

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
FACULTÉ DES HYDROCARBURES, DES ÉNERGIES RENOUVELABLES ET
DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

Département d'Énergies Renouvelables



Mémoire de MASTER académique

Domaine : Sciences et technologies

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Energies Renouvelables en mécanique

Présenté par :

Mohammed Chemes Eddine KANOUNE

Zakaria BOUMAZA

Houssam Eddine DRIS

Thème

Conception et construction d'une parabole pour capter l'énergie solaire pour les zones rurales de la région de Ouargla

Soutenu publiquement : le .. /../2022

Devant le jury :

Mr. Amar ROUAG	Président	UKM Ouargla
Mr. Mhamed DERNOUNI	Encadreur	UKM Ouargla
Mr. Chouaib AMMARI	Examineur	UKM Ouargla

Année Universitaire : 2021 /2022

شكر و عرفان

اللهم لك الحمد كما ينبغي لجلال وجهك وعظيم سلطانك. نشكر الله القدير الذي وفقنا
لاتمام هذا العمل و الذي منحنا الشجاعة والصبر والقوة خلال كل هاته السنوات الدراسي
فالحمد لله حبا, الحمد لله شكرا, الحمد لله رجاء وطاعة, الحمد لله دائما وابد.

نتقدم بجزيل الشكر والتقدير الى الاستاد المشرف الدكتور درنوني امجد على ما قدمه لنا من توجيهات
ومعلومات قيمه ساهمت في اطراء موضوع دراستنا, وتشجيعنا ودفعنا نحو افاق البحث.
كما نشكر قسم الطاقات المتجددة بجامعة ورقلة وكل من علمنا خلال السنوات الدراسية,
والشكر موجه ايضا الى اعضاء لجنة المناقشة, على قبولهم مناقشة هاد العمل.
اخيرا نشكر كل من ساعدنا من الاهل والاقارب والاصدقاء من قريب او من بعيد ولو بكلمه طيبة
في انجاز هذا العمل.

فتحية شكر و عرفان اليكم جميعا وبارك الله في ايامكم وكتب الله لنا ولكم التوفيق والرضا .

بومعزة زكرياء

كانون محمد شمس الدين

دريس حسام الدين

اهـدء

الحمد لله وكفى والصلاة على الحبيب المصطفى واهله

ومن وفى اما بعد

نهدي هذا العمل المتواضع الى

كل من عائلة كانون وبومعزة ودريس

والى كل من

الصيدلي هشام شافو

بادو محمد عباس

اسمهان

حميد

جمال

والى كل الاصدقاء وزملاء المسار الدراسي

ملخص :

الطاقة الشمسية هي واحدة من أهم مصادر الطاقات المتجددة ، التي يسعى الإنسان إلى استغلالها لاحتياجاته ، لقد أجرينا هذه الدراسة النظرية والتجريبية التي نقوم بتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية باستخدام مركبات الطاقة الشمسية وهي المكافئ تألفت الدراسة النظرية لهذا المركز في تطبيق محاكاة له في عدة مناطق ، لدراسة الموقع المناسب وكمية الإنتاج والربحية الاقتصادية. من الناحية التجريبية ، صنعنا هذا المركز الشمسي المكافئ باستخدام العاكسات ، وهي الألومنيوم والمرآيا ، وقياس الحرارة التي يمكن الوصول إليها ، لأننا تمكنا من الوصول إلى درجة حرارة 145.4 في المتلقي تحت درجة الإشعاع الشمسي 945 ، وهذه هي نتائج أولية مع إمكانية التحسين والحصول على نتائج أفضل.

الكلمات الدالة: القطع المكافئ ، الإشعاع الشمسي ، محرك سترلينغ

Abstract:

Solar energy is one of the most important sources of renewable energies, which man seeks to exploit for his needs, we have conducted this theoretical and experimental study In which we convert solar energy into thermal energy using solar concentrators which is parabol

The theoretical study of this center consisted in applying a simulation of it in several regions, to study the appropriate location, the quantity of production and the economic profitability.

Experimentally, we made this parabolic solar center using reflectors, which are aluminum and mirrors, and measuring the temperature that can be reached, because we were able to reach a temperature of 145.4 in the receiver under solar radiation 945, and these are preliminary results with the possibility of improvement and obtaining better results

Keywords: parabola, solar radiation ,dish Stirling

Résumé :

L'énergie solaire est l'une des plus importantes sources d'énergies renouvelables, que l'homme cherche à exploiter pour ses besoins, nous avons , mené cette étude théorique et expérimentale Dans lequel nous convertissons l'énergie solaire en énergie thermique en utilisant des concentrateurs solaires qui est une parabole

L'étude théorique de ce centre a consisté à en appliquer une simulation dans plusieurs régions,pour étudier l'emplacement approprié, la quantité de production et la rentabilité économique .

Expérimentalement, nous avons réalisé ce centre solaire parabolique en utilisant des réflecteurs, qui sont en aluminium et des miroirs, et en mesurant la température qui peut être atteinte, car nous avons pu atteindre une température de 145,4 dans le récepteur sous un rayonnement solaire 945, et ce sont des résultats préliminaires avec la possibilité d'amélioration et obtenir de meilleurs résultats.

Sommaire

Liste des figures	
Liste des tableaux.....	
Liste des symboles.....	
Introduction générale	1
I.1. Introduction.....	3
I. 2. L'origine de l'énergie solaire.....	3
I.3. Rayonnement solaire	3
I .4. Différents types du rayonnement solaire.....	5
a. Rayonnement global	5
b. Rayonnement direct.....	6
c. Rayonnement diffus	6
d. Albédo	6
I.5. Gisement solaire.....	7
I.5.1 Gisement solaire en Algérie	8
I.6. Différents types d'utilisation d'énergie solaire.....	10
I.6.1.Quelles sont les différents types d'énergies solaires ?.....	10
I.6.2.Les 3 types d'exploitations de l'énergie solaire.....	10
I.7. Potentiel et avantages de l'énergie solaire.....	11
I.8. Concentrateur solaire.....	12
I.8.1. Différents-types-des-concentrateurs-solaires	13
I.8.1.1 centrales à tour (héliostat) Les:	13
Figure I.7 Schéma de principe d'une centrale à tour [19].....	14
I.8.1.2. Les centrales linéaires Fresnel :	15
I.8.1.3 Le capteur solaire cylindre-parabolique:	16
I.8.1.4 Le concentrateur parabolique:	17
I.9 .Conclusion	18
.....	19
II.1. Introduction	19
.II .2. HISTORIQUE	19
II.3.DESCRPTION	19

II.4.Principe :	20
II.5. Les caractéristiques géométriques	21
II.5.1. La parabole	21
II.5.2 Angle d'ouverture d'une parabole	22
II.5.3. La taille d'une parabole	23
II.5.4. Surface d'une parabole	23
II.5. 5. La longueur d'une parabole	23
II.6. système optique d'une surface parabolique	23
II. 6 . Le réflecteur ou collecteur (paraboloïde)	24
II.8. Récepteur (absorbeur)	25
II.9.1 Principe du cycle de Stirling	26
II.9.2 Caractéristiques du système de suivi du soleil:	26
II.9.3. Caractéristiques du miroir parabolique:	27
II.9.4.Caractéristiques du moteur Stirling:	27
II.10.Conclusio	28
III.1 Introduction	29
III.2.Greenius	29
III.3. System Advisor Model (SAM)	30
III.4.Simulation dans le Greenius et SAM	32
III.5 Conclusion	42
IV.1. Préparation de « concentrateur solaire »»	44
IV.1.1 Les outils utilisés	44
IV.1.2 Dispositifs de mesures	44
IV.1.3 Des mesures d'action	45
IV.2Expérience du concentrateur solaire et suivi des résultats :	48
IV.2.1 Expérience 1	48
IV.2.1.1 apport de rayonnement direct :	49
IV.2.1.2 Température	49
IV.2.2 Expérience 2	51
IV.2.2.1 rapport de rayonnement direct :	51
IV.2.2.2 Température	52
IV.3 Conclusion :	54

Liste des figures

Le figure	Le titre	La page
	CHAPITRE I Généralités sur les Concentrateurs Solaires	
I.1	Différentes ondes du rayonnement solaire	4
I.2	Spectre du rayonnement solaire	5
I.3	Décomposition du rayonnement solaire	6
I.4	Carte de l'irradiation solaire moyenne du monde	8
I.5	Rayonnement solaire direct (Juillet 2001)	9
I.6	Centrales solaires à concentration	13
I.7	Schéma de principe d'une centrale à tour	14
I.8	Schéma d'un concentrateur solaire de Fresnel	15
I.9	Schéma d'un collecteur parabolique	16
I.10	Schéma d'un collecteur cylindro-parabolique	17
	CHAPITRE II <i>Concentrateur</i> solaire parabolique	
II.1	Nombreux prototypes de concentrateurs paraboliques	19
II.2	Concentrateurs paraboliques	20
II.3	Schéma de principe d'un concentrateur parabolique	21
II.4	Géométrie de la parabole	22
II.5	Segments d'une parabole ayant un foyer commun F et le même diamètre d'ouverture	22
II.6	Système optique d'une surface parabolique	24
II.7	élément différentiel de surface parabolique	25
II.8	Système Parabole-Stirling	26
II.9	Schéma montrant les étapes de fonctionnement d'un moteur Stirling de type Alpha	27
	CHAPITRE III SEMULATION DE PROJET	
III.1	Une carte montrant l'emplacement des cinq régions	33

	susmentionnés	
III.2	Graphique à colonnes de température ambiante	34
III.3	Graphique à colonnes de rayonnement solaire direct en Greenius	36
III.4	Graphique à colonnes de rayonnement solaire direct en SAM	37
III.5	Graphique à colonnes de production d'énergie en Greenius	39
III.6	Graphique à colonnes de production d'énergie en SAM	39
CHAPITRE IV Étude expérimentale du rétro-concentrateur parabolique		
IV.1	Solaremetre	44
IV.2	Thermometre	44
IV.3	parabole recouvertes d' une feuille d' aluminium	45
IV.4	couper et placer des pièces de miroir sur une parabole	46
IV.5	concentrateur solaire	47
IV.6	graphique à colonnes de rayonnement direct	49
IV.7	Graphique à colonnes de température	50
IV.8	Graphique à colonnes de rayonnement direct	51
IV.9	Graphique à colonnes de température	52
IV.10	Montrant l'allumage d'un papier l'aide du concentrateur solaire	54
IV.11	montrant la température maximale	54

Liste des tableaux

Le tableau	Le titre	La page
	CHAPITRE I Généralités sur les Concentrateurs Solaires	
I.1	Quelques valeurs de L'albédo selon la surface du sol	6
I.2	Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques	9
I.3	Caractéristiques des centrales solaires à concentration	13
	CHAPITRE III SEMULATION DE PROJET	
III.1	Les membres de l'équipe de développement principale	32
III.2	Température ambiante dans les cinq états	34
III.3	rayonnement solaire direct en Greenius	35
III.4	rayonnement solaire direct en SAM	36
III.5	production d'énergie en Greenius	38
III.6	production d'énergie en SAM	38
III.7	Résultats économiques	41
	CHAPITRE IV Étude expérimentale du rétro-concentrateur parabolique	
IV.1	des résultats le : 9/5/2022	
IV.2	résultats le : 10/5/2022	48
		51

Liste des symboles

Notation	Désignation	Unités
F	Distance focale	m
P	Le rayon parabolique	m
Ψ	L'angle d'ouverture d'une parabole	Degré (°C)
D	Le diamètre d'ouverture	m
H	La taille d'une parabole	m
A_x	La surface d'une parabole	m^2
S	La longueur d'une parabole	m
A_s	La surface du paraboloïde	m^2
A_a	La surface d'ouverture d'un paraboloïde	m^2
A_r	La surface du récepteur	m^2
C_g	La concentration géométrique	
C_0	La concentration optique	
I_a	Rayonnement incident reçu à la surface du collecteur	w
I_r	Rayonnement arrivant à la surface réceptrice	w
C	Facteur de concentration	
ε	L'angle sous lequel on voit le soleil à partir de la terre	Radians
SAM	System Advisor Model	

INTRODUCTION GENERAL

Introduction générale

De nos jours, la croissance de la demande énergétique mondiale et l'épuisement des Ressources fossiles ont conduit à la recherche et au développement de l'exploitation d'autres sources d'énergie moins chères et non polluantes, aussi est-il important, pour préserver notre environnement, de veiller dès à présent à réduire notre consommation d'énergie, Il y a une solution à l'énergie propre qui profite à l'environnement et à son exploitation dans divers domaines qui s'appelle les énergies renouvelables.

Qu'est-ce que l'énergie renouvelable ?

Les énergies renouvelables sont des formes d'énergies inépuisables c'est à dire leur consommation ne diminue pas leur ressource à l'échelle humaine. Le mot « ENERGIE », d'usage très répandu, vient du mot Grec « ENERGIA » qui signifie « FORCE EN ACTION ». Les sources Renouvelables sont l'énergie solaire, éolienne, hydraulique, géothermique, marine et la biomasse. [1]

Parmi ces énergies disponible et permanent c'est le plus grand type exploité, qui est l'énergie du soleil.

L'énergie solaire est la ressource énergétique renouvelable la plus abondante. C'est l'énergie produite dans toutes les directions par le soleil grâce au rayonnement solaire, il est transmis à la terre à travers l'espace sous forme de particules d'énergie, appelé photons. Elle peut être captée et transformée en chaleur ou en électricité grâce à des capteurs adaptés. L'énergie solaire thermique est la transformation du rayonnement solaire en énergie thermique. Cette transformation peut être soit utilisée directement ou indirectement. Il existe quatre principaux types des concentrateurs solaires pour la production d'énergie à partir des rayons solaires à savoir:

- 1) Les concentrateurs cylindre-paraboliques,
- 2) Les concentrateurs paraboliques,
- 3) Les miroirs de Fresnel,
- 4) les tours solaires [1]

INTRODUCTION GENERAL

Notre travail a pour but de faire une étude expérimentale et numérique parabolique afin, d'identifier les différents paramètres qui influent les performances du système les zones Ouargla.

Afin d'identifier dans quelle mesure la parabole peut être exploitée dans des applications thermiques dans notre région d'Ouargla, nous avons mené cette étude théorique et expérimentale.

Compte tenu de l'importance du sujet, nous abordons dans cette étude les points suivants

Chapitre. I : Généralités sur l'énergie solaire et le rayonnement solaire et les facteurs l'affectant et déterminant l'intensité du rayonnement solaire en Algérie en particulier

Chapitre .II : Le second présente une description détaillée du concentrateur solaire parabolique(CSP). Il comprend la structure, la géométrie, le principe de fonctionnement ainsi que leurs composants et caractéristiques. Et enfin quelques applications.

Chapitre. III : Simulation de projet

CHAPITRE IV : Étude expérimentale du rétro-concentrateur parabolique

Chapitre I
Généralités sur
les
Concentrateurs
Solaires

CHAPITRE I GÉNÉRALITÉS SUR LES CONCENTRATEUR SOLAIRE

I.1. Introduction

La concentration solaire est actuellement utilisée dans des installations pilotes de type industriel comme source de chaleur pour des cycles thermodynamiques pour produire de l'électricité, de l'hydrogène ou pour des réacteurs chimiques (entre 450 et 3000°C) ou pour augmenter la production de cellules photovoltaïques. Il faut donc considérer que ces technologies apporteront de réelles alternatives à la consommation des ressources fossiles à moyen et long terme [1]

Pour utiliser pleinement cette énergie dans tout projet ou recherche installations solaires, il est nécessaire de présenter dans ce chapitre quelque notion sur :

- L'origine de l'énergie solaire
- Rayonnement solaire
- Gisement solaire
- Les différents types de concentrateurs solaires.

Et enfin une conclusion qui englobe les informations acquises.

I. 2. L'origine de l'énergie solaire

L'astre solaire est une étoile de 1397 000 km de diamètre (110 fois celui de la terre) au sein duquel se produit une réaction de fusion (fusion d'hydrogène en hélium) générant d'énormes quantités d'énergies. Une toute petite partie de cette énergie arrive sur terre, par rayonnement électromagnétique. Globalement, l'énergie reçue est néanmoins considérable (1 million de Téra wattheures).

Elle est de l'ordre de 10000 fois la consommation énergétique annuelle de la population mondiale. La puissance maximale moyenne délivrée sur terre par mètre carré d'environ 1000 Watts.[2]

I.3. Rayonnement solaire

Le Soleil émet un rayonnement de type électromagnétique. La lumière blanche nous parvient en très peu de temps (elle met en moyenne environ 8 minutes et 19

CHAPITRE I GENEALITES SUR LES CONCENTRATEUR SOLAIRE

secondes a nous parvenir) car il se déplace à la vitesse de la lumière, soit 299 792 458 m/s.

Ce rayonnement constitue un spectre continu allant des ultra-violet à l'infrarouge en passant par le visible où il émet avec le maximum d'intensité. Cependant, en traversant la chromosphère du Soleil et l'atmosphère de la Terre, les atomes qui les composent absorbent certains photons. [3]

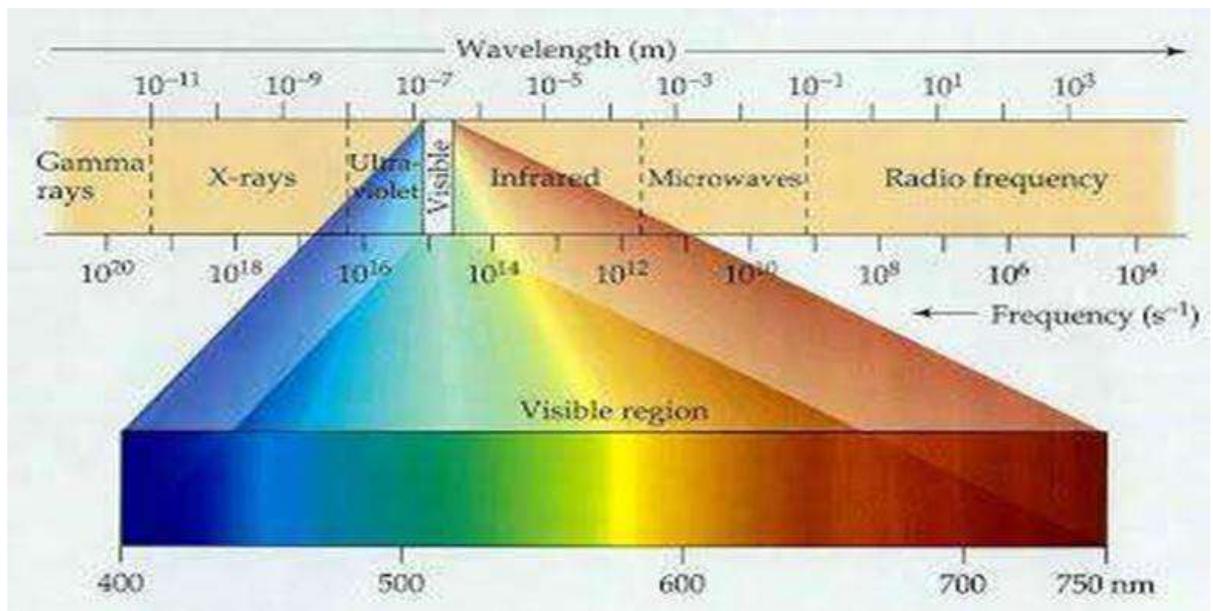


Figure .I.1: Différentes ondes du rayonnement solaire [3]

Cette émission électromagnétique compris dans une bande de longueur d'onde variant de 0.22 à 10 μm . La figure (I.1) représente la répartition spectrale du rayonnement solaire au niveau du sol terrestre. L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement ainsi:

- 9 % dans la bande des ultraviolets ($< 0.4 \mu\text{m}$) ;
- 47 % dans la bande visible ($0.4 \text{ à } 0.8 \mu\text{m}$) ;
- 44 % dans la bande des infrarouges ($> 0.8 \mu\text{m}$).

L'atmosphère terrestre reçoit ce rayonnement à une puissance moyenne de 1.37 kW/m² à plus ou moins 3 %, selon que la terre s'éloigne ou se rapproche du soleil

CHAPITRE I GENEALITES SUR LES CONCENTRATEUR SOLAIRE

dans sa rotation autour de celui-ci. L'atmosphère en absorbe toutefois une partie, de sorte que la quantité d'énergie atteignant la surface terrestre dépasse rarement 1200 W/m². La rotation et l'inclinaison de la terre font également que l'énergie disponible en un point donné varie selon la latitude, l'heure et la saison. Enfin, les nuages, le brouillard, les particules atmosphériques et divers autres phénomènes météorologiques causent des variations horaires et quotidiennes qui augmentent ou diminuent le rayonnement solaire et le rendent diffus. [3]

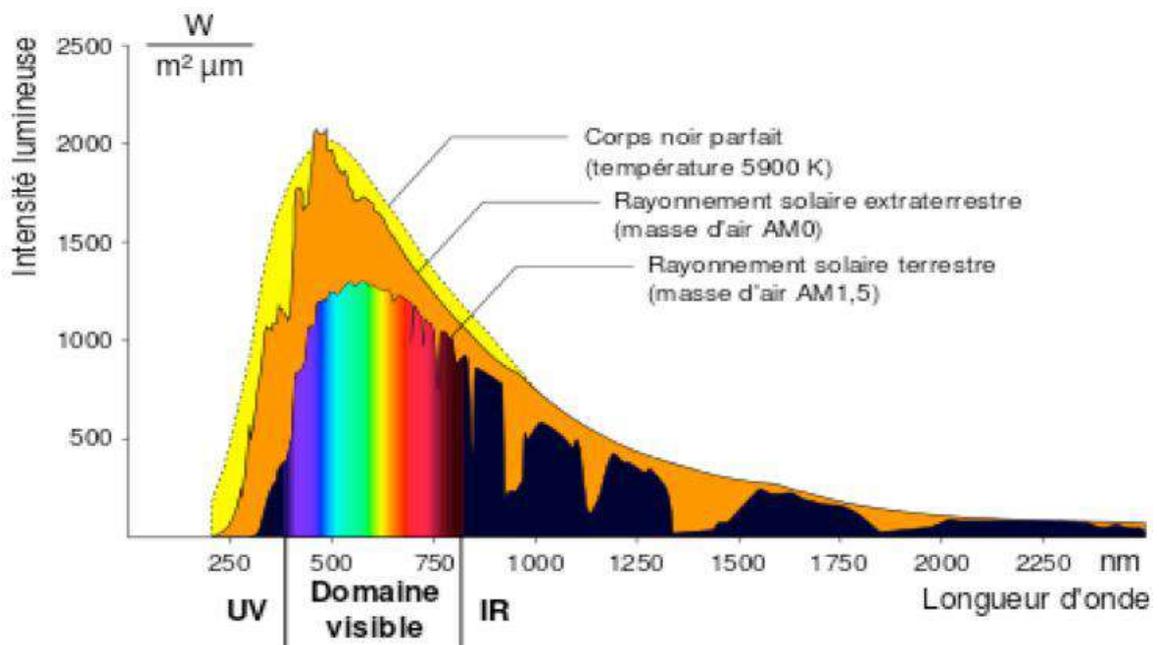


Figure I.2. Spectre du rayonnement solaire [4]

I .4. Différents types du rayonnement solaire

Le soleil fournit une quantité d'énergie énorme, 15*10¹⁷ kWh/an. Le besoin global de la terre (besoins électriques, énergie thermique, transport) est de 30*10¹³ kWh/an. Le soleil fournit donc annuellement 5000 fois les besoins énergétiques globaux de la terre. La fraction de rayonnement absorbée varie avec la longueur d'onde. Le rouge étant plus absorbé que le bleu ou le jaune [5]

a. Rayonnement global

Le rayonnement global au sol est donc fonction de la composition et de l'épaisseur de l'atmosphère traversée par les rayons lumineux au cours de la journée. Il se

CHAPITRE I GENEALITES SUR LES CONCENTRATEUR SOLAIRE

décompose en rayonnement direct et rayonnement diffus, et ce sont ces deux rayonnements qui sont exploités par les générateurs solaires

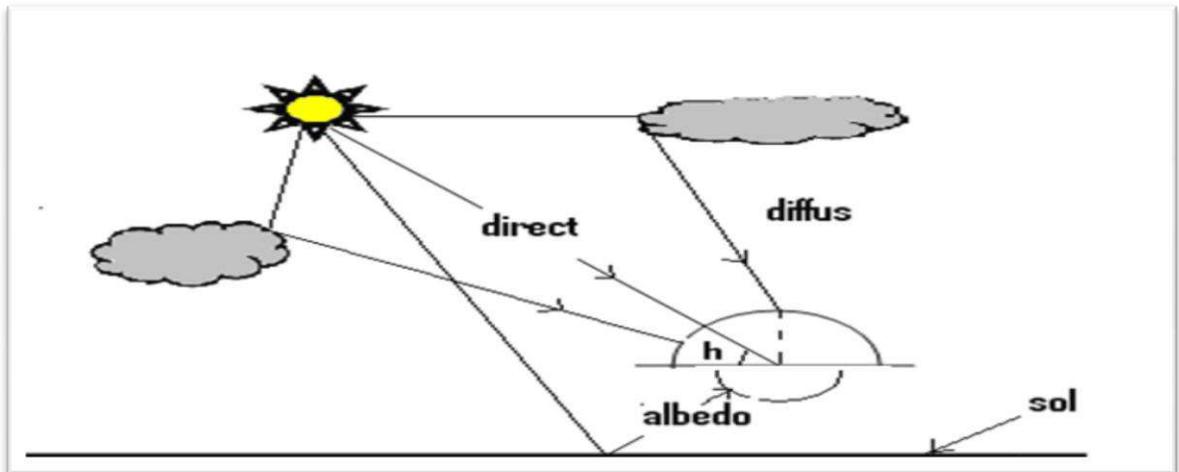


Figure I.3.: Décomposition du rayonnement solaire [6]

b. Rayonnement direct

C'est le rayonnement solaire incident sur un plan donné et provenant d'un angle solide centré sur le disque solaire.

c. Rayonnement diffus

C'est le rayonnement émis par des obstacles (nuages, sol, bâtiments) et provient de toutes les directions. Les deux rayonnements direct et diffus sont illustrés sur la figure (I.3).

d. Albédo

C'est la fraction d'un rayonnement incident diffusée ou réfléchi par un obstacle. Ce terme étant généralement réservé au sol qu'aux nuages, c'est une valeur moyenne de leur réflecteur pour le rayonnement considérée et pour tous les angles d'incidences possible. Par définition, le corps noir possède un albédo nul.

CHAPITRE I GÉNÉRALITÉS SUR LES CONCENTRATEUR SOLAIRE

Tableau I.1 : Quelques valeurs de L'albédo selon la surface du sol:[5]

Surfaces du sol	Albédo
Surface d'eau	0,03 à 0,1
Forêt	0,05 à 0,2
Sol cultivé	0,07 à 0,14
Pierres et rochers	0,15 à 0,25
Champs et prairies	0,1 à 0,3
Sol nu	0,15 à 0,4
Neige ancienne	0,5 à 0,7
Neige fraîche	0,8 à 0,95

I.5. Gisement solaire

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement d'un système énergétique solaire et faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu de la demande à satisfaire [9].

Le rayonnement solaire est la source d'énergie la plus répandue et la plus régulièrement répartie sur la surface du globe terrestre. En une année, l'humanité toute entière consomme une énergie qui représente moins de 3% de ce que le soleil rayonne chaque jour. Également 1% des surfaces des zones arides et semi-arides sont suffisante pour produire l'électricité consommée dans le monde actuellement [8].

Dans beaucoup de régions du monde, un kilomètre carré de terrain suffirait à générer jusqu'à 120 GWh d'électricité par an grâce à la technologie des centrales solaires thermodynamiques, cette énergie est équivalente à la production annuelle d'une centrale classique de 50 MW [9].

La Figure. I.4 schématise les endroits les plus prometteurs pour l'implantation de ces technologies sont ceux de la ceinture solaire, c'est à dire les régions où l'ensoleillement normale directe excède 2000 kWh/m²/an, il s'agit des régions telles que : le Sud-Ouest des États-Unis d'Amérique, l'Amérique du Sud, une grande partie de l'Afrique (le Maghreb, les pays sahéliens, l'Afrique Australe), les pays

CHAPITRE I GENEALITES SUR LES CONCENTRATEUR SOLAIRE

méditerranéens et du Moyen Orient, les plaines désertiques d'Inde et du Pakistan, la Chine, l'Australie, l'Italie, l'Espagne, la Grèce,... etc [8]

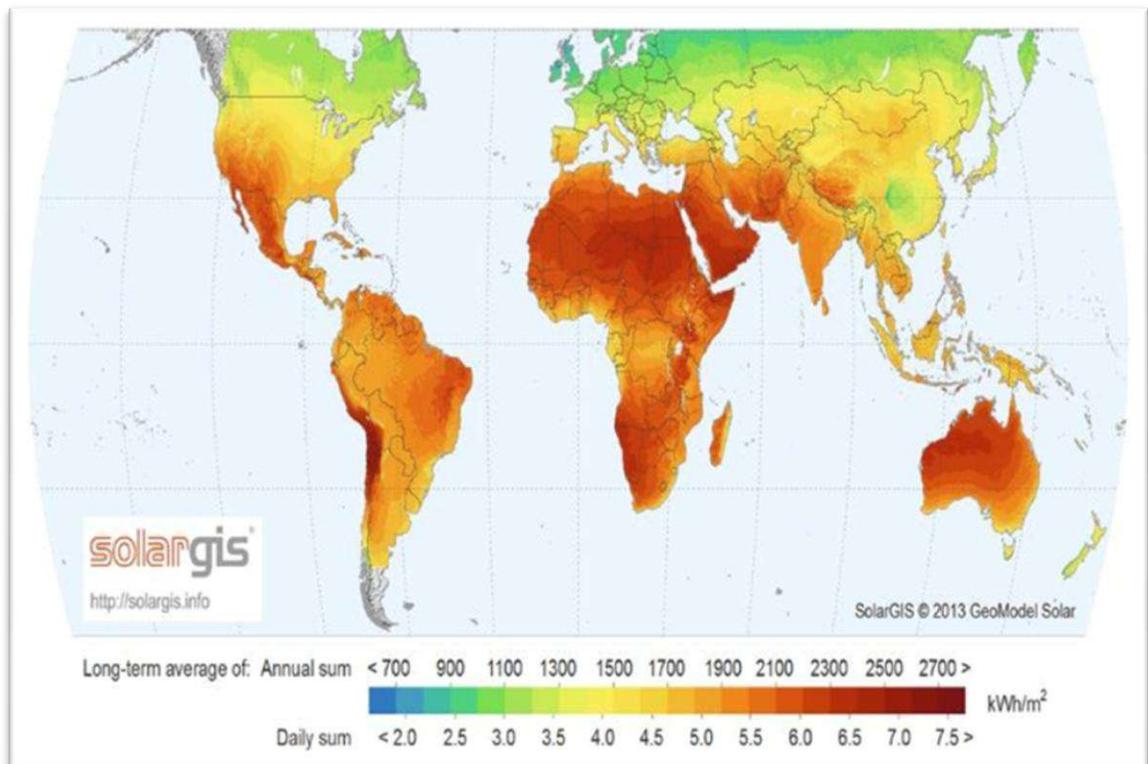


Figure. I.4. Carte de l'irradiation solaire moyenne du monde [10].

I.5.1 Gisement solaire en Algérie

Le gisement solaire en Algérie est énorme comme le montre la figure I.5. Suite à une évaluation par satellites, l'Agence Spatiale Allemande (ASA) a conclu, que l'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen, soit 169.000 TWh/an pour le solaire thermique, 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque. Le potentiel solaire algérien est l'équivalent de 10 grands gisements de gaz naturel qui auraient été découverts à Hassi R'Mel [11].

CHAPITRE I GENEALITES SUR LES CONCENTRATEUR SOLAIRE

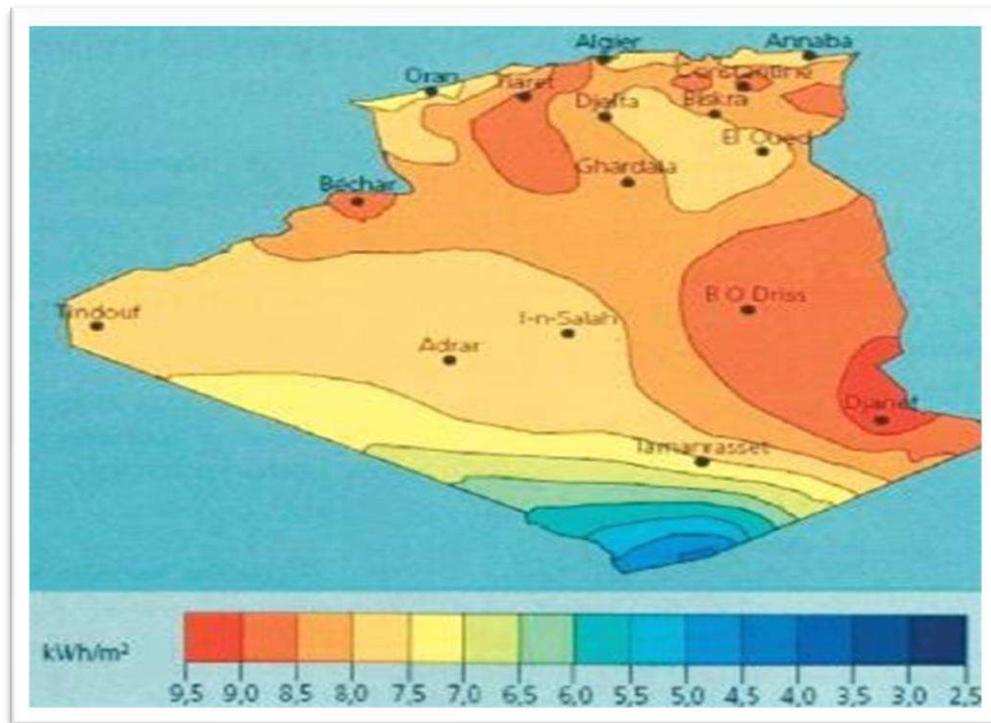


Figure. I.5. Rayonnement solaire direct (Juillet 2001) [12]

La répartition du potentiel solaire par région climatique au niveau du territoire algérien est représentée dans le tableau I.2. Selon l'ensoleillement reçu annuellement [9] :

Tableau I.2. Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques

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

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

CHAPITRE I GENEALITES SUR LES CONCENTRATEUR SOLAIRE

période estivale [13]. La région d'Adrar est particulièrement ensoleillée et présente le plus grand potentiel de toute l'Algérie.

I.6. Différents types d'utilisation d'énergie solaire

I.6.1. Quelles sont les différents types d'énergies solaires ?

Toute installation solaire requiert trois éléments permettant d'assurer la récupération des rayons transmis par le soleil, pour ensuite les transformer en électricité et les distribuer :

- Une installation de type panneaux photovoltaïques ;
- Un onduleur permettant de convertir l'électricité obtenue en courant alternatif ;
- Un compteur servant à comptabiliser la quantité de courant ainsi produite et distribuée

I.6.2. Les 3 types d'exploitations de l'énergie solaire

- L'énergie solaire photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque est obtenue par l'énergie des rayonnements du soleil. C'est la raison pour laquelle les panneaux photovoltaïques qui vont les récolter, se trouvent installés sur les toits, avec la meilleure orientation possible.

Le but est qu'ils soient exposés un maximum aux rayonnements du soleil, pour récolter les photons du soleil, et en faire ensuite de l'électricité.

La composition des panneaux solaires est conçue de telle sorte que la superposition des couches, chargées négativement ou positivement, produit une tension électrique quand un photon les traverse. Un fil raccordé à une borne positive et un autre à la borne négative, un peu à l'image d'une pile, permet de mettre à profit l'énergie ainsi produite.

- L'énergie solaire thermique

CHAPITRE I GÉNÉRALITÉS SUR LES CONCENTRATEUR SOLAIRE

Les panneaux solaires thermiques contiennent des fluides caloporteurs. Une fois qu'ils sont chauffés par le soleil, les fluides commencent à chauffer le ballon d'eau chaude.

L'énergie solaire thermique sert aussi bien pour alimenter :

- ✓ Un chauffage solaire
- ✓ Un chauffe-eau
- ✓ Une cuisinière
- L'énergie solaire thermodynamique

L'énergie solaire thermodynamique est produite via des centrales solaires à concentration. Il s'agit d'un assemblage de miroirs contenant des fluides caloporteurs, couplés à un générateur d'électricité solaire.

À l'image des panneaux solaires thermiques, ce sont les miroirs qui transforment l'énergie collectée par les rayons du soleil, en chaleur.

Cette chaleur a une température très élevée. Bien supérieure à la température à laquelle elle a été collectée. Elle peut aller de 250 à 800 degrés selon la technique employée.

Cette chaleur sera convertie en électricité au moyen d'un turbo-alternateur.

I.7. Potentiel et avantages de l'énergie solaire

Même si la façon d'exploiter l'énergie solaire a énormément évolué ces dernières années, il existe encore un potentiel impressionnant.

Chaque jour, l'énergie émanant du soleil équivaut à 15 000 fois la consommation totale d'énergie mondiale.

En l'exploitant davantage, nous serions capables de résoudre une grande partie de nos problèmes de pollution et d'approvisionnement en énergie dans le monde.

Voici un court rappel des avantages de l'énergie solaire :

- ✓ Pas d'émission de gaz à effet de serre.

CHAPITRE I GÉNÉRALITÉS SUR LES CONCENTRATEUR SOLAIRE

- ✓ Une énergie verte et renouvelable qui peut couvrir les besoins en eau chaude sanitaire et en chauffage.
- ✓ Une source d'énergie disponible et silencieuse.
- ✓ Une opportunité de faire des économies tout en préservant la planète grâce aux panneaux solaires thermiques.
- ✓ Des installations à des prix abordables, avec des frais de maintenance bas.[14]

I.8. Concentrateur solaire

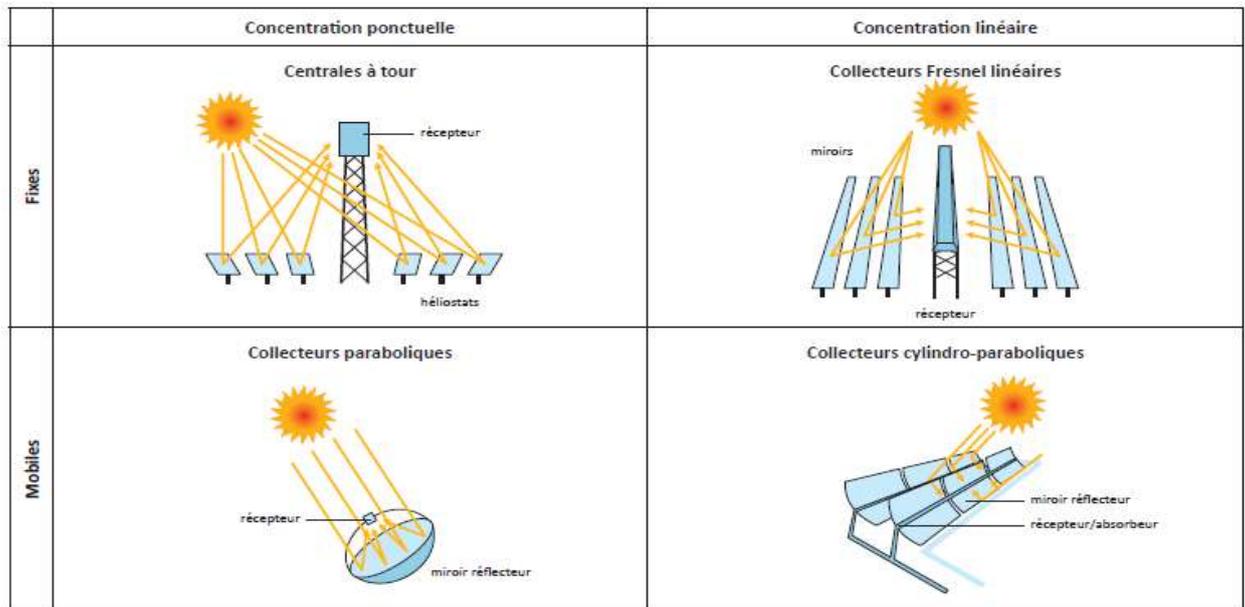
Les conceptions solaires à haute température nécessitent des systèmes de concentration, tels que des systèmes paraboliques réflecteurs. Les centrales thermiques solaires dotées de technologies de concentration sont importantes candidats pour fournir l'énergie solaire en quantité nécessaire au cours des prochaines décennies.

Il s'agit de concentrer le rayonnement solaire et une grande variété de configurations est possible. Quatre technologies d'énergie solaire à concentration sont développées et peuvent être classées en deux catégories

- : • Les systèmes de concentration linéaire : cylindre-parabolique, miroir de Fresnel,
- Les systèmes de concentration ponctuels : récepteur central (tour), parabole-Stirling.

Ces technologies, qui ne valorisent que la composante directe du rayonnement solaire, et sont équipées de dispositifs de suivi de la trajectoire du soleil et de miroirs pour concentrer ses rayons. [15]

CHAPITRE I GENERALETES SUR LES CONCENTRATEUR SOLAIRE



source : AIE

Figure I.6 : Centrales solaires à concentration [16]

I.8.1. Différents-types-des-concentrateurs-solaires

Les caractéristiques techniques principales de ces centrales solaires à concentration (CSP) sont présentées dans le tableau ci- dessous. [17]

Tableau I.3.Caractéristiques des centrales solaires à concentration [17]

Type de champ solaire	Facteur de concentration	Capacité d'unité (MW)	Prix du champ Solaire (€/m ²)	Température d'opération (°C)
Miroirs de Fresnel	25-100	10-200	150-200	270-550
Cylindro parabolique	70-80	10-200	200-250	390-550
Parabolique	1000-3000	0.01-0.04	> 350	800-900
Tour solaire	300-1000	10-150	250-300	550-1000

I.8.1.1 centrales à tour (héliostat) Les:

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

CHAPITRE I GENEALITES SUR LES CONCENTRATEUR SOLAIRE

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 [18][19]

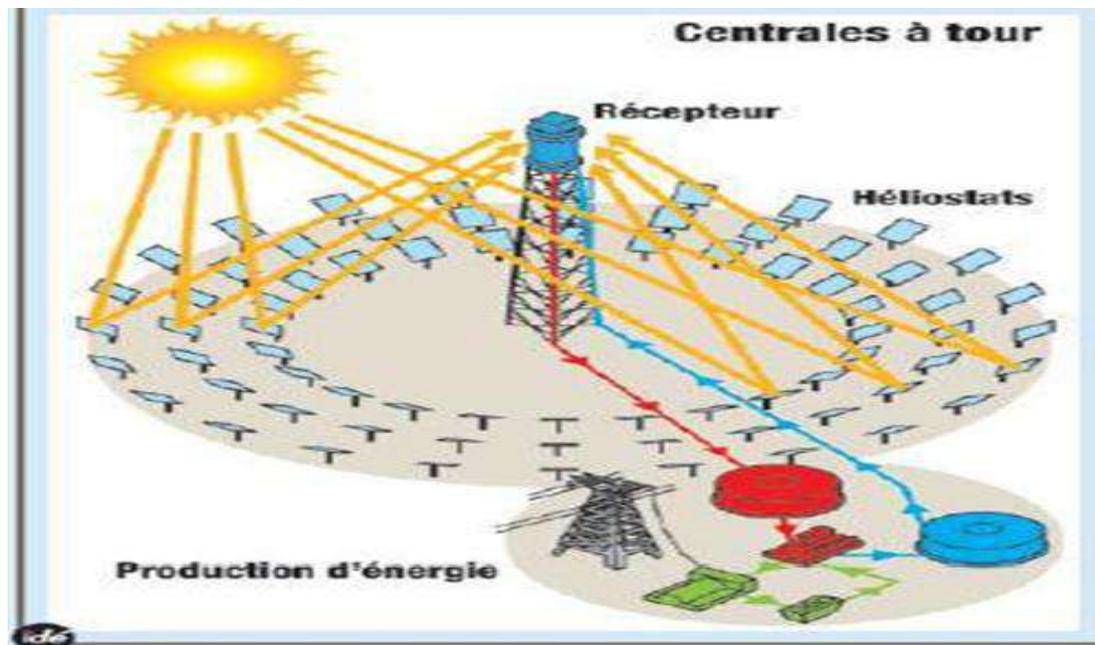


Figure I.7 Schéma de principe d'une centrale à tour [18]

+ **Avantage :**

Source d'énergie inépuisable et abondante

Pas de combustible ni d'émission polluante

Permet de valoriser des zones désertiques

- **Inconvénients :**

Nécessite un fort ensoleillement

Surface au sol importante

I.8.1.2. Les centrales linéaires Fresnel :

Le principe d'un concentrateur de Fresnel réside dans ses miroirs plans (plats) dits "réflecteurs compacts linéaires". Chacun de ces miroirs peut pivoter en suivant la course du soleil pour rediriger et concentrer en permanence les rayons solaires vers un tube absorbeur. Un fluide caloporteur est chauffé jusqu'à 500° en circulant dans ce tube horizontal. Cette énergie est transférée à un circuit d'eau, la vapeur alors produite actionne une turbine qui produit de l'électricité .[20]

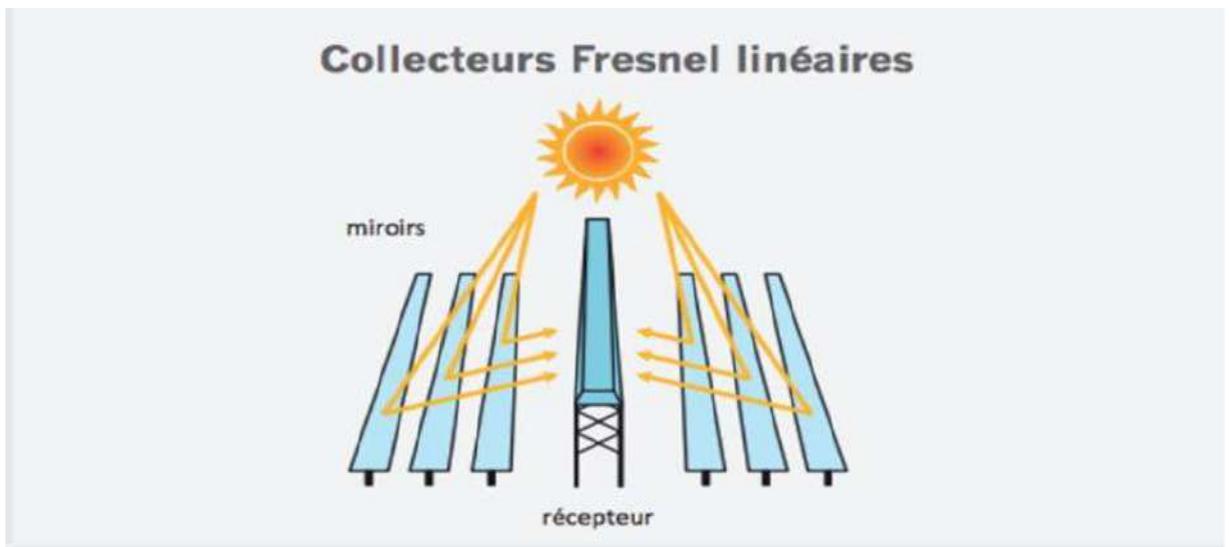


Figure I.8:Schéma d'un concentrateur solaire de Fresnel. [20]

+Avantages :

Les miroirs plans sont plus simples à fabriquer et meilleur marché que les paraboliqes et cylindro-paraboliqes

Moins de prise au vent, infrastructure moins importante qu'une centrale à capteurs cylindro-paraboliqes

-Inconvénients :

Performances optiques inférieures d'environ 30% par rapport aux réflecteurs paraboliqes et cylindro-paraboliqes

I.8.1.3 Le capteur solaire cylindre-parabolique:

Ce type de centrale se compose d'alignements parallèles de longs miroirs hémicylindriques, qui tournent autour d'un axe horizontal pour suivre la course du soleil.

Les rayons solaires sont concentrés sur un tube horizontal, où circule un fluide caloporteur qui servira à transporter la chaleur vers la centrale elle-même.

La température du fluide peut monter jusqu'à 500° C. Cette énergie est transférée à un circuit d'eau, la vapeur alors produite actionne une turbine qui produit de l'électricité.

Certaines centrales sont désormais capables de produire de l'électricité en continu, nuit et jour, grâce à un système de stockage de la chaleur [21]

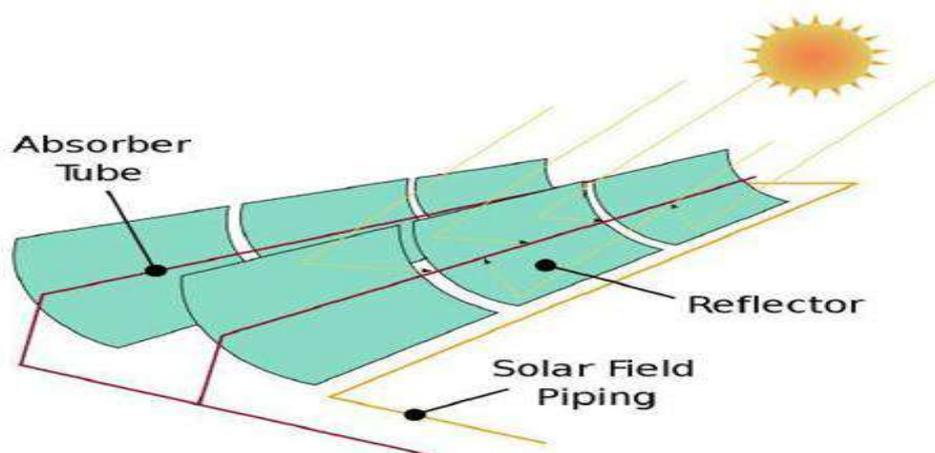


Figure.I.9 : Schéma d'un collecteur parabolique [22]

- **Avantages**

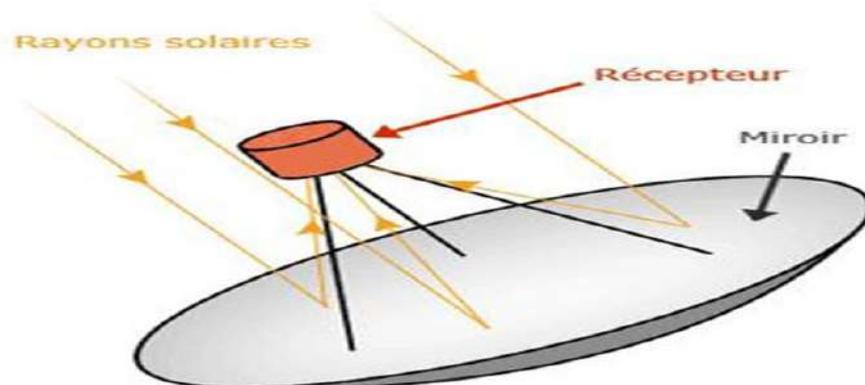
- Source d'énergie inépuisable et abondante
- Pas de combustible ni d'émission polluante
- Peu fonctionner sans intermittence avec un système de stockage de chaleur

I.8.1.4 Le concentrateur parabolique:

Le concentrateur parabolique représenté schématiquement sur la (figure I.10), est composé d'une surface réfléchissante qui concentre le rayonnement solaire incident à son foyer. La contrainte majeure est la nécessité de mobiliser la parabole selon deux axes de rotation pour assurer la poursuite du soleil. Ceci entraîne une limitation de la dimension unitaire de ce concentrateur.

Trois types des surfaces réfléchissantes ont été utilisés, la première possibilité consiste en un dépôt d'argent ou d'aluminium à l'arrière d'une plaque de verre, la deuxième est basée sur le même principe mais on remplace la plaque de verre par un film plastique et la troisième possibilité consiste en des feuilles

d'aluminium polies. Ces feuilles sont peu chères mais ont une faible réflectivité et une faible longévité [23]



FigureI.10. Schéma d'un collecteur cylindro-parabolique [24]

- **Avantages/Inconvénients :**

Le principal avantage de ce type d'installations réside dans le fait qu'il représente une source d'énergie inépuisable et gratuite. En effet, il ne produit aucune émission polluante. De plus, le concentrateur solaire parabolique permet souvent d'avoir un bon rendement. Le rendement est généralement du même ordre que pour des panneaux photovoltaïques, mais ce type de système a atteint des rendements supérieurs à 30% dans la conversion du rayonnement solaire en électricité. Cependant, il faut savoir que ce concentrateur fonctionne par intermittence. Ce système étant alimenté par le

CHAPITRE I GÉNÉRALITÉS SUR LES CONCENTRATEUR SOLAIRE

soleil, il connaît une production soumise aux aléas météorologiques. Lors des jours nuageux ou les jours de pluie, le rendement de cet appareil est considérablement diminué. Pour pallier cette discontinuité, un système d'appoint ou un système de stockage peut être mis en place pour assurer l'autonomie de ce type d'appareil.

Et le sujet de notre recherche porte sur ce type de concentrés.

I.9 .Conclusion

On a présenté dans ce chapitre un récapitulatif de quelques notions de base relatif au gisement solaire, la connaissance de ces notions fondamentales et particulièrement le rayonnement global au sol va nous servir par la suite dans l'exploitation de l'énergie solaire par en particulier les concentrateurs solaires et les Concentrateur solaire parabolique particulièrement Et le sujet de notre recherche porte sur ce type de concentrés.

L'Algérie dispose d'un gisement solaire important encore inexploité. Cette forme d'énergie

Présente beaucoup d'avantages en conversion thermique pour le chauffage et la production d'électricité principalement. C'est une forme d'énergie disponible, économique, non polluante.

CHAPITRE II

Concentrateur solaire

II.1. Introduction

Le concentrateur solaire parabolique utilise 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. Naturellement ces concentrateurs doivent suivre le mouvement du soleil et atteindre des températures plus élevées sur le récepteur.

Dans ce chapitre nous décrivons un type de système de concentration solaire ponctuelle qui est le concentrateur solaire parabolique. Ensuite nous donnons une description détaillée sur cette technologie, sa géométrie, ses composants, ses caractéristiques et ses applications. Nous terminons le chapitre par une conclusion

.II .2. HISTORIQUE

1. Depuis 30 ans de nombreux prototypes (figure II.1) ont vu le jour, l'objet principal a été

D'augmenter les performances et de diminuer les coûts [25]



Figure II.1. Nombreux prototypes de concentrateurs paraboliques [26]

II.3.DESCRPTION

Les concentrateurs solaires paraboliques sont formés par un ensemble de miroir incurvés dont l'assemblage entraîne la réalisation d'une parabole. Ressemblant à des paraboles de réception satellite, les concentrateurs paraboliques sont en 3 dimensions. En effet, ils forment une courbe de la même manière sur toute leur longueur et la largeur. Les concentrateurs sont bordés de miroirs ou recouverts d'un

revêtement réfléchissant tel que l'aluminium. Bien entendu, l'utilisation de certains revêtements entrainera des résultats plus élevés dans la réflectivité. Plus la réflectivité sera grande, plus les concentrateurs solaires seront puissants [25]



Figure II.2. Concentrateurs paraboliques [25]

II.4.Principe :

Fondamentalement, lorsque la lumière frappe une surface réfléchissante, elle rebondit sous le même angle. Les concentrateurs solaires paraboliques sont conçus avec des miroirs incurvés de sorte que peu importe où la lumière frappe la surface du concentrateur, toute la lumière est réfléchi vers un seul point. La distance entre la surface du condenseur et le point où la lumière se rassemble est la distance focale. Les capteurs solaires réfléchissent les rayons du soleil jusqu'à un point appelé point de convergence. Ainsi, un concentrateur solaire parabolique correspond à un ensemble de miroirs courbes qui concentrent tous les rayons entrants du soleil sur un seul point correspondant au point focal. [25]

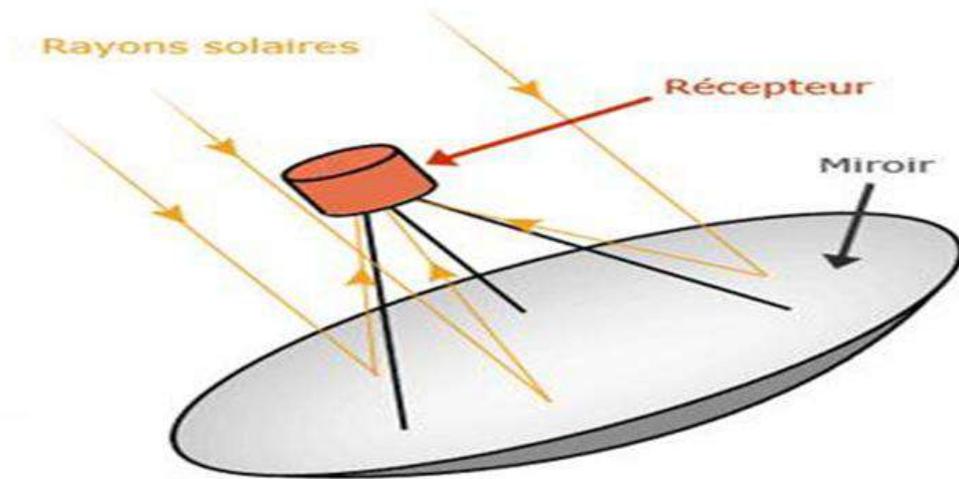


Figure II. 3 Schéma de principe d'un concentrateur parabolique [24]

II.5. Les caractéristiques géométriques

II.5.1. La parabole

Une parabole est un ensemble de points équidistants d'une droite fixe (D) appelée directrice et d'un point fixe (F) appelé foyer. L'intersection de la parabole avec son axe est le sommet (V), qui est exactement entre le foyer et la directrice. La figure II.1 montre la géométrie de la parabole. L'équation de la parabole est [27] :

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

f. est la distance focale FV

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

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

ψ est l'angle mesuré à partir de la ligne (VF) et le rayon parabolique (p)

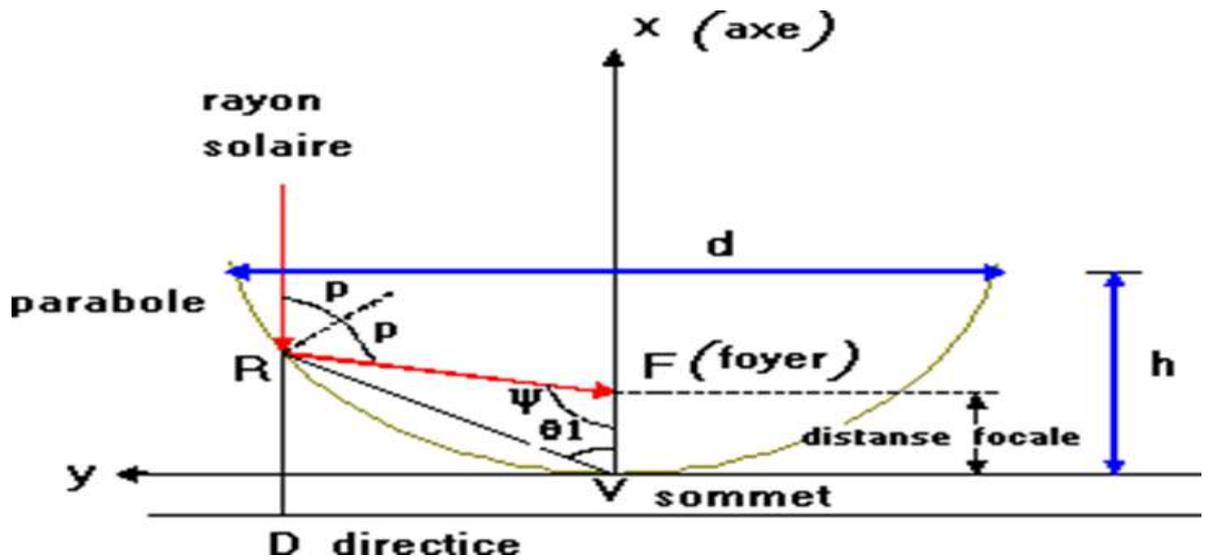


Figure II.4. Géométrie de la parabole [28]

II.5.2 Angle d'ouverture d'une parabole

L'angle d'ouverture d'une parabole est définie par [30]

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

f . la distance focale

d . le diamètre de l'ouverture de la parabole.

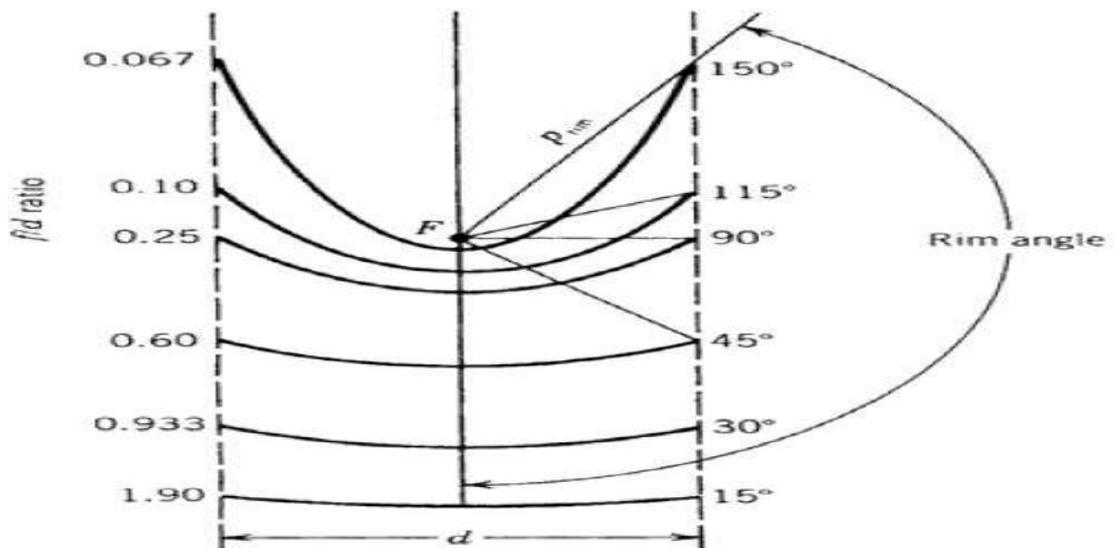


Figure II.5. : Segments d'une parabole ayant un foyer commun F et le même diamètre d'ouverture [30]

II.5.3. . La taille d'une parabole

La distance maximale entre le sommet et une ligne tracée à travers l'ouverture de la parabole définit la hauteur ou la taille de la parabole. Elle est donnée par [31]

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

II.5.4. Surface d'une parabole

C'est l'espace comprenant entre une parabole et une ligne à travers son ouverture, elle est donnée par [33]

$$A_x = \frac{2}{3} d \cdot h \quad (\text{m}^2) \quad (\text{II.5})$$

II.5.5. La longueur d'une parabole

En intégrant la surface différentielle de l'équation (II.1) et en appliquant les limites $X=h$ et $Y=d/2$, on aboutit à la longueur d'arc d'une parabole décrite par la formule [33]

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

II.6. système optique d'une surface parabolique

La figure II.2 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 » [34]

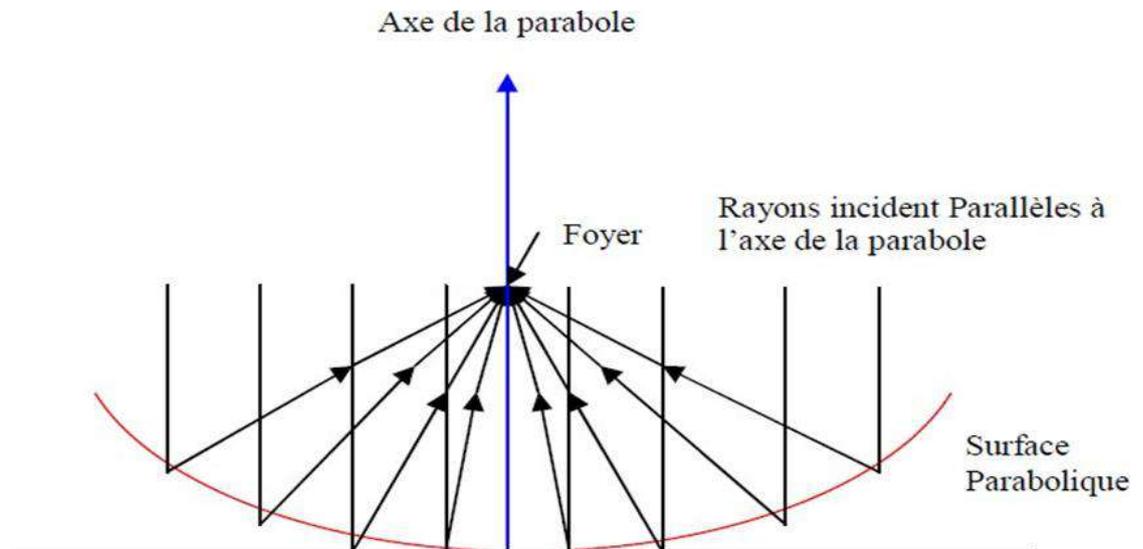


Figure II.6. Système optique d'une surface parabolique [35]

II. 6 . Le réflecteur ou collecteur (paraboloïde)

Le paraboloïde est obtenu par une rotation de la parabole autour de son axe. En proposant l'axe de symétrie est (Oz), L'équation pour le paraboloïde est donnée par [31],[33]

$$x^2 + y^2 = 4. f. z \quad (\text{II.7})$$

Où la distance f est la distance focale VF. En coordonnées cylindriques, où a est la distance de l'axe z , cela devient :

$$z = \frac{a^2}{4.f} \quad (\text{II.8})$$

En intégrant cette dernière équation, on trouve la surface d'un paraboloïde en fonction de la distance focale et le diamètre d'ouverture comme le montre la relation suivante [36]

$$dA_s = 2. \pi. d \sqrt{dz^2 + da^2} \quad (\text{II.9})$$

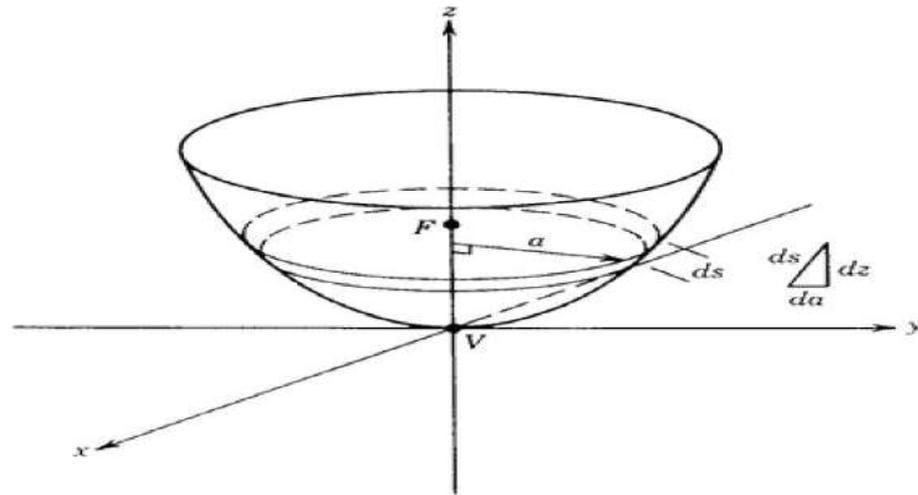


Figure II.7. élément différentiel de surface parabolique [37]

La surface d'ouverture d'un paraboloïde de diamètre d'ouverture d est donnée par [36]

$$A_a = \frac{\pi d^2}{4} \quad (II.10)$$

II.8. Récepteur (absorbeur)

Le récepteur absorbe l'énergie réfléchiée par le réflecteur et la transfère au caloporteur (liquide ou gaz), minimisant les déchets. La température de la source chaude peut être adaptée en plaçant le récepteur plus ou moins loin du foyer du collecteur. Le destinataire doit absorber autant de flux concentré que possible. Les récepteurs peuvent être divisés en deux familles selon leur zone de transfert [37]

1. Surface externe : Plusieurs configurations possibles : plate, cylindrique, conique ou sphérique selon distribution, débit, température et application. Ce type de récepteur est généralement utilisé dans la gamme température dans la plage de 300 à 400 °C max.

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.

Il est préférable que le récepteur soit métallique car seuls les métaux ont de bons coefficients de conduction de la chaleur (cuivre $380 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$, aluminium $200 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$, acier $60 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$). 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 [30]

Tout commence au XIXème siècle avec la création du moteur à air chaud dit moteur Stirling par le pasteur Robert Stirling. Le système sera breveté le 20 janvier 1817.



Figure II.8. *Système Parabole-Stirling [39]*

II.9.1 Principe du cycle de Stirling

Le système parabole-stirling EuroDish d'Odeillo utilise le principe de la concentration des rayons solaires par miroir réfléchissant. Le miroir parabolique concentre les rayons solaires sur le récepteur solaire du moteur Stirling placé sur le point focal. Le gaz du moteur est ainsi chauffé et entraîne le fonctionnement du moteur selon le cycle de Carnot. L'énergie mécanique est alors transformée en énergie électrique par le biais du générateur électrique.

Le système Parabole-Stirling d'Odeillo est constitué de 3 ensembles principaux: un système de suivi du soleil, un miroir de forme parabolique et un moteur Stirling de type alpha [39].

II.9.2 Caractéristiques du système de suivi du soleil:

2 moteurs brushless réductés de 100W Entraînement par chaîne

1 moteur DC de secours

II.9.3. Caractéristiques du miroir parabolique:

Diamètre : 8,5 m

Surface nette totale : 56,75 m²

Surface limitée avec des bandes à "Odeillo" : 42,74 m²

II.9.4. Caractéristiques du moteur Stirling:

Modèle original : Moteur Stirling SOLO 161

Type : alpha, V2 à 90°, 160 cm³

Gaz de travail : hydrogène à 180 bars max

Récepteur solaire de 50 kWth environ

Puissance électrique jusqu'à 11 kWe

Rendement net moteur vers électricité 32 %

Fonctionnement du moteur Stirling de type alpha

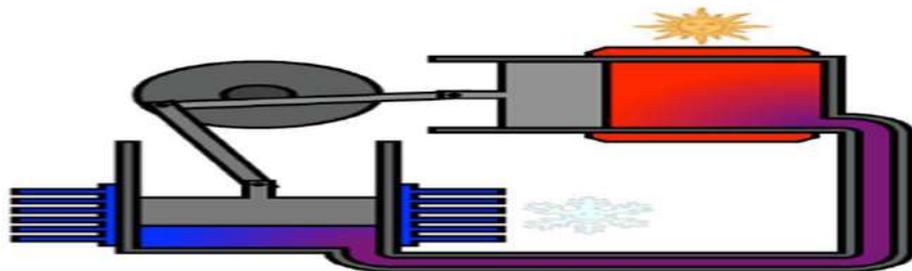


Figure II.9 .Schéma montrant les étapes de fonctionnement d'un moteur Stirling de type Alpha

[39]

1. . La majorité du gaz est dans le cylindre chaud, se détend et commence à pousser le cylindre froid
2. Le gaz occupe son volume maximal, le piston chaud repousse le gaz vers le cylindre froid. Le gaz se refroidi et se compresse.
3. . La majorité du gaz est dans le cylindre froid et se compresse.

4. Le gaz occupe son volume minimal, mais commence à se réchauffer dans le cylindre chaud et donc à se détendre. [40]

II.10.Conclusio

Après avoir étudié les types de concentrateurs solaires et identifié plus importantes nous avons déduit les équations mathématiques qui se rapportent à la parabole solaire .L'efficacité du concentrateur et du récepteur (absorbeur) dépendent de la géométrie ainsi que les caractéristiques thermo-physique.

Pour la conception d'un tel système, on doit tenir compte de ces paramètres.

CHAPITRE III
SEMULATION
DE PROJET

III.1 Introduction

Les projets d'énergie renouvelable de toutes sortes sont considérés comme l'un des moyens de réaliser la croissance économique après avoir été un progrès technologique puisqu'il s'agit d'une source d'énergie moderne et renouvelable. Mais son application nécessite une étude approfondie et préalable, et afin de réaliser cette étude, une simulation doit être menée pour tout projet afin de connaître tous les aspects qui s'y rapportent (ses coûts, la quantité de production, la météo et le lieu approprié pour celui-ci.. ... etc.)

Afin d'appliquer des simulations puissantes et modernes. Parmi ces programmes, on retrouve le programme GREENiUS et le programme SAM, qui font partie des derniers programmes de simulation, et à partir de là on se demande quels sont ces programmes, comment ils sont utilisés et leur importance dans l'application des projets d'énergies renouvelables.

III.2.Greenius

greenius est un puissant environnement de simulation pour le calcul et l'analyse de projets d'énergie renouvelable tels que

- Centrales solaires thermiques paraboliques
- Tours solaires thermiques
- Systèmes photovoltaïques
- Parcs éoliens
- Systèmes paraboliques / Stirling
- Réservoirs de carburant.

Ce programme offre une combinaison unique de calculs techniques et économiques détaillés, car ils sont nécessaires pour la planification et l'installation de projets d'énergie renouvelable.

L'outil logiciel Greenius est développé au DLR depuis plusieurs années. Il est conçu pour faciliter les calculs de performances rapides et simples de l'énergie solaire à concentration (CSP) et d'autres systèmes d'énergie renouvelable basés sur des simulations de performances horaires des centrales

Greenius est étendu en continu, par ex. pour simuler également des tours solaires, la production de chaleur par processus solaire et le refroidissement solaire. Il offre une combinaison de calculs de performances techniques rapides et de calculs économiques et une interface utilisateur pour la manipulation des paramètres et l'analyse des résultats. Les données météorologiques tierces et les cartes de performance générées avec d'autres outils logiciels peuvent être facilement intégrées

greenius se distingue par de nombreuses possibilités d'exportation de résultats intermédiaires et finaux. Presque tout le contenu des tableaux et des graphiques peut être copié dans d'autres applications Windows ou peut être enregistré dans d'autres formats. Les résultats des calculs sont détaillés et les simulations étendues s'exécutent très rapidement

greenius a été développé au Centre aérospatial allemand (DLR). Le Dr Rainer Kistner, Winfried Ortmanns, le Dr Volker Quaschnig, le Dr Jürgen Dersch et Simon Dieckmann faisaient partie de l'équipe de développement. Le développement, la distribution et le service sont effectués sous licence de DLR. Ce manuel d'utilisation complet devrait faciliter l'entrée dans greenius et donne un aperçu des possibilités. A partir de la version 4.3

. Depuis 2013, greenius est distribué gratuitement dans le cadre du projet FREEgreenius. C'est pourquoi aucun enregistrement de logiciel n'est plus nécessaire à partir de la version 4.0 de greenius. Néanmoins, il est nécessaire de s'inscrire sur le site <http://freegreenius.dlr.de> . [40][41]

III.3. System Advisor Model (SAM)

Le System Advisor Model (SAM) est un modèle logiciel technico-économique libre qui facilite la prise de décision pour les personnes de l'industrie des énergies renouvelables.

SAM peut modéliser de nombreux types de systèmes d'énergie renouvelable :

- Systèmes photovoltaïques, des petits toits résidentiels aux grands systèmes à grande échelle

- Stockage de batterie avec des batteries au lithium-ion, au plomb-acide ou à flux pour les applications devant ou derrière le compteur
- Systèmes d'énergie solaire à concentration pour la production d'électricité, y compris auge parabolique, tour électrique et Fresnel linéaire
- Chaleur de processus industriel provenant de systèmes paraboliques et linéaires de Fresnel
- L'énergie éolienne, des turbines individuelles aux grands parcs éoliens
- Systèmes houlomoteurs et marémoteurs à énergie marine
- Chauffe-eau solaire
- Réservoirs de carburant
- Production d'énergie géothermique
- Combustion de la biomasse pour la production d'électricité
- Systèmes photovoltaïques à haute concentration.

SAM est développé par le National Renewable Energy Laboratory (NREL) avec des fonds du département américain de l'énergie. L'équipe de développement SAM collabore avec des partenaires de l'industrie, le personnel et les stagiaires du NREL, ainsi que d'autres organismes de recherche pour développer et améliorer le modèle. Les modèles solaires originaux ont été développés en collaboration avec les Sandia National Laboratories et le Solar Energy Laboratory de l'Université du Wisconsin.

- Équipe de développement

Les membres de l'équipe de développement principale sont répertoriés dans le tableau ci-dessous. Cette équipe se réunit chaque semaine pour discuter de l'avancement des nouvelles fonctionnalités et capacités, résoudre les bogues et autres problèmes, et planifier des projets de documentation et de sensibilisation, notamment des webinaires, des manuels de référence et des études de validation. L'équipe organise également des tables rondes bihebdomadaires ouvertes aux utilisateurs SAM pour poser des questions et fournir des commentaires.

Tableau III.1 : Les membres de l'équipe de développement principale [42]

Nom	Rôle
Janine Keith	Project Lead, photovoltaic and wind models
Nate Blair	Project coordination, financials, costs, systems
Darice Guittet	Programming
Matthew Boyd	Concentrating (CSP) solar power models
Brian Mirletz	Programming
Matthew Prilliman	Programming
Ty Neises	CSP models
Michael Wagner	CSP models
Steven Janzou	Programming
Paul Gilman	User support and documentation, user interface

SAM a été initialement développé par le National Renewable Energy Laboratory en collaboration avec Sandia National Laboratories en 2005, et d'abord utilisé en interne par le programme de technologies de l'énergie solaire du Département américain de l'énergie pour l'analyse basée sur les systèmes des opportunités d'amélioration de la technologie solaire au sein du programme. La première version publique a été publiée en août 2007 sous le nom de Solar Advisor Model Version 1, permettant aux professionnels de l'énergie solaire d'analyser les systèmes photovoltaïques et de concentrer les systèmes solaires paraboliques dans la même plate-forme de modélisation en utilisant des hypothèses financières cohérentes. Depuis 2007, deux nouvelles versions sont publiées chaque année, ajoutant de nouvelles technologies et des options de financement. En 2010, le nom a été changé en "System Advisor Model" pour refléter l'ajout de technologies non solaires. À l'automne 2013, NREL a commencé à publier une nouvelle version par an avec des mises à jour périodiques au besoin .[42].

III.4.Simulation dans le Greenius et SAM

Après avoir fait connaissance chacun de Greenius et de Sam, nous avons simulé notre projet, qui consiste à établir un dish Stirling au niveau de plusieurs régions

algériens, en utilisant les deux programmes et en comparant les résultats obtenus de chaque programme.

Là où des simulations ont été menées dans les deux programmes sur les mêmes régions, dans les mêmes conditions et facteurs, et avec les mêmes données : la surface totale des miroirs est de 50 m² et 10 dish sterling.

Les régions où la simulation de projet a été appliquée sont :

- ADRAR
- TOUGGOURT
- BORDJ BOU ARRERIDJ
- CONSTANTINE
- TLEMCEM



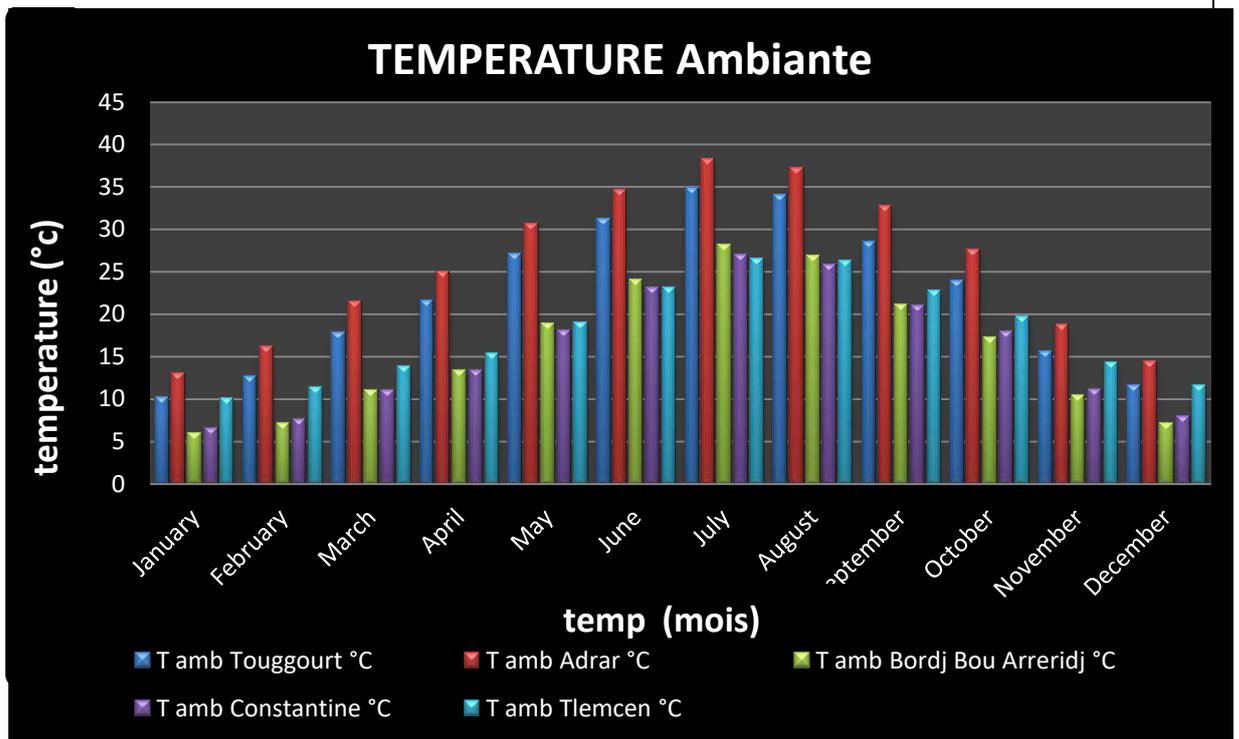
FigureIII.1. : Une carte montrant l'emplacement des cinq régions susmentionnés [41]

➤ **Température ambiante :**

Tout d'abord, nous avons le tableau suivant des changements de température ambiante tout au long de l'année dans les cinq régions.

Tableau .III.2 : Température ambiante dans les cinq régions

	T amb Touggourt	T amb Adrar	T amb Bordj Bou Arreridj	T amb Constantine	T amb Tlemcen
	°C	°C	°C	°C	°C
January	10,2	13	6	6,6	10,1
February	12,6	16,1	7,1	7,6	11,3
March	17,8	21,5	11	11	13,8
April	21,6	25	13,3	13,3	15,3
May	27,1	30,6	18,8	18,1	19
June	31,2	34,7	24,1	23,1	23,1
July	34,9	38,3	28,1	27	26,5
August	34	37,3	26,9	25,9	26,3
September	28,4	32,7	21,1	21	22,7
October	23,9	27,5	17,3	18	19,6
November	15,6	18,7	10,4	11,1	14,2
December	11,6	14,3	7,1	7,9	11,5



Figures.III.2 Graphique à colonnes de température ambiante

➤ **Commentaire**

Nous notons à partir du tableau et du graphique des colonnes que la température ambiante varie dans les cinq régions, en raison de leur situation géographique

différente, avec la présence de convergence dans la météo des régions proches les unes des autres et qui résident dans le même climat que les régions de Touggourt et Adrar, qui sont situées dans le climat désertique, nous constatons que la température est relativement similaire et est plus élevée que les trois autres régions.

➤ **Observation :**

La température dans les régions ne diffère pas dans Sam ou Greenius car nous avons inclus le même fichier météo dans les deux programmes.

➤ **rapport de rayonnement solaire direct :**

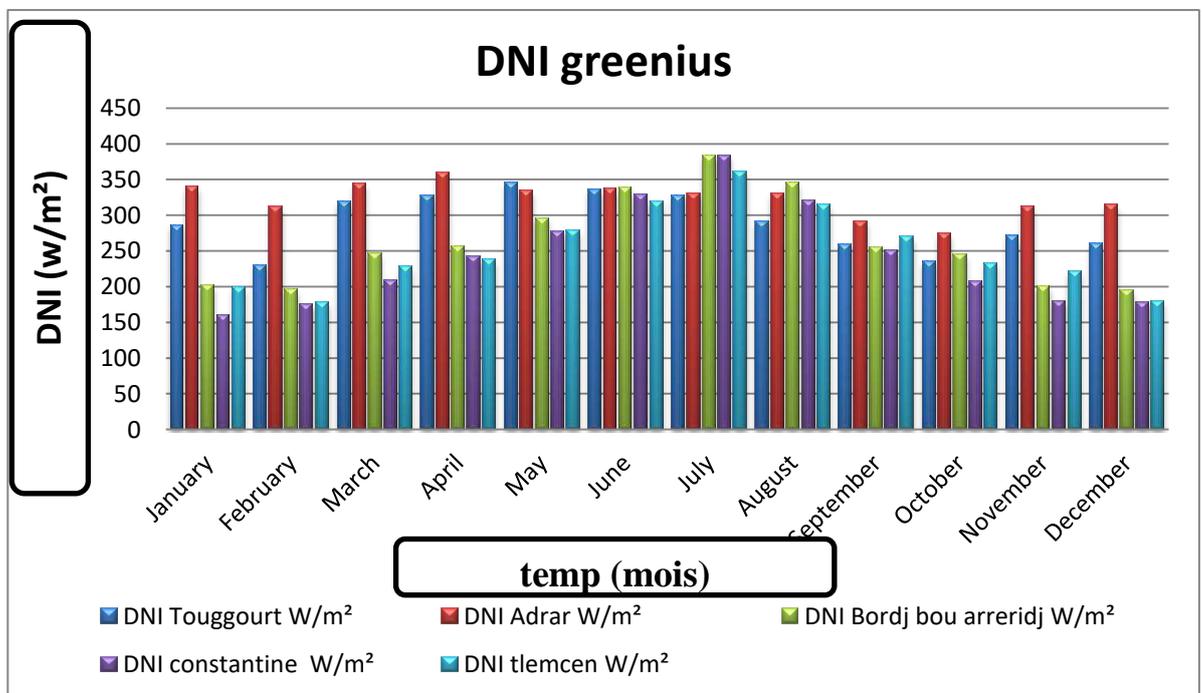
Deuxièmement, nous avons les valeurs des changements du pourcentage de rayonnement solaire direct au cours des mois de l'année, à travers chaque programme séparément.

Tableau III.3. rayonnement solaire direct en Greenius

	Touggourt	Adrar	Bordj bou areridj	constantine	Tlemcen
	W/m ²	W/m ²	W/m ²	W/m ²	W/m ²
January	286	340	201	160	199
February	230	312	196	175	177
March	319	344	246	208	228
April	327	360	256	242	238
May	345	334	296	277	278
June	335	337	338	329	320
July	328	330	384	384	361
August	291	330	345	321	316
September	259	292	255	251	270
October	235	274	244	207	233
November	271	311	200	180	222
December	261	315	195	177	180

TableauIII.4. rayonnement solaire direct en SAM

	Touggourt W/m ²	Adrar W/m ²	Bordj Bou Arreridj W/m ²	Constantine W/m ²	Tlemcen W/m ²
Jan	286,272	340,042	201,406	159,929	286,272
Feb	230,379	311,542	195,859	174,726	230,379
Mar	318,644	344,397	246,231	208,097	318,644
Apr	326,872	360,382	255,56	241,928	326,872
May	345,152	333,825	296,292	276,832	345,152
Jun	334,908	336,8	337,568	328,735	334,908
Jul	328,384	329,902	384,45	384,36	328,384
Aug	290,587	330,11	344,685	320,999	290,587
Sep	259,267	292,343	255,222	251,407	259,267
Oct	234,767	273,66	244,004	207,496	234,767
Nov	271,417	310,578	200,346	180,054	271,417
Dec	260,991	315,03	195,499	176,921	260,991



FigureIII.3 Graphique à colonnes de rayonnement solaire direct en Greenius

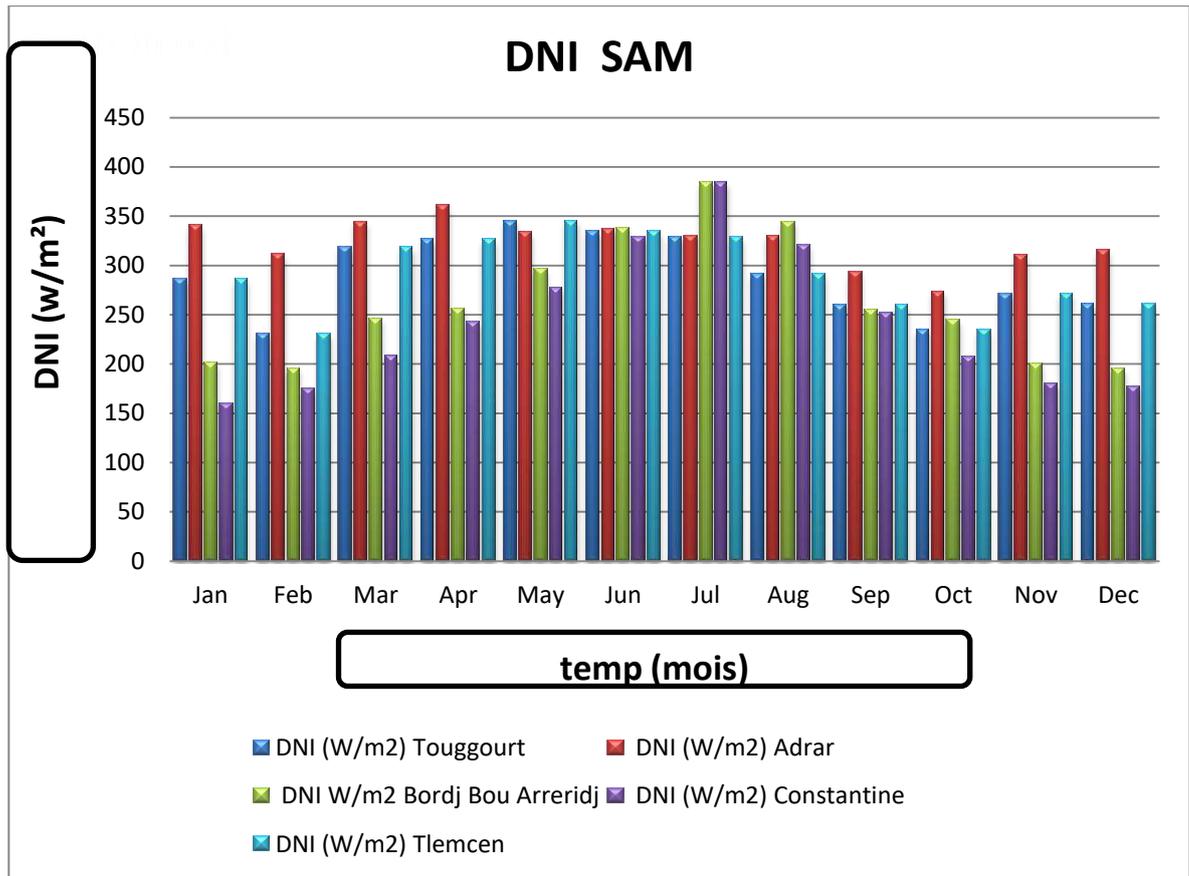


Figure III.4 Graphique à colonnes de rayonnement solaire direct en SAM

➤ **Commentaire :**

On remarque sur les deux tableaux représentés par deux histogrammes que les valeurs obtenues de chaque programme sont quasiment similaires.

La différence demeure dans les régions où le taux de rayonnement dans certaines régions est plus élevé que d'autres à certaines périodes de l'année, mais en général, le taux de rayonnement est élevé pendant les mois d'été, lorsqu'il atteint son maximum dans tous les régions.

➤ **Production :**

Après avoir appliqué une simulation du projet dish Stirling à la fois dans SAM et Greenius, nous obtenons les résultats consignés dans les deux tableaux suivants, qui représentent les valeurs énergétiques attendues à obtenir dans chaque état au cours de l'année.

TableauIII.5 production d'énergie en Greenius

	E grid Touggourt kWh	E grid Adrar kWh	E grid Bordj Bou Arreridj kWh	E grid Constantine kWh	E grid Tlemcen KWh
January	21115	24796	13342	9776	13217
February	13718	20271	11399	10500	10015
March	22932	24791	16993	13527	14805
April	21925	24588	16588	15392	14472
May	23166	22884	20378	17836	18364
June	21146	22185	22248	21483	19936
July	21182	21958	27119	26943	24736
August	18245	21956	23844	21360	21003
September	15924	18656	16473	15914	17303
October	14846	18435	16701	12973	15314
November	18944	21502	12744	10967	14268
December	18779	22858	13696	11686	12078

TableauIII.6 production d'énergie en SAM

	Energy (kWh) Touggourt	Energy (kWh) Adrar	Energy Borj Bou Arreridj	Energy(kWh) Constantine	Energy (kWh) Tlemcen
Jan	23516,2	25432,2	14881,6	10723	14752,8
Feb	14794,2	19613	12816,7	11803	11429,1
Mar	23827,3	22859,7	18878,9	15116,7	16457,8
Apr	21605,8	21295,5	17862,7	16579,3	15430
May	22964,9	19342	22302	19497,7	20127,5
Jun	22724,9	20276,9	24853,5	23703,5	22110,8
Jul	22677,4	19709,3	29407,4	29503,6	26941,9
Aug	19175,8	19938,6	25483,5	22830,1	22875,4
Sep	17019,9	17099,7	17690,4	17415,6	18392,2
Oct	15633,3	17411,4	17809,1	14463,4	16972,6
Nov	20771,3	21779	14530,9	12097,8	16161,1
Dec	20312,7	23732,9	15254,9	12529,9	13554,4

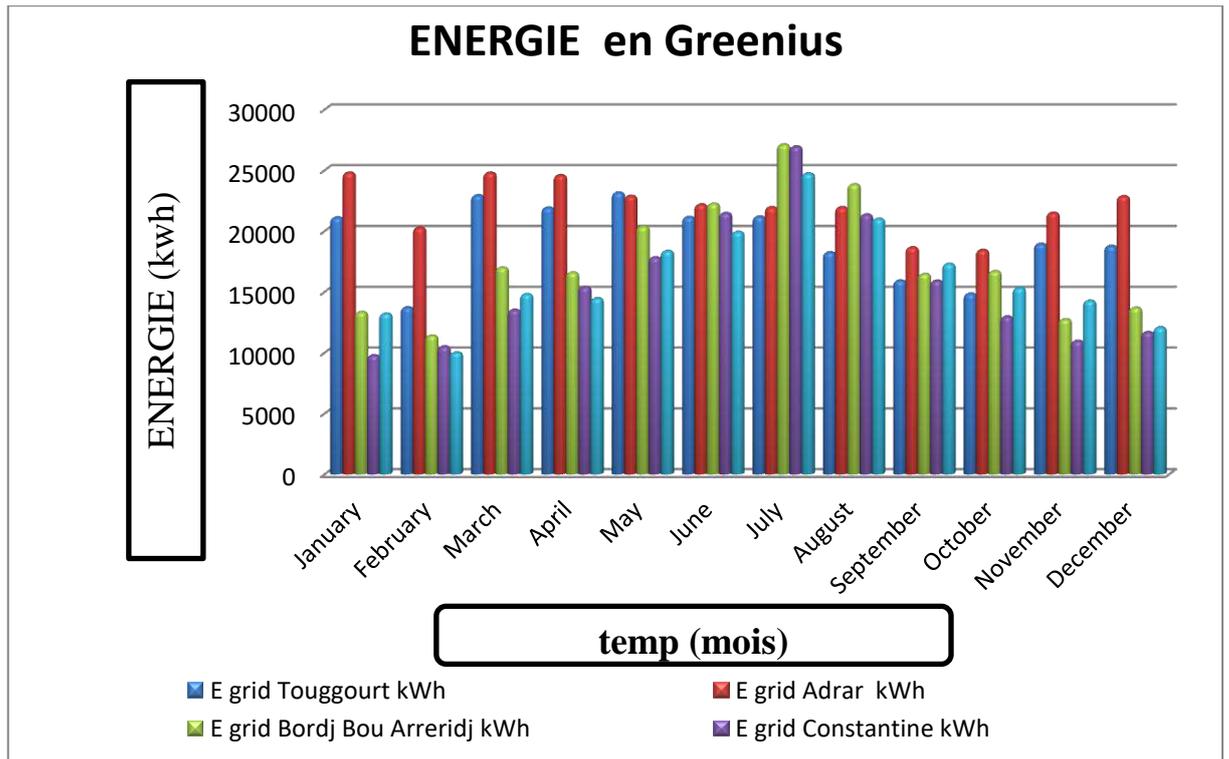
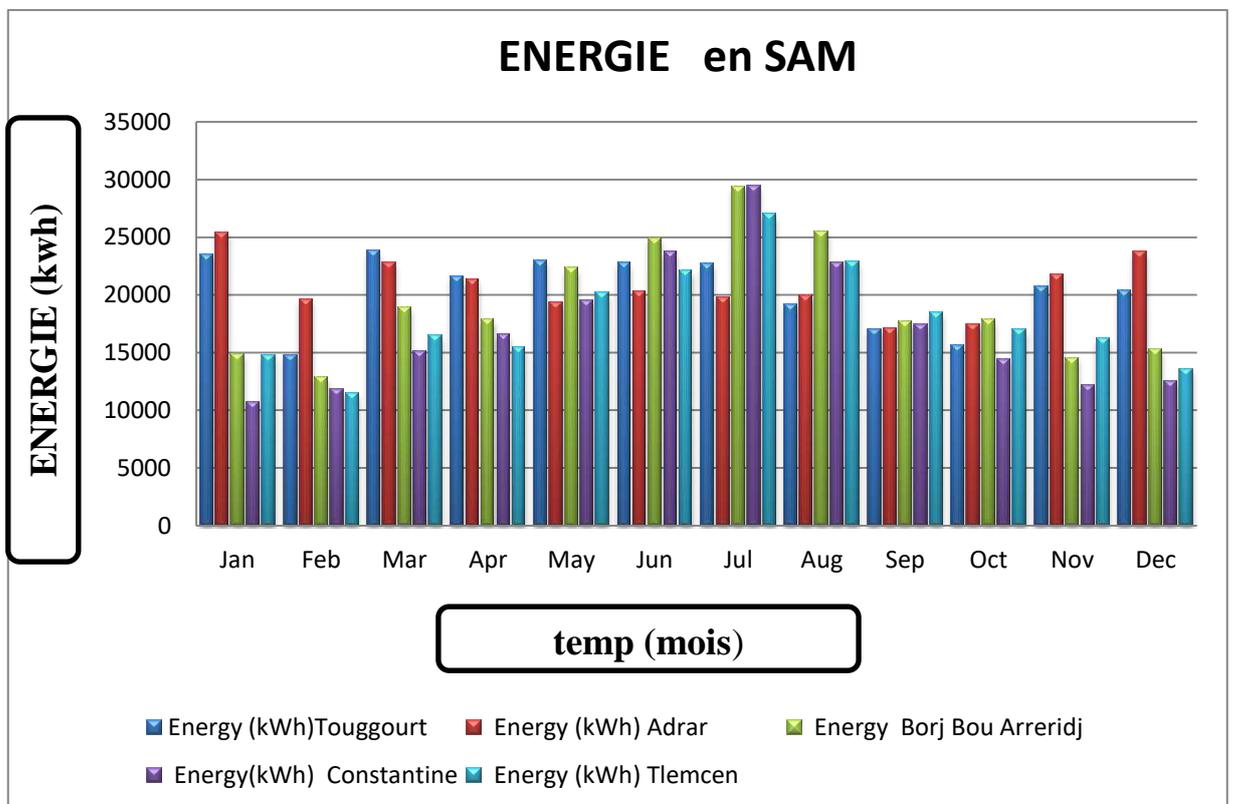


Figure III .5 Graphique à colonnes de production d'énergie en Greenius



FigureIII.6 Graphique à colonnes de production d'énergie en SAM

➤ **Commentaire :**

On remarque à travers la représentation des valeurs de production d'énergie dans les cinq régions qu'il y a une similitude dans la production attendue avec une légère différence qui peut être négligée . En général, on peut dire qu'après simulation avec les deux programmes, les valeurs obtenues sont les mêmes, ce qui confirme la validité des résultats obtenus.

Mais en comparant les régions, on remarque une différence entre chaque état et l'autre, car le pourcentage de production dans chacune des régions de touggourt et d'Adrar est similaire et élevé tout au long de l'année, puisqu'il diminue en février et octobre seulement, alors qu'il est presque constant le reste des mois .

Mais dans les trois autres régions (Constantine, Bordj Bou Arreridj, Tlemcen), les valeurs de production d'énergie sont similaires tout au long de l'année, commençant à augmenter à partir de janvier pour atteindre leur pic en juillet, pour décliner à nouveau dans les mois restants de l'année.

➤ **Interprétation :**

La différence de production entre chaque région et un autre est due aux conditions climatiques et naturelles de chaque région, ce qui signifie que le taux de production est lié au changement de température et à la proportion de rayonnement dans chaque région . Il est affecté par les nuages, le vent et d'autres facteurs naturels.

➤ **Etude Economique :**

En étudiant le pourcentage de production obtenu à la suite d'une simulation en SAM et Greenius, nous avons étudié les résultats économiques résultant de ce dernier, qui étaient les suivants :

Tableau III.7 Résultats économiques

	TOUGGOURT	ADRAR	BORDJ BOU ARRERIDJ	CONSTANTINE	TLEMEN
Coûts actualisés de l'électricité (LEC)€/kWh	0,4155	0,3638	0,4555	0,5116	0,4929
Coûts d'investissement totaux (IC) €	1 040 025	1 040 025	1 040 025	1 040 025	1 040 025
Réduction annuelle de CO ₂ t CO ₂	139,15	158,93	126,92	113,01	117,31

A travers les données du tableau, on constate que le coût total du projet dans tous les états est le même le coût de ce projet est : 1 040 025 €.

Mais la différence est dans le prix du kWh , Où Adrar a le prix le plus bas du kilowattheure à un prix 0,3638 €/kWh . Bien que la différence ne soit pas grande, mais c'est le prix

le plus cher du kWh dans l'état de Constantine à un prix 0,5116 €/kWh , après tous ceux qui ont Touggourt Bou Arreridj, et Tlemcen. Respectivement.

Du côté de l'environnement :

Nous constatons que la valeur des émissions de dioxyde de carbone dans l'Adrar est supérieure à celle des autres États 158.92 t co₂ , et Tlemcen a la plus faible émission du dioxyde de carbone 117.31 t co₂ .

De ces résultats précédents, nous remarquons qu'il existe une corrélation inverse entre les valeurs d'émission de dioxyde de carbone dans chaque région et le prix du kilowatt dans chaque région.

III.5 Conclusion

J'en conclus que faire une simulation avant tout projet en général est très important . car cela nous montre les résultats attendus à obtenir ainsi que le lieu approprié pour celui-ci et ses coûts, ce qui nous fait choisir le bon travail au bon endroit.

CHAPITRE IV

Étude expérimentale du rétro- concentrateur parabolique

IV.1. Préparation de « concentrateur solaire »»

Après l'étude théorique du projet de foyer solaire parabolique. Nous nous efforçons de réaliser notre propre modèle . Sur la base de l'étude que nous avons menée, nous avons mis en place un mini-projet pour une parabole A l'Université Kasdi Merbah de Ouargla, et au niveau de la Faculté des Hydrocarbures et des Energies Renouvelables, nous, au sein du Laboratoire des Energies Renouvelables, avons mené l'expérience et obtenu ses résultats.

IV.1.1 Les outils utilisés

- Parabola
- ruban d'aluminium
- miroirs
- coupe-verre
- colle silicone

IV.1.2 Dispositifs de mesures

- Solaremetre
- Thermomètre



Figure.IV.1 : solaremetre



figureIV.2 : Thermometre

IV.1.3 Des mesures d'action

- Tout d'abord, nous avons recouvert toute la surface de la parabole avec du ruban adhésif en aluminium, comme indiqué sur la photo.



Figure IV.3 parabole recouvertes d' une feuille d' aluminium

CHAPITRE IV Étude expérimentale du rétro-concentrateur parabolique

- Puis on découpe les miroirs en morceaux afin qu'ils recouvrent la surface de la pièce tout en conservant sa cavité



Figure. A



Figure.B

Figure IV.4.A.B couper et placer des pièces de miroir sur une parabole

CHAPITRE IV Étude expérimentale du rétro-concentrateur parabolique

- Enfin, nous avons collé les miroirs en paraboliques à l'aide de colle silicone, vous obtiendrez la forme correspondante sur la photo



Figure .A



Figure .B

Figure. IV.5.A.B. concentrateur solaire

IV.2 Expérience du concentrateur solaire et suivi des résultats :

Après avoir terminé le projet, nous l'avons testé sur deux jours différents et à différents moments de la journée. Nous avons fait l'expérience sur le toit de la Faculté des Hydrocarbures, des Energies Renouvelables, des Sciences de la Terre et de l'Univers au Pôle Universitaire 3.

L'expérience comprenait le suivi du rayonnement solaire par parabole et la mesure des températures résultantes au fil du temps.

La première expérience a eu lieu le 05/09/2022 de 13h30 à 15h00.

Puis nous avons répété l'expérience le lendemain le 10/05/2022, mais à une heure différente, car l'expérience était à partir de 11h30 Jusqu'à 13h00.

IV.2.1 Expérience 1: Les résultats obtenus le premier jour sont dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV.1 des résultats le : 9/5/2022

temps (min)	rayonnement direct (w/m ²)	Température ambiante (°c)	Température de surface parabolique (°c)	Température de récepteur (c°)
13:30	960	31,8	40,7	95,2
13:40	999	30,9	40	69,8
13:50	945	33,3	43,4	108
14:00	940	33,2	40,5	80,8
14:10	946	32,7	40,7	113,7
14:20	925	33,6	38	105,7
14:30	907	31,1	38,9	105,6
14:40	916	32	40,9	110,1
14:50	889	30,5	38,2	106,1
15:00	880	31,8	40,3	118,1

IV.2.1.1 apport de rayonnement direct :

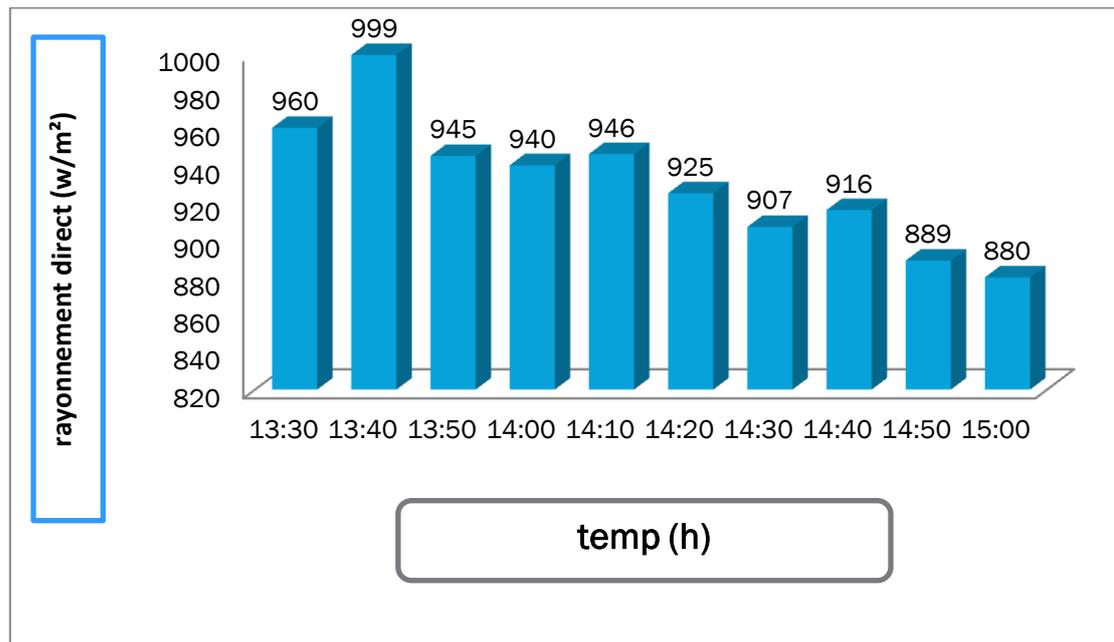


Figure IV.6 graphique à colonnes de rayonnement direct

Commentaire :

Nous remarquons à partir de la colonnes que le pourcentage de rayonnement solaire est élevé, sa valeur maximale a atteint 999 pendant l'heure 13h40 de l'après-midi, mais après cela, il est devenu une diminution continue de sa valeur maximale.

Le niveau de rayonnement élevé est dû au fait que l'air est clair et sans nuages .

IV.2.1.2 Température :

Nous relevons du tableau 3 mesures de la température, que nous avons mesurées, et ces sont :

- Température ambiante
- Température de surface de la parabole
- Température du récepteur (concentration thermique)

Nous avons représenté graphiquement les températures mentionnées précédemment comme indiqué ci-dessous :

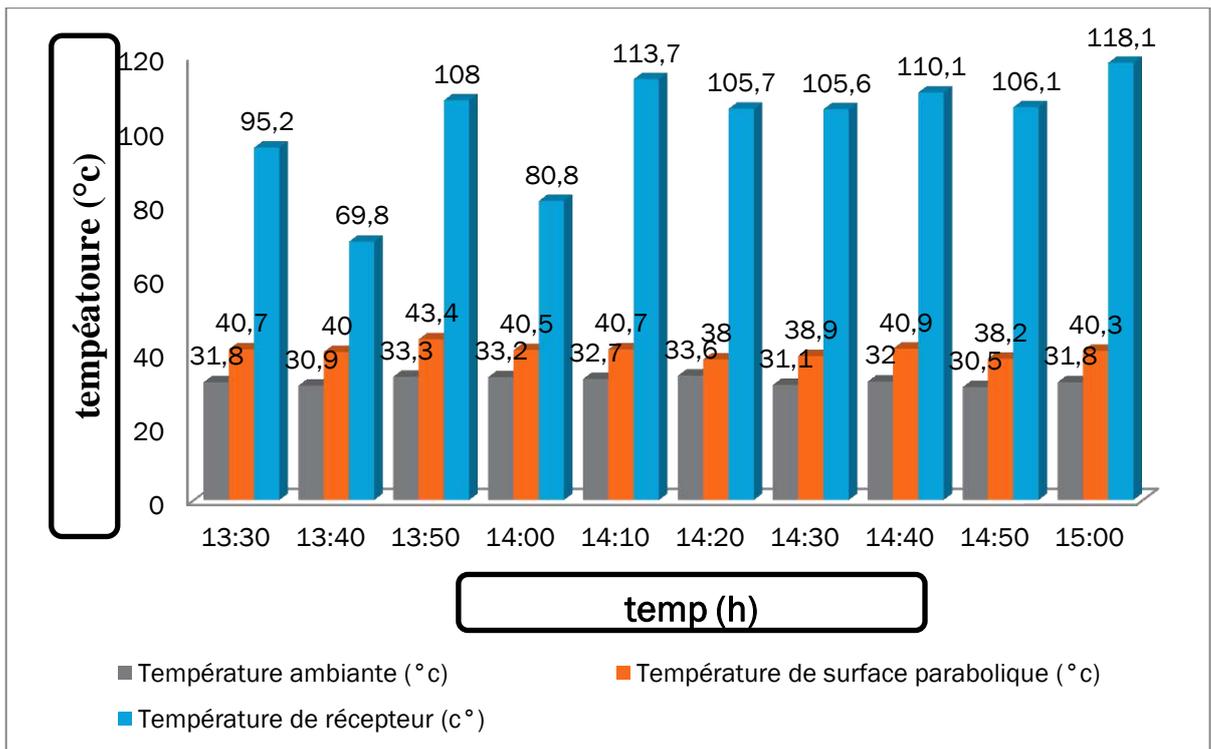


Figure IV.7 Graphique à colonnes de température

Commentaire :

A travers la représentation graphique des températures, on constate que la température de l'atmosphère et de la surface de la parabole est quasiment constante, puisque la première va de 30 à 33,6 et il n'y a pas de changement significatif, et la seconde va de 38 à 43,4, ce qui signifie que le changement est considéré comme négligeable.

Alors que nous constatons que la température récepteur a augmenté puis diminué au cours des 20 premières minutes, mais est augmenté rapidement s'est révélée à une valeur maximale de plus de 100, où la valeur la plus élevée a atteint 118,1 .

Interprétation :

La fluctuation de la température de récepteur au cours des 20 premières minutes est due au changement de position du rayonnement solaire, mais après l'avoir suivi par la parabole, elle est devenue une valeur élevée qui dépasse 100.

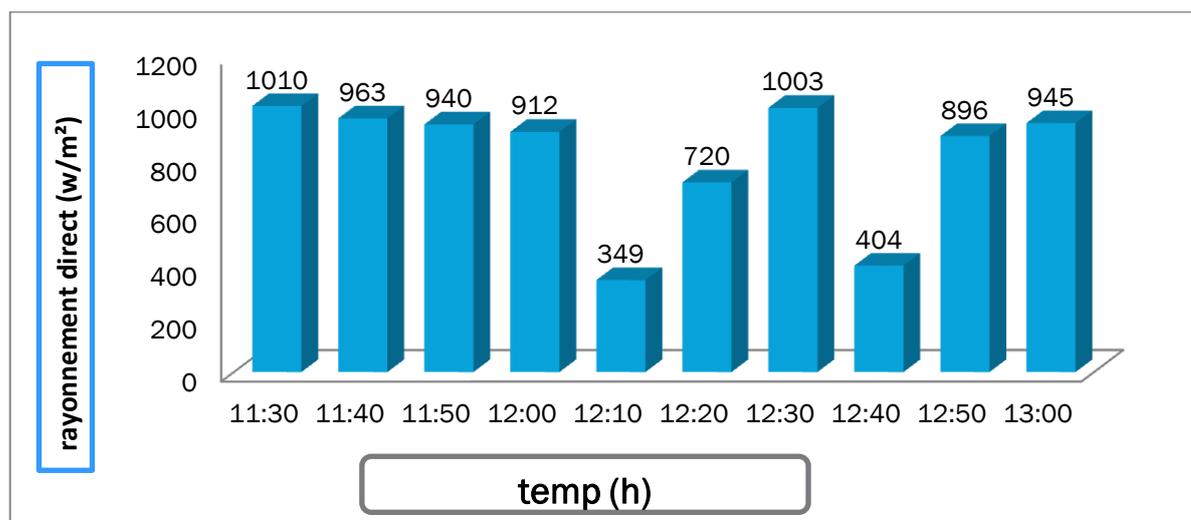
CHAPITRE IV Étude expérimentale du rétro-concentrateur parabolique

IV.2.2 Expérience 2 : Les résultats de l'expérience du deuxième jour sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV.2 des résultats le : 10/5/2022

temps (min)	rayonnement direct (w/m^2)	température ambiante ($^{\circ}c$)	température de surface parabolique ($^{\circ}c$)	température de récepteur (c°)
11:30	1010	29,4	35,1	55,6
11:40	963	35,4	43,2	118,6
11:50	940	32,6	37,4	80,6
12:00	912	31,5	41,2	103
12:10	349	33,4	36,9	43,7
12:20	720	31,2	35	118
12:30	1003	30	33,9	109,3
12:40	404	32,6	34,3	53,7
12:50	896	31,4	33,1	68,5
13:00	945	32,3	38,7	145,4

IV.2.2.1 rapport de rayonnement direct :



figureIV.8 Graphique à colonnes de rayonnement direct

CHAPITRE IV Étude expérimentale du rétro-concentrateur parabolique

Commentaire :

Nous remarquons sur la colonnes du pourcentage de rayonnement solaire que le pourcentage de rayonnement est élevé aujourd'hui, donc sa valeur est comprise entre 900 et 1013.

Avec des périodes qui ont connu une baisse importante et soudaine, il a atteint 349 et 404 à 12h10 et 12h40, respectivement.

Interprétation :

Le changement notable et soudain du pourcentage de rayonnement solaire est dû au changement de l'état de l'atmosphère à certaines périodes de l'expérience, car le pourcentage de rayonnement a diminué pendant la période où les nuages ont recouvert le sol

IV.2.2.2 Température:

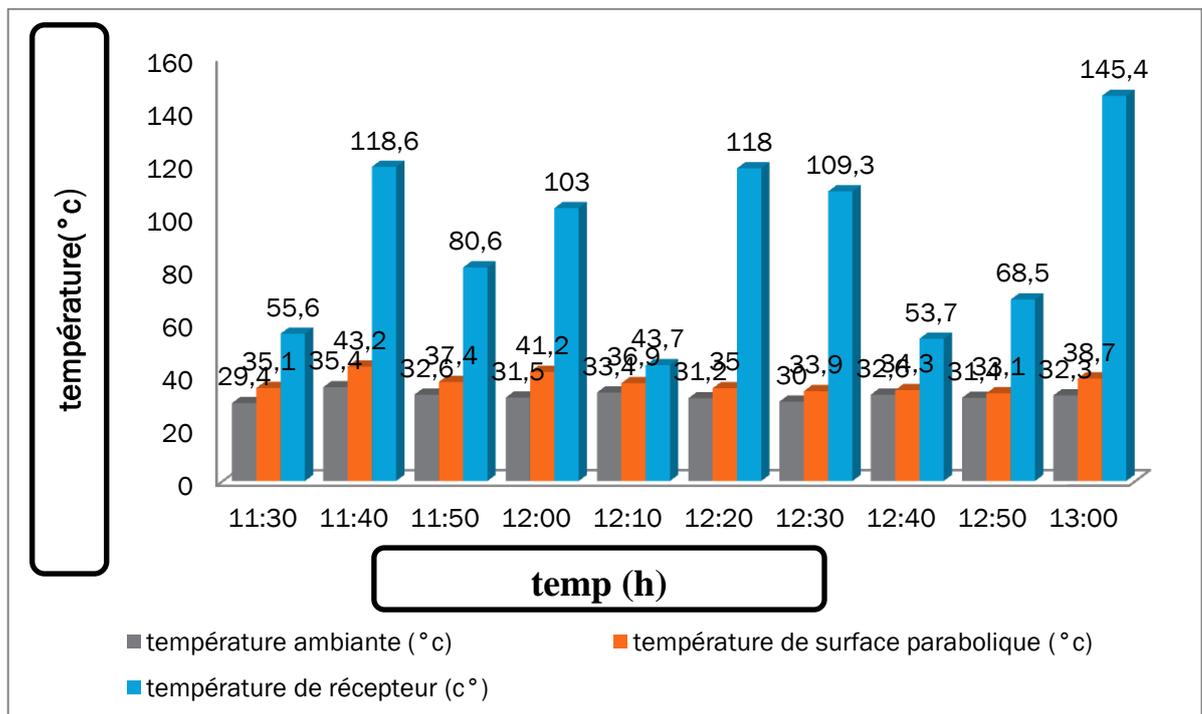


Figure IV.9 Graphique à colonnes de température

Commentaire :

CHAPITRE IV Étude expérimentale du rétro-concentrateur parabolique

Nous remarquons sur la représentation graphique que la température ambiante est constante et varie de 29,4 à 35,4, et nous constatons également que la température de la surface de la parabole est également constante, variant de 33,1 à 43,2

Mais quant à récepteur, nous constatons que la température y est instable, car elle a connu une augmentation et une diminution au cours des périodes d'expérience, où la valeur la plus basse a atteint 43,7 et a de nouveau augmenté jusqu'à une valeur maximale de 145,4.

Interprétation :

Le changement et l'instabilité évidents de la température récepteur sont dus à l'influence de facteurs naturels, car la température diminue pendant les périodes où le soleil se couche à travers les nuages, ainsi que les périodes pendant lesquelles l'air se déplace, ce qui refroidit le récepteur.

Observation :

Exigible manque de temps , nous n'avons pas pu améliorer notre concentrateur solaire ce

qui aurait permis de meilleurs résultats ainsi que la réalisation d'expériences plus

Nous aurions en effet pu construire un support pivotant contrôlé par un système simplifié de pointeur solaire pour être toujours sûr de placer notre mini concentrateur solaire exactement dans l'axe du soleil et ainsi avoir des résultats les meilleurs possibles.

Ensuite, une autre amélioration possible consisterait à fabriquer un support se situant , exactement au foyer de parabole. Effectivement , nous aurions pu faire cuire quelque chose

Finalement, avec du temps supplémentaire, Nous avons déjà pu atteindre une température équivalente à 184,2 dans l'une des expériences.

Dans sa première expérience, nous avons enflammé un papier en l'utilisant . Comme le montrent les images ci-dessous :



Figure.IV.10. Montrant l'allumage d'un papier l'aide du concentrateur solaire



FigureIV.11. montrant la température maximale

IV.3 Conclusion :

A travers l'application du projet de concentrateur solaire et les résultats obtenus, nous concluons que la température de l'air n'a rien à voir avec la production

CHAPITRE IV Étude expérimentale du rétro-concentrateur parabolique

thermique en récepteur, mais en revanche, cette dernière est affectée par le pourcentage de rayonnement solaire, ainsi que par des facteurs naturels tels comme le vent, les nuages et d'autres facteurs affectant le rayonnement solaire . Mais en général, en utilisant ce condensateur, on peut atteindre des températures qui permettent de générer de l'énergie ou de l'exploiter directement comme énergie thermique.

Conclusion générales

considéré Les énergies renouvelables sont demandées dans toutes les régions du monde . parce que l'énergie est une source de puissance économique pour n'importe quel pays, mais les énergies renouvelables présentent un grand intérêt en particulier parce qu'il s'agit d'une technologie moderne et permanente et qu'elle est la direction de avenir pour le monde .A travers cela, nous avons mené notre étude, qui consiste à étudier l'une des voies d'exploitation de l'énergie solaire, qui est le concentrateur solaire, plus précisément le concentrateur solaire parabolique, qui est le système de concentration solaire le plus important en termes de rendement et de production.

L'étude théorique et expérimentale que nous avons menée représente l'étude des propriétés physiques du secteur parabolique et l'application de la simulation à ce type de condensateur, puis la réalisation d'un modèle du condensateur solaire . Cette étude nous a permis d'en apprendre beaucoup sur ce type de concentrateur, dont le plus important est le principe de travail de ce système, la température maximale que le récepteur peut atteindre, dont nous avons découvert qu'elle dépend de plusieurs facteurs le rayonnement solaire direct , les caractéristiques géométriques réflecteur et ses dimensions, et les caractéristiques physiques et thermiques du récepteur, en plus des facteurs L'effet sur celui-ci est la vitesse du vent, l'état du l'air clair ou nuageux.

nous a également pu étudier les région où l'application de cette semaine pourrait donner un bon retour en plus de l'étude économique de ce projet .

à travers nos expériences et le nombre de difficultés que nous avons rencontrées dont la plus importante est le repérage manuel vers le soleil, ainsi que les conditions climatiques Cependant, nous avons montré des résultats quelque peu positifs, mais ils peuvent être améliorés à l'avenir avec disponible des bonnes conditions et atmosphère.

Après avoir défini la discussion et l'analyse de l'étude théorique et des résultats expérimentaux, il nous est Le pourcentage élevé de rayonnement solaire augmente le rendement thermique dans le récepteur ainsi que les facteurs qui y provoquent une perte de chaleur, le plus important la vitesse du vent et En évitant ces facteurs

et en choisissant les dimensions de la parabole et la direction appropriée du rayonnement solaire, un meilleur rendement peut être obtenu Il peut être utilisé à des fins Usages domestiques et industriels ,

et Avec toutes ces notions acquises nous profitera à l'avenir pour continuer à étudier et à produire de l'électricité

Recommandations les plus importantes

Pour les études et projets futurs, nous mentionnons les recommandations les plus importantes suivantes :

Utilisez le complexe avec une plus grande surface et recherchez un meilleur réflecteur.

Trouver des mécanismes et des méthodes peu coûteux pour le suivi automatique du rayonnement solaire.

Trouver des solutions pour éviter les facteurs qui causent des pertes et améliorer les productions.

Il existe des mécanismes approuvés pour nettoyer les miroirs de la poussière.

Continuer à rechercher et à travailler pour exploiter cette énergie.

Bibliographie

- [1] S. Skouri, Contribution à l'Étude des Concentrateurs Solaires, thèse de doctorat, Soutenue le 19/06/2022, Université de Monastir.
- [2] (F.DANIELS: Direct Use of the sun's Energy, Yale University Press (USA), 1964)
- [3] wikipedia l'encyclopédie libre
https://fr.wikipedia.org/wiki/Rayonnement_solaire Sfax 03-06 juillet 2017
19/06/2022
- [4] energie.org/wcontent/uploads/2018/03/art164_fig2_spectre_soleil.jpg
<https://www.encyclopedie->
19/06/2022
- [5] Zouach fodil , These Présenté pour l'obtenir du Diplôme de Magistère en Electronique
titled par etude de concetration solair sur les performances des systemes photovotaique ,2009
- [6] Energie Plus
<https://energieplus-lesite.be/theories/climat8/ensoleillement-d8/> 19/6/2022
- [7] M, Capderou, Atlas solaire de l'Algérie, O.P.U, Alger. (1985).
- [8] Y. Nguewo daniel, contribution à la conception des centrales solaires thermodynamiques
de troisième génération : couplage et optimisation des technologies existantes, mémoire
master, soutenue en juin 2009, Institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement.
- [9] A. Kaddour, modélisation et simulation d'un concentrateur parabolique solaire à moteur Stirling en vue d'un rendement optimal, thèse de doctorat, soutenue en janvier 2013, Université abou-bekr belkaid-tlemcen.
- [10] Carte-mondiale-de-Irradiation-Normale-Directe
<https://www.researchgate.net.>
- [11] A, Mefti, Evaluation du potentiel énergétique solaire, Bulletin des Energies

Renouvelables, N°2, p 12, décembre (2002).

[12] H. DERBAL, et al, Conversion Solaire Thermique à Concentration les Concentrateurs

Solaires Cylindro-Paraboliques, Bulletin des énergies renouvelables, N°11 Juin 2007.

[13] S. Saadi, Effet des paramètres opérationnels sur les performances d'un capteur solaire

plan, mémoire magistère, Université mentouri de Constantine, 2010

[14] [Energie solaire : définition et différents types d'exploitation - Opéra Energie
<https://opera-energie.com/energie-solaire/>]

[15] Marif, Y. (2015). Caractérisation d'un concentrateur cylindro-parabolique de dimensions réelles au sud de l'Algérie: Région d'Ouargla.

[16] <https://mon-panneau-solaire.info/wp-content/uploads/2019/07/sch%C3%A9ma-solaire-concentration-thermique.png>

[17] Quoilin Sylvain .Les Centrales Solaires à Concentration. Université de Liège
Faculté des sciences appliquées

[18] Paul De Neyer .Energie solaire thermique, Guide des Energies Renouvelables, mai 2003.

[29] Alain.Ferriere et Gilles Flamant, Captation, Transformation et conversion de l'énergie Solaire par la technologies à concentration. Thème7, Solaire thermique 2002.

[20] [LES ÉNERGIES RENOUVELABLES : ÉTAT DES LIEUX ET PERSPECTIVES Les énergies renouvelables : état des lieux et perspectives - Les centrales à capteurs linéaires de Fresnel https://uved.univ-perp.fr/module2/co/2-1-4-5-centrales_fresnel.html]

[21] . [<https://www.ecosources.org/centrale-solaire-capteur-cylindro-parabolique>

[22] Wikipédia en Français

<https://fr-academic.com/dic.nsf/frwiki/2047018> 19/6/2022

[23] Jacques BERNARD, Génie Energétique, Energie solaire : calculs et optimisation (ISBN 978-2-7298-6492-7), Ellipses Edition Marketing S.A., 2011

- [24] Eco Sources <https://www.ecosources.org/>
- [26][https://moodle.insarouen.fr/pluginfile.php/25423/mod_folder/content/0/Rapport_P6-3_2011_36.pdf?forcedownload=12]
- [25] <https://www.ecosources.org/centrale-solaire-capteur-parabolique>
- [26] <http://www.foad.uadb.edu.sn/mod/book/view.php?id=2440&chapterid=1508>]
- [27] (William B. Stine et Michael Geyer : power of the sun, chapitre 8
<http://www.powerfromthesun.net/Book/chapter08/chapter08.html> [24] (R.BERNARD
 G.MENGUY M. SCHWARTZ : Rayonnement solaire, conversion
 thermique et applications 1980, p 17)]
- [28] M. Srinivasan, L.V.Kulkarni, A simple technique of fabrication of parabolic concentrators. Solar energy, volume 22, pp 463-465. Novembre 1978] :
- [29] <http://www.foad.uadb.edu.sn/mod/book/view.php?id=2440&chapterid=1508>
- [30] 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]:
- [31] B. Stine, M. Geyer, Power from the sun, Lyle centre for regenerative studies 2001.]:
- [32] [A. Z. Hafez, Ahmed Soliman, K. A. EL-Metwally, I. M. Ismail, solar parabolic dish stirling engine système design, simulation, and thermal analysis, ELSEVIER Energy conversion and Management, 2016.
- [33] U. H. Kurzweg, J. P. Benson, Iso-Intensity absorber Configurations for Parabolic Concentrators, solar energy .Vol.29, No.2, pp167-174, 1982.]
- [34] <https://www.google.co.th/imgres?imgurl=https:>
- [35] [<https://www.alternative-energy-tutorials.com> . (30/05/2021)] :
- [36] [ZEGHIB ILHEM, mémoire de fin d'étude UNIVERSITE MENTOURI – CONSTANTINE, 200]
- [37] <http://fr.solarpedia.net/wiki/images/thumb/7/7e/EuroDishOdeillo.jpg/600px-EuroDishOdeillo.jpg>
- [38]Système Parabole-Stirling d'Odeillo
http://fr.solarpedia.net/wiki/index.php?title=Syst%C3%A8me_Parabole-Stirling_d%27Odeillo

[39] Pdf greenius : Greenius Help & Manual

[40]Quaschning, V., Ortmanns, W., Kistner, R., Geyer, M.: Greenius—A new Simulation Environment for Technical and Economical Analysis of Renewable Independent Power Projects. In: Proceedings of ASME International Solar Energy Conference Solar Forum 2001, 22–25 April, Washington DC, USA

[41] .[page d'accueil NREL <https://sam.nrel.gov/about-sam.html>