



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane Mira -Bejaia
Faculté de Technologie
Département Génie Electrique

2019/2020

Memoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme Master recherches-en
Génie Electrique
Filière : Électromécanique

THÈME :

*Etude et mise en œuvre d'un
Concentrateur solaire avec poursuite
automatique*

Présenté par :

- 1- Mr. BOUAMARA Amer
- 2- Mr. BENIDIRI Massinissa

Encadré par :

Promoteur : Mr .Y.MEBARKI

Devant le jury:

Mme. Bendahmane
Mr. Melahi

Année universitaire 2019/2020

Remerciement :

Nous remercions toute personne nous ayant aidé de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.

On cite en particulier :

Notre promoteur Mr.Y.MEBARKI de nous avoir encadrés, orienté, aidé, et conseillé. Sans oublier les jurys qui nous feront l'honneur de juger ce modeste travail.

Nous tenons à remercier l'Association Scientifique « LEFNAR » d'El Kseur ainsi que l'Association « Club vert TALSA », en particulier Azedine KEDADOUCHE pour son soutien et son encouragement. Nous remercions vivement les responsables ainsi que les techniciens du Hall de Technologie.

Nos remerciements vont envers tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire, de même que ceux qui ont participé à notre formation, qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

Résumé :

Le travail réalisé concerne la mise en œuvre d'une solution technique permettant de réaliser un tracker automatique afin de rendre le système de tracking autonome d'une part et d'améliorer le rendement d'autre part et la réalisation de son absorber.

Dans ce type de poursuite, nous utiliserons des LDR, pour la détection de la position du soleil. Une carte électronique ARDUINO a été produite pour contrôler le système mécanique du système de suivi solaire, une chaîne d'acquisition de données a également été installée pour assurer une surveillance permanente du système. Une étude expérimentale a été réalisée sur deux concentrateurs, un plat recouvert d'une feuille d'aluminium et l'autre recouvert de petits miroirs rectangulaires. Nous avons comparé les résultats obtenus pour les deux types, nous avons remarqué que les résultats étaient plus satisfaisants et que l'efficacité est très importante pour le plat qui est recouvert des miroirs.

Mots clés: rayonnement solaire, concentrateur parabolique, récepteur, Absorber, réflecteur.

Abstract:

The work carried out relates to the implementation of a technical solution allowing to realize an automatic tracker in order to make the tracking system autonomous on the one hand and to improve the yield on the other hand and the realization of its absorber.

In this type of pursuit, we will use LDRs, for the detection of the position of the sun. An ARDUINO electronic card was produced to control the mechanical system of the solar tracking system, a data acquisition chain was also installed to ensure permanent monitoring of the system. An experimental study was made on two concentrators, one dish covered with aluminium foil and the other covered with small rectangular mirrors. We compared the results obtained for the two types, we noticed that the results were more satisfactory and the efficiency is very important for the dish which is covered with the mirrors.

Keywords: Solar radiation, Parabolic concentrator, Receiver, Absorber, Reflector.

Sommaire

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : Rayonnement solaire	
I. INTRODUCTION	3
I.1 LE SOLEIL.....	3
I.1.1 <i>Durée et taux d'ensoleillement</i>	3
I.1.2 <i>Constante solaire</i>	4
I.2 RAYONNEMENT SOLAIRE	4
I.2.1 <i>Rayonnement direct</i>	5
I.2.2 <i>Rayonnement solaire diffus</i>	5
I.2.3 <i>Rayonnement l'albédo</i>	5
I.2.4 <i>Rayonnement solaire global</i>	5
I.3 GISEMENT SOLAIRE EN ALGERIE	6
I.4 MOUVEMENT DU GLOBE TERRESTRE	8
I.5 SPHERE CELESTE	9
I.6 COORDONNEES CELESTES.....	10
I.6.1 <i>Coordonnées géographiques</i>	10
I.6.2 <i>Coordonnées horaires</i>	11
I.6.3 <i>Les coordonnées horizontales</i>	12
I.6.4 <i>Angle horaire de coucher du soleil</i>	13
I.7 LES NOTIONS DU TEMPS	13
I.7.1 <i>Le temps solaire vrai (TSV)</i>	13
I.7.2 <i>Le temps solaire moyen (TSM)</i>	13
I.7.3 <i>Le temps universel</i>	14
I.7.4 <i>Le temps légal (TL)</i>	14
I.8 CONCLUSION	15
II. INTRODUCTION	16
II.1 LE PRINCIPE DE CONCENTRATION.....	16
II.2 LES DIFFERENTS TYPES DE CONCENTRATEURS	16
II.2.1 <i>Systèmes de concentration linéaire</i>	16
II.2.2 <i>Concentrateur Cylindro Parabolique</i>	16
II.2.3 <i>Centrales solaires à miroirs de Fresnel</i>	17
II.2.4 <i>Systèmes de concentration par foyer</i>	17
II.3 ETUDE THEORIQUE DU CONCENTRATEUR PARABOLIQUE	18
II.3.1 <i>La géométrie du concentrateur parabolique</i>	18

II.3.2	<i>Les composants d'un concentrateur solaire parabolique</i>	21
II.3.3	<i>Dimension du récepteur</i>	22
II.4	LA CONCENTRATION	24
II.4.1	<i>Concentration géométrique</i>	24
II.4.2	<i>Concentration optique</i>	25
II.5	LE FLUIDE CALOPORTEUR (OU CALORIPORTEUR)	25
II.6	TEMPERATURE DE L'OUVERTURE DU RECEPTUR.....	26
II.7	L'ENERGIE REÇUE A L'OUVERTURE D'UN PARABOLOÏDE	27
II.7.1	<i>Puissance solaire absorbée par l'ouverture du récepteur</i>	29
II.7.2	<i>Puissance correspondant aux pertes thermiques</i>	29
II.7.3	<i>Efficacité du concentrateur</i>	32
II.8	CONCLUSION	33
III.	INTRODUCTION	34
III.1	SCHEMA SYNOPTIQUE	34
III.2	DIFFERENTES PARTIES CONSTITUTIVES DE NOTRE SUIVEUR SOLAIRE	35
III.2.1	<i>Partie électrique</i>	35
III.3	LE VERIN ELECTRIQUE.....	44
III.4	ALIMENTATION DES ACTIONNEURS ET DE LA CARTE ARDUINO.....	45
III.4.1	<i>Bloc d'alimentation [36]</i>	45
III.4.2	<i>Connexion des périphériques</i>	45
III.4.3	<i>Présentation des différents composants de l'alimentation</i>	46
III.4.4	<i>Circuit de puissance L298n</i>	47
III.4.5	<i>Relais Arduino</i>	49
III.4.1	<i>Partie mécanique</i>	50
III.5	CONCLUSION.....	52
IV.	INTRODUCTION	53
IV.1	PARTIE I : SIMULATION	53
IV.1.1	<i>Interface Proteus</i>	53
IV.1.2	<i>Programmation</i>	55
IV.2	PARTIE II : MISE EN ŒUVRE	57
IV.2.1	<i>Partie mécanique</i>	57
IV.2.2	<i>Partie électrique</i>	59
IV.3	PARTIE III EXPERIMENTATION.....	60
IV.3.1	<i>Installation du concentrateur</i>	60
IV.3.2	<i>L'emplacement des thermocouples</i>	61
IV.3.3	<i>Mesures</i>	62
IV.3.4	<i>Protocole de mesures</i>	62

IV.3.5	<i>Dépouillement des résultats</i>	63
IV.3.6	<i>Résultats et discussions</i>	64
IV.4	CONCLUSION.....	66
V.	CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES :	66
VI.	LISTES BIBLIOGRAPHIQUES :	68
VII.	ANNEXES :	71

Listes des Figures :

Figure I-1:Rayonnement solaire	6
Figure I-2 : Carte du monde de l'enseillent moyen annuel	6
Figure I-3: Moyenne annuelle de l'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné la latitude du lieu	7
Figure I-4: Répartition territoriale des stations météorologiques en Algérie	8
Figure I-5 : Variation saisonnière du rayonnement solaire	9
Figure I-6: Sphère céleste	9
Figure I-7: Les coordonnées géographiques	10
Figure I-8 : La déclinaison du soleil en fonction des jours.....	11
Figure I-9: Les coordonnées horaires.	12
Figure I-10: Les coordonnées azimutales.	12
Figure II-1: Capteur Cylindro Parabolique.....	16
Figure II-2: Système de central a tour.....	17
Figure II-3: Schéma d'un concentrateur parabolique.....	18
Figure II-4: Propriétés géométriques de la parabole.....	18
Figure II-5: Section d'une parabole possédant un foyer commun F et le même diamètre d'ouverture d.....	19
Figure II-6: Distance focale en fonction de l'angle d'ouverture d'une parabole.....	20
Figure II-7: Système optique d'une surface parabolique.....	21
Figure II-8: Catégories des récepteurs.	22
Figure II-9: L'image ellipse.....	23
Figure II-10: Distance axiale arrière du point focal.....	24
Figure II-11: Diamètre du récepteur à différent valeur de L.	24
Figure II-12: Concentration géométrique à différents valeurs de diamètre du récepteur.	25
Figure II-13: Bilan énergétique.....	27
Figure II-14: réflexion d'un rayon parallèle.	28
Figure III-1: Schéma synoptique d'un suiveur solaire bi-axial.	34
Figure III-2: Circuit d'adaptation des capteurs utilisés.....	35
Figure III-3: – Photorésistance LDR.....	35
Figure III-4:Résistance métal 10 K ohm.....	36
Figure III-5: Résistance métal 220 ohm.....	37

Figure III-6: Symbole d'une LED.	38
Figure III-7: LED.	38
Figure III-8: Multimètre.	38
Figure III-9: Arduino Méga 2560	39
Figure III-10: Structure d'un programme Arduino.	41
Figure III-11: câble USB.	41
Figure III-12: fils de pins d'Arduino.	42
Figure III-13: Fonctionnement d'une plaque d'essai.	42
Figure III-14: Principe de fonctionnement du moteur à courant continu	43
Figure III-15: moteur d'essuies- glace.	43
Figure III-16: vérin électrique.	44
Figure III-17: Bloc d'alimentation.	45
Figure III-18: Connecteur ATX, mini Molex et Molex.	45
Figure III-19: Schéma synoptique de la carte d'alimentation stabilisée.	46
Figure III-20: Représentation schématique d'un transformateur.	46
Figure III-21: Schéma représentatif du pont redresseur.	46
Figure III-22: Circuit de puissance L298n.	47
Figure III-23: description du fonctionnement du l298n	48
Figure III-24: Module relais Arduino.	49
Figure III-25: Arrêt du moteur.	50
Figure III-26: moteurs en marches.	50
Figure III-27: Parabole couverte par des feuilles d'aluminiums.	51
Figure III-28: Parabole couverte par des miroirs.	51
Figure IV-1: Vue d'ensemble du logiciel PROTEUS.	54
Figure IV-2: La barre d'outils principale	54
Figure IV-3: Organigramme Principal.	55
Figure IV-4: Simulation sur les LED sous Proteus-ISIS.	56
Figure IV-5: Simulation des deux moteurs sous Proteus-ISIS.	57
Figure IV-6: brique réfractaire à trou débouchant.	58
Figure IV-7: scie-cloche.	58
Figure IV-8: serpentín en cuivre.	59
Figure IV-9: Installation des capteurs photorésistances.	59
Figure IV-10: Installations des Relais-Arduino.	60
Figure IV-11: Tache solaire sous forme d'éclipse.	61

Figure IV-12: L'emplacement des thermocouples	61
Figure IV-13: mesures sur la parabole à aluminium et à miroirs.	62
Figure IV-14: Les profils de températures en fonction du temps.	64
Figure IV-15: Les profils de températures en fonction du temps.	65

Liste des Tableaux :

Tableau I-1: Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques.	7
Tableau I-2: Déclinaison solaire.	11
Tableau III-1: Fiche technique.	36
Tableau III-2: Fiche technique.	37
Tableau III-3: Caractéristique d'un mcc.	43
Tableau III-4: Caractéristiques du VERIN.	44
Tableau III-5: Mode de fonctionnement de L298N.	48
Tableau III-6: Caractéristiques géométriques du réflecteur.	52
Tableau IV-1: Résultats de mesures de la journée du 15/09/2020.	63
Tableau IV-2: Résultats de mesures de la journée du 16/09/2020.	63

Nomenclature :

NOTATION :

σ :	Taux d'ensoleillement.
α :	Angle Azimut.
μ :	Viscosité dynamique de l'air.
A :	Latitude.
A_{γ} :	Surface d'ouverture du récepteur.
A_a :	Surface de l'ouverture du collecteur A_a .
A_r :	Surface celle du récepteur.
A_x :	Surface d'une parabole.
c :	Célérité de la lumière.
C :	Concentration d'un concentrateur parabolique.
C_g :	Concentration géométrique.
C_o :	Concentration optique.
C_p :	Capacité calorifique de l'air.
d :	Diamètre de l'ouverture de la parabole.
d_2 :	Diamètre d'ouverture du récepteur.
dr :	Diamètre du récepteur.
ds :	Longueur différentielle d'arc de la parabole.
e :	Epaisseur de l'absorbeur.
E :	La valeur du flux de rayonnement solaire.
E_0 :	Constante solaire.
ET :	Equation du temps.
f :	Distance focale.
h :	Constante de Planck.
H :	Taille de la parabole.
h_{cv} :	Coefficient de transfert par convection.
h_{ray} :	Coefficient de transfert par rayonnement.
I :	Longueur d'une bande différentielle sur la surface d'une cuvette parabolique.
I_b :	Energie reçue à l'ouverture du concentrateur.
I_o :	L'énergie reçue à l'ouverture du paraboloïde.
I_r :	L'énergie reçue à l'ouverture du récepteur.
J :	Numéro du jour dans l'année.

k :	Constante de Boltzmann.
K_a :	Conductivité thermique de l'air.
K_r :	Conductivité de l'absorbeur.
$K_{v,r}$:	Coefficient global des pertes.
L :	Distance axiale arrière du point focal.
L_{ref} :	Longitude servant de référence au temps légal.
N :	Nombre de jours écoulés depuis l'équinoxe de printemps.
η_{op} :	Rendement optique du concentrateur.
Q_a :	Puissance solaire absorbée par le récepteur.
Q_{cond} :	Pertes par conduction.
Q_p :	Puissance correspondant aux pertes thermiques.
$Q_{p,th}$:	Puissance correspondant à la perte thermique.
$Q_{p,cv}$:	Pertes par convection.
Q_{ray} :	Pertes par rayonnement.
Q_u :	Puissance utile.
r_f :	Le grand rayon r_f de l'ellipse.
S :	Longueur d'arc d'une parabole.
S_f :	Le petit rayon l'ellipse.
S_{S0} :	La durée maximale d'ensoleillement.
T :	Température en Kelvin.
τ :	Temps.
x :	Distance (RF) entre le foyer (f) et la courbe de la parabole.

Lettres grecques :

α :	Coefficient d'absorption du récepteur.
Δ :	Déclinaison solaire.
λ :	La longueur d'onde.
ν :	Viscosité cinématique de l'air.
ρ :	Coefficient de réflexion de la parabole.
σ :	Constante de Stefan –Boltzmann.
τ :	Coefficient de transmission du récepteur.
ω_s :	Angle horaire de coucher du soleil.
ε :	Facteur émissivité de l'absorbeur.

Θ_s : Diamètre apparent du disque solaire.

β : Angle d'ouverture.

η : Efficacité du concentrateur.

Nombres adimensionnels :

Nu : Nombre de Nusselt.

Pr : Nombre de Prandtl.

R_{cm} : Nombre de Reynolds critique.

Re : Nombre de Reynolds.

Abréviations :

T_a : Température ambiante.

TL : Le temps légal.

T_r : Température du récepteur.

T_{sk} : Température du ciel.

TSM : temps solaire moyen.

TSV : Le temps solaire vrai.

TU : Temps universel.

V_v : Vitesse du vent.

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'énergie solaire reçue par la terre vaut, en chiffres ronds, environ 10.000 fois la quantité totale d'énergie consommée par l'ensemble de l'humanité. En d'autres termes, capter 0,01% de cette énergie nous permettrait de nous passer de pétrole, de gaz, de charbon et d'uranium.

Dans beaucoup de pays, qui souvent ne bénéficient pas d'un ensoleillement aussi favorable qu'en Algérie, l'énergie solaire gagne en signification à une vitesse exponentielle. La croissance moyenne mondiale du marché a été de 33% au cours des dix dernières années. Produire de l'électricité avec le soleil, il ne s'agit depuis longtemps plus d'une utopie mais bien d'une branche industrielle en plein boom.

De nos jours, une importance particulière est accordée aux énergies renouvelables. Cet intérêt est dû d'une part à la croissance accrue de la demande mondiale en énergie conventionnelle et ses problèmes approvisionnement, et d'autre part, au coût élevé de cette dernière et la pollution qu'elle provoque.

De ce fait, apparaît l'énergie solaire comme étant l'énergie de l'avenir. Elle a un grand rôle dans la transition énergétique.

L'énergie solaire thermique est une forme d'énergie solaire. Elle désigne l'utilisation de l'énergie du rayonnement solaire dans le but d'échauffer un fluide caloporteur (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...).

Pour transformer le rayonnement solaire en chaleur, il suffit en principe de le réceptionner sur surface absorbante. Mais un tel capteur, même parfaitement absorbant, doit supporter les pertes que son propre échauffement provoque au bénéfice de l'air ambiant. Ces pertes sont, en première approximation, proportionnelles à cet échauffement et à la surface développée. Pour travailler à température élevée, ce qui est nécessaire ici pour alimenter un cycle thermodynamique performant, il faut diminuer la surface de réception pour maintenir ces pertes à un niveau raisonnable. C'est ce que l'on fait en disposant devant le récepteur une optique qui concentre sur celui-ci le rayonnement capté sur une surface bien supérieure. On caractérise la performance du système par sa "concentration" qui est le rapport de la surface de réflexion sur la surface de l'absorbeur.

L'objectif de plusieurs travaux de recherche en énergie solaire est de trouver la meilleure solution pour améliorer le rendement énergétique du concentrateur solaire. Parmi les solutions utilisées dans notre projet fin d'étude :

- Construire un absorbeur ayant un taux de conductivité élevé et de taux d'isolation optimale.
- A base une carte de commande Arduino nous allons réaliser une poursuite autonome pour capter le maximum d'ensoleillement en fonction du temps c'est-à-dire que la parabole arrivera à suivre la trajectoire de soleil a temps réel.
- Agir sur la matière qui couvre le réflecteur pour avoir une bonne concentration, pour ce faire nous allons réaliser un autre réflecteur à base de centaine de petit miroirs rectangulaires implantés à la surface de celui-ci.

Notre travail a pour but de faire une étude expérimentale et théorique d'un concentrateur parabolique afin d'améliorer le rendement énergétique de celui-ci.

Le mémoire se compose en quatre chapitres :

Le premier chapitre porte sur l'étude théorique de l'énergie solaire ; comme toute installation solaire dépend principalement de l'ensoleillement et on a jugé nécessaire de présenter une notion générale sur les coordonnées célestes ainsi que le rayonnement solaire.

Ensuite dans le second chapitre nous allons parler sur les différents types de concentrateurs, puis nous nous focaliserons sur l'étude théorique du concentrateur solaire parabolique.

Dans le troisième chapitre nous allons énumérer tous les composants qui seront utilisés pour la construction de notre suiveur solaire ainsi les composants mécaniques qu'on a améliorés durant notre travail.

Vers le quatrième chapitre on commencera par programmer le tracker solaire sous Arduino puis on le simulera avec le logiciel PROTEUS-ISIS. On citera les parties essentielles de la mise en œuvre de notre concentrateur parabolique. A la fin, nous ferons une expérimentation de notre concentrateur, où nous effectuons plusieurs essaies de mesure de températures.

Nous concluons ces travaux en synthétisant les résultats obtenus à la fois sur le plan théorique et sur le plan pratique.

Chapitre 1 : Rayonnement solaire

I. Introduction

La surexploitation des capacités de la terre fait redouter un épuisement prochain des ressources naturelles. Donc, il est temps de se diriger vers le recyclage ou l'exploitation des ressources renouvelables. L'énergie solaire est le seul domaine dans lequel la terre bénéficie d'un apport extérieur renouvelable.

Afin d'exploiter au mieux cette ressource énergétique et pour un bon dimensionnement des installations solaires, il est nécessaire de connaître la quantité de l'énergie solaire disponible à un endroit spécifique à chaque instant de la journée et de l'année. Pour cette raison, on a jugé nécessaire de présenter dans ce chapitre une notion générale sur les coordonnées célestes ainsi que le rayonnement solaire.

I.1 Le soleil

Le soleil est une sphère gazeuse composée presque totalement d'hydrogène. Son diamètre est de 1 391 000 km (100 fois celui de la Terre), sa masse est de l'ordre de 2.10^{27} tonnes. Toute l'énergie du Soleil provient de réactions thermonucléaires qui s'y produisent. Elles transforment à chaque seconde 564.10^6 tonnes d'hydrogène en 560.10^6 tonnes d'Hélium, la différence de 4 millions de tonnes est dissipée sous forme d'énergie ($E = mc^2$), ce qui représente une énergie totale de 36.10^{22} kW. La Terre étant à une distance de 150.10^6 km du Soleil, elle reçoit une énergie de $1,8.10^{17}$ W. La valeur du flux de rayonnement solaire E reçu par une surface perpendiculaire aux rayons solaires placée la limite supérieure de l'atmosphère terrestre (soit à environ 80 km d'altitude) varie au cours de l'année avec la distance Terre/Soleil. Sa valeur moyenne E_0 est appelée la constante solaire, elle vaut $E_0 = 1353 \text{ W.m}^{-2}$ [1]

En première approximation, on peut calculer la valeur de E en fonction du numéro du jour de l'année j par :

$$E = E_0 + [1 + 0.033 \cos(0.984)] \quad (\text{I.1})$$

I.1.1 Durée et taux d'ensoleillement

I.1.1.1 Durée d'ensoleillement

Selon les conditions atmosphériques, le ciel peut être plus ou moins couvert de nuages au cours d'une journée. Ceux-ci occultent le Soleil, totalement ou partiellement, empêchant ainsi le rayonnement d'atteindre directement le sol. On dit que la nébulosité est plus ou moins importante selon qu'il y a beaucoup ou peu de nuages. On appelle durée effective d'ensoleillement ou insolation (SS) le temps pendant lequel, au cours d'une journée, le

rayonnement solaire direct a atteint le sol du lieu considéré. On appelle rayonnement direct le rayonnement qui atteint la surface terrestre sans avoir subi de déviation depuis son émission par le Soleil.

I.1.1.2 Taux d'ensoleillement

Par ciel clair sans nuages, le sol reçoit le rayonnement solaire direct pendant toute la durée du jour, ou plus précisément pendant la durée maximale d'ensoleillement SS_0 . On appelle taux d'ensoleillement ou taux d'insolation le rapport entre la durée effective et la durée maximale d'ensoleillement :

$$\sigma = \frac{SS}{SS_0} \quad (I.2)$$

La durée maximale d'ensoleillement (SS_0) pour un site dégagé peut être prise égale à la durée du jour calculée par la formule (I.2). La durée maximale d'ensoleillement (SS_0) pour un site dégagé peut être prise égale à la durée du jour calculée par la formule (I.2). [1]

I.1.2 Constante solaire

La constante solaire exprime la quantité d'énergie solaire que recevrait une surface de 1 m² située à une distance de 1,47.10⁶ (distance moyenne Terre-Soleil), exposé perpendiculairement aux rayons du Soleil, en l'absence d'atmosphère.

Pour la Terre, c'est donc la densité de flux énergétique au sommet de l'atmosphère, sur Terre cette distance a une faible variation au cours de l'année, compte tenu de la légère anormalité de l'orbite terrestre qui est d'environ 1.7%.

La constante solaire est une valeur moyenne de flux solaire reçu à la limite supérieure de l'atmosphère terrestre, sa valeur est estimée à 1367 W/m².

I.2 Rayonnement solaire

L'énergie solaire qui se manifeste donc principalement par la chaleur diffusée vers la terre, se propage de trois façons différentes (conduction, convection et rayonnement). En première approximation, le soleil rayonne comme un corps noir suivant la loi de Planck et la distribution spectrale s'exprime en fonction de la fréquence ν sous la formule suivante [2] :

$$B_\nu(T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \left[\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - 1 \right]^{-1} \quad (I.3)$$

Où de la longueur d'onde ; $\lambda = \frac{c}{\nu}$;

$h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ j.s: Constante de Planck.

$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ j/degré : Constante de Boltzmann.

$c = 3 \cdot 10^8$ m/s : Célérité de la lumière

T : Température en Kelvin.

Appelé de ce fait constante solaire. Le rayonnement solaire est caractérisé par les composantes suivantes :

I.2.1 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 pyréliomètre¹ constamment dirigé vers le soleil [3].

I.2.2 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 occulter le disque solaire [3].

I.2.3 Rayonnement l'albédo

C'est la partie réfléchiée par le sol. Il dépend de l'environnement du site.

I.2.4 Rayonnement solaire global

Il comprend l'ensemble des composants direct et diffus. Il est mesuré à l'aide d'un pyranomètre². Donc d'après les différentes formes du rayonnement on peut déduire la formule du rayonnement global :

$$\text{Rayonnement global} = \text{Rayonnement absorbé} + \text{Albédo}$$

¹ **Pyréliomètre** : est un instrument destiné à la mesure de l'intensité du rayonnement solaire direct. Il est généralement constitué par une thermopile peinte en noir, donc très absorbante, montée sur un système de suivi. Ainsi cet instrument ne mesure que le rayonnement directement issu du soleil

² Le **pyranomètre** est un capteur de flux thermique utilisé pour la mesure de la quantité d'énergie solaire en lumière naturelle et est notamment utilisé en météorologie.

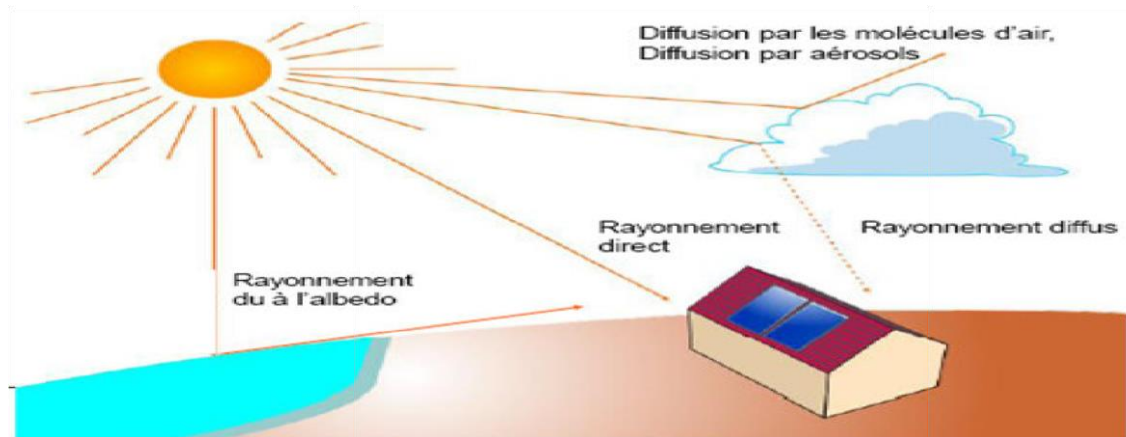


Figure I-1: Rayonnement solaire [3].

I.3 Gisement solaire en Algérie

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement d'un système énergétique solaire et faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu de la demande à satisfaire [4]

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un gisement solaire énorme comme le montre la figure I-2 :

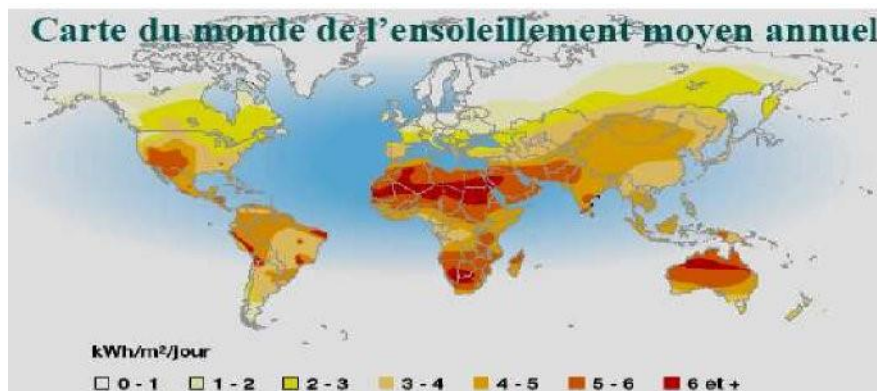


Figure I-2 : Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel [5].

Suite à une évaluation par satellites, l'Agence Spatiale Allemande (ASA) a conclu, que l'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen, soit 169.000 TWh/an pour le solaire thermique, 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque. Le potentiel solaire algérien est l'équivalent de 10 grands gisements de gaz naturel qui auraient été découverts à Hassi R'Mel. La répartition du potentiel solaire par région climatique au niveau du territoire algérien est représentée dans le tableau I.1 selon l'ensoleillement reçu annuellement [5] :

Régions	Régions côtières	Hauts plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (h/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue kWh/m ² /an	1700	1900	2650

Tableau I-1: Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques [5].

La durée d'insolation dans le Sahara algérien est de l'ordre de 3500h/an est la plus importante au monde, elle est toujours supérieure à 8h/j et peut arriver jusqu'à 12h/j pendant l'été à l'exception de l'extrême sud où elle baisse jusqu'à 6h/j en période estivale [5].

La région d'Adrar est particulièrement ensoleillée et présente le plus grand potentiel de toute l'Algérie (figure I.3).

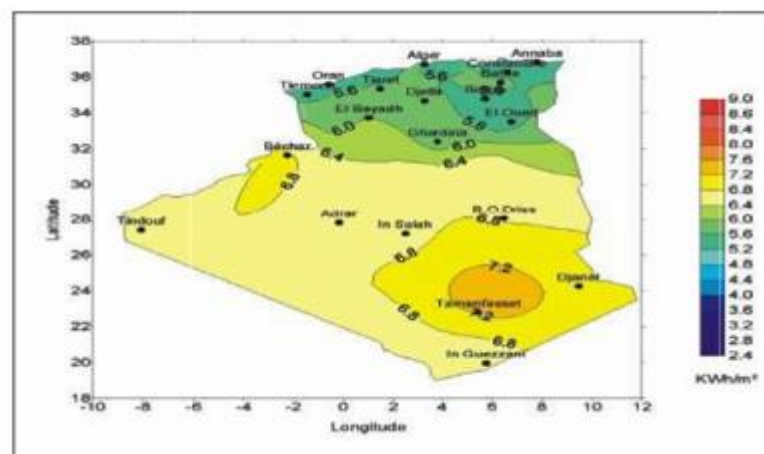


Figure I-3: Moyenne annuelle de l'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné la latitude du lieu [6].

En Algérie, il existe un réseau de 78 stations de mesure météorologiques de l'O.N.M réparties sur tout le territoire algérien (figure I.4)

Cependant, seules 7 stations météorologiques assurent la mesure des composantes diffus et globales du rayonnement solaire reçu sur un plan horizontal en raison, soit du manque de fiabilité des appareils de mesure, ou bien, du coût élevé d'un tel appareillage. La durée

d'insolation quant à elle, est mesurée par un héliographe³ dans la majorité des stations de l'O.N.M à cause de la facilité de sa mise en œuvre.

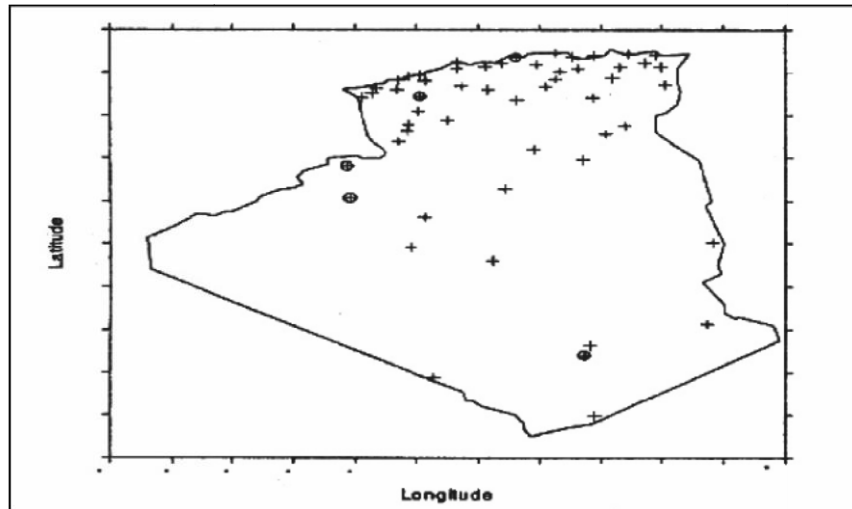


Figure I-4: Répartition territoriale des stations météorologiques en Algérie [7].

I.4 Mouvement du globe terrestre

La terre décrit autour du soleil une orbite elliptique quasi circulaire avec une période de 365,25 jours. Le plan de cette orbite est appelé plan de l'écliptique. C'est au solstice d'hiver (21 décembre) que la terre est la plus proche du soleil, et au solstice d'été (22 juin) qu'elle en est la plus éloignée [8].

La terre tourne sur elle-même avec une période de 24h. Son axe de rotation (l'axe des pôles) a une orientation fixe dans l'espace. Il fait un angle $23,27^\circ$ avec la normale au plan de l'écliptique.

³ L'héliographe est un instrument qui permet de mesurer la durée de l'insolation en un point de la surface de la planète.

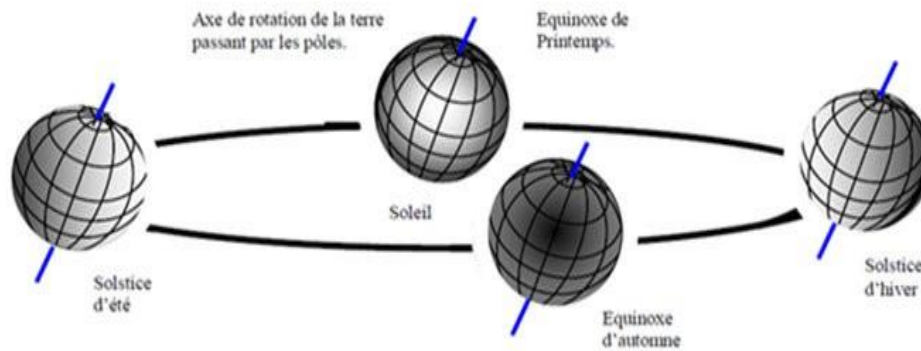


Figure I-5 : Variation saisonnière du rayonnement solaire [8].

I.5 Sphère céleste

La sphère céleste est une sphère imaginaire d'un diamètre immense, avec la terre au centre. On considère que tous les objets visibles dans le ciel se trouvent sur la surface de la sphère céleste. On peut résumer les différentes caractéristiques sur la sphère elle-même dans la figure (I.6).

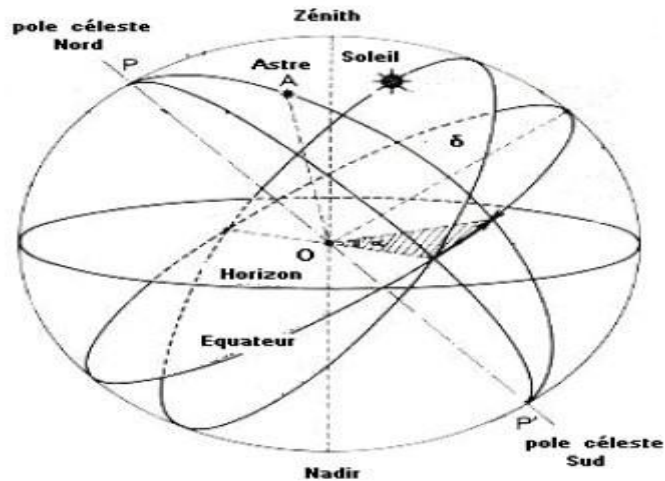


Figure I-6: Sphère céleste [9].

I.6 Coordonnées célestes

I.6.1 Coordonnées géographiques

Ce sont les coordonnées angulaires qui permettent le repérage d'un point sur la terre.

I.6.1.1 Longitude

La longitude d'un lieu « λ » correspond à l'angle que fait le plan méridien passant par ce lieu avec un plan méridien retenu comme origine. On a choisi pour méridien (origine 0°) le plan passant par l'observatoire de Greenwich. Par convention on affecte du signe (+) les méridiens situés à l'est de ce méridien, et du signe (-) les méridiens situés à l'ouest [10].

I.6.1.2 latitude

L'altitude d'un lieu « » correspond à l'angle avec le plan équatorial, que fait le rayon joignant le centre de la terre à ce lieu. L'équateur terrestre est donc caractérisé par une latitude égale à 0° , le pôle nord par la latitude $+90^\circ$ et le pôle sud par la latitude -90° . Cette convention de signe (+) à tous les lieux de l'hémisphère nord et le signe (-) à tous les lieux de l'hémisphère sud [11].

Pour Bejaïa on a :

Longitude = $5^\circ 5' 3''$ E

Latitude = $36^\circ 45' 21''$ N

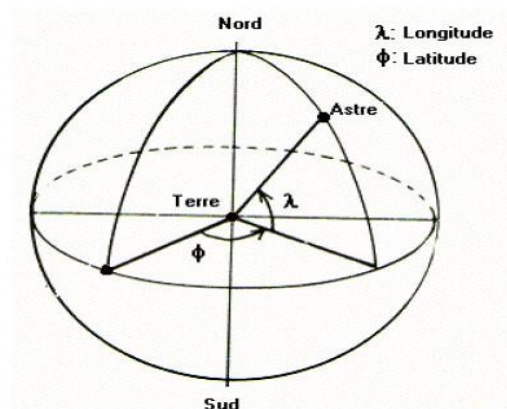


Figure I-7: Les coordonnées géographiques [10].

I.6.2 Coordonnées horaires

I.6.2.1 Déclinaison solaire

C'est l'angle formé par la direction du soleil et le plan équatorial terrestre. Elle varie tout au long de l'année, entre deux valeurs extrêmes : $-23,27^\circ$ et $+23,27^\circ$ environ et elle s'annule aux équinoxes de printemps et d'automne, sa valeur peut être calculée par la formule.

$$\delta = 23.45 \sin \left(2\pi \frac{284+J}{365} \right) \tag{I.4}$$

4)

Entre ces 4 points remarquables, δ prend toutes les valeurs intermédiaires qui peuvent se calculer par la relation (I.4):

$$\sin \delta = 0.4 \sin t$$

$$\text{Ou } t = N \cdot \frac{360}{365}$$

Avec :

N : nombre de jours écoulés depuis l'équinoxe de printemps

J : Numéro du jour dans l'année.

Equinoxe de printemps :	21 Mars	$\delta = 0$
Solstice d'été :	22 Juin	$\delta = +23,27^\circ$
Equinoxe d'automne :	23 Septembre	$\delta = 0$
Solstice d'hiver :	22 Décembre	$\delta = -23,27^\circ$

Tableau I-2: Déclinaison solaire.

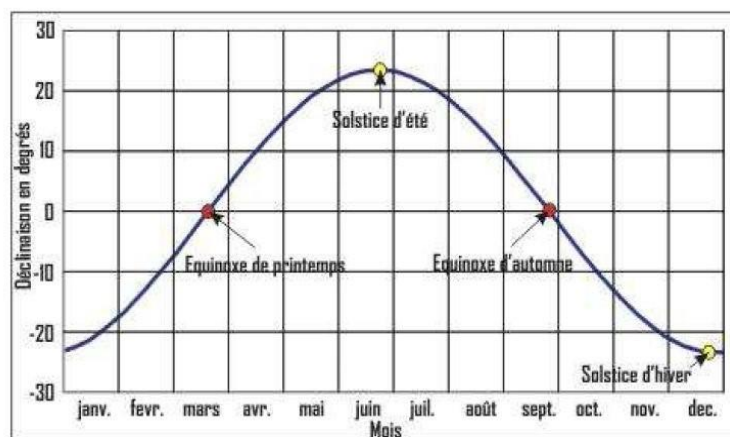


Figure I-8 : La déclinaison du soleil en fonction des jours.

I.6.2.2 Angle horaire (ω)

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, l'angle horaire est compris entre 0° et 360° . La valeur de l'angle horaire est nulle à midi solaire, négative le matin, positive dans l'après-midi et augmente de 15° par heure [10].

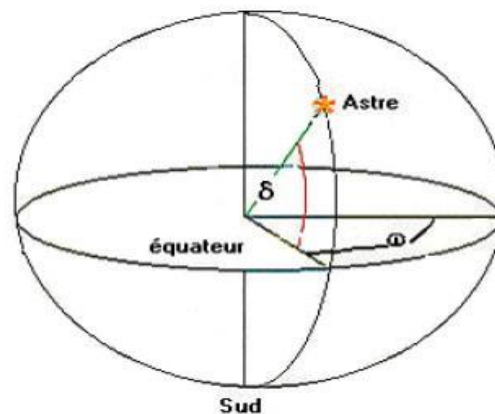


Figure I-9: Les coordonnées horaires.

I.6.3 Les coordonnées horizontales

Le repérage du soleil se fait par l'intermédiaire de deux angles Δ et α [10] :

I.6.3.1 Hauteur angulaire du soleil « Δ »

C'est l'angle formé par le plan horizontal au lieu d'observation et la direction du soleil. Cette hauteur durant le jour peut varier de 0° (soleil à l'horizon) à 90° (soleil au zénith).

I.6.3.2 Azimut « α »

C'est l'angle compris entre le méridien du lieu et le plan vertical passant par le soleil. La connaissance de l'azimut du soleil est indispensable pour le calcul de l'angle d'incidence des rayons sur une surface non horizontale.

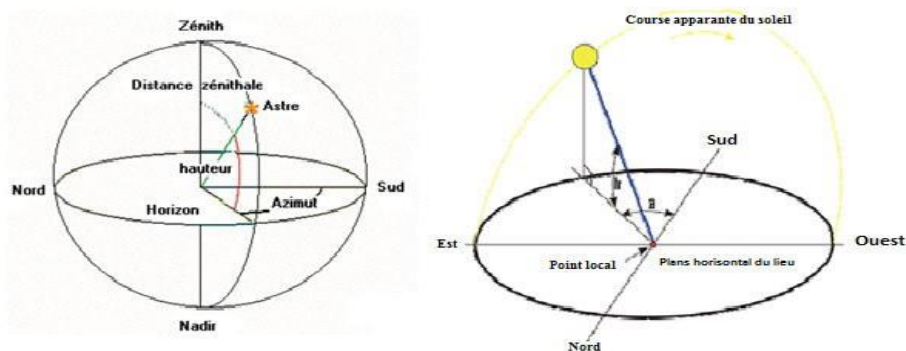


Figure I-10: Les coordonnées azimutales.dlkm

I.6.4 Angle horaire de coucher du soleil

L'angle horaire du soleil est le déplacement angulaire du soleil autour de l'axe polaire. Dans sa course d'est en ouest, par rapport au méridien local. Il est donné par l'équation suivante [11] :

$$\omega_s = \arccos(-\tan(A) \tan(\delta)) \quad (I.5)$$

δ : Déclinaison solaire.

A : Latitude.

I.7 Les notions du temps

I.7.1 Le temps solaire vrai (TSV)

Le temps solaire vrai est défini à partir de la rotation de la terre sur elle-même, il est donc lié à l'angle horaire. L'intervalle du temps entre deux passages du soleil au méridien est de (24h), il est midi à (12h) lorsque le soleil est à son zénith, le moment où le soleil atteint son sommet c'est le midi solaire vrai du lieu.

$$TSV = 12 + \left(\frac{\omega}{15}\right) \quad (I.6)$$

Un jour solaire vrai n'est pas constant car l'orbite de la terre est elliptique et inclinée sur l'équateur. La vitesse de la terre sur son orbite n'est pas constante au cours de l'année, c'est pour cela qu'on définit le temps solaire moyen [12].

I.7.2 Le temps solaire moyen (TSM)

La rotation régulière de la terre sur elle-même autour de l'axe des pôles introduit la notion du temps solaire moyen (TSM). La journée solaire moyenne est le temps qui sépare, en moyenne, deux passages successifs du soleil au méridien d'un lieu. Par définition, la journée solaire moyenne a une durée de 1 jour = 24h, cependant il n'y a pas exactement 24h entre deux passages successifs du soleil au méridien du lieu puisque la vitesse de rotation de la terre par rapport au soleil varie sensiblement au cours de l'année, c'est pour cela qu'on définit le TSV par une correction dite équation du temps (ET) tel que :

$$TSV = TSM + ET \quad (I.7)$$

Cette équation du temps est donnée par la relation suivante :

$$ET = -0,0002 + 0,4797 \cdot \cos(\beta) - 7,3509 \cdot \sin(\beta) - 3,2265 \cdot \cos(2\beta) - 9,3912 \cdot \sin(2\beta) - 0,0903 \cdot \cos(3\beta) - 0,3361 \cdot \sin(3\beta) \quad (I.8)$$

Avec : $\beta = \frac{360}{366}(N-1)$ en degré avec N : nombre de jours.

ET : en minutes.

I.7.3 Le temps universel

C'est le temps standard, fondé sur le temps solaire, fut adopté en 1883, au terme d'un accord international. L'objectif était d'éviter des difficultés de correspondance entre horaires de chemins de fer, lorsque chacun utilisait son temps solaire local. La terre fut dès lors divisée en 24 fuseaux horaires qui correspondent au décalage d'une heure. Le méridien de référence, de longitude 0, passe par l'observatoire royal de Greenwich (au sud de l'Angleterre). Les fuseaux horaires sont définis par leur distance à l'est ou à l'ouest de Greenwich. L'heure est la même à l'intérieur de la totalité d'un fuseau donnée. En théorie, chaque fuseau horaire couvre 15° de longitude. Dans la pratique, les limites de ces fuseaux horaires tiennent compte des frontières des pays afin de faciliter les activités commerciales.

Certains pays changent souvent de fuseau lorsqu'ils adoptent l'heure d'été ou l'heure d'hiver. En navigation, les horaires sont souvent calés sur le temps local de Greenwich, appelé temps moyen de Greenwich (GMT). Les astronomes utilisent généralement le même système mais ils emploient l'expression de temps universel (TU).

$$TSM = TU - \frac{L_{ref} - L}{15} \quad (I.9)$$

Avec : (L en degré).

L_{ref} : représente la longitude servant de référence au temps légal, généralement le centre du fuseau ($L_{ref} = 0$).

I.7.4 Le temps légal (TL)

Pour des raisons évidentes de commodités, il est bon que les horloges d'un même pays indiquent la même heure. On définit ainsi le temps des horloges de façon arbitraire pour tout un territoire. Cela existe dans les grands pays comme par exemple aux USA le territoire s'étend sur 4 fuseaux horaires.

$$TL = TU + C \quad (I.10)$$

C : étant le décalage entre le méridien de Greenwich et l'état considéré (C=1 heure pour l'Algérie).

I.8 Conclusion

L'étude du rayonnement solaire s'avère nécessaire pour le choix du meilleur site en vue d'une installation d'un système de captation solaire. Le rayonnement reçu par un capteur solaire dépend également du niveau d'ensoleillement du site considéré et de son orientation par rapport au sol. Pour que le rayonnement solaire soit perpendiculaire au concentrateur solaire, et afin d'optimiser tout le système de captation, il est nécessaire de recourir à la technique de poursuite automatique du soleil.

Dans le prochain chapitre, nous donnerons un aperçu général sur les technologies et les types de concentrateurs, nous nous intéressons sur l'étude théorique du concentrateur parabolique.

CHAPITRE 2 : ETUDE THEORIQUE
DU CONCENTRATEUR
PARABOLIQUE

II. Introduction

Un système solaire à concentration thermodynamique exploite le rayonnement du Soleil en orientant, au moyen de miroirs, les flux de photons. Ce système thermique concentré permet d'atteindre des niveaux de température bien supérieurs à ceux des systèmes thermiques classiques non concentrés.

Dans un premier temps nous allons parler dans ce chapitre sur les différents types de concentrateurs, puis nous nous focaliserons sur l'étude théorique du concentrateur solaire parabolique.

II.1 Le principe de concentration

Le principe de la concentration de l'irradiation solaire est connu depuis l'Antiquité, comme l'illustre le mythe des « miroirs ardents » d'Archimède. Le plus souvent grâce à des miroirs réfléchissants ou des loupes, un système à concentration réoriente le rayonnement solaire collecté par une surface donnée sur une cible de dimension plus réduite : le démarrage d'un feu de feuilles mortes avec une loupe utilise ce principe [13].

II.2 Les différents types de concentrateurs

II.2.1 Systèmes de concentration linéaire

Le rayonnement solaire est concentré sur un ou plusieurs tube(s) absorbeur(s) installé(s) le long de la ligne focale des miroirs. Ce tube contient un fluide caloporteur porté à une température de l'ordre de 250 à 500°C.

II.2.2 Concentrateur Cylindro Parabolique

Un capteur cylindro-parabolique est un capteur à concentration à foyer linéaire utilisant un réflecteur cylindrique de section parabolique de construction facile et moins coûteux. Dans un concentrateur cylindro-parabolique, le fluide caloporteur (eau, huile thermique ou gaz) peut être porté à environ 400 à 600 °C [14].

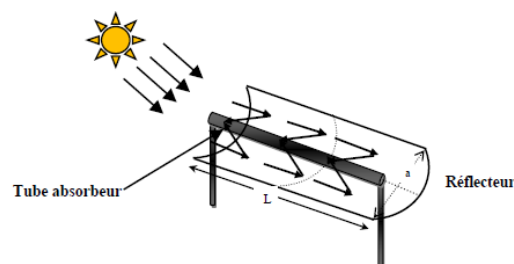


Figure II-1: Capteur Cylindro Parabolique.

II.2.3 Centrales solaires à miroirs de Fresnel

Plutôt que de courber les miroirs (processus industriel coûteux), les miroirs de Fresnel «miment » la forme cylindro-parabolique avec des miroirs très légèrement incurvés, et placés à un même niveau horizontal. Seuls les miroirs bougent, la structure et le tube absorbant sont tous deux stationnaires. Les coûts des centrales solaires à miroirs de Fresnel sont donc inférieurs à ceux des centrales à miroirs cylindro-paraboliques tant à l'installation qu'à la maintenance. La focalisation est toutefois dégradée dans ce système (puisque la parabole n'est pas parfaite) : le pari est donc que la baisse de coût « compense » la dégradation de l'efficacité d'un point de vue économique. Ce type de système est encore relativement peu répandu [15] .

II.2.4 Systèmes de concentration par foyer

II.2.4.1 Central à tour

Ce type de centrales est constitué de nombreux miroirs concentrant les rayons solaires vers un récepteur situé au sommet d'une tour. L'avantage de la tour solaire par rapport aux capteurs cylindro-paraboliques est que les pertes à l'ambiance sont inférieures car la surface exposée est limitée.

Les miroirs uniformément répartis sont appelés héliostats. Chaque héliostat traque le soleil individuellement et le réfléchit en direction d'un receveur au sommet de la tour solaire. Le facteur de concentration varie de 600 à plusieurs milliers, ce qui permet d'atteindre des températures importantes, de 800 °C à 1000°C. Le schéma de principe d'une telle centrale avec des héliostats plans est représenté à la Figure II-2 [16].

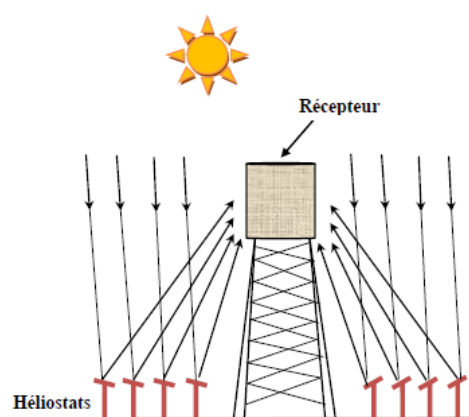


Figure II-2: Système de central a tour.

II.2.4.2 Concentrateur parabolique

Un système à réflecteur parabolique utilise des miroirs paraboliques pour concentrer le rayonnement solaire sur un récepteur situé au foyer du récepteur. Le récepteur contient un fluide qui, lorsque les rayons du soleil le frappent, atteint une température de 750 à 1 000 °c. Ce fluide très chaud est ensuite utilisé pour produire de l'électricité dans un petit moteur fixé au récepteur. À l'instar du réflecteur cylindro-parabolique, le réflecteur parabolique suit aussi les mouvements du soleil [17].

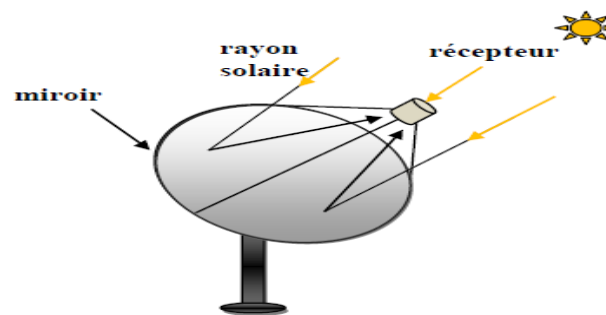


Figure II-3: Schéma d'un concentrateur parabolique.

II.3 Etude théorique du concentrateur parabolique

II.3.1 La géométrie du concentrateur parabolique

II.3.1.1 Définition

Une parabole est l'ensemble des points situés à distance égale d'une droite fixe (D) appelée directrice, et un point fixe (F) appelé foyer. L'intersection de la parabole et de son axe est le sommet (V), qui est exactement intermédiaire entre le foyer et la directrice, Figure II-4 [18].

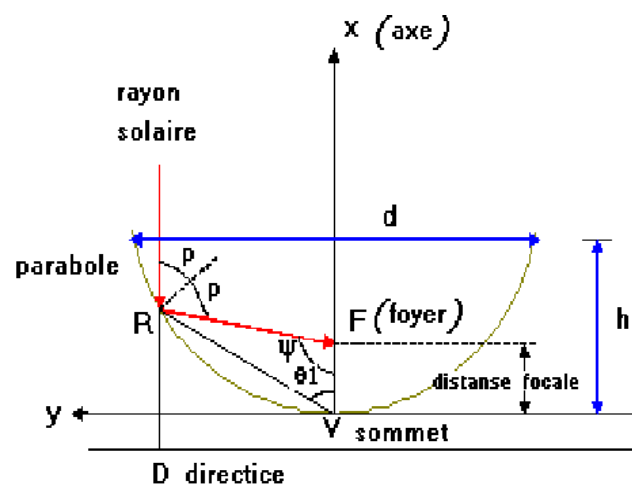


Figure II-4: Propriétés géométriques de la parabole.

L'équation de la parabole est [19] :

$$Y^2 = 4. f. x \quad (\text{II.1})$$

f : la distance focale FV.

x : distance (RF) entre le foyer (f) et la courbe de la parabole.

II.3.1.2 Surface d'une parabole

C'est l'espace inclut entre une parabole et une ligne à travers son ouverture, elle est indiquée par [20] :

$$A_x = \frac{2}{3} d. h \quad (\text{II.2})$$

d : Diamètre de l'ouverture de la parabole.

h : Taille de la parabole.

II.3.1.3 Angle d'ouverture d'une parabole

$$\tan \beta = \frac{\left(\frac{f}{d}\right)}{2\left(\frac{f}{d}\right)^2 - 1/8} \quad (\text{II.3})$$

β : Angle d'ouverture.

d : diamètre de l'ouverture de la parabole.

f : distance focale.

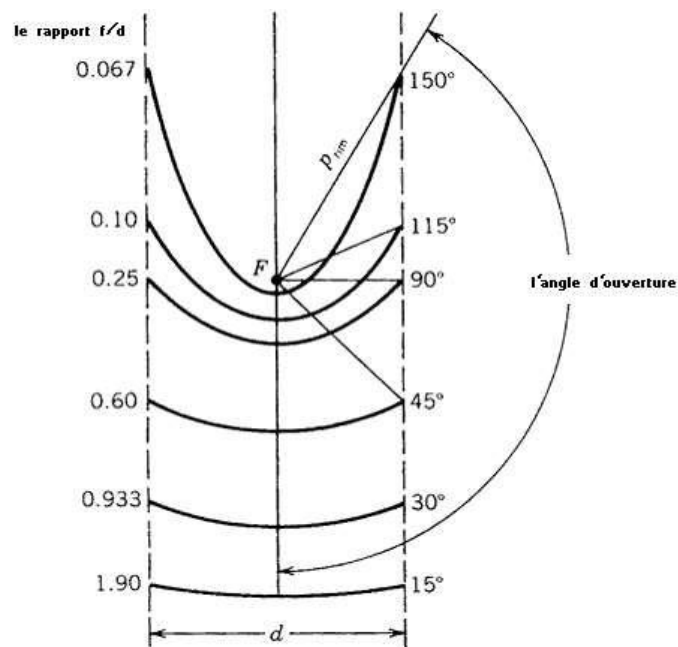


Figure II-5: Section d'une parabole possédant un foyer commun F et le même diamètre d'ouverture d[21].

- Pour $d=1\text{m}$:

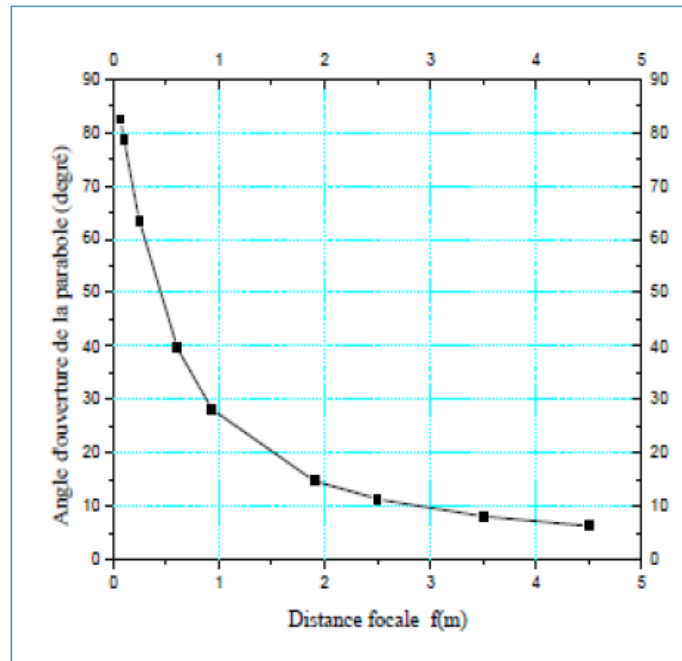


Figure II-6: Distance focale en fonction de l'angle d'ouverture d'une parabole.

Remarque :

On peut voir qu'une parabole avec un petit angle d'ouverture est relativement plate et l'augmentation de ce dernier amoindrit la distance focale.

II.3.1.4 Taille d'une parabole

La taille de la courbe parabolique h peut être définie comme la distance maximale du sommet à une ligne à travers l'ouverture de la parabole, elle est définie par [22] :

$$h = \frac{d^2}{16f} \quad (\text{II.4})$$

De façon semblable, l'angle d'ouverture peut être trouvé en fonction des dimensions d'une parabole :

$$\tan \beta = \frac{1}{\left(\frac{d}{8h}\right) - \left(\frac{2h}{d}\right)} \quad (\text{II.5})$$

II.3.1.5 Longueur d'arc d'une parabole [23]

La longueur d'arc d'une parabole peut être trouvée en intégrant une équation de cette courbe ($Y^2 = 4.f.x$), en appliquant les limites $X=h$ et $Y=d/2$, on trouve :

$$S = \left[\frac{d}{2} \sqrt{\left(\frac{4h}{d}\right)^2 + 1}\right] + 2f \ln\left[\frac{4f}{d} + \sqrt{\left(\frac{4f}{d}\right)^2 + 1}\right] \quad (\text{II.6})$$

II.3.1.6 Système optique d'une surface parabolique

L'idée d'utiliser une surface parabolique vient du fait qu'elle est stigmatique pour les points à l'infini situé sur son axe. 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 >> [19].

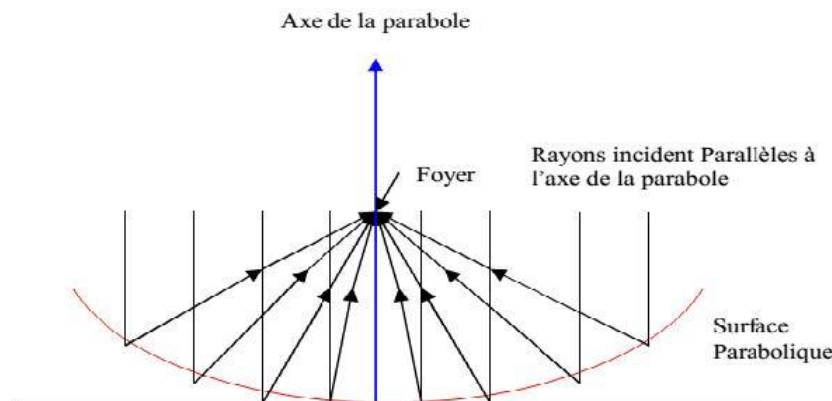


Figure II-7: Système optique d'une surface parabolique.

II.3.2 Les composants d'un concentrateur solaire parabolique

Le concentrateur solaire parabolique est composé des éléments suivants :

II.3.2.1 Réflecteur (paraboloïde)

Le réflecteur a pour fonction de diriger le rayonnement, qui autrement n'atteindrait pas l'absorbeur. Il est en général utilisé pour atteindre des températures très élevées ou utilisé pour certains systèmes comme les collecteurs à tubes sous vides [24].

Les réflecteurs, pour être efficaces, doivent posséder les propriétés suivantes :

- Réfléchir au maximum le rayonnement lumineux.
- Absorber au minimum le rayonnement lumineux.
- Être parfaitement lisses afin d'éviter l'accumulation de la saleté.
- Résister dans le temps aux effets de l'environnement (pluie, grêle, rayonnement solaire,...).
- Dans certaines applications, résister aux variations de température.

II.3.2.2 Récepteur (Absorbeur)

Le récepteur doit absorber autant de flux solaire concentré possible, et le convertir en énergie thermique, cette chaleur est transférée dans un fluide d'un certain type (liquide ou gaz). En fonction de leur surface de transfert, on classe les récepteurs solaires en 2 catégories [25] :

- **Surface externe** : Il y a plusieurs configurations possibles : plane, cylindrique, conique ou sphérique, dépendantes de la répartition, de l'intensité du flux, de la température et de l'application. Ce genre de récepteur s'applique généralement dans la gamme température de l'ordre 300-400°C maximum.
- **Surface interne ou cavité** : Ce type de récepteur est bien adapté pour le cas où l'intensité du flux et la température de travail sont élevées. Le flux énergétique concentré entre dans le récepteur par l'ouverture dont la surface est généralement 5 à 10 fois inférieure à celle de la surface de transfert dans la cavité. C'est un moyen efficace pour augmenter le coefficient d'absorption et diminuer les pertes.

La surface du récepteur doit avoir les caractéristiques suivantes :

- Une bonne conductivité et diffusion thermique.
- Un facteur d'absorption aussi voisin que possible de l'unité.
- Une bonne résistance chimique vis à vis du fluide utilisé.

Il est important que le récepteur soit métallique car seuls les métaux ont de bons coefficients de conduction de la chaleur (cuivre : 360 w/m.k, aluminium : 200 w/m.k, acier 60 w/m.k). Plus le coefficient de conduction est faible et plus l'absorbeur doit être épais, ce qui augmente le prix et l'inertie de l'absorbeur.

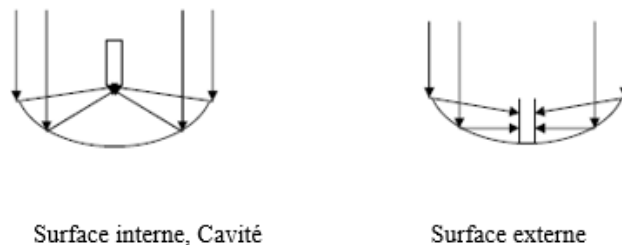


Figure II-8: Catégories des récepteurs.

II.3.3 Dimension du récepteur

La parabole réfléchit tous les rayons lumineux parallèles à son axe en un point foyer. En raison de la taille angulaire finie du disque solaire, on peut attester que le diamètre apparent du disque solaire Θ_s est égal à 0.0093 rad.

Quand l'angle d'ouverture d'une parabole en parfait état est aligné vers le soleil, la réflexion des rayons forme une image circulaire (tache solaire) centrée au point focal sous forme d'ellipse [26].

Le petit rayon S_f et le grand rayon r_f de l'ellipse sont indiqués comme suit :

$$S_f = \frac{f \cdot \theta_s}{1 + \cos \psi} \quad (\text{II.7})$$

$$r_f = \frac{f \cdot \theta_s}{(1 + \cos \psi) \cos \psi} \quad (\text{II.8})$$

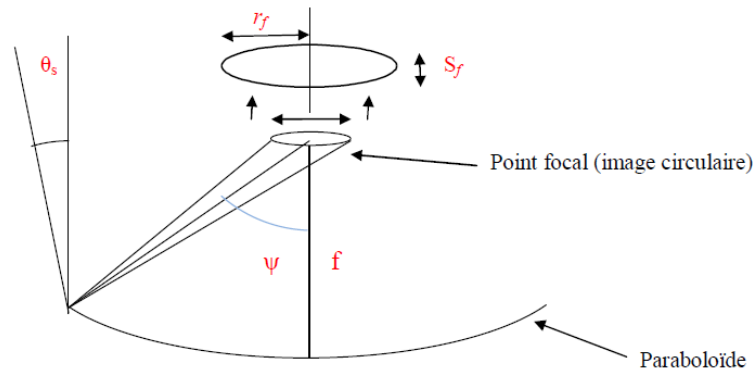


Figure II-9: L'image ellipse.

r_f : Diamètre minimum de l'image circulaire centrée au point focal en négligeant l'erreur de poursuite du soleil et l'erreur de focalisation du l'absorbeur.

Pour que l'ouverture du récepteur capte tous les rayons du champ arrivant au foyer, le récepteur doit avoir un rayon minimum égal à la taille de la tache solaire. Comme en application solaire, son diamètre est petit, on peut augmenter ce diamètre qui varie selon la distance axiale arrière de point focal (L).

Le diamètre d'ouverture du récepteur est donné par :

$$d_2 = \frac{d \cdot L}{f - h} \quad (\text{II.9})$$

d_2 : diamètre d'ouverture du récepteur.

L : distance axiale arrière du point focal.

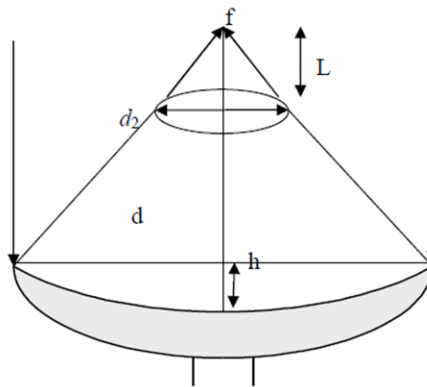


Figure II-10: Distance axiale arrière du point focal.

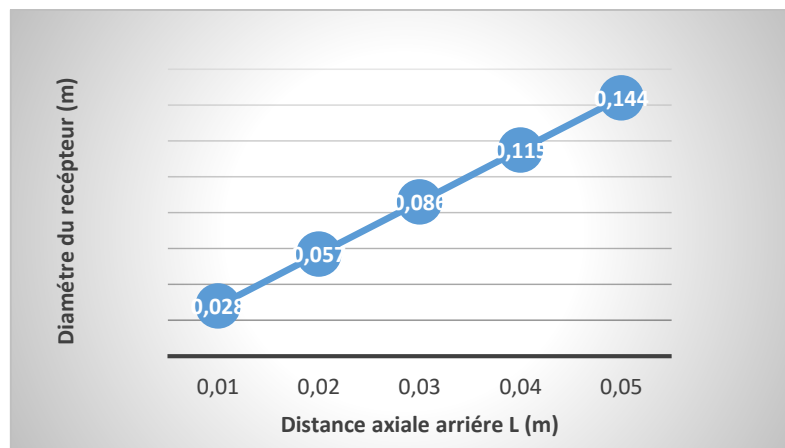


Figure II-11: Diamètre du récepteur à différent valeur de L.

Remarque : L'augmentation du diamètre de l'ouverture est linéaire.

II.4 La concentration

Ce paramètre indique la quantité de concentration légère d'énergie réalisée par un collecteur donné, Les deux définitions normales de la concentration solaire sont la concentration géométrique (surface) et la concentration système optique (flux).

II.4.1 Concentration géométrique

C'est le rapport de la surface de l'ouverture du collecteur A_a celle du récepteur sur A_r .

$$C_g = \frac{A_a}{A_r} \quad (\text{II.10})$$

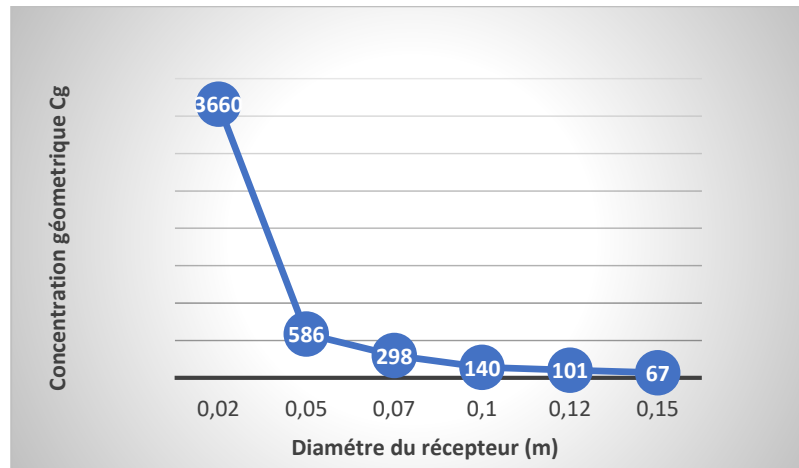


Figure II-12: Concentration géométrique à différents valeurs de diamètre du récepteur.

Remarque : Plus le facteur de concentration est élevé, plus la température atteinte sera importante.

II.4.2 Concentration optique

C'est le rapport de l'éclairement solaire moyen sur la surface de l'absorbeur sur l'éclairement solaire direct de l'ouverture, elle est exprimée par la formule [26] :

$$C_o = \frac{I_r}{I_o} \quad (\text{II.11})$$

I_r : L'énergie reçue à l'ouverture du récepteur.

I_o : L'énergie reçue à l'ouverture du paraboloïde.

On peut définir la concentration d'un concentrateur parabolique par :

$$C = \frac{4\sin^2\Psi}{\theta_s^2} \quad (\text{II.12})$$

La concentration maximale $C_{\max} = 46250$ pour $\Psi = 90^\circ$.

II.5 Le fluide caloporteur (ou calorporteur)

Le fluide caloporteur (ou calorporteur) permet d'évacuer la chaleur emmagasinée par l'absorbeur et de la transmettre vers là où elle doit être consommée. Un bon fluide caloporteur doit prendre en compte les conditions suivantes [24] :

- Être chimiquement stable lorsqu'il atteint une forte température, en particulier lors de la stagnation du capteur.
- Posséder des propriétés antigel en corrélation avec les conditions météorologiques locales.

- Posséder des propriétés anticorrosives selon la nature des matériaux présents dans le circuit capteur.
- Posséder une chaleur spécifique et une conductivité thermique élevées afin de transporter efficacement la chaleur.
- Être non-toxique et avoir un faible impact sur l'environnement.
- Avoir une basse viscosité afin de faciliter la tâche de la pompe de circulation.
- Être facilement disponible et bon marché.

Pour la production d'eau chaude sanitaire, le bon compromis par rapport à ces critères est un mélange d'eau et de glycol (utilisé dans le liquide de refroidissement des automobiles), même s'il n'est pas rare de trouver des systèmes fonctionnant à l'eau pure ou tout simplement à l'air selon l'utilisation.

Dans le cas des centrales solaires thermodynamiques, la chaleur produite par le rayonnement solaire est convertie grâce à un fluide caloporteur puis par un fluide thermodynamique. Selon les technologies de centrales et donc des températures de fonctionnement, on utilise des huiles minérales, des sels fondus, du gaz, de l'eau ou encore de l'air.

II.6 Température de l'ouverture du récepteur

Pour calculer la température de l'ouverture du récepteur, nous supposons les hypothèses suivantes [25] :

- Le récepteur sous forme cylindrique plein d'eau.
- La température du ciel égale à la température ambiante.
- La température est uniforme sur l'ouverture du récepteur.

Le bilan énergétique de la surface d'ouverture du récepteur est donné par la formule suivante :

$$(M_w C_w + M_r C_r) \frac{dT}{dt} = Q_u \quad (\text{II.13})$$

M_w : masse de l'eau.

C_w : chaleur massique de l'eau.

M_r : masse du récepteur.

C_r : chaleur massique du récepteur.

Q_u : puissance utile.

Où :

$$Q_u = Q_a - Q_p \quad (\text{II.14})$$

Q_a : puissance solaire absorbée par le récepteur.

Q_p : puissance correspondant aux pertes thermiques.

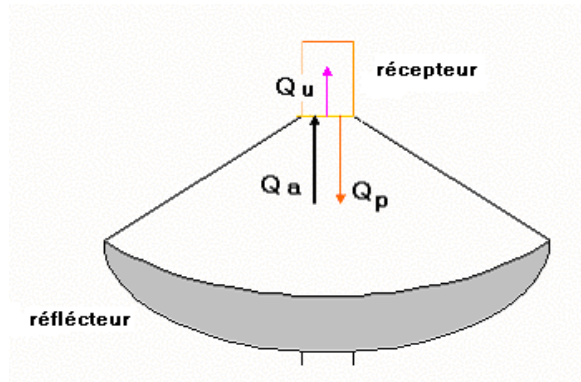


Figure II-13: Bilan énergétique.

II.7 L'énergie reçue à l'ouverture d'un paraboloïde

Supposons un rayon solaire incident, avec l'intensité I_b parallèle à l'axe de la parabole, ce rayon sera reflété au foyer f . Puisque nous voudrions calculer toute la quantité des rayons reflétés par la surface entière de la parabole, il est commode que nous considérions un secteur différentiel qui peut être intégré au-dessus de la surface entière de la parabole.

La surface différentielle est définie comme [26] :

$$dA_s = IdS$$

dS = longueur différentielle d'arc de la parabole représentée sur la figure II-14.

I = longueur d'une bande différentielle sur la surface d'une cuvette parabolique.

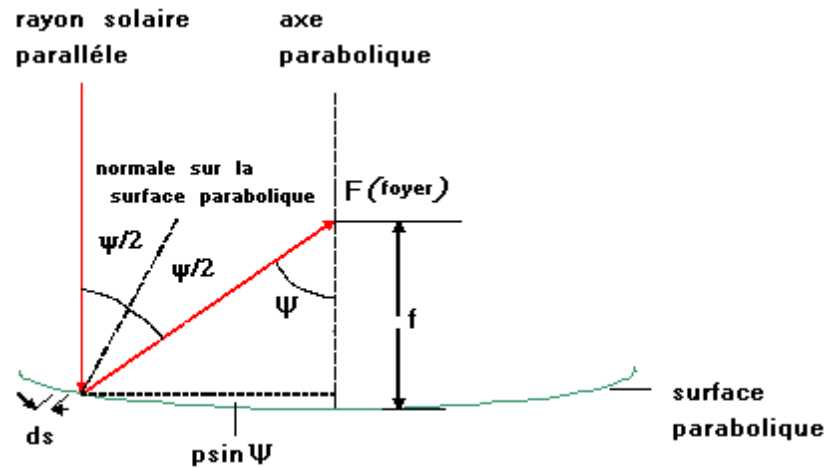


Figure II-14: réflexion d'un rayon parallèle.

$$d_s = \frac{p \sin(d\psi)}{\cos(\frac{\psi}{2})} \quad (\text{II.15})$$

L'angle $d\psi$ est petit, $\sin d\psi = d\psi$ donc l'équation devient :

$$d_s = \frac{p(d\psi)}{\cos(\frac{\psi}{2})} \quad (\text{II.16})$$

$$dA_s = \frac{I.p.d\psi}{\cos(\frac{\psi}{2})} \quad (\text{II.17})$$

Tout le flux radiant reflète (dI_a) de ce secteur différentiel (n'assumant aucune perte de réflectivité) au point de foyer est :

$$dI_a = dA_s I_b \cos\left(\frac{\psi}{2}\right) = I.p.I_b. d\psi \quad (\text{II.18})$$

En remplace p par sa valeur, on trouve :

$$dI_a = \frac{2.f.I.I_b.d\psi}{(1+\cos\psi)} \quad (\text{II.19})$$

$$I = 2. \pi. p. \sin \psi \quad (\text{II.20})$$

$$I = \frac{4.\pi.f.\sin\psi}{(1+\cos\psi)^2} \quad (\text{II.21})$$

L'énergie reçue à l'ouverture d'un paraboloïde est :

$$I_a = \int \frac{8.\pi.I_b.f^2.\sin\psi.d\psi}{(1+\cos\psi)^2} \quad (\text{II.22})$$

II.7.1 Puissance solaire absorbée par l'ouverture du récepteur

L'énergie reçue à l'ouverture d'un paraboloïde, en arrivant sur l'ouverture du récepteur est réduite à cause des pertes. La puissance absorbée est donnée par la formule suivante [26] :

$$Q_a = I_b A_a \tau \alpha \rho \quad (\text{II.23})$$

Ou :

$$\eta_{op} = A_a \cdot \tau \cdot \alpha \cdot \rho$$

L'équation devient :

$$Q_a = \eta_{op} \cdot I_b \quad (\text{II.24})$$

η_{op} : rendement optique du concentrateur.

I_b : énergie reçue à l'ouverture du concentrateur.

τ : Coefficient de transmission du récepteur.

α : Coefficient d'absorption du récepteur.

ρ : Coefficient de réflexion de la parabole

II.7.2 Puissance correspondant aux pertes thermiques

Une fois que l'énergie solaire passe vers la surface d'ouverture du récepteur, elle relève sa température au-dessus de la température ambiante, cette variation de température provoque un processus des pertes de chaleur, ce sont des pertes par convection, par rayonnement et par conduction. La puissance correspondant aux pertes thermiques est donnée par l'expression suivante [25] :

$$Q_p = Q_{p,cv} + Q_{ray} + Q_{cond} \quad (\text{II.25})$$

Q_p : puissance correspondant à la perte thermique.

$Q_{p,cv}$: pertes par convection.

Q_{ray} : pertes par rayonnement.

Q_{cond} : pertes par conduction.

II.7.2.1 Pertes par convection

La convection est un phénomène encore peu connu pour la plaque plane. Elle est de plus liée à la vitesse et la direction du vent sur le site. Ces pertes sont proportionnelles à la surface du récepteur et la différence entre la température de surface d'absorbeur et l'air ambiant.

$$Q_{p,cv} = h_{cv} A_\gamma (T_r - T_a) \quad (\text{II.26})$$

A_γ : Surface d'ouverture du récepteur.

T_r : température du récepteur.

T_a : température ambiante.

h_{cv} : Coefficient de transfert par convection.

On utilise les formules suivantes pour calculer le coefficient de transmission par convection :

❖ **Nombre de Prandtl :**

$$Pr = \frac{\mu \cdot C_p}{K_a} \quad (\text{II.27})$$

Avec :

μ : viscosité dynamique de l'air

C_p : Capacité calorifique de l'air

K_a : conductivité thermique de l'air

❖ **Nombre de Reynolds :**

$$Re = \frac{V_v \cdot d_r}{\nu} \quad (\text{II.28})$$

Avec :

V_v : vitesse du vent.

ν : viscosité cinématique de l'air.

d_r : diamètre du récepteur.

❖ **Caractéristique de l'écoulement :**

L'air en contact avec une surface plane (la surface inférieure du réservoir) donc l'écoulement est forcé et le nombre de Reynolds critique : $R_{cr} = 3.105$

Si $Re < R_{cr}$ écoulement laminaire.

$Re > R_{cr}$ écoulement turbulent.

❖ **Nombre de Nusselt :**

$$Nu = \frac{h_{conv} \cdot d_r}{K_a} \quad (\text{II.29})$$

D'où :

$$h_{conv} = \frac{Nu \cdot K_a}{d_r} \quad (\text{II.30})$$

Pour l'écoulement laminaire :

$$\text{Nu} = 0,664 \cdot \text{Pr}^{1/3} \cdot \text{Re}^{1/2} \quad (\text{II.31})$$

Pour l'écoulement turbulent :

$$\text{Nu} = 0,036 \cdot \text{Pr}^{1/3} \cdot \text{Re}^{4/5} \quad (\text{II.32})$$

II.7.2.2 Pertes par rayonnement

Ces pertes dépendent de la forme du récepteur mais plus particulièrement de la température du récepteur. Ils sont proportionnels à l'émissivité de l'absorbeur [27] .

$$Q_{\text{ray}} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A_{\gamma} (T_r^4 - T_{\text{sk}}^4) \quad (\text{II.33})$$

Avec :

ε : facteur émissivité de l'absorbeur.

σ : constante de Stefan –Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$).

T_{sk} : Température du ciel.

T_r : Température de rayonnement.

La température équivalente du rayonnement du ciel dépend de la densité de l'air et de son contenu d'humidité, quand l'humidité relative est haute où qu'on soit au niveau de la mer, on peut supposer que la température du ciel est identique à la température de l'air ambiant. Cependant pour les basses humidités relatives ou aux altitudes élevées, la température du rayonnement du ciel peut être inférieur de 6°C que la température ambiante, donné par la formule de Whillier (1967) :

$$T_{\text{sk}} = T_a - 6 \quad (\text{II.34})$$

Et par la formule de Swinbank (1963) :

$$T_{\text{sk}} = 0.0552 T_a^{1.5} \quad (\text{II.35})$$

On obtient la forme suivante :

$$Q_{\text{ray}} = A_{\gamma} h_{\text{ray}} (T_r - T_a) \quad (\text{II.36})$$

$$h_{\text{ray}} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_r^4 - T_a^4) / (T_r - T_a) \quad (\text{II.37})$$

h_{ray} : Coefficient de transfert par rayonnement.

II.7.2.3 Pertes par conduction

Les pertes par conduction sont liées à la nature du matériel utilisé. Elles sont habituellement petites par rapport aux pertes par convection ou par rayonnement. Dans la plupart des cas on peut les combiner avec les pertes par convection. Elles sont données par la relation suivante :

$$Q_{\text{cond}} = K_r \cdot A_g \cdot e (T_r - T_a) \quad (\text{II.38})$$

K_r : Conductivité de l'absorbeur.

e : Epaisseur de l'absorbeur.

II.7.3 Efficacité du concentrateur

La mesure des performances d'un collecteur solaire est une étape importante et nécessaire pour la compréhension du fonctionnement du système. Cette efficacité se définit comme le rapport de l'énergie thermique absorbée par le récepteur à l'énergie reçue à l'ouverture du concentrateur [25].

$$\eta = \frac{Q_u}{I_a A_a} \quad (\text{II.39})$$

Avec :

$$Q_u = Q_a - Q_p \quad (\text{II.40})$$

Q_a : puissance solaire absorbée par le récepteur.

Q_p : puissance correspondant aux pertes thermiques.

Q_u : puissance utile.

$$\eta = \frac{\eta_{\text{op}} \cdot I_b A_a - A_r K_{v,r} (T_r - T_a)}{I_a A_a} \quad (\text{II.41})$$

$$\eta = \eta_{\text{op}} - \frac{A_r K_{v,r} (T_r - T_a)}{I_a A_a} \quad (\text{II.42})$$

Avec : $K_{v,r} = h_{cv} + h_r$: le coefficient global des pertes.

En fonction de la concentration géométrique :

$$\eta = \eta_{\text{op}} - \frac{K_{v,r} (T_r - T_a)}{C_g A_a} \quad (\text{II.43})$$

Le rendement atteint par le concentrateur dépend de l'intensité du rayonnement et de la différence de température entre l'absorbeur et l'air ambiant.

II.8 Conclusion

A l'issue de l'étude théorique faite dans ce chapitre sur le concentrateur parabolique, nous avons pu déterminer plusieurs paramètres influant sur les performances du concentrateur. La concentration géométrique est le facteur que dépende beaucoup plus la température du récepteur, plus il est important plus la température atteint par la surface du récepteur est élevée.

L'efficacité du concentrateur et du récepteur (absorbeur) dépendent de la géométrie ainsi que les caractéristiques thermo-physique de ces derniers. Pour la conception d'un tel système, on doit tenir compte de ces paramètres.

Chapitre 3 : Description des différents matériels utilisés

III. Introduction

Le cœur du robot conçu dans ce projet est la carte Arduino. Le choix de ce composant est très important car c'est lui qui détermine la performance et l'efficacité du système. Dans ce chapitre, nous allons décrire la carte de commande Arduino, ainsi que les différents composants constituant le suiveur solaire.

III.1 Schéma Synoptique

Figure présente schéma synoptique général de notre réalisation. Le système suiveur solaire que nous proposons pour améliorer le rendement du concentrateur est illustré par un schéma synoptique.

Ce système est basé sur la comparaison des tensions délivrées par des capteurs photorésistances et envoyer ces tensions vers la carte microcontrôleur « Arduino ». Elles vont être converties dans cette dernière en valeur numérique puis fait la comparaison et gère la commande des deux moteurs à fin de établir la position d'équilibre entre les capteurs pour avoir un grand rendement.

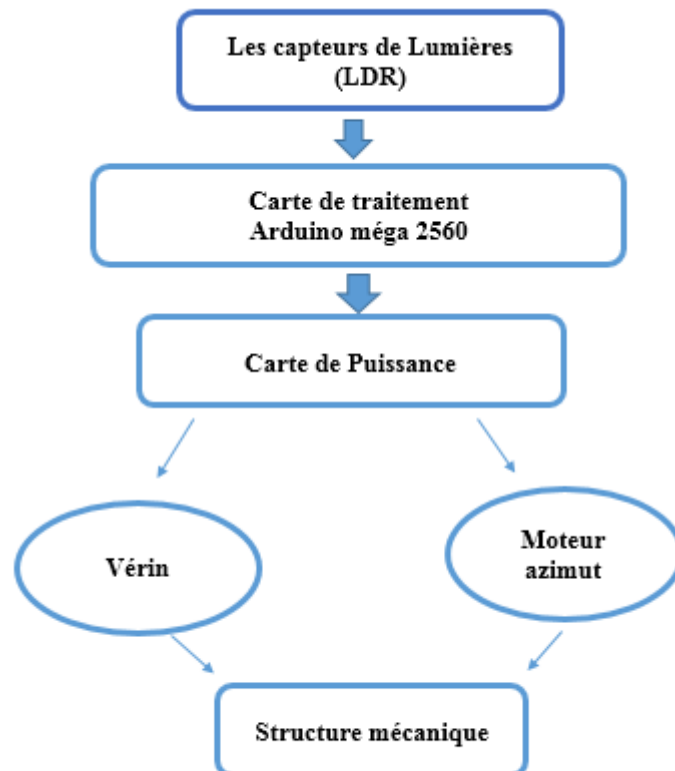


Figure III-1: Schéma synoptique d'un suiveur solaire bi-axial.

III.2 Différentes parties constitutives de notre suiveur solaire

La réalisation du suiveur solaire bi-axial est décomposée en deux grandes parties :

- Partie électrique.
- Partie mécanique.

III.2.1 Partie électrique

III.2.1.1 Capteur de lumière (photorésistance) LDR

Une photorésistance est un composant électronique, comme son nom l'indique est une résistance dont la valeur en Ohms dépend de l'intensité de la lumière à laquelle elle est exposée. On la désigne aussi par LDR (Light Dépendent Resistor) ou (résistance dépendante de la lumière) [28].

Nous avons choisi ce capteur pour les avantages qu'il présente et son adaptation pour notre application. Citons quelques-uns :

- Faible coût.
- Facilité de mise en œuvre.
- Sensibilité élevée.
- Temps de réponse très court (comparant à la photo diode).
- Disponible sur le marché.

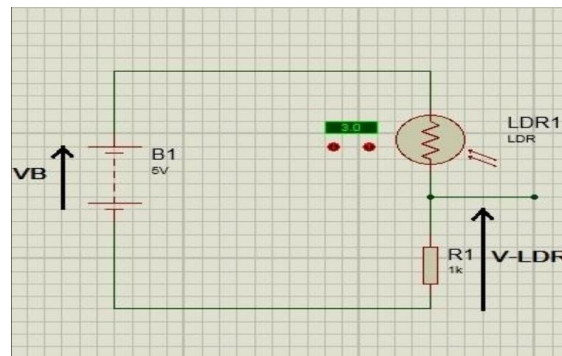


Figure III-2: Circuit d'adaptation des capteurs utilisés.

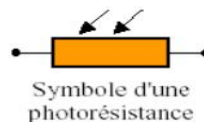


Figure III-3: – Photorésistance LDR.

III.2.1.2 RESISTANCE

Nous avons utilisés deux différentes résistances selon nos besoins :
on a utilisé les Résistances de 10k ohms pour le circuit LDR, et les résistances de 220 ohms pour les LED [29].

a. RESISTANCE (10 K) :

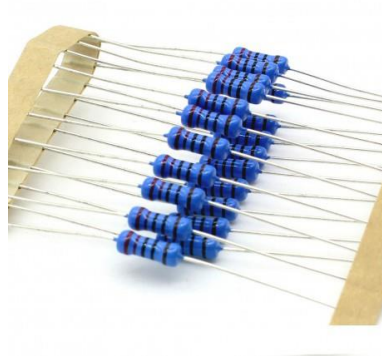


Figure III-4: Résistance métal 10 K ohm.

Fiche technique :

Catégorie	Résistance
Type	Film métal
Qté	x20 pièces
Puissance	1/2w - 0.5w
Résistance	220Ω
Tolérance (+/-)	±1%
Marque	Mikroteck

Tableau III-1: Fiche technique.

b. Résistance de 220 ohms :



Figure III-5: Résistance métal 220 ohm.

Fiche technique :

Catégorie	Résistane
Type	Film Carbone
Qté:	x10 pièces
Fabricant	Royal OHM
Puissance	1w
Résistance	220Ω
Tolérance (+/-)	±5%
Marque	Mikroteck

Tableau III-2: Fiche technique.

III.2.1.3 LED

La LED (Light Emitting Diode) est textuellement une “diode émettant de la lumière”. Elle est également appelée DEL (Diode électroluminescente) en français et SSL (Solid State Lighting) en anglais. Il s’agit d’un composant (opto) électronique qui, d’une part, ne laisse passer le courant électrique que dans un sens et d’autre part, émet de la lumière [30].



Figure III-6: Symbole d'une LED.



Figure III-7: LED.

III.2.1.4 Thermocouple

Un thermocouple est un capteur qui permet de mesurer la température. Il est composé de deux métaux différents, soudés entre eux à une extrémité, il se base sur une propriété physique: l'effet Seebeck [31].

III.2.1.5 Multimètre

Un multimètre est un appareil capable de mesurer plusieurs sortes de grandeurs électriques. On peut l'utiliser pour mesurer une tension, une intensité ou une résistance[32].



Figure III-8: Multimètre.

III.2.1.6 Le circuit de commande

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

a. ARDUINO MEGA 2560

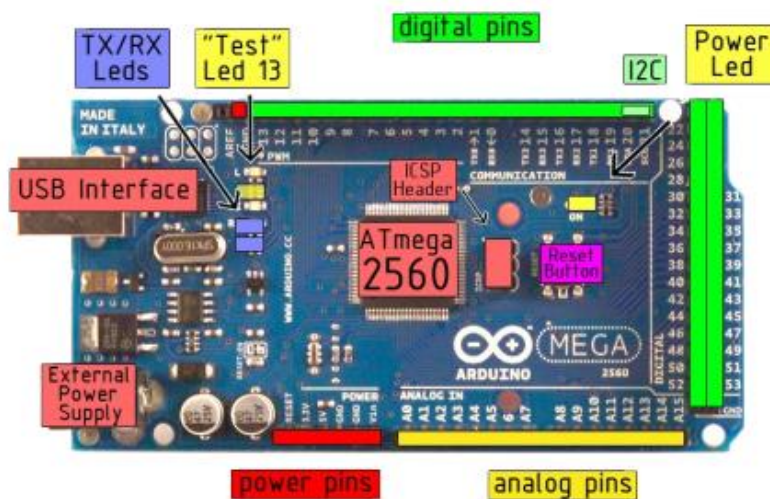


Figure III-9: Arduino Méga 2560[33].

b. Vue d'ensemble :

La carte Arduino Méga 2560 est une carte à microcontrôleur basée sur un ATmega2560.

Cette carte dispose [34] :

- De 54 broches numériques d'entrées/sorties (dont 14 peuvent être utilisées en sorties PWM (largeur d'impulsion modulée)) ;
- De 16 entrées analogiques (qui peuvent également être utilisées en broches entrées/sorties numériques) ;
- De 4 UART (port série matériel) ;
- D'un quartz 16Mhz ;
- D'une connexion USB ;
- D'un connecteur d'alimentation jack ;
- D'un connecteur ICSP (programmation "in-circuit"), et d'un bouton de réinitialisation (reset).

Elle contient tout ce qui est nécessaire pour le fonctionnement du microcontrôleur ; Pour pouvoir l'utiliser et se lancer, il suffit simplement de la connecter à un ordinateur à l'aide d'un câble USB (ou de l'alimenter avec un adaptateur secteur ou une pile, mais ceci n'est pas indispensable, l'alimentation étant fournie par le port USB).

La carte Arduino Méga 2560 est compatible avec les circuits imprimés prévus pour les cartes Arduino Uno, Duemilanove ou Diecimila.

c. Les broches d'alimentation sont les suivantes :

- VIN : La tension d'entrée à la carte Arduino quand elle utilise une source d'alimentation externe (par opposition à 5 volts de la Connexion USB ou autre source d'alimentation régulée). Vous pouvez fournir une tension via cette broche ou, si vous fournissez une tension via la prise d'alimentation, accédez-y par cette broche.
- 5V : L'alimentation régulée utilisée pour alimenter le microcontrôleur et d'autres composants sur la carte. Cela peut venir soit à partir de VIN via un régulateur embarqué, soit être alimenté par USB ou par une autre alimentation 5V régulée.
- 3V3 : Une alimentation de 3,3 volts générée par le régulateur embarqué. Le courant maximal consommé est de 50 mA.
- GND : Broches au sol.

d. Logiciel programmation :

Le logiciel de programmation des modules Arduino est une application Java, libre et multiplateformes, servant d'éditeur de code et de compilateur, et qui peut transférer le firmware et le programme au travers de la liaison série (RS-232, Bluetooth ou USB selon le module). Il est également possible de se passer de l'interface Arduino, et de compiler les programmes via l'interface en ligne de commande [35].

Le langage de programmation utilisé est le C++, compilé avec avr-g++ 3, et lié à la bibliothèque de développement Arduino, permettant l'utilisation de la carte et de ses entrées/sorties. La mise en place de ce langage standard rend aisé le développement de programmes sur les plates-formes Arduino, à toute personne maîtrisant le C ou le C++.

Un programme utilisateur Arduino est une suite d'instructions élémentaires sous forme textuelle, ligne par ligne. La carte lit puis effectue les instructions les unes après les autres, dans l'ordre défini par les lignes de code.

Structure d'un programme

Il y a trois phases consécutives:

- 1/La définition des constantes et des variables
- 2/La configuration des entrées et sorties
`void setup()`
- 3/La programmation des interactions et comportements
`void loop()`

Une fois la dernière ligne exécutée, la carte revient au début de la troisième phase et recommence sa lecture et son exécution des instructions successives. Et ainsi de suite.

Cette **boucle** se déroule des milliers de fois par seconde et anime la carte.



```
/* Ce programme fait clignoter une LED branchée sur la broche 13
 * et fait également clignoter la diode de test de la carte
 */
int ledPin = 13; // LED connectée à la broche 13

void setup()
{
  pinMode(ledPin, OUTPUT); // configure ledPin comme une sortie
}

void loop()
{
  digitalWrite(ledPin, HIGH); // met la sortie à l'état haut (led allumée)
  delay(3000); // attente de 3 secondes
  digitalWrite(ledPin, LOW); // met la sortie à l'état bas (led éteinte)
  delay(1000); // attente de 1 seconde
}
```

Figure III-10: Structure d'un programme Arduino.

e. Câble USB :

Le câble USB permet à la fois d'alimenter un projet Arduino, de programmer la carte (via Arduino IDE) mais aussi d'utiliser le Moniteur Série



Figure III-11: câble USB.

f. Fils pin :

Ces fils males sont utilisés pour brancher et connecter l'Arduino avec d'autre pièce et pour les tests

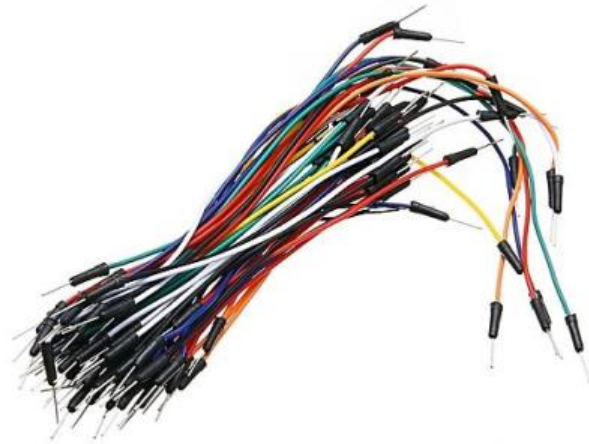


Figure III-12: fils de pins d'Arduino.

g. Plaque d'essai :

La plaque d'essai sans soudure nous permet de réaliser rapidement un montage électronique en insérant les pattes des composants et les fils dans les trous.

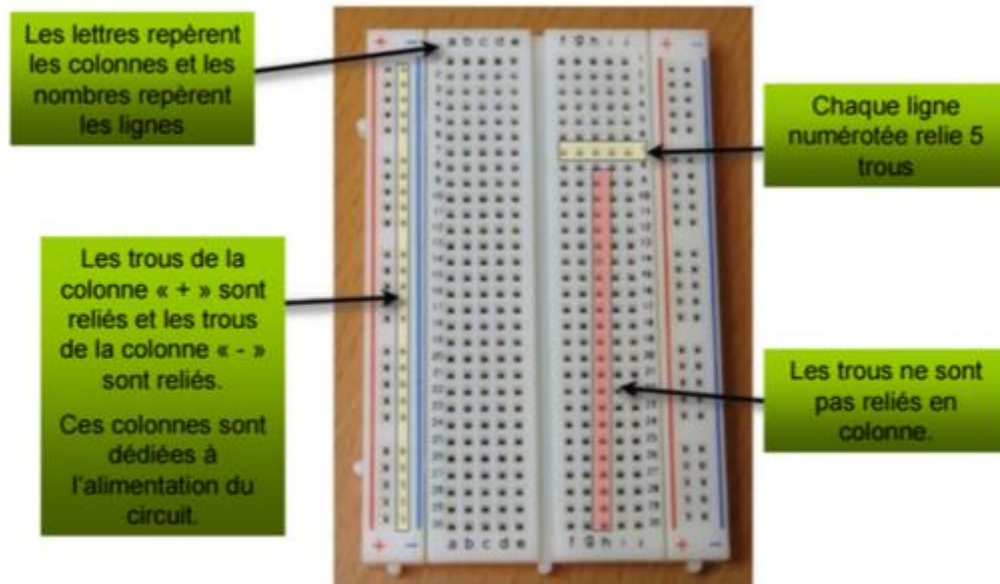


Figure III-13: Fonctionnement d'une plaque d'essai.

III.2.1.7 Circuit de puissance

a. Le moteur à CC :

Un moteur à courant continu est une machine électrique. Il s'agit d'un convertisseur électromécanique permettant la conversion bidirectionnelle d'énergie entre une installation électrique parcourue par un courant continu et un dispositif mécanique ; selon la source d'énergie.

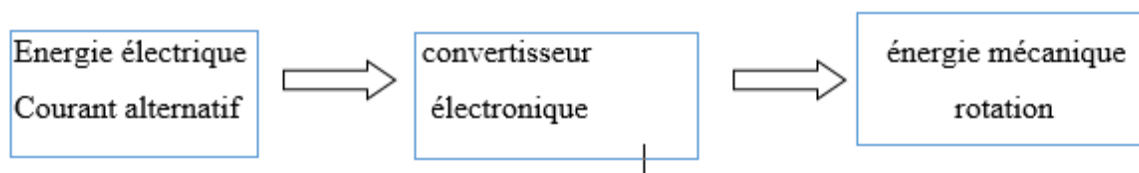


Figure III-14: Principe de fonctionnement du moteur à courant continu.

Dans notre projet nous avons utilisé des moteurs d'un essuie-glace à forte puissance figure (III-15) pour qu'ils puissent piloter l'assiette de la parabole.



Figure III-15: moteur d'essuies- glace.

Le moteur électrique possède les caractéristiques suivantes :

Courant Max	3A
Puissance utile (W)	30 W
Tension d'alimentation	12 DC

Tableau III-3: Caractéristique d'un m.c.c.

III.3 Le vérin électrique



Figure III-16: vérin électrique.

Les vérins électriques utilisent le principe de la transformation d'un mouvement de rotation créé par un moteur électrique en un mouvement de translation grâce à un système mécanique. La vitesse linéaire de la tige du vérin dépend donc de la vitesse de rotation du moteur et du pas du système de la transformation de mouvement.

Le vérin pris en considération pour notre cas est un vérin super power jack de 18 pouces série régulière, conçus pour des paraboles de 120 cm à 180 cm, Dont les caractéristiques sont illustrées dans le tableau 4 :

Course du vérin	35cm
Taille suggéré de la parabole	1,2 à 1,8 m
Capacité de charge	2500 N
Charge statique maximale	4500 N
Vitesse à pleine charge	4,2 mm/s
Tension d'alimentation	24/ 36 V DC
Puissance utile	Environ 70 W

Tableau III-4: Caractéristiques du VERIN.

La course maximale que devra entreprendre le vérin est d'environ 31 cm, mais pour éviter tout risque de venue en butée mécanique, nous avons prévue 40 mm de course supplémentaire.

La hauteur du soleil passe de 0° à environ 80° le jour du solstice d'été et le vérin parcourt environ 12 cm de sa course et ceci en environ 6 heures. Nous concluons donc d'après les caractéristiques du vérin que les exigences en vitesse de l'installation sont vérifiées.

Comme la visse du vérin choisis est à filet trapézoïdal, le vérin est donc irréversible mécaniquement permettant le blocage du concentrateur en position voulue quand le moteur vérin n'est pas alimenté.

III.4 Alimentation des actionneurs et de la carte Arduino

III.4.1 Bloc d'alimentation [36]

L'alimentation est chargée de convertir la tension électrique du secteur en différentes tensions continues TBT, compatibles avec les circuits électroniques.



Figure III-17: Bloc d'alimentation.

III.4.2 Connexion des périphériques

On a utilisé les Connecteurs ATX, mini Molex et Molex.



Figure III-18: Connecteur ATX, mini Molex et Molex.

Avec :

Jaune : +12v

Noir : Masse.

Rouge : +5v

L'alimentation de ces éléments est un montage transformant la tension alternative du secteur en une tension continue.

- ✓ 36 V DC pour l'alimentation de vérin.
- ✓ 12V DC pour l'alimentation de moteur.
- ✓ 12V DC pour l'alimentation de la carte de commande arduino.

III.4.3 Présentation des différents composants de l'alimentation

Une alimentation secteur est composée d'un transformateur, d'un redresseur, d'un filtre et d'une stabilisation/régulation selon les besoins. Nous allons étudier les différents composants de l'alimentation.



Figure III-19: Schéma synoptique de la carte d'alimentation stabilisée.

III.4.3.1 Transformateur [37]

Le transformateur est une machine statique à induction électromagnétique permettant de transformer un système de courant en un ou plusieurs autres systèmes alternatifs, de tensions et d'intensité généralement différents, mais de fréquence identiques, avec un excellent rendement. Ces différents systèmes de courant sont électriquement séparés. La transformation de la tension alternative du réseau, déterminée par le rapport entre le nombre de spires (tours) du secondaire et du primaire.

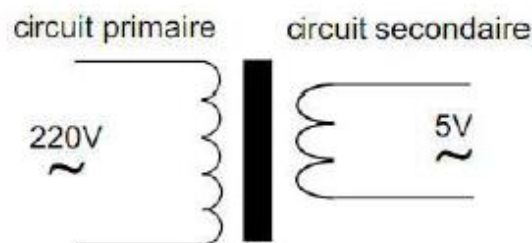


Figure III-20: Représentation schématique d'un transformateur.

III.4.3.2 Redresseur [37]

Le redresseur convertit la tension alternative du secondaire du transformateur en impulsions unidirectionnelles du courant. (Courant continu).

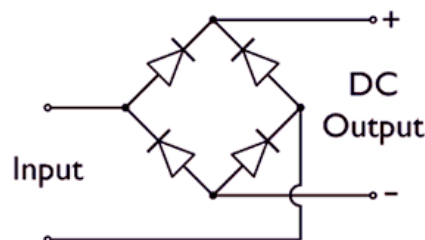


Figure III-21: Schéma représentatif du pont redresseur.

III.4.3.3 Filtrage

Il sert à lisser le courant redressé brut fourni par le redresseur sous forme de tension pulsée. Sur nos matériels de faible puissance on utilise des filtres à capacité d'entrée (condensateur).

III.4.3.4 Régulation

La fonction d'un régulateur de tension est de convertir une tension ayant une certaine ondulation en une tension particulièrement stable. Il doit maintenir ces conditions de stabilité dans une large gamme de variation du courant de charges mais également des fluctuations de la tension d'entrée.

III.4.3.5 Stabilisation

On utilise un couple de condensateurs montés en parallèle (1er céramique ,2eme chimique) et sa a la sortie de chaque régulateur pour la stabilisation.

III.4.4 Circuit de puissance L298n

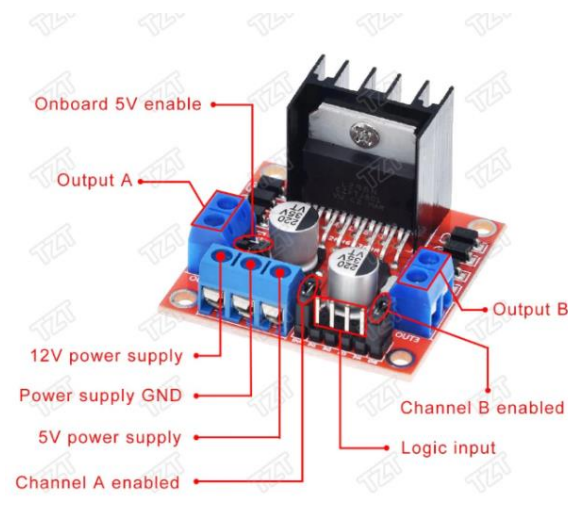


Figure III-22: Circuit de puissance L298n.

L'interface de puissance L298 est un module comportant un double pont en H capable de piloter deux moteurs à courant continu ou un moteur pas à pas sous 36 V et consommant 2 A, des diodes de roue libre pour protéger le L298, un régulateur de tension 5 V, des condensateurs de filtrage, des borniers à vis pour y brancher les moteurs et des broches pour y relier la carte Arduino. Le L298 possède trois entrées de commande par pont en H pour piloter le moteur.

Les ports **ENA** et **ENB** permettent de gérer l'amplitude de la tension délivrée au moteur, grâce à un **signal PWM** [38].

Les ports **In1**, **In2** pour le moteur A et **In3**, **In4** pour le moteur B, permettent de contrôler le pont en H et par conséquent le sens de rotation des moteurs.

EN	IN2	IN1	FONCTION
0	X	X	Moteur libre
1	0	0	Frein moteur
1	0	1	Moteur tourne dans le sens direct
1	1	0	Moteur tourne dans le sens inverse
1	1	1	Frein moteur

Tableau III-5: Mode de fonctionnement de L298N.

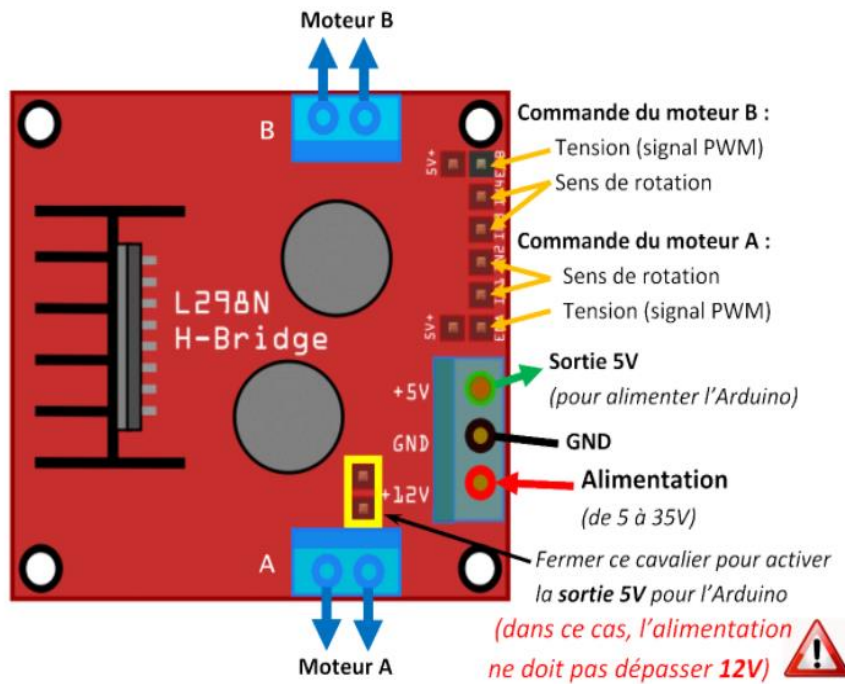


Figure III-23: description du fonctionnement du l298n [39].

III.4.5 Relais Arduino

III.4.5.1 Présentation du module relais compatible Arduino

Une carte Arduino fonctionne avec une tension de 5V. Pour des petits robots mobiles, cette tension est suffisante et c'est souvent la même source d'énergie qui alimente le microcontrôleur, les capteurs et les moteurs. Mais pour des robots plus gros et plus puissants, 5V est loin d'être suffisant. Il y a donc deux alimentations séparées, l'une pour le circuit 'de commande' et l'autre pour le circuit « de puissance ».

Et pour faire le lien entre les deux circuits, il faut utiliser le module relais compatible Arduino. Il est très compact et utilisable avec toutes les cartes Arduino. Son utilisation est très facile et il possède une LED pour vous permettre de visualiser l'état (passant ou bloqué) du relais.



Figure III-24: Module relais Arduino.

III.4.5.2 Fonctionnement

Le fonctionnement de sens de rotation d'un moteur à courant continu avec un relais de puissance. La particularité du circuit, est l'utilisation de deux interrupteurs électromécaniques commandés par deux signaux logiques à faibles niveaux (0-5V) au lieu de quatre comme le cas du pont H standard, d'autre part, l'utilisation des relais de puissance pour répondre au besoin en puissance est important qui n'est pas toujours facile à mettre en œuvre par des transistors de puissance.

Arrêt du moteur: $S1=0$ & $S2=0$ ou bien $S1=1$ & $S2=1$:

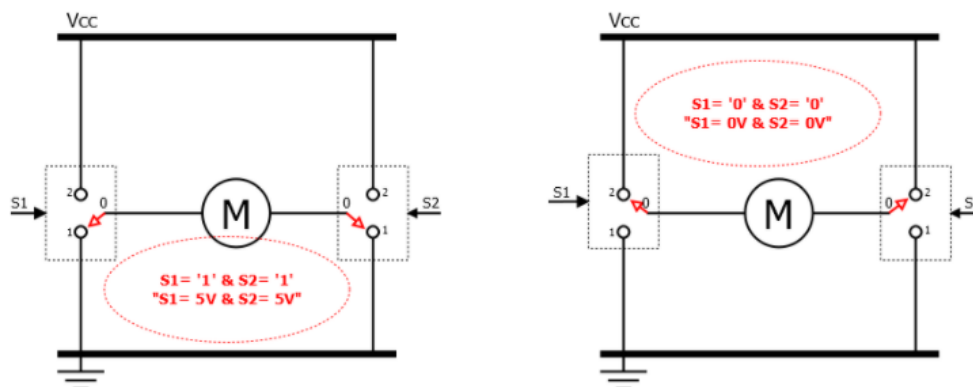
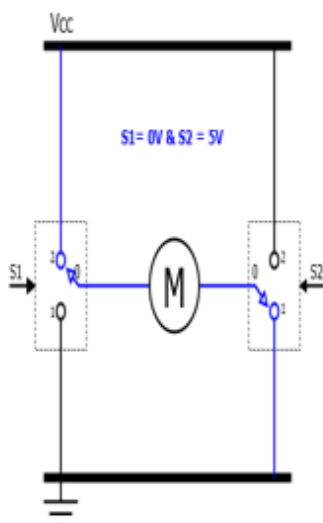


Figure III-25: Arrêt du moteur.

Rotation dans le sens 1 : $S1=1$ & $S2=0$:



Rotation dans le sens 2 : $S1=0$ & $S2=1$:

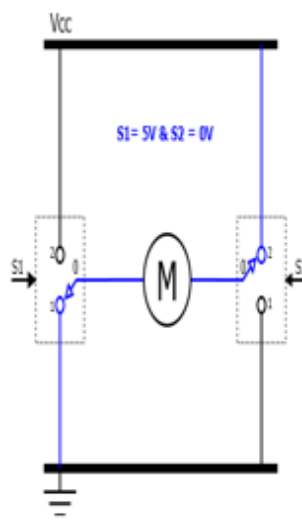


Figure III-26: moteurs en marches.

III.4.1 Partie mécanique

III.4.1.1 Réflecteur

On a utilisé deux paraboles :

- Parabole couverte en papier d'aluminium : c'est une parabole du récepteur satellitaire couverte en papier d'aluminium qui couvre la surface intérieure du réflecteur. Le papier d'aluminium devrait avoir son côté brillant face au soleil. La parabole est reposée sur un support rigide, attachée au carter.

Parabole couverte par des feuilles d'aluminiums :

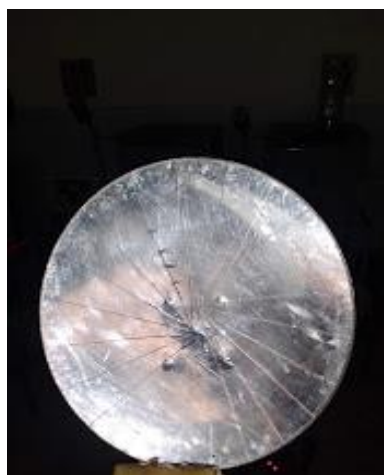


Figure III-27:Parabole couverte par des feuilles d'aluminiums.

Parabole couverte avec des petits miroirs de forme rectangulaire :



Figure III-28: Parabole couverte par des miroirs.

❖ Caractéristiques géométriques du réflecteur :

Diamètre	$d=0.9\text{m}$
Taille	$h=0.08\text{m}$
L'angle d'ouverture	$\beta_p= 38.95$
Distance focale	$f = 0.6328\text{m}$
Surface d'ouverture	$A_a= 0.6361\text{m}^2$

Tableau III-6: Caractéristiques géométriques du réflecteur.

III.4.1.2 Absorbeur

Pour réaliser notre absorbeur on s'est basé sur deux paramètres le choix de métal du récepteur qui doit avoir une bonne conductivité et la bonne isolation de ce dernier. Pour cela on a pris le cuivre ($360 \text{ W}/^\circ\text{k.m}^2$) comme un dispositif absorbant et la brique réfractaire comme isolation.

III.5 Conclusion

A la fin de ce chapitre on a fini par énumérer tous les composants qui seront utilisés pour la construction de notre suiveur solaire ainsi les composants mécaniques qu'on a améliorés durant notre travail.

Chapitre 4 : Mise en œuvre et Expérimentation

IV. Introduction

Après avoir effectué une étude théorique du concentrateur solaire parabolique. Nous présentons les différentes étapes de la réalisation de notre prototype :

Au premier lieu on commencera par programmer le tracker solaire sous Arduino puis on le simulera avec le logiciel PROTEUS-Isis.

En deuxième lieu on va citer les parties essentielles de la mise en œuvre de notre concentrateur parabolique, ensuite, nous ferons une expérimentation de notre concentrateur, où nous effectuons plusieurs essais de mesure de températures, sachant que les essais ont été faits à côté du Hall technologie. Le concentrateur a été placé dans un terrain ouvert afin de capté le maximum de rayonnement pour avoir des résultats fiables.

IV.1 Partie I : Simulation

IV.1.1 Interface Proteus

IV.1.1.1 Initiation à Isis PROTEUS

Isis Proteus est un logiciel de développement et de simulation d'application via un environnement graphique simple et interactif.

IV.1.1.2 L'environnement de travail de PROTEUS

Le lancement de PROTEUS donne un environnement classique de type Windows, constitué d'une fenêtre principale, et d'un ensemble de barres d'outils. Outre le menu classique permettant la gestion des fichiers, de l'affichage, et des options des projets, la fenêtre principale comprend **une Zone de travail** destinée au développement des circuits à simuler et à tester. **Une Bibliothèque d'objets** affiche la liste des objets (circuits électriques, électroniques,...) utilisés dans l'application en cours. Les différentes **Touches magnétoscope** constitues des raccourcis permettant le lancement de la simulation, ainsi que la mise en pause, l'exécution pas à pas, et l'arrêt de la simulation.

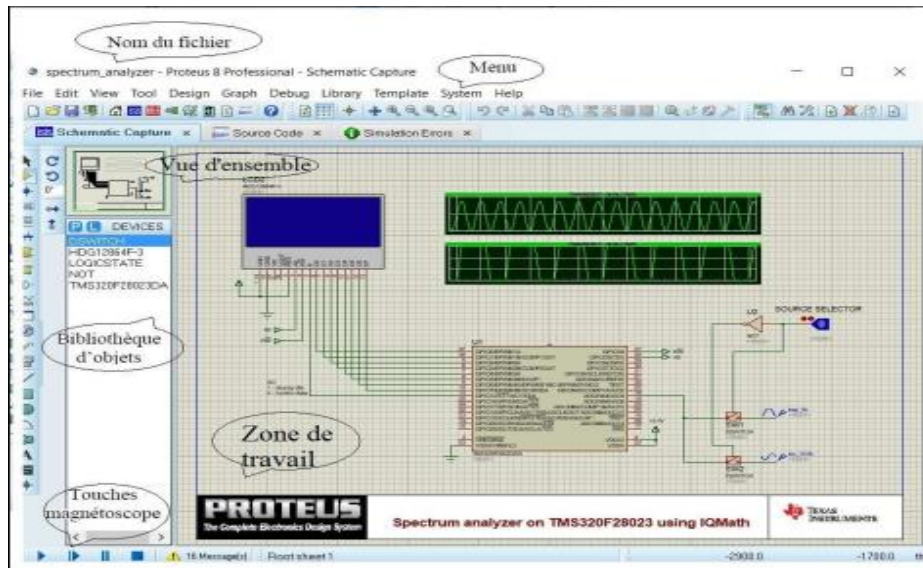


Figure IV-1: Vue d'ensemble du logiciel PROTEUS.

IV.1.1.3 La barre d'outils principale

La boîte verticale de boutons, comprend les principaux raccourcis nécessaires au développement rapide d'applications. En plaçant le curseur de la souris sur un bouton, sans cliquer, une info-bulle affiche le nom du bouton, dont les plus importants sont:

- **Component mode** : (Mode Composant), Un clic sur ce bouton puis (**Component from libraries**), permet l'ajout de différents composants.

- **Generator Mode** : (Mode Générateur) permettant l'accès aux différents types de générateurs.

- **Instruments** : un raccourci permettant l'ajout des appareils de mesure tels que le voltmètre, l'ampèremètre, et l'oscilloscope.

- **Terminal** : permettant d'ajouter des points particuliers dans un schéma tels que les entrées/sorties ou Gnd.

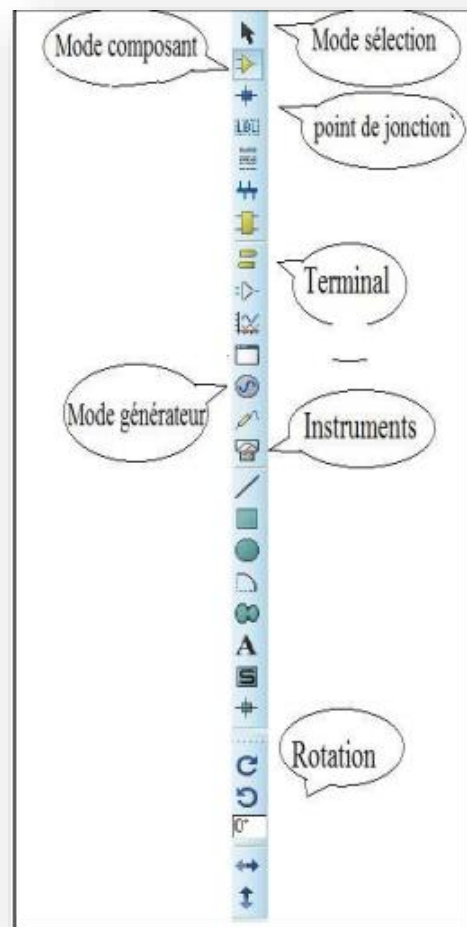


Figure IV-2: La barre d'outils principale

IV.1.2 Programmation

IV.1.2.1 Organigramme

Avant de passer à la programmation, nous devons réaliser un organigramme qui explique le déroulement des différentes séquences, tant intérieures qu'extérieures dans FigureIV-3.

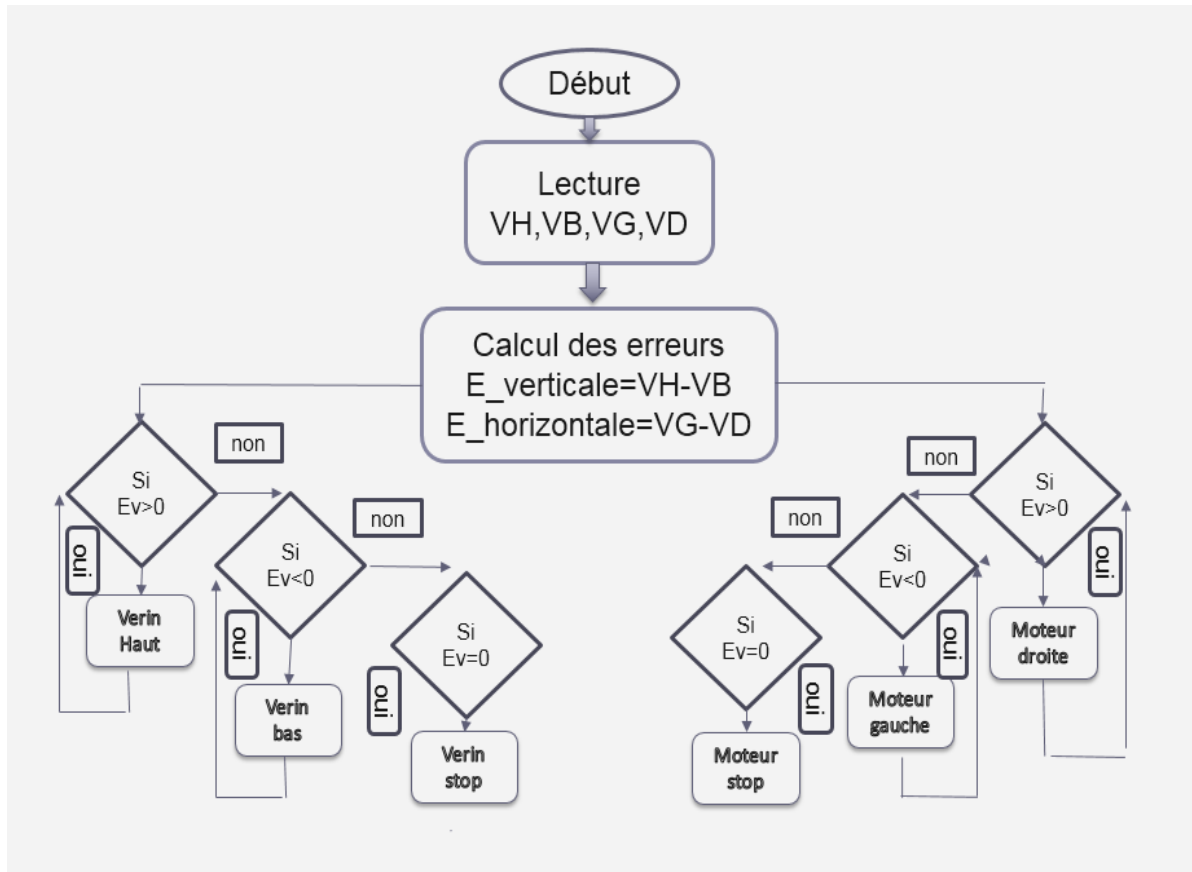


Figure IV-3: Organigramme Principal.

IV.1.2.2 Test de programme sur logicielle de simulation (Proteus-ISIS)

La simulation de notre montage a été faite par le logiciel Proteus-ISIS qui permette de tester et récupérer en temps réel les résultats de la simulation, pour cela on mit six LED remplacent le vérin et le moteur deux LED pour la direction gauche-droite de moteur et deux autre LED pour l'inclinaison haut et bas de vérin et pour indiquer le stop une LED pour chacun de ces actionneurs.

• Simulation sur les LED sous Proteus-ISIS :

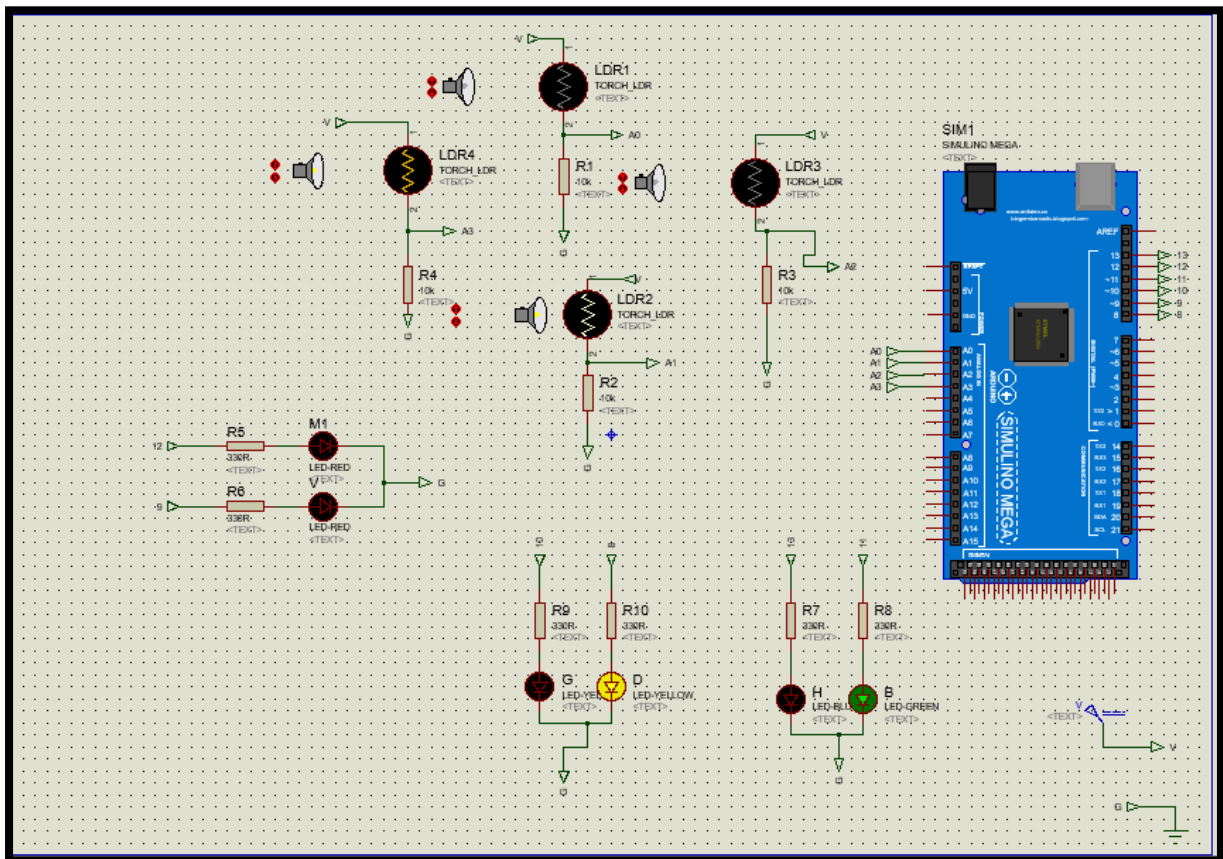


Figure IV-4: Simulation sur les LED sous Proteus-ISIS.

IV.1.2.3 Simulation des deux moteurs sous Proteus-ISIS

Après avoir utilisé des Leds dans notre simulation nous voici avec les deux moteurs (vérin et moteur azimutal), tout en utilisant deux Leds comme indice d'arrêt. Commander par des Relais-Arduino le moteur tourne dans la direction ou les capteurs reçoivent plus de rayonnement lumineux.

Simulation des deux moteurs sous Proteus-ISIS :

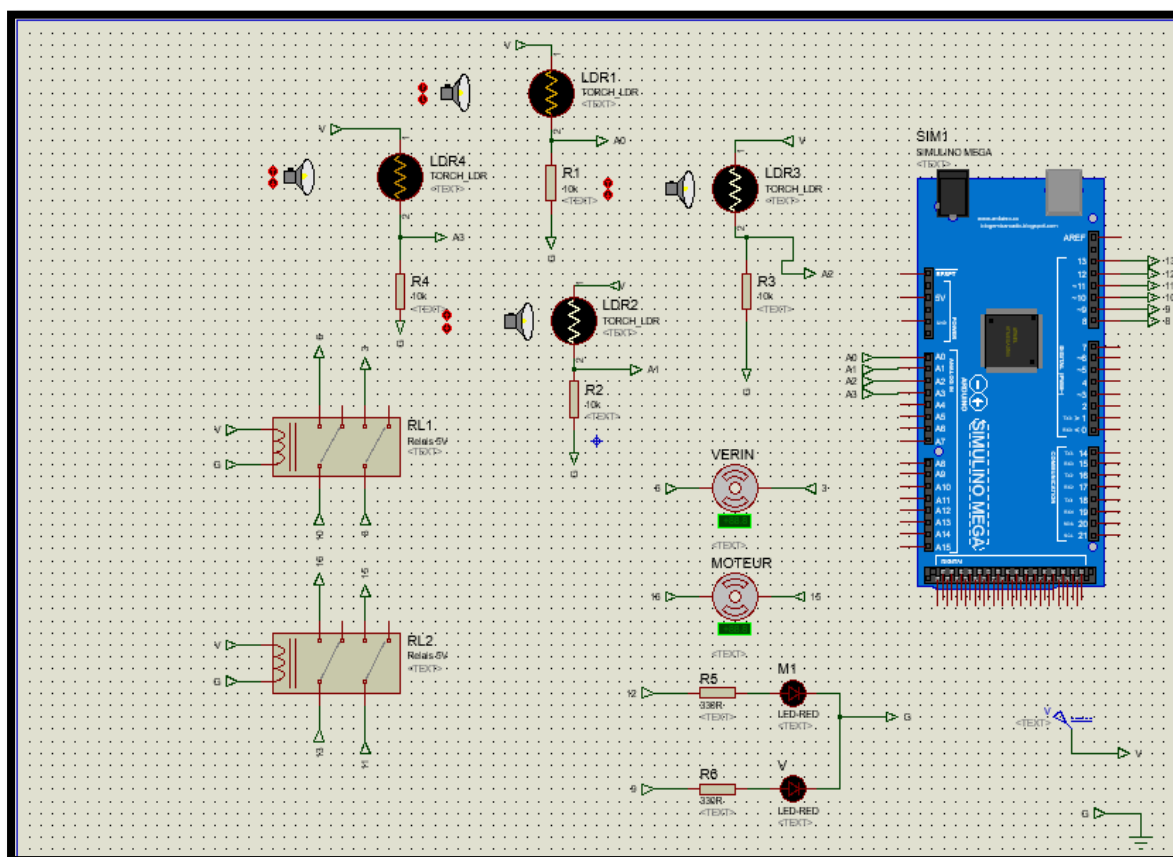


Figure IV-5: Simulation des deux moteurs sous Proteus-ISIS.

IV.2 Partie II : Mise en œuvre

IV.2.1 Partie mécanique

IV.2.1.1 Conception de notre absorbeur

Avant de commencer on va donner une petite définition sur les briques réfractaires.

La brique réfractaire :

Conçues pour résister à de très hautes températures (jusqu'à 1700 degrés), les briques réfractaires sont constituées de matériaux bien spécifiques : la vermiculite, minéral naturel aux propriétés isolantes, le ciment fondu et le coulis réfractaire. Les briques réfractaires sont normalement en terre cuite. De plus, outre le fait de pouvoir supporter des températures très

élevées, ces briques ont la capacité de retenir la chaleur et de la restituer lentement, c'est ce que l'on appelle le phénomène de convection. Ces briques ont un fort pouvoir isolant.

Les étapes suivies dans notre démarche de conception se sont déroulés comme suit :

- ❖ On a utilisé trois briques réfractaires pour avoir une meilleure isolation de dimension (20cm de longueur, 10cm de largeur et 5cm d'épaisseur) pour chacune, l'aide d'une scie cloche on a créé un trou débouchant de diamètre 6cm de diamètre dans deux briques. On a collé les trois briques avec de ciment pour avoir à la fin un trou non débouchant de 10cm de profondeur et 6cm diamètre.



Figure IV-6: brique réfractaire à trou débouchant.



Figure IV-7: scie-cloche.

- ❖ Nous avons choisi le cuivre ($360 \text{ W/}^\circ\text{k.m}^2$) comme un dispositif absorbant c'est un tube de 5mm de diamètre extérieur et 50 cm de longueur, il est muni d'un trou pour le remplissage de l'eau. On a serpenté le tube dans un cylindre qu'on a créé en utilisant des briques réfractaires.

L'absorbeur recouvert d'une mince couche de peinture noire à l'intérieur pour diminuer la réflexion des rayons solaires, est situé à la zone focale de la parabole.



Figure IV-8: serpentin en cuivre.

IV.2.2 Partie électrique

IV.2.2.1 Installation des capteurs(LDR)

Pour le bon fonctionnement de notre modèle nous avons placé les capteurs dans les quatre coins de l'assiette parabolique (Nord, Sud, Est et Ouest).



Figure IV-9: Installation des capteurs photorésistances.

IV.2.2.2 Installation des Relais

A la place du module L298N on a utilisé deux Relais-Arduino, car ils ont des capacités adéquates avec notre moteur azimutale, les relais délivrant un courant jusqu'à 10A suffisent largement pour commander le moteur azimutale qui délivre à son tour 3A.

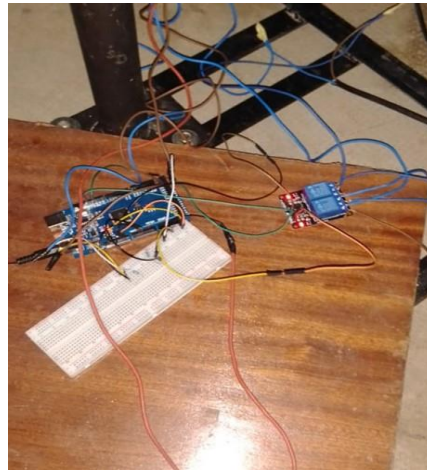


Figure IV-10: Installations des Relais-Arduino.

IV.3 Partie III Expérimentation

Les essais ont été faits à côté du Hall Technologie de L'université de Bejaia. Le concentrateur a été placé dans un terrain ouvert afin de capté le maximum de rayonnement pour avoir des résultats fiables.

Le temps de l'expérience :

- Le 15 Septembre 2020, de 11h 30 à 13h 15 ou on a fait l'expérience sur une parabole du récepteur satellitaire couverte en papier aluminium qui couvre la surface intérieure du réflecteur.
- Le 16 Septembre 2020, de 11h 30 à 13h 15 on a fait l'expérience sur une parabole du récepteur satellitaire couverte avec des miroirs sous forme rectangulaire qui couvre la surface intérieure du réflecteur.

IV.3.1 Installation du concentrateur

Le concentrateur parabolique fonctionne quand les rayons solaires sont parallèles à son axe. Donc il faut le placer dans un environnement clair et bien aéré, avec le ciel dégagé en évitant les zones d'ombres autour de l'équipement. La partie recevant le système de poursuite devra être bien verticale.

Au début, le concentrateur sera pointé vers le sud. A l'aide d'un système de poursuite commandé par un programme informatique, sera initialisé et dirigé sur la position du soleil. Les rayons du soleil seront reflétés au foyer du paraboloïde et formeront une tache solaire sous forme d'une éclipse qui devrait apparaître sous l'absorbeur.



Figure IV-11: Tache solaire sous forme d'éclipse.

IV.3.2 L'emplacement des thermocouples

Dans cette expérience on a utilisés 4 thermocouples. Le premier est installé sur la surface d'ouverture du récepteur, le deuxième et le troisième sont installés sur l'entrée et la sortie de tube en consécutifs et le quatrième à l'intérieur de l'absorbeur.



Figure IV-12: L'emplacement des thermocouples.

IV.3.3 Mesures

Les températures ont été mesurées à l'aide d'un multimètre à affichage numérique. Le relevé de la température se fait toutes les 15 minutes. Le tube en cuivre (absorbeur) est à la température ambiante quand l'expérience commence.



Figure IV-13: Mesures sur la parabole à aluminium et à miroirs.

IV.3.4 Protocole de mesures

- Au début, nettoyer la surface réfléchissante de la parabole avec de l'accolle chirurgicale.
- Mesuré le débit d'eau (0.009 l/s).
- Bien placer le récepteur au foyer.
- Mettre en place les thermocouples.
- Placer la parabole au soleil et l'orienter sur les deux axes afin, que tous les rayons parallèles soient concentrés (condition initial).
- Lancer le programme informatique afin que la parabole suive le soleil de sorte que l'ombre du récepteur soit au centre de la parabole.
- Relever les températures de l'eau (l'entrée de tube), de l'ambiance et l'intérieur de l'absorbeur au début des expériences.
- Relever les températures :- ambiantes - de l'eau (à l'entrée et la sortie de tube)
- de l'absorbeur - entre les parois de l'absorbeur toutes les quinze (15) minutes.

IV.3.5 Dépouillement des résultats

IV.3.5.1 Tableaux de valeurs

Les résultats sont présentés sous forme de tableaux pour chaque Journée.

Résultats de mesures de la journée du 15/09/2020 :

Temps [Minute]	Température ambiante Ta [°C]	Température à l'entrée Te [°C]	Température à la sortie Ts [°C]	Température de l'absorbeur Tab [°C]	Température entre les parois de l'absorbeur Tab' [°C]
12h 10	24	23	26	53	26
12h 25	25	23	30	92	53
12h 40	24	24	41	197	71
12h 55	24	26	64	205	83
13h 10	25	26	79	233	96
13h 25	25	26	84	246	114
13h 40	25	25	70	226	110
13h 55	24	24	65	198	107

Tableau IV-1: Résultats de mesures de la journée du 15/09/2020.

Résultats de mesures de la journée du 16/09/2020.

Temps [Minute]	Température ambiante Ta [°C]	Température entrée Te [°C]	Température à la sortie Ts [°C]	Température de l'absorbeur Tab [°C]	Température entre les parois de l'absorbeur Tab' [°C]
12h 10	23	24	30	76	36
12h 25	23	24	66	148	78
12h 40	24	25	80	282	103
12h 55	25	27	93	325	104
13h 10	25	27	96	333	149
13h 25	25	28	95	331	149
13h 40	24	28	90	324	146
13h 55	24	28	84	296	144

Tableau IV-2: Résultats de mesures de la journée du 16/09/2020.

IV.3.5.2 Problèmes rencontrés

Quelques problèmes rencontrés lors de la réalisation et l'expérimentation de ce prototype se résument :

- Aux problèmes de relever de la température car sa valeur variée très rapidement sous l'influence du vent.
- Aux problèmes de terrain d'essai, sur le site de l'université, il n'y a pas un terrain dégagé qui correspond aux exigences de l'expérience.
- Aux cours de l'expérience le moteur horizontal (vérin), il a tombé en panne après qu'une coupure d'électricité a lieu, ce que nous a causé un grand problème pour la poursuite de l'expérience.
- Problèmes lors d'installation des capteurs LDR

IV.3.6 Résultats et discussions

IV.3.6.1 Résultats de la journée du 15 Septembre 2020

L'évolution des différentes températures :

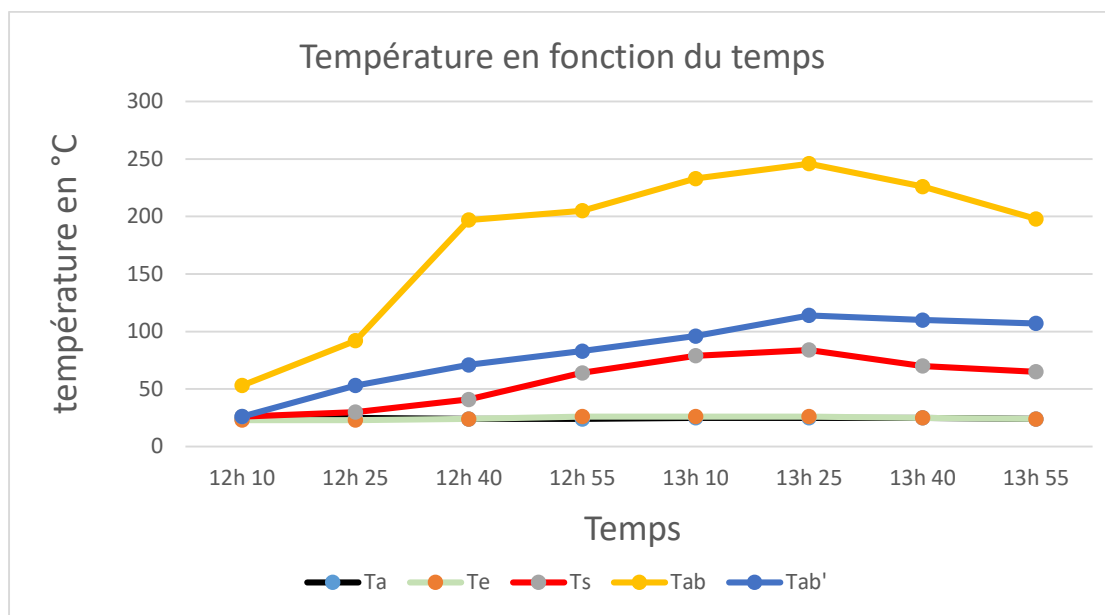


Figure IV-14: Les profils de températures en fonction du temps.

Commentaire 01 :

Nous montrons dans la Figure IV-13 l'évolution des différentes températures en fonction du temps. L'évolution commence après une minute du début des essais. La température à la sortie se varie linéairement jusqu'à sa valeur maximale qui est [84°C], après elle commence à diminuer à cause du vent et l'état du ciel qui est peu nuageux, et pour la température entre les parois de l'absorbeur elle augmente jusqu'à sa valeur maximale [114°C]. On ne remarque pratiquement pas la variation de la température ambiante.

L'absorbeur atteint sa température maximale juste après 1h15, la fourchette de cette journée est comprise entre [53°C - 246°C].

IV.3.6.2 Résultats de la journée du 16 Septembre 2020

L'évolution des différentes températures :

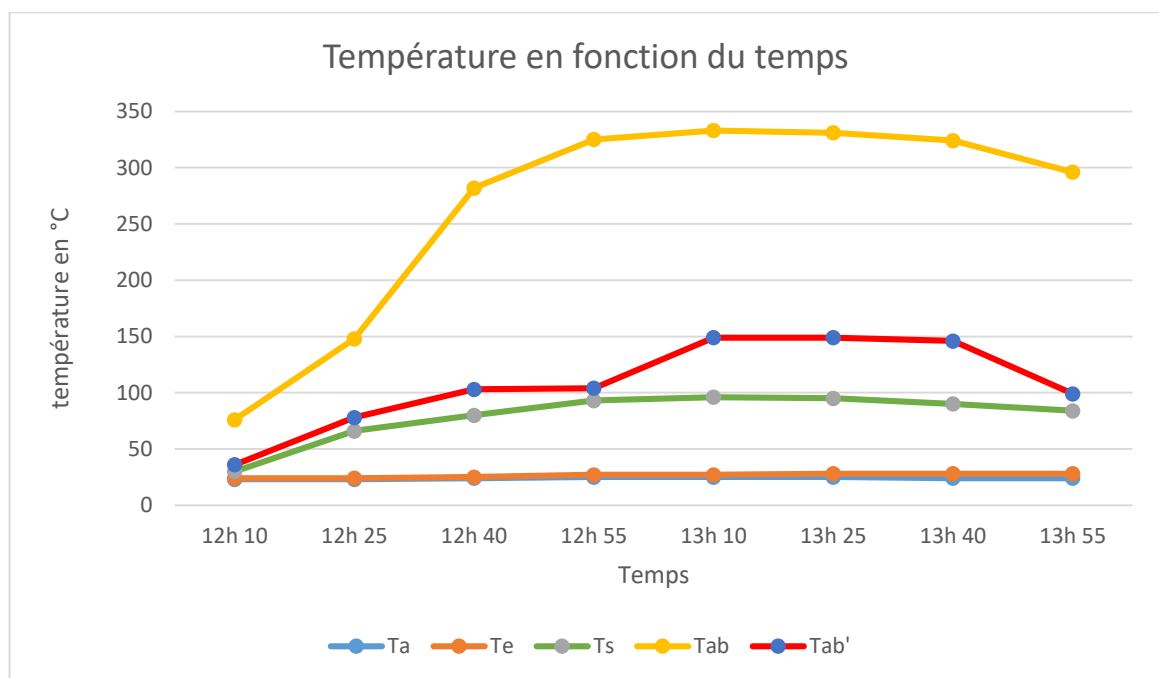


Figure IV-15: Les profils de températures en fonction du temps.

Commentaire 02 :

Nous montrons dans la Figure IV-13 l'évolution des différentes températures en fonction du temps. L'évolution commence après une minute du début des essais. La température à la sortie se varie linéairement jusqu'à sa valeur maximale qui est [96°C], après elle commence à diminuer à cause du vent et l'état du ciel qui est peu nuageux, et pour la température entre les parois de l'absorbeur elle augmente jusqu'à sa valeur maximale [149°C]. On ne remarque pratiquement pas la variation de la température ambiante.

L'absorbeur atteint sa température maximale juste après 1h, la fourchette de cette journée est comprise entre [76°C - 333°C].

IV.4 Conclusion

Ce quatrième chapitre fut consacré à l'installation et l'étude expérimentale dans notre suiveur solaire. Grâce à la carte Arduino, au programme de commande que nous avons élaboré, sans oublier les capteurs photorésistants et les Relais-Arduino, nous avons pu commander le tracker pour qu'il arrive à suivre le mouvement du soleil à temps réel. L'étude expérimentale nous a conduits à conclure que le réflecteur en miroirs donne un rendement thermique plus important que celui du réflecteur en aluminium. La température maximale obtenue à la surface extérieure du récepteur est de [246°C] après 1h15 du début de l'essai pour le réflecteur en aluminium. Pour le réflecteur en miroirs on est arrivé à avoir une température maximale de [333°C] sur la même surface après une heure du début de l'essai.

CONCLUSION GENERALE

V. CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES :

Plusieurs travaux ou mémoires, récemment soutenues ont comme objectif de chercher la meilleure solution pour laquelle le concentrateur solaire donne sa puissance maximale. Parmi les solutions proposées, c'est de garder les rayons solaires perpendiculaires au foyer en le pilotant par un dispositif dit « Suiveur automatique ».

Notre travail, présenté dans ce mémoire, dans lequel on a essayé de vaincre les problèmes rencontrés du suiveur solaire bi-axial déjà réalisé par les collègues auparavant sous la direction de notre promoteur, on a abouti à l'amélioration du rendement énergétique du concentrateur parabolique.

Dans la rénovation du prototype, on a changé le module L298N par deux modules relais-Arduino afin de vaincre le couple résistant et les frottements créés par le poids de la parabole et de l'absorbeur.

Du côté de l'absorbeur, on est arrivé à obtenir un taux d'isolation optimal grâce à la brique réfractaire qui a une faible conductivité thermique et une haute capacité à résister à de grande température. D'un autre coté grâce au cuivre qu'on a enroulé sous forme d'escargot on a obtenu une surface assez grande pour chauffer le fluide caloporteur (l'eau).

L'étude que nous avons réalisée sur le prototype du concentrateur parabolique, nous a permis de connaître le fonctionnement de ce système, de prévoir la température que nous pouvons atteindre à l'ouverture du récepteur.

Suite à notre étude expérimentale exécutée dans différentes conditions et avec différents paramètres. Nous avons montré que celle-ci dépend de plusieurs facteurs, dont les plus importants sont l'éclairement direct, la géométrie du réflecteur, les dimensions et les propriétés thermo physiques du récepteur, de la qualité optique de la surface réfléchissante, et de la vitesse du vent.

Nous avons déduit que la température de sortie varie en fonction du Débit, en effet ce dernier a une grande influence, plus le débit est petit plus la température de sortie sera élevée. Elle varie aussi en fonction du rayonnement, une journée de ciel clair avec un bon ensoleillement nous donnera de meilleures températures de sortie si l'installation est bien optimisée. L'absence d'appareillage pour mesurer le rayonnement direct "le pyréliomètre" ne nous a pas permis d'établir théoriquement et avec une grande précision la température au niveau du récepteur.

Les deux essais qu'on a fait sur les différents réflecteurs nous ont montrés que celles avec les miroirs rectangulaires ont un rendement thermique plus important que celles avec le réflecteur en aluminium.

Perspectives :

Comme futurs perspectives on envisage :

- D'améliorer notre instrument on lui ajoutant des systèmes de protection contre le changement brusque du climat et qu'il soit autonome.
- D'implémenter un mode manuel au système de commande ainsi qu'un mode d'accès à distance.

Bibliographie

VI. Listes bibliographiques :

- [1] : Yves JANNOT, Thermique solaire,
<http://www.thermique55.com/principal/thermiquesolaire.pdf>.
- [2]: M.P.Thekackora Solar Energy-14-197.
- [3] : Z. Boudries,'contribution à l'étude et la conception d'une poursuite automatique du soleil destinée au four solaire', Mémoire de magister, université de Béjaia p 4, 1995
- [4] : M. Capderou. Atlas solaire de l'Algérie, O.P.U, Alger. (1985).
- [5] : A. Mefti, M.Y. bouroubi, H. Mimouni, ' Evaluation du potentiel énergétique solaire', Bulletin des Energies Renouvelables, N°2, p 12, décembre. (2002).
- [6] : Institut de l'énergie et de l'environnement de francophonie IEPF, l'énergie solaire thermique à concentration.
- [7] : K. Merzouk, 'Potentiel énergétique éolien', Bulletin des Energies Renouvelables, N°1, p 11, Juin. (2002).
- [8]: European office: Solenergy Europe St. Petersburg, Russia, Universal solar tracker Sunflower St.
- [9] : M. Haddadi, 'Elaboration d'une Commande pour Héliostat', Revue des Energies Renouvelables, Numéro Spécial, pp. 153 – 157, 2003.
- [10] : Document, 'Contrôle des Systèmes DEGERtraker', DEGERenergie GmbH, 72160 Horb/Germany. <http://www.degerenergie.de>
- [11]: S. Chin, J. Gadson and K. Nordstrom, 'Nerd Girls, Maximum Power Point Tracker', Nerd Girls Solar/MPPT Group May 12, 2003.
- [12]: Temps solaire, https://fr.wikipedia.org/wiki/Temp_solaire (le 26/06/2020).
- [13] : DJEDDI Maroua, « ETUDE DU CONCENTRATEUR PARABOLIQUE A MOTEUR STIRLING », Mémoire master en énergétique et environnement, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA, 2016/2017.
- [14] : RAHMANI Djelloul, « Analyse d'un système de concentration solaire pour la production d'hydrogène (cas de l'Algérie), Mémoire magister en énergies renouvelables école doctorale, UNIVERSITE HASSIBA BENBOUALI DE CHLEF, 2011/2012.
- [15]: CONNAISSANCE Des ENERGIES,<https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/solaire-thermodynamique-concentration> (Consulté le 09/08/2020).
- [16]: Y.Shuai, X.L.Xia, H.P.Tan, Radiation performance of dish solar concentrator/cavity receiver systems, Solar Energy 82(2008) 13-21.
- [17] : K. Ogilvie, "L'abc de technologie de l'énergie renouvelable, pollution probe", Canada, septembre 2003.

- [18]: B.Stine, Michael Geyer, "Power from the sun", Lyle centre for regenerative studies 2001.
- [19]: U.H.Kurzweg ,J.P.Benson , 'Iso-Intensity absorber Configurations For parabolic Concentrators ' , Solar energy .Vol.29,No.2,pp167-174,1982
- [20]: U.H.Kurzweg , J.P.Benson , "Iso-Intensity absorber Configurations For parabolic Concentrators", solar energy .Vol.29, No.2, pp167-174, 1982.
- [21]: Dan dye, Byard Wood, "Non-imaging devices for uniform irradiation on Planar Surface For parabolic Concentrators", Semi-Annual Technical Progress Report August 2002-April 2003. Nevada. Report 41164R03.
- [22]: M.Srinivasan, L.V.Kulkarni, "A simple technique of fabrication of parabolic Concentrators"" . Solar energy, volume 22, pp 463-465.Novembre 1978
- [23]: B.Stine ,Michael Geyer, "Power from the sun", Lyle centre for regenerative studies 2001.
- [24]:http://fr.solarpedia.net/wiki/index.php?title=Solaire_thermique_%C3%A0_concentration#cite_note-7
- [25] : ZEGHIB Ilhem « Etude et Réalisation d'un Concentrateur Solaire Parabolique », Mémoire de magister en physique énergétique, UNIVERSITE MENTOURI CONSTANTINE, 2004/2005.
- [26] :Mr. RACHIDIOU Lounis, Mr. HAMROUN Azzddine, « Etude et réalisation d'un concentrateur Parabolique avec une poursuite automatique », Mémoire master recherches-en Électrotechnique, Université Abderrahmane Mira –Bejaia, 2016/2017.
- [27] : BOUGUETAIA Nadia « Contribution à l'étude et à la simulation d'un concentrateur Cylindro-parabolique, Mémoire de Magister en Physique, Université Constantine 1, 2012/2013.
- [28] : GANOUN Djahid, MEZGHICHE Lamia : «Conception et réalisation d'un suiveur solaire à base d'un microcontrôleur », Mémoire de master professionnel, Université : ABDERHMANNE MIRA BEJAIA, 2016/2017.
- [29] : Composant électronique, <https://www.ecomposant.com/fr/metal-12w/2037-20x-resistance-metal-220ohm-12w-05w-1-royal-ohm-173res389-3701177915216.html>. (Consulté le 14/08/2020).
- [30] : Guide d'éclairage, <https://leclairage.fr/led/>. (Consulté le 15/08/2020).
- [31] : gaz tarif règlementé, <https://gaz-tarif-reglemente.fr/>, (Consulté le 14/08/2020).
- [32]: Physique Chimie,<https://physique-chimie-college.fr>, Consulté le 14/08/2020).

Référence Arduino français, <http://www.mon-club>

elec.fr/pmwiki_reference_arduino/pmwiki.php?n=Main.MaterielMega2560(Consulté le 14/08/2020).

[33] : ResearchGate, https://www.researchgate.net/figure/Components-of-an-Arduino-MEGA2560_fig41_313513091(Consulté le 14/08/2020).

[34]: MEDJAOUI Fatima-Zohra, BELABBACI Sarra : « Etude expérimentale et conception d'un concentrateur cylindro-parabolique » Mémoire de master professionnel, Université : Université Aboubakr Belkaïd Tlemcen, 2018.

[35]: club info valsaone, <http://clubinfovalsaone.e-monsite.com/pages/content/composants/bloc-d-alimentation.html>, (Consulté le 14/08/2020).

[36]: Primaire (Cours gratuit, <https://www.cours-gratuit.com> , (Consulté le 14/08/2020).

[37] :(Electronique Schémas, montages & Réalisations, <https://schema-montage-electronique.blogspot.com/2012/02/realisation-d-alimentation-stabilisee.html>, (Consulté le 14/08/2020).

[38] : Arduino passion, <https://pecquery.wixsite.com/arduino-passion/copie-de-le-detecteur-a-ultrasons-h>, (Consulté le 14/08/2020).

[39] : Pont en H L298N, <https://arduino.blaise-pascal.fr/pont-en-h-l298n/>, (Consulté le 13/08/2020).

[40] : LAKHDARIF : « Introduction à la simulation et routage des circuits avec le logiciel PROTEUS V7 et V8 », mini-projet, UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE D'ORAN, 2016/2017.

Annexes

VII. ANNEXES :

A) Programme sous ARDUINO :

```

//-----
// Phase 1: definition de variables
//-----
int capteur_haut=A0;    // Déclaration des entrées analogique du Capteur Haut
int capteur_bas=A1;    // Déclaration des entrées analogique du Capteur Bas
int capteur_droit=A2;  // Déclaration des entrées analogique du Capteur Droit
int capteur_gauche=A3; // Déclaration des entrées analogique du Capteur Gauche
int moteur_gauche=13;  // Déclaration des entrées analogique du Moteur gauche
int moteur_stop=12;   // Déclaration des entrées analogique du Moteur Stop
int moteur_droit=11;  // Déclaration des entrées analogique du Moteur Droit
int verin_haut=10;    // Déclaration des entrées analogique du Verin Haut
int verin_stop=9;    // Déclaration des entrées analogique du Verin Stop
int verin_bas=8;     // Déclaration des entrées analogique du Verin Bas
int LED_H=3;
int LED_B=4;
int LED_G=5;
int LED_D=6;
int LED_Sv=7;
int LED_Sh=2;
void setup() {
  //-----
  // Phase 2: Configuration des pins digitale:
  //-----
  Serial.begin(9600);
  pinMode(13,OUTPUT);
  pinMode(12,OUTPUT);
  pinMode(11,OUTPUT);
  pinMode(10,OUTPUT);
  pinMode(9,OUTPUT);
  pinMode(8,OUTPUT);
  pinMode(2,OUTPUT);
  pinMode(3,OUTPUT);
  pinMode(4,OUTPUT);
  pinMode(5,OUTPUT);
  pinMode(7,OUTPUT);
  pinMode(6,OUTPUT);
  pinMode(A0,INPUT);
  pinMode(A1,INPUT);
  pinMode(A2,INPUT);
  pinMode(A3,INPUT);
  analogReference(INTERNAL1V1);
}

void loop(){
  //-----
  // Phase 3: lecture des capteurs ( en tension 5v):
  //-----

  float VH = analogRead(capteur_haut);
  float VB = analogRead(capteur_bas);

```

```

float VG = analogRead(capteur_gauche);
float VD = analogRead (capteur_droit);
//-----
// calcul de l'erreur
//-----
float E_verticale = VH - VB;
float E_horizontale = VG - VD;

//-----
// Phase 4 : Poursuite point Equilibre
// 1. Orientation Verticale
//-----

if(E_verticale > 0){
digitalWrite(verin_haut, HIGH);digitalWrite(LED_H, HIGH);
digitalWrite(verin_stop, LOW);digitalWrite(LED_Sv, LOW);
digitalWrite(verin_bas, LOW); digitalWrite(LED_B, LOW);}
delay(20);

if(E_verticale < 0){
digitalWrite(verin_haut, LOW);digitalWrite(LED_H, LOW);
digitalWrite(verin_stop, LOW);digitalWrite(LED_Sv, LOW);
digitalWrite(verin_bas, HIGH);digitalWrite(LED_B, HIGH);
} delay(20);
else if(E_verticale == 0) {
digitalWrite(verin_haut, LOW);digitalWrite(LED_H, LOW);
digitalWrite(verin_stop, HIGH); digitalWrite(LED_Sv, HIGH);
digitalWrite(verin_bas, LOW);digitalWrite(LED_B, LOW);}
delay(20);
//-----
// 2. Orientation Horizontale
//-----
if(E_horizontale > 0)
{
digitalWrite(moteur_droit, HIGH);digitalWrite(LED_D, HIGH);
digitalWrite(moteur_stop, LOW);digitalWrite(LED_Sh, LOW);
digitalWrite(moteur_gauche, LOW);digitalWrite(LED_G, LOW);}
delay(20);
if(E_horizontale < 0){
digitalWrite(moteur_droit, LOW);digitalWrite(LED_D, LOW);
digitalWrite(moteur_stop, LOW);digitalWrite(LED_Sh, LOW);
digitalWrite(moteur_gauche, HIGH);digitalWrite(LED_G, HIGH);}
delay(20);
if(E_horizontale == 0){
digitalWrite(moteur_droit, LOW);digitalWrite(LED_D, LOW);
digitalWrite(moteur_stop, HIGH);digitalWrite(LED_Sh, HIGH);
digitalWrite(moteur_gauche, LOW);digitalWrite(LED_G, LOW);}
delay(20);
}

```

B) CHANNEL 5V 10A RELAY MODULE



Description

The relay module is an electrically operated switch that allows you to turn on or off a circuit using voltage and/or current much higher than a microcontroller could handle. There is no connection between the low voltage circuit operated by the microcontroller and the high power circuit. The relay protects each circuit from each other.

Each channel in the module has three connections named NC, COM, and

NO. Depending on the input signal trigger mode, the jumper cap can be placed at high level effective mode which 'closes' the normally open (NO) switch at high level input and at low level effective mode which operates the same but at low level input.

Spécifications :

- On-board EL817 photoelectric coupler with photoelectric isolating anti interference ability strong
- On-board 5V, 10A / 250VAC, 10A / 30VDC relays
- Relay long life can absorb 100000 times in a row
- Module can be directly and MCU I/O link, with the output signal indicator
- Module with diode current protection, short response time
- PCB Size: 45.8mm x 32.4mm

Pin Configuration :



1. VCC: 5V DC
2. COM: 5V DC
3. IN1: high/low output
4. IN2: high/low output
5. GND: ground

C) Propriétés de quelques matériaux utilisés dans notre réalisation:

1. surfaces absorbantes :

Etat de surface de différents matériaux	α	ε	α/ε
Cuivre poli	0,25	0,02	12,5
Film plastique recouvert d'or	0,30	0,03	10
Acier poli	0,63	0,09	7
Aluminium anodisé	0,80	0,14	5,71
Nickel brillant	0,34	0,07	4,86
Aluminium poli	0,10	0,04	2,5
Peinture noire (silicate)	0,97	0,88	1,10
Peinture aluminium	0,26	0,26	1
Acier sablé	0,75	0,80	0,94
Peinture blanche (silicate)	0,14	0,90	0.16

2- L'absorbeur :

Le matériau constituant l'absorbeur peut être soit métallique soit en matière plastique. Dans le cas des métaux on utilise le plus couramment le cuivre, l'acier inoxydable ou bien l'aluminium. Certaines de leurs caractéristiques thermodynamiques sont données dans le tableau ci-dessous.

Métal	Conductivité thermique λ (W/m °C)	Chaleur massique C_p (J/Kg °C)	Masse volumique ρ (Kg/m ³)	Diffusivité ^a $= \lambda / \rho C_p$ (10 ⁻⁶ m ² /s)
Cuivre	384	398	8900	108
Acier inoxydable	14	460	7800	4
Aluminium	204	879	2700	86

3- Isolant :

Les parois du récepteur doivent être isolées afin de minimiser les pertes calorifiques du système. Vers l'avant c'est le plus souvent une lame d'air qui fait office d'isolant. Son épaisseur ne doit pas être trop importante pour limiter les transferts par convection.

Matériaux	Conductivité thermique λ (W/m °C)	Masse volumique ρ (Kg/m ³)	Chaleur massique C_p (J/Kg °C)	Diffusivité $a = \frac{\lambda}{\rho C_p}$ (10 ⁻⁷ m ² /s)
Air (à 20°C)	0,025	1,2	1003	208
Laine de verre	0,036	40	840	10,7
Laine de roche	0,040	40	840	11,9
Mousse de polyuréthane	0,029	30	1600	6,0
Polystyrène expansé	0,040	20	1500	13,3
Laine (vêtement)	0,04	450	1880	0,47
Neige (273 K)	0,046	100	1800	2,6
Feutre d'amiante	0,047	116	800	5,1
Liège expansé	0,048	120	1380	2,9
Perlite	0,048	60	840	9,5
Silicate de calcium	0,052	200	920	2,8
Magnésie	0,055	200	880	3,1
Soie	0,06	510	1250	0,94
Béton cellulaire	0,075	280	800	3,3
Vermiculite	0,09	80	880	12,8
Papier journal comprimé	0,105	130	1340	6,0
Bois de pin	0,118	500	1210	1,95
Papier	0,14	700	1340	1,5
Bois de sapin	0,114	535	272	9,9
Caoutchouc pur	0,153	1200	2170	0,6
PVC	0,166	1380	1000	1,2
Bois de chêne	0,198	825	2400	1,0
Plâtre	0,35	800	800	5,5

ANNEXES

Brique	0,697	1700	900	4,6
Sol naturel	1,5	1650	-	-
Glace (273K)	2,21	917	2135	11,3