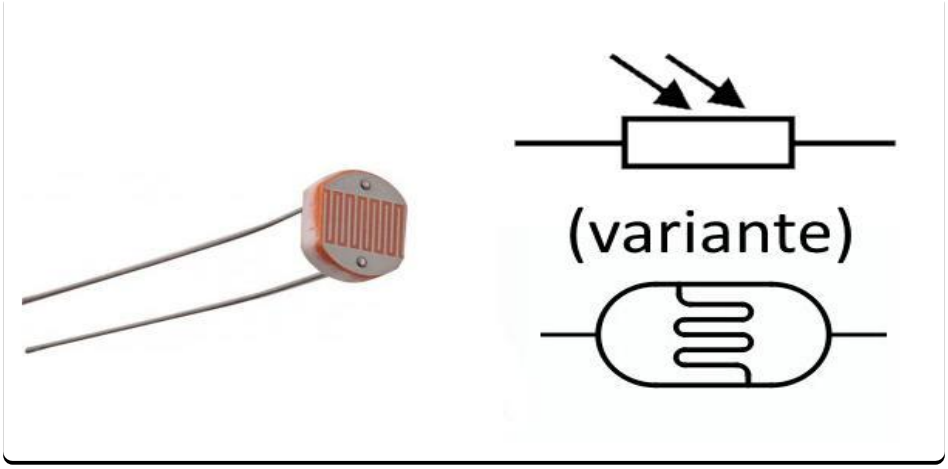


Figure III.7 : Symbole et Capteur LDR.

III.3.2.b.1 Principe de fonctionnement :

Un cristal à semi-conducteur à basse température contient peu d'électrons libres. La conductivité du cristal est très faible, proche de celle d'un isolant. Lorsque la température du cristal augmente. De plus en plus d'électrons qui étaient immobiles dans les liaisons covalentes s'échappent et peuvent participer à la conduction.

A température ambiante si le même cristal semi-conducteur est soumis à une radiation lumineuse, l'énergie apportée par les photons peut suffire à libérer certains électrons utilisés dans les liaisons covalentes entre atomes du cristal.

Plus le flux lumineux sera intense, plus le nombre d'électrons libres pour assurer la conduction sera grand, ainsi la résistance de la LDR est inversement proportionnelle à la lumière reçue. La sensibilité dépend de la fréquence de la radiation lumineuse. Pour convertir cette variation de la lumière en une tension en utilise le circuit diviseur de tension.

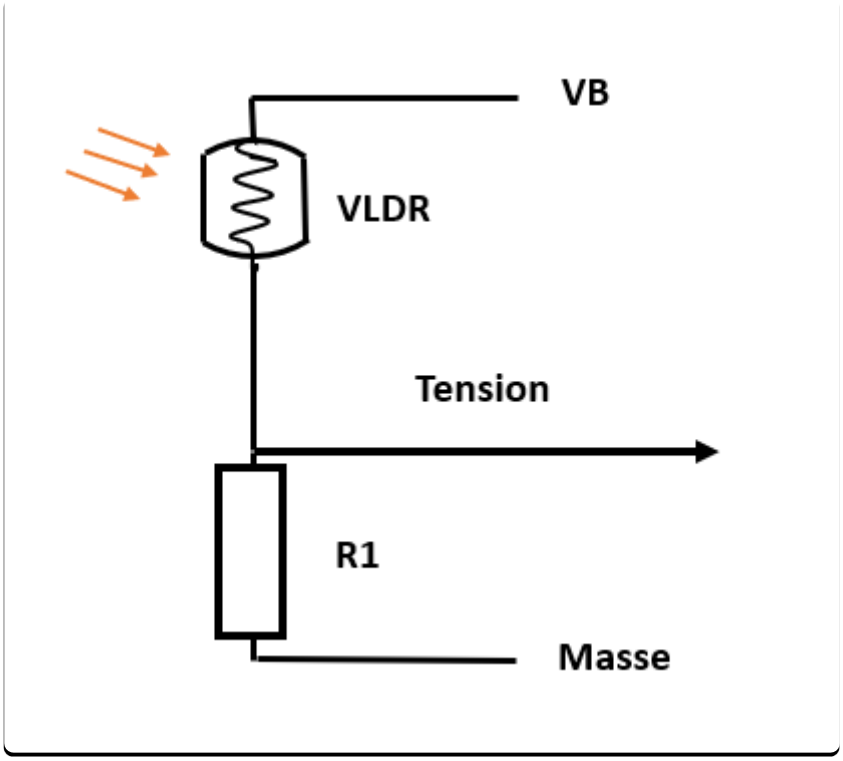


Figure III.8 : Circuit équivalent du capteur LDR utilisé.

- Tension délivrée par le capteur est donnée par la relation :

$$VLDR = VB \times \frac{R1}{R1+RLDR}$$

Où :

VB : Alimentation (V).

RLDR : résistance de la LDR (Ω).

III.3.2.c L'horloge en temps réel :

III.3.2.c.1 Définition :

Un module Real Time Clock (RTC) est un composant électronique qui permet de garder l'heure. Il est utile pour des applications qui nécessitent une cadence de cycles très précise ou pour envoyer des impulsions lorsque l'alarme programmée sonne. Cette dernière caractéristique peut s'avérer utile pour réveiller un Arduino endormi (Deep sleep mode) [28].

III.3.2.c.2 Description des broches du DS3231[28] :

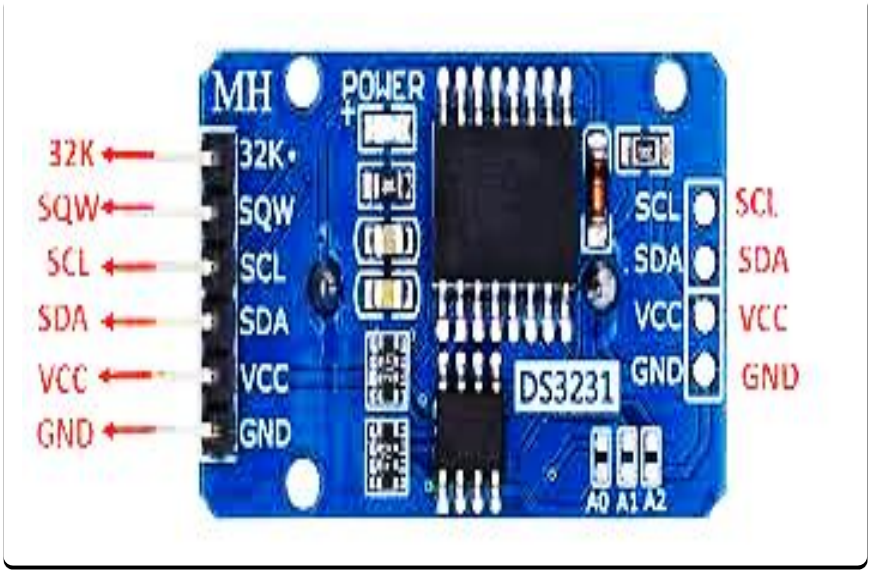


Figure III.9 : Les broches du module RTC DS3231.

SCL : Il s'agit d'une broche de communication série I2C entrée horloge.

SDA : Cette broche est utilisée pour les entrées/sorties de données de l'interface série I2C.

VCC : C'est une broche d'entrée de puissance positive du module dans la gamme 3.3V à 5.5V.

GND : La terre est une broche d'entrée d'alimentation négative (masse) :

III.3.2.c.3 Les caractéristiques du DS3231 :

- Maintient l'heure et la date (année, mois, jour, heure, minutes, secondes)
- Oscillateur interne compensé en température (TCXO).
- Erreur de +-2ppm (quelques minutes à l'année).
- Batterie de secours.
- Sortie directe de l'oscillateur 32768 kHz (32K)
- Sortie programmable de 1 Hz, 1 kHz, 4 kHz, 8 kHz (SQW)
- Connexion facile via interface I2C

III.3.2.d L'environnement de la programmation :

Le logiciel de programmation de la carte Arduino sert d'éditeur de code (langage proche du C). Une fois, le programme tapé ou modifié au clavier, il sera transféré et mémorisé dans la carte au travers de la liaison USB. Le câble USB alimente à la fois en énergie la carte et transporte aussi l'information CE programme appelé IDE Arduino [29].

- **Structure générale du programme (IDE Arduino) :**

Comme n'importe quel langage de programmation, une interface souple et simple est exécutable sur n'importe quel système d'exploitation Arduino basé sur la programmation en C.

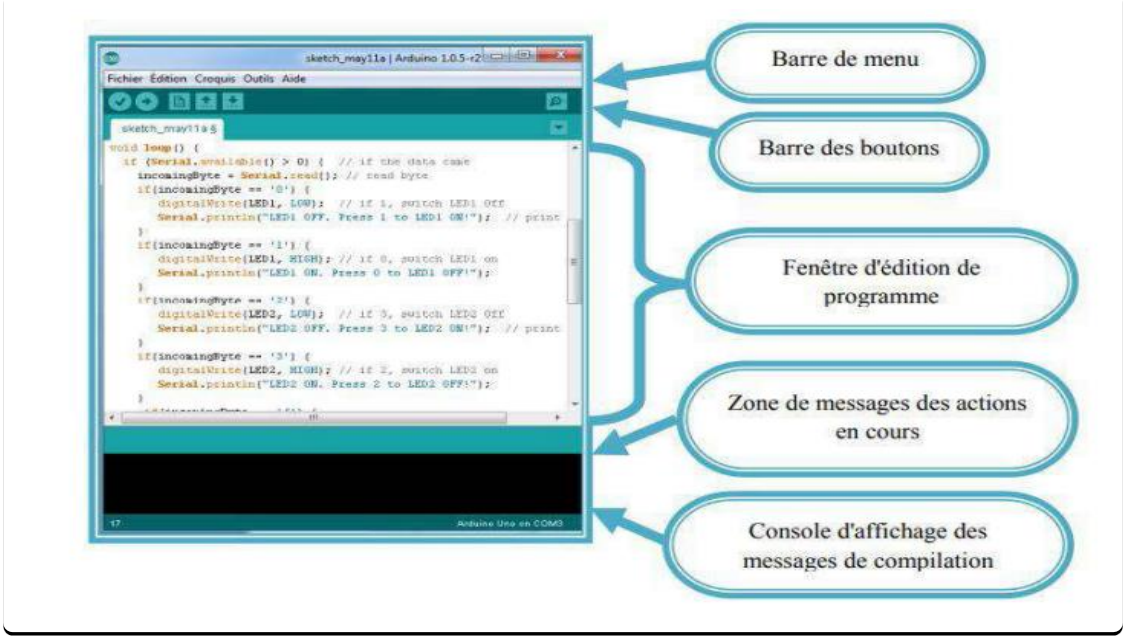


Figure III.10 : Interface IDE Arduino.

III.3.2.E cellule photovoltaïque :

La cellule photovoltaïque est le composant électronique semi-conducteur qui constitue un panneau solaire photovoltaïque et qui, exposé à la lumière, produit de l'électricité.

La cellule photovoltaïque permet de créer de l'électricité grâce à son exposition au soleil. Utilisée seule, elle peut alimenter de petits objets tels qu'une montre ou une calculatrice. Associées, les cellules photovoltaïques sont souvent utilisées pour créer un panneau solaire ou pour alimenter les satellites dans l'espace [30].

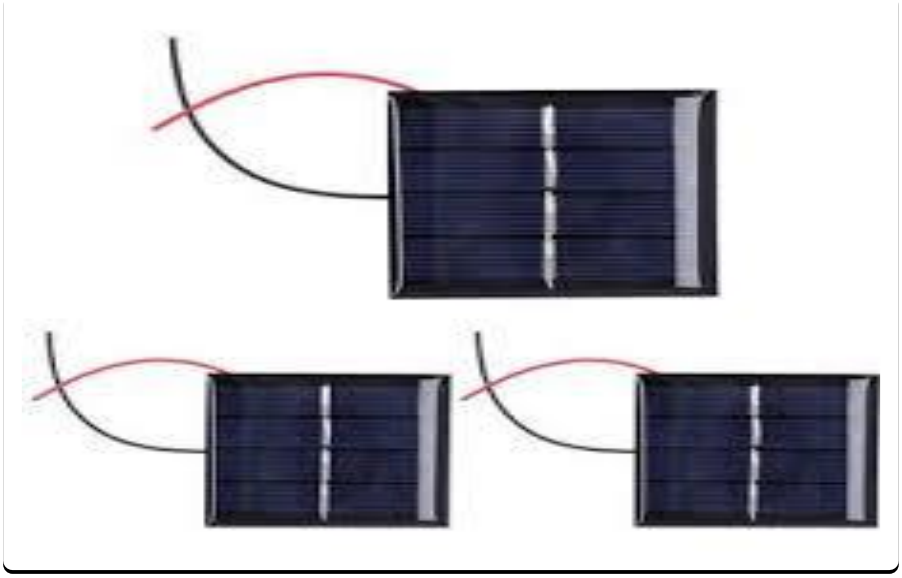


Figure III.11 : cellule photovoltaïque

III.3.2.E.1 Le principe de fonctionnement :

Le fonctionnement de la cellule photovoltaïque est fondé sur les propriétés de semi-conducteurs qui, percutés par les photons, mettent en mouvement un flux d'électrons. Les photons sont des particules élémentaires qui transportent l'énergie solaire à 300 000 km/s et qu'Albert Einstein appelait dans les années 1920 les « grains de lumière ». Lorsqu'ils frappent un élément comme le, ils arrachent des électrons à ses atomes. Ces électrons se mettent en mouvement, de façon désordonnée, à la recherche d'autres « trous » où se repositionner.

Mais pour qu'il y ait un courant électrique, il faut que ces mouvements d'électrons aillent tous dans le même sens. Pour les y aider, on va associer deux types de silicium. La face exposée au soleil est « dopée » avec des atomes de phosphore qui comportent plus d'électrons que le silicium, l'autre face est dopée avec des atomes de bore qui comportent moins d'électrons. Cette double face devient une sorte de pile : le côté très chargé en électrons devient la borne négative (N), le côté avec moins d'électrons devient la borne positive (P). Entre les deux il se crée un champ électrique [30].

III.4 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents composants d'un concentrateur solaire, en débutant par le contrôleur Arduino jusqu'au le récepteur du capteur LDR et RTC et cellule photovoltaïque qui nous faut comprendre pour assurer le bon fonctionnement de notre système.

Chapitre IV

Réalisation d’un concentrateur cylindo parabolique

IV.1 Introduction :

Le concentrateur cylindro-parabolique est un dispositif utilisé pour concentrer la lumière solaire en un seul point focal. Dans ce chapitre, nous allons mettre en œuvre un concentrateur cylindro-parabolique contrôlé par Arduino Nano. Nous utiliserons un servomoteur MG90 pour orienter le concentrateur en fonction de la position du soleil, en utilisant deux méthodes de capteur (avec deux captures de lumière LDR et les informations fournies par un module RTC DS3231).

Notre réalisation se décompose en trois parties principales :

• Partie mécanique.

• Partie programmation.

• Partie électrique.

IV.2 Cahier de charge :

Nous allons réaliser un concentrateur solaire de type concentrateur cylindro-parabolique contrôlé par un Arduino Nano, et nous utiliserons la méthode de suivi avec deux photos résistances LDR (Light Dépendent Résistor ou résistance dépendant de la lumière), et la méthode de suivi avec les équations qui utilisent le rapport entre la latitude du lieu et la date et l'heure du jour à l'aide du DS3231.

Le miroir est entraîné en rotation sur un axe par un servomoteur. Minnie Servomoteur 13.4G MG90S pour entraîner l'axe d'azimut selon un angle calculé et ainsi déplacer les miroirs selon un angle qui reflète les rayons du soleil vers Les Réflecteur cylindrique parabolique.

IV.3 Partie mécanique :

IV.3.1 Réalisation du réflecteur :

Nous avons permis de réaliser la forme parabolique de la tôle, en utilisant des arcades en bois. A l'aide des boulons, nous avons fixé une tôle inox d'une longueur de 32 cm et d'une largeur de 29cm sur les arcades et on a obtenu la forme parabolique désirée (voir figure **IV**.2).

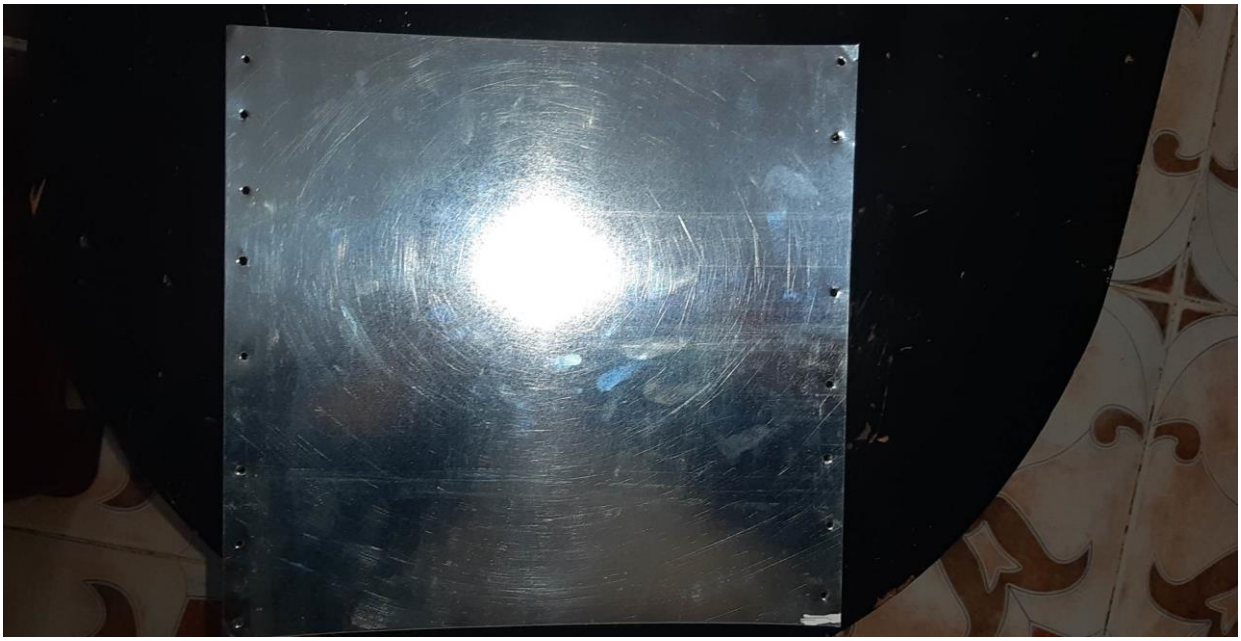


Figure IV.1: une tôle inox.

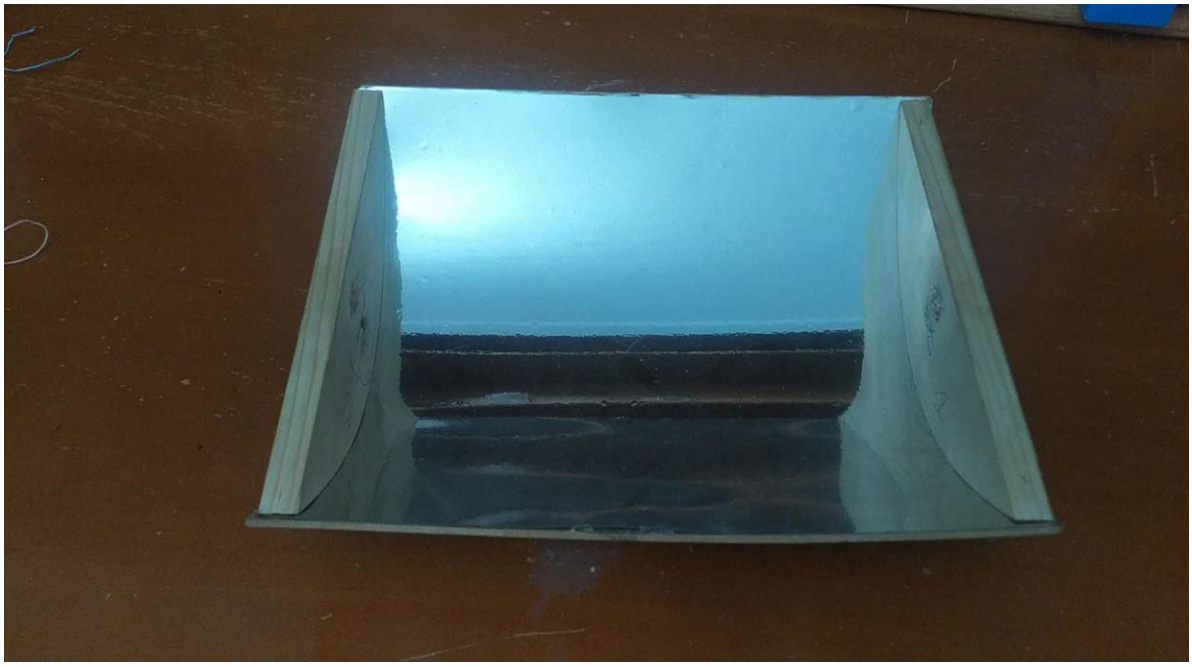


Figure IV.2: le réflecteur.

IV.3.2 Absorbeur :

C'est un tube en cuivre d'un diamètre extérieur de14 mm, d'un diamètre intérieur de 12mm et d'une longueur de 150 cm. Le tube est l'absorbeur reçoit un traitement sélectif pour pouvoir absorber le maximum d'énergie.

Nous avons réalisé un système de circulation d'eau. Ce système comporte deux orifices, un pour assurer l'entrée de l'eau et l'autre pour assurer la sortie et pour la fixation et l'isolation on a réalisé (voir figure IV.3).



Figure IV.3: Absorbeur.

IV.3.3 La Base :

Nous avons fabriqué une base à l'aide de planches de bois pour maintenir le réflecteur cylindrique, La base de base est une pièce de bois rectangulaire d'une longueur de 12 et d'une largeur de 19, en plus d'une colonne en bois sur le côté droit d'une longueur de 18 et d'une autre colonne sur le côté gauche dans laquelle le servomoteur est placé.

Nous avons utilisé une vis avec des écrous sur le côté droit du siège pour soulever le réflecteur solaire (voir figure IV.4).

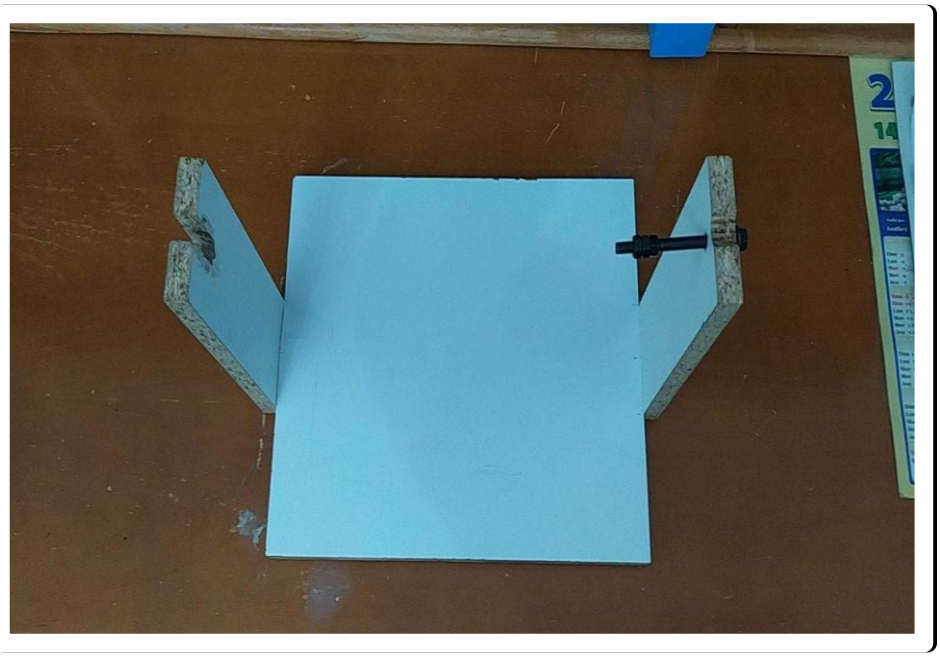


Figure IV.4: La Base du réflecteur.

IV.3.4 montage de servo moteur en réflecteur solaire :

Le servo moteur s'installe sur la colonne en bois gauche du socle à l'aide d'une petite vis, et on colle le palonnier de servo sur réflecteur solaire à son centre de gravité (voir figure IV.5).

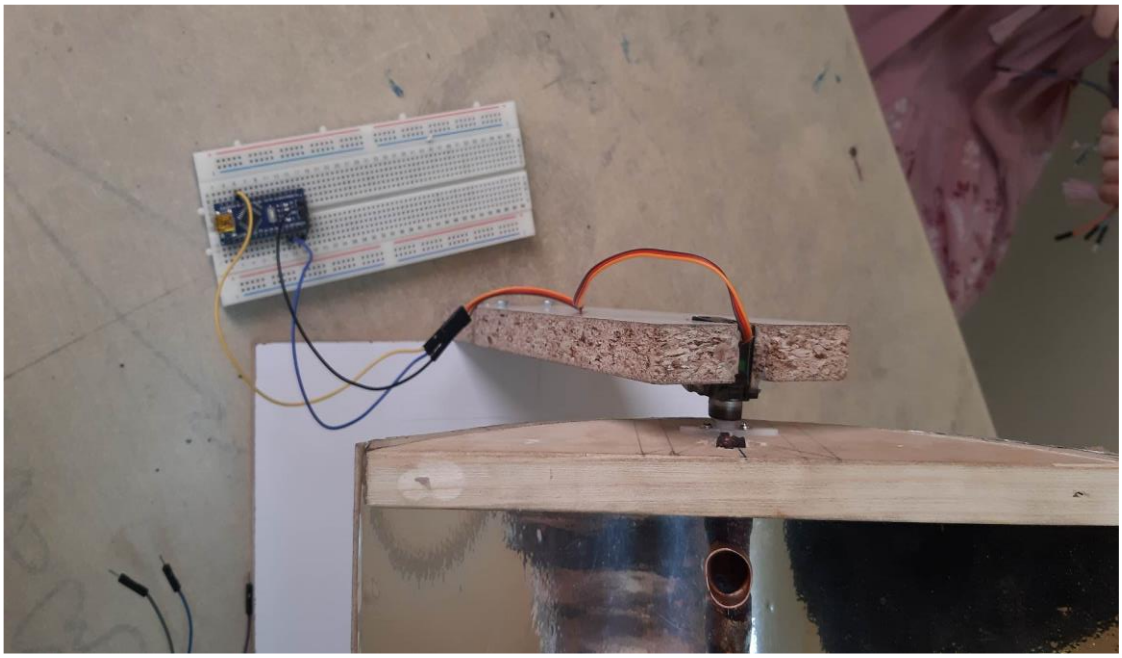


Figure IV.5: Montage de servo moteur en réflecteur solaire.

IV.4 les méthodes de travail :

En a réalisé ce projet avec deux méthodes :

IV.4.1 La premier méthode (avec deux capteur LDR) :

Dans cette méthode on a utilisé deux capteur LDR avec deux résistances pour suive la position du soleil, l'orientation du concentrateur et programmer avec un servo moteur et une carte Arduino nano.

IV.4.1.a Partie programmation :

a) L'organigramme :

Avant de passer à la programmation, nous devons réaliser un organigramme qui explique le déroulement des différentes séquences, tant intérieures qu'extérieures, il comportera plusieurs boucles dont la fin d'exécution succède toujours à son commencement

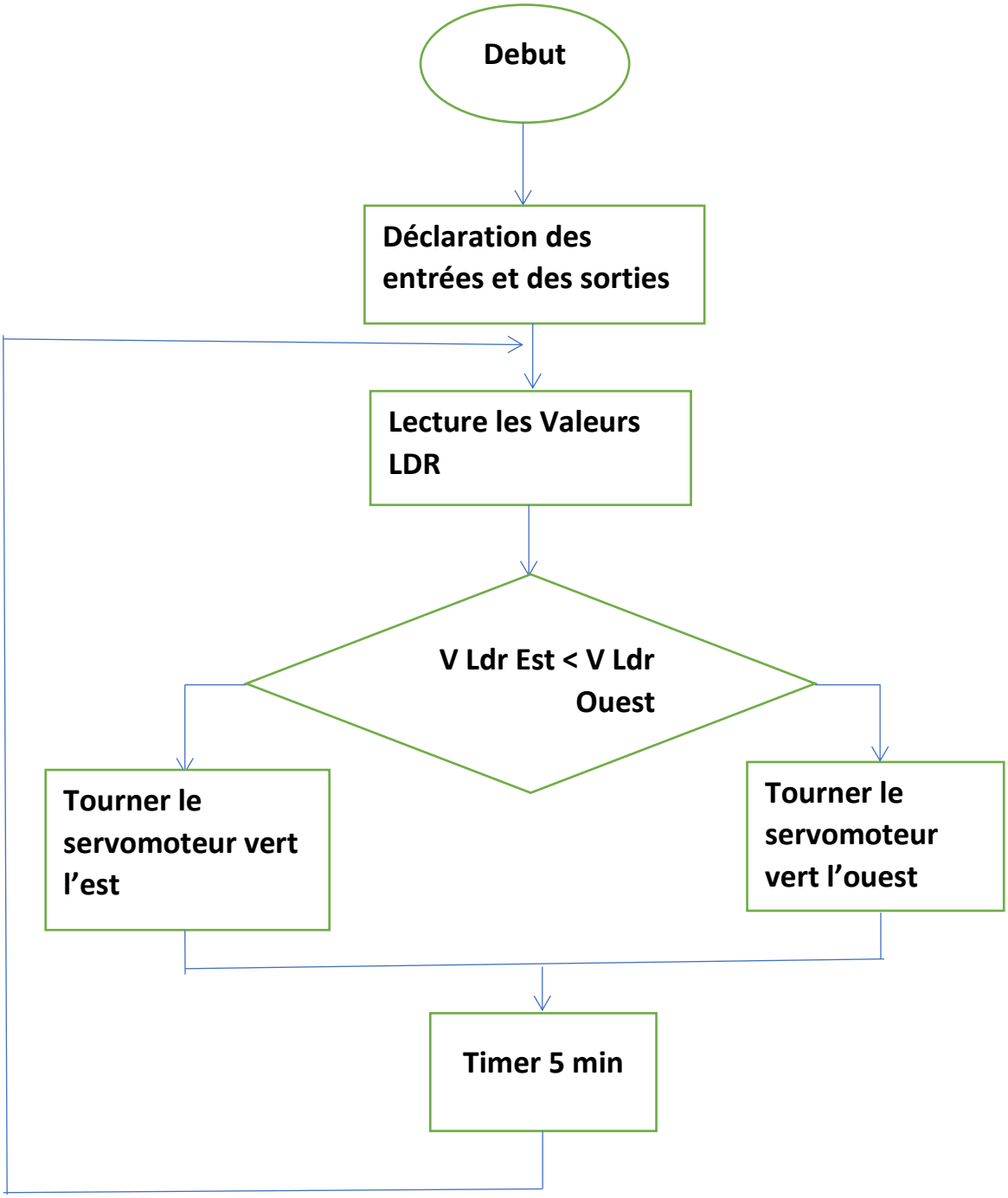


Figure IV.6: Organigramme d'un concentrateur de type Cylindro-parabolique avec deux LDR.

b) Programmation :

La carte Arduino Nano est une carte programmable, elle peut être programmée avec le logiciel Arduino représenté dans la figure (voir figure IV.6).

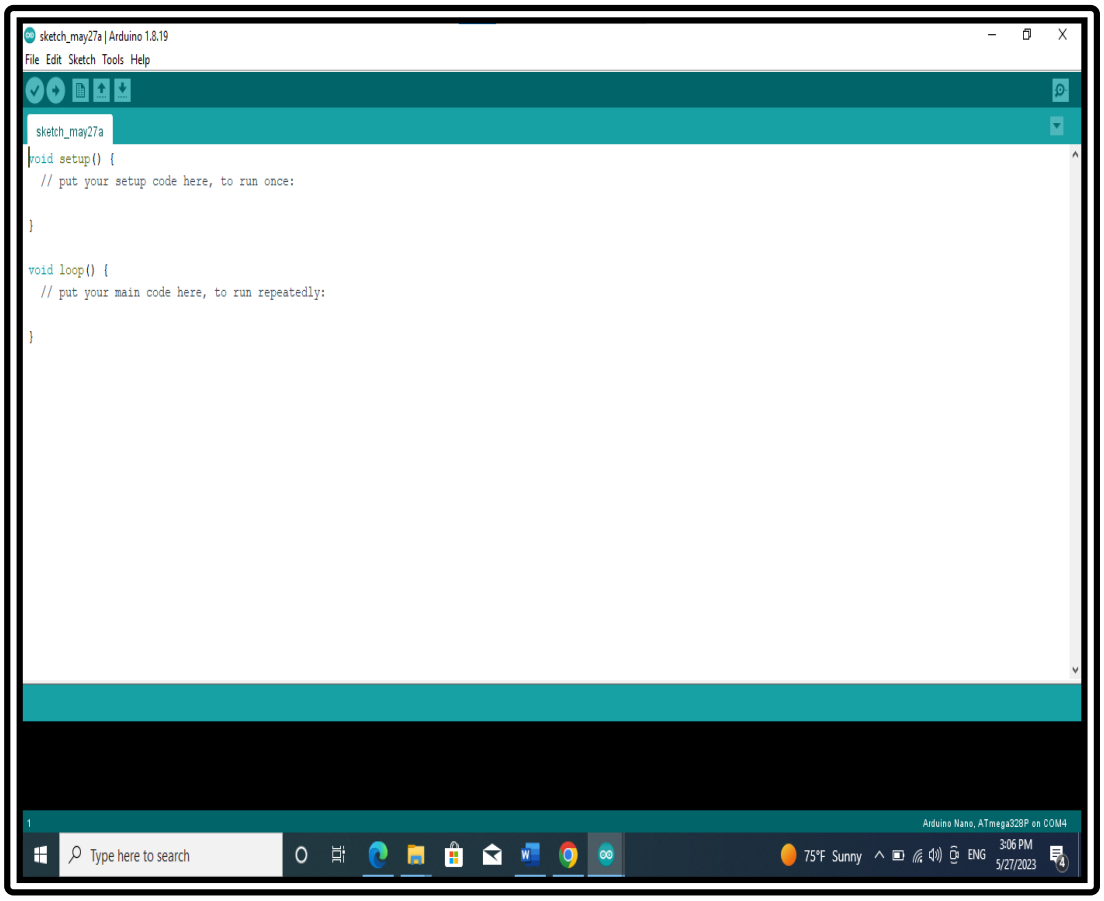


Figure IV.7: interface du logiciel Arduino.

Pour écrire un programme du notre système, nous avons commencé étape par étape **:**

- Déclaré Constantes pour les broches.
- Déclaré les Variables pour la lecture des valeurs LDR.
- Déclaré les Variables pour le servo moteur.
- Déclaré les Constantes pour les seuils de luminosité.
- Déclaré les Fonction pour déplacer le servo moteur à une position donnée.
- Configuration des broches.
- Initialisation de la communication série.

- Lecture des valeurs des LDR.
- Affichage des valeurs des LDR.
- Vérification de la luminosité par rapport aux seuils.
- Déplacer le servo moteur.

IV.4.1.b Partie électrique/électronique :

L'électronique sera constituée par microcontrôleur Arduino Nano, assisté par deux capteurs LDR **:**

a) Les composants :

-Carte Arduino nano.

-Alimentation (5V/1A).

-réflecteur cylindro_parabolique.

- Un PC avec port USB pour la programmation.

- Servo moteur.

- deux photos résistances LDR (Light Dépendent Résistor ou résistance dépendant de la lumière).

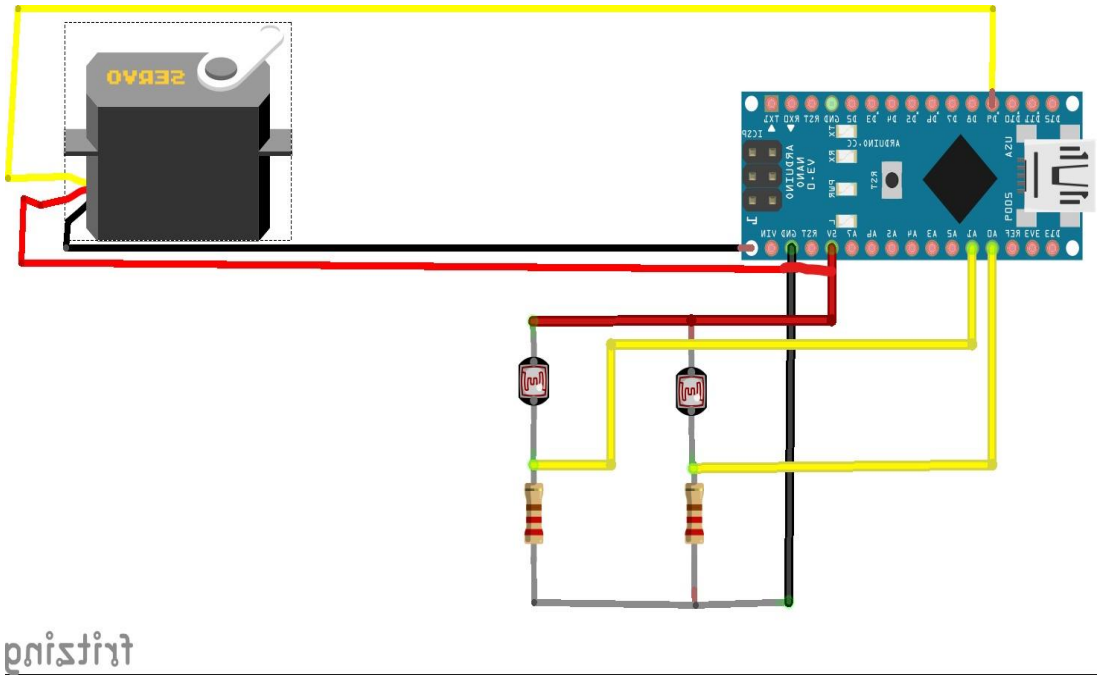


Figure IV.8 : Schéma de bronchement de la partie électronique du deux LDR.

IV.4.1.C Montage réale avec LDR :

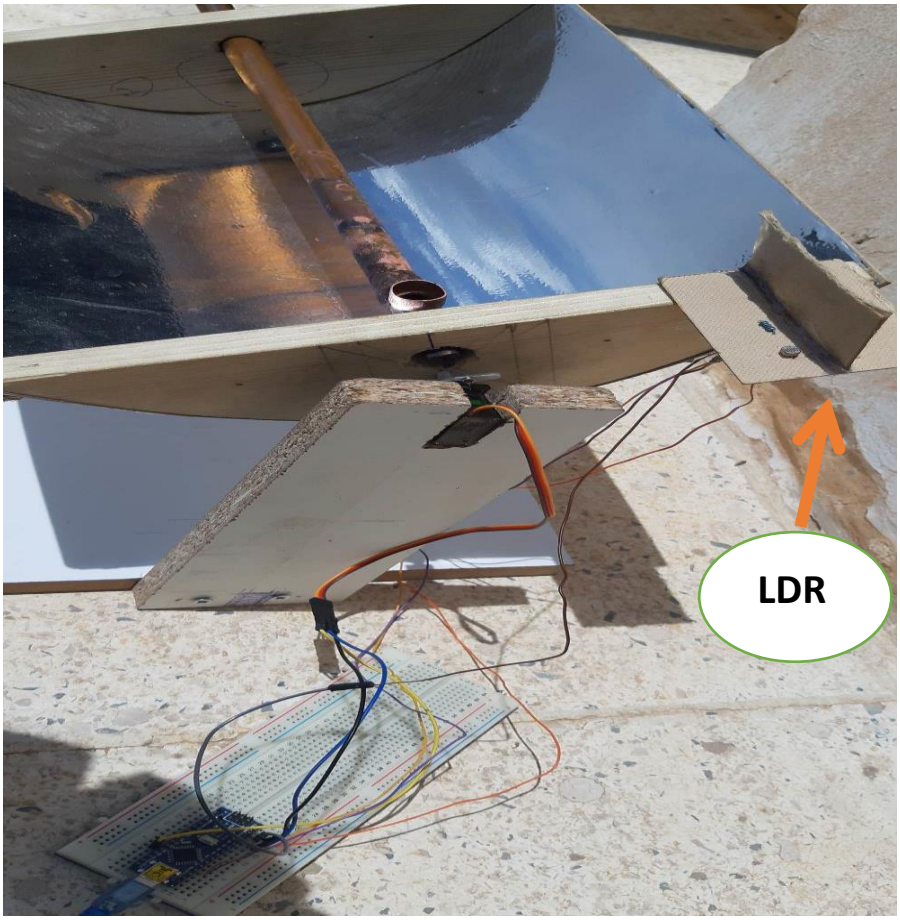


Figure IV.9 : Montage réale avec LDR.

IV.4.2 La deuxième méthode (avec cellule photovoltaïque) :

Dans cette méthode on a utilisé deux cellules photovoltaïques avec deux résistances pour suive la position du soleil, l'orientation du concentrateur et programmer avec un servo moteur et une carte Arduino nano.

IV.4.2.a Partie programmation :

a) L'organigramme :

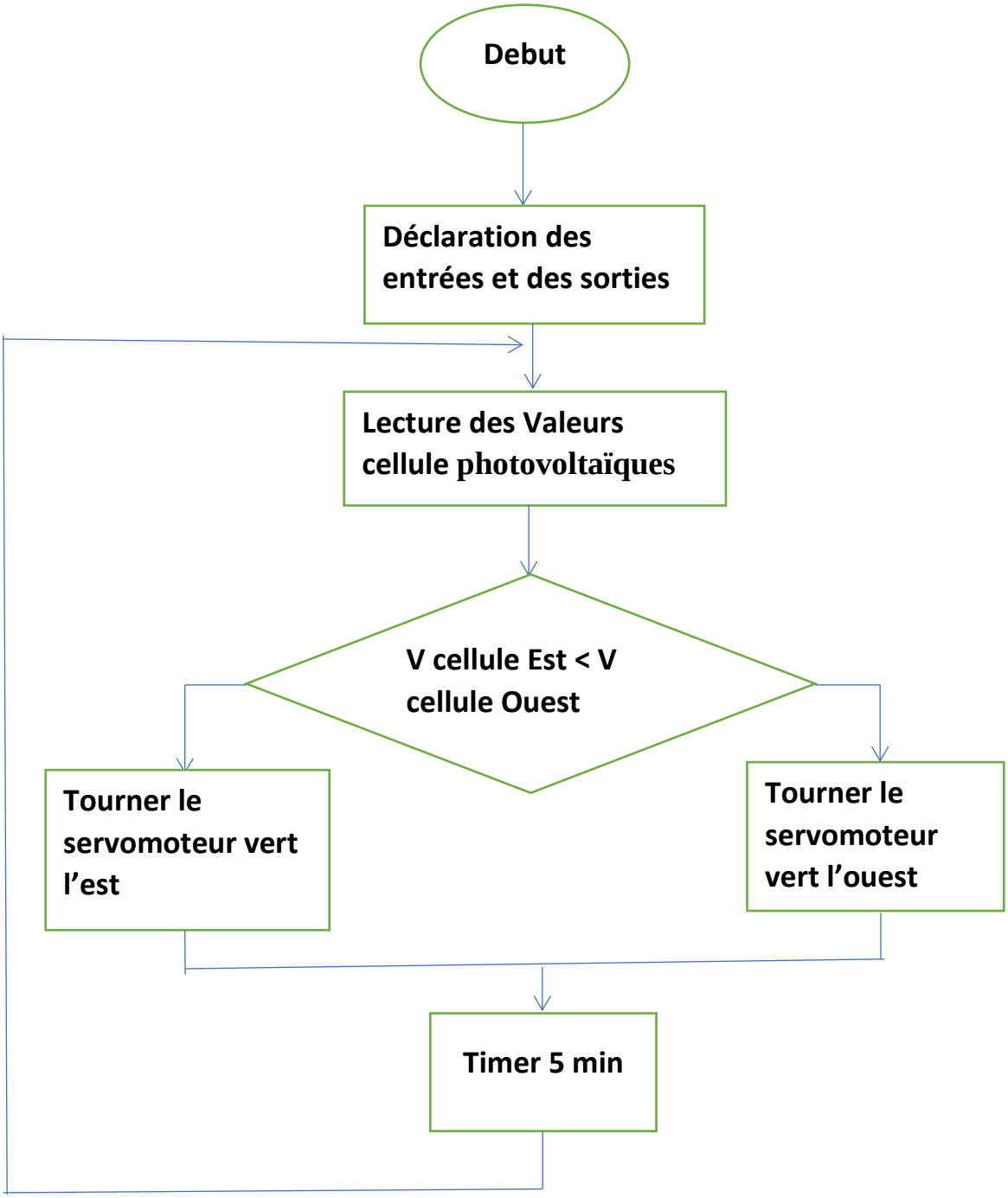


Figure IV.10: Organigramme d'un concentrateur de type Cylindro-parabolique avec deux cellules photovoltaïques.

IV.4.2.b Partie électrique/électronique :

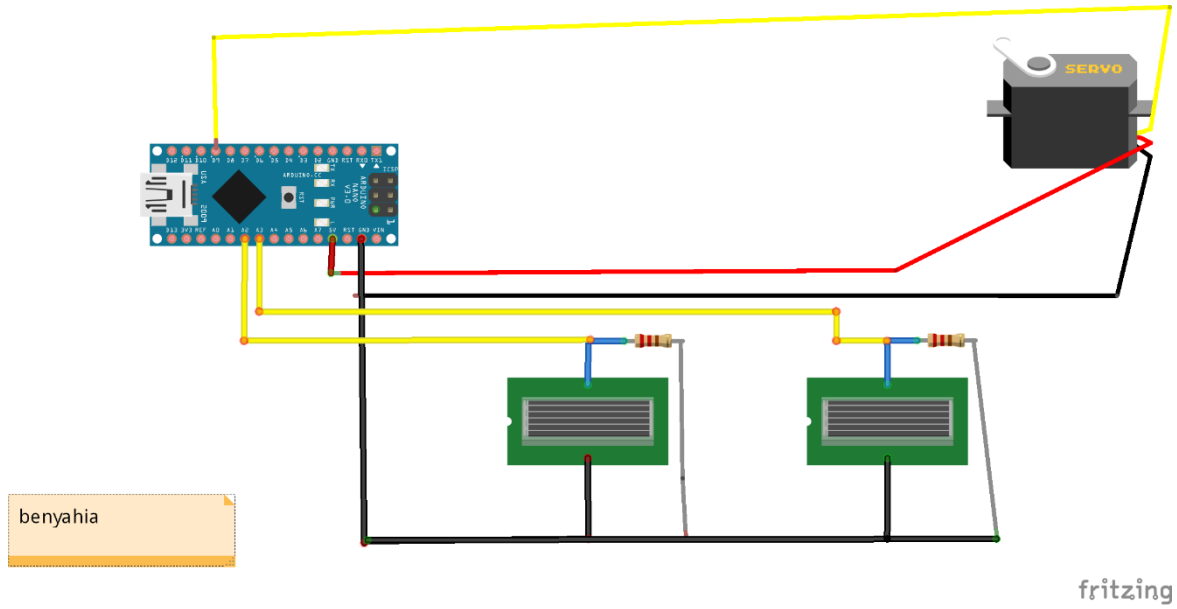


Figure IV.11 : Schéma de bronchement de la partie électronique du deux cellules photovoltaïques.

IV.4.2.D Montage réale avec cellules photovoltaïques :

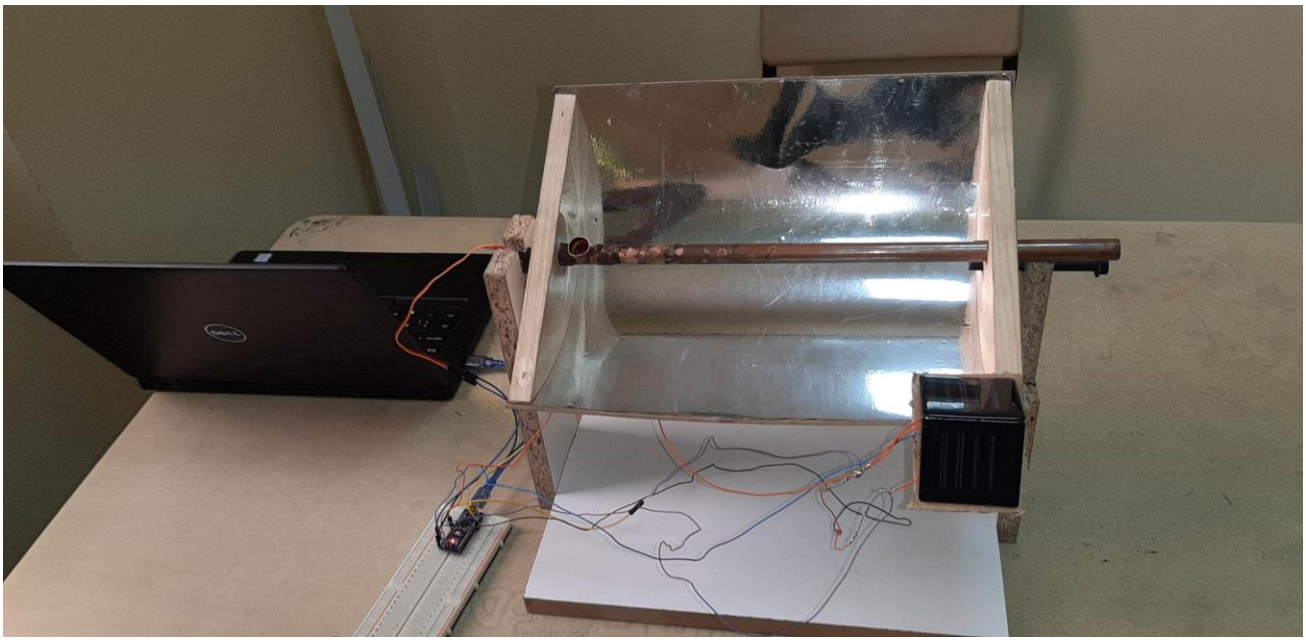


Figure IV.12 : Montage réale avec cellules photovoltaïques.

IV.4.3 La troisième méthode (RTC) :

On a utilisé un circuit intègre RTC (Real Time Clock) DS3231 pour concentrer la lumière solaire sur un point focal suivre le mouvement du soleil en temps réel.

IV.4.2.a Partie programmation :

a) Programmation :

Pour écrire un programme du notre système, nous avons commencé étape par étape **:**

 La première étape a été d'écrire du code pour régler le module RTC DS3231.

 Deuxièmement, écrire du code pour programmer le servomoteur.

 La troisième étape consistait à écrire les équations nécessaires pour calculer la position du soleil et les angles des miroirs en fonction de celui-ci.

 La dernière étape consistait à rédiger un programme final complet pour les étapes précédentes.

b) L'organigramme :

Avant de passer à la programmation, nous devons réaliser un organigramme qui explique le déroulement des différentes séquences, tant intérieures qu'extérieures, il comportera plusieurs boucles dont la fin d'exécution succède toujours à son commencement.

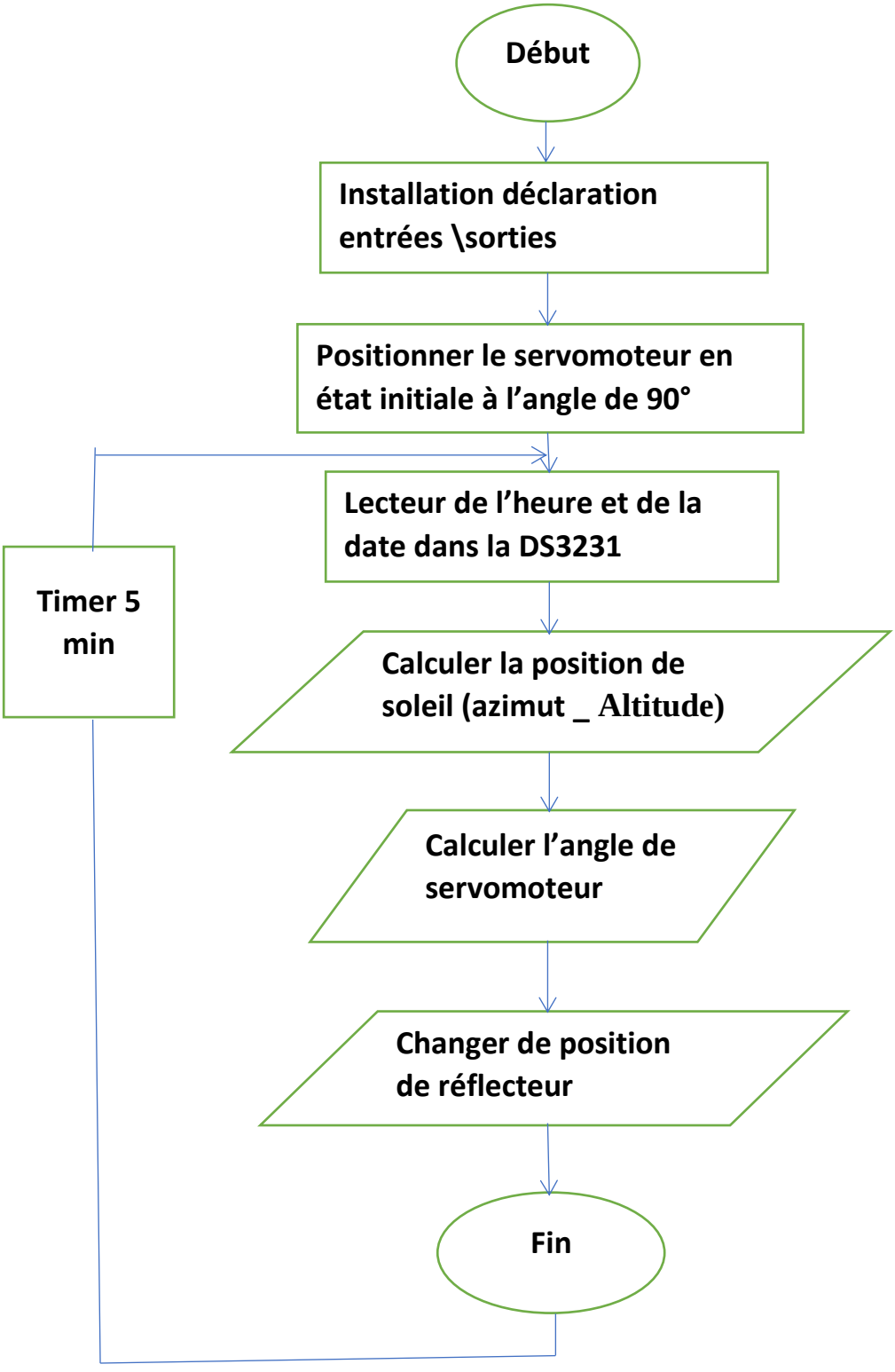


Figure IV.13: Organigramme d'un concentrateur avec RTC.

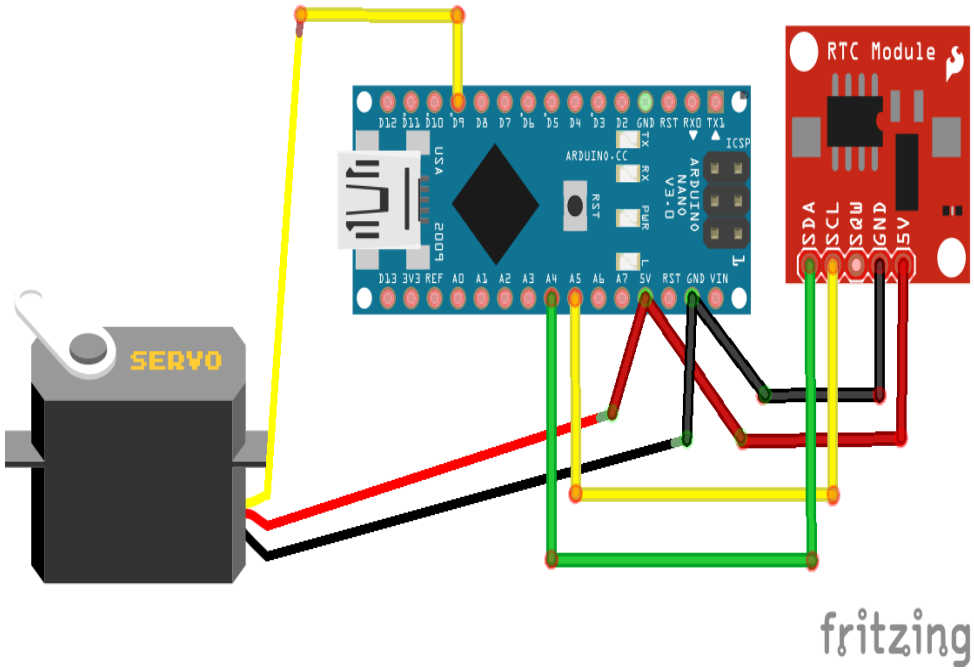


Figure IV.14 : Schéma de bronchement de la partie électronique du RTC DS3231.

IV.4.3.E Montage réale avec RTC :

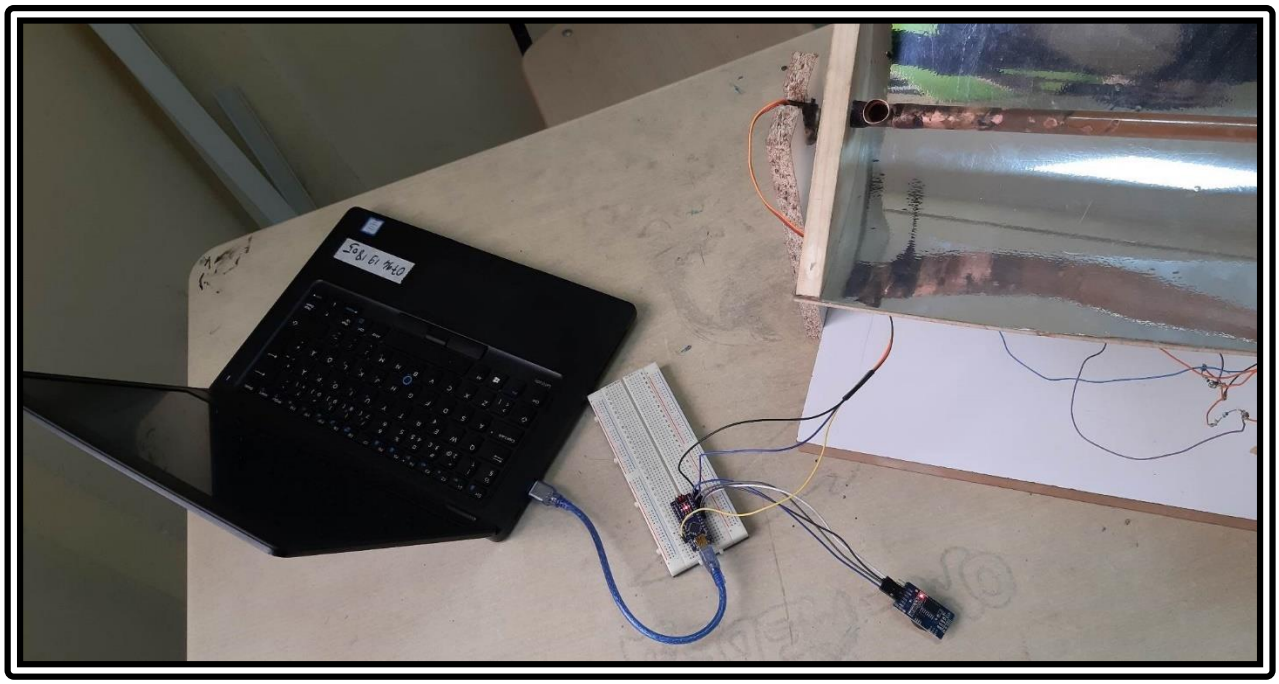


Figure IV.15 : Montage réale avec RTC.

IV.5. Etude comparative :

	AVANTAGES	INCONVINIANES
LDR	• Programmation Simple • Câblage électronique simple • Moins chaire a réalisé	• Elle n'est pas efficace à l l'absence su soleil • Capteur passive = (nécessite l'alimentation et vcc)
Cellule photovoltaïque	• Programme simple • Câblage simple • Plus chaire a réalisé	• Elle n'est pas efficace à l l'absence su soleil
RTC	• Câblage simple • Elle est adaptée et fonctionner dans toutes les conditionnes • Plus chaire a réalisé	• Programme complique • Adapte le programme pour chaque référence de RTC

Tableau IV.1 : Caractéristiques principales du soleil.

IV.6. Conclusion :

Dans ce chapitre en a réalisé le concentrateur avec des capteur LDR et les cellules photovoltaïques et RTC et on a étudier la différence entre les trois méthodes pour des différents solutions pour la production de l'eau chaude.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Ce projet de fin d'étude a été une occasion précieuse pour nous de faire un travail multidisciplinaire en reliant l'électronique, l'automatisation, la mécanique, la programmation, l'optique et les énergies renouvelables, et même le travail en collaboration avec des étudiants d'autres départements et ingénieurs sous la supervision des professeurs encadrant.

Notre projet est basé sur le principe de rotation de l'inverseur solaire cylindrique équivalent en fonction du mouvement du soleil tout au long de la journée, basé sur les équations du champ solaire, pour refléter la lumière du soleil sur les complexes que nous utilisons (LDR, cellule photovoltaïque, RTC) utiliser le panneau Arduino pour connaître la différence entre les trois méthodes utilisées et la meilleure et la plus facile façon de contrôler la rotation du réflecteur soleil pour absorber la plus grande quantité d'énergie solaire pour la production du l'eau chaude.

On peut utiliser ce prototype comme un outils pédagogique dans les TP au niveau de l'université et les centres de formation.

En perspective, nous souhaitons améliorer les outils utilisés dans ce projet et ajouter d'autres matériaux pour construire la partie mécanique et protéger le système contre les changements brusques de climat et de température. Malgré les difficultés que nous avons rencontrées, nous avons voulu fournir tout ce que nous pouvions, pour que ce travail, si Dieu le veut, soit au niveau du projet de fin d'étude master.

.

Bibliographie

[1] De Brichambaut, Christian Perrin, and Christian Vague. Le gisement solaire : Evaluation de la ressource énergétique. Tec & Doc, 1982.

[2] Chaplin, William J., et al. "Ensemble asteroseismology of solar-type stars with the NASA Kepler mission." Science 332.6026 (2011) : 213-216.

[3] Web site: https://www.connaissancedesenergies.org/fichepédagogique/énergiesolaire-exploitation.

[4] Mihoub, Sofiane. Contribution à la modélisation et à l'optimisation des concentrateurs solaires motorisés appliqués aux systèmes thermosolaires. Diss. 30-10-2017.

[5] Hamidatou, Abderrezzak, and Seddik Bouregba. Simulation d'un système CSP (cylindro-parabolique) à production d'électricité. Diss.

[6] lenergie-solaire.net https://lenergie-solaire.net/qu-est-ce-que-energie-solaire/l-energie-solaire-passive

[7] Meunier, Francis, and Daniel Mugnier. La climatisation solaire : Thermique ou photovoltaïque. Dunod, 2013.

[8] Touafek, K., Haddadi, M., Malek, A., & Bendaikha-Touafek, W. (2008). Simulation numérique du comportement thermique du capteur hybride solaire photovoltaïque thermique. Revue des énergies renouvelables, 11(1), 153-165.

[9] Réda, Haddouche Mohammed, and Benazza Abdel Ilah. "Amélioration des performances thermiques d'un concentrateur cylindro-parabolique."

[10] M'Raoui, A., Mouhous, S., Malek, A., & Benyoucef, B. (2011). Etude statistique du rayonnement solaire à Alger. Revue des Energies Renouvelables, 14(4), 637-648. Bibliographie.

[11] BOUKELIA Taqiy Eddine THÈSE, 2016. Simulation et optimisation d'un modèle de capteur cylindro-parabolique.

[12] "Énergie solaire", Pveducation.org. [En ligne]. Disponible : https://www.pveducation.org/. [Consulté le 27 août 2020].

[13] I. Koussaila, H. Idir. 'Etude et réalisation d'un mécanisme de poursuiveur solaire pour un concentrateur cylindro parabolique avec carte de commande' Mémoire de master, Université Abderrahmane Mira, Bejaia, 2013.

[14] J. François Hoffmann. 'Stockage thermique pour centrale solaire thermodynamique à concentration mettant en œuvre des matériaux naturels ou recyclés' Thèse de Doctorat, Université de Perpignan, Domitia, 2015.

[15] BOUSSOUFA Hadj Ahmed, BOURBAA Mokhtar, Mémoire fin d'étude, Étude thermoéconomique du cycle combiné avec intégration de l'énergie solaire, Université M'hamed BOUGARA- Boumerdes, 2017.

[16] Quoilin Sylvain, Mémoire fin d'étude, Les centrales solaires à concentration, Université de Liège Faculté des sciences appliquées, Mai 2007.

[17] upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/db/Solar_land_area.png

[18] J. Bernard, énergie solaire calculs et optimisations, édition : ellipses, 2004.

[19] http://www.foad.uadb.edu.sn/mod/book/view.php?id=2440&chapterid=1508 La date d'accès :24/03/2022.

[20] B. Stine, Michael Geyer, Power from the sun, Lyle centre for regenerative studies 2001.

[21] S. Bouara. ' Etude et simulation des transferts de chaleur dans un récepteur d'un concentrateur solaire cylindro-parabolique' Mémoire de master, Université m'hamedbougara, Boumerdès, 2017.

[22] https://moodle.univouargla.dz/pluginfile.php/19745/course/summary/Technologie%20du%20stockage%20thermi que.pdf La date d'accès :16/04/2022.

[23] "ATmega328P - Microcontrôleurs AVR 8 bits", Atmel.com. [En ligne]. Disponible : http://www.atmel.com/devices/atmega328p.aspx. [Consulté le 14 août 2020].

[24] "Microcontrôleur ATMega328P", Components101. [En ligne]. Disponible : https://components101.com/microcontrollers/atmega328p-pinout-features-datasheet. [Consulté le 13 septembre 2020].

[25] ARDUINO NANO /EDITION ENI

https://www.editions-eni.fr/open/mediabook.aspx?idR=f5aced58fc8abfbb33241cfa82273c4f

[26] "Servomoteur : définition, traduction", largus.fr, 2019. [En ligne]. Disponible : https://www.largus.fr/dictionary/moteur-energie/servomoteur-9864401.html. [Consulté le 11 septembre 2020].

[27] A. ZARIFI et T. SAADI, "Simulation et réalisation de la commande d'un servomoteur a courant continu a base de la carte ARDUINO", Doctorat, Université Akli Mouhand OulhadjBouira, Algérie 2017.

[28] Introduction to DS 3231 RTC Module electroduino

https://www.electroduino.com/ds3231-rtc-module-how-its-works/

[29] S. GRIM et M. AICHE, "Commande d'un panneau solaire à l'aide d'une carte arduino", Master, Université Mouloud MAMMERI de TIZI-OUZOU, Algérie 2018.

[30] https://www.edfenr.com/lexique/cellule-photovoltaique.