



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Mécanique

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Energétique

Réf. : Entrez la référence du document

Présenté et soutenu par :

BENZAF Khoudir
BSIKRI Abdelmalek

Le : dimanche 26 juin 2022

Détermination des performances énergétiques d'un concentrateur Cylindro- Parabolique : Etude expérimentale

Jury :

Dr	Mohamed Said CHEBBAH	MCA	Université de Biskra	Président
Dr	Kamel AOUES	MCA	Université de Biskra	Encadreur
Dr	Abdelouahed ALI OUALI	MCB	Université de Biskra	Examinateur

Année universitaire : 2021 - 2022

Dédicaces

Nous dédions cette mémoire.

A ma maman qui m'a soutenu et encouragé durant ces années d'études.

A mon père et ces conseils exceptionnels.

Qui trouvent ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

A mes frères, mes grandes parents, ma famille et ceux qui ont partagé avec moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail. Ils m'ont chaleureusement supporté et encouragé tout au long de mon parcours.

A tous mes amis.

Merci !

Remerciements

Je tiens à exprimer tous mes remerciements à mon cher encadreur, *Kamel AOUES*, pour son aide, ses conseils, et sa générosité tout au long de ce parcours.

Un grand merci à ma petite famille, mes frères, mes sœurs, mes chers parents pour leurs sacrifices, encouragement et soutien, merci infiniment à mon ami *Mahmoud kalfali* qui a été présent de moi dès le début de notre parcours, et qui a contribué à la réalisation de ce travail.

Nous sommes conscientes de l'honneur que nous a fait Dr. *Mohamed Said CHEBBAH* en étant président du jury et Dr. *Ali ou Ali* d'avoir accepté d'examiner ce travail. Nos remerciements s'adressent également à tous nos professeurs pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles. Nos profonds remerciements vont également à toutes les personnes qui ont contribué à la réussite de ce modeste travail.

Sommaire

Sommaire	i
Liste de figure	iii
Liste de tableau	iv
Nomenclature	v
Introduction générale	2

Chapitre 1: Généralités sur les concentrateurs solaires

1.1. Introduction	6
1.2. Généralité énergie solaire	6
1.3. Filières d'exploitation de l'énergie solaire	7
1.3.1. Energie solaire thermique	7
1.4. Les capteurs solaires	7
1.5. Différence entre les concentrateurs solaires	8
1.5.1. Concentration Ponctuelle	8
1.5.1.1. Centrales à tour	8
1.5.1.2. Les centrales à capteurs paraboliques (Plat/moteur)	9
1.5.2. Concentration linéaire	11
1.5.2.1. Collecteurs Fresnel Linéaires	11
1.6. Généralité concentrateur cylindro-parabolique	13
1.6.1. Réflecteurs cylindro-paraboliques	13
1.6.2. Système de transfert de chaleur et de génération électrique	16
1.6.3. Principe de fonctionnement	17

Chapitre 2 : Etude théorique et expérimental du Concentrateur Cylindro-Parabolique

Partie Théorique

2.1. Introduction	19
2.2. Montage d'un capteur cylindro-parabolique	19
2.3. Technologie à capteur cylindro-parabolique	20

2.4. Système de centrale à tour	20
2.5. Géométrie parabolique	22
2.6. Les composant d'un concentrateur solaire parabolique	25
2.6.1. Paraboloïde	25
2.7. La concentration	27
2.7.1. Ouverture du concentrateur	27
2.7.2. le concentrateur géométrique	27
2.7.3. la limite du concentrateur	28
2.7.4. le système optique d'une surface parabolique	28
2.8. Dimension du récepteur	29
2.9. suiveur sans capteur du concentrateur	33

Partie expérimentale

2.10 les tapes de travail	35
2.11. les outils de travail et mesure	38

Chapitre 3 : Résultat et discussion

3.1. Introduction	41
3.2. Données du lieu	41
3.3. Position du concentrateur	41
3.4. Résultats et discussions	41
3.4.1. La concentration	41
3.4.2. Evolution de l'éclairement solaire et la température ambiante	42
3.4.3. Evolution de la vitesse du vent	44
3.4.4. Evolution de la température ambiante et de fluide à la sortie	45
Conclusion et Perspectives	49
Références Bibliographiques	51

Liste de figure

Figure 1.1: La centrale Germasolar, Séville	3
Figure 1.2: Capteur parabolique “Dish-stirling” à Phoenix, Arizona.....	4
Figure 1.3 :Collecteur Fresnel Linéaire	6
Figure 1.4:Tuyau non-évacué	7
Figure 1.5:Tuyau évacué	8
Figure 1.6: Tuyaux parallèles	8
Figure 1.7:Centrale Fresnel.....	9
Figure 1.8 Concentrateur cylindro-parabolique	10
Figure 1.9:Principe de fonctionnement des centrales avec miroirs de Fresnel(Les rayons réfléchis par les miroirs vont vers le tube récepteur)	12
Figure 1.10: Schéma de principe d'une turbine	13
Figure 1.11: Capteur cylindro-parabolique de la centrale de Nevada Solar One	14
Figure 1.12: Le capteur cylindro-parabolique fournissant de l'énergie électrique à partir d'énergie thermique.....	14
Figure 1.13:Centrale solaire Andasol 1 en Andalousie(Espagne).	15
Figure 2.1 : Montage d'un capteur cylindro- parabolique	16
Figure 2.2 : Géométrie d'un concentrateur cylindro-parabolique	17
Figure.2.3:Schéma de système héliostat	19
Figure 2.4: système heliostat	19
Figure.2.5: Parabole.....	20
Figure 2.6: Segments de parabole ayant le même foyer et le même diamètre d'ouverture	21
Figure 2.7: Paraboloïde.....	24
Figure.2.8:Tube absorbeur	26
Figure.2.9: Schéma du soleil à la température T_s à la distance R d'un capteur à concentration de surface d'ouverture A_0 et de récepteur A_t [11]Le flux rayonné par le soleil et intercepté par la surface d'ouverture	27
Figure.2.10: Système optique d'une surface parabolique.....	29
Figure.2.11:L'image ellipse.....	30
Figure.2.12: Réflexion d'un rayon parallèle.....	31
Figure 2.13: représente un concentrateur cylindro-parabolique équivalent.....	36
Figure2.14: La première étape.....	37
Figure2.15: La deuxième étape	38
Figure2.16: La troisième étape	38
Figure2.17: La quatrième étape	39
Figure2.18: Les outils de travail	40
Figure 3.1 : Evolution du rayonnement solaire et température ambiante de la journée du 30/05/2022.....	42
Figure 3.2 : Evolution du rayonnement solaire et température ambiante de la journée du 31/05/2022.....	42
Figure 3.3 : Evolution du rayonnement solaire et température ambiante de la journée du 01/06/2022.....	43
Figure 3.4 : Evolution du rayonnement solaire et température ambiante de la journée du 02/06/2022.....	43
Figure 3.5 : Evolution de la vitesse du vent le long de la journée du 30/05/2022.....	44
Figure 3.6 : Evolution de la vitesse du vent le long de la journée du 31/05/2022.....	45
Figure 3.7 : Evolution de la vitesse du vent le long de la journée du 01/06/2022.....	45
Figure 3.8 : Evolution de la vitesse du vent le long de la journée du 02/06/2022.....	46
Figure 3.9 : Evolution de la température ambiante et de fluide de la sortie du 30/05/2022.....	47
Figure 3.10 : Evolution de la température ambiante et de fluide de la sortie du 31/05/2022.....	47
Figure 3.11 : Evolution de la température ambiante et de fluide de la sortie du 01/06/2022.....	48
Figure 3.12 : Evolution de la température ambiante et de fluide de la sortie du 02/06/2022.....	48

Liste de Tableau

Tableau 2.1 Caractéristiques géométriques du réflecteur.	35
Tableau 2.2 : Les caractéristiques du foyer.	37

Nomenclature

- F : La distance focale.
- P: Distance entre la courbe de la parabole et le foyer.
- Ψ : L'angle d'ouverture.
- D : Diamètre de l'ouverture de la parabole.
- H : La profondeur de la parabole.
- S : La longueur d'arc d'une parabole.
- A0: Surface d'ouverture.
- L : Longueur d'ouverture.
- A_x: Surface d'une cylindro-parabolique.
- A0: La concentration optique.
- C : Le coefficient de concentration solaire.
- A_t : La surface de la tache solaire focalisée le long de ligne focale.
- c_g : La concentration géométrique.
- M_{air}: Masse d'air.
- C_{air}: Chaleur massique d'air.
- M_r: Masse du récepteur.
- C_r: Chaleur massique du récepteur.
- Q_u: Puissance utile.
- Q_a: Puissance solaire absorbée par le récepteur.
- Q_p: Puissance correspondant aux pertes thermiques.
- ds : La longueur différentielle de l'arc de la parabole.
- A_a: Surface d'ouverture du paraboloïde.
- I_b: Puissance reçue à l'ouverture de paraboloïde.
- H_{op} : Rendement optique du concentrateur.
- ρ Masse volumique de l'eau.
- τ : Coefficient de transmission du récepteur.
- α : Coefficient d'absorption du récepteur.
- Q_p : Puissance correspondant à la perte thermique.
- Q_{p.cv} : Pertes par convection.

Q p.r : Pertes par rayonnement.

Q p.cd : Pertes par conduction.

A_y : Surface d'ouverture du récepteur.

Tr: Température du récepteur.

H : Coefficient de transfert par rayonnement

C_{vH} : Coefficient de transfert par convection

K_{v.r}: Coefficient global des pertes

T : Temps

M_w : Masse d'air

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

L : Longitude

F : Latitude

C : Altitude

W_s : Angle horaire de couché du soleil

W : Angle horaire

S : Constante de Stefan -Boltzmann

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 récepte

Nombres adimensionnels

Re : Nombre de Reynolds.

Pr : Nombre de Prandtl.

Nu : Nombre de Nusselt.

Résumé

Le travail réalisé consiste en une étude expérimentale de conversion de l'énergie solaire en énergie thermique à l'aide d'un concentrateur solaire cylindro-parabolique, CCP, orienté à l'aide d'un système de suivi du soleil. L'expérience a été réalisée sur un CCP. La tache focale et un dispositif de mesure de température situé dans le plan focal de la tache focale pour mesurer la température. Le CCP développé fait intervenir un certain nombre de paramètres tels que le rayonnement solaire moyen mensuel qui permet d'estimer le rayonnement direct au niveau du réflecteur, la concentration géométrique et l'échange thermique entre l'ouverture du cylindre parabolique et l'ouverture du foyer, permettant la température à évaluer au foyer. Ce modèle de concentration conduit à des niveaux de température compris entre 99°C et 120°C.

Mots clés : Rayonnement solaire, Transfert de chaleur, Concentrateur cylindro-parabolique (CCP), La cheminée, Réflecteur, Plan focal.

Abstract

The work carried out involves an experimental study to convert solar energy into thermal energy using a cylindro-parabolic solar concentrator, CCP, oriented using a sun tracking system. The experiment was carried out on a CCP. The focal spot and a temperature measuring device located in the focal plane of the focal spot to measure the temperature. The CCP developed involves a number of parameters such as the monthly mean solar radiation which allows us to estimate the direct radiation at the reflector level, the geometric concentration and the heat exchange between the opening of the cylinderparabolic and the opening of the hearth, allowing the temperature to be assessed at the hearth. This concentration model leads to temperature levels between 99°C and 120°C.

Keywords: Solar radiation, Heat transfer, Cylindro-parabolic concentrator (CCP), The fireplace, Reflector, Focal plane.

ملخص

يتضمن العمل الذي تم تنفيذه دراسة تجريبية لتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية باستخدام مكثف شمسي أسطواني مكافئ ، CCP ، موجه باستخدام نظام تتبع الشمس. تم إجراء التجربة على CCP. النقطة البؤرية وجهاز قياس درجة الحرارة الموجود في المستوى البؤري من النقطة البؤرية لقياس درجة الحرارة. تتضمن CCP المطورة عددًا من المعلمات مثل متوسط الإشعاع الشمسي الشهري الذي يسمح لنا بتقدير الإشعاع المباشر على مستوى العاكس ، والتركيز الهندسي والتبادل الحراري بين فتح الأسطوانة وفتح الموقد ، مما يسمح يتم تقييم درجة الحرارة في الموقد. يؤدي نموذج التركيز هذا إلى مستويات حرارة تتراوح بين 99 درجة مئوية و 120 درجة مئوية.

الكلمات المفتاحية: الإشعاع الشمسي ، انتقال الحرارة ، المكثف الأسطواني المكافئ (CCP) ، الموقد ، العاكس ، المستوى البؤري.

Introduction Général

Introduction générale

Aujourd'hui, l'énergie solaire rime avec écologie. Les technologies permettant de mettre à profit les rayons du soleil pour en faire de l'énergie, ont énormément évolué ces dernières années.

Le soleil est une source infinie d'énergie et dont nous pouvons bénéficier en abondance. Et ce, pour très longtemps ! Cette énergie passive est simplement captée par des panneaux solaires ou photovoltaïques. Voyons maintenant en détail ce qu'est l'énergie solaire et les différents types.

L'énergie solaire est une source d'énergie qui est dépendante du soleil. Cela signifie que la matière première est le soleil.

Elle se place dans la catégorie des énergies renouvelables puisqu'on la considère comme inépuisable.

On dit aussi que c'est une énergie 100% verte car sa production n'émet pas directement de CO₂.

Grâce à cette énergie, il est possible de produire de l'électricité. Elle sera captée par des panneaux solaires ou des centrales thermiques. Ces installations captent les rayons produits par le soleil. Elles convertissent ensuite l'énergie du soleil en électricité.

Plus précisément, le principe est de transformer l'énergie portée par les photons dans la lumière, en électricité.

C'est là que rentre en jeu la cellule photovoltaïque : lorsqu'elle est exposée à la lumière, elle absorbe l'énergie des photons lumineux. Ces derniers génèrent un courant électrique continu qui sera converti en courant alternatif à l'aide d'un onduleur.

Cette électricité produite peut être immédiatement employée pour faire fonctionner vos appareils ou vous éclairer.

Le saviez-vous ? C'est en 1839 qu'Antoine Becquerel a découvert que les matériaux semi-conducteurs étaient capables de transformer l'énergie solaire en électricité ? C'est ce que l'on nomme l'effet photovoltaïque. [1]

Fonctionnant depuis 5 milliards d'années, le soleil libère d'énormes quantités d'énergies qui, après avoir parcouru une distance d'environ 150 millions de kilomètres atteignent la surface de la Terre avec une puissance moyenne d'environ 1.000 W/m². Au final, l'énergie solaire qui frappe la Terre est 10.000 fois supérieure à la demande énergétique globale de la population et selon les astronomes cela durera encore 5 autres milliards d'années. Autant dire qu'à l'échelle humaine, l'énergie solaire est inépuisable !

Cependant cette énergie solaire est inégalement répartie à la surface de la Terre et sujette à des variations saisonnières. Près de l'équateur, l'ensoleillement annuel peut atteindre 2.300 kWh/m²/an soit deux fois l'ensoleillement moyen en Europe (1.100 kWh/m²/an). Des variations existent également en France en fonction de la latitude. Ainsi, Calais reçoit en moyenne environ 3 kWh/m² par jour alors que Toulon reçoit plus de 5,2 kWh/m² et par jour. Ces valeurs varient tout au long de l'année en fonction des saisons avec évidemment un maximum en été.⁸

Le potentiel de l'énergie solaire en fait une source d'énergie renouvelable prometteuse. On peut profiter de sa chaleur et de sa lumière pour récupérer des calories et produire de l'électricité tout en émettant moins de pollution comparativement aux sources fossiles.

Par rapport aux autres sources renouvelables, le solaire offre un avantage particulier : il est exploitable sur l'ensemble de la surface du globe. Cependant, l'équipement de production doit être installé à proximité du lieu de consommation afin de minimiser les pertes. Ajoutons qu'il est totalement modulable : la taille des installations peut être facilement ajustée selon les besoins ou les moyens.

Pendant sa phase d'utilisation, l'installation reste statique et silencieuse, ne provoque pas de pollution directe ou indirecte (émissions atmosphériques ou liquides, produits de nettoyage), génère peu de déchets et n'induit que de faibles perturbations pour l'environnement de proximité (éventuelle réverbération). En outre, l'économie moyenne de CO₂ est estimée à 0,6 kg par kilowattheure solaire produit par rapport à une énergie fossile. La maintenance et les réparations pour ces installations sont réduites, pour peu que l'on suive un entretien régulier (nettoyage des capteurs, suivi de la pression, état éventuelle des batteries, etc.).

Durant leur phase de fabrication, les équipements solaires ont toutefois un impact sur l'environnement. Mais selon l'Observatoire des Energies Renouvelables Observ'Er, en France, selon l'irradiation solaire, une cellule rembourse en deux à cinq ans son « énergie

grise », c'est-à-dire celle qui a été nécessaire à sa fabrication (cadre, câble et supports compris).

En fin de vie, la plupart de ses composants (verre, aluminium, silicium, métal) peuvent être recyclés.

Tous ces avantages font qu'aujourd'hui le solaire s'est fait une place au sein des sources d'énergies et constitue désormais une véritable filière industrielle. [2]

Chapitre 01

Généralités sur les concentrateurs solaires

Chapitre 01

Généralités sur les concentrateurs solaires

1.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous discuterons du concept général de l'énergie solaire thermique et de la manière dont elle est exploitée dans plusieurs complexes, où vous découvrirez certains d'entre eux et leurs composants les plus importants, leurs avantages et leurs inconvénients.

L'énergie solaire est l'une des ressources naturelles les plus importantes et l'une des meilleures énergies renouvelables car ses rayons solaires sont convertis en énergie thermique et cette dernière est convertie en énergie électrique.

1.2. Généralités énergie solaire :

Le soleil est une gigantesque source d'énergie disponible en permanence : c'est un énorme « four » qui « brûle » de l'hydrogène depuis 4,6 milliards d'années. Quand les atomes d'hydrogène fusionnent, des atomes plus lourds se forment en libérant beaucoup d'énergie sous forme de chaleur et de rayonnement : c'est la fusion nucléaire. Le soleil est donc un immense réacteur nucléaire.

1.3. Filières d'exploitation de l'énergie solaire:

Actuellement il existe 2 voies d'utilisation directe de l'énergie solaire :

- la transformation du rayonnement en chaleur
- la transformation du rayonnement en électricité

Ces transformations ont permis le développement de 3 filières d'exploitation :

- pour la chaleur : l'énergie solaire thermique
- pour l'électricité : l'électricité solaire thermodynamique
- pour l'électricité : l'électricité solaire photovoltaïque.

1.3.1. Energie solaire thermique :

Dans cette filière il y a plusieurs applications : le chauffage de l'eau sanitaire, le chauffage des locaux, le chauffage des piscines.

L'objectif est ici de transformer en énergie calorifique les photons solaires. Pour cela on utilise des « capteurs thermiques » constitués de matériaux fortement absorbants.

Ces capteurs absorbent les photons solaires et les transforment en chaleur qui est ensuite transportée vers un réservoir de stockage au moyen d'un liquide ou d'un gaz (appelé « caloporteur »). De manière pratique le fonctionnement est le suivant : le rayonnement traverse une vitre qui laisse pénétrer la lumière et retient la chaleur (effet de serre) et est capté par une surface absorbante. La chaleur ainsi absorbée est ensuite récupérée grâce à un fluide caloporteur circulant sous la surface absorbante. La température du fluide peut alors atteindre 80°C, voire 100°C ; un matériau isolant thermiquement est placé à l'arrière de la surface absorbante pour limiter les pertes calorifiques. Le caloporteur transmet la chaleur à un ballon d'eau chaude ou à un hydro-accumulateur pour la production d'eau chaude sanitaire ou à un plancher solaire (le fluide caloporteur est alors injecté directement dans le plancher des bâtiments entre 25 et 30°C) pour le chauffage de la maison. Les développements technologiques en cours semblent ouvrir une voie prometteuse en associant trois fonctions dans le même capteur (en toit en face sud) : couverture, production thermique et production électrique.

- **Avantages :**

L'énergie solaire thermique est une énergie propre, abondante et gratuite.

- **Inconvénients :**

C'est une énergie intermittente. On peut l'obtenir uniquement s'il y a du soleil et en journée. Il faut pouvoir la Stocker et l'appoint d'une autre forme d'énergie est nécessaire pour les périodes climatiques les plus défavorables. [3]

1.4. Les capteurs solaires :

Le capteur solaire est un appareil qui absorbe les rayons du soleil pour les **transformer en électricité**. Pour faciliter sa pose et la capture du flux solaire, il se présente le plus

souvent sous la forme d'un panneau plat, d'une surface moyenne de 1 m². **Ce n'est ni plus ni moins qu'un panneau solaire !**

Il existe deux types de capteurs solaires :

- **Le capteur solaire thermique** qui absorbe le rayonnement solaire pour le convertir en énergie thermique transmise grâce à un fluide caloporteur. Il permet d'alimenter votre réseau de **chauffage central**.
- **Le capteur solaire photovoltaïque** qui absorbe l'énergie solaire afin de la transformer en énergie électrique. [4]

1.5. Différence entre les concentrateurs solaires:

1.5.1. Concentration Ponctuelle :

1.5.1.1. Centrales à tour :

Ce type de concentration est constitué de nombreux miroirs concaves concentrant les rayons vers une chaudière située au sommet d'une tour centrale. Les miroirs uniformément répartis sont appelés héliostats. Ce type de concentration nous permet d'atteindre des températures importantes, de 800°C à 1000°C. La puissance maximale peut varier entre 1.5 MW (Jülich Solar Tower en Allemagne) et 600 MW (Ivanpah Solar Power Facility aux Etats-Unis). Le rendement total est approximativement 17% (Chiffre pris de la centrale PS10 en Espagne). [5]



Figure 1.1: La centrale Gemasolar, Séville [5]

- **Avantage:**

Ce type de concentration a une haute efficacité de conversion et une température potentielle au-delà de 1000°C.

-Stockage à une température haute.

-Il est possible d'effectuer de l'opération hybride.

- **Inconvénients:**

L'investissement et le coût exigé sont importants, et il n'est pas pratique pour la commercialisation.

1.5.1.2. Les centrales à capteurs paraboliques (Plat/moteur):

Ce système convertit l'énergie thermique du rayonnement solaire en énergie mécanique, puis en énergie électrique de la même manière que les centrales classiques convertissent l'énergie thermique provenant de la combustion d'un combustible fossile en l'électricité. Il utilise un réseau de miroirs pour réfléchir et concentrer le rayonnement direct entrant à un récepteur, afin d'atteindre les températures nécessaires pour convertir efficacement la chaleur à travailler. Cela exige que le miroir suive le soleil dans deux axes. Le rayonnement solaire concentré est absorbé par le récepteur et transféré à un moteur. La centrale à capteurs paraboliques entraîne un rendement haut de l'énergie solaire à électricité (entre 31% et 32%), sa puissance varie entre 10MW et 100MW. [5]



Figure 1.2 : Capteur parabolique "Dish-stirling" à Phoenix, Arizona. [5]

1.5.1.2.1. Les composantes importantes:

A– Concentrateur:

Le concentrateur solaire est composé d'une surface réfléchissante de verre ou de plastique et concentre le rayonnement incident à son foyer. Sa taille dépend évidemment de la puissance solaire requise. Comme ordre de grandeur, on peut considérer qu'un concentrateur de 10 m de diamètre peut fournir jusqu'à 25 KW d'électricité sous un rayonnement de 1000 W/m². Le concentrateur possède deux degrés de liberté afin de suivre efficacement le soleil. Ce suivi est effectué de façon tout à fait autonome, contrairement aux capteurs cylindro-paraboliques.[3]

B– Récepteur:

Le récepteur absorbe l'énergie réfléchiée par le concentrateur et la transfère au fluide thermodynamique. La température de la source chaude peut être adaptée en plaçant le récepteur plus ou moins loin du foyer du collecteur afin de réduire l'intensité du rayonnement lui parvenant.

Il existe deux types généraux de récepteurs, les récepteurs Stirling-éclairage direct (direct-illumination receiver, DIR) et les récepteurs indirects qui utilisent un fluide caloporteur intermédiaire.

- **Les Avantages:**

Les systèmes plats / moteur sont caractérisés par une grande efficacité, modularité, autonomie de fonctionnement, et une capacité inhérente hybride (la capacité à fonctionner sur l'énergie solaire ou un combustible fossile, ou les deux). De toutes les technologies solaires, les systèmes plats / moteur ont montré la plus grande efficacité de conversion solaire électrique, et donc le potentiel pour devenir l'une des sources les moins chères de l'énergie renouvelable. La modularité des systèmes plats / moteur leur permet d'être utilisés individuellement pour des applications à distance, ou regroupés pour une petite grille (puissance de village) ou des applications de services publics de fin de ligne. Les systèmes plats / moteur peuvent aussi être hybridés avec un combustible fossile pour fournir la puissance.

Inconvénients:

Cette technologie est en phase de développement d'ingénierie et de défis techniques restent concernant les composants solaires et la disponibilité commerciale d'un moteur.

1.5.2 Concentration linéaire:

1.5.2.1 Collecteurs Fresnel Linéaires:

Un facteur de coût important dans la technologie des collecteurs cylindro-paraboliques est la mise en forme du verre pour obtenir la forme parabolique requise.

Afin de diminuer ce coût, plusieurs groupes de recherche travaillent sur des prototypes de collecteurs de Fresnel à focalisation linéaire. L'idée est d'approximer la forme parabolique du collecteur par une succession de miroirs plane (comme indiqué sur la figure). La puissance atteinte varie entre 5MW (Kimberlina Solar Thermal Energy plant, Californie) et 30MW (Puerto Errado 2, Espagne) avec un rendement maximal de 38% (Puerto Errado 2). [5]

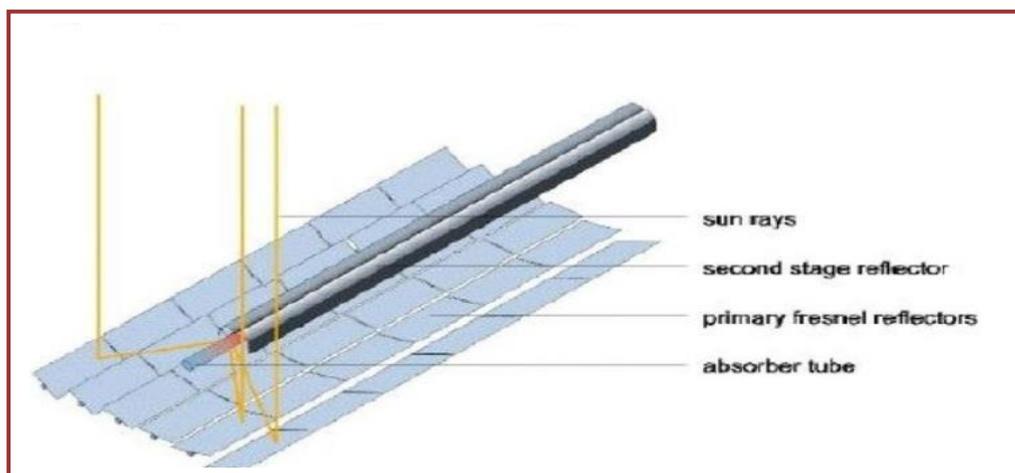


Figure 1.3 : Collecteur Fresnel Linéaire.[5]

- **Les composantes importantes :**

- A- Les réflecteurs:**

Un premier étage de réflecteurs est installé sur le sol. Le rayonnement est réfléchi au foyer de la parabole approximée par le jeu de miroirs. Un deuxième étage de réflecteurs redirige le rayonnement vers le tube récepteur.

Ce second étage de réflecteurs, en plus de réfléchir le rayonnement, joue aussi le rôle d'isolant pour le tube récepteur. Il est en effet recouvert d'une importante couche d'isolation en sa partie supérieure. La partie inférieure est quant à elle isolée par une vitre.

- B- Les récepteurs:**

- Le tuyau non-évacué, avec un miroir secondaire:** Recouvert de verre afin de diminuer les pertes de chaleur.

Le tuyau évacué, avec un miroir secondaire : Pas de verre autour du tuyau
rendement optique légèrement inférieur par rapport à celui du tube non évacué. [5]

Plusieurs tuyaux parallèles : Recouverts de verre afin de diminuer les pertes de chaleur.

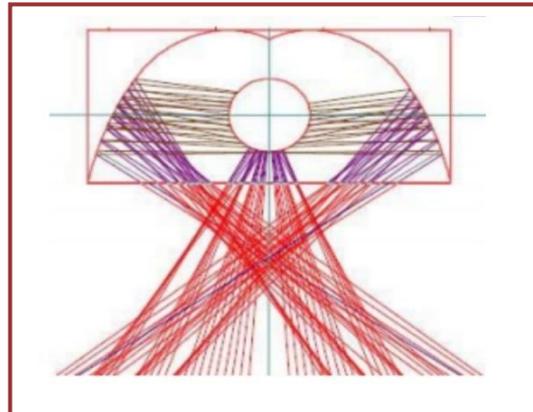


Figure 1.4 : Tuyau non-évacué [5]

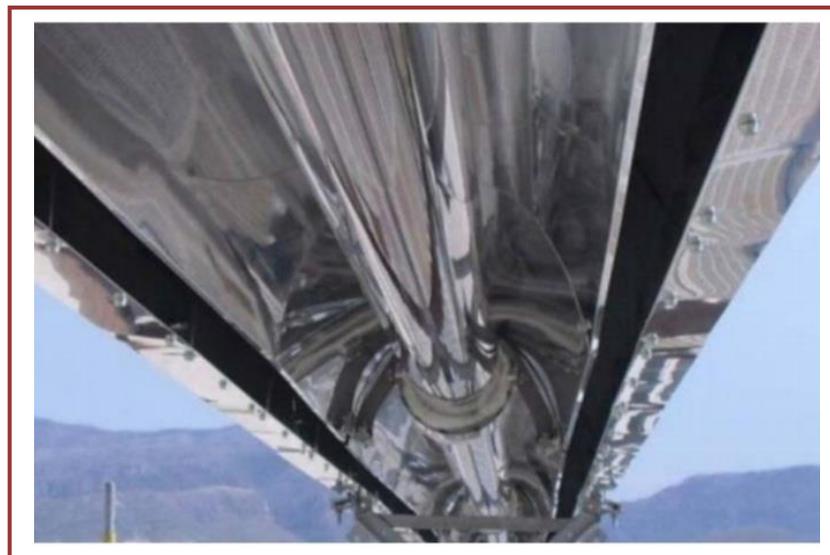


Figure 1.5 : Tuyau évacué [5]

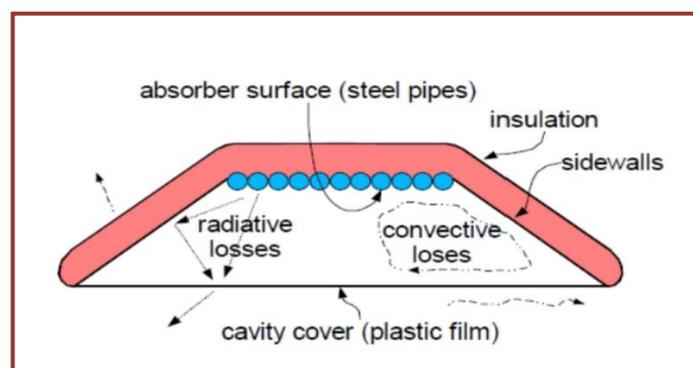


Figure 1.6 : Tuyaux parallèles. [5]

- **Avantage:**

- Moins de miroirs utilisés.
- Pas de vide à l'intérieur du tube récepteur, ce qui facilite sa conception et sa durabilité.
- Les contraintes mécaniques dues à la poussée du vent sont réduites par la disposition plane des miroirs.
- Réduction du coût de la construction en raison d'un assemblage rapide.
- Faible risque d'entraîner des dommages.
- L'utilisation des terres est plus efficace. [5]

- **Inconvénients:**

- La performance optique est inférieure par rapport au miroir cylindro-parabolique.
- Un miroir secondaire est souvent demandé.
- Période d'opération moindre.



Figure 1.7 : Centrale Fresnel [5]

1.6.Généralité concentrateur cylindro-parabolique:

Etude des différents types de concentrateurs. Passage de l'énergie thermique à l'énergie électrique :

1.6.1. Réflecteurs cylindro-paraboliques :

Les centrales à réflecteur cylindro-parabolique:

Le réflecteur cylindro-parabolique est un capteur solaire à concentration à foyer linéaire qui utilise un réflecteur cylindrique de section parabolique : c'est le concentrateur le moins récent

et le plus utilisé. En effet, de nombreuses installations ont déjà vu le jour et ont déjà été commercialisées depuis 1980 dans le monde.

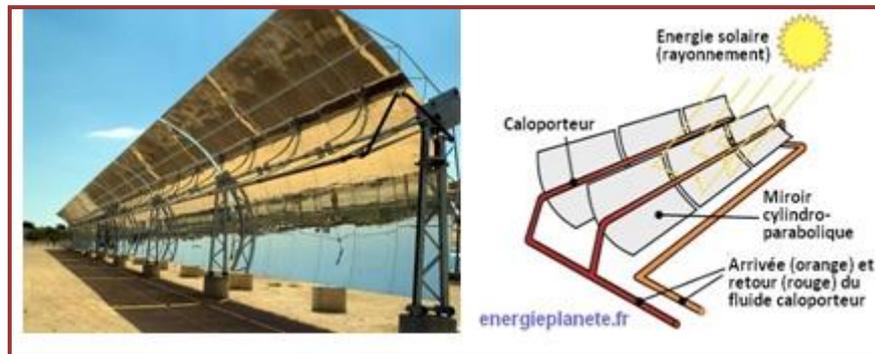


Figure 1.8 : Concentrateur cylindro-parabolique. [6]

Dans ce type de centrale, les miroirs réflecteurs sont alignés parallèlement et tournent autour d'un axe horizontal pour suivre la course du soleil et collecter le plus de rayon possible. Ces rayons sont ensuite concentrés sur un tube horizontal, dans lequel circule un fluide colporteur qui peut atteindre une température de 500°C. Ce fluide servira à transporter la chaleur vers la centrale elle-même. L'énergie récoltée par ce fluide est transféré à un circuit d'eau, la vapeur alors produite actionne une turbine qui produit de l'électricité.

Comme nous venons de la voir, ce type de centrale est généralement composé de trois parties principales: le champ solaire, le système de transfert de la chaleur et le système de génération électrique.

Le champ solaire :

Le champ solaire transforme le rayonnement solaire en énergie thermique. Selon la puissance et la température voulue, la taille du champ solaire va varier. Il est composé de collecteurs reliés en série qui, à leur tour, sont connectés en parallèle.

Ainsi, ces différents collecteurs, comme leur nom l'indique, collectent les rayons du soleil. Leur rôle est de transmettre le plus de chaleur possible au fluide. Le collecteur est donc un composant indispensable du champ solaire. Il est fait d'un miroir (réflecteur parabolique), d'une structure métallique, d'un tube récepteur et d'un système de poursuite solaire les miroirs des collecteurs sont généralement constitués de verre pauvre en fer, recouvert d'aluminium poli ou d'argent et protégé par un enduit isolant. Si ceux-ci sont de bonne qualité, ils peuvent réfléchir jusqu'à 97% du rayonnement incident. Cependant, mettre un

verre sous forme parabolique coûte cher. C'est pourquoi, une succession de miroirs plan de Fresnel est souvent utilisée pour approximer la forme parabolique. Ce système, moins cher, est utilisé depuis une dizaine d'années. De plus, les miroirs de Fresnel résistent mieux face au vent puisqu'ils sont plans.

En effet, ce tube est situé au foyer du système parabolique, c'est-à-dire à l'endroit où tous les rayons se croisent. Cela permet de chauffer le fluide caloporteur, qui circule dans le tube, au maximum. Le tube récepteur doit présenter une bonne absorption pour empêcher au rayonnement de se refléter et les pertes thermiques doivent être limitées afin d'avoir un rendement maximum. Pour le fluide caloporteur, il faut choisir un fluide en fonction de la température maximale admissible: les huiles (400°C), les sels fondus (650°C) sont les plus utilisés.

Les collecteurs sont également équipés d'un mécanisme de poursuite. C'est le système qui permet de suivre le rayonnement solaire: il adapte en permanence le capteur solaire de façon à ce que le rayonnement reçu soit toujours perpendiculaire au réflecteur. Ainsi, le rayonnement est réfléchi, au foyer de la parabole formé par les miroirs, et concentré dans un tube collecteur. La structure métallique permet de relier ces différents composants entre eux et de résister aux contraintes climatiques (vent...). Néanmoins, collecter les rayons du soleil et transformer le rayonnement en énergie thermique ne suffit pas, il faut également relier le champ solaire à un système de transfert de chaleur et de génération électrique.

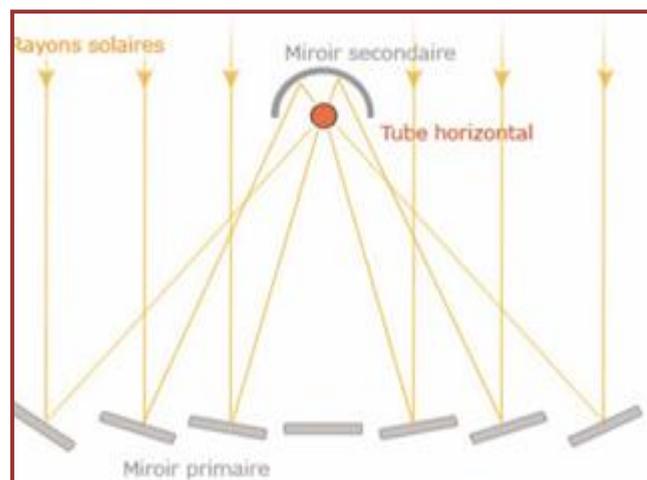


Figure 1.9 : Principe de fonctionnement des centrales avec miroirs de Fresnel. [6]

1.6.2. Système de transfert de chaleur et de génération électrique:

La turbine à vapeur est le principal système utilisé: c'est un moteur thermique à combustion externe qui fonctionne selon le cycle de Rankine. Ce cycle se caractérise par un changement d'état.

Ainsi, le fluide qui circule dans le tube récepteur est chauffé par les rayons du soleil et mis sous pression par une pompe. Ensuite, la chaleur est envoyée vers une chaudière dans laquelle l'eau est évaporée. Cette vapeur passe ensuite dans une turbine où elle est détendue et refroidit afin de fournir de l'énergie mécanique. Enfin, la vapeur est condensée au contact de la source froide sous vide partiel. L'énergie mécanique créée est transformée en énergie électrique grâce à un alternateur selon le schéma suivant:

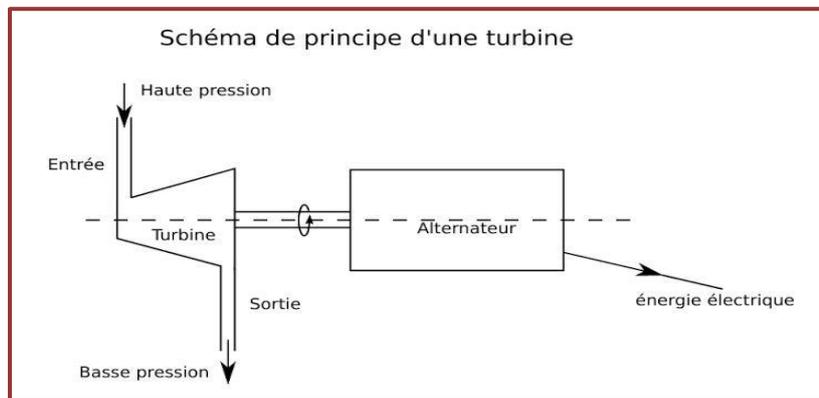


Figure 1.10 : schéma d'une turbine. [6]



Figure 1.11 : Capteur cylindro-parabolique de la centrale de Nevada Solar One. [6]

1.6.3. Principe de fonctionnement :

Le fonctionnement du concentrateur, lorsque la lumière frappe une surface réfléchissante, elle rebondit sur le même angle. Le concentrateur solaire parabolique a été conçu avec des miroirs incurvés de sorte que toute la lumière reflète en un seul point, peu importe où elle frappe la surface du concentrateur. La distance entre la surface du concentrateur et le point où la lumière se concentre est la distance focale. Le capteur solaire réfléchit les rayons du soleil sur un point appelé point de convergence. Un concentrateur parabolique solaire correspond donc à un ensemble de miroirs incurvés qui concentrent tous les rayons du soleil incidents en un seul point correspondant au foyer ponctuel. [7]

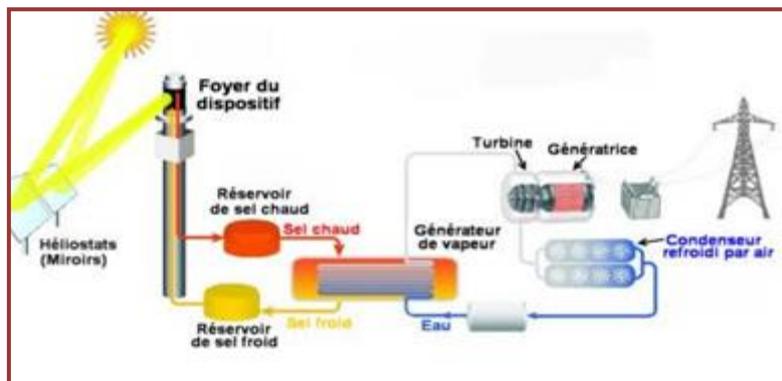


Figure 1.12 : Le capteur cylindro-parabolique fournissant de l'énergie électrique à partir d'énergie thermique. [7]

- **Avantages/inconvénients :**

Les principaux avantages des centrales cylindro-parabolique sont, d'une part, qu'ils peuvent fonctionner 24h/24h grâce à un système de stockage de chaleur. D'autre part, le soleil est une source d'énergie inépuisable et gratuite, et il n'y a pas d'émission polluante. Néanmoins, il faut un fort ensoleillement et une zone chaude donc on ne peut pas créer ce type de centrale partout dans le monde. De plus, il faut disposer d'une surface importante au sol comme le montre l'image ci-dessous. [6]

Chapitre 02

Etude théorique et expérimental

Chapitre 2 Etude théorique et expérimental

2.1.Introduction :

Pour une compréhension profonde de l'idée du concentrateur cylindro-parabolique et pour une conception claire de ce type de technique solaire, dans ce chapitre, nous aborderons la description théorique et expérimentale du concentrateur cylindro-parabolique. Nous expliquerons ses composants de base, le système optique ainsi que l'énergie reçue et l'énergie perdue à cause des pertes thermiques. Dans partie expérimentaux, nous présenterons les différentes étapes de la mise au point du concentrateur cylindro-parabolique à base de miroir de Fresnel. A noter que l'étude de la structure et la mise en place de l'installation a été réalisée par des étudiants des années antérieures. Dans ce travail a été consacré à l'orientation de l'ensemble des miroirs réflecteurs vers le foyer, d'une part, et concevoir la forme du foyer.

➤ Partie Théorique

2.2.Montage d'un capteur cylindro-parabolique :

Il existe deux types de montage d'un capteur cylindro-parabolique [8]:

- Le montage suivant l'axe du monde : le tube récepteur est parallèle à l'axe de rotation de la Terre. Le suivi du Soleil nécessite un simple asservissement en rotation autour de cet axe.
- Le montage est-ouest : le tube récepteur est orienté est-ouest. Il faut orienter le capteur vers le soleil deux ou trois fois par jour pour optimiser la réception du rayonnement. Le rendement de captation est moins bon qu'avec le montage est-ouest asservi en rotation.

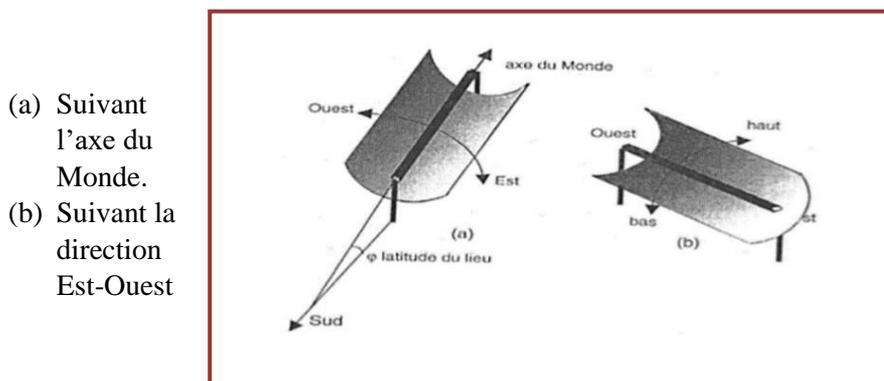


Figure 2.1 : Montage d'un capteur cylindro- parabolique. [9]

2.3. Technologie à capteur cylindro-parabolique :

Un collecteur cylindro-parabolique est le composant de base du champ solaire. Il s'agit d'un réflecteur de forme cylindro-parabolique qui concentre le rayonnement solaire sur un récepteur linéaire situé le long de la ligne focale du réflecteur. Ce récepteur est composé d'un tube absorbeur protégé par une enveloppe en verre. L'ensemble est équipé d'un système de poursuite pour suivre la course du soleil. Cette technologie est actuellement la plus éprouvée des techniques de concentration solaire. [9]

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

Le concentrateur cylindro-parabolique, présente la technologie solaire la plus mature actuellement. Il se distingue par sa simplicité ainsi que ses performances élevées dans le domaine de la production de la vapeur d'eau. La détermination des performances d'un champ de concentrateur cylindro-parabolique dépend de plusieurs paramètres géométriques et optiques. (Facteur optique). [10]

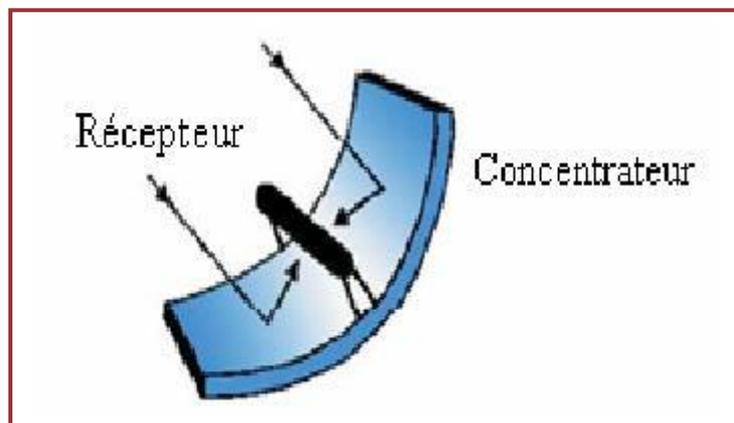


Figure 2.2 : géométrie d'un concentrateur cylindro-parabolique. [11]

2.4. système de centrale à tour (héliostat)

Un champ de miroirs dispersés appelé héliostats suivent le soleil indépendamment et concentrent la lumière du soleil sur le dessus d'une tour dans les systèmes de récepteur central (ou tour de puissance). Ils peuvent atteindre des températures de 800 à plus de 1000 C en concentrant la lumière du soleil 300 à 1500 fois. L'énergie solaire est absorbée par un fluide de travail, qui est ensuite utilisé pour produire de la vapeur, qui est ensuite utilisée pour

alimenter une turbine traditionnelle. Entre 200 et 1000 kW/m² est le flux solaire typique impactant sur le récepteur. Travailler à des températures relativement élevées et intégrer l'énergie solaire thermique dans des cycles plus efficaces sont possible avec ce flux élevé.

❖ **Avantage de système héliostat :**

Le récepteur absorbe l'énergie thermique concentrée, qui est transférée dans un fluide en circulation, qui peut être stocké et utilisé pour générer de l'énergie plus tard. Voici quelques-uns des avantages des récepteurs centraux (De Laquil et coll., 1993) [12]:

- Ils collectent optiquement l'énergie solaire et l'envoient à un seul récepteur, réduisant ainsi la quantité d'énergie thermique qui doit être transportée.
- Ils sont très efficaces pour collecter l'énergie et la convertir en électricité, atteignant des ratios de concentration de 300 à 1500.
- Ils ont la capacité de stocker l'énergie thermique de façon pratique.
- Ils sont assez grands (généralement plus de 10 MW), ce qui leur permet de réaliser des économies d'échelle.

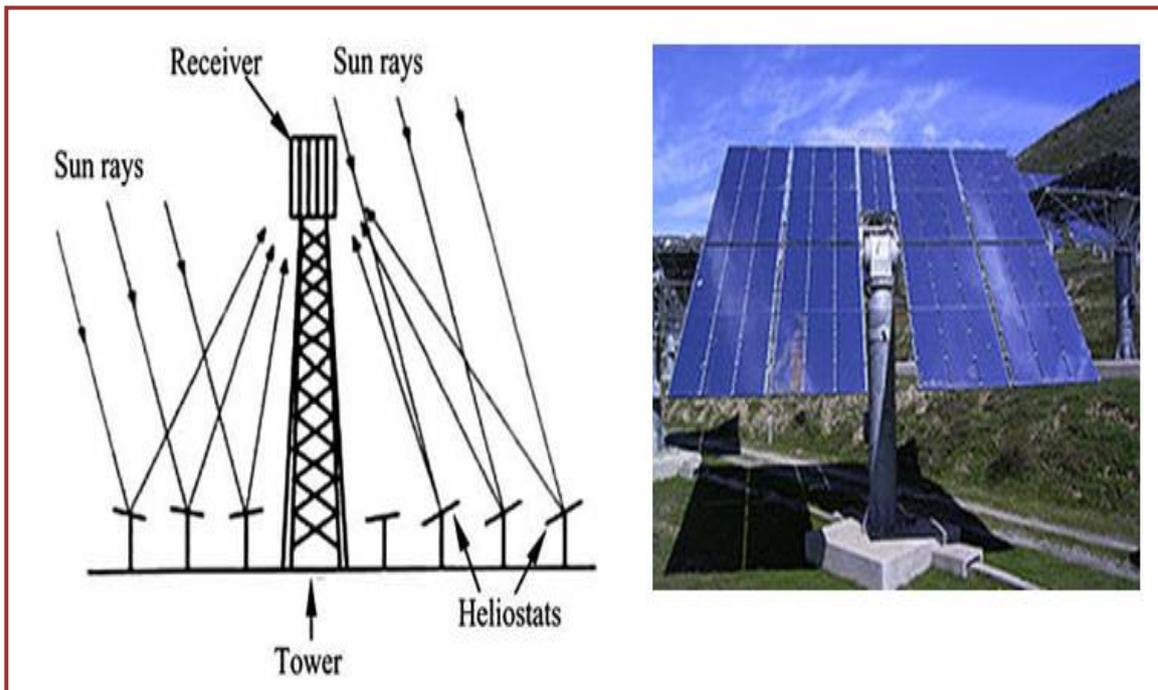


Figure 2.3 : Schéma de système héliostat et système heliostat. [13]

2.5.Géométrie parabolique :

Elle décrit l'équation d'une parabole, la surface cylindro-parabolique et celle d'un parabolöide.

- **Parabole :**

La parabole est définie comme une courbe plane dont chacun des points est situé à égale distance d'un point fixe, le foyer F, et d'une droite fixe, la directrice D. Notons que FR est égale à RD. La droite perpendiculaire à la directrice et passant par le foyer F est appelé axe de la parabole. Le sommet de l parabole, situé sur l'axe est à mi-distance entre le foyer F et la directrice D. [14]

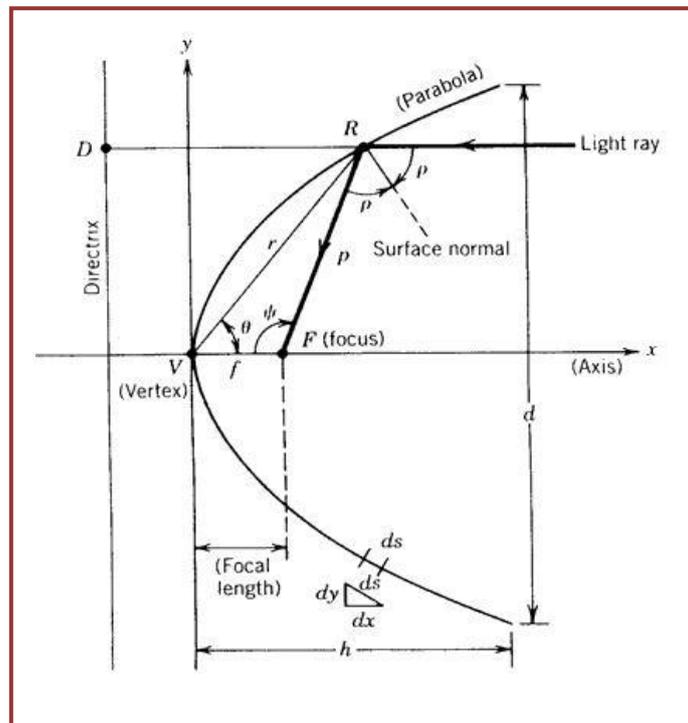


Figure 2.4 : Parabole. [15]

Lorsque l'origine du repère est confondu avec le sommet de la parabole et (x'x) est l'axe de la parabole, l'équation de la parabole s'écrit en coordonnées cartésiennes:[15]

- **la distance focale :**

$$y^2 = 4 \cdot f \cdot x \quad (2.1)$$

$$p = \frac{2f}{1 + \cos\psi} \quad (2.2)$$

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

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

En énergie solaire, les paraboles utilisées ont des limites, par conséquent, la parabole peut être décrite en fonction de l'angle d'ouverture'' Rim angle '' et du rapport entre la distance focale et le diamètre d'ouverture (f/d). [15]

Divers angles de jante sont disponibles pour la même ouverture, comme le montre la figure 2.5. Il est également démontré que le rapport foyer-ouverture, qui détermine la courbure de la parabole, varie selon les angles de jante. Avec un angle de jante de 90 degrés, la distance moyenne foyer-rélecteur et donc la dispersion réfléchié du faisceau sont minimisées, ce qui entraîne des problèmes de pente et de suivi moins prononcés. Cependant, à mesure que l'angle de la jante est réduit, la surface du collecteur diminue. La tentation d'utiliser des angles de jante plus étroits se pose parce que la perte d'efficacité optique est faible, mais les économies de coûts dans le matériau de réflexion est importante. [14]

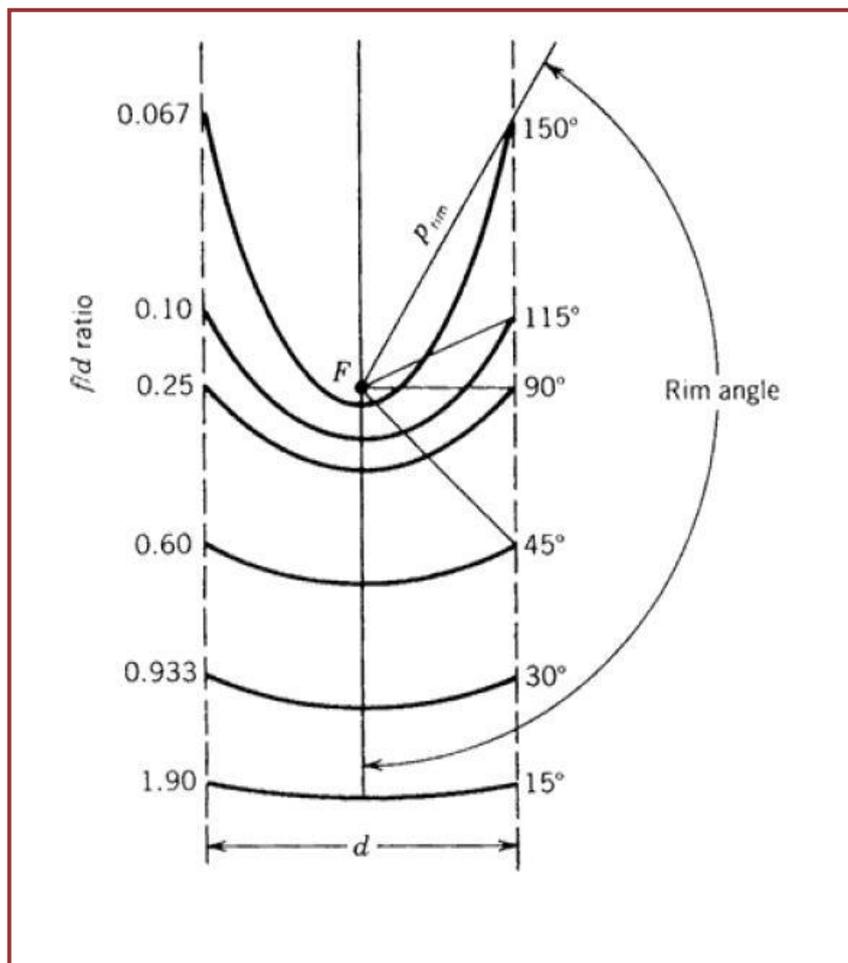


Figure 2.5 : Segments de parabole ayant le même foyer et le même diamètre d'ouverture. [14]

▪ **Angle d'ouverture d'une parabole :**

Cette Angle d'ouverture d'une parabole est défini par: [16]

$$\tan\psi = \left(\frac{f}{d}\right) / \left(2\left(\frac{f}{d}\right)^2 - \frac{1}{8}\right) \quad (2.3)$$

▪ **La hauteur :**

La hauteur h peut être définie comme la distance maximale du sommet de la parabole à une droite tracée à travers l'ouverture:[15]

$$h = \frac{d^2}{16f} \quad (2.4)$$

L'angle d'ouverture peut être déterminé à partir des dimensions de la parabole:

$$\tan\psi = \frac{1}{\left(\frac{d}{8h}\right) - \left(\frac{2h}{d}\right)} \quad (2.5)$$

▪ **Surface d'une parabole :**

C'est l'espace inclu entre une parabole et une ligne à travers son ouverture, elle est Indiquée par [16] :

$$A_x = \frac{2}{3} \cdot d \cdot h \quad (2.6)$$

▪ **Longueur d'une parabole :**

La longueur de l'arc s de la parabole peut être déterminée pour le cas particulier défini par pour x = h et y = d/2 en intégrant l'équation (2.1): [17]

$$s = \frac{d}{2} \sqrt{\left[\frac{4h}{d}\right]^2 + 2} + 2f \ln \left(\frac{4h}{d} \sqrt{\left[\frac{4h}{d}\right]^2 + 1} \right) \quad (2.7)$$

d: est le diamètre d'ouverture de la parabole et h est la distance du sommet à l'ouverture.

2.5.1. Surface cylindro-parabolique :

Les surfaces cylindro-paraboliques concentrent le rayonnement sur une ligne lorsque le plan contenant les axes de la parabole est aligné parallèlement aux rayons du soleil.

Pour une surface cylindro-parabolique de longueur l et ayant des dimensions en coupe transversale représentées sur la figure 1, la surface d'ouverture est : [15]

$$A_a = l d \quad (2.8)$$

La surface réfléchissante est déterminée en utilisant la longueur de l'arc développée dans l'équation :

$$A_{as} = l s \quad (2.9)$$

2.6. Les composants d'un concentrateur solaire parabolique :

Le concentrateur solaire parabolique est composé des éléments suivants :

2.6.1. Paraboloïde (réflecteur) :

Le paraboloïde est la surface obtenue par révolution d'une parabole autour de son axe. Les concentrateurs ayant cette surface sont appelés concentrateurs paraboliques "Dish". [15]

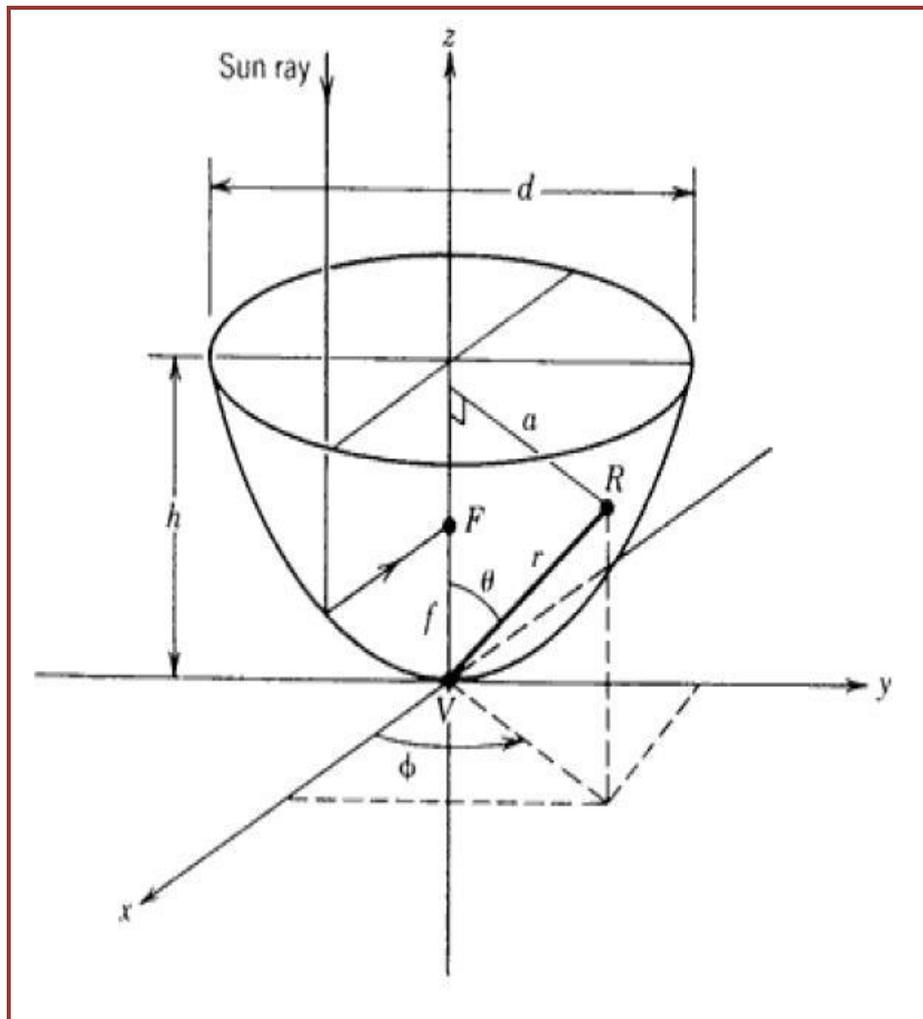


Figure 2.6 : Paraboloïde. [15]

- Equation du parabolöide

L'équation d'un parabolöide d'axe de symétrie z en coordonnées cartésiennes est : [17]

$$X^2 + Y^2 = 4 \cdot f \cdot z \quad (2.10)$$

■ **Distance focale :**

En coordonnées cylindriques, l'équation de la parabolöide est :[17]

$$z = \frac{a^2}{4f} \quad (2.11)$$

En coordonnées sphériques, où l'origine du repère est confondue avec le sommet de la parabolöide, l'équation est: [18]

$$\frac{\sin^2 \theta}{\cos \theta} = \frac{4f}{r} \quad (2.12)$$

■ **Surfaces de la parabolöide:**

La surface totale du parabolöide peut être déterminée en intégrant l'équation (12). Définissons une surface élémentaire ds telle que: [18]

$$dA_s = 2\pi a \sqrt{dz^2 + da^2} \quad (2.13)$$

En remplaçant dz, on a : [18]

$$dA_s = 2\pi a \sqrt{\left(\frac{a}{2f}\right)^2 + 1} da \quad (2.14)$$

La surface totale du parabolöide de distance focale f et de diamètre d'ouverture d s'obtient en intégrant l'équation (13), on a : [18]

$$A_s = \int_0^{\frac{d}{2}} A_s = \frac{8\pi f^2}{3} \left\{ \left[\left(\frac{d}{4f} \right)^2 + 1 \right]^{\frac{3}{2}} - 1 \right\} \quad (2.15)$$

La surface d'ouverture est la zone circulaire qui s'appuie sur le diamètre d'ouverture d :

$$A_a = \frac{\pi d^2}{2} \quad (2.16)$$

La surface d'ouverture peut être exprimée en fonction de la distance focale f et de l'angle d'ouverture ψ . En utilisant l'équation (4), nous avons:

$$A_a = \frac{\pi}{4} (2p \sin \psi)^2 = 4\pi f^2 \frac{\sin^2 \psi}{(1 + \cos \psi)^2} \quad (2.17)$$

2.6.2. Le récepteur (absorbeur):

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

L'élément le plus important est le tube d'absorption. Le tube d'absorption en cuivre est souvent recouvert d'une peinture noire pour augmenter l'efficacité de l'absorption, il est entouré d'une enveloppe en verre transparente et d'une zone d'air entre le tube absorbant et le couvercle en verre, comme indiqué dans la figure (2.7)

L'enveloppe de l'absorbeur doit être conçue de manière à maximiser l'absorption thermique du rayonnement, tout en limitant les pertes thermiques. [19]



Figure 2.7 : Tube absorbeur. [20]

2.7.La concentration :

Ce paramètre indique la quantité de concentration légère d'énergie réalisée par un collecteur donné, Les quatre définitions normales de la concentration solaire sont la concentration géométrique (surface). [15]

2.7.1. Ouverture du concentrateur :

Le concentrateur est le dispositif optique qui permet de concentrer le rayonnement vers l'absorbeur. L'ouverture du concentrateur est la surface plane qui s'appuie sur ses bords et à travers laquelle passe le rayonnement incident. Pour un concentrateur cylindrique, l'ouverture est caractérisée par la largeur tandis que pour une parabole, elle est caractérisée par le diamètre d'ouverture. [15]

2.7.2. La concentration géométrique :

La concentration géométrique est le rapport de la surface d'ouverture A_0 à celle de l'absorbeur A_t . [15]

$$C_g = \frac{A_0}{A_t} \quad (2.18)$$

2.7.3. Les limites de la concentration :

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

La concentration limite est basée sur le second principe appliqué à l'échange radiatif entre le soleil et un récepteur. Considérons un système à trois dimensions de surface d'ouverture A_a et de récepteur A_r regardant le soleil de rayon r à la distance R . [15]

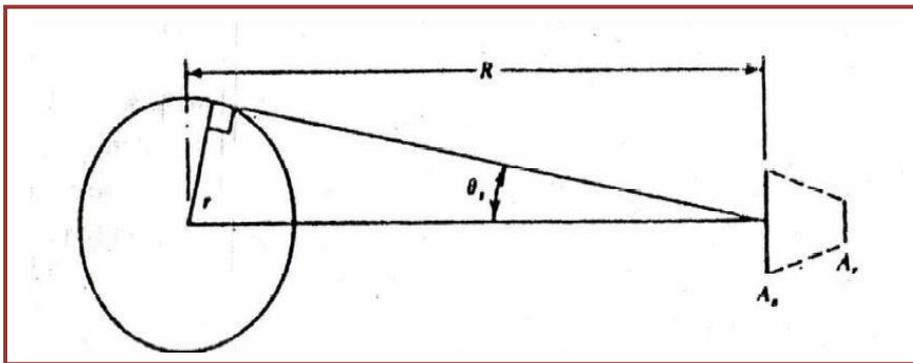


Figure 2.8 : Schéma du soleil à la température T_s à la distance R d'un capteur à concentration de surface d'ouverture A_a et de récepteur A_r . [15]

Le flux rayonné par le soleil et intercepté par la surface d'ouverture A_a :

$$Q_{s \rightarrow r} = A_a \frac{r^2}{R^2} \sigma T_s^2 \quad (2.19)$$

Un récepteur parfait considéré comme un corps noir rayonne une énergie égale à $A_r T_r^2$ et une fraction $f_{s \rightarrow r}$ atteint le soleil:[15]

$$Q_{s \rightarrow r} = f_{r \rightarrow s} A_r \sigma T_r^2 \quad (2.20)$$

En vertu du second principe de la thermodynamique, il ne peut y avoir échange d'énergie entre deux corps à la même température. Donc si :

$$T_s = T_r, \quad \text{et} \quad Q_{s \rightarrow r} = Q_{r \rightarrow s}$$

Ce qui entraîne:

$$C_{ideal,3d} = \frac{r^2}{R^2} \quad (2.21)$$

$$C_{ideal,3d} = \frac{1}{\sin^2\theta_s} \quad (2.22)$$

Un raisonnement analogue pour les systèmes à deux dimensions (concentrateurs linéaires) conduit à :

$$C_{ideal,2d} = \frac{r}{R} \quad (2.23)$$

$$C_{ideal,2d} = \frac{1}{\sin\theta_s} \quad (2.24)$$

diamètre apparent du soleil: $\Theta_s=16'$.

2.7.4. Le système optique d'une surface parabolique

La figure.2.9 montre le système optique d'un concentrateur solaire parabolique. D'après les lois de réflexion, tout rayon lumineux parallèle à l'axe de la parabole est réfléchi par la parabole suivant une droite passant par le foyer. Donc la parabole focalise tous les rayons réfléchis en un point appelé « foyer » [21]

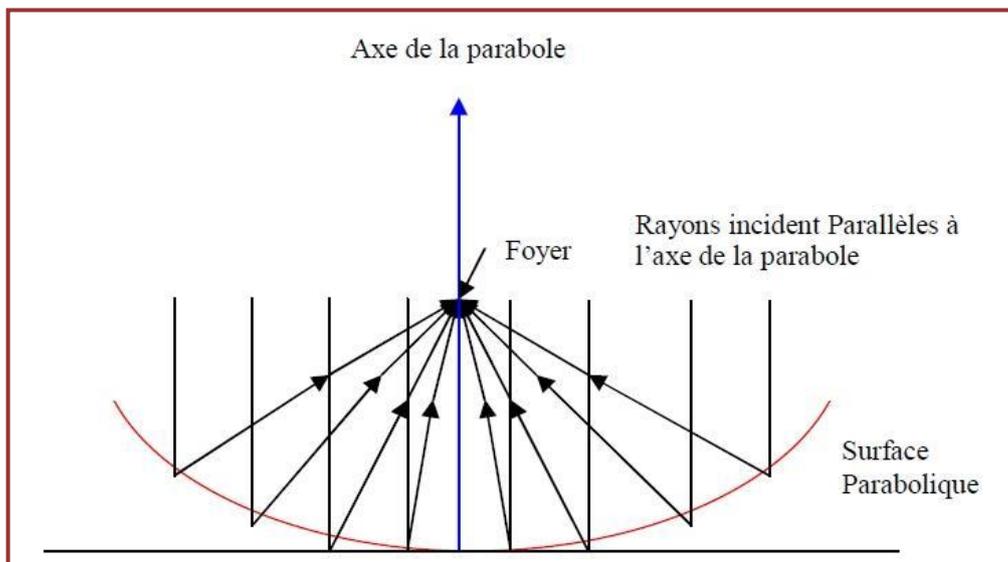


Figure.2.9.Système optique d'une surface parabolique. [21]

2.8.Dimension du récepteur :

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

$$s_f = f \cdot \frac{q_s}{1 + \cos\psi} \quad (2.25)$$

$$r_f = f \cdot \frac{q_s}{(1 + \cos\psi)\cos\psi} \quad (2.26)$$

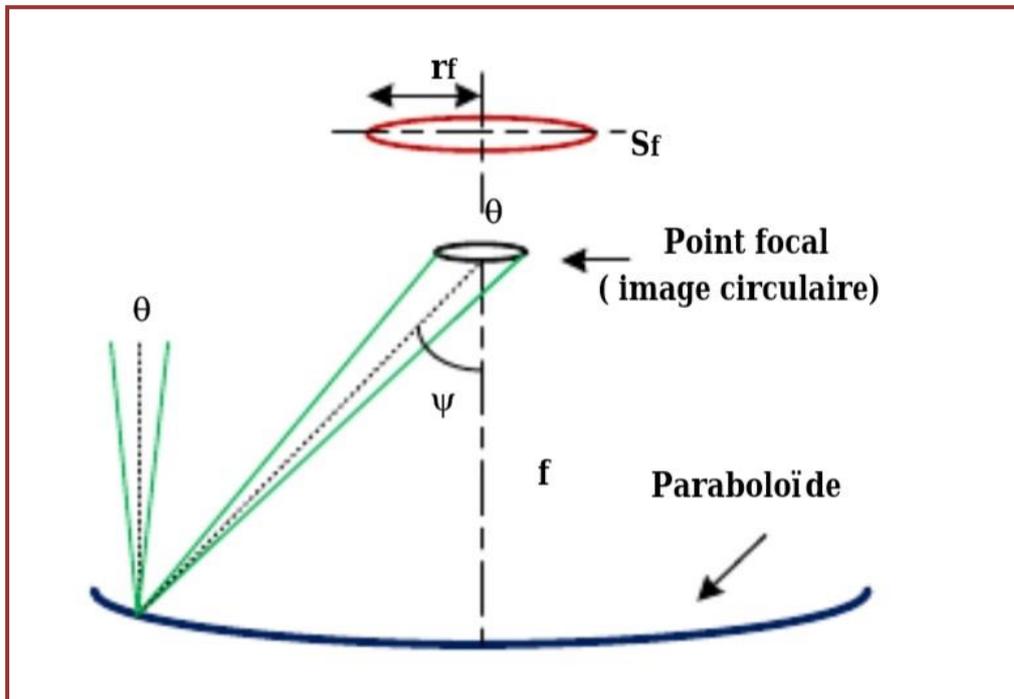


Figure 2.10 :L'image ellipse. [22]

▪ **Température de l'ouverture du récepteur :**

A la surface d'ouverture du récepteur le bilan énergétique est donné par la formule suivante:[18]

L'expression de la puissance utile est donnée par l'équation (2.27) :

$$(M_{air}C_{air} + M_rC_r) \left(\frac{dT}{dt} \right) = Q_u = Q_a - Q_p \quad (2.27)$$

▪ **L'énergie reçue au niveau d'un concentrateur cylindro-Parabolique :**

Soit un rayon solaire incident d'intensité I_b parallèle à l'axe de la parabole, ce rayon sera réfléchi au foyer f . pour calculer toute la quantité des rayons réfléchit par la surface entière de la parabole, il est commode que nous considérons une surface élémentaire du récepteur qui peut être intégré au-dessus de la surface entière de la parabole. La surface différentielle est définie comme suit [22]

$$dA_s = I d_s$$

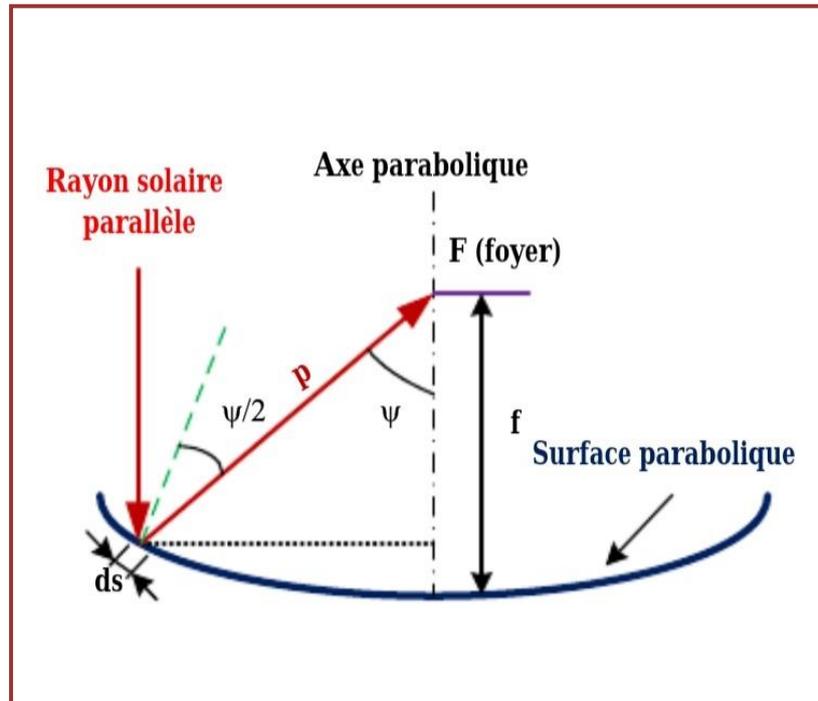


Figure 2.11 : Réflexion d'un rayon parallèle. [22]

$$d_s = \frac{psin\sin(d\psi)}{\cos(\cos(\frac{\psi}{2}))} \quad (2.28)$$

L'angle ψ est petit, $\sin \psi = \psi$ donc l'équation réduite à:

$$d_s = \frac{dy}{\cos(\cos(\frac{\psi}{2}))} \quad (2.29)$$

$$dA_s = I \cdot p \cdot \frac{d\psi}{\cos(\cos(\frac{\psi}{2}))} \quad (2.30)$$

L'énergie reçue au niveau d'un concentrateur cylindro-parabolique est

$$I_a = \int 8 \cdot \pi \cdot I_b \cdot f^2 \cdot \frac{\sin(\sin y) d\psi}{(1 + \cos(\cos \psi))^2} \quad (2.31)$$

■ **Puissance solaire absorbée par le récepteur :**

L'énergie reçue à l'ouverture d'un paraboloïde, en arrivant Sur l'ouverture du récepteur, est réduite à cause des pertes. La Puissance absorbée est donnée par la formule [23]

$$Q_a = I_b A_a \tau \alpha \rho \quad (2.32)$$

Où : $\eta_{op} = \tau \alpha \rho$

L'équation devient :

$$Q_a = I_a \eta_{op} A_a \quad (2.33)$$

■ **Puissance correspondant aux pertes thermiques :**

Le récepteur qui reçoit le rayonnement solaire concentré est le siège des échanges de chaleur avec le milieu ambiant dont une partie est considérée comme pertes de chaleur. Ces pertes sont par convection, par rayonnement et par conduction. Les pertes thermiques peuvent être données par l'expression Suivante: [22]

$$Q_p = Q_{p.cv} + Q_{p.r} + Q_{p.cd} \quad (2.34)$$

■ **Pertes par convection :**

Les pertes par convection au niveau du récepteur sont dues essentiellement à la vitesse de l'air ambiant (le vent). L'expression ce ces pertes est donnée par l'équation ci-dessous [23]

$$Q_{p.cv} = h_{cv} A_\gamma (T_r - T_a) \quad (2.35)$$

■ **Pertes par rayonnement :**

Ces pertes dépendent de la forme du récepteur mais plus particulièrement de la température du récepteur. Elles sont proportionnelles à l'émissivité de l'absorbeur [15].

$$Q_{pr} = \varepsilon \sigma A_\gamma (T_r^4 - T_{sk}^4) \quad (2.36)$$

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 lorsqu'on est 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. Habituellement on prend $T_{sk}=T_a =6^\circ\text{C}$. [24]

■ **Pertes par conduction :**

Liées à la nature du matériel utilise

$$Q_{p.cd} = K \Delta_X(T_r - T_a) \quad (2.37)$$

Les pertes par conduction sont habituellement petites comparées aux pertes par convection ou par rayonnement, on peut les combiner avec les pertes par convection dans la plupart des cas [22].

■ **Détermination de la puissance utile :**

L'expression de la puissance utile est donnée par l'équation :

$$Q_u = \eta_{op} I_b A_a - A_r (h_{cv}(T_r - T_a) - \epsilon \sigma (T_r^4 - T_{sk}^4)) \quad (2.38)$$

$$Q_u = A_r \left(\eta_{op} I_b \left(\frac{A_a}{A_r} \right) - (h_{cv} + h_r)(T_r - T_a) \right) \quad (2.39)$$

Pour simplifier les calculs, on peut définir un coefficient tel que:

$$Q_u = A_r (P_a - K_{vr}(T_r - T_a)) \quad (2.40)$$

■ **Efficacité du concentrateur :**

L'efficacité se définit comme le rapport de l'énergie thermique absorbée par le récepteur à l'énergie reçue à l'ouverture du concentrateur [24]

$$\eta = \frac{Q_u}{I_a A_a} = \frac{\eta_{op} I_b A_a - A_r K_{vr}(T_r - T_a)}{I_a A_a} \quad (2.41)$$

2.9.Suiveur sans capteur du concentrateur:

Un concentrateur est un dispositif optique qui permet de concentrer le rayonnement sur un absorbeur. Il donne son rendement maximum lorsqu'il est perpendiculaire aux rayons solaires. Or, à un lieu donné, à une date donnée et à un instant donné du jour, le soleil ne prend pas la même disposition relative. Cette disposition varie selon trois facteurs naturels.

- ✓ Variabilité géographique selon la position géographique sur le globe terrestre : l'équateur est différent de l'équinoxe.
- ✓ Variation saisonnière : l'ensoleillement varie tout au long de l'année, au fil des saisons.

- ✓ Variation journalière : l'ensoleillement varie dans la journée, En fonction de l'horaire (matin, midi et soir).

Remarque : Notre travail est consacré a l'étude expérimentale de notre CCP

➤ **Partie Expérimentale**

La figure 2.12 représente un concentrateur cylindro-parabolique équivalent. Cette forme a été étudiée dans le hall technologique du Département de génie mécanique où ce concentrateur cylindro-parabolique équivalent se compose de: il est à noter que ce condenseur solaire cylindrique équivalent a été réalisé par des étudiants précédents qui ont introduit une nouvelle technique basée sur la concentration du rayonnement solaire à partir de conditionneurs et de conditionneurs cylindriques équivalents basés sur des miroirs dits de niveau.

Les étudiants introduisent cette technique à un condensat solaire équivalent à plusieurs raisons, y compris:

- Difficulté à former des miroirs de Fernel sous forme de pièces paraboliques.
- Réduire le coût de cette expérience.

Note : Il est à noter que l'adoption des miroirs Fernel donne une meilleure performance visuelle et est facile à guider.

Le concentrateur solaire cylindro-parabolique étudié se compose de quatre parties (figure 2.12) :

1. Le réflecteur.
2. Le foyer.
3. Système de poursuite du soleil.
4. Assise de fixation du CCP au sol.



Figure 2.12 : Réflecteur cylindro-parabolique.

Tableau 2.1 Caractéristiques géométriques du réflecteur.

Diamètre d'ouverture « d »	4m
La taille « h »	0.58m
L'angle d'ouverture « ψ »	49.4°
La distance focale « f »	2.37
La surface d'ouverture « A_0 »	24.16 m ²
La longueur « L »	6.04m

2.10. Les tapes de travail :

1er étape : La première étape est faire la peinture noir sur le foyer pour diminuer la réflexion de la lumière du soleil et d'augmenter l'absorption du rayonnement solaire et améliorer ses performances. Le réflecteur est une structure métallique en forme de treillis supportée par trois poutres ; les deux poutres des extrémités sont identiques et une poutre différente au centre. Cette structure est composée de six sections identiques assemblées en deux parties (3 sections pour chaque partie) ; ces deux parties sont supportées par un axe de rotation, ce dernier supporté sur les trois poutres. Chaque section contient des ensembles de petits miroirs rectangulaires (d'une longueur de 1 mètre et une largeur de 0,03 mètre) disposés parallèlement au sol les uns sur les autres. Chaque section se compose de 103 miroirs divisés en trois groupes. La collection centrale contient 28 miroirs, alors que les deux autres groupes ont 39 miroirs par groupe. L'ensemble des miroirs du CCP sont au nombre de 618 miroirs. Il convient de noter que ces miroirs, malgré les avantages de leur utilisation, mais sont difficiles à orienter en raison du nombre et du fait que chacun est séparé l'un de l'autre, se qui conduira à la recherche de moyens afin d'assurer une bonne orientation.



Figure 2.13 : Peinture le foyer.

2^{ème} étapes : Deuxième étape insérer un miroir dans le foyer. Le métal du récepteur devant avoir une bonne conductivité, nous avons choisi le cuivre.

La forme du récepteur est semi-cylindrique et se compose de :

- Métal inoxydable isolé à la résine.
- Verre transparent rectangulaire pour isoler le récepteur de l'extérieur et réduire les pertes de chaleur.
- Un tube cuivre de bonnes conductivités thermiques.
- Dimension:
 - ✓ Diamètre de tube 16mm
 - ✓ Longueur de tube 12m
 - ✓ Conductivité de tube 360w/k.m2
 - ✓ Épaisseur de vitre 0.3m



Figure 2.14 : insérer un miroir dans le foyer.

Tableau2.2 : Les caractéristiques du foyer.

Diamètre tube	16mm
Longueur	6,82m
Largeur	0.11m
Surface de captation	0.602m ²
L'épaisseur du verre	5mm
L'épaisseur du métal	1.2mm
L'espace d'air	3.38*10 ⁻³ m ²
Le coefficient d'absorption	0.94

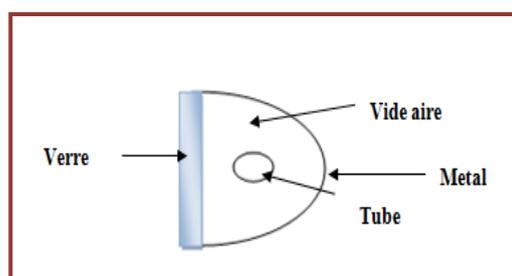


Figure 2.15 : Coupe transversale du tube d'absorption et de la couverture.



Figure 2.16 : Tube d'absorption et la couverture.

3^{ème} étapes : retirer les miroirs casés et remplacer par des miroirs neufs.



Figure 2.17 : retirer les miroirs casés.

▪ **Système de poursuit du soleil**

Le concentrateur cylindro-parabolique nécessite un système de poursuit du mouvement du soleil pour atteindre le maximum de concentration. Il est composé d'une corde métallique de 8 mm de diamètre qui relie l'extrémité supérieure du concentrateur et un moteur avec un réducteur en rotation situé au bas du concentrateur et qui passe au milieu de la distance qui les sépare à travers une poulie métallique. Parce que cette vitesse est élevée, il est intégré dans un réducteur de vitesse capable de réduire la vitesse 50 fois pour assurer un peu de vitesse afin de faciliter le suivi. Pour contrôler le mouvement, le moteur est connecté à un tableau de commande électrique.



Figure 2.18 : Partie électrique.



Figure 2.19 : Système de poursuit du soleil.

2.11. Les outils de travail et mesure:

Les mesures de rayonnement solaire sont effectuées à l'aide d'une échelle à pyranomètre, figure (2.22.a) et la mesure correcte est effectuée au même niveau que les miroirs centraux. La vitesse du vent et la température ambiante (T_a) sont mesurées à l'aide d'un anémomètre, comme représente la figure (2.22.b).



Figure 2.20 : Les outils de travail.



Figure 2.21 : Position du thermocouple.

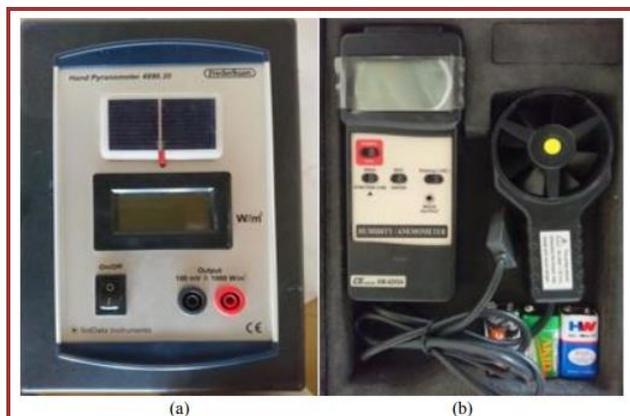


Figure 2.22 : Pyranomètre et Anémomètre.

Chapitre 03
Résultat et discussion

Chapitre3

Résultat et discussion

3.1.Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons décrire les caractéristiques de concentrations du modèle du concentrateur cylindro-parabolique proposé et réalisé. Nous avons aussi mené une série de tests durant des journées. Les résultats enregistrés, nous ont permis de déterminer la capacité thermique de ce concentrateur.

3.2.Données du lieu :

Les essais expérimentaux ont été menés au niveau du hall technologique du département de Génie Mécanique, à l'université Mohamed KHIDER, Biskra. Dans les caractéristiques suivantes:

- ✓ Latitude : 34° 51' 0 '' N.
- ✓ Longitude : 5° 43' 59'' E.

3.3.Position du concentrateur :

Le mouvement du soleil est suivi par un système de suivi manuel à axe monoculaire où le concentrateur est déplacé vers le soleil par observation des rayons collectés dans le tube.

3.4.Résultats et discussions :

3.4.1. La concentration :

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

On peut calculer la concentration géométrique :

$$C_g = \frac{A_0}{A_T} = \frac{24.16}{0.168} = 143.81$$

On peut calculer la concentration optique Par l'équation suivante :

$$C_0 = 4 \frac{\sin^2 \psi}{\theta_s^2} \quad \text{Et} \quad \theta_s = 9,3 \times 10^{-3} \text{ L'angle apparent du soleil.}$$

3.4.2. Evolution de l'éclairement solaire et la température ambiante :

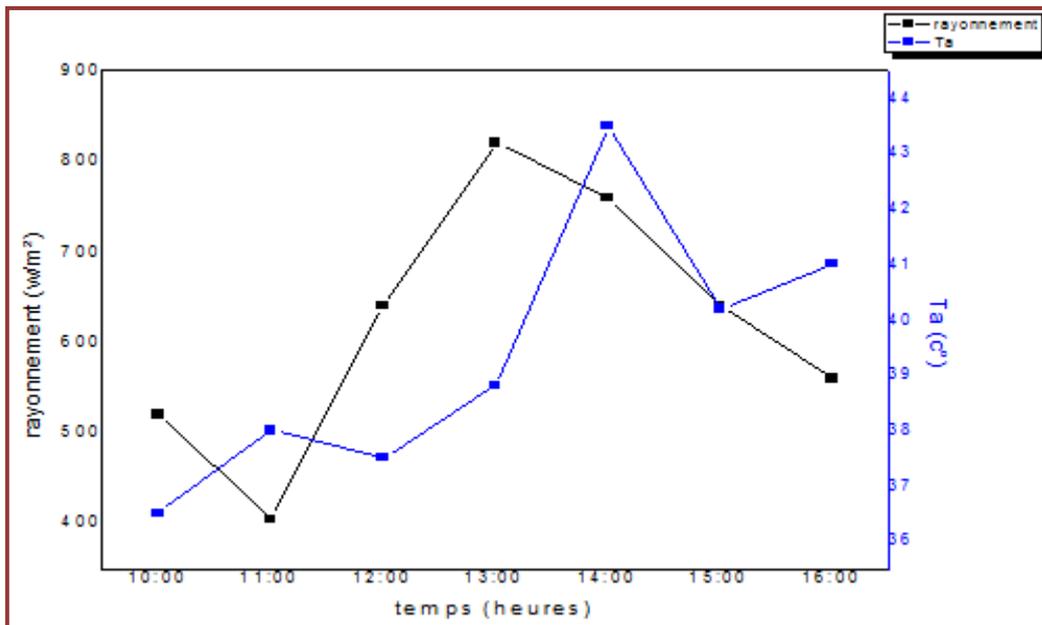


Figure 3.1 : Evolution du rayonnement solaire et température ambiante de la journée du 30/05/2022.

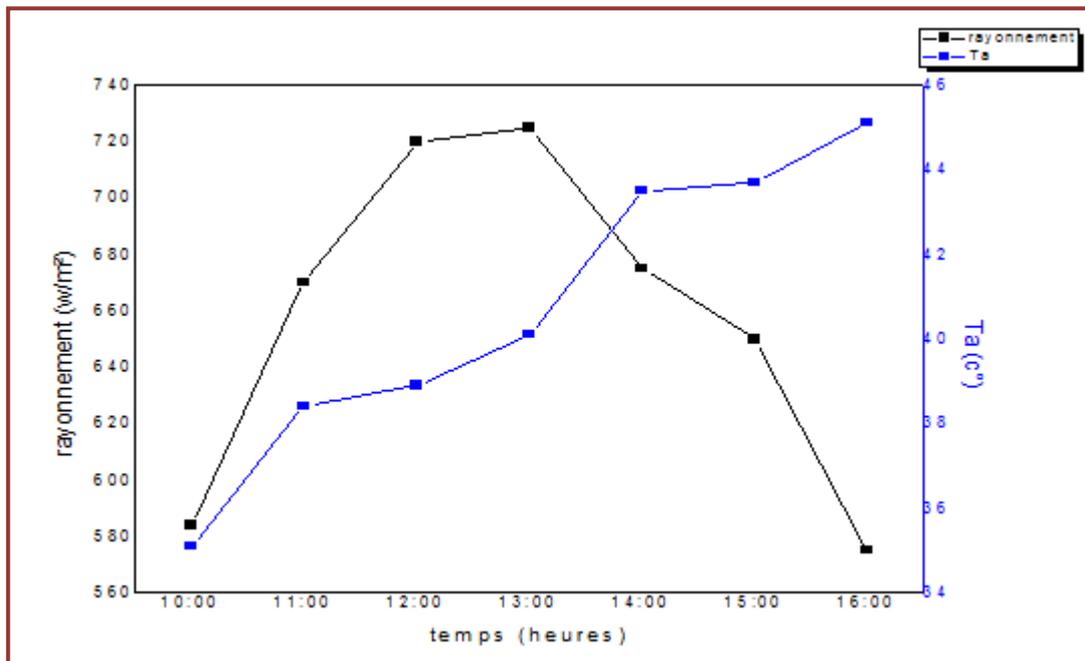


Figure 3.2 : Evolution du rayonnement solaire et température ambiante de la journée du 31/05/2022.

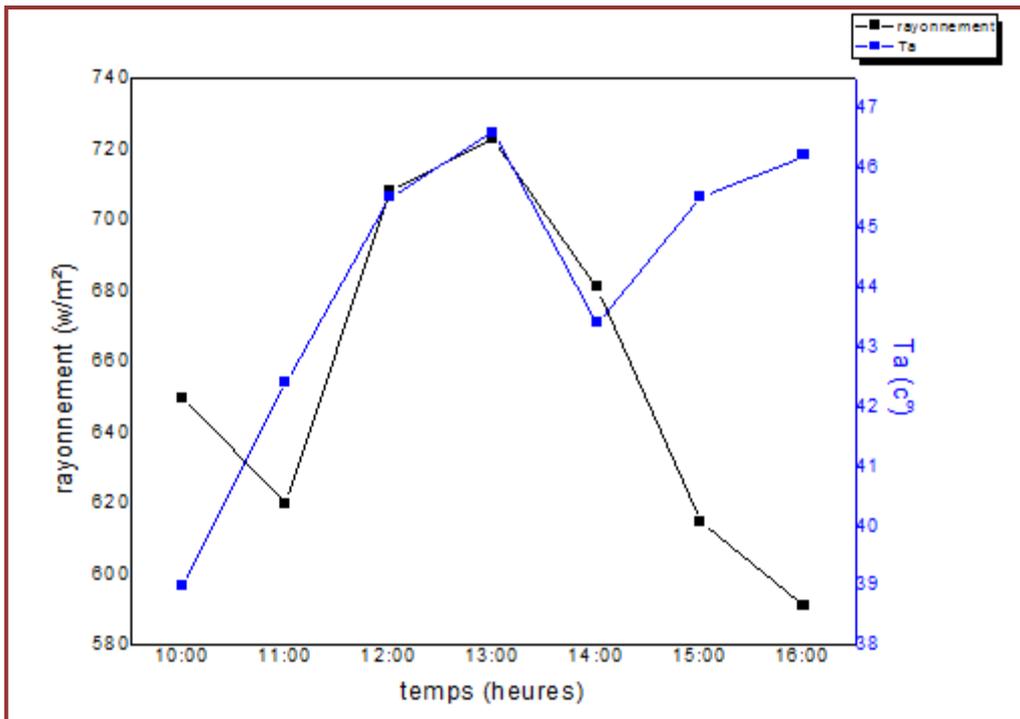


Figure 3.3 : Evolution du rayonnement solaire et température ambiante de la journée du 01/06/2022.

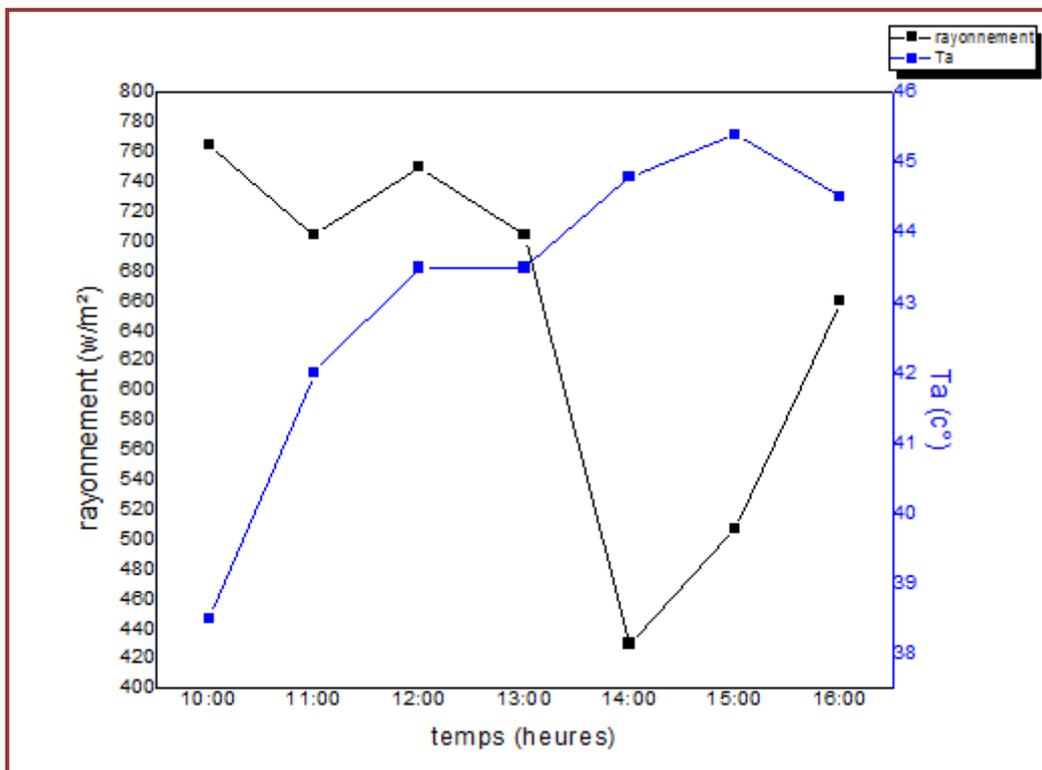


Figure 3.4 : Evolution du rayonnement solaire et température ambiante de la journée du 02/06/2022.

Les figures (3.1), (3.2), (3.3), (3.4), représentent la variation du rayonnement solaire et la température ambiante le long des journées du 25 au 30/05/2022 à 02/06/2022. On a enregistré les valeurs maximales du flux solaires vers midi qui sont respectivement, 820, 725, 723,765 W/m² et 43.5, 43.7, 46.6 45.4 °C. Nous remarquons des variations brusques du flux solaire dû au passage de nuages.

3.4.3. Evolution de la vitesse du vent :

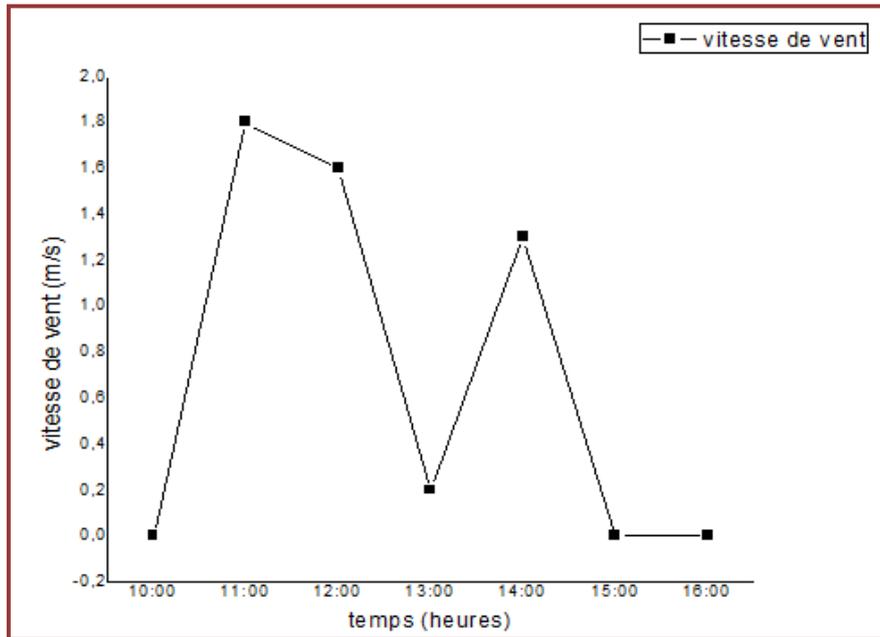


Figure 3.5 : Evolution de la vitesse du vent le long de la journée du 30/05/2022.

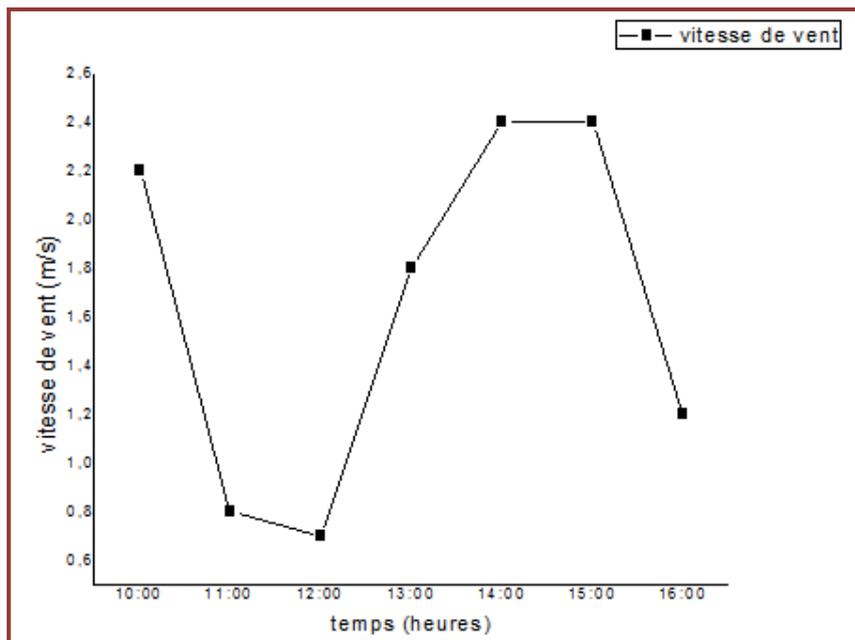


Figure 3.7 : Evolution de la vitesse du vent le long de la journée du 01/06/2022.

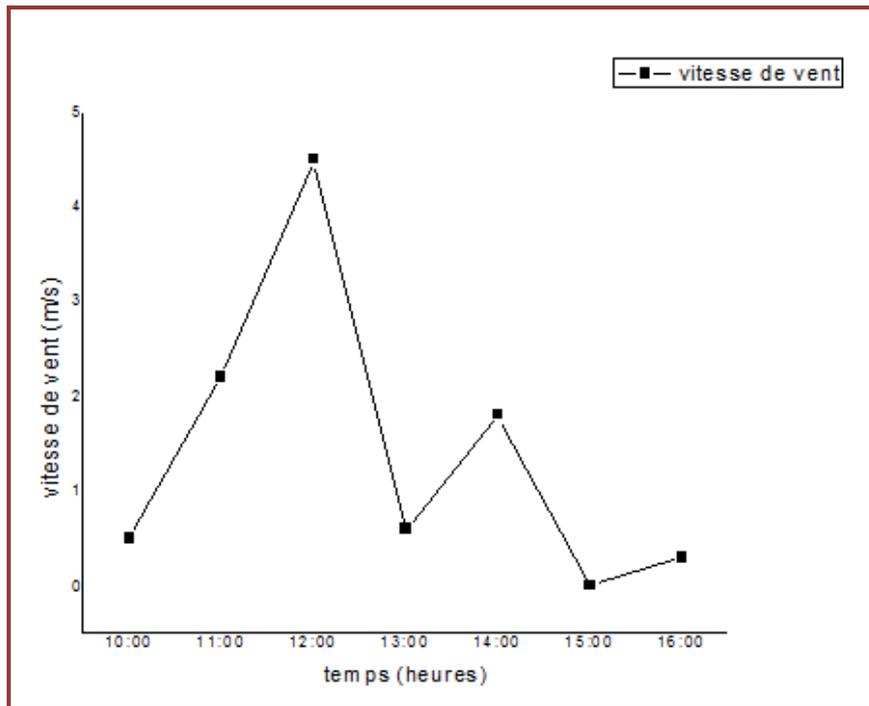


Figure 3.8 : Evolution de la vitesse du vent le long de la journée du 02/06/2022.

Les figures (3.5), (3.6), (3.7), (3.8) représentent la vitesse du vent le long des journées du 30/05/2022 au 02/06/2022 Nous avons enregistré les valeurs maximales du la vitesse du vent qui sont respectivement, 1.8, 3 et 2.4, 4.5 m/s.

3.4.4. Evolution de la température ambiante et de fluide à la sortie :

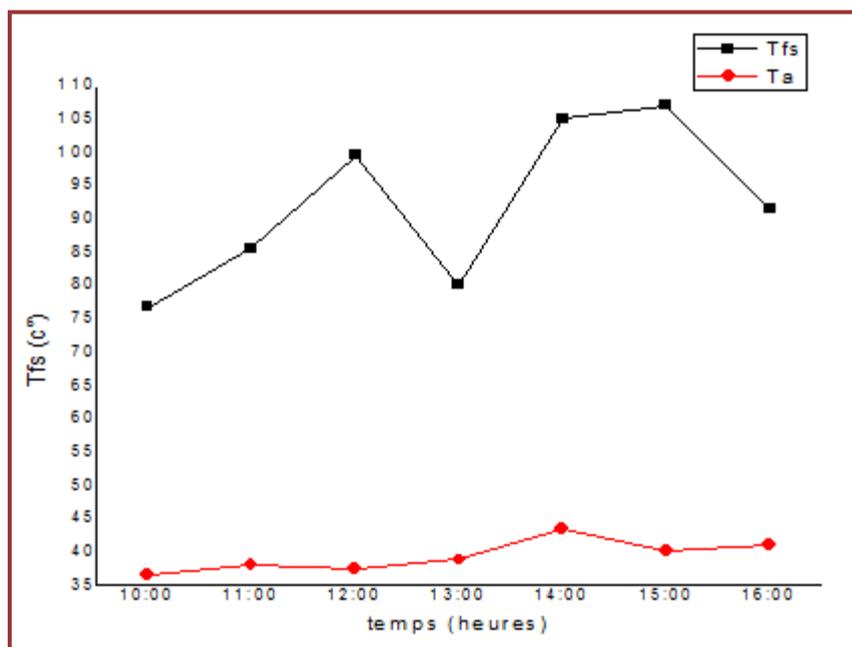


Figure 3.9 : Evolution de la température ambiante et de fluide de la sortie du 30/05/2022.

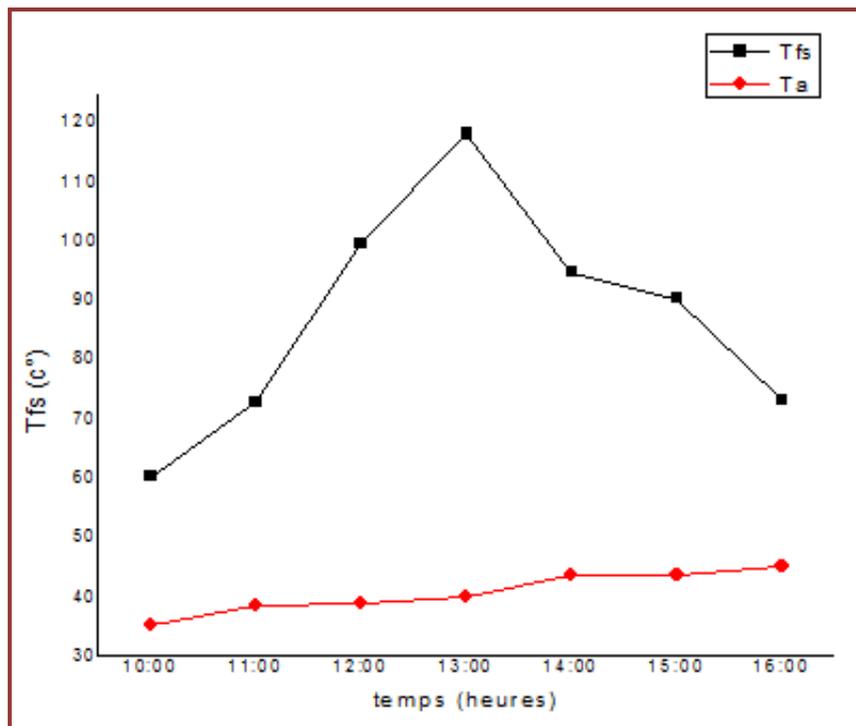


Figure 3.10 : Evolution de la température ambiante et de fluide de la sortie du 31/05/2022.

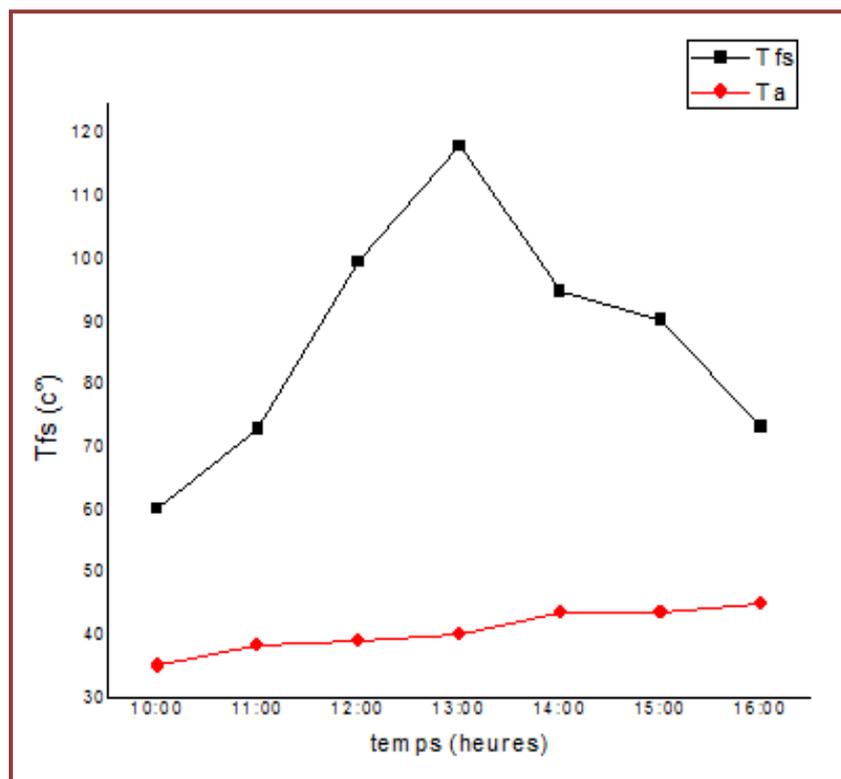


Figure 3.11 : Evolution de la température ambiante et de fluide de la sortie du 01/06/2022.

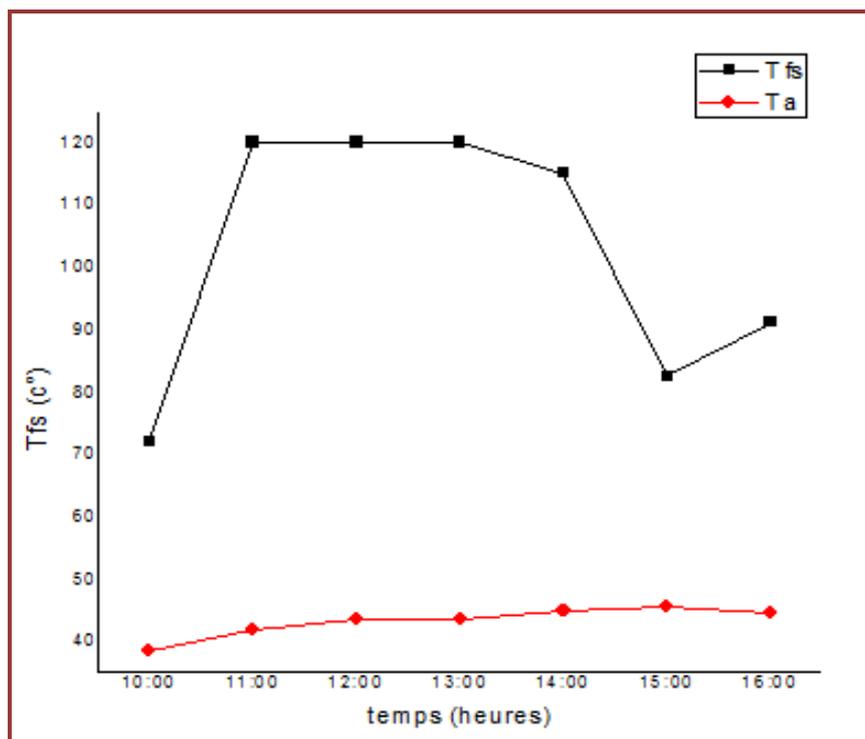


Figure 3.12 : Evolution de la température ambiante et de fluide de la sortie du 02/06/2022.

Les figures (3.5), (3.6), (3.7), (3.8) représentent variation de la température ambiante et de fluide a la sortie le long des journées du 30/05/2022 au 02/06/2022 Nous avons enregistré les valeurs maximales du la température de fluide a la sortie qui sont respectivement, 107, 99.5, 120, 120°C.

Conclusion et Perspectives

Conclusion et Perspectives

On a entamé une étude expérimentale sur un concentrateur cylindro-parabolique à base de miroir de Fresnel réalisé au niveau du hall technologique du département de Génie Mécanique.

Le concentrateur cylindro-parabolique étudié utilise une structure métallique semi-hexagonale qui ressemble beaucoup à la forme cylindro-parabolique afin de rester à l'écart de ce modèle en raison de la difficulté et du coût de production. La surface recouverte de centaines de petits miroirs.

Dans le présent travail, notre intervention réside dans la conception et la réalisation du foyer récepteur du concentrateur cylindro-parabolique. Nous avons utilisé l'air comme fluide caloporteur circulant à l'intérieur du tube en cuivre peint en noir mat.

A travers des résultats enregistrés, nous avons pu constater que la température du foyer du concentrateur cylindro-parabolique dépend de plusieurs facteurs dans les plus importants sont la variation de l'éclairement solaire, la géométrie du réflecteur, la nature et les dimensions de l'absorbeur et les qualités optiques de sa surface ainsi qu'aux conditions climatiques (vitesse du vent, température ambiante).

L'utilisation de l'air comme fluide caloporteur a donné des températures supérieures à 120 °C pour une surface de réflexion égale à 24.16 m².

Nous projetons d'étendre ce travail par des travaux complémentaires qui valorisent les températures élevées que peut atteindre ce genre de concentrateur cylindro-parabolique à base de miroir de Fresnel réalisé. Parmi ces perspectives nous citons :

- Proposer et Optimiser la forme et les matériaux utilisés dans la construction du foyer pour réduire les pertes de chaleur et augmenter la concentration.
- Modification des dimensions du tube d'absorption et la distance entre le tube et les miroirs.
- Achever la mise au point du système de poursuite qui s'avère d'une grande influence sur l'efficacité du concentrateur solaire.

Références Bibliographique

Références Bibliographiques

- [1] <https://opera-energie.com/energie-solaire/> La date d'accès :15/03/2022
- [2] https://m.actu-environnement.com/dossiers/solaire/soleil_solaire.php4 La date d'accès :15/03/2022
- [3] ASSOCIATION DES RETRAITÉS DU GROUPE CEA GROUPE ARGUMENTAIRE SUR LE NUCLEAIRE.
La date d'accès: 22/03/2022.
- [4] https://www.sauvonsleclimat.org/images/articles/pdf_files/fiches_ARCEA/GASN_10.pdf
La date d'accès:24/03/2022
- [5] J. Abdul Aziz,Axel Augeard,Côme Cabriel,Clément Le Berre,insa raouen,Concentrateurs solaires et production électrique,Saint Étienne France,STPI 1/P6/2014 – 041,15/06/2014.
- [6] .Abdul Aziz,Alban MAHON Lucille BARBULEE et autres,insa raouen,Concentrateurs solaires et réalisation d'un mini concentrateur solaire,Saint Étienne France,STPI/P6-3/2011–036.
- [7] Moussaoui Asma et Derbal Souad,REALISATION ET ETUDE D'UN CONCENTRATEUR SOLAIRE CYLINDRO-PARABOLIQUE. UTILISATION DE MATERIAUX RECUPERES,UNV LARBI BEN M'HIDI (OUM EL BOUAGHI),FACULTE DES SCIENCES EXACTES ET SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE,Spécialité: Sciences des matériaux,mémoire mastre 2016.
- [8] N. ESKIN, transient performance analysis of cylindrical parabolic concentrating collectors and comparison with experimental results, thèse,1999.
- [9] J. Bernard, énergie solaire calculs et optimisations, édition : ellipses, 2004.
- [10] Saada salem,derban razika,étude et optimisation des centrales solaires thermiques à capteurs cylindro-paraboliques : application au gisement solaire en Algérie,(unv :mouloud mammeri tizi-ouzou ,faculté de génie construction, spécialité énergétique),2019/2020.
- [11] H.Bettache,Amélioration des performances de l'absorbeur du concentrateur cylindro-parabolique,(unv A.mira béjaia,faculté génie électrique,spécialiste électromécanique),2012/2013.

-
- [12] D. Guerraiche*, A. Benderradji† et H. Benmoussa, Facteurs optiques et géométriques caractérisant un Concentrateur cylindro-parabolique, Revue des Energies Renouvelables, Vol 14, N°2, 2011, pp 229 – 238.
- [13] Soteris A. Kalogirou, Solar Energy Engineering Processes and Systems, Second Edition, AMSTERDAM, Elsevier Inc, 2014.
- [14] <http://www.foad.uadb.edu.sn/mod/book/view.php?id=2440&chapterid=1508> La date d'accès: 24/03/2022.
- [15] B. Stine, Michael Geyer, Power from the sun, Lyle centre for regenerative studies 2001.
- [16] M. Srinivasan, L.V. Kulkarni, A simple technique of fabrication of parabolic concentrators. Solar energy, volume 22, pp 463-465. Novembre 1978.
- [17] <https://www.powerfromthesun.net/Book/chapter08/chapter08.html> La date d'accès: 10/04/2022.
- [18] <https://moodle.univ-ouargla.dz/pluginfile.php/19745/course/summary/Technologie%20du%20stockage%20thermique.pdf> La date d'accès: 16/04/2022.
- [19] U. H. Kurzweg, J. P. Benson, Iso-Intensity absorber Configurations for Parabolic Concentrators, solar energy .Vol.29, No.2, pp167-174, 1982.
- [20] Sawssen HARIZ ABID , Youssef AGREBI ZORGANI, Concentrateur cylindro-parabolique avec un suiveur sans capteur de position.
- [21] 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 internationales de thermique. Pp.73-80. 2003.
- [22] D. Kedwards, L. Marlot, Capteurs Solaires, Edition S C M, Paris 1979.
- [23] J.E. Braun et J.C. Mitchell, Solar geometry for fixed and tracking surface. Solar Energy, vol.31. N°. pp394-444, (1983).
- [24] O.C. Jorgensen, Collector heat capacity effect on solar system performance, Solar Energy. Vol29. No.2. pp 175-176, Printed in Great Britain. 1982.