

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

FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT PHYSIQUE
Ph/ENR/05/2024



DOMAINE : Sciences de la matière
FILIERE : Physique
OPTION : Physique Énergétique et
Energie renouvelable

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par : Azizi Seid
kamaye Halilou Djamilou

Intitulé

**Conception et Réalisation d'un
Concentrateur Cylindro-Parabolique
Solaire pour l'utilisation Thermique**

Soutenu le 10 / 06 / 2024 devant le jury composé de :

Bouras Abdelkrim	Université M ^{ed} Boudiaf M'sila	Président
Taloub Djedid	Université M ^{ed} Boudiaf M'sila	Rapporteur
Khaled Mahdi	Université M ^{ed} Boudiaf M'sila	Examineur
Haddad Zakaria	Université M ^{ed} Boudiaf M'sila	Examineur
Brik Youssef	Université M ^{ed} Boudiaf M'sila	CATI
Ali saoucha salim	Direction de l'Industrie, M'sila	RPE

Année universitaire : 2023/2024



Remerciement

Avant tout, on remercie le bon DIEU, le tout puissant de nous avoir donné la force nécessaire pour mener à terme ce travail. Ensuite,

Nous voulons exprimer notre reconnaissance à notre cher encadreur **Dr. Djedid TALOUB**, docteur qualifié à l'Université de Msila département de physique, qui a accepté de diriger notre travail, a toujours répondu présent pour tout problème rencontré, pour ses précieux conseils et ses encouragements.



Dédicace

Je dédie ce modeste travail : A Ma chère mère, qui m'a accompagnée dans mon voyage vers le succès, que Dieu ait son âme et l'accueille au paradis, et à mon cher père, que Dieu le protège et lui accorde une longue vie pleine de bienfaits, ainsi qu'à toute ma famille. A mon Binôme Kamaye Kalilou et sa famille. A tous les étudiants Master II physique énergétique et énergie renouvelable A tous ceux qui ont contribué de prêt ou de loin à la réussite de ce travail et ceux qui m'ont soutenue durant tout mon cycle universitaire je leur dis merci.

Aziz Seid



Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mes parents et à toute ma famille,

A mon Binôme Azizi et sa famille

A tous les étudiants Master II physique énergétique et énergie renouvelable

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réussite de ce travail et ceux qui m'ont soutenu durant tout mon cycle universitaire

Je leur dis merci.

Kamaye Kalilou Djamilou

Table des Matières

Remerciement	
Dédicace	
Résumé	
Table des matières	i
Liste des figures	v
Liste des tableaux	ix
Nomenclature	x
Introduction Générale	1
Chapitre 1 Recherches bibliographiques sur les capteurs solaires	3
1.1 Introduction	3
1.2 Types des capteurs solaires thermiques	4
1.2.1 Capteurs plans	4
1.2.2 Capteurs à tubes sous vide	4
1.2.3 Capteurs à concentration	4
1.2.4 Capteurs hybrides photovoltaïques-thermiques (PV/T)	4
1.2.5 Capteurs solaires à air	5
1.2.6 Avantage des concentrateurs solaires	5
1.2.6.1 Efficacité élevée	5
1.2.6.3 Production de chaleur à haute température	5
1.2.6.4 Flexibilité d'application	5
1.2.6.5 Réduction des coûts à long terme	6
1.2.7 Inconvénient des concentrateurs solaires	6
1.2.7.1 Complexité de conception et d'installation	6
1.2.7.2 Coût initial élevé	6
1.2.7.3 Exposition aux intempéries	6
1.2.7.4 Dépendance aux conditions météorologiques	7
1.2.7.5 Impact sur l'environnement	7
1.3 Concentrateur cylindro-parabolique	7
1.3.1 Eléments principaux du capteur	7
1.3.1.1 Réflecteurs cylindro-parabolique	7
1.3.1.2 Récepteur	7
1.3.1.3 Supports et structure	8
1.3.1.4 Système de suivi solaire	8
1.3.1.5 Dispositifs de contrôle et d'automatisation	8
1.3.2 Principe de fonctionnement	8
4.1 Recherches bibliographiques	9
4.1 Conclusion	11
Références	12
Chapitre 2 Système de poursuite et coordonnées célestes	14
2.1 Introduction	14
2.2 Mouvement du Globe terrestre	14
2.3 Sphère céleste	15

2.4 Coordonnées céleste	15
2.4.1 Coordonnées géographique.....	14
2.4.2 Coordonnées horaire.....	16
2.4.3 Coordonnées horizontale.....	17
2.5 Rayonnement solaire.....	18
2.5.1 Rayonnement direct.....	18
2.5.2 Rayonnement diffus.....	19
2.5.3 Rayonnement global.....	19
2.6 Système poursuit solaire.....	19
2.6.1 Définition.....	19
2.6.2 Types de suiveurs solaires.....	20
2.6.3 Technique de poursuite solaire.....	22
2.7 Conclusion.....	24
Reference	25
Chapitre 3 Etude théorique d'un concentrateur cylindro-parabolique.....	26
3.1 Introduction.....	26
3.2 Collecteurs thermiques.....	26
3.2.1 Captation sans concentration : capteurs plans.....	27
3.2.1.1 Capteur tubulaire.....	27
3.2.2 Captation avec concentration : capteurs à concentrations.....	27
3.2.2.1 Système de centrale à tour (héliostat).....	27
3.2.2.2 Concentrateurs paraboliques.....	28
3.2.2.3 Concentrateurs cylindro-paraboliques.....	28
3.2.2.3.1 Propriétés des concentrations.....	29
3.2.2.3.2 Systèmes optique d'une surface cylindrique.....	29
3.3 Performance d'un concentrateur cylindro-parabolique.....	30
3.4 Montage du concentrateur cylindro-parabolique.....	30
3.4.1 Montage nord-sud suivant l'axe du monde.....	32
3.4.2 - Montage est-ouest.....	32
3.5 Application.....	33
3.5.1 Applications à basses et moyennes températures.....	33
3.5.2 Applications à hautes températures.....	33
3.6 Avantage de la concentration du rayonnement solaire.....	33
3.7 Composants d'un concentrateur cylindro-parabolique.....	33
3.7.1 Réflecteur.....	33
3.7.2 Récepteur (Absorbeur).....	34
3.7.3 Support.....	35
3.7.4 Système de poursuite.....	35
3.7.5 Fluide caloporteur	35
3.7.6 Miroir	35
3.8 Concentration.....	36
3.8.1 Concentration géométrique.....	36
3.8.2 Concentration optique (énergétique).....	36
3.8.3 Surface du concentrateur.....	36
3.8.4 Rendement optique.....	37
3.8.5 Importance de la concentration solaire.....	37
3.9 Bilan thermique	38

3.9.1 Bilan thermique du tube	38
3.9.2 Bilan thermique du fluide caloporteur	38
3.9.3 Bilan thermique du tube absorbeur.....	38
3.9.4 Bilan thermique de l'enveloppe en verre	39
3.9.5 Pertes thermiques.....	39
3.9.5.1 Pertes par conduction.....	39
3.9.5.2 Pertes par convection.....	40
3.9.5.3 Pertes par rayonnement.....	40
3.9.6 Puissance utile.....	41
3.9.7 Rendement instantané du concentrateur solaire.....	41
3.10 Conclusion.....	41
Reference	41
Chapitre 4 Réalisation d'un Concentrateur Cylindro-parabolique avec Poursuite.....	44
4.1 Introduction.....	44
4.2 Réalisation du prototype.....	45
4.2.1 Réalisation du réflecteur.....	45
4.2.2 Structure mécanique du concentrateur.....	47
4.2.3 Absorbeur.....	48
4.2.4 Pompe et fluide caloporteur.....	49
4.2.4.1 Choix du fluide caloporteur fluide caloporteur.....	49
4.2.4.2 Spécification de la pompe.....	50
4.3 Instruments de mesures.....	50
4.3.1 Températures.....	50
4.3.2 Mesure de la vitesse du vent.....	51
4.4 Conception du système de poursuite solaire.....	52
4.4.1 Partie commande.....	53
4.4.1.1 Schéma synoptique de la commande.....	53
4.4.1.2 Commande préprogrammé.....	54
4.4.1.3 Commandé par photorésistance LDR	54
4.4.2 Réalisation du système de Poursuit solaire	54
4.4.2.1 Conception de la carte électronique de commande.....	54
4.4.2.2 Réalisation de la carte LDR.....	56
4.4.3 Réalisation de la carte de puissance.....	57
4.4.4 Programmation du microcontrôleur.....	57
4.5 Montage et expériences des mesures.....	60
4.5.1 Conditions expérimentales.....	60
4.5.2 Installation du concentrateur.....	60
4.5 Conclusion.....	61
Chapitre 5 Résultats et discussion.....	62
5.1 Introduction	62
5.2 Evolution de l'éclairement solaire globale.....	62
5.3 Evolution des températures.....	64
5.4 Evolution de la puissance utile.....	65
5.5 Evolution du rendement.....	65
5.6 Prix de revient du cuiseur.....	66

5.7 Conclusion.....	66
Conclusion générale.....	67

Résumé

Le travail effectué consiste en une étude expérimentale visant à convertir l'énergie solaire en énergie thermique à l'aide d'un concentrateur solaire parabolique orienté grâce à un système de suivi solaire. L'expérience a été réalisée avec un prototype de concentrateur et un récepteur en cuivre, ce dernier étant positionné au plan focal de la parabole pour recueillir l'énergie solaire concentrée. Après une étude théorique du sujet, nous avons établi un dimensionnement de la courbe parabolique suivie d'une simulation de son fonctionnement. Nous avons ensuite, après réalisation, procédé au montage des différents éléments du système notamment le concentrateur cylindro-parabolique avec sa structure porteuse et le circuit fermé du fluide caloporteur, ainsi que le dispositif mécanique de poursuite solaire avec ses cartes électroniques programmées. L'étude expérimentale fait intervenir un certain nombre de paramètres d'influence tel que la concentration géométrique et l'échange de chaleur entre l'ouverture de la parabole et l'ouverture du récepteur, cela permet d'évaluer la température au niveau du récepteur.

Ce modèle de concentration conduit à des niveaux de températures compris entre 84 °C et 100 °C.

Mots clés : Concentrateur parabolique, Rayonnement solaire, Réflecteur, Récepteur, Poursuite solaire, point focal.

Abstract

The work carried out consists of an experimental study aimed at converting solar energy into thermal energy using a parabolic solar concentrator oriented by a solar tracking system. The experiment was carried out using a prototype concentrator and a copper receiver, the latter positioned at the focal plane of the parabola to collect the concentrated solar energy. After a theoretical study of the subject, we established the dimensions of the parabolic curve, followed by a simulation of its operation. We then proceeded to assemble the various components of the system, in particular the parabolic trough concentrator with its supporting structure and the closed circuit for the heat transfer fluid, as well as the mechanical solar tracking device with its programmed electronic cards. The experimental study involves a number of influencing parameters, such as geometric concentration and heat exchange between the parabolic dish opening and the receiver opening, enabling the temperature at the receiver to be evaluated.

This concentration model leads to temperature levels of between 84°C and 100 °C.

Keywords: Parabolic concentrator, Solar radiation, Reflector, Receiver, Solar tracking, Focal point.

المخلص

يتألف العمل الذي تم تنفيذه من دراسة تجريبية تهدف إلى تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية باستخدام مكثف شمسي مكافئ موجه بواسطة نظام تتبع شمسي. أجريت التجربة باستخدام نموذج أولي للمركز وجهاز استقبال نحاسي، حيث تم وضع الأخير عند المستوى البؤري للقطع المكافئ لتجميع الطاقة الشمسية المركزة. بعد دراسة نظرية للموضوع، حددنا أبعاد منحنى القطع المكافئ، ثم أجرينا محاكاة لتشغيله. ثم شرعنا بعد ذلك في تجميع المكونات المختلفة للنظام، لا سيما مكثف القطع المكافئ مع هيكله الداعم والدائرة المغلقة لسائل نقل الحرارة، بالإضافة إلى جهاز التتبع الشمسي الميكانيكي مع بطاقاته الإلكترونية المبرمجة. تتضمن الدراسة التجريبية عددًا من البارامترات المؤثرة، مثل التركيز الهندسي والتبادل الحراري بين فتحة طبق القطع المكافئ وفتحة جهاز الاستقبال، مما يتيح تقييم درجة الحرارة عند جهاز الاستقبال. يؤدي نموذج التركيز هذا إلى مستويات درجة حرارة تتراوح بين 84 و100 درجة مئوية.

الكلمات المفتاحية: مُرَكِّز مكافئ، إشعاع شمسي، عاكس، جهاز استقبال، تتبع الطاقة الشمسية، نقطة بؤرية.



Liste des figures

Figure 1.1. Schéma de principe d'un concentrateur cylindro-parabolique.....	4
Figure 2.1. Variation saisonnière du rayonnement solaire.....	15
Figure 2.2. Sphère céleste.....	15
Figure 2.3. Coordonnées terrestre.....	16
Figure 2.4. Coordonnées horaires.....	17
Figure 2.5. Coordonnées horizontales.....	18
Figure 2.6. Types de rayonnement solaire.....	19
Figure 2.7. Suiveur à un seul axe (axe horizontale et axe verticale.....	20
Figure 2.8. Types de suiveur solaire.....	21
Figure 2.9. Suiveur solaire passive le schéma structurel.....	22
Figure 2.10. Systèmes auxiliaires de cellules solaires bifaciales.....	23
Figure 2.11. Principe d'équilibre Ombre (a) le soleil pointant capteurs (b) inclinée montage de capteurs photoélectriques (c) pointage solaire précis au moyen d'un collimateur.....	24
Figure 3.1. Capteur plan.....	27
Figure 3.2. Système de centrale à tour.....	28
Figure 3.3. Concentrateur parabolique.....	29
Figure 3.4. Concentrateur cylindro-parabolique.....	29
Figure 3.5. Système optique d'une surface parabolique.....	30
Figure 3.6. Montage du concentrateur cylindro-parabolique.....	31
Figure 3.7. Montage nord sud.....	32
Figure 3.8. Montage d'un capteur cylindro- parabolique.....	32
Figure 3.9. Révolution parabolique.....	33
Figure 3.10. Catégories des récepteurs.....	34
Figure 3.11. Récepteurs.....	35
Figure 3.12. Concentration géométrique à différentes valeurs du diamètre du récepteur.....	36
Figure 3.13. Élément différentiel de surface parabolique.....	37
Figure 4.1. Schéma synoptique de réalisation du prototype.....	44
Figure 4.2. Forme géométrique des supports.....	46
Figure 4.3. Forme finale du réflecteur.....	47
Figure 4.4. Position réflecteur avec absorbeur.....	48
Figure 4.5. Thermocouple type.....	51

Figure 4.6. Capteurs de température à infrarouge.....	51
Figure 4.7. Station météorologique de type Davis.....	52
Figure 4.8. Éléments du dispositif de poursuite solaire.....	52
Figure 4.9. Schéma bloc du système de poursuite.....	53
Figure 4.10. Circuit de poursuite.....	55
Figure 4.11. Photorésistance et résistance complète.....	56
Figure 4.12. Obstacle entre LDR.....	57
Figure 4.13. Organigramme en fonction programme préprogramme.....	58
Figure 4.14. Organigramme du programme de poursuite en fonction de LDR.....	59
Figure. 5.1 Variation de l'irradiation et la température ambiante mesurée le 22/05/2024.....	63
Figure. 5.2 Variation de l'irradiation et la température ambiante mesurée le 26/05/2024.....	63
Figure 5. 3. Variations de température d'entrée au cours des deux journées.....	65
Figure 5. 4. Variations de température de sortie au cours des deux journées.....	65
Figure 5. 5. Évolution de la puissance utile pendant les deux journées.....	66
Figure 5. 6. Évolution du rendement pendant les deux journées.....	66

Liste des tableaux

Tableau 4.1. Caractéristiques géométriques du récepteur.....	45
Tableau 4.2. Propriétés physiques des supports du réflecteur.....	46
Tableau 4.3. Propriétés physiques du réflecteur.....	46
Tableau 4.4. Propriétés physiques de la structure métallique.....	47
Tableau 4.5. Spécification de l'absorbeur.....	48
Tableau 4.6. Caractéristiques de l'eau.....	49
Tableau 4.7. Propriétés de la pompe de circulation.....	50
Tableau 4.8. Mesure pratique de la photorésistance.....	56
Tableau 5-1 Liste du matériel.....	66



Nomenclature

Δ : Hauteur angulaire du soleil	[degré]
t_s : Temps solaire [S]	
H_O : Rayonnement extraterrestre	[W/ m ²]
N : Nombre du jour	
G : Constante solaire	[W/m ²]
K_t : Coefficient de transmission	
H : Rayonnement moyen, mensuel mesuré sur une surface horizontale	[W/m ²]
H_O : Rayonnement moyen, mensuel hors de l'atmosphère	[W/m ²]
H_d : Rayonnement moyen, mensuel diffusé sur une surface horizontale	[W/m ²]
r_t : Rapport entre les valeurs horaires et journalières de l'irradiations globale.	
r_d : Rapport entre les valeurs horaires et journalières de l'irradiation diffuse.	
H : Rayonnement global instantané sur une surface horizontale	[W/m ²]
H_d : Rayonnement diffus instantané sur une surface horizontale	[W/m ²]
H_b : Rayonnement direct instantané sur une surface horizontale	[W/m ²]
H_t : Rayonnement global instantané sur une surface inclinée	[W/m ²]
b : Inclinaison du concentrateur solaire [degré]	
R_b : Rapport du rayonnement direct journalier sur surface inclinée à celui sur surface horizontale .	
H_{di} : Flux diffus sur une surface inclinée	[W/m ²]
H_{bi} : Flux direct sur une surface orthogonale aux rayons du soleil	[W/m ²]
H_g : Flux sur une surface inclinée provenant de la réflexion sur le sol	[W/m ²]
f : Distance focale	[m]
p : Rayon parabolique	[m]
y : Angle mesure a partir de la ligne (VF) et le rayon parabolique (P)	[degré]
y_p : Angle d'ouverture de la parabole	[degré]
h : Taille de parabole	[m]
A_x : Surface parabole	[m ²]
S : Longueur de parabole	[m]
A_s : Surface du paraboloïde	[m ²]

Aa : Surface d'ouverture du paraboloïde	[m ²]
r_f : Diamètre de l'image circulaire	[m]
C_g : Concentration géométrique	
Co : Concentration optique.	
qs : Diamètre apparent de disque solaire	[rad]
d_2 : Diamètre d'ouverture du récepteur	[m]
L : Distance axiale arrière du point focal	[m]
q_z : Angle de zénith	[degré]
q : Angle d'incidence	[degré]
g_s : Angle d'azimut	[degré]
g : Angle extérieur d'azimut	[degré]
g : Angle extérieur de la surface orientée	[degré]
b : Inclinaison de la surface orientée	[degré]
Q_u : Puissance utile	[W]
Q_a : Puissance solaire absorbée par l'absorbeur	[W]
Q_p : Puissance correspondant aux pertes thermiques	[W]
I_b : Puissance reçue à l'ouverture de paraboloïde	[W/m ²]
I_a : Energie reçue a l'ouverture de paraboloïde	[W]
Q_{cvp} : Pertes par convection	[W]
Q_{rp} : Pertes par rayonnement	[W]
Q_{cdp} : Pertes par conduction	[W]
T_r : Température de la surface du récepteur	[K]
T_a : Température ambiante	[K]
T_{sk} : Température du ciel	[K]
h : Coefficient de transfert par rayonnement	[W/m ²]
r_{cvh} : Coefficient de transfert par convection	
K_{vr} : Coefficient global des pertes	
t : Temps w	
M : Masse de l'eau	
M_r : Masse du récepteur	
C_w : Chaleur massique de l'eau	
C_r : Chaleur massique du récepteur	
K_w : Conductivité thermique de l'eau	
r_w : Masse volumique de l'eau	

h_{op} : Rendement optique du concentrateur.

h : Rendement du concentrateur

Lettres grecques

d : Déclinaison solaire

[degré]

l : Longitude

[degré]

f : Latitude

[degré]

c : Altitude

[degré]

w_s : Angle horaire de couché du soleil

[degré]

w : Angle horaire

[degré]

s : Constante de Stefan –Boltzmann

[W/m² .K⁴]

r_s : Coefficient de réflexion diffus du sol

r : Coefficient de réflexion de la parabole

t : Coefficient de transmission du récepteur

a : Coefficient d'absorption du récepteur

e : Coefficient émissivité du récepteur

Nombres adimensionnels

Re : Nombre de Reynolds.

Pr : Nombre de Prandtl.

Nu : Nombre de Nusselt.

Introduction générale

Les centrales solaires sont en effet l'une des technologies les plus prometteuses dans le domaine de l'énergie renouvelable. Elles convertissent directement la lumière du soleil en électricité, ce qui en fait une source d'énergie propre et durable. Leur développement a été favorisé par les progrès technologiques dans les domaines des panneaux solaires, du stockage d'énergie et des systèmes de distribution. Avec un potentiel de développement encore énorme, les centrales solaires joueront très probablement un rôle crucial dans la transition vers un avenir énergétique plus durable et respectueux de l'environnement.

La concentration du rayonnement solaire est un élément crucial dans les systèmes de production d'électricité solaire thermique à concentration (CSP). Ces systèmes utilisent des miroirs ou des lentilles pour concentrer la lumière du soleil sur un récepteur, où elle est convertie en chaleur. Cette chaleur est ensuite utilisée pour produire de la vapeur d'eau, qui alimente une turbine connectée à un générateur pour produire de l'électricité.

La concentration du rayonnement solaire permet d'augmenter la température du fluide caloporteur, généralement un liquide comme l'huile synthétique ou de l'eau, à des niveaux élevés, souvent supérieurs à 400 degrés Celsius. Cette chaleur élevée est nécessaire pour obtenir des rendements élevés dans le processus de conversion de l'énergie solaire en électricité.

Le facteur de concentration est un paramètre important qui mesure l'intensité de la concentration du rayonnement solaire. Il est défini comme le rapport entre l'intensité de la

lumière solaire concentrée sur le récepteur et l'intensité de la lumière solaire incidente sur la surface des miroirs ou des lentilles. Plus le facteur de concentration est élevé, plus la température atteinte sur le récepteur est élevée, ce qui augmente l'efficacité globale du système de production d'électricité solaire thermique à concentration.

Les avancées technologiques dans la conception des miroirs, des systèmes de suivi solaire et des matériaux utilisés dans les récepteurs ont permis d'améliorer considérablement les facteurs de concentration et les rendements des installations CSP, contribuant ainsi à en faire une source d'énergie solaire de plus en plus compétitive sur le marché de l'énergie.

Pour y parvenir, nous avons suivi les étapes de conception présentées dans ce mémoire. Notre approche repose sur une méthodologie éprouvée qui guide le processus de développement de notre système de conversion d'énergie solaire thermodynamique basé sur un concentrateur cylindro-parabolique. Dans les chapitres suivants, nous détaillerons les différentes phases de ce processus, en mettant l'accent sur le dimensionnement, la spécification et la réalisation de chaque composant du système."

Après une introduction générale, nous avons effectué une recherche bibliographique approfondie sur les capteurs solaires, en mettant l'accent sur les types de capteurs adaptés à notre projet, leurs principes de fonctionnement, leurs avantages et leurs limitations. Dans le second chapitre nous allons débiter la mise en œuvre de notre système en commençant le dimensionnement et la spécification de chaque élément. Le troisième chapitre présente une analyse approfondie du fonctionnement théorique d'un concentrateur cylindro-parabolique, en expliquant sa géométrie, son principe de concentration de la lumière solaire et son mode de fonctionnement. Le quatrième chapitre décrit en détail le processus de fabrication et d'assemblage du prototype, en expliquant les techniques spécifiques utilisées pour chaque composant. Enfin, le dernier chapitre présente les résultats de nos travaux, y compris les performances du système par rapport aux objectifs fixés.

Le mémoire se termine par une conclusion qui situe la valeur du travail effectué et l'impact du produit développé, et présente les projections et les perspectives futures de notre travail.

Chapitre

1

Recherches bibliographiques sur les capteurs solaires

1.1 Introduction

L'énergie solaire est en effet devenue un sujet central dans la transition énergétique, en grande partie en raison de ses avantages en termes de durabilité et de disponibilité. Le passage des énergies conventionnelles aux énergies renouvelables est crucial pour répondre à la demande croissante en énergie tout en réduisant les émissions de gaz à effet de serre.

Parmi les différentes technologies solaires, les concentrateurs solaires cylindro-paraboliques se distinguent par leur efficacité élevée. Leur conception permet de concentrer la lumière solaire sur une ligne focale, où un tube absorbeur transforme ensuite cette énergie concentrée en chaleur. Cette chaleur peut ensuite être utilisée pour différentes applications, telles que la production d'électricité ou le chauffage de l'eau.

Comparé aux capteurs solaires plans, les concentrateurs solaires cylindro-paraboliques offrent plusieurs avantages, notamment une plus grande efficacité énergétique et une utilisation plus polyvalente. Cependant, leur mise en œuvre peut nécessiter des investissements initiaux plus importants en raison de leur complexité de construction [1].

Dans l'ensemble, les technologies solaires, y compris les concentrateurs solaires, jouent un rôle crucial dans la transition vers un avenir énergétique plus durable et moins dépendant des combustibles fossiles.

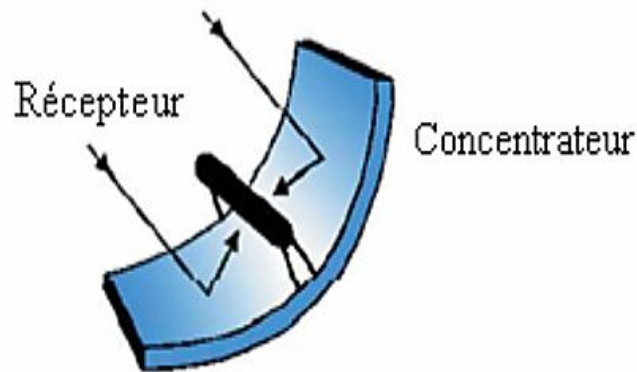


Figure 1.1. Schéma de principe d'un concentrateur cylindro-parabolique

1.2 Types des capteurs solaires thermiques

1.2.1 Capteurs plans

Ce sont les capteurs solaires thermiques les plus courants. Ils se composent d'un panneau plat recouvert d'un matériau absorbant la chaleur (généralement un absorbeur métallique ou un revêtement absorbant solaire) et d'une vitre transparente pour laisser entrer la lumière solaire tout en limitant les pertes de chaleur. Lorsque la lumière solaire frappe l'absorbeur, elle est convertie en chaleur, qui est ensuite transférée à un fluide caloporteur (comme de l'eau ou un mélange eau-glycol) circulant à travers le capteur [2].

1.2.2 Capteurs à tubes sous vide

Ces capteurs utilisent des tubes en verre sous vide contenant un absorbeur métallique pour capturer la lumière solaire et convertir la chaleur. Comme le vide limite les pertes de chaleur par convection et conduction, ces capteurs sont souvent plus efficaces que les capteurs plans, en particulier dans des conditions de température ambiantes plus basses [3].

1.2.3 Capteurs à concentration

Contrairement aux capteurs plans qui absorbent la lumière solaire sur une grande surface, les capteurs à concentration utilisent des miroirs ou des lentilles pour concentrer la lumière solaire sur un petit absorbeur. Cela permet d'atteindre des températures beaucoup plus élevées, mais nécessite un suivi précis du mouvement solaire et peut être plus coûteux à mettre en œuvre [4].

1.2.4 Capteurs hybrides photovoltaïques-thermiques (PV/T)

Ces capteurs combinent des éléments de capteurs solaires photovoltaïques (PV) et thermiques pour produire à la fois de l'électricité et de la chaleur. Les cellules photovoltaïques

absorbent une partie de la lumière solaire pour produire de l'électricité, tandis que le reste de la lumière est converti en chaleur par un absorbeur thermique intégré.

1.2.5 Capteurs solaires à air

Plutôt que de chauffer un fluide caloporteur liquide, les capteurs solaires à air utilisent l'air comme milieu de transfert de chaleur. La lumière solaire est captée par un absorbeur, chauffant l'air qui circule à travers le capteur. Ces capteurs sont souvent utilisés pour le chauffage direct de l'air dans des systèmes de ventilation solaire.

1.2.6 Avantage des concentrateurs solaires

1.2.6.1 Efficacité élevée

Les concentrateurs solaires sont capables de concentrer la lumière solaire sur de petites surfaces, ce qui permet d'atteindre des températures beaucoup plus élevées que les systèmes solaires traditionnels. Cette concentration de la lumière solaire permet d'obtenir des rendements élevés en termes de production d'électricité ou de chaleur.

1.2.6.2 Utilisation optimale de l'espace

En concentrant la lumière solaire, les concentrateurs solaires peuvent produire davantage d'énergie sur une surface donnée par rapport aux systèmes solaires plats. Cela permet une utilisation plus efficace de l'espace disponible, ce qui est particulièrement avantageux dans les installations où l'espace est limité.

1.2.6.3 Production de chaleur à haute température

Les concentrateurs solaires peuvent atteindre des températures très élevées, souvent supérieures à 1000°C, ce qui les rend adaptés à la production de chaleur à haute température pour des applications industrielles telles que la production d'électricité, la fabrication de produits chimiques et la fusion de métaux [5,6].

1.2.6.4 Flexibilité d'application

Les concentrateurs solaires peuvent être utilisés pour produire de l'électricité à l'aide de moteurs Stirling, de turbines à vapeur, de moteurs à cycle organique de Rankine (ORC), ou pour fournir de la chaleur pour des processus industriels ou le chauffage domestique et commercial. Leur polyvalence en fait une option attrayante pour une gamme diversifiée d'applications.

1.2.6.5 Réduction des coûts à long terme

Bien que les coûts initiaux d'installation des concentrateurs solaires puissent être plus élevés que ceux des systèmes solaires traditionnels, leur efficacité élevée et leur capacité à produire de la chaleur à haute température peuvent entraîner des économies significatives sur le long terme, en réduisant les coûts de combustible et les émissions de carbone.

En résumé, les concentrateurs solaires offrent une solution efficace et polyvalente pour la production d'énergie solaire, avec des avantages tels qu'une efficacité élevée, une utilisation optimale de l'espace, la production de chaleur à haute température et des économies à long terme.

1.2.7 Inconvénient des concentrateurs solaires

Bien que les concentrateurs solaires présentent de nombreux avantages, ils sont également associés à certains inconvénients qu'il convient de prendre en compte lors de leur conception et de leur déploiement. Voici quelques-uns des principaux inconvénients des concentrateurs solaires [5] :

1.2.7.1 Complexité de conception et d'installation

Les systèmes de concentration solaire sont souvent plus complexes à concevoir, installer et entretenir que les systèmes solaires plats. Ils nécessitent des composants optiques précis, tels que des miroirs ou des lentilles, ainsi que des mécanismes de suivi solaire sophistiqués pour maximiser l'efficacité.

1.2.7.2 Coût initial élevé

En raison de leur conception complexe et de la nécessité de matériaux de haute qualité, les concentrateurs solaires peuvent avoir des coûts initiaux d'installation plus élevés que les systèmes solaires plats. Bien que les coûts aient diminué ces dernières années, ils restent souvent prohibitifs pour de nombreux projets.

1.2.7.3 Exposition aux intempéries

Les concentrateurs solaires sont exposés aux éléments extérieurs tels que le vent, la pluie, la poussière et le sable, ce qui peut affecter leur performance et nécessiter un entretien régulier pour assurer un fonctionnement optimal. De plus, les conditions météorologiques défavorables peuvent entraîner des dommages aux composants optiques.

1.2.7.4 Dépendance aux conditions météorologiques

Comme tous les systèmes solaires, les concentrateurs solaires dépendent de la disponibilité de la lumière du soleil pour fonctionner efficacement. Les périodes nuageuses, les changements saisonniers dans l'ensoleillement et les heures du jour limitées peuvent réduire la production d'énergie, ce qui peut être un inconvénient dans certaines régions.

1.2.7.5 Impact sur l'environnement

Bien que les concentrateurs solaires réduisent les émissions de gaz à effet de serre en remplaçant les combustibles fossiles, leur fabrication et leur installation peuvent avoir un impact sur l'environnement, notamment en termes d'utilisation de matériaux, de consommation d'énergie et de production de déchets.

En résumé, bien que les concentrateurs solaires offrent de nombreux avantages en termes d'efficacité énergétique et de durabilité, ils présentent également des inconvénients tels que des coûts initiaux élevés, une complexité de conception, une exposition aux intempéries et une dépendance aux conditions météorologiques. Une évaluation soignée des avantages et des inconvénients est nécessaire pour déterminer la viabilité d'un projet de concentration solaire dans un contexte donné.

1.3 Concentrateur cylindro-parabolique

Le concentrateur cylindro-parabolique (CCP) est un type de concentrateur solaire qui utilise des réflecteurs cylindriques en forme de parabole pour concentrer la lumière solaire sur un récepteur situé le long de la ligne focale du réflecteur [7].

1.3.1 Eléments principaux du capteur

1.3.1.1 Réflecteurs cylindro-paraboliques

Ces composants constituent la surface réfléchissante du concentrateur cylindro-parabolique. Ils sont généralement conçus sous forme de rangées de miroirs cylindriques en forme de parabole qui captent et réfléchissent la lumière solaire sur un point focal.

1.3.1.2 Récepteur

Le récepteur est situé le long de la ligne focale des réflecteurs cylindro-paraboliques. Il peut s'agir d'un tube métallique ou en verre, souvent rempli d'un fluide caloporteur tel que de l'huile thermique ou de l'eau, qui absorbe la chaleur concentrée par les réflecteurs [7].

1.3.1.3 Supports et structure

Pour maintenir les réflecteurs et le récepteur en place, un système de supports et de structure robuste est nécessaire. Cela peut inclure des cadres en acier ou en aluminium, des poteaux de support et d'autres composants structurels pour assurer la stabilité et la durabilité du concentrateur cylindro-parabolique.

1.3.1.4 Système de suivi solaire

Pour maximiser l'efficacité du concentrateur cylindro-parabolique, un système de suivi solaire est souvent intégré pour orienter les réflecteurs afin qu'ils suivent le mouvement apparent du soleil tout au long de la journée. Cela garantit que la lumière solaire est constamment concentrée sur le récepteur.

1.3.1.5 Dispositifs de contrôle et d'automatisation

Pour contrôler le fonctionnement du concentrateur cylindro-parabolique et optimiser sa performance, des dispositifs de contrôle et d'automatisation peuvent être utilisés. Cela peut inclure des capteurs solaires pour détecter la position du soleil, des actionneurs pour ajuster les réflecteurs, et des systèmes de contrôle pour surveiller et réguler le fonctionnement du concentrateur cylindro-parabolique.

1.3.2 Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement d'un capteur cylindro-parabolique (CCP) repose sur la concentration de la lumière solaire sur un récepteur central pour générer de la chaleur. Voici les étapes principales du fonctionnement d'un concentrateur cylindro-parabolique :

✓ Capture de la lumière solaire

Les réflecteurs cylindro-paraboliques du concentrateur cylindro-parabolique sont conçus pour capturer la lumière solaire sur une grande surface et la concentrer sur un point focal. Ces réflecteurs sont disposés de manière à suivre le mouvement apparent du soleil tout au long de la journée.

✓ Concentration de la lumière

La forme parabolique des réflecteurs permet de concentrer la lumière solaire sur un petit point focal, où se trouve le récepteur. Cette concentration de la lumière augmente considérablement son intensité, ce qui permet d'atteindre des températures élevées sur le récepteur.

✓ Absorption de la lumière par le récepteur

Le récepteur, généralement un tube métallique ou en verre rempli d'un fluide caloporteur, est positionné le long de la ligne focale des réflecteurs. Lorsque la lumière solaire concentrée atteint le récepteur, elle est absorbée, chauffant ainsi le fluide caloporteur à l'intérieur du tube.

✓ Transfert de chaleur

Le fluide caloporteur chauffé circule à travers le récepteur et transporte la chaleur vers un système de stockage ou un processus de production d'électricité. Dans le cas d'une production d'électricité, le fluide caloporteur peut être utilisé pour produire de la vapeur qui actionne une turbine connectée à un générateur électrique.

✓ Refroidissement et recyclage du fluide caloporteur

Après avoir transféré la chaleur, le fluide caloporteur refroidi retourne au récepteur pour être à nouveau chauffé par la lumière solaire concentrée. Ce processus se répète continuellement tant que le soleil brille et que le CCP est opérationnel.

1.4 Recherches bibliographiques

Wu et al. [8] ont développé un modèle optique tridimensionnel de conversion de la chaleur et de transfert de PTR. Ce modèle utilise un code MCRT avec un logiciel CFD FLUENT, dont ils ont obtenu avec succès la distribution détaillée de la température du PTR. Les résultats ont montré que la différence de température dans le tube métallique évolue inversement avec la vitesse de HTF. En outre, les résultats de la simulation montrent que la température de stagnation du récepteur CCP augmente de façon linéaire avec le temps et peut atteindre 700 K en environ 130 s. Lu et al. [9] ont étudié les caractéristiques de transfert de chaleur non uniforme. Ils ont fait des calculs avec deux modèles, un uniforme et l'autre non uniforme les résultats obtenus sont comparés avec des résultats expérimentaux. Ils obtiennent que le modèle non uniforme soit plus proche aux données expérimentales mais sous des conditions de soleil. Malika et al. [10] ont mesuré les radiations solaires à plusieurs régions en Algérie à des différences inclinaisons et comparer le potentiel solaire entre eux pour choisir le système le plus efficace pour le capteur de gouttière parabolique. Ensuite, ils ont fait un modèle numérique pour prédire les performances thermiques de collecteur sous les conditions algériennes. Les résultats montrent que l'augmentation du HTF et de la température de l'absorbeur génère une augmentation de la perte de chaleur ainsi une diminution du gain de chaleur. Hachicha et al. [11] ont investigué un modèle numérique détaillé de transfert de chaleur basé sur la méthode de volume finie avec un module optique. L'effet du rayonnement solaire incident non uniforme sur le tube absorbeur et l'enveloppe de

verre a été examiné. Les résultats obtenus de la simulation numérique sont en accords avec celle des expériences, bien que certaines différences soient observées à des températures plus élevées. Ils ont montré que le modèle actuel est capable d'estimer assez bien les pertes de chaleur et la température dans le HCE. Kalogirou [12] a présenté une étude thermique d'un CCP dans laquelle il a pris en compte tous les modes de transfert de chaleur pour établir un modèle thermique détaillé. La validation du modèle a été effectuée et testée par SNL, et ses performances sont très satisfaisantes. Liu et al [13] ont effectué des simulations numériques pour évaluer la faisabilité et l'efficacité de la méthode LSSVM, où les données d'échantillonnage ont été dérivées de l'expérience et des résultats de simulation de deux systèmes de capteurs solaires avec des champs solaires de 30 et 600 m². Les résultats indiquent que la méthode LSSVM a réussi à modéliser le système de capteurs solaires et qu'elle peut potentiellement être développée pour modéliser et optimiser l'ensemble du système solaire thermique. Cheng et al [14] ont travaillé sur un modèle 3D plus détaillé basé sur la simulation numérique correspondante d'un CCP en combinant les méthodes MVF et MCRT. Ce modèle simule et analyse le processus de conversion photo thermique involutive totale d'un CCP. Les résultats numériques ont été comparés aux données expérimentales et un bon accord a été obtenu. He et al [15] ont modélisé une simulation couplée basée sur la méthode MCRT et la méthode des volumes finis sur différents paramètres CCP pour comprendre l'influence des paramètres sur l'efficacité thermique du CCP. Padilla et al [16] ont effectué une analyse numérique 1-D du transfert de chaleur d'un collecteur parabolique. Dans ces analyses, ils ont utilisé des bilans de masse et d'énergie. Les résultats obtenus ont montré une bonne concordance avec les données expérimentales (Laboratoire National de Sandie) et avec d'autres modèles de transfert de chaleur. Dans le cas du tube nu (absence de l'enveloppe de verre), il a été constaté qu'une réduction de 41,8% de la perte de chaleur convective a conduit à une amélioration de la performance du modèle de transfert de chaleur. Sur la base des résultats obtenus, il est conclu que ce modèle est approprié pour calculer la perte de chaleur et l'efficacité du collecteur dans différentes conditions d'écoulement. Gong et al. [17] ont établi et optimisé un modèle 1-D pour étudier les facteurs influençant la perte de chaleur du récepteur dans différentes conditions de vide afin d'évaluer la performance thermique globale du récepteur. En outre, un modèle 3D supplémentaire de transfert de chaleur par CFD est réalisé pour analyser la distribution de la température et le transfert de chaleur à l'extrémité complexe du récepteur. Les résultats indiquent que l'émissivité et les conditions de vide ont un impact significatif sur la perte de chaleur du récepteur, tandis que les influences des conditions environnementales sont négligeables. D'autre part, en 3D, les résultats indiquent que le support et le soufflet en l'absence de vide entraînent une perte de

chaleur par conduction élevée, responsable de l'écart initial important. Cheng et al [18] ont défini une simulation numérique combinant la méthode MCRT et le logiciel Fluent pour calculer la distribution du flux d'énergie solaire sur la paroi extérieure d'un tube absorbeur CCP. Trois modèles (un modèle sans paroi, un modèle sans rayonnement et un modèle non réduit) ont été simulés pour donner une explication plus détaillée du mécanisme de transfert de chaleur couplé dans le tube récepteur en étudiant les effets du rayonnement normal direct, du nombre de Reynolds et de l'émissivité de la paroi interne du tube sur les caractéristiques de transfert de chaleur. Leurs résultats ont montré que les pertes par rayonnement dans le modèle III atteignent $153,70 \text{ W/m}^2$. Par conséquent, afin d'améliorer l'efficacité du collecteur, les pertes par rayonnement doivent être minimisées autant que possible. Fernandez-Garcia et al [19] ont donné un aperçu des applications PCC inventées au cours du siècle dernier. Ils ont montré que les applications PCC peuvent être divisées en deux groupes principaux, celles à haute température entre $300\text{-}400^\circ\text{C}$ et celles à basse température entre $100\text{-}250^\circ\text{C}$. Odeh et al [20] ont étudié l'efficacité d'un collecteur à charbon en utilisant une nouvelle équation développée pour calculer la température de la paroi du collecteur. Les paramètres d'efficacité du collecteur ont été validés à l'aide des données d'essai de Sandy pour le collecteur LS. Ils ont conclu que l'efficacité est liée au diamètre du tube absorbeur et à la température de saturation. Razel et al [21] ont effectué un travail analytique et expérimental pour analyser la perte d'énergie thermique par conduction et convection naturelle. Ils ont utilisé différents gaz dans l'espace annulaire. Les résultats obtenus ont montré que la réduction des pertes variait entre 10% et 50%. En outre, ils ont étudié l'effet de la non-uniformité des gaz dans l'espace annulaire. Ils ont étudié l'effet d'une distribution de température non uniforme et de cylindres excentriques. Les résultats ont montré qu'une distribution non uniforme de la température est nécessaire pour affecter de manière significative le processus de convection naturelle.

1.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons clarifié certains points généraux concernant les différents types de collecteurs solaires thermiques et présenté certains avantages et inconvénients de ces concentrateurs. Dans le cas du concentrateur cylindrique segmentaire, nous avons discuté de tous les éléments structurels et expliqué le principe de son fonctionnement, puis nous avons cité quelques travaux scientifiques pertinents pour notre étude.

Références

- [1] L. Lacas, "Le guide des énergies douces", Dargaud Editeur. (1980).
- [2] <http://fr.solarpedia.net/wiki/index>.
- [3] Ch. Boutghan, "Amélioration des performances d'un collecteur solaire" 'Mémoire de Master, Energies Renouvelables, 2012.
- [4] J. Miguel Navarro, "Cellules photovoltaïques organiques transparentes dans le visible", Thèse de Doctorat, Université de Toulouse, 2008.
- [5] J.A. Duffie and W.A Beckman, "Solar Energy thermal processes", Wiley, New York 1974.
- [6] I. ZEGHIB, "Etude et Réalisation d'un Concentrateur Solaire parabolique", Mémoire de Master, photo thermique, Université Mentouri Constantine, 2005.
- [7] F. MEDJAOUI, S. BELABBACI, "Etude expérimentale et conception d'un concentrateur cylindro-parabolique", Mémoire de Master, Energétique, 2018.
- [8] Z. Wu et al. "Three-dimensional numerical study of heat transfer characteristics of parabolic trough receiver", Applied Energy, No. 113, pp, 902-911, 2014
- [9] J. Lu et al. "No uniform heat transfer model and performance of parabolic trough Solar receiver", Energy, No. 59, pp, 666-676, 2013
- [10] O. Malika et al. "Estimation of the temperature, heat gain and heat loss by solar parabolic trough collector under Algerian climate using different thermal oils", Energy Conversion and Management, No. 75, pp, 191-201, 2013
- [11] A.A. Hachicha et al. "Heat transfer analysis and numerical simulation of a parabolic trough solar collector", Applied Energy, No. 111, pp, 581-592, 2013.
- [12] A. Kalogirou. "A detailed thermal model of a parabolic trough collector receiver", Energy, No. 48, pp, 298-306, 2012.
- [13] Q. Liu et al. "Modeling and optimizing parabolic trough solar collector systems using the least squares support vector machine method ", solar Energy, No. 86, pp, 1973-1980, 2012.
- [14] Z.D. Cheng et al. "Numerical simulation of a parabolic trough solar collector with no uniform solar flux conditions by coupling FVM and MCRT method ", Solar Energy, No. 88, pp, 1771-1784, 2012.

-
- [15] Y.L. He et al. "A MCRT and FVM coupled simulation method for energy conversion process in parabolic trough solar collector", *Renewable Energy*, No. 36, pp, 976-985, 2011
- [16] R.V. Padilla et al. "Heat transfer analysis of parabolic trough solar receiver", *Applied Energy*, No. 88, pp, 5097-5110, 2011
- [17] G. Gong et al. "An optimized model and test of the China's first high temperature parabolic trough solar receiver", *Solar Energy*, No. 84, pp, 2230-2245, 2010
- [18] Z.D. Cheng et al. "Three-dimensional numerical study of heat transfer characteristics in the receiver tube of parabolic trough solar collector", *International communication in heat and mass transfer*, No. 37, pp, 782-787, 2010
- [19] A. Fernandez Garcia et al. "Parabolic trough solar collectors and their applications", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, No. 14, pp.1695–1721, 2010
- [20] S.D. Odeh et al. "Modelling of parabolic through direct steam generation solar collectors", *Solar Energy*. Vol. 62, pp. 395–406, 1998
- [21] A.C. Razel et al. "Techniques for Reducing Thermal Conduction and Natural Convection Heat Losses in Annular Receiver Geometries", Vol 101, pp.108-113, 1979

Chapitre

2

Système de poursuite et coordonnées célestes

2.1 Introduction

Un concentrateur solaire utilise exclusivement les rayonnements directs du soleil, ceci nécessite l'utilisation d'un dispositif de pointage qui dirige le réflecteur vers la direction du soleil.

Dans ce chapitre nous allons présenter la seconde facette de notre projet, qui est le système de poursuite, pour utiliser ces systèmes il faut tout d'abord connaître le mouvement de la terre par rapport à elle-même et par rapport au soleil, ainsi que les différentes variables qui régissent son mouvement.

2.2 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 [1]

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 $\delta=23^{\circ}27'$ avec la normale au plan de l'écliptique [1].

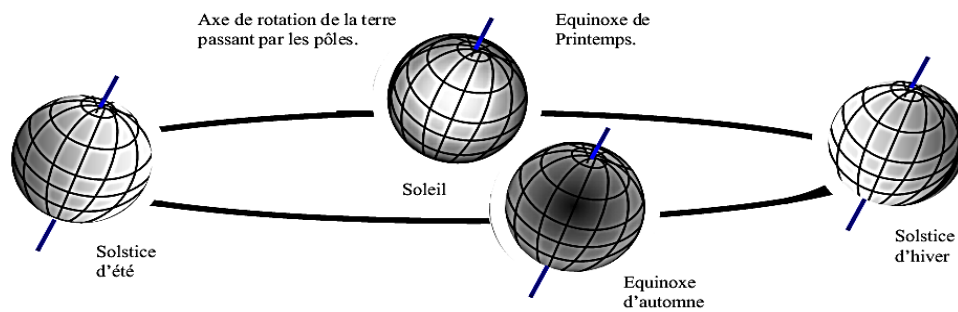


Figure 2.1. Variation saisonnière du rayonnement solaire [1]

2.3 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 ces différentes caractéristiques par la représentation de la figure suivante [2].

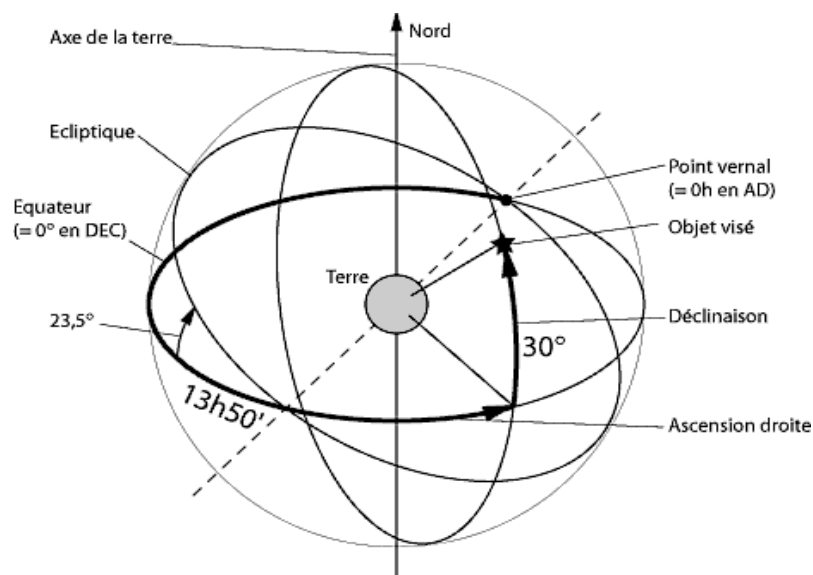


Figure 2.2. Sphère céleste [2].

2.4 Coordonnées céleste

2.4.1 Coordonnées géographique

a) Latitude (φ)

C'est l'angle φ que fait la verticale du lieu avec le plan équatorial. Si $\varphi > 0$ le site se trouve dans l'hémisphère nord, sinon le site est dans l'hémisphère sud [2].

b) Longitude (θ)

C'est l'angle formé par le méridien de Greenwich et le méridien du lieu considéré. La longitude est comprise entre -180 (vers l'ouest) et +180 (vers l'est). Comme la terre met 24 heures pour faire un tour sur elle-même (soit 360°). Chaque heure représente 15° d'écart de longitude et donc chaque degré représente 4 minutes (fig. 2.3) [2] [3].

c) Altitude

C'est la distance verticale exprimé en mètre. Séparant le point considéré du relief terrestre du niveau de la mer, pris comme surface de référence [1] [3] (fig. 2.3).

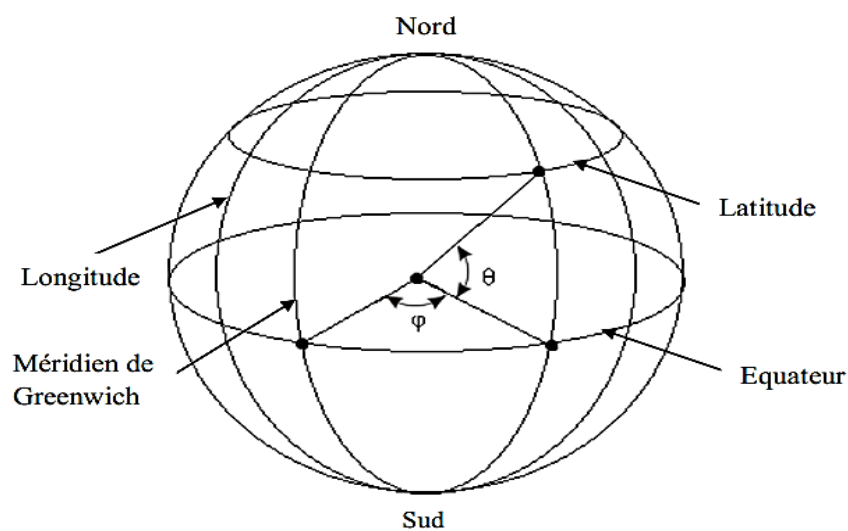


Figure 2.3. Coordonnées terrestre [1] [3].

3.4.2 Coordonnées horaire

a) Déclinaison solaire (δ)

La déclinaison du soleil δ est l'angle que fait, la direction du soleil avec le plan équatorial de la terre. La déclinaison varie de $-23^\circ 27'$ au solstice d'hiver à $+23^\circ 27'$ au solstice d'été et elle est nulle aux équinoxes. La déclinaison solaire est bien représentée par la formule suivante [3] [4] (fig. 2.4) :

$$\delta = 23.45 \sin \left(360 * \frac{n+284}{365} \right) \quad (2.1)$$

Où n est le numéro du jour (en prenant le 01 janvier comme référence)

b) Angle horaire (ω)

L'angle horaire ω étant l'angle formé par le plan méridien passant par le centre du soleil et le plan vertical du lieu (méridien), il définit le temps solaire vrai TSV . L'angle horaire est donné par l'équation [1] [3] (fig. 2.4) :

$$\omega = 15(TSV - 12) \quad (2.2)$$

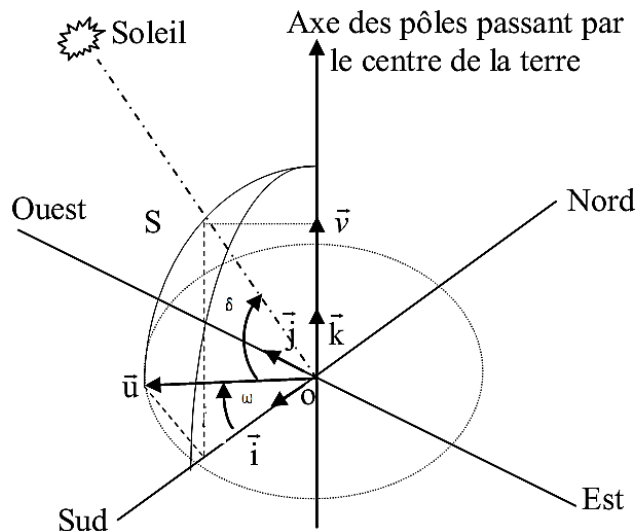


Figure 2.4. Coordonnées horaires [3].

2.4.3 Coordonnées horizontale

a) Azimut (α)

Est défini comme l'angle entre le méridien local et la projection au sol de la droite issue du point d'observation passant par le centre du Soleil et est compté positivement vers l'est [3] (fig.2.5), il est calculé par la relation suivante:

$$\sin(\alpha) = \frac{\cos(\delta) \sin(\omega)}{\cos(h)} \quad (2.3)$$

b) Hauteur angulaire du soleil (h)

C'est l'angle compris entre la direction du soleil et le plan horizontal. 'h' varie de 0° et 90° vers le zénith et de 0° à 90° vers le nadir. L'angle de la hauteur de soleil (fig.2.5) est donné par [1] [3] :

$$\sin(h) = \sin(\delta) \sin(\varphi) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \cos(\omega) \quad (2.4)$$

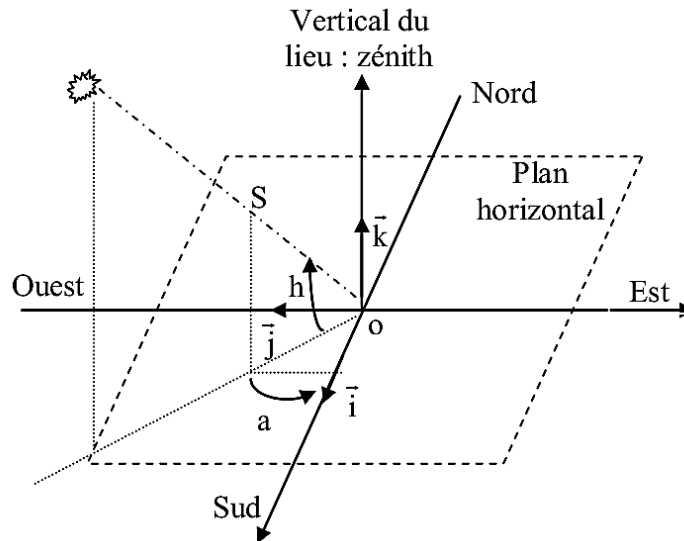


Figure 2.5. Coordonnées horizontales [3].

c) Angle horaire de lever et coucher de soleil (ω_{sr}), (ω_{ss})

On peut déduire les heures de lever et du coucher du soleil à partir de la hauteur angulaire du soleil en posant $\sin(h) = 0$ (soleil à l'horizon) ce qui donne [5] :

$$\cos(\omega_{sr}) = -\tan(\varphi)\tan(\delta) \Rightarrow \omega_{sr} = -\cos^{-1}(-\tan(\varphi)\tan(\delta)) \quad (2.5)$$

Où ω_{sr} est l'angle horaire du soleil à son lever (Et au signe près à son coucher).

2.5 Rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est un rayonnement thermique qui se propage sous la forme d'ondes électromagnétiques. En dehors de l'atmosphère terrestre, il donne un éclairement énergétique à peu près constant et égal e à 1367W/m^2 , appelé de ce fait constante solaire [3].

Pour connaître l'énergie reçue sur un site donnée il est nécessaire de repérer ce site sur la surface terrestre, de connaître la position et la trajectoire du soleil dans la voute céleste et les mouvements de la terre autour du soleil [3].

2.5.1 Rayonnement direct

Le rayonnement normal direct est le rayonnement direct qui est perpendiculaire à la direction du soleil. La conception de centrales solaires thermiques nécessite une estimation précise du rayonnement normal direct [6].

2.5.2 Rayonnement diffus

Le rayonnement diffus atteint indirectement la surface terrestre, car il est dispersé ou réfléchi par des composants de l'atmosphère tels que des nuages, l'eau ou les particules de poussière. L'importance du rayonnement diffus est plus élevée avec un ciel nuageux ou couvert ainsi que sur des surfaces enneigées [6].

2.5.3 Rayonnement global

C'est la somme de deux types de rayonnements direct et diffus.

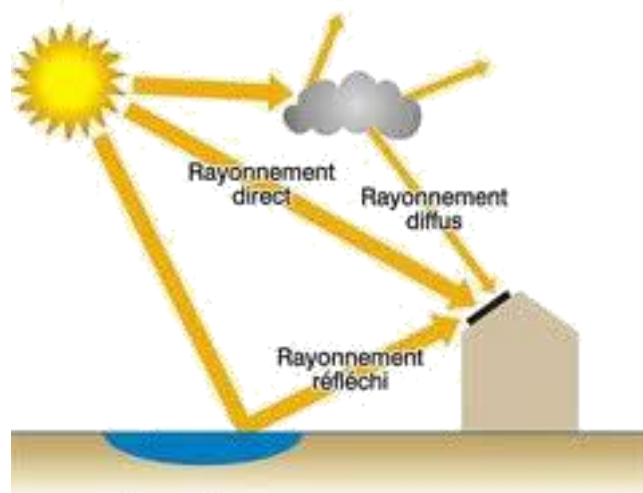


Figure 2.6. Types de rayonnement solaire [7].

2.6 Système poursuit solaire

Le premier système automatique de poursuite solaire a été présenté par McFee. Pour ce faire, l'auteur avait développé un algorithme pour calculer la distribution de densité de flux et de la puissance totale reçue dans un récepteur solaire. Quelques années plus tard, Semma et Imamru utilisèrent un microprocesseur pour ajuster la position d'un capteur solaire dans un concentrateur, de telle sorte qu'il soit toujours dirigé vers le soleil à tout instant [8].

2.6.1 Définition

Un suiveur solaire ou traqueur solaire est un dispositif qui oriente différentes charges utiles vers le soleil. Charges utiles peuvent être des panneaux photovoltaïques, des réflecteurs, lentilles et autres dispositifs optiques.

Dans le photovoltaïque à concentration (CPV) et le concentré solaire thermique (CSP) des applications de poursuite sont utilisées pour activer les composants optiques dans les systèmes

CPV et CSP. L'optique dans les applications solaires concentrées intercepte la composante continue de la lumière du soleil et donc doit être orienté de façon appropriée pour recueillir le maximum d'énergie. Les systèmes de poursuite se trouvent dans toutes les applications de concentration par ce que ces systèmes ne produisent pas d'énergie à moins d'être orientée parfaitement vers le soleil [8,9].

2.6.2 Types de suiveurs solaires

En tenant compte de tous les dispositifs de suiveur solaire existant, la poursuite solaire peut être regroupée en deux familles poursuite sur un axe et sur deux axes. La figure (2.8) illustre tous les types disponibles de poursuite solaires dans le monde. Pour un suiveur solaire à un axe, le système de poursuite entraîne le collecteur autour d'un axe de rotation jusqu'à ce que le rayon solaire central et la normale de l'ouverture soient coplanaires. D'une manière générale, il existe deux types de suiveur solaire à un axe :

- Suiveurs à axe horizontal** : l'axe de poursuite reste parallèle à la surface de la terre et il est toujours orienté Est-Ouest ou Nord-Sud.
- Suiveurs à axe vertical** : l'axe de poursuite est colinéaire avec l'axe de zénith et il est connu sous le nom azimuth solaire poursuite.

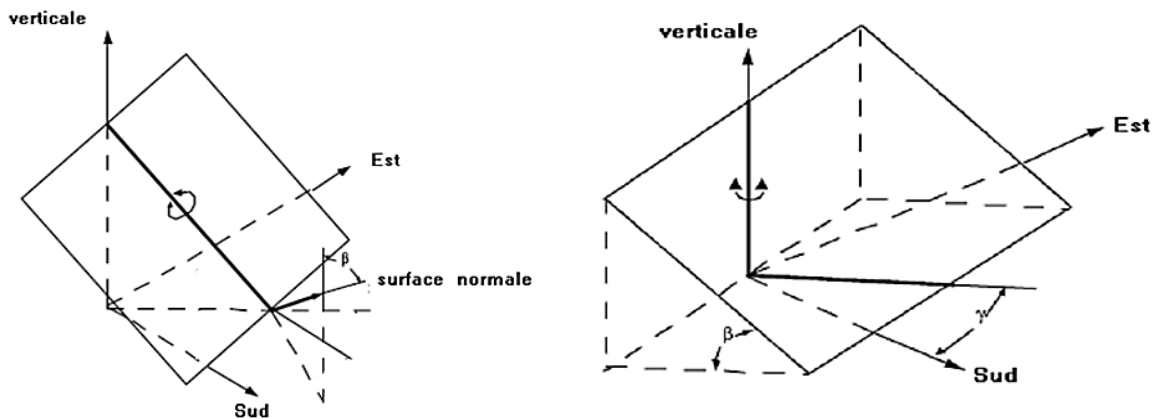


Figure 2.7. Suiveur à un seul axe (axe horizontale et axe verticale).

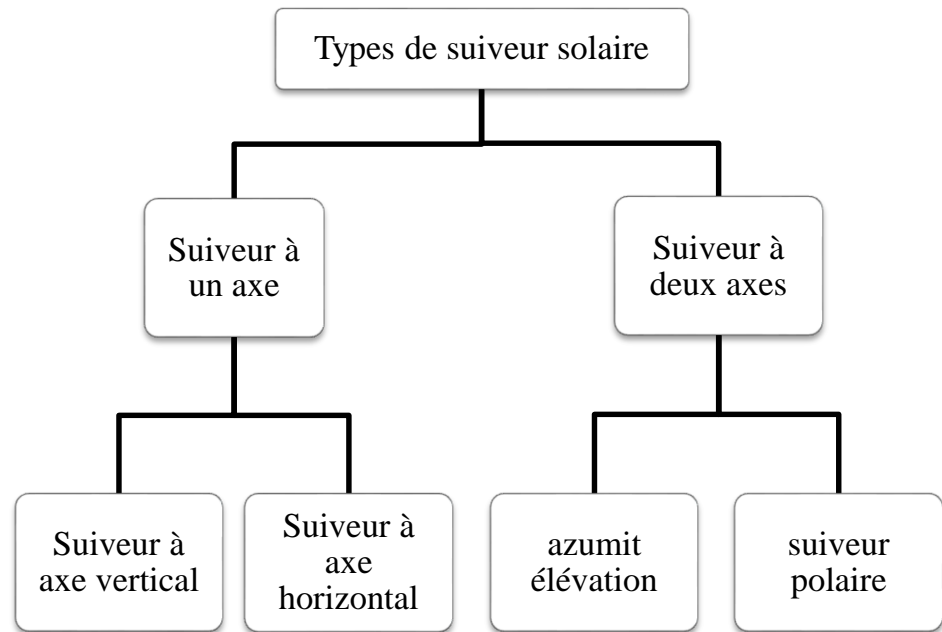


Figure 2.8. Types de suiveur solaire [9].

En revanche, les deux axes de poursuite solaire, comme azimut - élévation et polaire, suit le soleil sur deux axes tels que le vecteur de soleil est normal à l'ouverture de manière à atteindre 100% d'efficacité de collecte d'énergie. Azimut - élévation et polaire sont les suiveurs solaire les plus populaires ils sont utilisés dans diverses applications de l'énergie solaire.

- a) **Suiveurs azimut élévation** : le capteur solaire doit être libre de tourner autour de l'azimut et les axes d'élévation. L'axe principal de suiveur (axe d'azimut) doit être parallèle à l'axe de zénith et l'axe d'élévation (l'axe secondaire) est toujours orthogonal à l'axe d'azimut et parallèle à la surface de la terre. L'angle du suiveur autour de l'axe d'azimut est l'angle d'azimut solaire et l'angle de suivi autour de l'axe d'élévation est l'angle d'élévation solaire [9].
- b) **Suiveurs polaire** : le système de poursuite polaire adopte une idée de la conduite du collecteur solaire du matin au soir du lever au coucher du soleil, au lieu de changer l'angle d'inclinaison du collecteur en raison de la variation annuelle de la trajectoire solaire l'axe de rotation est parallèle à l'axe polaire de la terre qui est orientée vers l'étoile polaire. Cela lui donne une inclinaison de l'horizon égal à l'angle de latitude locale. L'autre axe de rotation est perpendiculaire à cet axe polaire. L'angle de poursuite autour de l'axe polaire est égal à l'angle horaire du soleil et l'angle de poursuite autour de l'axe perpendiculaire est fonction de l'angle de déclinaison. L'avantage de suiveurs polaire est que sa vitesse de

rotation est presque constante à 15 degrés par heure et par conséquent le système de contrôle est facile à concevoir [9].

2.6.3 Technique de poursuite solaire

a) *Suiveur chronologique*

Le suiveur chronologique s'oppose à la rotation de la terre en tournant dans le sens inverse à de vitesse de rotation de la terre. En fait, les taux ne sont pas exactement égaux parce que la position du soleil change par rapport à la terre de 360° à chaque année. Le suiveur chronologique est un système de poursuite très simple, très précise et utilisé particulièrement avec monture polaire. Le contrôle du procédé est assuré par un moteur qui tourne à une vitesse très lente (Environ 15 degrés / heure) [9].

Une simple réinitialisation de la position de l'aube peut être effectuée à tout moment entre le crépuscule et l'aube [9].

b) *Suiveur solaire passif*

Ces dispositifs utilisent un mécanisme hydraulique qui répond à la chaleur du soleil. Un faible point d'ébullition du fluide gazeux comprimé est entraîné d'un côté ou de l'autre par la chaleur du soleil, ce qui crée une pression de gaz et donc le déplacement du mécanisme le long du suiveur. En général, un suiveur passif ne consomme pas d'énergie mais en règle générale, les suiveurs actifs sont plus précis par rapport au traqueur passif [10] [11].

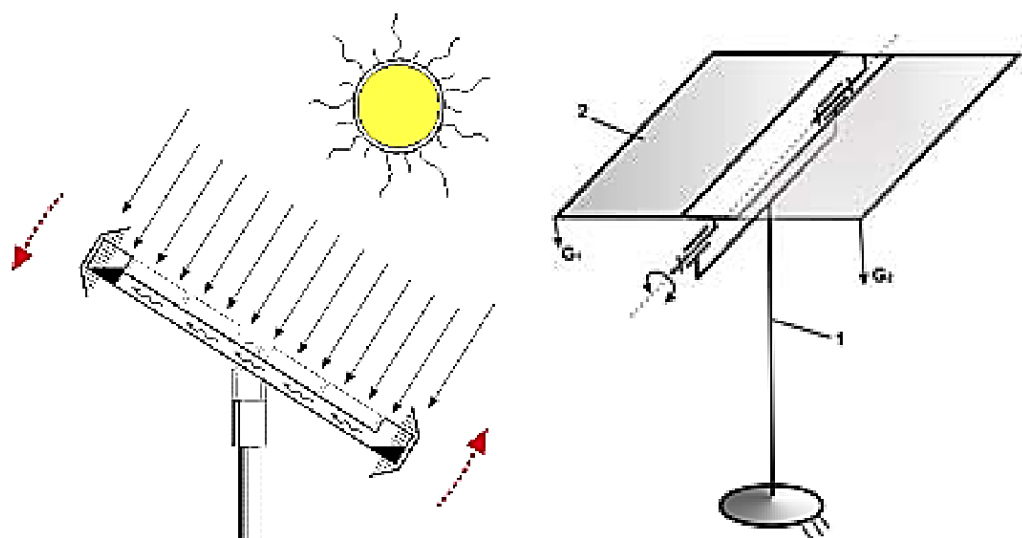


Figure 2.9. Suiveur solaire passive le schéma structurel.

c) *Suiveur solaire actif*

Les principaux suiveurs solaires actifs peuvent être classés comme suit :

- **Systèmes auxiliaires de cellules solaires bifaciales** : Le cellule solaire biface est fixée sur l'axe de rotation du suiveur et placée perpendiculairement à l'ouverture du collecteur. La cellule est reliée directement à un moteur, généralement un moteur électrique à courant continu. Quand le soleil se déplace, l'angle d'incidence augmente sur la cellule du capteur, ce qui produit finalement assez d'énergie pour alimenter le moteur est faire déplacer l'ensemble. Une illustration du système est présentée sur la figure 2.10.

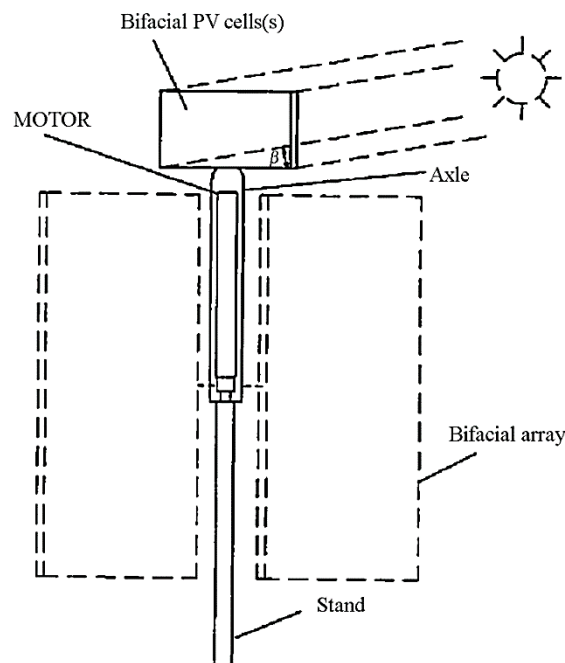


Figure 2.10. Systèmes auxiliaires de cellules solaires bifaciales

- **Le système électro-optique** : est un autre système relativement simple, il consiste en deux photorésistances ou des cellules photovoltaïques qui sont utilisés en tant que capteurs (pour un axe) de manière à permettre au mécanisme de poursuite de se déplacer vers le soleil sur un axe. Ces capteurs sont placés côte à côte séparés par un écran, plusieurs configurations peuvent être implantées, mises sur support incliné ou dans un caisson entaillé, utiliser un amplificateur pour créer une différence de courant utile et / ou de la tension entre les deux capteurs. Ces différentes configurations sont visibles dans la figure 2.11 [11-15].

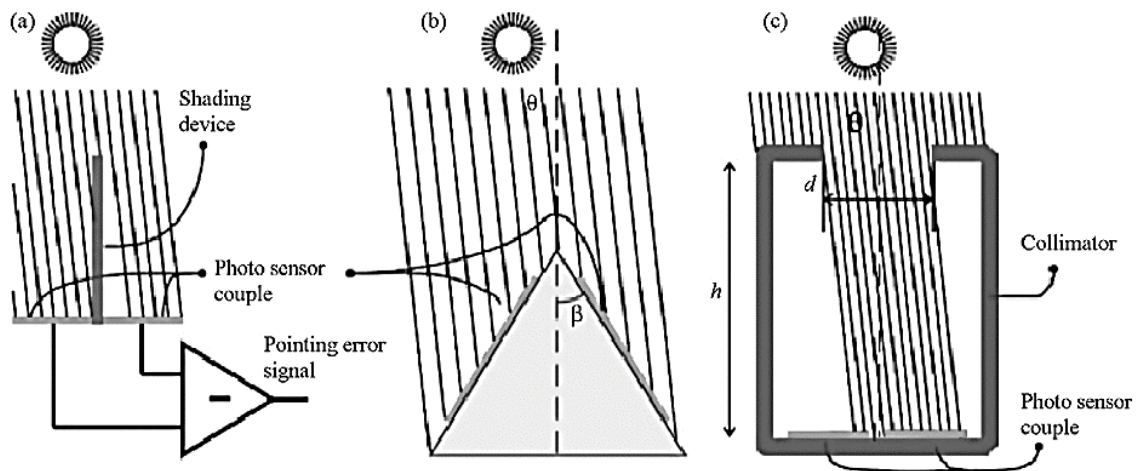


Figure 2.11. Principe d'équilibre Ombre (a) le soleil pointant capteurs (b) inclinée montage de capteurs photoélectriques (c) pointage solaire précis au moyen d'un collimateur.

2.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons fait une rétrospective sur les techniques de poursuite solaire, nous avons mis en avant les différents paramètres qui régissent le mouvement apparent du soleil.

Ces différents calculs vont nous permettre de réaliser un système de commande qui être exploiter dans l'orientation du concentrateur réaliser vers la direction du soleil, de deux manières différentes automatique et programmé.

Références

- [1] J.M. chassériaux, Conversion thermique du rayonnement solaire, bordas Paris.1984
- [2] Dominique, Michèle Frémy, Le monde et Astronomie, quid 2001, France Loisir, Paris 2001.
- [3] R. Bernard, G. Menguy, M. Schwartz, Le rayonnement solaire, conversion thermique et application. Technique et Documentation, Paris,(1979).
- [4] F.G.Acién Fernandez, F.Garcia Camacho, Modeling of Biomass productivity intubular photobioreactors for microalgal Cultures, Effects of Dilution Rate ,tube diameter and solar irradiation, Biotechnology and bioengineering. Vol 58, N: (1998).605-616.
- [5] <https://theta.obs-besancon.fr/lunap/valise/levers-couchers-soleil.html>
- [6] A.A. SFEIR, G. GUARRACINO, Ingénierie des systèmes solaires, application l'habitat. Technique et documentation(1981).

-
- [7] Retscreen, Photovoltaic Background, International Renewable energy decisionsupport centre, Resources Canada (2001-2002). www.retsceeren.net.
- [8] C. Zidani ,F. Benyarou, Simulation de la position apparente du soleil et estimation des Energies Solaires incidentes sur un Capteur Plan pour la Ville de Tlemcen en Algérie. Rev.Energ.Ren, Vol.6,(2003) pp69-76
- [9] A. Benhamadouche, H. Herizi, Modélisation et réalisation d'un concentrateur solaire avec poursuite solaire, Mémoire Master2, Technologie des systèmes électro énergétique des sources d'énergies renouvelables, Université de Msila, 2013.
- [10] A. Gama, M. Haddadi et A. Malek, « Étude et réalisation d'un concentrateur cylindro Parabolique avec poursuite solaire aveugle » Revue des Énergies Renouvelables, Vol. 11, N°3 (2008) 437 – 451.
- [11] Capdrou. M, 1987. Atlas Solaire de l'Algérie, Modèles Théoriques et Expérimentaux,
- [12] M. Azizi, M. Zerrouki. 'Amélioration de fonctionnement énergétique des séchoirs solaires direct et indirect à convection forcée' Mémoire de Master Académique, Universitekasdimerbah, Ouargla, 2018.
- [13] A. Gama, M. Haddadi et A. Malek, Etude et réalisation d'un concentrateur cylindro parabolique avec poursuite solaire aveugle, Revue des Energies Renouvelables Vol. 11 N°3 (2008) 437 – 451
- [14] R. Leutz and H.P. Annen, 'Reverse Ray-Tracing Model for the Performance Evaluation of Stationary Solar Concentrators', Solar Energy, Vol. 81, N°6, pp. 761 – 767, 2007
- [15] A. Gama, 'Etude et Réalisation d'un Banc d'Essai Hybride Photovoltaïque Thermodynamique', Mémoire de Magister, ENP, Mai 2008.

Chapitre

3

Etude théorique d'un concentrateur cylindro- parabolique

3.1 Introduction

L'énergie solaire peut être exploitée sous deux formes principales : la conversion photo thermique qui consiste en une transformation directe du rayonnement solaire en chaleur et la conversion photovoltaïque pour la production d'électricité.

Nous traiterons dans le cadre de ce travail seulement la première voie de conversion.

3.2 Collecteurs thermiques

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

3.2.1 Captation sans concentration : capteurs plans

Le rayonnement solaire peut être transformé en chaleur à basse température, par des capteurs plans utilisant conjointement l'absorbeur, surface sélective et l'effet de serre créé par le vitrage. Ces capteurs ont l'avantage d'utiliser aussi bien les rayons directs du soleil que les rayons diffusés, c'est à dire que même par temps couvert, le liquide caloporteur de capteur parvient à s'échauffer. L'autre avantage est qu'il n'est pas nécessaire d'orienter le capteur suivant le soleil.

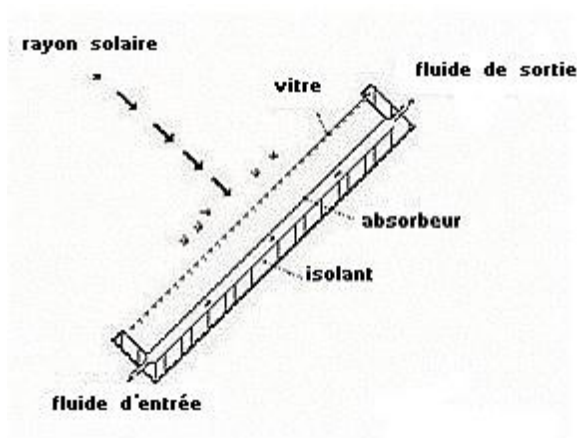


Figure 3.1. Capteur plan

3.2.1.1 Capteur tubulaire

Le capteur tubulaire, souvent appelé capteur solaire à tubes sous vide, est une technologie avancée utilisée pour la capture efficace de l'énergie solaire. Cette technologie est particulièrement efficace pour les applications de chauffage solaire, y compris le chauffage de l'eau domestique, le chauffage des piscines, et même le chauffage des espaces dans les climats plus froids.

3.2.2 Captation avec concentration : capteurs à concentrations

Quand les températures plus élevées sont exigées, des capteurs solaires à concentration sont utilisés. Ils utilisent l'énergie solaire arrivant sur une grande surface réfléchissante, et réfléchi sur une plus petite surface avant qu'elle ne soit convertie en chaleur qui entraînerait de températures plus élevées. La plupart des collecteurs à concentration peuvent seulement concentrer le rayonnement solaire parallèle venant directement à partir du disque du soleil (rayonnement direct), donc ils doivent suivre le mouvement apparent du soleil. On constate de manière évidente que leur utilisation restera très limitée (entre 1500 et 1700 heures d'ensoleillement par an en moyenne) [1].

Les trois systèmes à concentration les plus importants pour l'application à grande échelle de l'énergie solaire sont :

3.2.2.1 Système de centrale à tour (héliostat)

Un héliostat utilise un ensemble de pointeurs solaire à double axe qui dirige l'énergie du soleil vers un grand absorbeur situé dans une tour. Ces capteurs possèdent un ensemble de

grands miroirs qui suit le mouvement du soleil. Les miroirs concentrent les rayons du soleil sur le récepteur en haut de la grande tour. Un ordinateur garde les miroirs alignés afin que les rayons du soleil, qui sont réfléchis, visent toujours le récepteur, où la température peut dépasser 1000 °C [2], [3].

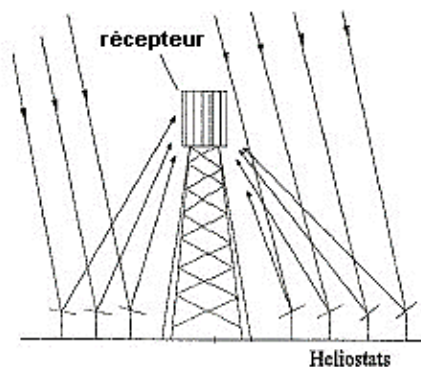


Figure 3.2. Système de centrale à tour

3.2.2.2 Concentrateurs paraboliques

Ces capteurs utilisent des surfaces réfléchissantes paraboliques pour concentrer les rayons solaires dans le foyer où se trouve le récepteur (absorbeurs) qui capte la chaleur solaire ainsi concentrée [4]. Naturellement ces concentrateurs doivent suivre le mouvement du soleil. Les systèmes à réflecteur parabolique peuvent atteindre des températures plus élevées (jusqu'à 1500°) sur le récepteur.

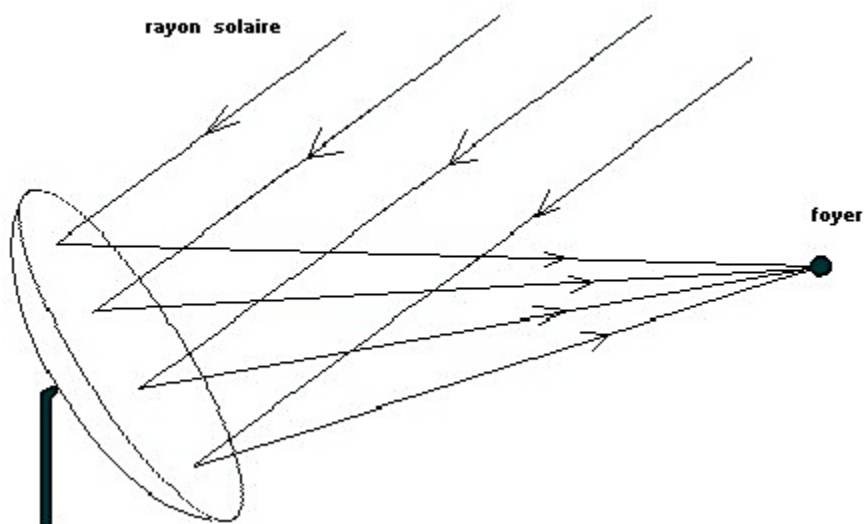


Figure 3.3. Concentrateur parabolique

3.2.2.3 Concentrateurs cylindro-paraboliques

Les réflecteurs cylindro-paraboliques sont des systèmes en forme de « U ». Ils concentrent les rayons du soleil sur un tube récepteur situé le long de la ligne focale du réflecteur

[5]. Parfois un tube en verre transparent entoure le tube récepteur afin de réduire les pertes de chaleur. Ces concentrateurs utilisent souvent un système de pointeur solaire à simple axe ou à double axe. Les températures du récepteur peuvent atteindre 400°C.

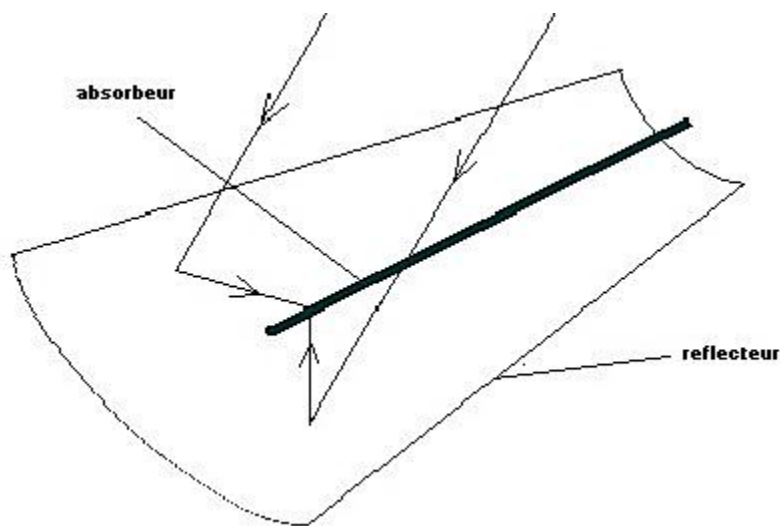


Figure 3.4. Concentrateur cylindro-parabolique

3.2.2.3.1 Propriétés des concentrations

- ✓ Réduction des surfaces réfléchissantes.
- ✓ Réduction des pertes thermiques.
- ✓ La densité d'énergie au niveau de l'absorbeur est grande donc le fluide caloporteur peut travailler à température plus élevée pour la même surface de captation d'énergie.

3.2.2.3.2 Systèmes optique d'une surface cylindrique

Une parabole est l'ensemble des points situés à égale distance d'une droite fixe (D) appelée directrice, et un point fixe (F) appelé foyer [6]. L'intersection de la parabole et de son axe est le sommet (V) qui est exactement intermédiaire entre le foyer et la directrice.

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 » [7].

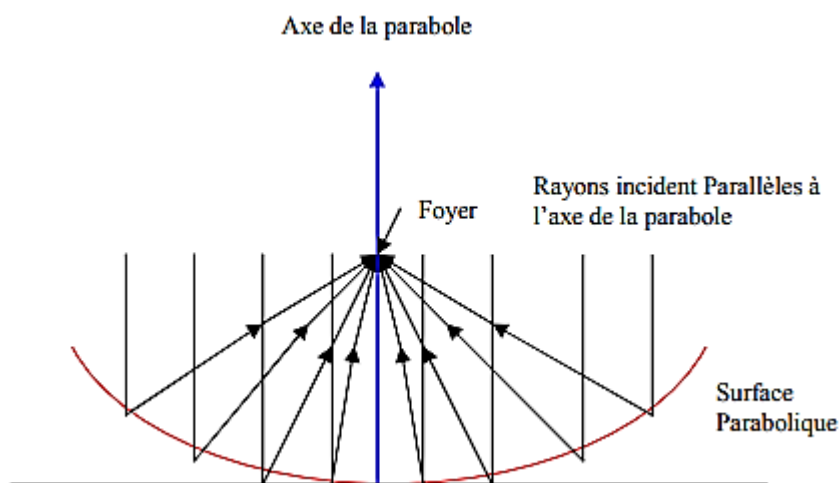


Figure 3.5. Système optique d'une surface parabolique

3.3 Performance d'un concentrateur cylindro-parabolique

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 [8].

La performance (optiques ou thermiques) est la mesure des résultats obtenus par de nombreux facteurs comme :

- La puissance (rayonnement) absorbée
- La puissance utile
- Température de sortie de fluide caloporteur
- Coefficient des pertes thermiques
- Taux de concentration (le rapport de la surface de l'ouverture à la surface de récepteur)
- Rendement d'un concentrateur solaire

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.

3.4 Montage du concentrateur cylindro-parabolique

Le montage d'un concentrateur cylindro-parabolique est un processus crucial pour exploiter efficacement l'énergie solaire dans les applications thermiques.

Le concentrateur cylindro-parabolique est un dispositif qui utilise des miroirs paraboliques pour concentrer la lumière solaire sur un tube récepteur placé le long de la ligne focale du miroir. Ce tube récepteur contient un fluide caloporteur qui est chauffé par le

rayonnement solaire concentré, généralement utilisé pour produire de la vapeur et générer de l'électricité dans les centrales solaires thermiques. Ces ressources vous fourniront des informations détaillées sur le montage et le fonctionnement des concentrateurs solaires cylindro-paraboliques, ainsi que sur leur rôle dans la production d'énergie solaire thermique.

Étapes du montage [9] :



Figure 3.6. Montage du concentrateur cylindro-parabolique [9]

1. Positionnement du miroir

Le miroir parabolique est alors installé sur la structure de support de manière à ce qu'il soit orienté vers le soleil. L'angle d'inclinaison du miroir est crucial pour maximiser la concentration du rayonnement solaire sur le tube récepteur.

2. Montage du tube récepteur

Le tube récepteur, qui contient le fluide caloporteur, est placé le long de la ligne focale du miroir parabolique. Cette position garantit que le rayonnement solaire réfléchi par le miroir est concentré sur le tube, chauffant ainsi le fluide à l'intérieur.

3. Alignement précis

L'alignement précis du miroir parabolique est essentiel pour assurer que le rayonnement solaire est concentré de manière optimale sur le tube récepteur. Des ajustements fins peuvent être nécessaires pour garantir que le miroir suit correctement la trajectoire du soleil tout au long de la journée.

4. Test et ajustements

Une fois le montage terminé, des tests sont effectués pour évaluer les performances du concentrateur cylindro-parabolique. Des ajustements supplémentaires peuvent être nécessaires pour optimiser l'efficacité énergétique et la stabilité du système [10].

3.4.1 - Montage nord-sud suivant l'axe du monde (a)

Ce type de montage implique d'orienter le concentrateur de manière à ce que son axe soit aligné dans la direction nord-sud, parallèlement à l'axe de rotation de la Terre. Cette orientation permet au miroir parabolique de suivre la trajectoire du soleil d'est en ouest tout au long de la journée, maximisant ainsi l'exposition au rayonnement solaire. Cela nécessite un mécanisme de suivi solaire pour ajuster l'angle du miroir et maintenir une concentration optimale [11].

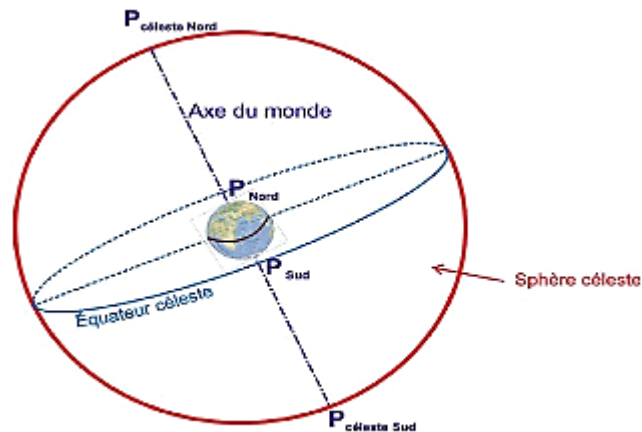


Figure 3.7. Montage nord sud

3.4.2 - Montage est-ouest (b)

Dans ce montage, le concentrateur est orienté est-ouest pour capturer le soleil du lever au coucher. Cette configuration peut être utilisée pour optimiser l'exposition solaire pendant des périodes spécifiques de la journée, par exemple en concentrant le rayonnement solaire le matin ou l'après-midi selon les besoins de l'application [11].

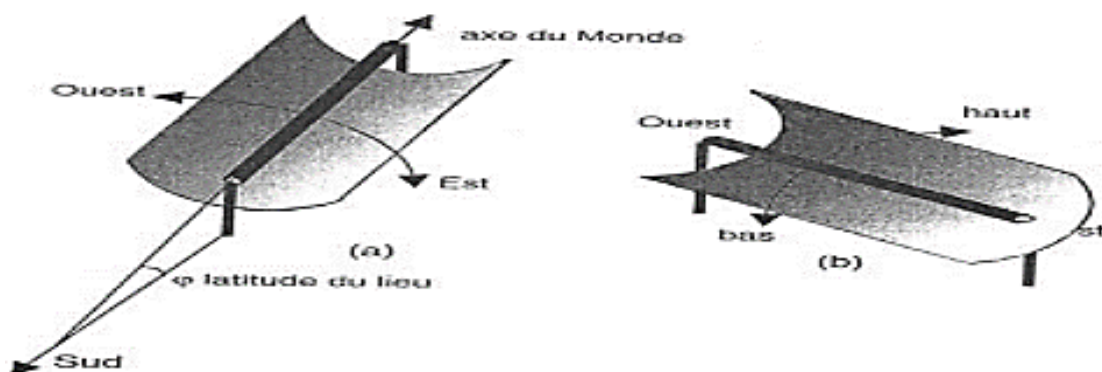


Figure 3.8. Montage d'un capteur cylindro- parabolique [11]

3.5 Application

3.5.1 Applications à basses et moyennes températures

Les concentrateurs cylindro-paraboliques sont souvent utilisés pour des applications telles que le chauffage de l'eau pour un usage domestique ou industriel, le séchage des cultures agricoles, et la production d'eau chaude sanitaire [10].

3.5.2 Applications à hautes températures

À des températures plus élevées, ces systèmes peuvent être utilisés pour produire de la vapeur à haute pression utilisée dans les centrales électriques solaires thermiques, la production d'hydrogène, ou d'autres processus industriels nécessitant des températures élevées [10].

3.6 Avantage de la concentration du rayonnement solaire

- ✓ **Efficacité accrue** : La concentration du rayonnement solaire permet d'atteindre des températures plus élevées avec une surface de collecte plus petite.
- ✓ **Réduction des coûts** : Moins de matériau est nécessaire pour capturer la même quantité d'énergie solaire par rapport à des systèmes non concentrés.
- ✓ **Polyvalence des applications** : Peut être utilisé pour une variété d'applications de chauffage et de production d'électricité [11].

3.7 Composants d'un concentrateur cylindro-parabolique

Le concentrateur cylindro-parabolique est composé des éléments suivants :

1. Réflecteur
2. Récepteur
3. Support
4. Le système de poursuite
5. Le fluide caloporteur
6. Le miroir

3.7.1 Réflecteur

On obtient un paraboloïde par rotation de la parabole autour de son axe. L'équation pour le paraboloïde de révolution en coordonnées rectangulaires avec l'axe (Z) comme axe de symétrie est [6], [12] :

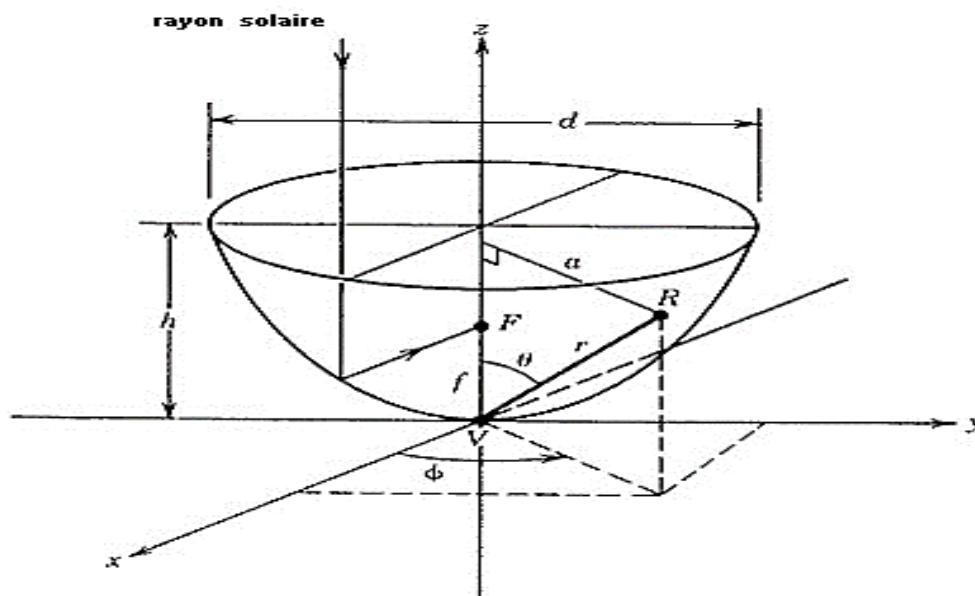


Figure 3.9. Révolution parabolique

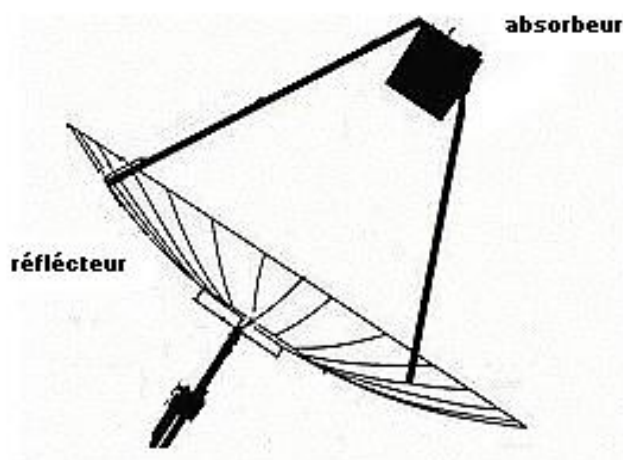


Figure 3.10. Catégories des récepteurs

3.7.2 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 :

1- *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.

2- *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 [13].

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) [4]. 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.

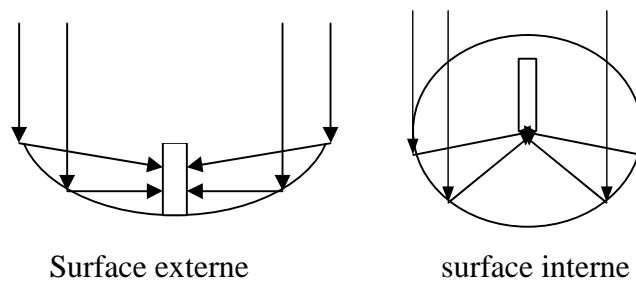


Figure 3.11. Récepteurs

3.7.3 Support

Structure qui maintient le réflecteur et le récepteur en place, généralement en métal robuste

3.7.4 Système de poursuite

Mécanisme qui permet de suivre le mouvement du soleil pour maintenir une concentration optimale du rayonnement solaire.

3.7.5 - Fluide caloporteur

Liquide ou gaz utilisé pour transporter la chaleur du récepteur vers l'application désirée (par exemple, de l'eau pour le chauffage).

3.7.6 - Miroir

Composant principal qui concentre la lumière solaire sur le récepteur.

3.8 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).

3.8.1 Concentration géométrique

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

$$C_g = \frac{A_a}{A_r} \quad (3.1)$$

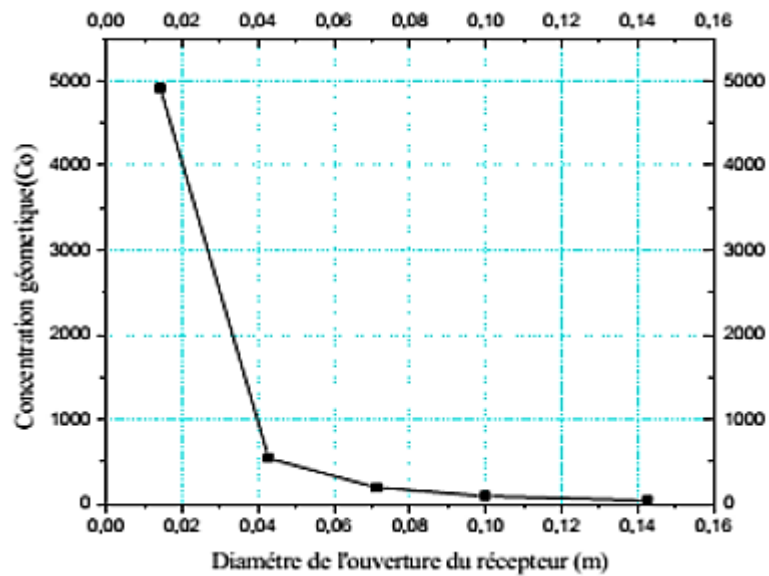


Figure 3.12. Concentration géométrique à différentes valeurs du diamètre du récepteur

3.8.2 Concentration optique (énergétique)

Mesure de l'efficacité avec laquelle la lumière solaire est concentrée sur le récepteur.

Est égale au rapport de l'éclairement moyen sur la surface de l'absorbeur à l'éclairement de l'ouverture.

$$C_o = \frac{I_a}{I_r} \quad (3.2)$$

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

I_a : l'énergie reçue à l'ouverture d'un paraboloïde.

3.8.3 Surface du concentrateur

Détermine la quantité de lumière solaire captée par le système

La surface du paraboloïde peut être trouvée par intégration. Nous pouvons définir une bande différentielle circulaire d'une surface sur le paraboloïde comme représenté sur la figure (3.13). La longueur d'arc d'une parabole peut être trouvée en intégrant une surface différentielle de cette courbe, en appliquant les limites $x=h$ et $y=d/2$ comme décrit sur la figure (3.13) [6].

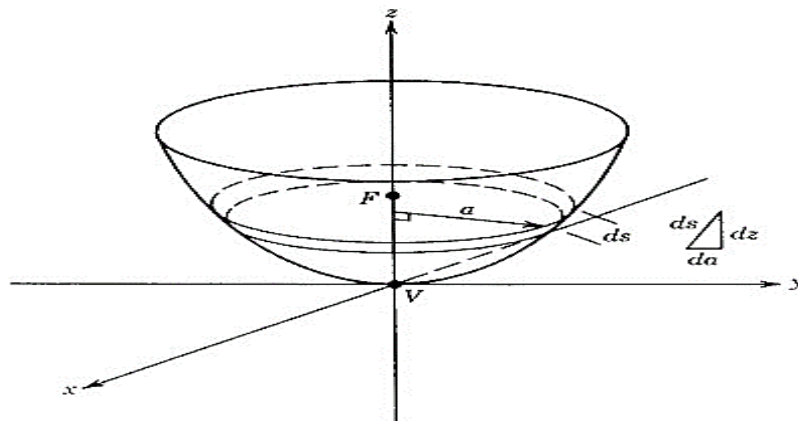


Figure 3.13. Élément différentiel de surface parabolique [6]

3.8.4 Rendement optique

Le rendement optique d'un concentrateur cylindro-parabolique est défini comme étant le rapport du rayonnement absorbé par unité de surface à celle incident sur l'absorbeur.

Le rendement optique présente l'efficacité globale du système de concentration solaire [10].

$$\eta_{op} = \frac{\dot{Q}_a}{\dot{Q}_o} \quad (3.3)$$

\dot{Q}_a : Quantité de rayonnement absorbé par unité de surface

\dot{Q}_o : Quantité de rayonnement totale incident sur l'absorbeur

3.8.5 Importance de la concentration solaire

Comprendre le bilan thermique du tube absorbeur est crucial pour concevoir et optimiser les systèmes de concentration solaire. En évaluant les performances thermiques du tube, les ingénieurs peuvent identifier les domaines où des améliorations sont nécessaires pour maximiser l'efficacité énergétique et minimiser les pertes de chaleur.

Parmi les avantages :

- Réduction des surfaces réfléchissantes.
- Réduction des pertes thermiques.
- La densité d'énergie au niveau de l'absorbeur est grande donc le fluide caloporteur peut travailler à température plus élevée pour la même surface de captation d'énergie.
- Les systèmes à concentration peuvent être utilisés à la production d'énergie électrique.
- Le stockage est plus faible pour des systèmes à concentrateurs qu'à capteurs plans.

3.9 Bilan thermique

Le bilan thermique du tube absorbeur peut être exprimé à l'aide d'équations qui prennent en compte les flux de chaleur entrants et sortants. Voici quelques termes clés utilisés dans ces équations :

3.9.1 Bilan thermique du tube

Évaluation des pertes et des gains de chaleur à travers le tube absorbeur.

3.9.2 Bilan thermique du fluide caloporteur

Mesure des changements de température et des pertes thermiques lors du transport de la chaleur.

3.9.3 Bilan thermique du tube absorbeur

Le tube absorbeur est le composant clé du concentrateur cylindro-parabolique où la chaleur solaire concentrée est absorbée par un fluide caloporteur circulant à l'intérieur du tube. Le bilan thermique du tube absorbeur prend en compte les échanges de chaleur qui se produisent à l'intérieur du tube pour déterminer l'efficacité globale du système.

-Composantes du Bilan Thermique : Absorption de la chaleur solaire : Le tube absorbeur est exposé au rayonnement solaire concentré par le miroir parabolique. La surface interne du tube est conçue pour absorber efficacement la lumière solaire et convertir cette énergie en chaleur.

-Conduction de la chaleur : Une fois absorbée, la chaleur est transférée au fluide caloporteur qui circule à l'intérieur du tube. La conduction thermique à travers les parois du tube absorbeur est un processus important à prendre en compte.

-Chaleur absorbée par le fluide : C'est la quantité de chaleur transférée au fluide caloporteur à l'intérieur du tube, généralement mesurée en watts ou en joules par seconde (W ou J/s).

-Chaleur perdue par conduction : Ce sont les pertes de chaleur à travers les parois du tube absorbeur. Ces pertes peuvent être réduites en utilisant des matériaux isolants de haute qualité pour envelopper le tube.

3.9.4 Bilan thermique de l'enveloppe en verre

Évaluation des pertes thermiques à travers l'enveloppe du récepteur [11].

3.9.5 Pertes thermiques

Les pertes de chaleur peuvent se produire à travers les parois du tube absorbeur, en particulier si le tube n'est pas isolé efficacement. Ces pertes peuvent réduire l'efficacité globale du système en diminuant la température du fluide caloporteur.

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 :

$$Q_P = Q_{P.Conv} + Q_{P.Ray} + Q_{P.Cond} \quad (3.4)$$

Q_P : Puissance correspondant à la perte thermique

$Q_{P.Conv}$: Pertes par convection

$Q_{P.Ray}$: Pertes par rayonnement

$Q_{P.Cond}$: Pertes par conduction

3.9.5.1 Pertes par conduction

Les pertes par conduction sont généralement faibles par rapport aux pertes par convection et par rayonnement. Ils sont souvent combinés avec le terme perte par convection dans la plupart des analyses [18].

$$Q_{P.cond} = \frac{\lambda_{abs} A_{abs} (T_{abs} - T_{amb})}{\Delta z} \quad (3.5)$$

3.9.5.2 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 [14].

$$Q_{P.conv} = h_{conv} A_{abs} (T_{abs} - T_{amb}) \quad (3.6)$$

Le coefficient de transfert de chaleur par convection est donné par la formule suivante :

$$h_{conv} = \frac{Nu \lambda_{air}}{d} \quad (3.7)$$

d : diamètre de récepteur.

λ_{air} : conductivité thermique de l'air

Le nombre de Nusselt Nu est donné par :

$$Nu = 0,664 Re^{\frac{1}{2}} Pr^{\frac{1}{3}} \quad (3.8)$$

Le calcul de nombre de Reynolds Re se fait par la formule suivante :

$$Re = \frac{v d}{\nu_{air}} \quad (3.9)$$

3.9.5.3 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 [15-17].

$$Q_{Ray} = \varepsilon_{abs} \sigma A_{abs} (T_{abs}^4 - T_{ciel}^4) \quad (3.10)$$

Où :

ε_{abs} : Facteur émissivité de l'absorbeur.

σ : Constante de Stefan-Boltzmann ($5,670 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$).

T_{ciel} : Température du ciel.

La température équivalente du rayonnement du ciel dépend de la densité d'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 la basse humidité relative ou aux altitudes élevées, la température du rayonnement du ciel peut être inférieure de 6°C que la température ambiante.

3.9.6 Puissance utile

La puissance utile ou puissance nominale d'un appareil est la quantité de chaleur transmise au fluide caloporteur par convection et/ou rayonnement par unité de temps, exprimée en kilowatt (kW) dans les conditions d'essais suivant les normes en vigueur (allure de fonctionnement nominale).

$$Q_u = M \cdot C_p \cdot (\dot{T}_e - T_s) \quad (3.11)$$

3.9.7 Rendement instantané du concentrateur solaire

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

$$\eta = \frac{Q_u}{G \times S_c} \quad (3.12)$$

3.10 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons vu les différentes parties d'une centrale cylindro parabolique et leurs caractéristiques ainsi que la stérilisation solaire, et nous avons abordé principalement le bilan thermique, les pertes thermiques et le Rendement instantané du concentrateur qui régissent la centrale cylindro-paraboliques.

Références

- [1] M. Audibert, la concentration du rayonnement solaire. International centre for theoretical physics ' 3 séminaire sur l'énergie solaire, 6-17 Septembre 1982.
- [2] B.Y.H. Liu et R.C. Jordan, The interrelationship and characteristic distribution of distribution of direct, diffuse and total solar radiation, Solar Energy, 4, pp. 1-19, 1960.
- [3] Alain Ferrière et Gilles Flamant, Captation, Transformation et conversion de l'énergie Solaire par la technologies à concentration. Thème7, Solaire thermique 2002.
- [4] Paul De Neyer 'Energie solaire thermique, Guide des Energies Renouvelables, mai 2003.
- [5] Jacques Pereebois, Energie solaires, perspectives économiques, Edition du centre National de la recherche scientifique ,1975 .
- [6] B. Stine ,Michael Geyer, Power from the sun, Lyle centre for regenerative studies 2001.

-
- [7] U.H. Kurzweg ,J.P. Benson ,Iso-Intensity absorber Configurations For parabolic Concentrators, Solar energy .Vol. 29, No.2, pp. 167-174, 1982.
- [8] J.E. Braun et J.C . Mitchell, Solar geometry for fixed and tracking surface. Solar Energy, vol. 31, pp. 394-444, (1983).
- [9] 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.
- [10] Ari.Rabl, Comparison of Solar Concentrators, Solar Energy .Vol18, pp93-111. Pergamon press 1967.
- [11] S. Bonned. et A. Alaphilippe, Conversion thermodynamique de l'énergie solaire dans des installations de faible ou de moyenne puissance. Energ. ren :11 eme journées internationals de thermique. pp. 73-80. 2003. 97
- [12] M. Srinivasan, L.V. Kulkarni, A simple technique of fabrication of parabolic concentrators. Solar energy, vol. 22, pp. 463-465. Novembre 1978.
- [13] Vudichai Neeranartvong, Etude d'un concentrateur solaire a simple réflexion. Thèse de Docteur-Ingenieur, Institut national polytechnique de Toulouse. juillet 1983.
- [14] D. Kedwards, L. Marlot, Capteurs Solaires, Edition S C M, Paris 1979.
- [15] H. Naito, Y. Kohsaka, D. Cooke, The development of solar receiver for high efficient thermionic/ thermoelectric conversion system. Encyclopedia of physical science et technology .1995.
- [16] Ari. Rabl , Optical and Thermal Properties of Compound Parabolic concentrators, Solar Energy .Vol. 18, pp. 497-511. Pergamon press 1976.
- [17] David Faiman, Solar thermal Collectors. Introduction to solar energy .lecture 5 version 3.1 2003.
- [18] O.C. Jorgensen, Collector heat capacity effect on solar system performance, Solar Energy. Vol. 29. No.2. pp. 175-176, Printed in Great Britain. 1982.

Chapitre

4

Réalisation d'un Concentrateur Cylindro- parabolique avec Poursuite

4.1 Introduction

Ce chapitre sera dédié au dimensionnement de l'installation que nous voulons concevoir, il présentera les différents dispositifs qui seront mise en œuvre dans cette installation, nous allons présenter les choix technique que nous avons élaboré, pour pouvoir suivre le plus rigoureusement le cahier des charges fixé au préalable.

Pour parvenir à la réalisation du prototype voulu, et après avoir établi les dimensions et les paramètres de chaque élément, des simulations seront exécutées pour valider les calculs que nous avons effectué et les choix que nous avons faits.

Ce chapitre présente l'achèvement d'une partie de la réalisation, après qu'on a appliqué les différentes étapes de modélisation et de conception d'un concentrateur cylindro-parabolique et de la poursuite solaire, les différentes partie du prototype a été fabriqué et monté de manière à permettre une grande flexibilité d'installation.

Nous allons voir dans ce chapitre les détails de réalisation et les tests qu'on a exécuté pour notre travail.

La conception d'un système de conversion solaire thermodynamique doit se faire selon une méthodologie bien précise, pour ce faire nous allons nous fixer un cahier des charges que nous suivrons les points essentiel pour parvenir à la réalisation d'un prototype qui marche.

Les points les plus importants sont :

- Le système doit être autonome

- Le système doit générer de l'énergie (thermique, ou éventuellement électrique)
- Le réflecteur doit être de type cylindro-parabolique.
- Le prototype doit être flexible et léger.
- Le prototype doit être robuste.
- La poursuite solaire doit se faire sur deux axes.
- Le système doit intégrer un dispositif de mesure et de communication.
- Le coût de production doit être minimisé.

Pour parvenir à un tel système nous avons choisi la configuration présentée dans la figure suivante, elle montre les différents éléments nécessaires à l'achèvement d'un système opérationnel.

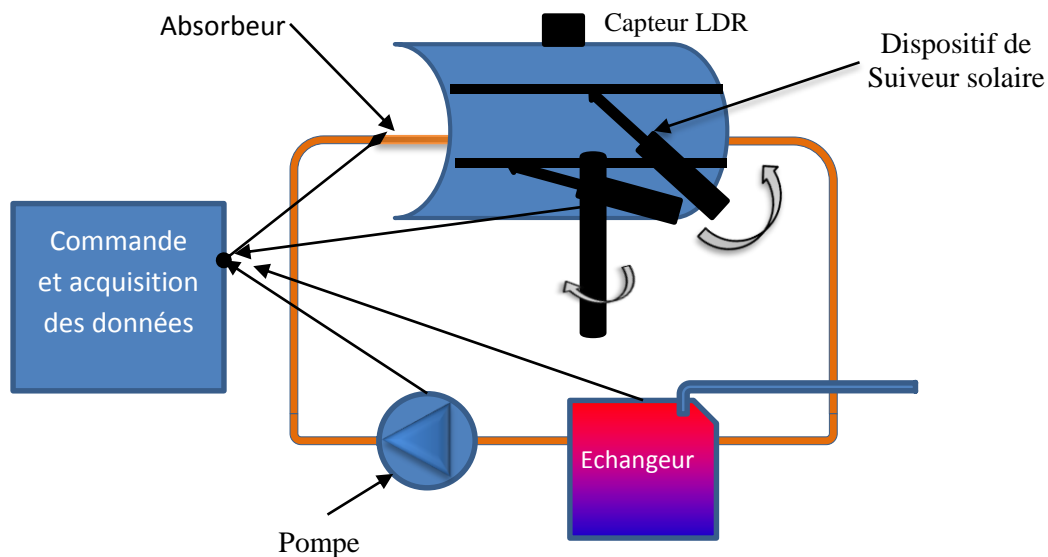


Figure 4.1. Schéma synoptique de réalisation du prototype

La mise en marche du système doit permettre deux fonctionnements distincts, qui sont résumés ci-dessous :

✓ *Génération de l'eau chaude :*

Nous n'avons aucunement besoin de la génératrice et de la turbine, mais l'échangeur thermique peut être utilisé comme réservoir d'eau chaude. La circulation d'un fluide caloporteur sera assurée par une pompe adaptée.

✓ *Génération de l'électricité :*

Concernant la génération de l'électricité, il serait important d'utiliser un fluide caloporteur pour chauffer l'eau dans l'échangeur jusqu'à vaporisation de cette eau et ainsi créer une pression suffisante de vapeur pour faire tourner une turbine à vapeur adaptée à la puissance récupérée.

4.2 Réalisation du prototype

Pour ce faire nous avons divisé les tâches de réalisation selon les points suivants :

- Réalisé le réflecteur.
- Réalisé la structure mécanique et l'intégration des moteurs linéaires.
- Réalisation du circuit de circulation du fluide caloporteur.
- Réalisation des cartes électroniques de commande.

4.2.1 Réalisation du réflecteur

Le récepteur doit réfléchir les rayons du soleil dans le foyer, il a deux spécifications qui sont géométriques et optiques. Nous avons fixé les paramètres géométriques selon le tableau suivant :

Tableau 4.1. Caractéristiques géométriques du récepteur

Longueur	1500 mm
L'ouverture	1080 mm
Distance focale (f)	270 mm
Taille de la parabole (h)	270 mm
Aire de la surface réfléchissante	1500 X 1220 = 1.83m ²
Surface d'ouverture (Ar)	1500 X 1080 = 1.62m ²

Aussi les caractéristiques optiques doivent être optimales, le coefficient de réflexion idéal est de 1 et les matériaux dont nous disposons ont un coefficient de réflexion entre 0.8 et 0.9.

Pour que le réflecteur soit d'une forme parabolique, nous avons réalisé trois arêtes qui formeront le squelette du réflecteur, ils seront une référence pour la forme parabolique que doit avoir ce dernier, leur forme est présentée dans la figure suivante :

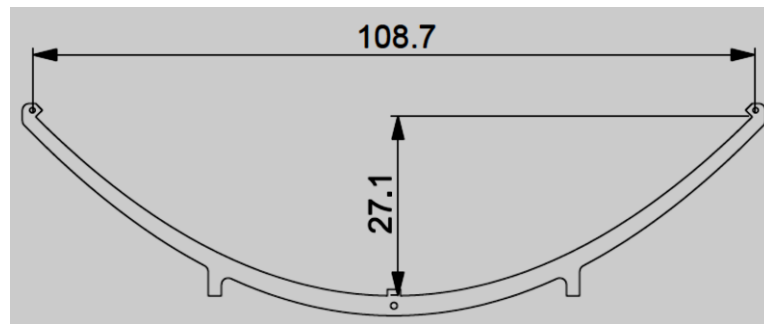


Figure 4.2. Forme géométrique des supports.

Ils sont réalisés par une coupe au plasma sur la tôle d'acier de 5 mm.

Leurs propriétés physiques sont :

Tableau 4.2. Propriétés physiques des supports du réflecteur

Longueur	1080 mm
Longueur linéaire	1250 mm
Largeur	30 mm
Epaisseur	5 mm
Poids	1.5 Kg
Poids des 3 supports	3.5 Kg

Le réflecteur lui-même est réalisé sur une feuille d'Aluminium de type AlucoBand, il a les caractéristiques techniques suivante : Rigide ; Léger ; Brillant avec surface réfléchissante (coefficient de réflexion estimé à 0.8) ; Supporte bien les conditions climatiques rudes.

Ces propriétés physiques sont :

Tableau 4.3. Propriétés physiques du réflecteur

Longueur	1500 mm
Largeur	1080 mm
Largeur linéaire	1220 mm
Epaisseur	5 mm
Poids	≈ 10 Kg



Figure 4.3. Forme finale du réflecteur.

4.2.2 Structure mécanique du concentrateur

C'est le support qui tiendra toute le système, il est réalisé à partir de barre de fer carrée, pour le rendre robuste est Legé. C'est sur cette structure que le dispositif de poursuite solaire sera assemblé.

Ces propriétés physiques sont :

Tableau 4.4. Propriétés physiques de la structure métallique

Longueur	5000 mm
Largeur	30 mm
Largeur linéaire	20 mm
Epaisseur	2 mm
Poids	≈ 3.5 Kg

4.2.3 Absorbeur

Le métal du récepteur doit avoir une bonne conductivité de température, nous avons choisi le cuivre comme un dispositif pour absorber l'énergie thermique, a la forme d'un tube cylindrique, de 1500 de longueur, et 20mm de diamètre intérieur et de 22mm de diamètre extérieur le poids de absorbeur 0.55kg. Il a ouvertures d'entrer et de sortir aux extrémités où s'écoule le fluide que l'on veut mesurer ses températures.

Coefficient d'absorption de l'absorbeur : 0.88 (valeur estimée)

En adéquation géométrique avec l'élément précédent les dimensions de l'absorbeur sont résumé dans le tableau suivant :

Tableau 4.5. Spécification de l'absorbeur

Longueur	1500 mm
Diamètre externe	22 mm
Diamètre interne	20 mm
Surface de captation (Aa)	0,047 m ²

En ce qui concerne les matériaux utilisés nous avons choisi un tube non conveys fait de cuivre qui a une bonne conductivité thermique qui est de (360 W/k.m²).

La figure suivant résume la position de l'absorbeur par apport au réflecteur pour que la tous les rayons solaire soit conduit vers l'absorbeur.

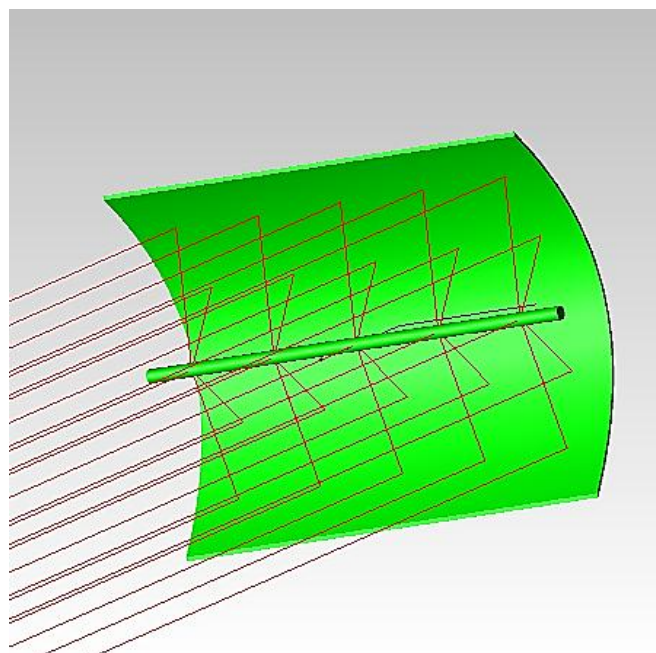


Figure 4.4. Position réflecteur avec absorbeur

4.2.4 Pompe et fluide caloporteur

La pompe doit être capable d'un débit variable afin de permettre une régulation éventuelle du flux de liquide caloporteur. Dans ce type de dispositif, le débit devrait se situer dans une fourchette de 1,3 à 1,6 litres par heure.

Pour un dimensionnement plus précis, il est essentiel de prendre en compte la consommation énergétique de la pompe et de la maintenir aussi basse que possible.

4.2.4.1 Choix du fluide caloporteur fluide caloporteur

Un autre élément essentiel dans cette démarche de conception et le choix du fluide caloporteur, il sert à récupérer l'énergie thermique pour l'utiliser dans le chauffage ou la génération de l'électricité, pour ce faire, deux choix sont disponibles qui sont l'utilisation de l'eau et l'utilisation d'une huile synthétique.

L'eau a un pouvoir calorifique de 4.85 kJ/kg.K et l'huile synthétique aux alentours de 1.8 kJ/kg.K. les deux peuvent être utilisés mais l'utilisation finale sera différente.

Dans notre cas on choisit l'eau comme un fluide caloporteur circulant dans un circuit ouvert. Le tableau ci-dessus présente les caractéristiques de l'eau :

Tableau 4.6. Caractéristiques de l'eau

Chaleur spécifique de l'eau	4180 J/kg.K
Conductivité thermique	0.0059W/m.K
Masse volumique	1000 kg/m ³
Température d'ébullition	100°C

4.2.4.2 Spécification de la pompe

La pompe doit être à débit variable pour permettre une éventuelle régulation du débit de liquide caloporteur, pour ce genre de dispositif le débit sera compris dans un intervalle de 0.8 à 1.6 L/h.

Pour un dimensionnement plus scrupuleux, la consommation de la pompe doit être prise en considération et réduite au minimum.

La pompe est une pompe électrique de circulation d'eau chaude qui a les caractéristiques suivantes :

Tableau 4.7. Propriétés de la pompe de circulation

Alimentation	CA 220 V
Débit massique	Jusqu'à 1.6 m ³ /h

La pompe est reliée avec l'absorbeur grâce à des flexibles qui supportent les températures élevées du fluide caloporteur.

4.3 Instruments de mesures

L'installation du concentrateur solaire est composée d'un ensemble d'instruments permettant de mettre en place un dispositif expérimental capable de suivre et d'analyser, en temps réel, l'évolution des variables énergétiques et thermiques : les variables énergétiques concernant les différents flux solaires, et celles thermiques concernant les températures des éléments du concentrateur solaire, la température ambiante, l'humidité relative à l'extérieur du concentrateur solaire, la vitesse et la direction du vent, etc.

4.3.1 Températures

Pour mesurer les différentes températures nous avons utilisés des thermocouples de type « J ».

Définition d'un thermocouple

Un thermocouple est un capteur servant à mesurer la température, constitué de deux conducteurs filiformes de deux métaux de natures différentes reliés par une jonction. Quand la jonction des métaux est chauffée ou réfrigérée, une tension variable est produite, La différence de température entre les deux soudures engendre une force électromotrice qui peut être ensuite transcrite en température.

**Figure 4.5.** Thermocouple



Figure. 4. 6. Capteurs de température à infrarouge

4.3.2 Mesure de la vitesse du vent

La station météo complète (figure 4. 7) de type Davis Instruments est l'appareil utilisé dans cette étude, dont la liaison entre les capteurs extérieurs (ISS) et la console se fait par ondes radio sur la fréquence 868.0 – 868.6 MHz avec une portée de 300 mètres au maximum. La console est équipée d'un large écran LCD rétro-éclairé, elle peut être fixée contre un mur ou posée sur une table ou une étagère. La console permet de visualiser les conditions météo en temps réel, les extrêmes (maxi et mini), les graphiques correspondant aux différentes variables. Il est également possible de régler des alarmes et de connecter la console sur un ordinateur (avec l'interface Weather Link non fournie).

L'ISS est très robuste et peut être installée sur un mât (tube) ou sur un poteau en bois. Une double sonde pour mesurer la température et l'humidité extérieure est placée dans un abri anti radiations (solaires) normalisé. Le pluviomètre est équipé d'un système à 2 augets basculants pour mesurer les précipitations. L'anémomètre - girouette peut être désolidarisé de l'ISS pour être installé sur un toit par exemple grâce à son câble de 12 mètres.

Cette station permet de mesurer :

- La température intérieure - Résolution 0,1°C.
- La température extérieure - Résolution 0,1°C.
- L'humidité extérieure – Résolution : 1%.
- La pression atmosphérique - Résolution : 0,1 h Pa.
- La vitesse du vent de 3 à 241 km/h - Résolution 1 km/h.

Un kit classique pour la station, permet d'exploiter très finement les données collectées

par les stations météo Vantage Pro2. Ce kit comprend un enregistreur de données (datalogger) qui fonctionne en mode connecté à un PC, et un logiciel d'exploitation Weather-Link. Il est possible de consulter en temps réel les données climatiques ou en mode non connecté.



Fig. 4. 7. Station météorologique de type Davis

4.4 Conception du système de poursuite solaire

L'élément essentiel de notre réalisation est le système de poursuite solaire, nous avons choisi de réaliser un système de poursuite à deux axes, ceci exige d'utiliser deux moteurs à courant continu.

Le dispositif doit rassembler les éléments suivants :

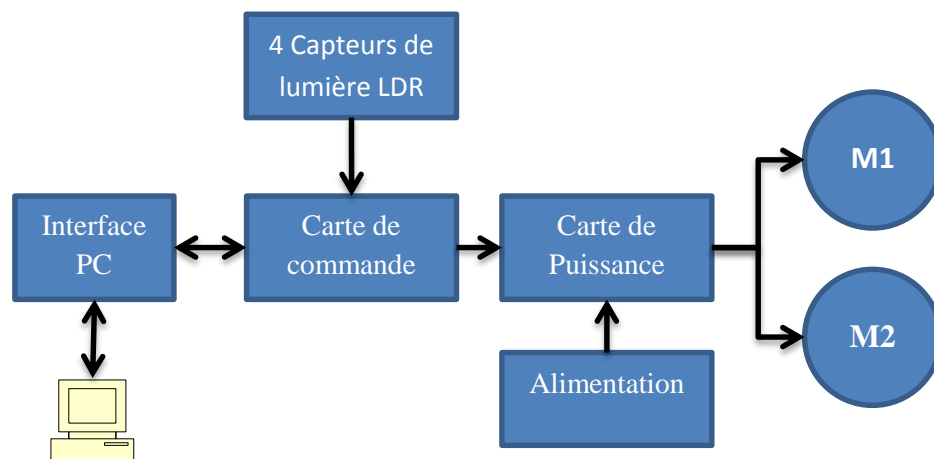


Figure 4.8. Éléments du dispositif de poursuite solaire

Nous avons vu dans les paragraphes précédents les dimensions est surtout le poids de chaque élément du concentrateur, le poids globale que les moteurs doivent faire pivoté et de l'ordre de 20Kg, nous avons donc choisi d'utiliser des moteurs linéaire récupéré de positionneur satellite est qui sont adapter à ce genre d'utilisation.

Ils sont joints à la structure métallique de tel manière de donnée le plus grand angle rotation possible dans le sens vertical et horizontal.

Deux techniques de poursuite seront utilisées :

La technique de poursuite grâce à des capteurs de lumière qui ajustera à travers l'utilisation d'un microcontrôleur la position du concentrateur pour qu'il soit toujours dirigé vers le soleil.

La deuxième technique est une technique préprogrammée, ou nous allons récupérer la trajectoire apparente du soleil grâce à des modèles exécutés sur MATLAB. Ces données seront sauvegardé dans une mémoire EEPROM sur la carte de commande, est ensuite utilisé pour réglé la rotation des moteurs.

Le choix des moteurs étant basé sur les critères suivants :

- La puissance 12 W
- Moteur à courant continu 12 V.
- Vitesse minimum de déplacement appropriée à leur utilisation.
- Le fonctionnement en milieu hostile

4.4.1 Partie commande

4.4.1.1 Schéma synoptique de la commande

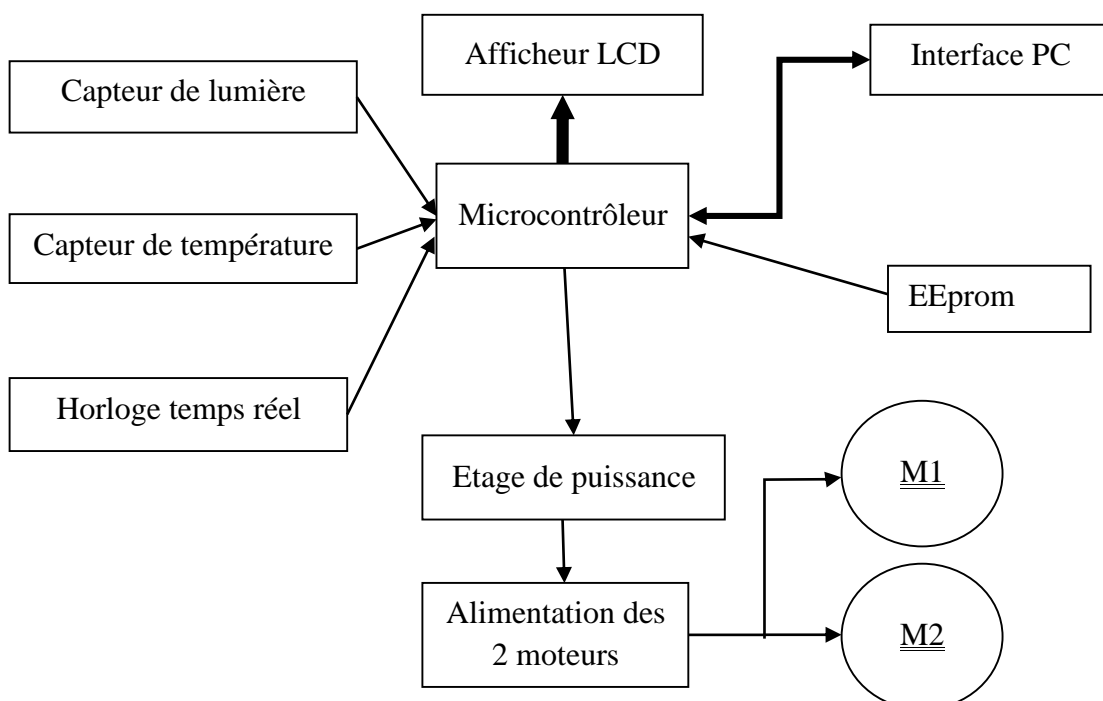


Figure 4.9. Schéma bloc du système de poursuite

Ce schéma montre les différents composants du système :

- Une interface de communication avec le PC pour récupérer les données.
- Microcontrôleur pour la gestion des différentes tâches du système.
- Des moteurs à courant continu pour le mécanisme de poursuite.
- Une alimentation pour les moteurs.
- Un étage de puissance pour l'adaptation des signaux de commande émanant du μC .
- Horloge temps réel.
- Des capteurs.
- Un afficheur LCD

4.4.1.2 Commande préprogrammée

Dans cette partie commandé par un programme informatique d'abord programmé le microcontrôleur par programme.

4.4.1.3 Commandé par photorésistance LDR

Les photorésistances sont des composants électroniques dont la résistivité (résistance) dépend de la quantité de lumière reçue. Elles se nomment aussi LDR (light-dependent resistor) ou cellules photoconductrices [17]

4.4.2 Réalisation du système de poursuit solaire

Le système de poursuite réalisé avec des moyens locaux disponibles sur le marché, et été développé dans le laboratoire des Applications de Technologie Avancée à l'Université du M'sila . Le dispositif d'orientation constitué par deux vérins commerciaux destinés aux antennes paraboliques, et doit avoir deux axes de rotation pour orienter le concentrateur.

Microcontrôleur PIC que nous avons choisie est microcontrôleur PIC 16F877A

4.4.2.1 Conception de la carte électronique de commande

Nous présenterons le système électronique qui prendra en charge la gestion du dispositif de poursuite solaire à deux axes (Figure 4.10)

Le montage de la figure suivante montre le circuit électronique qui gère le système de poursuite.

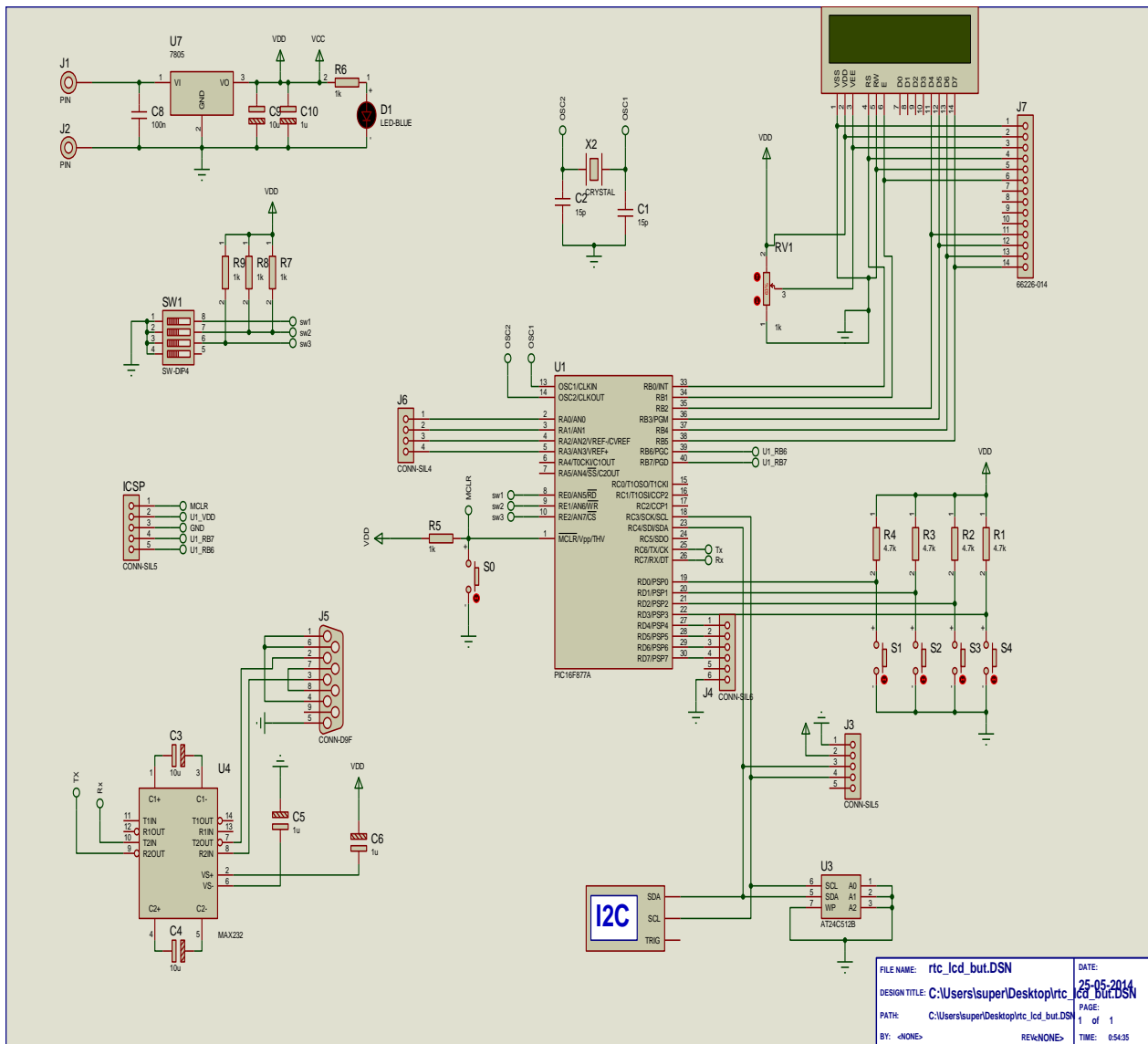


Figure 4.10. Circuit de poursuite

Le rôle de chaque composant apparent dans la figure 11 est cité ci-dessous :

- **Un µC PIC16F877A** : Pour la gestion de l'algorithme de poursuite et la communication avec le PC.
- **Moteur à courant continu** : Pour faire tourner les axes de rotation d'azimut et d'élévation.
- **Les relais** : Qui permettent d'alimenter les moteurs.
- **LM35** : Pour récupérer la température du fluide caloporteur.
- **LDR** : pour détecter la position du soleil.
- **LCD** : pour afficher la date et la position des moteurs.
- **PCF8563** : pour obtenir le temps réel.
- **Les petons** : pour régler le temps

La carte de commande est composée essentiellement d'un microcontrôleur PIC 16F877A et d'un afficheur LCD, quatre potentiomètres pour régler le temps, un RTC DS 1307 dans la figure présente tous les composants de la carte de commande

4.4.2.2 Réalisation de la carte LDR

La carte LDR est composée de quatre photorésistances installées sur le concentrateur. Dans la figure obtenue pour la carte LDR, nous présenterons dans le tableau suivant différentes mesures de photorésistance

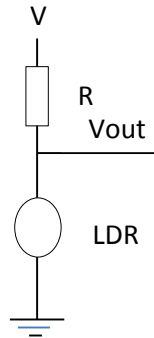


Figure 4.11. Photorésistance et résistance complète

Tableau 4.8. Mesure pratique de la photorésistance

Les mesures	Valeur de la Photorésistance
Couverte les cellules	20kΩ
Orienté les cellules à rayonnements directe	140Ω

On calcule les valeurs de la tension photorésistance pour ce résultat

$$V_{out} = \frac{LDR}{LDR+R} V \quad (4.1)$$

On choisit la résistance complète est 4,7KΩ

$$V_{max} = \frac{20}{20+7.4} 5 = 4.048 V \quad (4.2)$$

$$V_{min} = \frac{0.14}{0.14+7.4} 5 = 0.092 V \quad (4.3)$$

$$V_c = V_{max} - V_{min} \quad (4.4)$$

$V_c = 3.95 V$ Qui V_c arrive la valeur 3.95 oriente les moteurs, pour installer LDR dans la position correcte suivre les calculs suivants la figure 12 obtenue comment calcule la longueur de l'obstacle entre deux LDR.

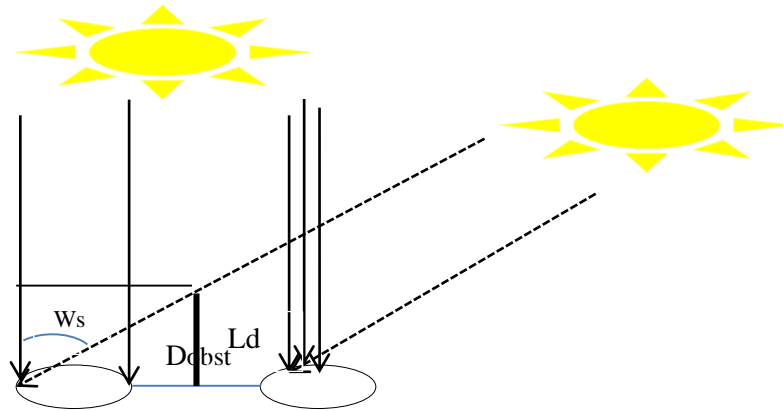


Figure 4.12. Obstacle entre LDR

Nous savons que le soleil oriente 1° dans 4 minutes, dans ce prototype voulons sélectionner le temps d'orientation du concentrateur, prenons $W_s = 4^\circ$

$$\tan W_s = \frac{D_{obst}}{L_d} \quad (4.5)$$

$\tan 4 = 0.07$ Donc nous prenons $D_{obst} = 0.5 \text{ cm}$ on déduit $L_d = 7.15 \text{ cm}$

4.4.3 Réalisation de la carte de puissance

La carte de puissance commande d'alimentation des moteurs dans la figure présente composante de la carte de puissance

La partie puissance est composée à quatre relais pour alimenter deux moteurs vers deux, les moteurs orientés sur deux sens, le premier et deuxième par le moteur 1 qui oriente le concentrateur horizontal et les troisième, quatre par le moteur 2 qui oriente le concentrateur vertical

4.4.4 Programmation du microcontrôleur

La programmation du microcontrôleur se divise en deux méthodes on passe parmi les deux méthodes par Switch :

- Le programme transmet périodiquement des signaux à partir de l'unité centrale vers le moteur électrique (vérin). La durée du signal permet d'activer le moteur qui oriente le concentrateur d'un angle de rotation correspondant à cette durée pour le positionner en face du soleil.
- Le programme du microcontrôleur est écrit en utilisant le programme mikroc, dans cette partie on lit et on compare les tensions des quatre cellules, la cellule sans occultation joue le rôle d'une cellule de référence, la commande des deux vérins est basée sur cette

comparaison et son arrêt est réalisé dès que la valeur de la tension des quatre cellules est identique [12]

a. Organigramme du programme de poursuite en fonction de préprogramme

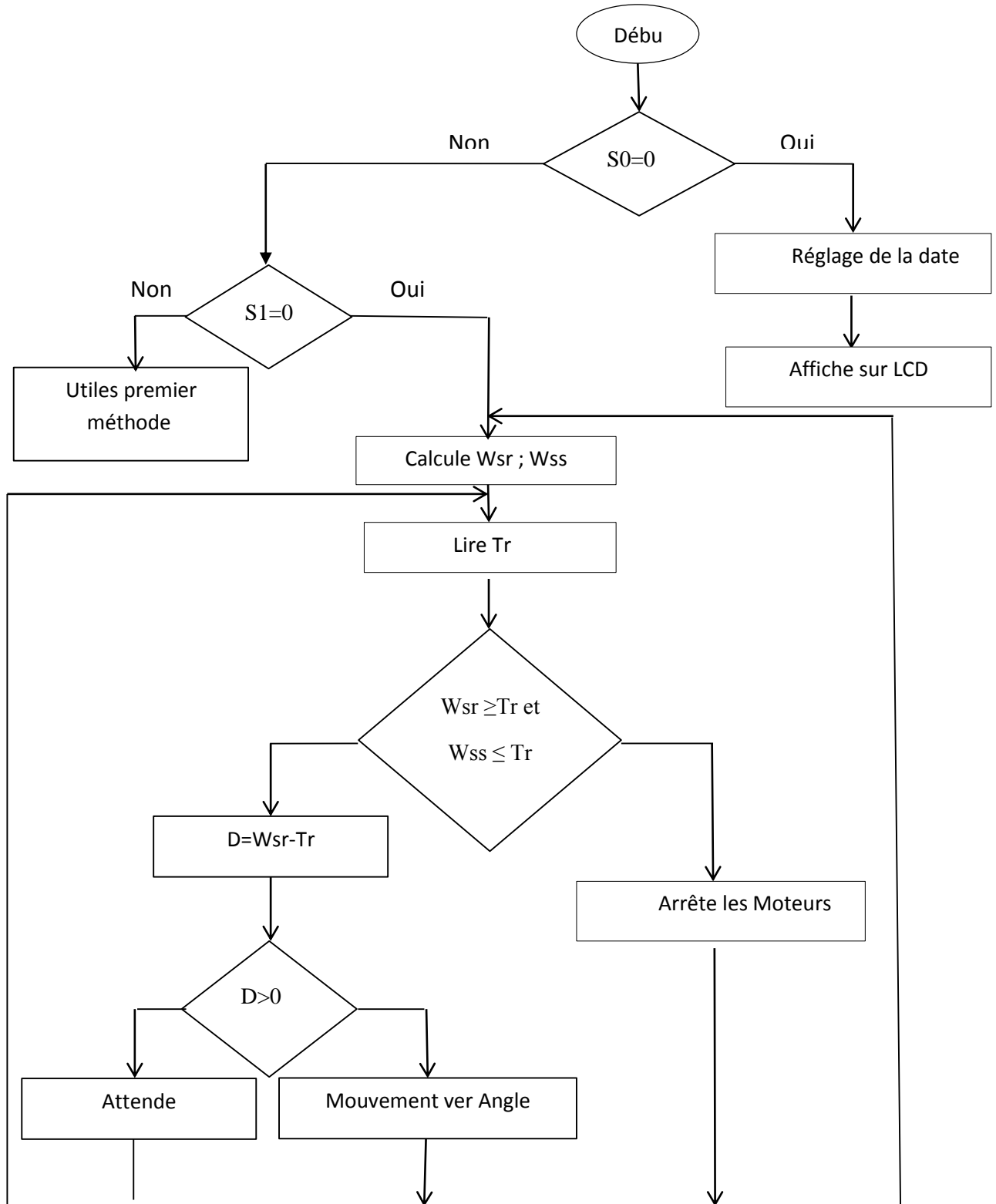


Figure 4.11. Organigramme en fonction programme préprogramme

b. Organigramme du programme de poursuite en fonction de LDR

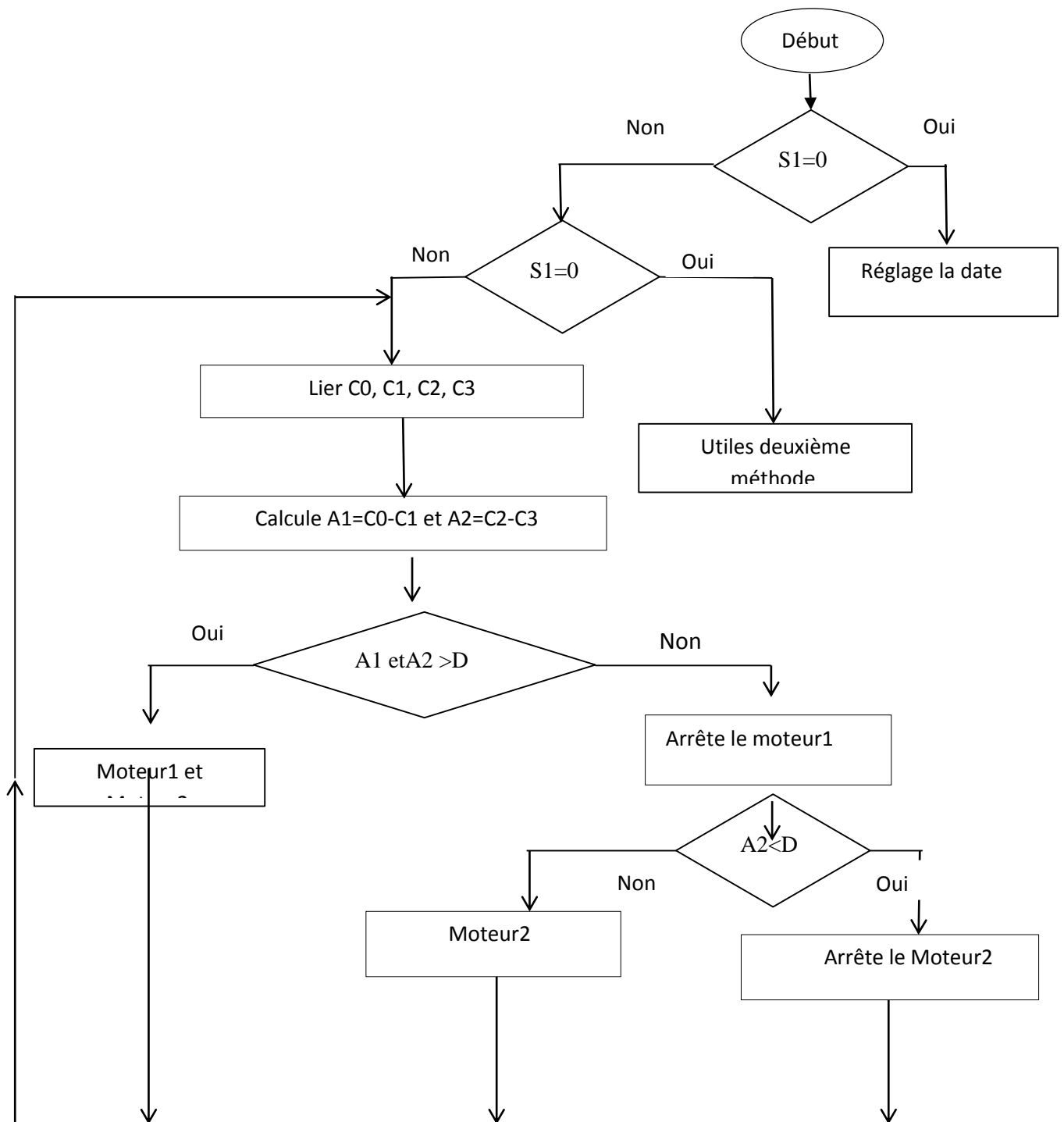


Figure 4.12. Organigramme du programme de poursuite en fonction de LDR

4.5 Montage et expériences des mesures

4.5.1 Conditions expérimentales

Le fonctionnement parfait du Concentrateur Cylindro-parabolique est lorsque le rayonnement solaire est parallèle à son axe. Nous avons choisi une période d'essais où notre dispositif soit dans un environnement à ciel clair, sans effet d'ombre. Notre expérience s'est déroulée durant deux jours différents, le 22/05/2024 et 26/05/2024, de 10 h 00 à 15 h. Les tests ont été déroulés de la manière suivante :

4.5.2 Installation du concentrateur

Au début, le concentrateur cylindro-parabolique sera pointé vers le soleil. Manuelle ou à l'aide d'un système de poursuite commandé, sera initialisé et dirigé sur la position du soleil depuis son lever. Les rayons du soleil seront reflétés au foyer du concentrateur cylindro-parabolique et formeront le segment solaire qui devrait apparaître sous le récepteur.

L'installation est composée du concentrateur cylindro parabolique solaire, d'un radiateur Aluminium 3 éléments de capacité de 1.5 litre. Le fluide caloporteur qui circule à l'aide d'une pompe transporte sa chaleur vers un radiateur, cette pompe assure l'écoulement dans le circuit. L'installations est dotée d'un Solarimètre pour mesurer l'éclairement solaire et des thermocouples pour mesurer les températures à l'endroit souhaité

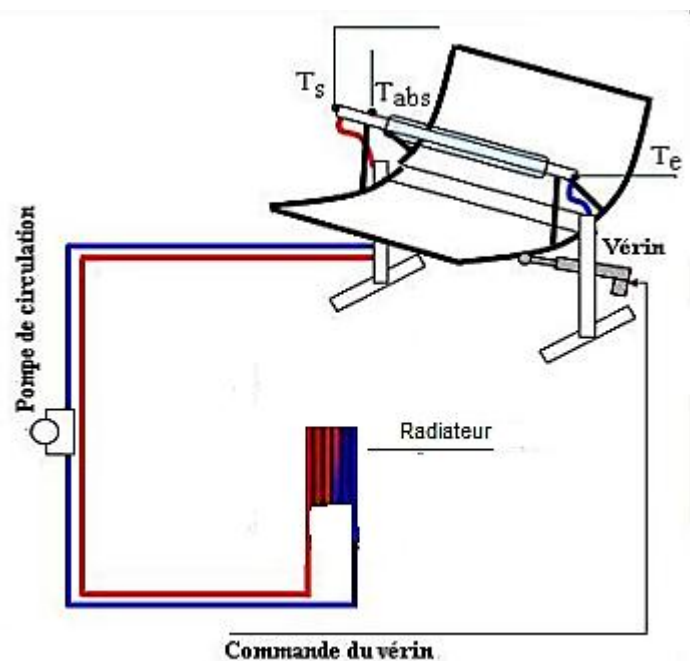


Figure. 4. 13. Schéma synoptique du système réalisé

Vue générale du prototype du concentrateur cylindro-parabolique avant le début de l'expérience figure 4. 14. avec une teste de mesure de la température.



Figure 4. 14. Vue générale du concentrateur cylindro-parabolique réaliser

4.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté réalisation de concentrateur cylindro-parabolique qui permet d'effectuer les différents éléments pour réalise prototype et pour augmente les rendements de concentrateur cylindro-parabolique réalisé un système poursuite solaire deux axe utilisé deux méthode pour commande.

Avec ce concentrateur, nous avons atteint une température de 250C et plus au foyer.

La réalisation d'un concentrateur cylindro-parabolique offre plusieurs avantages significatifs dans le contexte de l'utilisation de l'énergie solaire.

Ce concentrateur a des températures élevées, non polluant et amis à la nature, et source d'énergie gratuite.

Malheureusement, les conditions météorologiques n'étaient pas très favorables ces dernières semaines ce qui ne nous a empêché de faire plusieurs mesures aux différentes heures de la journée. Dans le chapitre suivant, nous allons présenter les résultats obtenus de notre travail.

Chapitre

5

Résultats et discussion

5.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons étudier la température qui atteint la surface de l'absorbeur (foyer) durant les journées du 22/05/2024 et 26/05/2024 pendant un intervalle de temps s'étalant de 10 h 00 à 15 h00.

Résultats de ces deux jours ont été pris toutes une demi-heure.

Les résultats ci-dessous représentent la variation de l'irradiation globale et la température ambiante figure 5.1, et 5.2 la vitesse de vent figure 5.2, la température du segment focal figure 5.3, et la température intérieure figure 5. 4 au cours des deux journées.

Quand on compare les résultats de ces deux journées, on remarque qu'il y a une identification avec un petit décalage, due soit par l'effet de la température ambiante ou l'irradiation globale ou la vitesse du vent.

5.2 Evolution de l'éclairement solaire globale

Les figures 5.1 et 5.2 montre la variation de l'éclairement solaire globale et la température ambiante mesurée à l'aide des données des métrologies sur un site durant deux jours. Nous déterminons l'emplacement (position) du foyer en recherchant l'endroit où on aura un segment focal. On remarque que le rayonnement solaire reçue à l'ouverture de la parabole est plus importante. Entre 10 h et 14 :00 h il y a une augmentation de l'irradiation, elle part généralement de 700 W/m² pour atteindre à midi 950 à 1000 W/m² comme une valeur maximale. On peut conclure que l'efficacité de système poursuite est importante durant le chauffage.

Nous remarquons que l'irradiation est maximale à 12h : 30mn ensuite diminuée à cause de vitesse de vent qui fait diminuer le rendement du récepteur (foyer). Le rendement de l'absorbeur décroît d'une façon remarquable le soir car le récepteur cède une grande partie de la chaleur au milieu extérieur à cause de la grande différence entre la température du récepteur et la température ambiante.

L'augmentation de la vitesse du vent qui augmente les pertes thermiques, fait diminuer la température externe du récepteur (foyer).

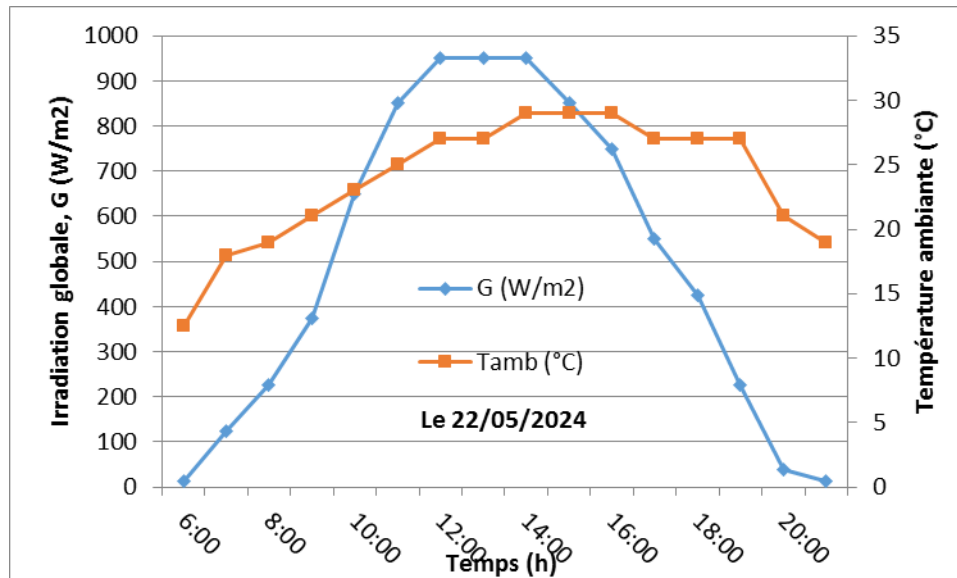


Figure 5.1. Variation de l'irradiation et la température ambiante mesurée le 22/05/2024

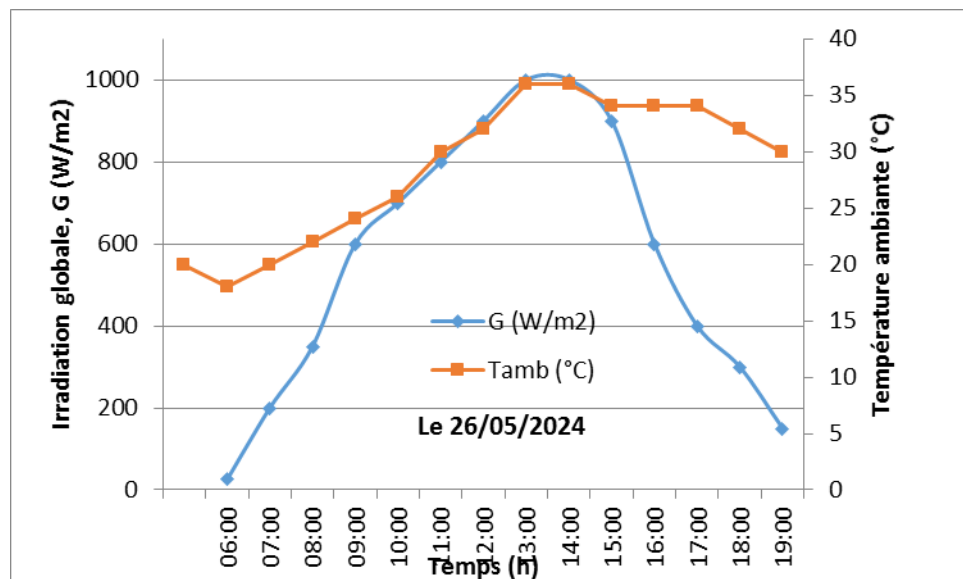


Figure 5.2. Variation de l'irradiation et la température ambiante mesurée le 26/05/2024

5.3 Evolution des températures

La figure (5.3) présente les fluctuations des températures d'entrée au fil des deux journées, nous observons une similitude marquée entre les températures d'entrée. Sur les deux jours considérés, les températures augmentent progressivement. Cette tendance est influencée par la température ambiante et, par conséquent, par les conditions météorologiques.

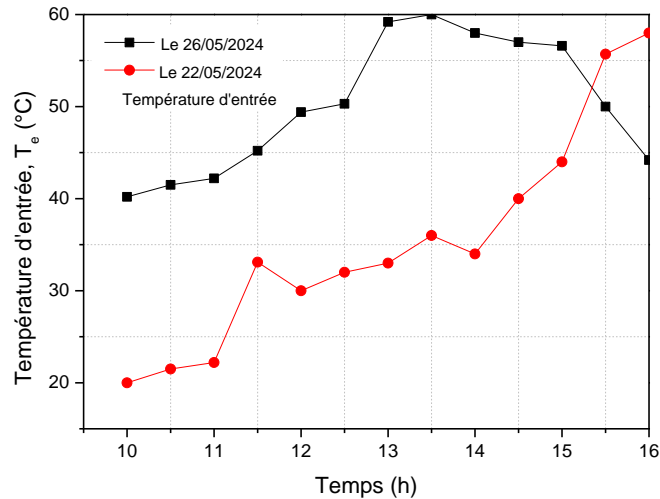


Figure 5. 3. Variations de température d'entrée au cours des deux journées

La Figure 5.4 illustre les variations de température de sortie au cours des deux journées. Il est logique de supposer que le débit devrait avoir un impact sur la température de sortie. Cependant, les conditions météorologiques ont manifestement exercé une influence plus significative. Les températures varient généralement entre 84 °C et 91,5 °C, à l'exception des baisses marquées observées lors de passages nuageux, où le rayonnement solaire diminue.

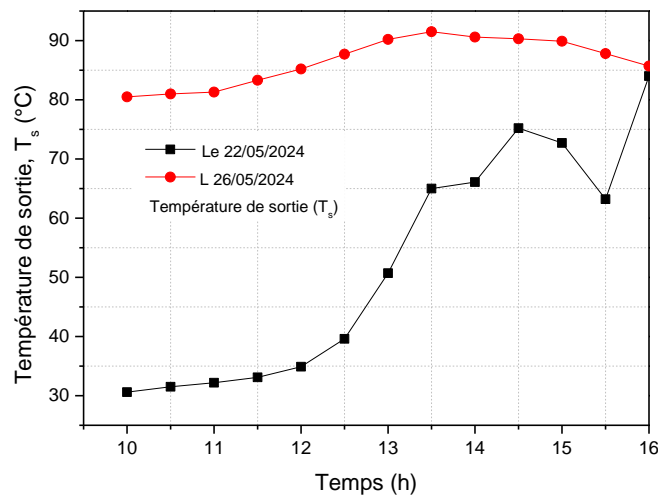


Figure 5. 4. Variations de température de sortie au cours des deux journées

5.4 Evolution de la puissance utile

La figure (5.5) illustre la variation de la puissance utile en fonction du temps. Cette puissance est directement liée au débit : plus le débit augmente, plus la puissance augmente également. Le concentrateur a atteint une puissance maximale de 77097,78 watts, avec un minimum d'environ 50903,1 watts enregistré le 26/05/2024, en raison de l'écart de température entre l'entrée et la sortie.

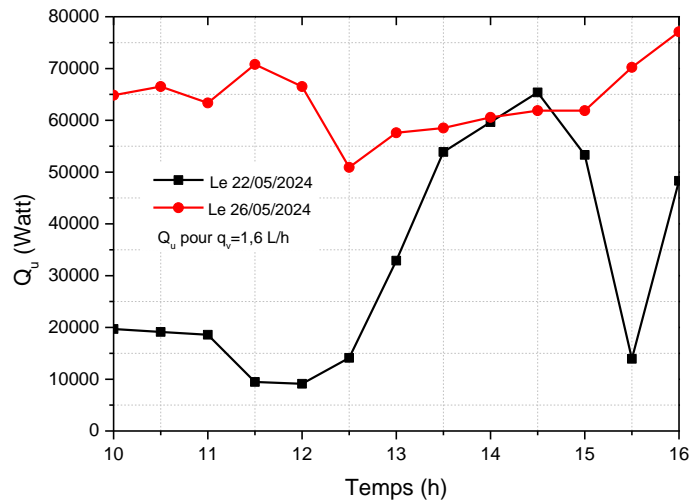


Figure 5. 5. Évolution de la puissance utile pendant les deux journées

5.5 Evolution du rendement

Le rendement du concentrateur dépend à la fois de l'intensité du rayonnement et de la différence de température entre l'absorbeur et l'air ambiant. Entre 12h00 et 15h00, la différence de température était minime, ce qui a entraîné un rendement maximal. Cette observation s'explique également par l'inertie thermique de l'installation, qui conservait sa chaleur et n'avait donc pas eu le temps de se refroidir malgré un passage nuageux important.

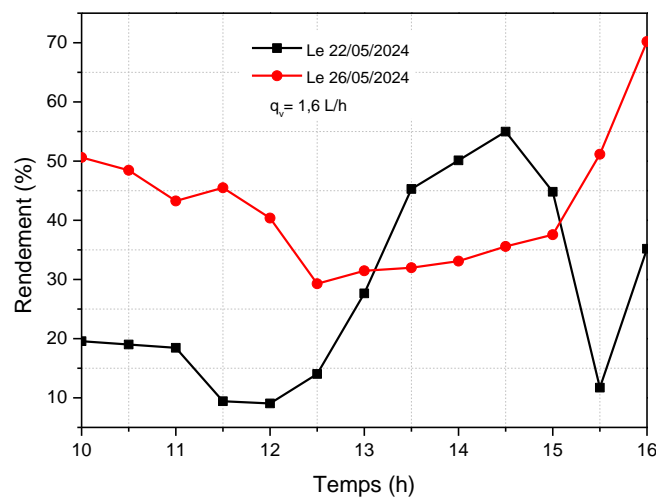


Figure 5. 6. Évolution du rendement pendant les deux journées

5.6 Prix de revient du cuiseur

Afin d'avoir une idée du coût du cuiseur solaire proposé, nous avons estimé les dépenses associées aux différents composants. La somme de ces dépenses nous donne le coût total de la construction d'un tel concentrateur.

Tableau 5-1 Liste du matériel

Objet	Quantités	Matière	Dimension	Prix en DA
Pompe de circulation	01	Eau chaud	1.6 m ³ /h	15000.00
Pompe à eau	01	eau	-	4000.00
Multicouche	01	-	15m Ø 16mm	1700.00
Vérins	02	Electrique	-	1500.00
Radiateur	03	-	-	1650.00
Raccordement d'un radiateur	7pts	-	-	2000.00
Parcomètre	01	-	-	500.00
Arcts	03	Acier	5 mm	2000.00
Tôle Miroir	02	Miroir	4mm	5000.00
Tube de cuivre	01	cuivre	1.5m Ø 20mm	1000.00
Des Raccords	20	cuivre	Ø 20	6000.00
Tube de fer carré	02	Fer	12 m	2000.00
Tube cylindrique creux	1	Métal	2 m	1000.00
			TOTAL	43350.00

5.7 Conclusion

Dans ce dernier chapitre on à faire l'analyse des résultats obtenus de notre concentrateur solaire. Nous avons montré avec ce cylindro-parabolique que la technologie solaire à concentration permet de transformer le rayonnement solaire en chaleur à un niveau de température élevé, avec un rendement élevé, et on a le teste par la production de l'électricité et la chaleur.

Conclusion générale

Cet étude consiste à étudier, et concevoir un concentrateur solaire à l'aide d'une cylindro-parabolique, alimenté par des réflecteurs suivent le mouvement du soleil afin d'obtenir les meilleurs résultats.

Le but de ce mémoire est que cette chaleur peut ensuite être utilisée dans des procédés industriels, pour les concentrateurs solaires, par exemple sous forme de vapeur d'eau, ou pour effectuer des transformations ou des synthèses de matériaux, ou bien être convertie en vecteurs énergétiques comme l'électricité ou l'hydrogène.

Notre travail est un concentrateur cylindro- parabolique repose sur le principe de la concentration des rayons : le faisceau de rayons parallèles du soleil se reflète sur le miroir parabolique et les rayons convergent en un même point (un segment), le foyer de la parabole. En heurtant un récipient sombre placé en ce point, les rayons vont libérer leur énergie sous forme de chaleur.

La réalisation d'un concentrateur cylindro-parabolique représente une avancée significative dans l'utilisation de l'énergie solaire pour répondre aux besoins en chaleur dans divers domaines.

Sur cette technologie, les concentrateurs cylindro-paraboliques offrent une efficacité énergétique élevée en concentrant la lumière solaire sur une petite surface, ce qui permet de produire des températures élevées et une grande quantité de chaleur. Ils peuvent être adaptés à une variété d'applications, allant de la production d'électricité à la génération de chaleur pour le chauffage résidentiel, industriel ou même pour des processus de transformation.

Cette technologie a été développée et testée sur le terrain, démontrant sa durabilité et sa fiabilité dans divers environnements.

En utilisant l'énergie solaire comme source de chaleur, les concentrateurs cylindro-paraboliques contribuent à réduire les émissions de gaz à effet de serre et à minimiser l'empreinte carbone, favorisant ainsi la transition vers des sources d'énergie plus propres et durables. Bien que les coûts initiaux d'installation puissent être élevés, les concentrateurs cylindro-paraboliques offrent des avantages économiques à long terme en réduisant les coûts de fonctionnement et en offrant une source d'énergie renouvelable stable et abordable.

En conclusion, la réalisation d'un concentrateur cylindro-parabolique représente une solution prometteuse pour exploiter efficacement l'énergie solaire et répondre aux besoins en chaleur dans divers secteurs, contribuant ainsi à la transition vers un avenir énergétique plus durable et écologique.

Avec ce concentrateur cylindro-parabolique, nous avons atteint des températures très élevées (plus de 100 °C).

Mais les résultats obtenus sont suffisants pour prouver que ce concentrateur cylindro-parabolique est capable de convertir l'énergie solaire en énergie thermique (si la journée est bien en solier). Ce concentrateur a des températures élevées, non polluant et amis à la nature, et source d'énergie gratuite.

Dans son état actuel, notre installation est limitée à une température maximale de 100°C en raison des nombreux défauts persistants. Pour envisager des températures plus élevées, plusieurs points doivent être revus :

1. **La conception de l'installation** : La conception de notre installation présente une erreur significative, principalement au niveau des arcs qui soutiennent la surface réfléchissante. Cette anomalie induit une légère déformation de la surface réceptrice, la rendant non seulement tordue mais également asymétrique. De manière conséquente, nous observons une distorsion de la ligne focale à une distance de 27 cm de l'extrémité du tube récepteur.
2. **surface réfléchissante** : Pour améliorer la performance de notre installation, il est recommandé d'envisager l'utilisation de miroirs ou de feuilles d'aluminium plutôt que de l'Alluco, un composite de plastique et d'aluminium, pour la surface réfléchissante. Ces matériaux offrent une réflectivité bien supérieure, ce qui permettrait d'optimiser la concentration des rayons solaires vers le récepteur.

3. **Angle et surface d'ouverture** : La limite de réception et de concentration du rayonnement solaire est principalement due à l'angle d'ouverture relativement restreint, ce qui se traduit par une surface d'ouverture réduite.

Pour accroître l'efficacité d'un concentrateur cylindro-parabolique, plusieurs solutions très efficaces sont envisageables, notamment :

- **Changer de fluide caloporteur** : Opter pour un changement de fluide caloporteur s'avère crucial. En remplaçant l'eau par un liquide présentant un point d'ébullition bien plus élevé, tel qu'un fluide caloporteur ne s'évaporant pas en dessous de 300°C, nous résolvons la problématique liée au changement de phase.
- **Longueur du concentrateur** : Allonger la longueur du concentrateur entraînerait inévitablement une distance de concentration plus grande, ce qui se traduirait par des températures plus élevées.
- **Tube modifié** : En modifiant l'intérieur du tube absorbeur pour y intégrer des ailettes, nous augmenterions la surface d'échange thermique, ce qui permettrait de transférer davantage d'énergie au fluide caloporteur. Cette amélioration potentielle pourrait considérablement augmenter la température de sortie du système.

Il serait également judicieux de recommander une étude de modélisation afin d'évaluer le plein potentiel théorique de l'installation. Cette approche permettrait de tester différents paramètres et de déterminer les configurations les plus efficaces pour optimiser les performances du système.

Résumé

Le travail effectué consiste en une étude expérimentale visant à convertir l'énergie solaire en énergie thermique à l'aide d'un concentrateur solaire parabolique orienté grâce à un système de suivi solaire. L'expérience a été réalisée avec un prototype de concentrateur et un récepteur en cuivre, ce dernier étant positionné au plan focal de la parabole pour recueillir l'énergie solaire concentrée. Après une étude théorique du sujet, nous avons établi un dimensionnement de la courbe parabolique suivie d'une simulation de son fonctionnement. Nous avons ensuite, après réalisation, procédé au montage des différents éléments du système notamment le concentrateur cylindro-parabolique avec sa structure porteuse et le circuit fermé du fluide caloporteur, ainsi que le dispositif mécanique de poursuite solaire avec ses cartes électroniques programmées. L'étude expérimentale fait intervenir un certain nombre de paramètres d'influence tel que la concentration géométrique et l'échange de chaleur entre l'ouverture de la parabole et l'ouverture du récepteur, cela permet d'évaluer la température au niveau du récepteur.

Ce modèle de concentration conduit à des niveaux de températures compris entre 84 °C et 100 °C.

Mots clés : Concentrateur parabolique, Rayonnement solaire, Réflecteur, Récepteur, Poursuite solaire, point focal.

Abstract

The work carried out consists of an experimental study aimed at converting solar energy into thermal energy using a parabolic solar concentrator oriented by a solar tracking system. The experiment was carried out using a prototype concentrator and a copper receiver, the latter positioned at the focal plane of the parabola to collect the concentrated solar energy. After a theoretical study of the subject, we established the dimensions of the parabolic curve, followed by a simulation of its operation. We then proceeded to assemble the various components of the system, in particular the parabolic trough concentrator with its supporting structure and the closed circuit for the heat transfer fluid, as well as the mechanical solar tracking device with its programmed electronic cards. The experimental study involves a number of influencing parameters, such as geometric concentration and heat exchange between the parabolic dish opening and the receiver opening, enabling the temperature at the receiver to be evaluated.

This concentration model leads to temperature levels of between 84°C and 100°C.

Keywords: Parabolic concentrator, Solar radiation, Reflector, Receiver, Solar tracking, Focal point.

المخلص

يتألف العمل الذي تم تنفيذه من دراسة تجريبية تهدف إلى تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية باستخدام مكثف شمسي مكافئ موجه بواسطة نظام تتبع شمسي. أجريت التجربة باستخدام نموذج أولي للمركز وجهاز استقبال نحاسي، حيث تم وضع الأخير عند المستوى البؤري للقطع المكافئ لتجميع الطاقة الشمسية المركزة. بعد دراسة نظرية للموضوع، حددنا أبعاد منحنى القطع المكافئ، ثم أجرينا محاكاة لتشغيله. ثم شرعنا بعد ذلك في تجميع المكونات المختلفة للنظام، لا سيما مكثف القطع المكافئ مع هيكله الداعم والدائرة المغلقة لسائل نقل الحرارة، بالإضافة إلى جهاز التتبع الشمسي الميكانيكي مع بطاقته الإلكترونية المبرمجة. تتضمن الدراسة التجريبية عددًا من البارامترات المؤثرة، مثل التركيز الهندسي والتبادل الحراري بين فتحة طبق القطع المكافئ وفتحة جهاز الاستقبال، مما يتيح تقييم درجة الحرارة عند جهاز الاستقبال. يؤدي نموذج التركيز هذا إلى مستويات درجة حرارة تتراوح بين 84 و100 درجة مئوية.

الكلمات المفتاحية: مُرَكِّز مكافئ، إشعاع شمسي، عاكس، جهاز استقبال، تتبع الطاقة الشمسية، نقطة بؤرية.