

**République Algérienne Démocratique et Populaire**

**Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la  
Recherche Scientifique**



**Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued**

**FACULTE DE TECHNOLOGIE**

**DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE**



**Mémoire de fin d'étude**

Présenté pour l'obtention du diplôme de

**MASTER ACADEMIQUE**

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie mécanique

Spécialité : Energétique et Énergies renouvelables

**Thème**

Etude de la performance d'une centrale à concentrateur  
linéaire de Fresnel de moyenne puissance sur le site  
d'El-Oued.

Devant le jury composé de :

Présenté par :

Mr. Soufiane Magdoud

Président

Salah eddine Soualah

Mr. Zine Bachir

Examinateur

Mr. Redha Meneceur

Encadreur

Dr. Mokhtar Ghodbane

Co-Encadreur

**2017-2018**

## Remerciements

🌸 *Nous remercions dieu tout puissant de nous avoir donné le courage et la volonté pour pouvoir réaliser ce travail.*

*Nous exprimons nos profondes gratitudee a :*

🌸 *Dr. Mokhtar GHODBANE qui a dirigé ce travail, pour son aide continue, sa disponibilité et ses précieux conseils.*

🌸 *Mr. Redah MENECEUR pour son aide afin de réaliser ce travail.*

🌸 *Nous tenons à remercier à tous les enseignants du département mécanique pour toute l'aide apportée à nous durant notre trajet scolaire.*

🌸 *Que monsieur le président du jury ainsi que ses membres trouvent ici l'expression de notre gratitude pour accepter de juger ce travail.*

🌸 *Enfin, nous adressons nos remerciements à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin.*

*Salah eddine Soualah*

## Dédicace



*Je dédie ce modeste travail à :*

*🌹 La lumière de ma vie, mes très chers  
parents.*

*🌹 Ma fiancée.*

*🌹 Mes chers sœurs et frères.*

*🌹 Mes chers amis.*

*Salah eddine Soualah*



## Table des matières

<b>Remerciements .....</b>	<b>i</b>
<b>Dédicace.....</b>	<b>ii</b>
<b>Table des matières .....</b>	<b>iii</b>
<b>Nomenclatures .....</b>	<b>v</b>
<b>Liste des figures .....</b>	<b>vi</b>
<b>Liste des tableaux .....</b>	<b>ix</b>
<b>Introduction générale.....</b>	<b>1</b>
<b>I. Recherche bibliographique .....</b>	<b>3</b>
I.1. Introduction.....	3
I.2. Types des collecteurs à concentrations .....	4
I.2.1. Les centrales solaires à tour (Les héliostats).....	5
I.2.2. Les centrales à miroirs paraboloides (Dish-Stirling) .....	6
I.2.3. Les concentrateurs solaires cylindro-paraboliques (PTCs).....	7
I.2.4. Les concentrateurs linéaires de Fresnel (Linear Fresnel Reflector LFR) .....	9
a). Introduction .....	9
b). Bref histoire du premier concentrateur linéaire de Fresnel .....	10
c). Etat de l'art du concentrateur solaire LFR .....	12
I.3. Conclusion .....	20
<b>II. Modélisation de système solaire à concentration de type Fresnel .....</b>	<b>21</b>
II.1. Introduction .....	21
II.2. Investigation géométrique .....	21
II.3. Etude thermique.....	25
II.4. Conclusion .....	32
<b>III. Simulation, Analyse et Discussion des Résultats .....</b>	<b>33</b>
III.1. Introduction .....	33
III.2. Description générale de « System Advisor Model (SAM) » .....	33
III.3. Description de la centrale solaire à concentration de type Fresnel .....	34
a). Simulation horaire annuelle .....	34

b). Configuration du flux de vapeur .....	35
a). Intégration d'auxiliaires fossiles .....	36
III.4. Etude dynamique la centrale solaire à concentration de type Fresnel.....	37
III.5. Résultats et interprétations .....	38
III.5.1. Les conditions climatiques .....	38
III.5.2. Evaluation de rendements .....	40
III.5.3. Evaluation de puissances.....	42
III.6. Conclusion.....	45
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>46</b>
<b>Références .....</b>	<b>47</b>

## Nomenclatures

$A_a$	La surface d'ouverture du collecteur, [m <sup>2</sup> ].
$A_r$	La surface du tube absorbeur, [m <sup>2</sup> ].
$A_v$	La surface de la vitre, [m <sup>2</sup> ].
$C_p$	La capacité thermique de fluide, [J.kg <sup>-1</sup> . K <sup>-1</sup> ].
DNI	Le rayonnement solaire direct, [W.m <sup>-2</sup> ].
$F'$	Le facteur d'efficacité du miroir.
$F_r$	Le facteur de dissipation de la chaleur.
$h_w$	Le coefficient d'échange par convection entre la vitre et l'ambiance, [W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ].
$\dot{m}$	Le débit massique, [Kg.s <sup>-1</sup> ].
$q_{\text{utile}}$	Le flux transmit au fluide
$T_{\text{amb}}$	La température de l'ambiance, [K ou °C].
$T_i$	La température d'entrée de fluide, [K ou °C].
$U_L$	Le coefficient de perte thermique
$\alpha$	Le coefficient de l'absorption du tube absorbeur.
$\rho_m$	Le facteur de réflectance du miroir.
$\eta_{\text{opt}}$	Le rendement optique de concentrateur.
$\eta_{\text{th}}$	Le rendement thermique de concentrateur.

## Liste des figures

### CHAPITRE I : Recherche bibliographique.

Figure I. 1 : Les techniques de la conversion de l'énergie solaire en chaleur et en énergie électrique.	3
Figure I. 2 : Les composants d'une centrale solaire à tour pour la production d'électricité [59].	6
Figure I. 3 : Schéma représentant un système solaire à concentration de type Dish-Stirling [62].	6
Figure I. 4 : à miroir parabolique développé par l'Université nationale australienne [63].	6
Figure I. 5 : Schéma d'un collecteur solaire cylindro- parabolique (PTC) [2, 15].	7
Figure I. 6 : Schéma de principe d'une centrale à concentrateur cylindro-paraboliques [75].	8
Figure I. 7 : Schéma de principe et vue de centrales solaires à miroir de Fresnel [78].	10
Figure I. 8 : Premier prototype LFR de Francia : a) Dessin du brevet LFR, brevet N° 18634. b) Bâtiment LFR en Italie, c) Tests LFR en France [80, 81].	10
Figure I. 9 : Les dessins de Francia de la grande centrale solaire LFR envisagée intégrée dans un contexte urbain d'environ 1965 [81].	11
Figure I. 10 : Le système de réfrigération à absorption Solar-GAS avec un LFRC utilisé comme générateur de vapeur [84].	12
Figure I. 11 : Schéma représentant le dispositif expérimental de M. Ghodbane et al., (2016) [2, 12, 54].	13
Figure I. 12 : Le bilan énergétique au niveau du tube absorbeur [2, 12, 54].	15
Figure I. 13 : Schéma de principe de fonctionnement de la centrale thermique solaire linéaire de Fresnel [85].	16
Figure I. 14 : Mécanismes de transfert de chaleur pour un tube absorbeur une cavité trapézoïdale d'un réflecteur linéaire de Fresnel LFR [26].	17
Figure I. 15 : Contours de température, superposés des vecteurs de vitesse et des pertes de chaleur de chaque limite dans le cas optimal à la température spécifiée du tube (a) 500 K et (b) 350 K [26].	17
Figure I. 16 : La disposition schématique du champ de miroirs LFC et de la cavité du tube absorbeur [79].	18

Figure I. 17 : Etude de convergence du flux thermique moyen sur les tubes absorbeurs dans SolTrace [79]. 19

Figure I. 18 : Comparaison de la distribution du flux thermique autour des tubes absorbeurs pour les modèles 2-D: 3-D et 3D complets (a) 3ème tuyau, (b) 4ème tuyau [79]. 19

## CHAPITRE II : Modélisation de système solaire à concentration de type Fresnel.

Figure II. 1 : Concentrateur solaire de Fresnel avec une cavité trapézoïdale [83, 88]. 22

Figure II. 2 : La configuration des miroirs et leurs paramètres optiques en fonction du nombre des miroirs. 24

Figure II. 3 : Le bilan thermique d'un élément de surface du concentrateur LFR. 27

Figure II. 4 : Evolution du rayonnement solaire pour la journée de 21 Juillet 2017 selon le modèle semi-empirique de PERRIN BRICHAMBAUT. 30

Figure II. 5 : Evolution rendements optiques et thermiques pour la journée de 21/07/2017. 30

Figure II. 6 : Evolution des températures (Tube absorbeur  $T_A$ , Fluide  $T_F$  et Vitre  $T_V$ ). 31

Figure II. 7 : Le coefficient des pertes thermiques ( $U_L$ ) en fonction de ( $T_A - T_{amb}$ ). 32

## CHAPITRE III : Simulation, Analyse et Discussion des Résultats.

Figure III. 1: Schéma d'une boucle de centrale solaire à concentration de type Fresnel avec une configuration RC [92]. 35

Figure III. 2: La configuration du auxiliaire fossile (1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> scénarios) [92]. 36

Figure III. 3: La configuration du auxiliaire fossile (3<sup>ème</sup> scénarios) [92]. 37

Figure III. 4 : La variation des rayonnements solaires directs en  $W/m^2$ . 39

Figure III. 5 : La variation de températures de l'air en  $^{\circ}C$ . 39

Figure III. 6 : La variation de la vitesse du vent en m/s. 40

Figure III. 7 : La variation de l'efficacité optique du concentration LFR. 40

Figure III. 8 : La variation de l'efficacité thermique du concentration LFR. 41

Figure III. 9 : Evaluation de puissances en MW : Evaluation horaires de la journée moyenne de l'année. 42

Figure III. 10 : L'efficacité totale de la centrale solaire à concentration de type Fresnel à la région d'El-Oued, Algérie: Evaluation horaires de la journée moyenne de l'année. 43

- Figure III. 11 : Evaluation de fonctionnement du chauffage d'appoint (MWe) : Evaluation horaires de la journée moyenne de l'année. 44
- Figure III. 12 : La production électrique de la centrale solaire à concentration de type Fresnel à la région d'El-Oued, Algérie. 44
- Figure III. 13 : La production électrique de la centrale solaire à concentration de type Fresnel à la région d'El-Oued, Algérie : Evaluation horaires de la journée moyenne de l'année. 45

## Liste des tableaux

### CHAPITRE I : Recherche bibliographique.

Tableau I. 1 : Les caractéristiques optiques du concentrateur LFR de M. Ghodbane et al., [2, 12, 54].	14
Tableau I. 2 : Dimension géométrique du concentrateur LFR de M. Ghodbane et al., (2016) [2, 12, 54].	14
Tableau I. 3 : Les valeurs maximales de température qui ont été obtenues par M. Ghodbane et al., (2016) [2, 12, 54].	15

### CHAPITRE II : Modélisation de système solaire à concentration de type Fresnel.

Tableau II. 1 : Les paramètres géométriques du concentrateur (LFR).	25
Tableau II. 2 : les paramètres optiques du collecteur LFR.	26

### CHAPITRE III : Simulation, Analyse et Discussion des Résultats.

Tableau III. 1 : Caractéristiques de la centrale étudiée.	37
---	----

## Introduction générale

Avec la forte demande des besoins énergétiques dans le monde et la croissance des préoccupations environnementales, la recherche des nouvelles sources d'énergie efficaces et inépuisables est une obligation et n'est pas un choix [1-14]. Parmi les sources ont été découvert ces dernières décennies, les systèmes solaires thermodynamiques à concentration qui sont considérés la plus importante dans le monde entier. Ces systèmes génèrent de l'énergie solaire en utilisant des miroirs ou des lentilles pour concentrer une grande quantité des rayonnements solaires ou énergie thermique solaire sur une petite surface afin d'exploiter l'intensité de flux thermique plus tard dans plusieurs applications industriels tels que la production d'électricité. Par exemple pour la production d'électricité, elle est générée lorsque le rayonnement solaire concentré est converti en chaleur, ce qui entraîne une turbine à vapeur relié à un générateur d'énergie électrique ou à une réaction thermochimique.

Les centrales solaires mondiales à concentration disposaient d'une puissance totale installée de 4815 MW en 2016, contre 354 MW en 2005. En 2017, l'Espagne représentait près de la moitié de la capacité mondiale, avec une puissance de 2300 MW, faisant de ce pays le leader mondial dans les domaines d'exploitation des centrales solaires thermodynamiques à concentration. Les États-Unis suivent avec une puissance de 1740 MW. L'intérêt est également notable en Afrique du Nord et au Moyen-Orient, ainsi qu'en Inde et en Chine. Le marché mondial a été dominé par les usines paraboliques, qui représentaient 90% des usines des concentrations solaires thermodynamique à un moment donné. Les plus grands projets des concentrateurs solaires thermodynamiques au monde sont l'installation d'énergie solaire de « IVANPAH » avec une puissance de 392 MW aux États-Unis qui utilise la technologie des tours d'énergie solaire, le projet « MOJAVE SOLAR » avec une puissance de 354 MW aux États-Unis utilisant des concentrateurs cylindro-paraboliques.

Les concentrateurs solaires Linéaire de Fresnel (LFR) proposent la possibilité de produire de l'électricité à partir de l'énergie solaire, les températures du fluide caloporteur peuvent aisément dépasser les 450 °C selon la température d'entrée du fluide caloporteur au tube absorbeur. Le rendement de conversion est généralement élevé, il est varié entre 30 et 60 % [1-14]. Le concentrateur solaire linéaire de Fresnel dépend de l'utilisation du rayonnement solaire direct (DNI) [1-14].

Cette étude est consacrée à l'investigation d'une centrale solaire thermodynamique à concentration de type Fresnel pour estimer le pouvoir de la production électrique en fonction des paramètres géométriques, optiques et conditions climatiques de la région d'El-Oued.

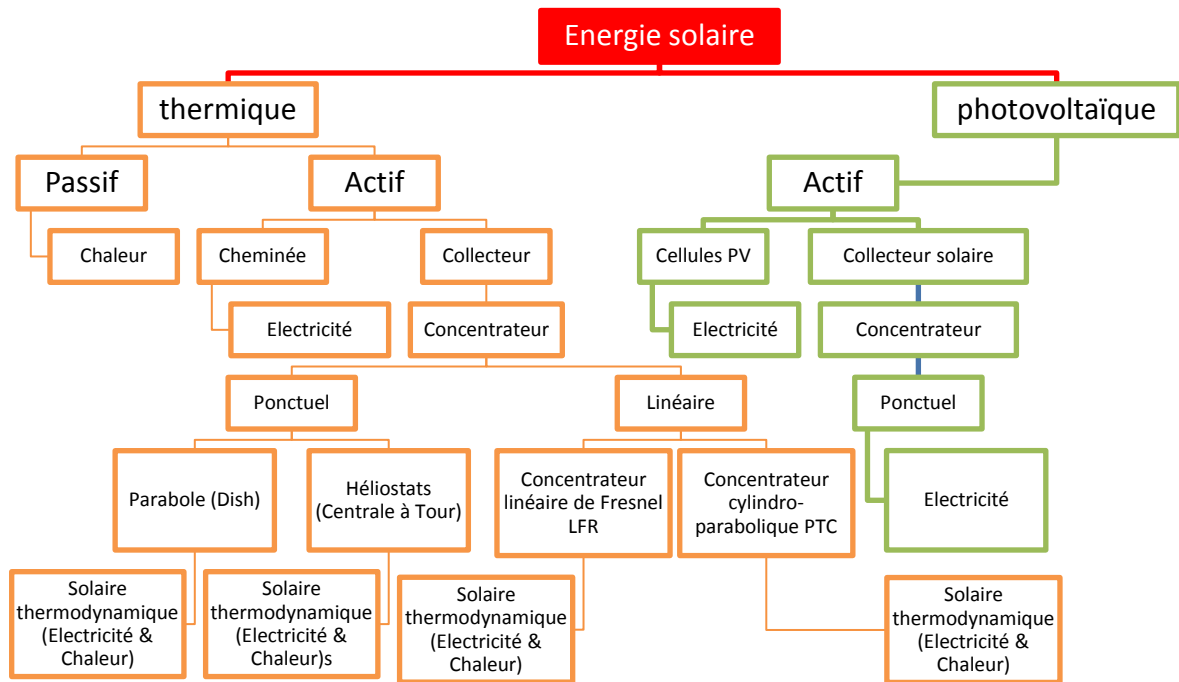
Ce mémoire de fin d'étude est conçu comme suit :

- Une introduction générale
- Le premier chapitre présente une étude bibliographique sur les concentrateurs solaires linéaires de Fresnel (LFR);
- Le deuxième chapitre illustre les étapes de la modélisation mathématique pour estimer les caractéristiques optiques thermiques du LFR ;
- Le troisième chapitre consacré à afficher et interpréter les résultats de l'étude ;
- Conclusion générale et perspectives.

# I. Recherche bibliographique

## I.1. Introduction

Il existe de nombreuses procédés permettant de produire de la chaleur et/ou de l'électricité en utilisant directement l'énergie solaire [1-26]. En ce qui concerne la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique, il existe deux techniques pour cela [1-8, 10-26].



**Figure I. 1 :** Les techniques de la conversion de l'énergie solaire en chaleur et en énergie électrique.

A travers la **Figure I. 1**, on notons que la conversion de l'énergie solaire en énergie thermique consiste à transformer le rayonnement solaire (global, direct et diffus) en chaleur, et à la récupérer principalement par chauffage d'un fluide caloporteur (eau, huile, ...etc.) [1-26]. Si la température du fluide caloporteur à la sortie du tube absorbeur est assez moyenne ou basse, son utilisation se fait principalement pour produire l'eau chaude sanitaire, mais elle peut être utilisée comme complément pour le chauffage de l'habitat, quant à la température du fluide caloporteur à la sortie du tube absorbeur est assez élevée, on peut alors actionner un cycle thermodynamique pour produire de l'électricité, ou soi-disant les centrales solaires thermodynamiques à concentration [1-9, 11-18, 20-35].

En ce qui concerne la conversion de l'énergie solaire en électricité ou en chaleur par voie photovoltaïque, les photons solaires transmettent son énergie aux électrons contenus dans un

semi-conducteur qui constitue une cellule photovoltaïque, capable de convertir le rayonnement solaire en électricité. Les électrons sont alors mis en mouvement, donnant naissance à un courant électrique. Les dispositifs photovoltaïques les plus courants sont les panneaux photovoltaïques [1, 14, 26].

Les sites les plus prometteuses pour l'implantation des centrales solaires thermodynamiques à concentration sont très nombreuses, elles se situent particulièrement en Afrique du Nord, dans les pays méditerranéens, au Proche et Moyen Orient, en Australie, dans le Sud-ouest des Etats-Unis, en Inde ou encore en Asie centrale.

L'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus importants du monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et atteint les 3900 heures au niveau de hauts plateaux et Sahara [2, 5, 19, 20]. L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m<sup>2</sup> est de l'ordre de 5 kWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700 kWh/m<sup>2</sup>/an au Nord et 2263 kWh/m<sup>2</sup>/an au sud [2, 5, 19, 20]. Selon le Ministère Algérien de l'Energie, l'Algérie a un potentiel en énergie solaire thermique représente 60 fois des besoins énergétiques de l'Europe de l'Ouest [2, 5, 19, 20]. D'après New Energy Algeria (NEAL), ce même potentiel représente quatre fois la consommation énergétique mondiale [2, 5, 19, 20]. New Energy Algeria (NEA est une compagnie fondée par le gouvernement Algérien en 2002, pour développer les énergies renouvelables.

Donc, Il est donc important d'exploiter ce gisement, gratuit et non polluant, dans le domaine de la production de l'énergie électrique, notamment dans les régions rurales isolées. Dans ces zones rurales isolées, où l'accès aux réseaux électrique est difficile et coûteux, des solutions écologiques, dans le but d'amélioration des conditions de vie des personnes, font l'objectif de beaucoup de travaux de recherches en cours [1-50].

Dans cette étude, nous tenterons de mener une étude scientifique détaillée sur la possibilité d'exploiter de l'énergie solaire dans la production d'électricité à base de concentrateurs solaires linéaires de type Fresnel (LFR) à la région d'El-Oued, Algérie.

## **I.2. Types des collecteurs à concentrations**

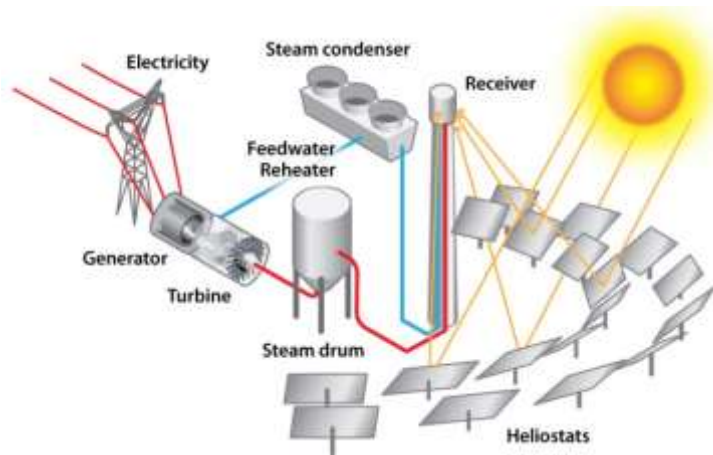
Les centrales solaires thermodynamiques à concentration recouvrent l'ensemble des technologies qui visent à transformer le rayonnement solaire direct en chaleur à température

très élevée selon le type de collecteur solaire utilisé, puis à convertir cette chaleur en énergie électrique [4, 8, 9, 12-14, 26, 51-58], où les concentrateurs solaires sont fournis une quantité de chaleur considérable [2-13, 16, 19, 30, 37]. Les concentrateurs solaires sont divisés en deux catégories : la 1<sup>ère</sup> est les concentrateurs ponctuels (les systèmes de concentration solaire par foyer) et la 2<sup>ème</sup> est les concentrateurs linéaires [2, 16]. Les concentrateurs solaires ponctuels sont les centrales solaire à tour « SPT » (les héliostats) et les centrales à miroirs paraboloides (Dish-Stirling), quant à les concentrateurs solaires linéaires sont les concentrateurs solaires cylindro-paraboliques (PTC) et les concentrateurs solaires linéaires de Fresnel (LFR) [2, 7, 16]. Nous rappelons que ces types de technologie sont appelés des systèmes solaires à concentration thermodynamique (solaire thermodynamique) [2, 7].

Les systèmes solaires à concentration thermodynamique solaires dépendent de l'utilisation de grande nombre de miroirs réfléchissants qui font s'orienter les rayons solaires directs vers un tube absorbeur ou vers un foyer ponctuel à travers lequel le fluide de travail passe. Ensuite, la chaleur est transférée du tube absorbeur ou du foyer au fluide caloporteur par convection [2]. Pour obtenir cela, les miroirs réfléchissants doivent suivre le mouvement du soleil quotidiennement du lever au coucher pour sa capture et sa concentration dans le focus (linéaire ou ponctuel), est alors un échange de chaleur par convection se produit entre la paroi intérieure du foyer et le fluide qui se déplace à l'intérieur.

### **I.2.1. Les centrales solaires à tour (Les héliostats)**

Les centrales solaires à tour (Solar power tower SPT) sont composées des milliers de miroirs réfléchissants équipés d'un système de suivi du soleil en deux axes de rotation pour concentrer les rayons du soleil direct sur un récepteur central placé au sommet d'une tour au moyen d'un champ d'héliostats (miroirs géants) [2].

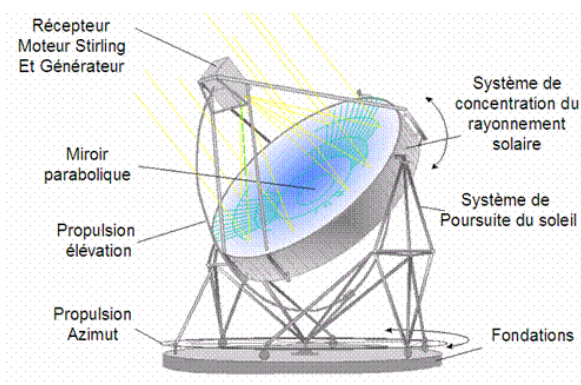


**Figure I. 2 :** Les composants d'une centrale solaire à tour pour la production d'électricité [59].

Ces centrales solaires sont connues pour être l'un des plus prometteurs technologies pour la production d'électricité solaire dans la gamme de moyenne puissance [60, 61]. Ces systèmes ont déjà prouvé leur capacité à générer de l'électricité propre d'une taille de 20 MWe en Espagne, tandis qu'une usine de SPT de 100 MWe est en construction aux États-Unis [61].

**I.2.2. Les centrales à miroirs paraboliques (Dish-Stirling)**

Les systèmes à miroirs paraboliques (Solar Parabolic Dishes « SPD » ou Dish-Stirling) sont de petites unités de conversion d'énergie solaire comparées à d'autres systèmes CSP (PTC, LFR et SPT). Les tailles de système typiques de SPD sont généralement comprises entre 5 kW et 25 kWe.



**Figure I. 3 :** Schéma représentant un système solaire à concentration de type Dish-Stirling [62].



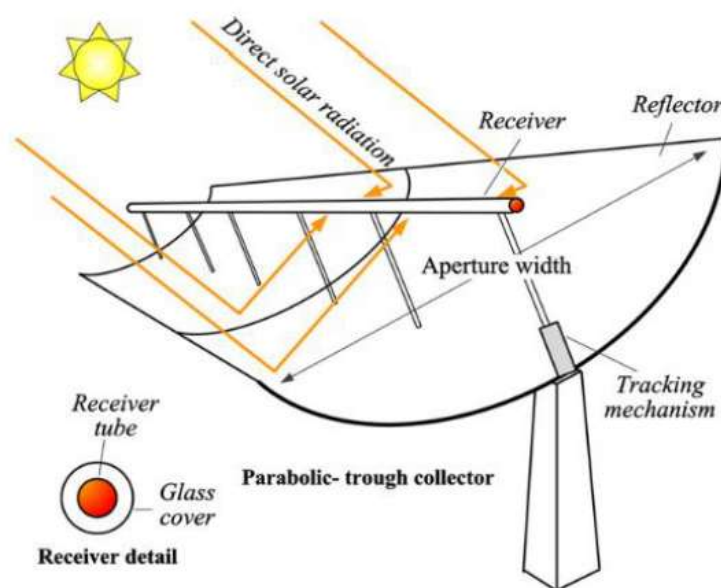
**Figure I. 4 :** à miroir parabolique développé par l'Université nationale australienne [63].

Cependant, il existe également des systèmes plus petits pour l'usage domestique. En général, les miroirs paraboloides sont équipés de moteurs Stirling en tant que moteurs thermiques. Cependant, des micro-turbines à gaz pourraient également être utilisées. En raison de la taille réduite des systèmes solaires miroirs paraboloides / moteurs, ils sont particulièrement adaptés aux applications décentralisées et hors réseau [2, 64].

### I.2.3. Les concentrateurs solaires cylindro-paraboliques (PTCs)

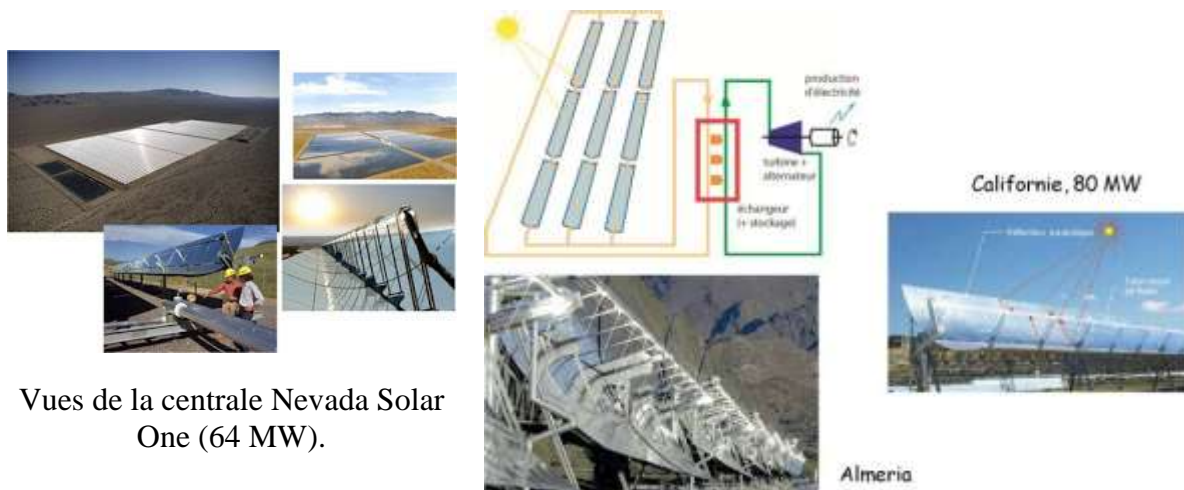
Il y a deux types de concentrateurs solaires linéaires, le premier type est les concentrateurs cylindro-parabolique, où leurs rendement thermique a dépassé 60% mais il est une technologie extrêmement coûteux [8, 9, 13, 14, 18, 21, 27, 65, 66]. Le deuxième type est le concentrateur linéaire de Fresnel [12, 54, 57, 58, 67-73].

Les concentrateurs cylindro-paraboliques (Parabolic Trough Concentrator PTC) comprennent généralement un réflecteur parabolique et un récepteur à travers lequel circule un fluide caloporteur. Le rayonnement solaire direct atteignant le PTC est réfléchi et focalisé sur la surface extérieure d'un tube absorbeur où l'énergie rayonnante est convertie en énergie thermique. Cette énergie thermique est ensuite amenée à la surface interne du tube absorbeur et transférée au fluide caloporteur par convection forcée. Ceci est considéré comme un problème de transfert de chaleur couplé avec des conditions géométriques complexes [1, 3-6, 8, 9, 11, 13, 14, 19, 20].



**Figure I. 5 :** Schéma d'un collecteur solaire cylindro- parabolique (PTC) [2, 15].

Le paramètre qui détermine la performance thermique de tout capteur solaire est l'efficacité thermique globale " $\eta_{th}$ " [1-15, 18-21, 23-25, 27-35, 37, 39, 40, 42, 45, 47-49, 74]. Ce paramètre représente le rapport entre la chaleur utile «  $q_{utile}$ , (W) » transmise au fluide caloporteur (liquide ou gaz) et la puissance «  $Q_s$ , (W) » de rayonnement solaire direct « DNI, (W/m<sup>2</sup>) » qui atteint la surface utile de collecteur (PTC). L'énergie calorifique de la chaleur utile peut être utilisée ultérieurement pour le chauffage (air, eau) ou aussi dans plusieurs procédés industriels (production d'électricité, climatisation solaire, agriculture, ...etc.).



Vues de la centrale Nevada Solar One (64 MW).

**Figure I. 6 :** Schéma de principe d'une centrale à concentrateur cylindro-paraboliques [75].

Les centrales solaires mondiales à concentration disposaient d'une puissance totale installée de 4815 MW en 2016, contre 354 MW en 2005. En 2017, l'Espagne représentait près de la moitié de la capacité mondiale, avec une puissance de 2300 MW, faisant de ce pays le leader mondial dans les domaines d'exploitation des centrales solaires thermodynamiques à concentration. Les États-Unis suivent avec une puissance de 1740 MW. L'intérêt est également notable en Afrique du Nord et au Moyen-Orient, ainsi qu'en Inde et en Chine. Le marché mondial a été dominé par les usines paraboliques, qui représentaient 90% des usines des concentrations solaires thermodynamique à un moment donné. Les plus grands projets des concentrateurs solaires thermodynamiques au monde sont l'installation d'énergie solaire de « IVANPAH » avec une puissance de 392 MW aux États-Unis qui utilise la technologie des tours d'énergie solaire, le projet « MOJAVE SOLAR » avec une puissance de 354 MW aux États-Unis utilisant des concentrateurs cylindro-paraboliques [2, 63].

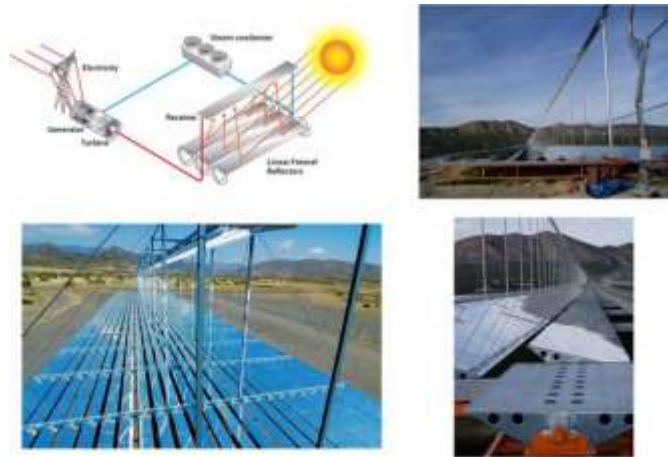
Afin de travailler sur la mise en place de stations solaires dépendent des concentrateurs solaires cylindro-paraboliques, M. Ghodbane et al., ont effectué des études optiques et thermiques sur les collecteurs solaires cylindro-paraboliques dans régions algériennes avec différents climats, pour évaluer la possibilité de lancement des investissements dans les énergies renouvelables (énergie solaire) en Algérie [2-9, 11, 13]. Les résultats obtenus par l'équipe de recherche sont très encourageants à investir dans les domaines de l'énergie solaire de toutes sortes en Algérie.

#### **I.2.4. Les concentrateurs linéaires de Fresnel (Linear Fresnel Reflector LFR)**

##### **a). Introduction**

On sait que le coût d'exploitation des énergies renouvelables est très élevé à l'heure actuelle, donc les coûts de production et l'efficacité du produit doivent être convenus afin d'avoir un appareil efficace avec un prix acceptable. Pour les systèmes solaires thermodynamiques à concentration de type cylindro-paraboliques PTC, le coût de la conception du concentrateur solaire cylindro-parabolique est très élevé en raison, puisqu'elle repose sur la mise en forme du verre pour obtenir la forme parabolique du miroir réfléchissant [2-9, 11, 13], donc l'utilisation de miroirs réflecteurs plats réduira considérablement le coût de fabrication des concentrateurs solaires linéaires. Pour cette raison, une grande partie de la recherche scientifique a été orientée vers le développement du système solaire linéaire de Fresnel (LFR), et de nombreux pays comme l'Espagne et l'Allemagne ont largement exploité cette technologie de prix acceptable et de faible efficacité [2, 12, 54].

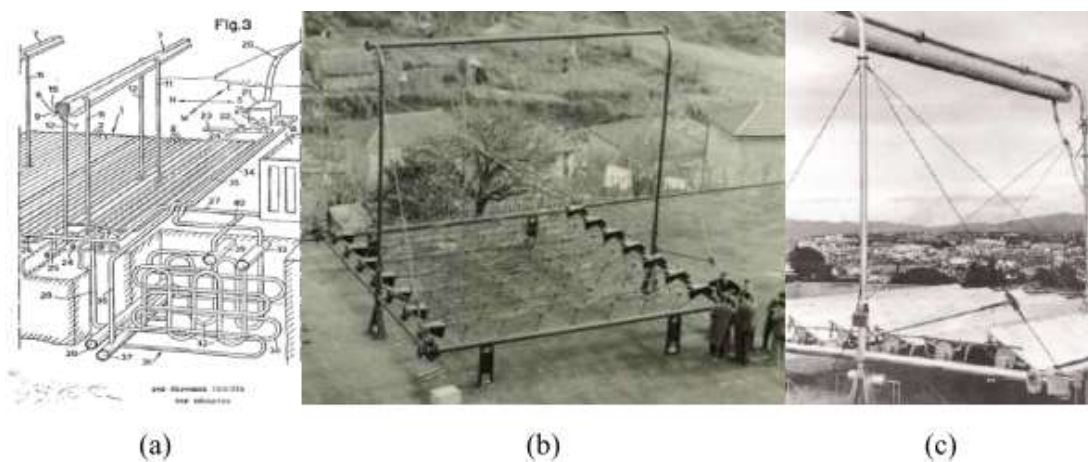
Le principe de fonctionnement d'un concentrateur linéaire de Fresnel réside dans ses miroirs plans (plats), où chacun de ces miroirs peut pivoter en suivant la course du soleil pour rediriger et concentrer en permanence les rayons solaires directs vers un tube absorbeur. Un fluide caloporteur est chauffé en circulant dans ce tube horizontal [12, 53, 76]. Pour les centrales à moyenne puissance, l'énergie absorbée par le tube absorbant est transférée à un circuit d'eau, où la vapeur produite actionne une turbine qui produit de l'électricité. La plus grande centrale électrique de concentrateur linéaire de Fresnel jusqu'à présent, est l'usine de 30 MWe développée par NOVATEC SOLAR qui a été construite près de Murcia/Espagne [2, 12, 54, 77].



**Figure I. 7 :** Schéma de principe et vue de centrales solaires à miroir de Fresnel [78].

### b). Bref histoire du premier concentrateur linéaire de Fresnel

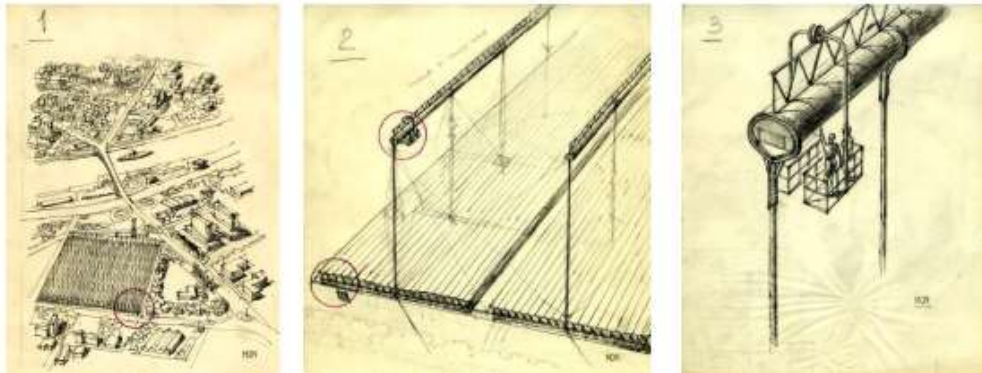
La technologie porte le nom du scientifique français Augustin-Jean Fresnel, qui a inventé l'objectif de Fresnel au XVIIIe siècle pour les phares [2, 26, 79-81]. Son idée était de broyer une lentille convexe conventionnelle sur une lentille à plusieurs sections pour obtenir une lentille moins chère et plus légère, qui permet d'envoyer les rayons lumineux correctement dans une direction donnée [2, 26, 79-81]. L'idée principale du LFC a été inspirée de la lentille de Fresnel pour diviser un miroir parabolique en une série de miroirs réfléchissants pour concentrer les rayons collimatés sur un point focal ou une ligne, selon que les réflecteurs sont circulaires ou linéaires.



**Figure I. 8 :** Premier prototype LFR de Francia : a) Dessin du brevet LFR, brevet N° 18634. b) Bâtiment LFR en Italie, c) Tests LFR en France [80, 81].

L'histoire du premier prototype LFR remonte à 1962 avant que Giovanni Francia ne dépose un brevet pour la technologie en 1963 en Italie. Le premier prototype LFR a été construit à Gênes

et testé un an plus tard à la station solaire de Lacédémone-Marseille, France par Francia et ses collègues (Figure I. 8). Cependant, l'histoire de la première étude à grande échelle de LFC remonte à la fin des années 60 quand Francia et ses collègues ont travaillé sur le projet de la ville solaire - Hypothèse pour une structure urbaine (Figure I. 9). Ce projet visait à utiliser l'énergie solaire pour la production d'électricité ainsi que le refroidissement et le chauffage des locaux pour une zone urbaine d'environ 100000 habitants [80, 81].



**Figure I. 9 :** *Les dessins de Francia de la grande centrale solaire LFR envisagée intégrée dans un contexte urbain d'environ 1965 [81].*

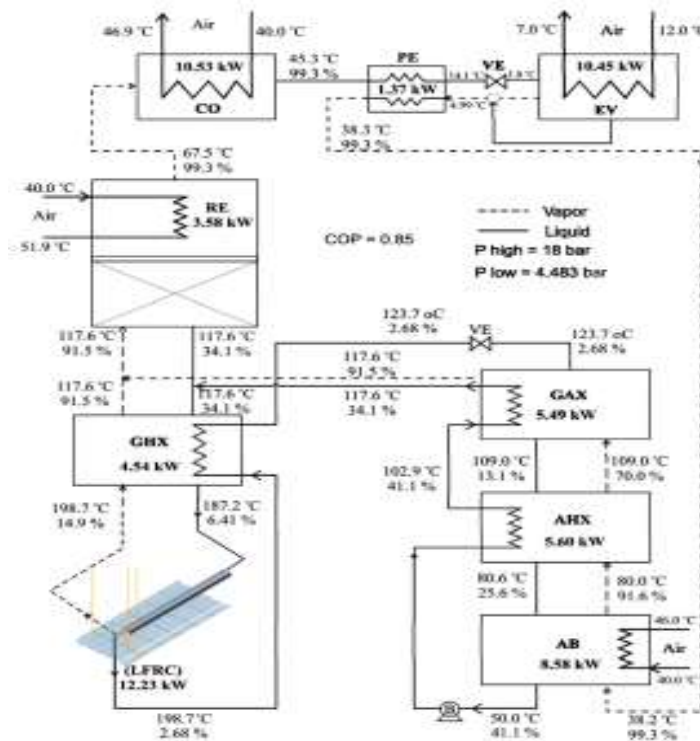
En bref, l'histoire de l'invention de cette technologie efficace, elle a été inventé par le physicien français Augustin Fresnel, la lentille de Fresnel a été conçue pour équiper le système optique des phares de signalisation marine [2, 12, 54]. Le système est aujourd'hui repris à grande échelle pour concentrer le rayonnement solaire direct sur un tube horizontal. Le but de l'invention était d'utiliser dans le système optique des phares de signalisation marine [2, 12, 54, 82], ces types du concentrateur linéaire ont été appliqué en premier pour la concentration solaire par Francia (1968), qui a développé les deux types des réflecteurs de Fresnel à un et à deux axes de poursuite [2, 12, 53, 54].

Généralement, les miroirs réfléchissants plats sont bien meilleur marché que les miroirs paraboliques, et les contraintes mécaniques imposées par la poussée du vent sont réduites grâce à la disposition plane des miroirs. En plus, le collecteur PTC est moins de prise au vent, puisque son infrastructure moins importante qu'une centrale à concentrateur solaire cylindro-paraboliques. Le seul inconvénient de cette technologie est son efficacité modeste, où la performance thermique est d'environ 30%.

### c). Etat de l'art du concentrateur solaire LFR

Dans le cadre de développement et des recherches scientifiques concernant la technologie linéaire de Fresnel, il existe quelques centrales et prototypes, parmi eux la plateforme de test Fresdemo à Almeria « Tabernas » en Espagne qui appartient à "Solar Power Group", un consortium d'entreprise dirigé par MAN Ferrostaal, elle est actuellement sous l'essai et d'évaluation avec l'assistance scientifique et technique de la PSA "Plataforma Solar of Almeria" [2, 12, 54, 78]. Cette plateforme a pour but la génération directe de la vapeur à l'intérieur des tubes sous vide. Les tubes sont alimentés en eau liquide à 107 Pascal permet de produire de la vapeur à 450°C avec une puissance de 800 kW thermique et d'un coût de 2.6 million d'euros [2, 78, 82, 83].

Un certain nombre d'études scientifiques ont été menées pour étudier la possibilité de l'utilisation de concentrateurs solaires linéaires de Fresnel dans plusieurs domaines industriels. Parmi ces travaux de recherche rencontrés, nous citons l'étude de L. N. Velazquez et al., (2010) [84], qui ont mené une analyse méthodologique pour concevoir et évaluer la faisabilité technique de l'utilisation d'un concentrateur à réflecteur linéaire de Fresnel (LFRC) en tant que générateur dans un système de réfrigération par absorption avancée (cycle solaire-GAX).



**Figure I. 10 :** Le système de réfrigération à absorption Solar-GAS avec un LFRC utilisé comme générateur de vapeur [84].

A cet effet, une simulation numérique unidimensionnelle détaillée du comportement dynamique et thermique a été réalisée sur le collecteur LRF. Le modèle numérique de LFR a été validé avec des données expérimentales issues de la littérature technique; après cela, une étude paramétrique pour différentes configurations a été réalisée afin d'obtenir la concentration solaire la plus élevée avec les pertes thermiques les plus faibles, en tenant compte à la fois des conditions météorologiques spécifiques et des restrictions de construction.

L'efficacité LFR a été obtenue par les auteurs est de 0,63, le coefficient COP du cycle Solar-GAX est de 0,85 et l'efficacité globale du système est de 0,54. L'efficacité a été calculée est supérieure de 17,9% à celle d'un cycle à un seul effet eau-bromure de lithium couplé de manière indirecte avec un système collecteur solaire parabolique PTC. Le résultat numérique a également démontré que la disponibilité du rayonnement solaire direct a un effet négligeable sur le COP du système, mais qu'il a un effet significatif sur la capacité du LFR et sur le cycle de réfrigération [84].

Dans un autre travail scientifique, M. Ghodbane et al., (2016) [12, 54], ont mené des travaux expérimentaux et numériques sur le concentrateur linéaire de Fresnel sans vitre à Blida, Algérie.



**Figure I. 11 :** Schéma représentant le dispositif expérimental de M. Ghodbane et al., (2016) [2, 12, 54].

L'objectif principal du travail de M. Ghodbane et al., (2016), est de valider leurs résultats des travaux expérimentaux qui ont été réalisés à l'hiver 2015 sur le concentrateur LFR dans les conditions climatiques de Blida par une simulation numérique.

**Tableau I. 1 :** *Les caractéristiques optiques du concentrateur LFR de M. Ghodbane et al., [2, 12, 54].*

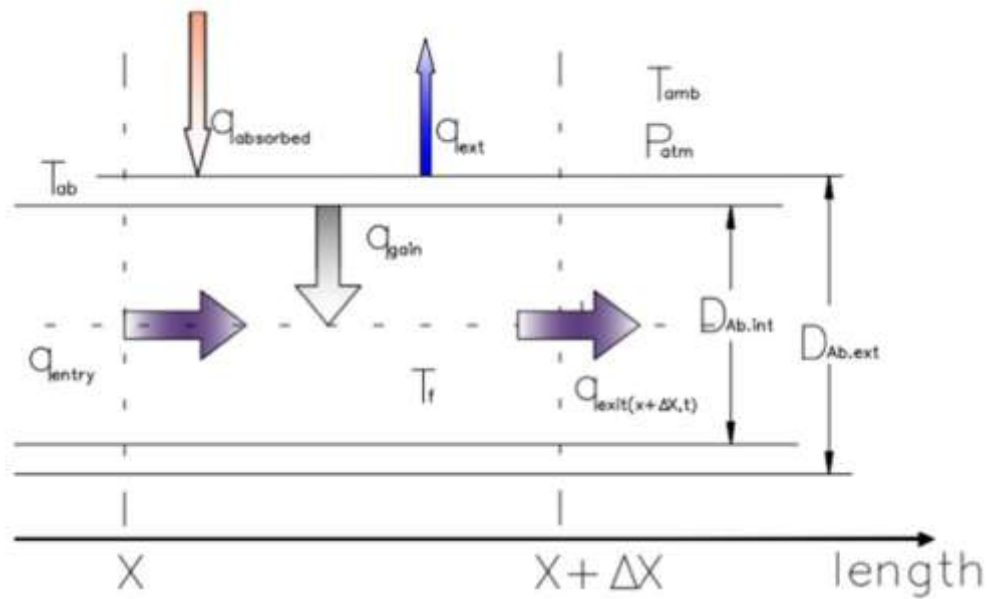
Properties	Value
Absorption coefficient of absorber tubes, $\alpha$	0.8
Surface reflectance of the mirror, $\rho_m$	0.85
Emissivity of absorber tube, $\epsilon_A$	0.12

L'eau du robinet a été utilisée comme un fluide caloporteur. La simulation a été utilisée pour résoudre les équations du bilan énergétique des tubes absorbeurs et de l'eau, où la solution est basée sur la méthode des différences finies avec un schéma implicite [54].

**Tableau I. 2 :** *Dimension géométrique du concentrateur LFR de M. Ghodbane et al., (2016) [2, 12, 54].*

Element	Value	Unity
External diameter of the absorber ( $D_{A, ext}$ )	22	mm
Internal diameter of the absorber ( $D_{A, int}$ )	20	mm
Mirror length ( $L_m$ )	1500	mm
Mirror width (W)	100	mm

Après la résolution des équations non linéaires, un programme a été réalisé en utilisant le langage MATLAB pour donner les rendements thermiques, les températures de l'absorbeur, les températures de l'eau à la sortie des tubes absorbeurs et les coefficients de pertes thermiques. L'efficacité thermique du réflecteur est dépassée de 29%.



**Figure I. 12 :** Le bilan énergétique au niveau du tube absorbeur [2, 12, 54].

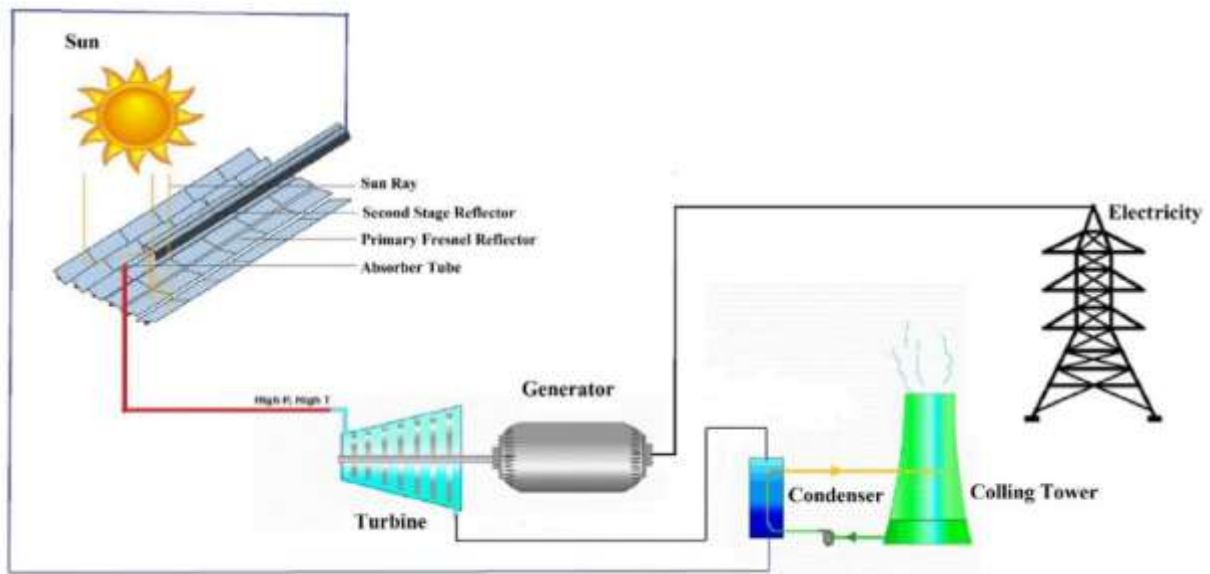
Les résultats obtenus par M. Ghodbane et al., prouvent l'existence d'une convergence substantielle entre les résultats expérimentaux et numériques, où la température de l'eau dépasse dans tous les cas 347 K [2, 12, 54].

**Tableau I. 3 :** Les valeurs maximales de température qui ont été obtenues par M. Ghodbane et al., (2016) [2, 12, 54].

Date	Absorber temperature (K)		Water exit temperature (K)	
	Numerical	Experimental	Numerical	Experimental
January 22nd	364.29	363	348.58	347
February 19th	367.31	367	354.25	352

Généralement, le coût par unité de surface de la surface du réflecteur de Fresnel linéaire est acceptable, car il est simple à installer et facile à entretenir. Les résultats qu'ont été obtenus par M. Ghodbane et al., très encourageants pour continuer à améliorer leur petit prototype pour l'exploiter dans les domaines industriels et domestiques tels que le chauffe-eau solaire.

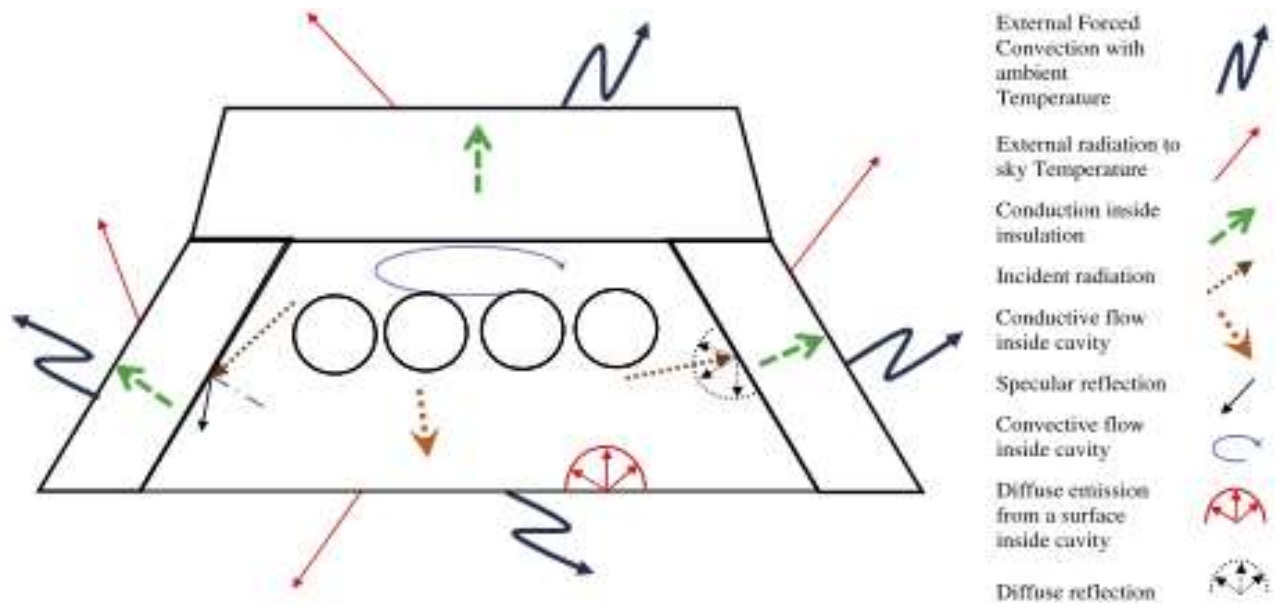
D. Bishoyi et K. Sudhakar (2017) [85], ont conduit une modélisation et une simulation de la performance d'une centrale thermique solaire de 100 MW à Udaipur en Inde sur la base du concentrateur linéaire de Fresnel (LFR).



**Figure I. 13 :** Schéma de principe de fonctionnement de la centrale thermique solaire linéaire de Fresnel [85].

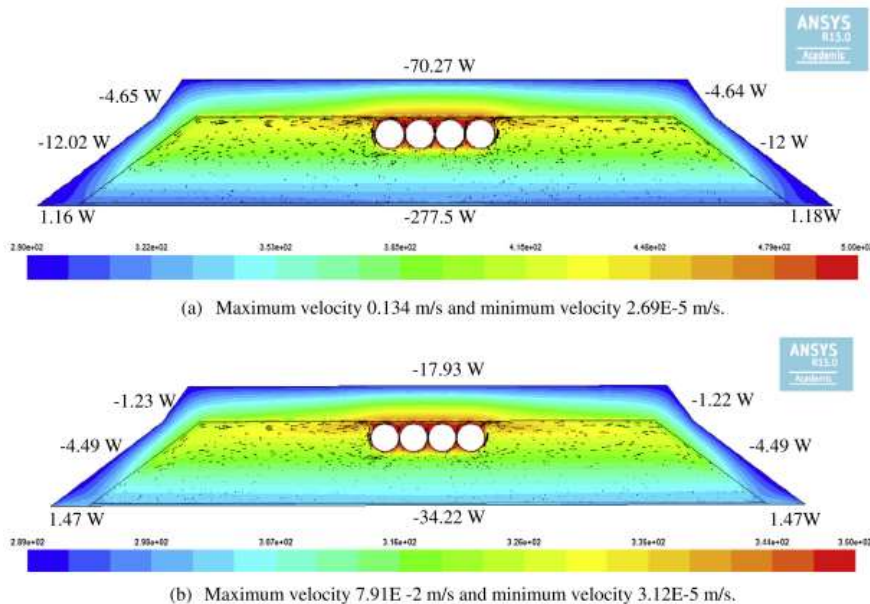
La ville de Udaipur recevant un DNI annuel de 2248,17 kWh/m<sup>2</sup>/an au Rajasthan a été choisie pour la faisabilité technique d'une installation hypothétique de centrale solaire thermodynamique LFR. La conception de la station solaire se compose de 16 collecteurs solaires LFR dans une boucle. Le sel solaire HITEC est choisi comme un fluide caloporteur en raison de ses excellentes propriétés thermodynamiques. L'énergie nette générée annuellement par l'hypothétique centrale LFR de 100 MW est d'environ 263,973 GWh. Cette station solaire fonctionne avec un facteur d'utilisation de la capacité (CUF) de 30,2%, où la station a une conversion brute/nette de 90,17% et l'efficacité totale de la station solaire avoisine 18,3% [85].

Dans une étude scientifique distinctive, M. A. Moghimi et al., (2015) [26], ont mené une optimisation d'un tube absorbeur avec une cavité trapézoïdale d'un réflecteur linéaire de Fresnel LFR.



**Figure I. 14 :** Mécanismes de transfert de chaleur pour un tube absorbeur une cavité trapézoïdale d'un réflecteur linéaire de Fresnel LFR [26].

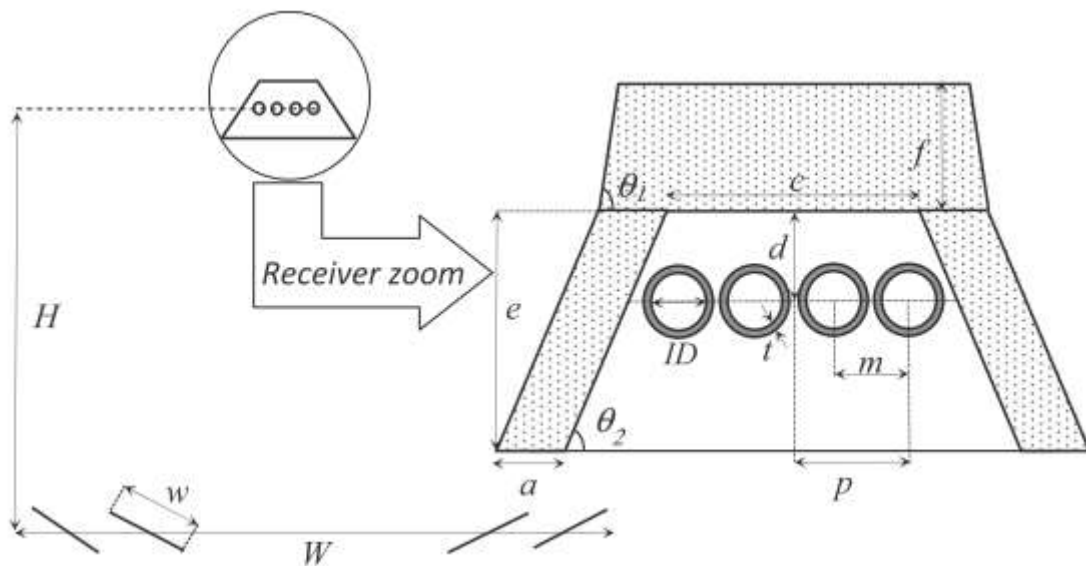
La cavité LFR a été simulée dans ANSYS Fluent 15 en considérant les hypothèses suivantes : le modèle bidimensionnel de la cavité est dans une condition stable et les surfaces extérieures du tuyau ont été considérées comme étant à une température constante. De plus, la cavité est remplie d'air dont la viscosité, la capacité calorifique et la conductivité thermique sont dépendantes de la température et le fluide est considéré comme newtonien et laminaire [26].



**Figure I. 15 :** Contours de température, superposés des vecteurs de vitesse et des pertes de chaleur de chaque limite dans le cas optimal à la température spécifiée du tube (a) 500 K et (b) 350 K [26].

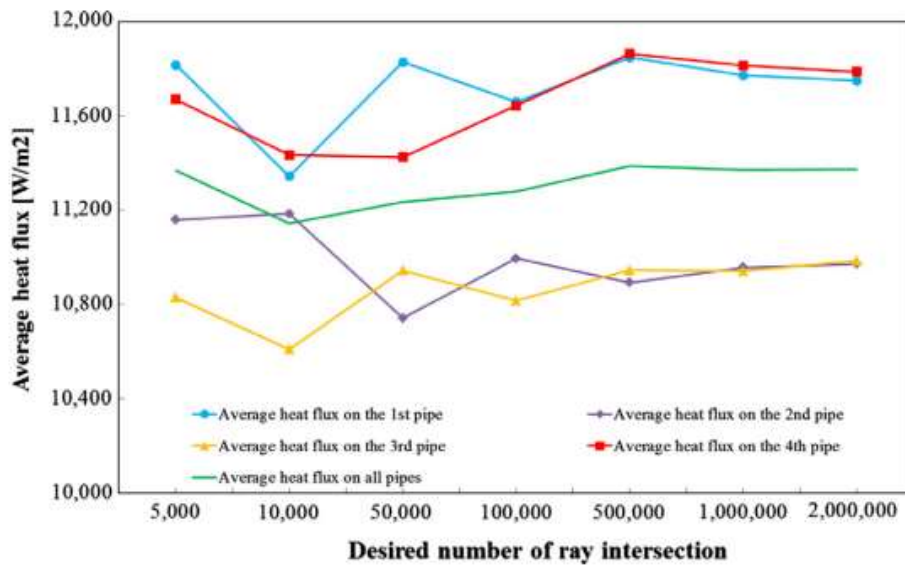
Dans l'étude de M. A. Moghimi, le récepteur de cavité LFR a été optimisé afin de trouver la géométrie la plus appropriée pour minimiser les pertes de chaleur et la charge du vent latéral. Dans le premier cas, le récepteur était plus efficace sur le plan thermique, tandis que le second laissait entendre que le récepteur était aussi petit que possible, ce qui réduisait son coût. Les multiples objectifs ont été incorporés en utilisant un algorithme génétique multi-objectifs pour trouver plusieurs optimums de Pareto. Si tous les objectifs concurrents n'étaient pas inclus dans une formulation de conception, alors un objectif pourrait être optimisé au détriment d'autres paramètres de performance [26].

Dans un autre travail scientifique, M. A. Moghimi et al., (2015) [79], ont mené une étude basée sur une nouvelle approche computationnelle pour combiner la modélisation optique et thermique des collecteurs linéaires de Fresnel en utilisant la méthode du volume fini.



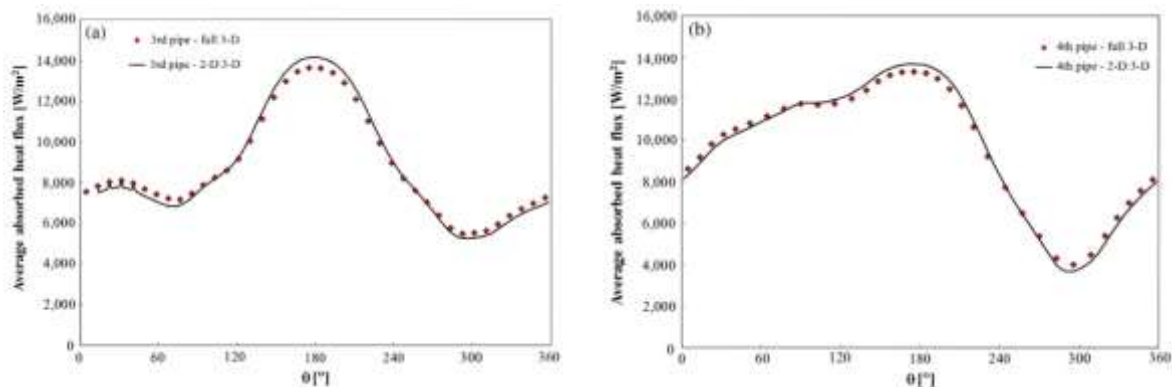
**Figure I. 16 :** La disposition schématique du champ de miroirs LFC et de la cavité du tube absorbeur [79].

Une approche computationnelle a été présentée, qui utilise la méthode du volume fini (FV) dans le solveur Computational Fluid Dynamics (CFD) en utilisant ANSYS Fluent pour effectuer le traçage de rayons requis pour quantifier la performance optique d'un concentrateur solaire linéaire de Fresnel, comme ainsi que la modélisation du transfert de chaleur conjuguée nécessaire pour estimer l'efficacité thermique du collecteur LFR [79].



**Figure I. 17 :** *Etude de convergence du flux thermique moyen sur les tubes absorbeurs dans SolTrace [79].*

Selon M. A. Moghimi et al., (2015) [79], la solution de l'équation de transfert radiatif en utilisant la méthode du volume fini (FV) de CFD de l'approche des ordonnées discrètes dans ANSYS Fluent est suffisamment précise pour les applications solaires, comme illustré par la détermination des performances thermiques d'un tube absorbeur avec une cavité trapézoïdale d'un réflecteur linéaire de Fresnel LFR [79].



**Figure I. 18 :** *Comparaison de la distribution du flux thermique autour des tubes absorbeurs pour les modèles 2-D: 3-D et 3D complets (a) 3ème tuyau, (b) 4ème tuyau [79].*

Selon M. A. Moghimi et al., (2015) [79], grâce à un raffinement de maillage suffisant et à une sélection minutieuse des réglages de discrétisation angulaire ou des angles de contrôle, les erreurs d'effet de rayon et de fausse diffusion peuvent presque être éliminées. En plus, les résultats de la simulation optique 2D peut être appliqué en tant que source de chaleur

volumétrique dans un modèle thermique de transfert thermique conjugué 3D de la cavité du récepteur LFR pour déterminer la chaleur transférée au fluide (HTF) ainsi que les pertes thermiques la cavité.

### **I.3. Conclusion**

A travers ce chapitre, nous avons abordé les types des centrales solaires thermodynamiques à concentration. En plus, Nous avons présenté un bref résumé de la littérature scientifique sur les concentrateurs solaires linéaires de Fresnel (LFR).

## II. Modélisation de système solaire à concentration de type Fresnel

### II.1. Introduction

Ce chapitre nous avons consacré à la modélisation du concentrateur solaire que nous avons choisi comme générateur solaire thermique pour la production d'électricité. En premier lieu, nous effectuerons une modélisation optique du collecteur solaire LFR afin de déterminer les performances optiques, nous allons exécuter un dimensionnement d'une centrale solaire à concentration de type Fresnel. Pour cela nous allons déterminer l'inclinaison de chaque miroir réfléchissant, la position de chaque miroir réfléchissant et le décalage entre deux miroirs consécutifs. Également, nous allons évaluer la concentration solaire «  $C_R$  » et l'influence du nombre de miroirs sur cette dernière, puis nous allons faire un calcul pour déterminer le nombre optimal de miroir pour chaque concentrateur LFR de la centrale solaire à concentration.

En 2<sup>ème</sup> lieu, nous allons déterminer les performances thermiques du concentrateur solaire LFR. Nous allons estimer, la température du tube absorbeur «  $T_A$ , (K) », la température du fluide caloporteur à la sortie du tube absorbeur «  $T_F$ , (K) », la température de la vitre «  $T_V$ , (K) » et le coefficient global «  $U_L$ , (W/m<sup>2</sup>.K) » de pertes thermiques du concentrateur LFR par voie de programmation numérique.

La troisième partie nous avons représenté les résultats de la simulation numérique d'investigation optique et thermique du concentrateur solaire linéaire du Fresnel.

### II.2. Investigation géométrique

Pour bien détailler la théorie de conception du concentrateur solaire linéaire de Fresnel (LFR), nous avons basé sur deux travaux réalisés par Bliss et al. (1959) [86] et Negi et al. (1989) [87]. Ces chercheurs ont développé des équations en fonction de certaines hypothèses essentielles de calcul pour déterminer l'énergie solaire concentrée sur le tube absorbeur. Les hypothèses sont :

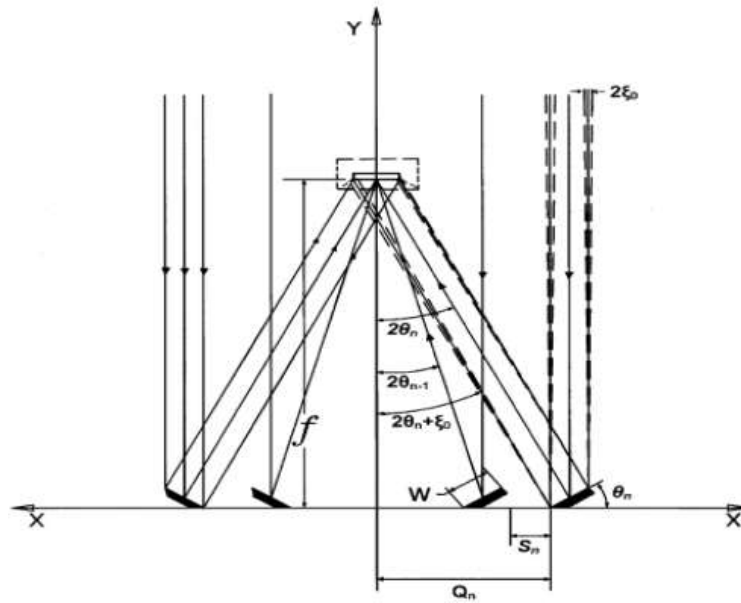
- Le concentrateur doit poursuivre le soleil parfaitement pendant sa course de l'Est à l'Ouest ;
- Les miroirs doivent être parfaitement réfléchissants ;
- On prend en considération seule la composante directe du rayonnement solaire.

Il est d'immense importance d'étudier l'effet de divers paramètres de conception du tube absorbeur dans une cavité trapézoïdale pour le concentrateur LFR, par conséquent une étude a été menée pour vérifier l'effet de facteur de concentration et de nombre de miroirs et l'influence

de ce dernier sur la concentration solaire totale.

La Figure II. 1 montre une coupe transversale d'un concentrateur de Fresnel représentée par les miroirs réfléchissants et la cavité trapézoïdale. Chaque miroir est caractérisé par trois paramètres nommés [83, 88]:

- La position «  $Q_n$ , (m) » ;
- L'angle d'inclinaison «  $\theta_n$ , ( $^\circ$ ) » ;
- Le décalage «  $S_n$ , (m) ».



**Figure II. 1 :** Concentrateur solaire de Fresnel avec une cavité trapézoïdale [83, 88].

Les expressions suivantes ont été utilisées pour obtenir ces paramètres en utilisant de simples relations optiques et géométriques [83, 88]:

$$\theta_n = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left[ \frac{\left( Q_n + \frac{W}{2} \cos Q_{n-1} \right)}{\left( f - \frac{W}{2} \sin \theta_{n-1} \right)} \right] \quad (\text{II. 1})$$

$$S_n = W \times \sin \theta_{n-1} \times \tan(2\theta_n + \theta_m) \quad (\text{II. 2})$$

$$Q_n = Q_{n-1} + W \times \cos \theta_{n-1} + S_n \quad (\text{II. 3})$$

Avec «  $f$ , (m) » est la distance focale, «  $W=0,250$ , (m) » est la largeur de chaque miroir réfléchissant et ( $\theta_m$ ) est la moitié de la distance angulaire du soleil en un point quelconque

sur la Terre ( $\zeta_0=16^\circ=0.26^\circ$ ) [83]. Dans notre étude, la distance focal (f) est égale à 4 [m].

Les conditions initiales sont:  $\theta_0=0$ ,  $S_0=0$ ,  $Q_0=-W/2$  et  $Q_1=W/2=0,250/2=0,125m$ .

Les conditions initiales des itérations de  $n=1, 2,3,\dots,z$ , ou  $z$  est le nombre total des miroirs placés dans chaque demi plan du collecteur par rapport à l'axe central. Si le nombre de miroir est paire alors  $m= n/2$  si non  $m=(n-1)/2$ .

Pour positionner les miroirs réfléchissants dans le support intérieur du concentrateur, il faut résoudre les équations ((II. 1), (II. 2) et (II. 3)). Après cela, nous allons calculer les différents paramètres comme la position « Q, (m) », l'inclinaison «  $\theta$ , ( $^\circ$ ) » où l'inclinaison de chaque miroir a été calculée de telle sorte que le rayonnement solaire soit incident sur le plan d'ouverture, et la distance (S) entre deux miroirs consécutifs pour que chaque miroir ne réalise pas d'ombre par rapport au miroir adjacent.

Dans notre cas, nous avons retenu 51 miroirs réflecteurs (le miroir central +25 miroirs à droite et 25 à gauche). Il suffit de faire les calculs d'un demi- plan de miroir parce que l'autre demi-plan est symétrique par rapport au miroir central primaire.

Remarque :  $n=0$  correspond au miroir central primaire.

La concentration globale (CR) peut être calculée en additionnant toutes les concentrations élémentaires ( $Cl_n$ ) de tous les miroirs [83]:

$$CR = 2 \sum_{n=1}^{n=z} Cl_n, n = 1,2,3, \dots, z \quad (\text{II. 4})$$

$$Cl_n = \sum_{n=1}^{n=z} \frac{W \times \cos \theta_n}{(U_n + D_n + I_n)}, n = 1,2,3, \dots, z \quad (\text{II. 5})$$

Où  $U_n$ ,  $D_n$  et  $I_n$  sont les valeurs des rayons solaires réfléchis sur l'absorbeur et calculés par les expressions suivantes [83]:

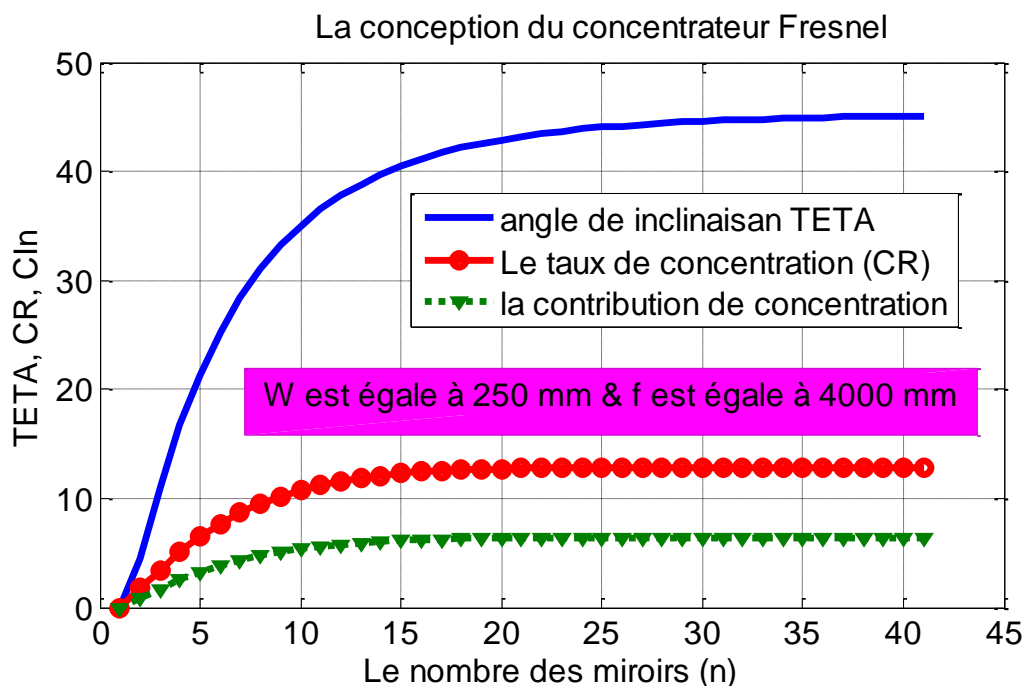
$$U_n = \frac{[(f - W \times \sin \theta_n) \times \sec 2\theta_n \times \sin \theta_m]}{\cos(2\theta_n - \theta_m)} \quad (\text{II. 6})$$

$$D_n = W \times \cos \theta_n \times \sec 2\theta_n \quad (\text{II. 7})$$

$$I_n = \frac{f \times \sin \theta_m \times \sec 2\theta_n}{\cos(2\theta_0 + \theta_m)} \quad (\text{II. 8})$$

Remarque :  $\sec(a)=1/\cos(a)$  (la sécante de (a) notée  $\sec(a)$ ), elle représente l'inverse du cosinus de (a)), c'est-à-dire le rapport de la longueur de l'hypoténuse par la longueur du côté adjacent.

Alors à l'aide des équations ((II. 4)-(II. 8)), nous pouvons estimer la concentration (CR) du collecteur de Fresnel pour différents jeux des miroirs réfléchissants. La Figure II. 2 montre la configuration des miroirs et leurs paramètres optiques en fonction du nombre des miroirs.



**Figure II. 2 :** La configuration des miroirs et leurs paramètres optiques en fonction du nombre des miroirs.

Il est à noter que l'augmentation du nombre de miroirs signifie l'augmentation du rapport de concentration solaire (CR) sur la surface du tube jusqu'à atteindre les vingt. De l'examen géométrique du concentrateur solaire linéaire de Fresnel, il a été constaté que:

- La variation du rapport de la concentration solaire en fonction de nombre de miroirs n'est pas toujours linéaire, à un certain nombre de miroir, elle décline avec l'augmentation de nombres de miroir. Il se dépose à un certain nombre de miroirs [83].
- Lorsque nous augmentons le nombre de miroir transversalement, il y aura certainement des miroirs qui ne contribuent pas à la réflexion, cela est dû à l'effet cosinus et à l'effet d'ombre entre les miroirs, et aussi à l'effet de blocage, d'où

il y'aura une valeur optimum de nombres de miroirs qu'on va déterminer dans ce qui suit [83].

- On remarque que la concentration solaire commence à se stabiliser à un nombre de miroir égal à 40, donc le nombre optimum de miroirs est égal à 41 miroirs (Le miroir central, plus Vingt droite et Vingt gauche), au-delà de cette valeur il sera inutile de rajouter des miroirs parce que ces derniers ne vont pas contribuer à améliorer la performance du concentrateur LFR.
- L'augmentation du nombre de miroirs signifie l'augmentation le volume du champ solaire ce qui conduit à l'augmentation des pertes par atténuations, l'augmentation des pertes optiques et l'augmentation des pertes thermiques.

Pour notre cas, la valeur optimale des miroirs qu'on ne doit pas dépasser est de 41 (le miroir central, plus 20 miroirs dans le demi- plan droit et 20 dans le demi - plan gauche).

### II.3. Etude thermique

Il est d'immense importance d'étudier l'effet de divers paramètres de conception de l'absorbeur dans une cavité trapézoïdale, par conséquent une analyse a été entreprise pour étudier l'effet de la forme de l'absorbeur et de sa qualité de sa surface sur le comportement thermique du concentrateur LFR. Pour déterminer les performances, nous avons suivi les travaux réalisés par L.S. Panna et al., (2010) [83] et S. Flores Larsen et al., (2011) [55], où ils ont étudiés les pertes thermiques au niveau d'un absorbeur linéaire avec une cavité trapézoïdale tapissée d'un ensemble de tubes jointif.

Nous allons déterminer le coefficient de pertes thermiques globales ( $U_L$ ) du tube absorbeur pour pouvoir déterminer les températures du fluide caloporteur à la sortie du tube absorbeur et les autres paramètres thermiques.

**Tableau II. 1 :** Les paramètres géométriques du concentrateur (LFR).

Caractéristique géométrique	Valeur (mm)
Le nombre de tube absorbeur	1
Le diamètre extérieur de l'absorbeur ( $D_o$ )	65 mm
Le diamètre intérieur de l'absorbeur ( $D_i$ )	70 mm
Le diamètre extérieur de la vitre ( $D_{v,o}$ )	109 mm
Le diamètre intérieur de la vitre ( $D_{v,i}$ )	115 mm
La longueur de miroir (L)	12270 mm

La largeur efficace (l) de l'ouverture du concentrateur LFR	5000 mm
La largeur de chaque miroir réfléchissant (W)	250 mm
La distance focale (f)	4000 mm

On admet que les propriétés optiques (Coefficient de réflexion, absorptivité, ...etc.) sont uniformes sur l'intégralité de la surface réfléchissante. On considère que le suivi solaire est très précis, dont l'ouverture du concentrateur est constamment perpendiculaire aux rayons provenant du disque solaire. Le système optique du collecteur considéré dans cette étude est composé de la surface réfléchissante du concentrateur et du tube absorbeur solaire. On applique une erreur optique moyenne globale ( $\sigma_{optique}$ ) pendant la modélisation optique.

**Tableau II. 2 :** les paramètres optiques du collecteur LFR.

paramètre	Valeur
Erreur optique moyenne globale	03 mrad
Coefficient de réflexion de miroir ( $\rho_m$ )	0,85
Transmissivité de la vitre ( $\tau$ )	0.945
Coefficient d'absorbions de l'absorbeur ( $\alpha$ )	0,8
Emissivité du tube absorbeur ( $\epsilon_A$ )	0,12
Emissivité de la vitre ( $\epsilon_V$ )	0,935

Nous allons analyser thermiquement par un outil numérique le concentrateur LFR afin d'estimer la variation de la température du fluide caloporteur à la sortie du tube absorbeur en fonction du rayonnement solaire direct (DNI) pour le site d'El-Oued « Oued Souf » (altitude 61 mètre, latitude 33,51°N et longitude 6,78°E), Algérie.

Les échanges thermiques se produit entre le fluide caloporteur, l'absorbeur et la vitre. Un programme de calcul en Matlab a été élaboré pour faire les calculs nécessaires, pour cela, on admet hypothèses suivantes:

- Le fluide caloporteur est incompressible ;
- La température ambiante autour du concentrateur est uniforme;
- L'effet de l'ombre du tube absorbeur sur le miroir est négligeable ;
- Le flux solaire au niveau de l'absorbeur est uniformément réparti ;
- La vitre est considérée comme opaque aux radiations infrarouges ;
- Les échanges par conduction dans l'absorbeur et la vitre sont négligeables.

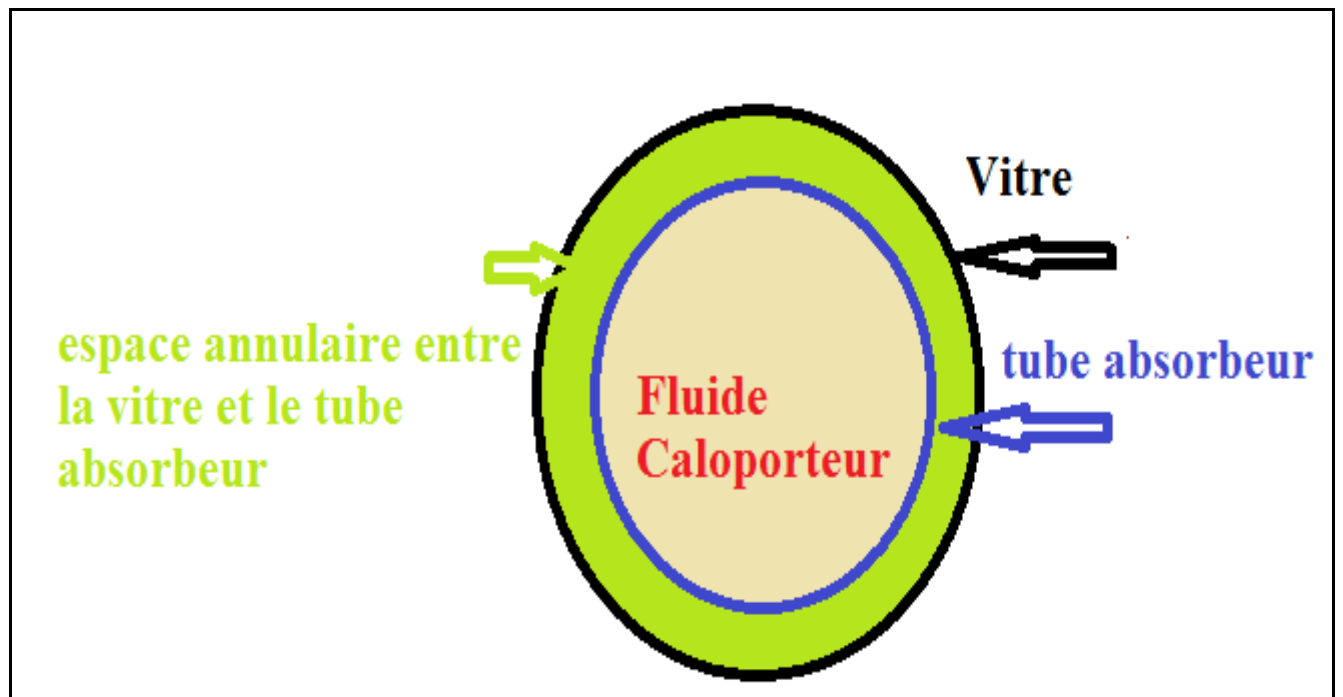
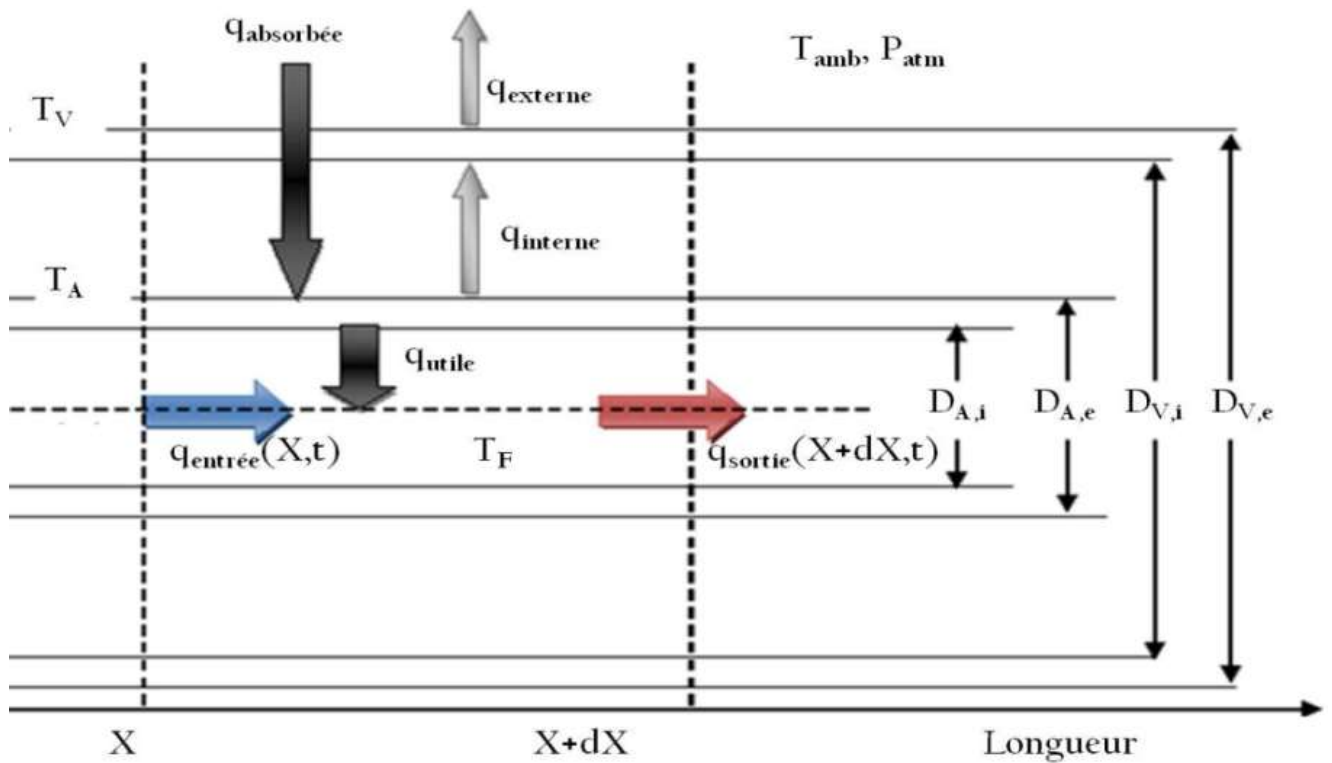


Figure II. 3 : Le bilan thermique d'un élément de surface du concentrateur LFR.

Le flux thermique transmise au fluide est donné par la relation suivante [9, 14]:

$$q_{utile} = F_r [\eta_{op} DNI A_a - U_L A_r (T_i - T_{amb})] \tag{II. 9}$$

Avec « DNI, (W/m<sup>2</sup>) » est le rayonnement solaire direct, « A<sub>a</sub>, (m<sup>2</sup>) » est la surface d'ouverture du collecteur, « A<sub>r</sub>, (m<sup>2</sup>) » est la surface du tube absorbeur, « T<sub>i</sub>, (K) » est la température

d'entrée de fluide, «  $T_{amb}$ , (K) » est la température de l'air ambiant et  $F_r$  est le facteur de dissipation de la chaleur [9, 14].

$$F_r = \frac{\dot{m} C_p}{A_a U_L} \left[ 1 - e^{-\left( \frac{A_a U_L F'}{\dot{m} C_p} \right)} \right] \quad (\text{II. 10})$$

Avec «  $\dot{m}$ , (Kg/s) » est le débit massique, «  $C_p$ , (J/Kg.K) » est la capacité thermique de fluide.

On peut exprimer l'efficacité optique «  $\eta_{opt}$  » du concentrateur par [54, 89]:

$$\eta_{opt} = 0.7 \alpha \rho_m \gamma \sqrt{1 - \cos^2(\delta) \sin^2(h)} \quad (\text{II. 11})$$

Avec le facteur «  $\alpha$  » est le coefficient d'absorption des tubes absorbants, «  $\rho_m$  » est le facteur de réflectance du miroir, «  $\gamma$  » est le facteur d'interception, «  $\delta$ , (°) » est l'angle de déclinaison et «  $h$ , (°) » est l'altitude du soleil.

Le coefficient de perte thermique «  $U_L$ , (W/m<sup>2</sup>.K) » est donné comme suit [4, 9, 14] :

$$U_L = \left[ \frac{A_r}{(h_w + h_{r,c-a}) A_v} + \frac{1}{h_{r,r-a}} \right]^{-1} \quad (\text{II. 12})$$

Avec «  $A_v$ , (m<sup>2</sup>) » est la surface de la vitre.

Où «  $h_w$ , (W/m<sup>2</sup>.K) » est le coefficient d'échange par convection entre la vitre et l'air ambiant [9, 14].

$$h_w = \frac{0,3 Re^{0,6} K}{D_{v,o}} \quad (\text{II. 13})$$

Avec «  $Re$  » est le nombre de Reynolds et «  $K$ , (W/m.K) » est la conductivité thermique de la vitre. «  $h_{r,c-a}$ , (W/m<sup>2</sup>.K) » est le coefficient d'échange radiatif entre la vitre et l'air ambiant [9, 14].

$$h_{r,c-a} = \varepsilon_v \sigma (T_v + T_{amb})(T_v^2 + T_{amb}^2) \quad (\text{II. 14})$$

«  $h_{r,r-a}$ , (W/m<sup>2</sup>.K) » est le coefficient d'échange radiatif entre l'absorbeur et la vitre [9, 14, 65].

$$h_{r,r-a} = \frac{\sigma(T_v + T_r)(T_v^2 + T_r^2)}{\frac{1}{\varepsilon_r} + \frac{A_r}{A_c} \left( \frac{1}{\varepsilon_v} - 1 \right)} \quad (\text{II. 15})$$

Avec «  $\sigma=5,66897 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\cdot\text{K}^{-4}$  » est la constante de Stephan, «  $T_v, (\text{K})$  » est la température de la vitre, «  $T_r, (\text{K})$  » est la température de l'absorbeur, «  $A_c, (\text{m}^2)$  » est la surface de la vitre, «  $\varepsilon_r$  » est l'émissivité du tube absorbeur et «  $\varepsilon_v$  » est l'émissivité de la vitre.

$F'$  est le facteur d'efficacité du miroir [4, 9, 14].

$$F' = \frac{\frac{1}{U_L}}{\frac{1}{U_L} + \frac{D_o}{h_{fi} D_i} + \left( \frac{D_o}{2K} \ln \frac{D_o}{D_i} \right)} \quad (\text{II. 16})$$

Avec «  $h_{fi}, (\text{W/m}^2\cdot\text{K})$  » est le coefficient d'échange thermique à l'intérieur de l'absorbeur.

Pour calculer la température du fluide caloporteur à la sortie du tube absorbeur, on peut utiliser l'équation suivante [4, 9, 65].

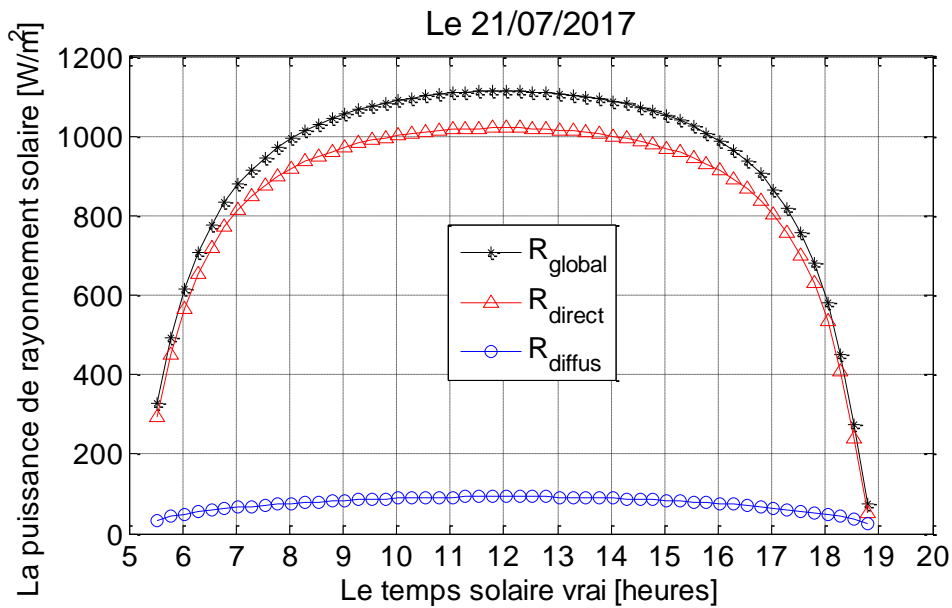
$$T_o = T_i + \frac{q_{utile}}{\dot{m} C_p} \quad (\text{II. 17})$$

On peut calculer le rendement thermique par l'équation [4, 9, 14]:

$$\eta_{th} = \frac{q_{utile}}{DNI A_a} \quad (\text{II. 18})$$

La modélisation thermique du concentrateur est faite par une procédure de calcul et programmation, pour cela nous avons élaboré un programme de calcul pour simuler le rendement thermique, la température de fluide à la sortie de l'absorbeur et le coefficient des pertes thermique et la puissance utile.

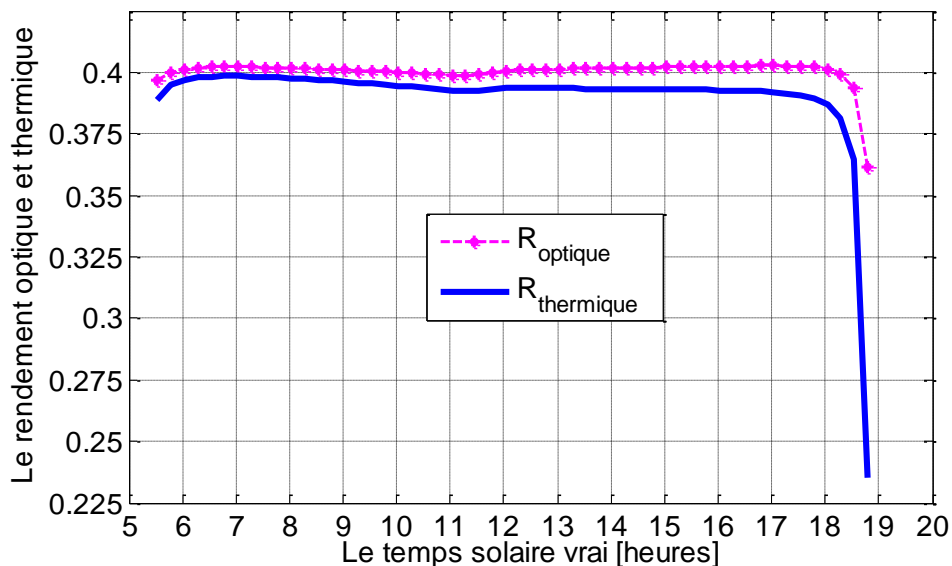
La Figure II. 4 traduit la variation du rayonnement solaire global, direct (DNI) et diffus durant la journée de 21 Juin. Pour calculer le rayonnement solaire globale du lever jusqu'au coucher du soleil, on a élaboré un algorithme qui permet de simuler le rayonnement solaire par le modèle semi-empirique de PERRIN BRICHAMBAUT [10, 90].



**Figure II. 4 :** Evolution du rayonnement solaire pour la journée de 21 Juillet 2017 selon le modèle semi-empirique de PERRIN BRICHAMBAUT.

On remarque que pendant la journée du 21 Juin, le rayonnement direct est maximal au midi solaire vrai qui peut atteindre 1100 W/m<sup>2</sup>.

La Figure II. 5 montre l'évolution des rendements optiques et thermiques en fonction du temps pour la journée de 21/07/2017.

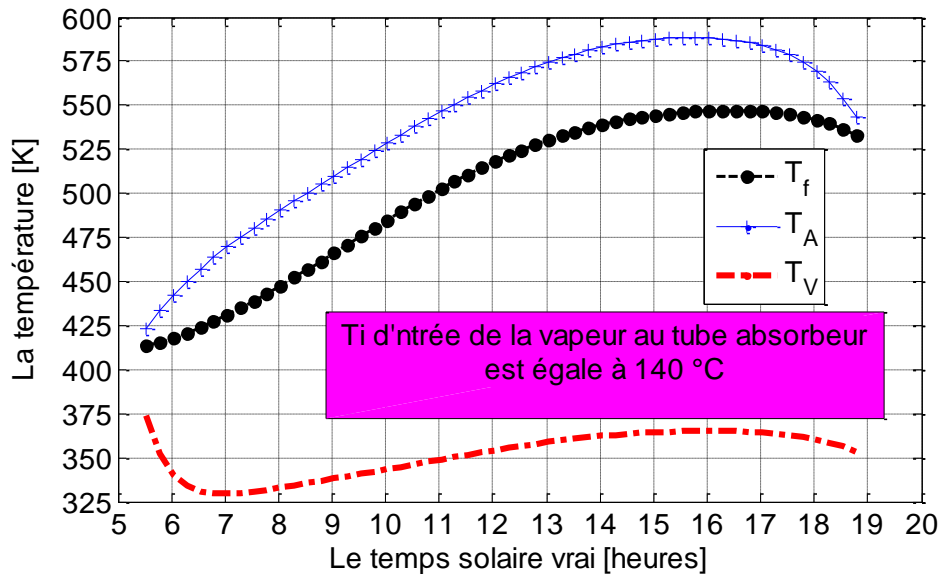


**Figure II. 5 :** Evolution rendements optiques et thermiques pour la journée de 21/07/2017.

Le rendement optique de notre collecteur est environ de 41 %, quant au rendement thermique était de 39%. La température d'entrée de vapeur du tube absorbeur est de 140 °C, cette

température est élevée, donc l'isolation doit être bonne pour maintenir une efficacité maximale du concentrateur.

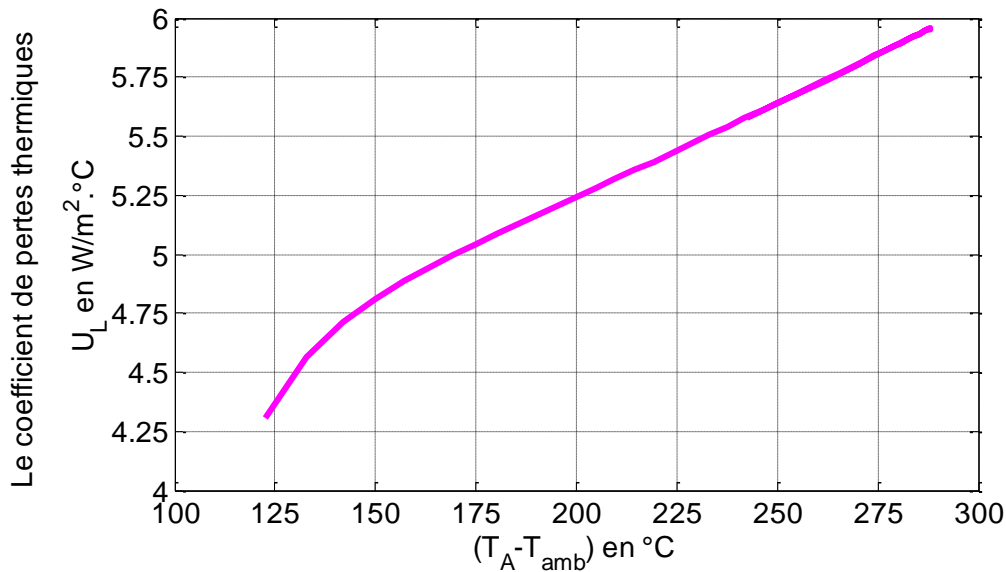
Le débit moyen de la vapeur à l'intérieur du tube absorbeur est égal à  $0,015\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$ . La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** représente l'évaluation de la température du tube absorbeur, du fluide à la sortie de tube absorbeur et de la vitre durant la journée en fonctions du temps.



**Figure II. 6 :** Evolution des températures (Tube absorbeur  $T_A$ , Fluide  $T_F$  et Vitre  $T_V$ ).

D'après la Figure II. 6, on observe que la température la plus élevée est la température de tube absorbeur, ensuite la température de fluide et enfin la température de la vitre. Les résultats sont très logiques avec la série des échanges énergétiques au niveau du tube absorbeur. Une grande quantité d'énergie absorbée par le fluide, et une petite quantité va sous forme de pertes thermiques.

La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** représente l'évolution du coefficient des pertes thermiques en fonction de la différence de température entre le tube absorbeur et la température d'ambiance.



**Figure II. 7 :** Le coefficient des pertes thermiques ( $U_L$ ) en fonction de  $(T_A - T_{amb})$ .

On observe que les pertes augmentent avec l'accroissement de la température de l'absorbeur, donc l'absorbeur est le siège des pertes thermiques, la création de vide entre le tube absorbeur et la vitre pourrait réduire nettement les pertes par convection. Le verre est transparent au rayonnement solaire visible, mais opaque aux infra-rouges (IR). Ainsi, on recouvre le tube absorbeur par une enveloppe en verre, donc les pertes radiatives par émission infra-rouge sont largement réduites. Selon la Figure II. 6, la valeur maximale du coefficient ( $U_L$ ) de pertes thermiques était  $5,97 W/m^2.K$ , quant à la valeur minimale est égale à  $4,3 W/m^2.K$ .

#### II.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les résultats de la simulation numérique dans laquelle l'efficacité du réflecteur solaire linéaire de Fresnel a été déterminée. Les résultats obtenus sont logiques et ont un comportement scientifique purement physique. Dans le prochain et dernier chapitre, nous modéliserons la production d'électricité en utilisant l'énergie solaire basée sur le concentrateur solaire linéaire de Fresnel.

### III. Simulation, Analyse et Discussion des Résultats

#### III.1. Introduction

Pour réaliser des centrales solaires thermodynamique pour la production de l'électricité dans une région particulière, certaines conditions doivent être remplies et certaines questions importantes doivent être respectées. Ces points sont:

- Le rayonnement solaire est abondamment disponible tout au long de l'année ;
- De vastes zones doivent être disponibles pour construire des centrales solaires ;
- Les infrastructures doivent être disponibles ;
- Pour les pays qui ont l'intention de construire des centrales solaires, il doit y avoir des opportunités économiques qui permettent d'investir dans l'énergie solaire.

Ces quatre points sont très disponibles dans le Sahara algérien, notamment en Wilaya d'El-Oued, Algérie. Pour cette raison, nous avons suggéré que cette étude soit menée.

Dans ce chapitre, nous allons établir un cahier de charges afin de déterminer toutes les caractéristiques de la centrale à étudier à l'aide du logiciel « SAM ». Nous déterminerons la capacité de production d'électricité pour cette centrale solaire en terme de l'intensité du rayonnement solaire et des conditions climatiques de la zone d'El-Oued (Oued Souf), Algérie. Nous allons calculer les performances de cette centrale solaire à concentrateur de Fresnel.

#### III.2. Description générale de « System Advisor Model (SAM) »

System Advisor Model (SAM) est un outil d'évaluation de la performance et d'analyse du coût, conçu pour faciliter la prise de décision pour les personnes impliquées dans l'industrie des énergies renouvelables (Chefs de projet et ingénieurs, analystes financiers et politiciens, développeurs de technologies et chercheurs). Cet outil permet de modéliser des champs solaires de différents types, à travers lesquels une étude peut être faite pour déterminer les dimensions de la centrale solaire, son efficacité, les coûts de son achèvement [91].

SAM établit des prévisions de performance et des estimations du coût de l'énergie pour les projets électriques connectés au réseau en fonction des coûts d'installation et d'exploitation et des paramètres de conception de système que vous spécifiez comme entrées du modèle. Les projets peuvent être soit du côté client du compteur d'électricité, où ils achètent et vendent de l'électricité au prix de détail, soit du côté utilitaire du compteur, où ils vendent de l'électricité à

un prix négocié dans le cadre d'un contrat d'achat d'électricité (a power purchase agreement PPA) [91].

SAM est un modèle de production d'énergie électrique et suppose que le système d'énergie renouvelable fournit de l'énergie soit à un réseau électrique, soit à un bâtiment ou à une installation reliée au réseau pour répondre à la charge électrique. SAM ne modélise pas les systèmes d'énergie thermique qui répondent à une charge de traitement thermique, il ne modélise pas les systèmes d'alimentation isolés ou hors réseau et il ne modélise pas les systèmes avec des batteries d'accumulateurs électriques [91].

La création d'un fichier SAM implique le choix d'un modèle de performance et d'un modèle financier pour représenter votre projet. SAM remplit automatiquement les variables d'entrée avec un ensemble de valeurs par défaut en fonction de vos choix. Après avoir créé le fichier, vous modifiez les entrées pour fournir des informations sur l'emplacement du projet, le type d'équipement dans le système, le coût d'installation et d'exploitation du système, ainsi que des hypothèses financières et d'incitations. Il est de votre responsabilité en tant qu'analyste d'examiner et de modifier toutes les données d'entrée, selon le cas, pour chaque analyse. Une fois que vous êtes satisfait des valeurs de la variable d'entrée, vous exécutez des simulations, puis examinez les résultats. Une analyse typique consiste à exécuter des simulations, à examiner les résultats, à réviser les intrants et à répéter ce processus jusqu'à ce que vous compreniez et ayez confiance dans les résultats [91].

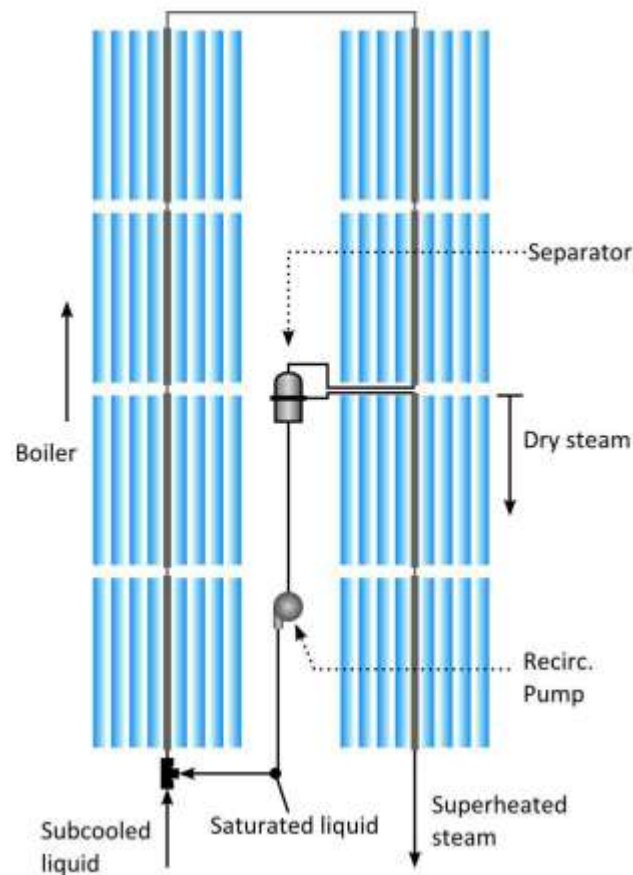
### **III.3. Description de la centrale solaire à concentration de type Fresnel**

#### **a). Simulation horaire annuelle**

SAM utilise des fichiers météo horaires dans une année météorologique typique (TM2, TM3), EnergyPlus ou dans un format généré par l'utilisateur. Une simulation annuelle consiste en une série de calculs horaires quasi-stationnaires, où chaque pas de temps de simulation dépend des conditions météorologiques instantanées et de l'état des sous-systèmes de la centrale dans les pas de temps précédents. Cette formulation permet à SAM de capturer les effets transitoires, tels que le comportement au démarrage et à l'arrêt, et les interruptions thermiques associées au HTF, à la tuyauterie et à l'équipement. L'utilisateur peut spécifier un coefficient d'inertie thermique souhaité pour ajuster la vitesse à laquelle la plante se réchauffe et se refroidit pendant les périodes inactives et les perturbations des ressources solaires.

### b). Configuration du flux de vapeur

Généralement, la configuration du débit de vapeur pour modèle SAM LFR comprend deux options pour le débit de vapeur, le premier réglage est de refaire couler du liquide (RC) et le deuxième est l'écoulement de vapeur à passage unique (once-through OT) dans le champ solaire. La plupart des conceptions actuelles de générateurs de vapeur utilisent des modèles de chaudières RC, où l'eau et la vapeur sortent de la section de la chaudière en tant que mélange à deux phases. La fraction de masse de vapeur du mélange est maintenue à une valeur souhaitée avec une pompe de recirculation. A la sortie de la section de la chaudière, la vapeur sèche est séparée du liquide et envoyée soit à une section de surchauffeur soit à la turbine, et le liquide saturé retourne à l'entrée de la section de la chaudière, comme le montre la Figure III. 1. L'avantage de la configuration RC est la capacité à assurer un transfert de chaleur constant du tube absorbeur au fluide qui empêche le « grillage » ou une surchauffe locale sévère. Cependant, cette disposition nécessite un équipement de séparation à la vapeur, une tuyauterie de retour et une pompe de recirculation qui introduit un coût supplémentaire et une consommation parasite.

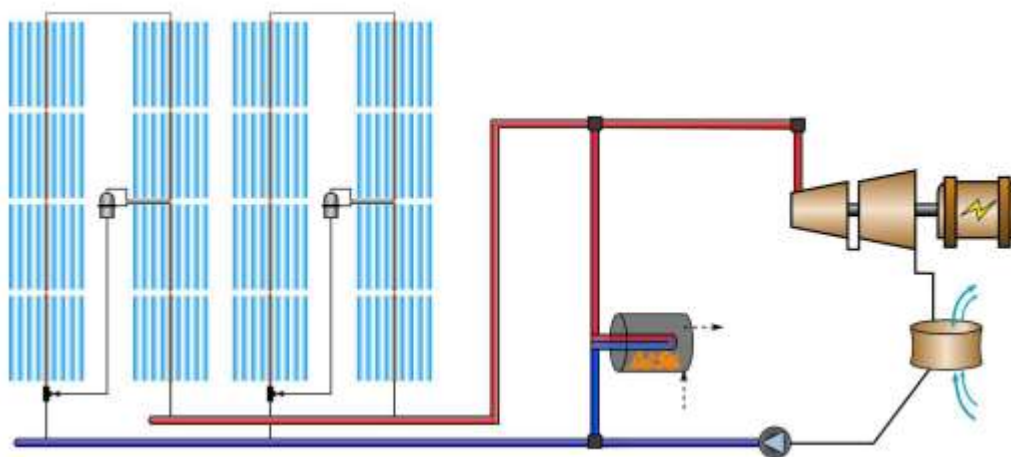


**Figure III. 1:** Schéma d'une boucle de centrale solaire à concentration de type Fresnel avec une configuration RC [92].

### a). Intégration d'auxiliaires fossiles

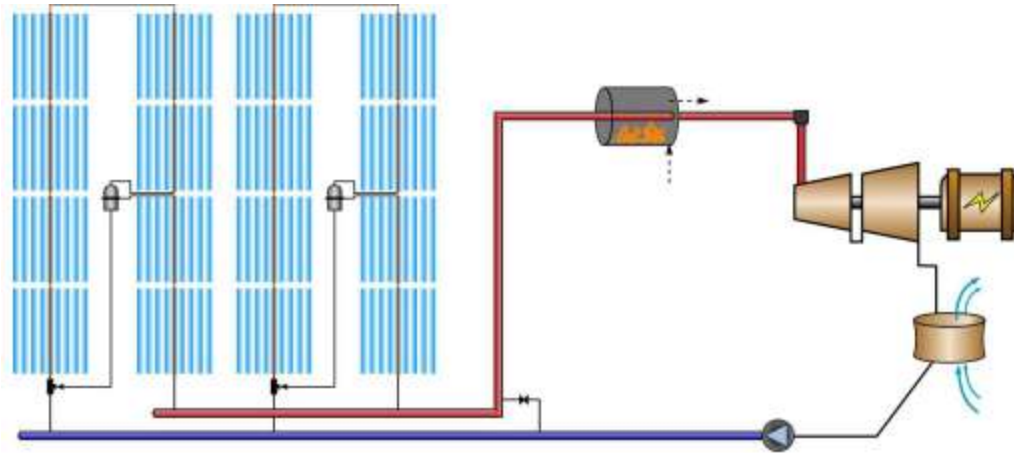
Les centrales solaires à concentration de type Fresnel à vapeur directe ne sont pas actuellement proposés avec un stockage thermique, donc un moyen d'atténuer les transitoires et d'étendre l'utilisation de l'équipement de production d'énergie est d'intégrer un système de secours fossile pour fournir de la chaleur. Dans les systèmes où la température de sortie du champ solaire est difficile à maintenir, l'auxiliaire fossile peut également fournir un mécanisme pour augmenter la température d'entrée de la turbine à un niveau acceptable. SAM inclut des options pour la modélisation de trois scénarios différents de sauvegarde des fossiles. Les scénarios sont :

- Le premier auxiliaire fonctionne à un niveau de secours minimum, il se réfère à une chaudière auxiliaire en parallèle avec le champ solaire qui fournit un débit de vapeur supplémentaire à la température de conception lorsque le champ solaire n'est pas capable de fournir le niveau d'opération minimum spécifié par l'utilisateur.



**Figure III. 2:** La configuration du auxiliaire fossile (1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> scénarios) [92].

- La seconde option est le fonctionnement supplémentaire où un débit supplémentaire est fourni jusqu'à une valeur maximale spécifiée par l'utilisateur pour aider le flux provenant du champ solaire à atteindre l'exigence thermique du point de conception pour le cycle de puissance.
- Pour le troisième scénario, l'auxiliaire fossile aide la centrale solaire à atteindre le maximum de puissance thermique maximale spécifiée par l'utilisateur à travers l'augmentation de la température de la vapeur pénétrant dans la turbine.



**Figure III. 3:** La configuration du auxiliaire fossile (3<sup>ème</sup> scénarios) [92].

#### III.4. Etude dynamique la centrale solaire à concentration de type Fresnel

Dans cette partie, nous allons mettre le cahier de charges dans lequel nous allons amener toutes les caractéristiques de la centrale à étudier à l'aide du logiciel « SAM ». Les diverses capacités d'analyse des performances discutées précédemment (voir III.3. ci-dessus) sont démontrées par une étude de cas qui étudie les effets de la configuration RC et du module. L'étude suppose un bloc de puissance nette de 90 MWe sans secours fossile. Les principales caractéristiques de la centrale sont résumées dans le Tableau III. 1.

**Tableau III. 1 :** Caractéristiques de la centrale étudiée.

Item	Valeur	Unité
Emplacement	El-Oued, Algérie	/
Configuration du flux de vapeur	RC	/
Puissance nette	90	MWe
Efficacité du cycle de conception nette	38	%
Multiple solaire	1,8	/
Surface d'ouverture de champ	813542	m <sup>2</sup>
Collecteurs par boucle	16	/
Surface par boucle	513,6	m <sup>2</sup>
Nombre de boucle	99	/

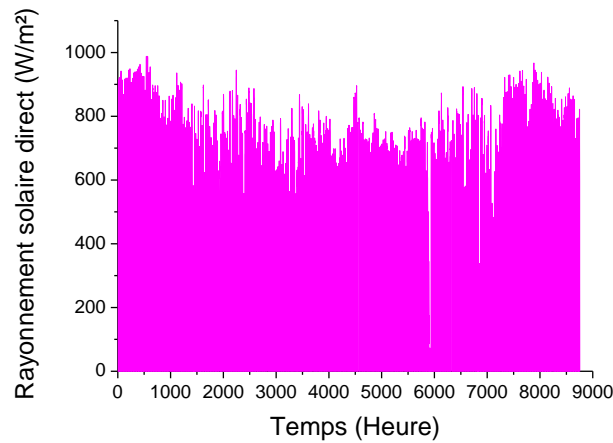
Température d'entrée du champ	140	°C
Température de sortie du champ	270	°C
Irradiation de conception	900	W/m <sup>2</sup>
Chute de pression de champ de point de conception	18,15	Bar
Type de refroidissement	Sec	/
La longueur du module	44,8	m
La largeur du module	11,465	m
La surface active des miroirs réfléchissant pour un module	513,6	m <sup>2</sup>
La distance focale	7,4	m

### III.5. Résultats et interprétations

A l'aide du logiciel SAM, nous allons déterminer les différentes caractéristiques de la centrale solaire thermodynamique à concentration de type Fresnel. Nous allons présenter en premier lieu l'évaluation du rayonnement solaire direct (DNI), l'évaluation de la température de l'air ambiant et l'évaluation de la vitesse du vent. En deuxième lieu, nous allons présenter l'évaluation des différents rendements de la centrale solaire (le rendement optique, le rendement thermique et le rendement global de la centrale). A la fin, nous allons présenter l'évaluation des différentes puissances de la station, à commencer par le système solaire jusqu'à la production de l'électricité.

#### III.5.1. Les conditions climatiques

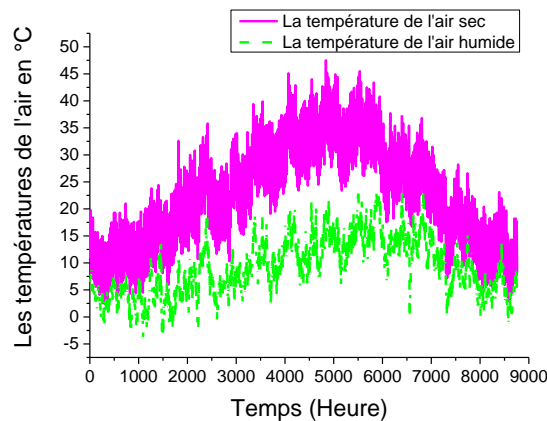
La Figure III. 4 montre l'évaluation du rayonnement solaire direct (DNI) en fonction de temps pendant une année à la région d'El-Oued (oued Souf), Algérie. A travers cette figure, nous observons que la valeur moyenne maximale de rayonnement solaire direct (DNI) est environ 800 W/m<sup>2</sup> au cours de l'année. Cette valeur très précieuse, qui peut être exploitée dans de nombreux domaines.



**Figure III. 4 :** *La variation des rayonnements solaires directs en  $W/m^2$ .*

D'après la Figure III. 4, on peut constater que le site d'El-Oued a une valeur moyenne annuelle d'ensoleillement direct importante.

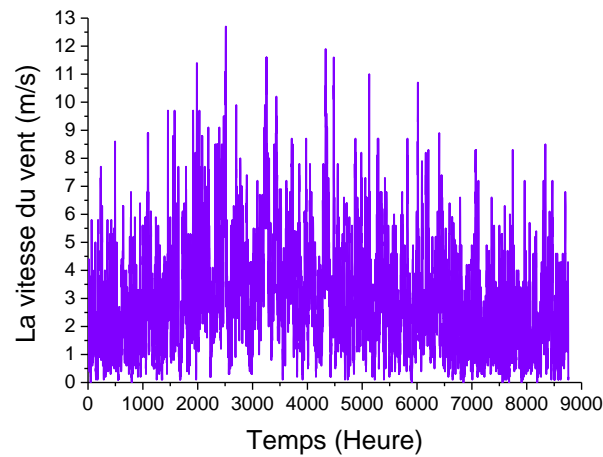
La Figure III. 5 montre l'évaluation de la température de l'air ambiant en fonction de temps pendant une année à la région d'El-Oued (oued Souf), Algérie.



**Figure III. 5 :** *La variation de températures de l'air en  $^{\circ}C$ .*

D'après la Figure III. 5, on remarque que la température maximale de l'air a atteint  $46^{\circ}C$  en juillet, quant à la température minimale a atteint  $-3^{\circ}$  Janvier. De l'observé tout au long de l'année, il existe une différence entre la température la plus élevée et la température la plus basse jusqu'à 20.

La Figure III. 6 montre l'évaluation de la vitesse du vent en fonction de temps pendant une année à la région d'El-Oued (Oued Souf), Algérie.

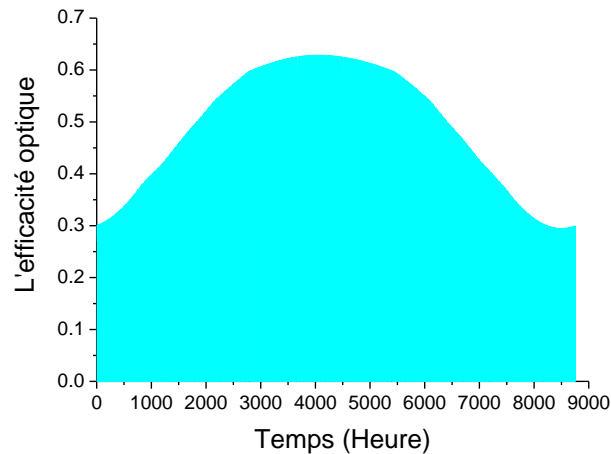


**Figure III. 6 :** *La variation de la vitesse du vent en m/s.*

Selon la Figure III. 6, on peut dire que la région de Oued-Souf est caractérisée par une quantité significative de vent au printemps et en automne. Ces vents atteignent une vitesse de 13 m/s.

### III.5.2. Evaluation de rendements

La Figure III. 7 montre l'évaluation de l'efficacité optique du concentrateur linéaire de Fresnel en fonction de temps pendant une année à la région d'El-Oued (oued Souf), Algérie.



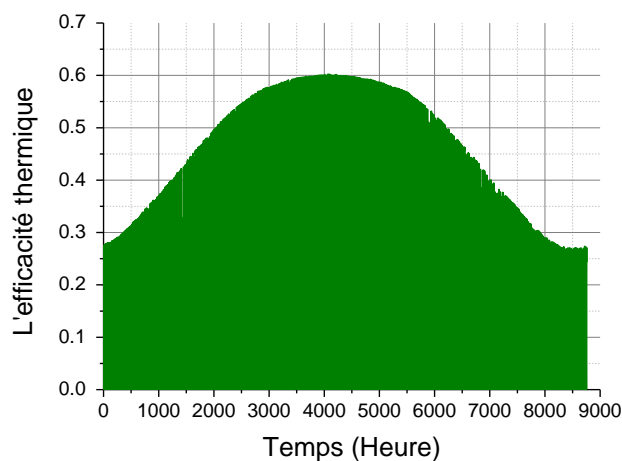
**Figure III. 7 :** *La variation de l'efficacité optique du concentration LFR.*

Généralement, la concentration solaire du concentrateur linéaire de Fresnel augmente proportionnellement avec l'augmentation du nombre de miroir jusqu'à un certain nombre en fonction de la géométrie et des dimensions des composants du concentrateur LFR, Donc pour un nombre optimal de miroirs réfléchissants, la concentration totale (CR) se stabilise, puis elle diminue, cela est dû principalement à :

- L'effet cosinus causé par les rayons rasants donc il ne contribue pas dans la concentration surtout qu'il est important dans la matinée et la soirée ;
- L'effet d'ombre selon la géométrie et des dimensions des composants du concentrateur LFR;
- L'effet de blocage la géométrie et des dimensions des composants du concentrateur LFR.

En plus, la concentration solaire totale est la somme de toutes les concentrations élémentaires. En plus de ça, l'augmentation du champ solaire cause une augmentation de la distance entre les miroirs et l'absorbeur et cela va créer des pertes optiques par atténuation atmosphérique et par débordement. Toutes ces variables ont un impact direct sur l'efficacité optique du concentrateur solaire. Pour notre étude de cas, l'efficacité optique du concentrateur du champ solaire était de 62,5 %.

La Figure III. 8 montre l'évaluation de l'efficacité thermique du concentrateur linéaire de Fresnel en fonction de temps pendant une année à la région d'El-Oued (oued Souf), Algérie. Comme on le sait, l'efficacité thermique directement liée aux variables d'efficacité optique. Il est certain que le capteur solaire a des pertes thermiques importantes. Pour cette raison, l'efficacité thermique a toujours été inférieure à l'efficacité optique, quelle que soit le type du champ solaire étudié.



**Figure III. 8 :** La variation de l'efficacité thermique du concentration LFR.

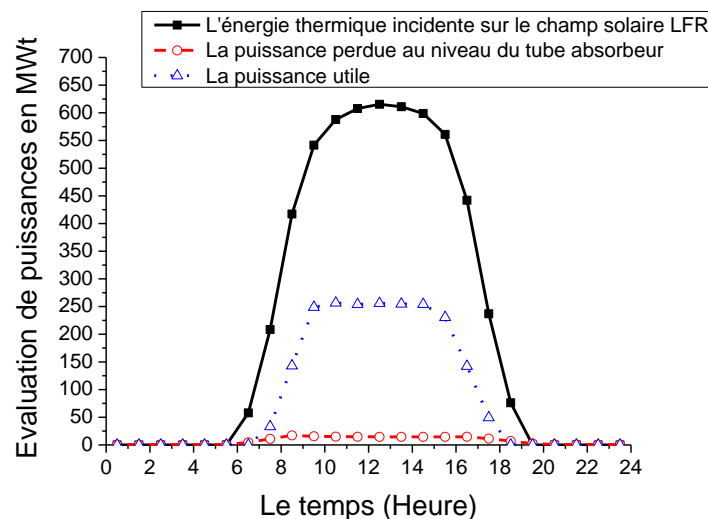
Pour notre étude de cas, l'efficacité thermique du concentrateur du champ solaire était de 59 %. L'efficacité thermique obtenue est très acceptable et cela est dû à la précision de la technologie utilisée lors de cette étude, car elle est basée sur les normes allemandes.

La Figure III. 9 montre l'évaluation de puissances moyennes du champ solaire de concentrateurs linéaires de Fresnel en fonction de temps pendant la journée moyenne de l'année à la région d'El-Oued (oued Souf), Algérie. Les résultats présentés à la Figure III. 9 ont un impact direct sur l'efficacité optique et thermique du champ solaire de concentrateurs linéaires de Fresnel.

### III.5.3. Evaluation de puissances

A travers la Figure III. 9, nous remarquons que l'énergie incidente sur le champ solaire de concentrateurs linéaire de Fresnel a atteint 600 MWt, quant à la puissance utile a atteint 270 MWt et la puissance perdue a atteint à 15 MWt. Les trois courbes sont en fonction de temps pour une journée moyenne de l'année.

En plus, la moyenne annuelle de la puissance maximale incidente au récepteur est variée en fonction de la moyenne annuelle maximale du DNI. La moyenne minimale de la puissance incidente au récepteur atteint 15 MW à 07H00 et à 18H00. Donc dans la région d'El-Oued, la période la plus favorable pour le fonctionnement de la centrale est située entre 7H45 et 17H45, et la plus défavorable est située au début et en fin de journée.

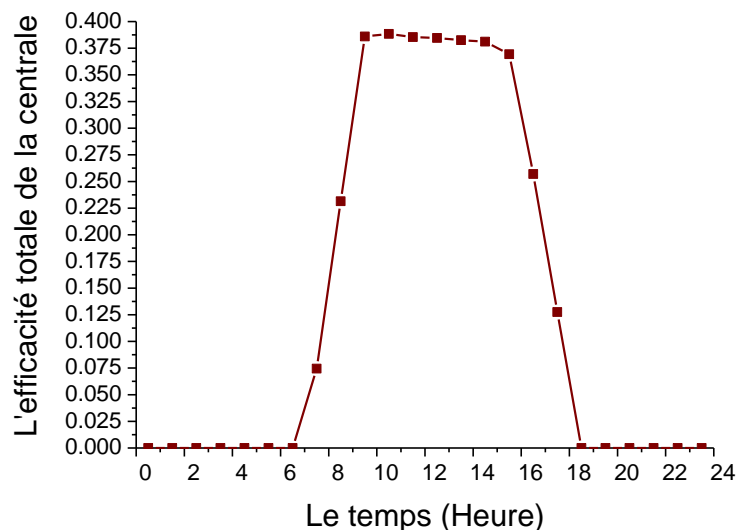


**Figure III. 9 :** *Evaluation de puissances en MW : Evaluation horaires de la journée moyenne de l'année.*

De cela, nous pouvons dire que, pour minimiser les pertes thermiques dans le champ solaire, un choix précis doit être fait pour la conception des concentrateurs solaires sélectionnés pour

produire de la vapeur à haute température, en tenant compte des propriétés optiques de chacun de ces composants.

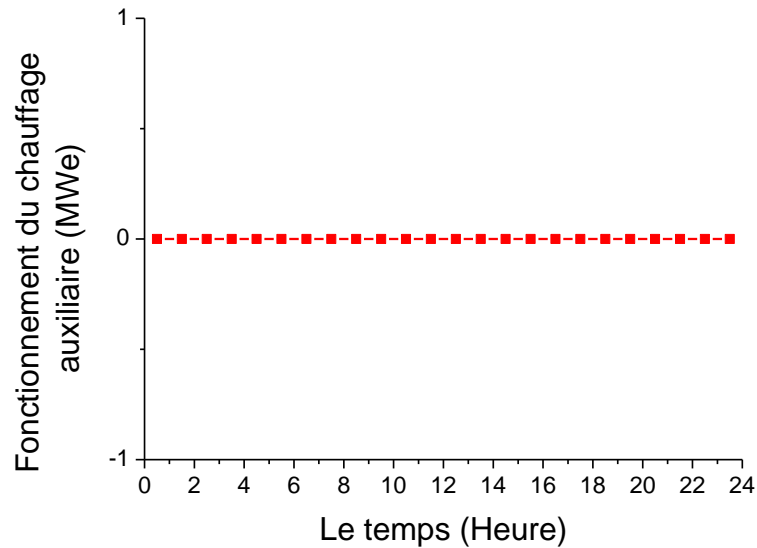
La base du calcul du rendement global de la centrale électrique à concentration repose sur les hypothèses d'irradiation solaire direct (DNI) retenu, à défaut de mesures disponibles. Le calcul de la production annuelle d'une telle installation repose sur des courbes journalières d'ensoleillement, qui permettent de prédire la production électrique de la centrale heure par heure tout au long d'une année typique. La Figure III. 10 montre l'évaluation du rendement total moyen de la centrale solaire du champ solaire de concentrateurs linéaires de Fresnel en fonction de temps pendant la journée moyenne de l'année à la région d'El-Oued (oued Souf), Algérie. Nous avons pu constater que la moyenne annuelle du rendement global moyen maximale de la centrale électrique est obtenue entre 08H00 et 17H00 pour une valeur de 38%. Quant à la moyenne annuelle minimale est obtenue à 06H30 et à 18H30 pour une valeur de 0,00%.



**Figure III. 10 :** *L'efficacité totale de la centrale solaire à concentration de type Fresnel à la région d'El-Oued, Algérie: Evaluation horaires de la journée moyenne de l'année.*

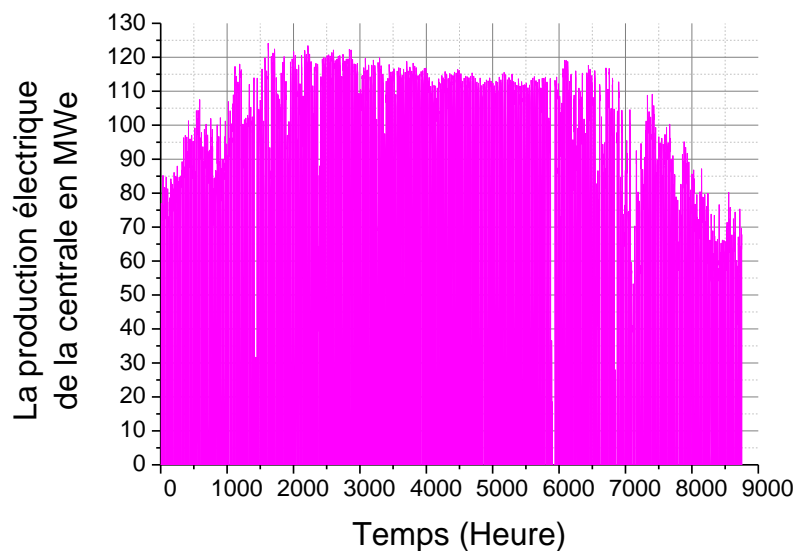
La région d'El-Oued que nous avons proposée pour une centrale solaire est une grande zone solaire. Ce point particulier encourage le lancement du projet. Selon le SAM, il n'est pas nécessaire de compter sur un assistant thermique (chauffage d'appoint) pendant le fonctionnement de la station, comme le montre la figure suivante (la Figure III. 11).

La Figure III. 11 montre l'évaluation du fonctionnement moyen du chauffage auxiliaire de la centrale solaire en fonction de temps pendant la journée moyenne de l'année à la région d'El-Oued (oued Souf), Algérie.



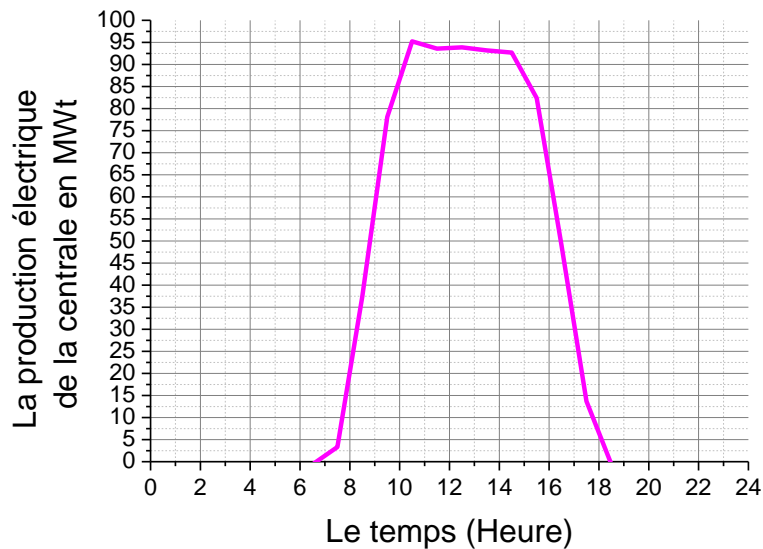
**Figure III. 11 :** *Evaluation de fonctionnement du chauffage d'appoint (MWe) : Evaluation horaires de la journée moyenne de l'année.*

La Figure III. 12 montre l'évaluation de la production électrique de la centrale solaire en fonction de temps pendant une année à la région d'El-Oued (oued Souf), Algérie.



**Figure III. 12 :** *La production électrique de la centrale solaire à concentration de type Fresnel à la région d'El-Oued, Algérie.*

La Figure III. 13 montre l'évaluation de la production électrique moyenne de la centrale solaire en fonction de temps pendant une journée moyenne de l'année à la région d'El-Oued (oued Souf), Algérie.



**Figure III. 13 :** *La production électrique de la centrale solaire à concentration de type Fresnel à la région d'El-Oued, Algérie : Evaluation horaires de la journée moyenne de l'année.*

D'après la Figure III. 12 & Figure III. 13, on peut dire que les résultats obtenus sont très encourageants pour le démarrage sérieux de l'achèvement de telles centrales solaires, ce qui va mettre l'Etat algérien sur de nombreuses dépenses et augmenter la relance du côté investissement dans l'Etat, surtout que la Wilaya d'El-Oued dit grande activité agricole, résoudre de nombreux problèmes et obstacles depuis l'an 2000.

Donc au cours de l'année, ce type de centrale (les dimensions mentionnées dans le chapitre) peut nous fournir une puissance électrique utile qui dépasse 90 MWe par jour.

### III.6. Conclusion

Grâce à ce chapitre, nous avons analysé l'efficacité de la construction d'une centrale solaire dans la région d'El-Oued (Oued souf), Algérie. Pour cela, nous nous sommes appuyés sur un programme « SAM ». Les résultats obtenus sont très encourageants pour commencer avec le premier pas vers la mise en place de telles stations.

## **Conclusion générale**

Le travail que nous avons présenté dans ce mémoire, nous a permis d'acquérir des connaissances très importantes sur les centrales solaires thermodynamiques à concentration. Donc, l'étude que nous avons réalisé sur les centrales solaires à concentrateur linéaire de type Fresnel, nous a permis de connaître le fonctionnement de ce type de centrale, ainsi que les paramètres qui influent sur son rendement. Nous avons montré que le bon fonctionnement de ce type de centrale électrique dépend de quelques facteurs optiques et thermiques. Le rendement total de la centrale a atteint 38% et la puissance électrique nette de la centrale a dépassé 90 MWe. Ceci est la preuve de l'adéquation de la zone étudiée pour un tel projet.

## Références

- [1] J. A. Duffie and W. A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*, 4th ed. Wiley, 2013.
- [2] M. Ghodbane, "Étude et optimisation des performances d'une machine de climatisation à éjecteur reliée à un concentrateur solaire " Doctorat en système énergétiques et thermiques, Département de Mécanique Université Saad Dahleb de Blida 1 2017.
- [3] M. Ghodbane and B. Boumeddane, "Numerical modeling of a parabolic trough solar collector at Bouzaréah, Algeria," *International Journal of Chemical and Petroleum Sciences*, vol. 4, no. 2, pp. 11-25, 2015.
- [4] M. Ghodbane and B. Boumeddane, "Numerical simulation of a solar-driven ejector refrigeration cycle coupled to a parabolic trough concentrator," *International Journal of Chemical and Petroleum Sciences*, vol. 5, no. 1, pp. 1-12, 2016.
- [5] M. Ghodbane and B. Boumeddane, "Optical modeling and thermal behavior of a parabolic through solar collector in the algerian sahara " *AMSE JOURNALS-AMSE IETA publication-2017-Series: Modelling B*, vol. 86, no. 2, pp. 406-426.2017 ,
- [6] M. Ghodbane and B. Boumeddane, "A parabolic trough solar collector as a solar system for heating water: a study based on numerical simulation " *International Journal of Energetica (IJECA)* vol. 2, no. 2, pp. 29-37 2017.
- [7] M. Ghodbane and B. boumeddane, "Engineering design and optical investigation of a concentrating collector: Case study of a parabolic trough concentrator " *J. Fundam. Appl. Sci.*, vol. 10, no. 2, pp. 148-171, 2018.
- [8] M. Ghodbane, B. Boumeddane, and S. Largot, "Etude optique et thermique d'un concentrateur cylindro-parabolique en site d'Alger, Algerie," in *IXth International Congress on Renewable Energy and the Environment*, Djerba, Tunisie, 18-20 March 2015.
- [9] M. Ghodbane, B. Boumeddane, and S. Largot, "Simulation Numérique d'un Concentrateur Cylindro-Parabolique en El Oued, Algérie," *International Journal of Scientific Research & Engineering Technology (IJSET)*, vol. 3, no. 2, pp. 68-74, 2015.
- [10] M. Ghodbane, B. Boumeddane, and S. Largot, "Développement d'un programme informatique pour la simulation du rayonnement solaire reçu par une surface inclinée," in *Journée d'étude sur les énergies renouvelables et leurs applications*, Université d'El Oued, Avril 2015.
- [11] M. Ghodbane, B. Boumeddane, S. Largot, and H. Berkane, "Modélisation d'un cycle de réfrigération solaire à éjecteur couplée à un concentrateur cylindro-parabolique," in *International Conférence en Clean Cooling Technologies in the ME NA Regions (ICT3\_MENA'2015) Bou Smail, W. Tipaza*, 5-6 October 2015.
- [12] M. Ghodbane, B. Boumeddane, and N. Said, "Design and experimental study of a solar system for heating water utilizing a linear Fresnel reflector," *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, vol. 8, no. 3, pp. 804-825, <http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v8i3.8>, 2016.

- [13] M. Ghodbane and B. boumeddane, "A numerical analysis of the energy behavior of a parabolic trough concentrator," *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, vol. 8, no. 3, pp. 671-691, 2016 2016.
- [14] s. Kalogirou, "Thermal analysis of parabolic trough collectors," in *solar energy engineering- processes and systems*1 ed. (Thermal analysis of parabolic trough collectors, 2009, pp. 199-202.
- [15] F. J. Cabrera, A. Fernández-García, R. M. P. Silva, and M. Pérez-García, "Use of parabolic trough solar collectors for solar refrigeration and air-conditioning applications," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 20, pp. 103-118. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.081>, 2013.
- [16] H. Derbal, M. Belhamel, and A. Benzaoui, "Conversion Solaire Thermique à Concentration les Concentrateurs Solaires Cylindro-Paraboliques," *Bulletin des Énergies Renouvelables*, vol. 11, pp. 24-25, Juin 2007.
- [17] N. El-Gharbi, "La centrale hybride de Hassi R'mel," in "Bulletin des énergies renouvelables," CDER2011 ,vol. 11.
- [18] A. Fernandez-Garcia and E. Zarza, "Parabolic-trough solar collectors and their applications," *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, pp. 1695–1721, 2010.
- [19] M. Ghodbane and B. Boumeddane, "Estimating solar radiation according to semi empirical approach of PERRIN DE BRICHAMBAUT: application on several areas with different climate in Algeria," *International Journal of Energetica*, vol. 1, no. 1, pp. 20-29, 2016.
- [20] M. Ghodbane, B. Boumeddane, N. Moumami, S. Largot, and H. Berkane" ,Study and numerical simulation of solar system for air heating," *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, vol. 8, no. 1, pp. 41- 60, <http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v8i1.3>, 2016.
- [21] A. Hepbasli and Zeyad Alsuhaibani, "A key review on present status and future directions of solar energy studies and applications in Saudi Arabia," *Renewable and Sustainable Energy Reviews* . vol. 15, pp. 5021–5050, 2011.
- [22] J.R.Vaillant, *Utilisation et promesse de l'énergie solaire*. 1978.
- [23] S. Kalogirou, "Parabolic Trough Collector System for Low Temperature Steam Generation: Design and Performance Characteristics," *Applied Energy*, vol. 55, no. 1, pp. 1-19, [http://dx.doi.org/10.1016/S0306-2619\(96\)00008-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0306-2619(96)00008-6), 1996.
- [24] A. Mokhtari, M. Yaghoubi, P. Kanan, A .Vadiee, and R. Hessami, "Thermal and optical study of parabolic trough collectors of Shiraz solar power plant " in *Third International Conference on Thermal Engineering: Theory and Applications* Amman, Jordan May 21-23, 2007, pp. 65-70.
- [25] T. A. Stuetzle, "Automatic control of the 30 MWe SEGS VI parabolic trough plant " (Master of science, Mechanical engineering), University of Wisconsin-Madison 2002.
- [26] M. A. Moghimi, K. J. Craig, and J. P. Meyer, "Optimization of a trapezoidal cavity absorber for the Linear Fresnel Reflector," *Solar Energy*, vol. 119, pp. 343–361, <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2015.07.009>, 2015.
- [27] A. I. Al-Rubaian and A.-f. Hamad, "Performance of single Axis tracking solar parabolic trough in Riyadh Saudi Arabia," in *World renewable energy congress VIII*, 2004.

- [28] P. Bendt, M. Gaul, and A. Rabl, "Determining The Optical Quality of Focusing Collectors without Laser Ray Tracing," *J. Sol. Energy Eng*, vol. 102, no. 2, pp. 128-133, <http://dx.doi.org/10.1115/1.3266130>, 1980.
- [29] Bonnet, M. Alphilippe, and P. Stouffs, "Conversion thermodynamique de l'énergie solaire dans des installations de faible ou de moyenne puissance: Réflexion sur choix du meilleurs degré de concentration," in *Revue d'énergie renouvelable: 11 ème journée internationales de thermique*, 2003, pp. 73-80.
- [30] B. Boumeddane and N. Said, "Influence des paramètres de fonctionnement sur les performances d'une installation de climatisation solaire à éjecteur," in *21ème Congrès Français de Mécanique*, Bordeaux, 26 au 30 août 2013.
- [31] P. Breeze *et al.*, "Concentrating collector performance," in *Renewable Energy Focus Handbook* 1st ed.: Elsevier, 2009, pp. 357-360.
- [32] N. Janotte *et al.*, "Dynamic performance evaluation of the HelioTrough collector demonstration loop – towards a new benchmark in parabolic trough qualification," *Energy Procedia* vol. 49, pp. 109 – 117. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.03.012> 2014.
- [33] R. M. Ochieng and F. N. Onyango, "Some Techniques in Configurational Geometry as Applied to Solar Collectors and Concentrators," in *Solar Collectors and Panels, Theory and Applications*: Sciyo, 2010, pp. 357-378.
- [34] A. Rabl, "Optical analysis and optimization of parabolic reflectors," in *Active Solar Collectors and Their Applications*: OXFORD UNIVERSITY PRESS, New York, 1985, pp. 196-211.
- [35] J. Wang, J. Wang, X. Bi, and X. W., "Performance simulation comparison for parabolic trough solar collectors in China," *International Journal of Photoenergy*, vol. 2016, Article ID 9260943, pp. 1-16, <http://dx.doi.org/10.1155/2016/9260943>, 2016.
- [36] D. Canavaro, J. Chaves, and M. Collares-Pereira, "New optical designs for large parabolic troughs," *Energy Procedia*, vol. 49, pp. 1279-1287, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2014.03.137>, 2014.
- [37] H. Chabahi, B. Boumeddane, and N. Said, "Dimensionnement et expérimentation d'un concentrateur linéaire a miroirs de Fresnel," Ingénieur d'état, Mechanical Departement, Saad Dahlab University, Blida 1, Algeria, 2011.
- [38] Y. D.G, K. F, and K. J.F, "Off-Normal Incidence Effects," in *Principles of solar engineering*, T. Francis., Ed. 2nd Edition ed., 1999, p. 139.
- [39] H. Gaul and A. Rabl, "Incidence-Angle Modifier and Average Optical Efficiency of Parabolic Trough Collectors," *J. Sol. Energy Eng*, vol. 102, no. 1, pp. 21-16 . <http://dx.doi.org/10.1115/1.3266115>, 1980.
- [40] N. E. Gharbi, H. Derbal, S. Bouaichaoui, and N. Said, "A comparative study between parabolic trough collector and linear Fresnel reflector technologies," *Energy Procedia*, vol. 6, pp. 565–572. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.05.065>, 2011.
- [41] H. M. Guven, "Determination of error tolerances for the optical design of parabolic troughs for developing countries," *Solar energy*, vol. 36, no. 6, pp. 535-550, [http://dx.doi.org/10.1016/0038092-X\(86\)90018-6](http://dx.doi.org/10.1016/0038092-X(86)90018-6), 1986.

- [42] N. Janotte, E. Lüpfert, K. Pottler, and M. Schmitz, "Full parabolic trough qualification from prototype to demonstration loop," in *22nd SolarPACES 2016: International Conference on Concentrating Solar Power and Chemical Energy Systems*, Abu Dhabi, United Arab Emirates, 11–14 October 2016, vol. 1850, no. 1, pp. 020010-(pp. 1-8). <https://doi.org/10.1063/1.4984334>: American Institute of Physics.
- [43] S. M. Jeter, "Calculation of the concentrated flux density distribution in parabolic trough collectors by a semifinite formulation," *Solar Energy*, vol. 37, no. 5, pp. 335-345, [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(86\)90130-1](https://doi.org/10.1016/0038-092X(86)90130-1), 1986.
- [44] S. M. Jeter, "Analytical determination of the optical performance of practical parabolic trough collectors from design data," *Solar Energy*, vol. 39, no. 1, pp. 11-21, [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(87\)80047-6](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(87)80047-6), 1987.
- [45] S. M. Jeter, D. I. Jarrar, and S. A. Moustafa, "Geometrical effects on the performance of trough collectors " *Solar Energy*, vol. 30 ,no. 2, pp. 109-113, [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(83\)90201-3](https://doi.org/10.1016/0038-092X(83)90201-3), 1983.
- [46] S. A. Kalogirou, C. C. Neocleous, and C. N. Schizas, "A comparative study of methods for estimating intercept factor of parabolic trough collectors," in *Proceedings of the Engineering Applications of Neural Networks (EANN'96) Conference*, "<http://ktisis.cut.ac.cy/handle/10488/820>", London, UK, 1996, pp. 5-8.
- [47] E. Lüpfert, U. Herrmann, H. Price, E. Zarza, R. Kistner, and P. Edition Eyrolles, "Towards standard performance analysis for parabolic trough collector fields " in *12th International Symposium Solar Power and Chemical Energy Systems*, Oaxaca Mexico, October 6-8, 2004: Instituto de Investigaciones Electricas.
- [48] S. A. Murtuza, H. V. Byregowda, M. M. Ali, and M. Imran " ,Experimental and simulation studies of parabolic trough collector design for obtaining solar energy " *Resource-Efficient Technologies*, vol. 3, pp. 414–421 2017.
- [49] G. Pierucci, D. Fontani, P. Sansoni, and M. D. Lucia, "Shape Optimization For Parabolic Troughs Working In NonIdeal Conditions," *Energy Procedia*, vol. 57, pp. 2231– 2240, <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2014.10.230>, 2014.
- [50] T. Wendelin, A. Dobos, and A. Lewandowski, "Technical Report, SolTrace: A Ray-Tracing Code for Complex Solar Optical Systems," Technical Report October 2013 2013, Available: <http://www.osti.gov/bridge>.
- [51] B. BOUMEDDANE and N. SAID, "Influence desparamètres de fonctionnement surles performances d'une installationde climatisation solaire à éjecteur," in *21ème Congrès Français de Mécanique*, Bordeaux, 26 au 30 août 2013, 2013.
- [52] M. Ghodbane, B. Boumeddane, and S. Largot, "Simulation Numérique d'un Concentrateur Cylindro-Parabolique en El Oued, Algérie," -. A. M. 2nd International Conference on International Conference on Green Energy and Environmental Engineering , Tunisia, Ed., ed, 2015.
- [53] M. ghodbane, B. Boumeddane, N. Moumami, S. Largot, and H. Berkane, "Study and numerical simulation of solar system for air heating," *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, vol. 8, no. 1, pp. 41-60, 2016.
- [54] M. Ghodbane, B. Boumeddane, and N. Said, "A linear Fresnel reflector as a solar system for heating water: theoretical and experimental study," *Case Studies in Thermal*

- Engineering*, vol. 8, no. C, pp. 176-186, <http://dx.doi.org/10.1016/j.csite.2016.06.006>, 2016.
- [55] S. F. Larsen, M. Altamirano, and A. Hernandez, "Heat loss of a trapezoidal cavity absorber for a linear Fresnel reflecting solar concentrator," *Applied Energy*, vol. 39, pp.2011 ,206 - 198 .
- [56] L. Luo and M. Feidt, "Thermodynamics of adsorption cycles: A theoretical study," *Heat Transfer Engineering*, vol. 13, no. 4, pp. 19-31, 1992/// 1992.
- [57] D. R. Mills and G. L. Morrison, "Compact Linear Fresnel Reflector solar thermal power plants," *Solar Energy*, doi: 10.1016/S0038-092X(99)00068-7 vol. 68, no. 3, pp. 263-283, 2000/3/3/ 2000.
- [58] M. A. Moghimi, K. J. Craig, and J. P. Meyer, "A novel computational approach to combine the optical and thermal modelling of Linear Fresnel Collectors using the finite volume method," *Solar Energy*, vol. 116, pp. 407-427, 2015.
- [59] EERE. (2018). *Concentrating Solar Power Tower Plant Illustration*, Web Page: [https://www.energy.gov/sites/prod/files/styles/download\\_hero/public/graphic\\_csp\\_power\\_tower\\_1996\\_high.jpg?itok=-rPOWPr3](https://www.energy.gov/sites/prod/files/styles/download_hero/public/graphic_csp_power_tower_1996_high.jpg?itok=-rPOWPr3) .
- [60] Sargent and Lundy, *Assessment of parabolic trough and power tower solar technology cost and performance forecasts* LLC Consulting Group, Chicago, Illinois National Renewable Energy Laboratory October 2003
- [61] F. J. Collado and J. Guallar, "A review of optimized design layouts for solar power tower plants with campo code," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 20, pp. 142–154, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.076>, 2013.
- [62] B. nature. (2018). *Les centrales à disques paraboliques*, Web page: <http://l.bp.blogspot.com/-xFjgXbdltX8/Viu3qYiuIVI/AAAAAAAAADWY/RPQQhToM-3Y/s1600/9.jpg> .
- [63] L. Li and S. Dubowsky, "A new design approach for solar concentrating parabolic dish based on optimized flexible petals ", *Mechanism and Machine Theory*, vol. 46, pp. 1536–1548, <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2011.04.012>, 2011.
- [64] T. Mancini *et al.*, "Dish-Stirling Systems: an overview of development and status," *J. Sol. Energy Eng*, vol. 125, no. 2, pp. 135-151, <http://dx.doi.org/doi:10.1115/1.1562634>, 2003.
- [65] M. L. e. al., "investigation of Evacuated Tube Heated by Solar Trough Concentrating System," *Energy Conversion and Management*, vol. 47, pp. 3591 –3601, 2006.
- [66] E. G. Najla, "La centrale hybride de Hassi R'mel," Portail Algérien des ENERGIES RENOUVELABLES, CDER04 Février 2012 2012.
- [67] J. Facao and A. C. Oliveira, "Numerical simulation of a trapezoidal cavity receiver for a linear Fresnel solar collector concentrator," *Renewable Energy*, doi: 10.1016/j.renene.2010.06.003 vol. 36, no. 1, pp. 90-96, 2011/1// 2011.
- [68] C. Choudhury and H. K. Sehgal, "A Fresnel Strip Reflector-Concentrator For Tubular Solar-Energy Collectors," *Applied Energy*, vol. 23, pp. 143-154, 1986.
- [69] M. Smith. (2013). *Les centrales solaires à miroir de Fresnel*, site Web, Last edited on 2013-01-16,

["http://www.ecosources.info/dossiers/Centrale\\_miroir\\_Fresnel\\_solaire\\_thermodynamique"](http://www.ecosources.info/dossiers/Centrale_miroir_Fresnel_solaire_thermodynamique).

- [70] L. S. Panna, R. M. Sarvia, and J. L. Bhagoria, "Thermal performance of linear Fresnel reflecting solar concentrator with trapezoidal cavity absorbers," *Applied Energy*, doi: 10.1016/j.apenergy.2009.08.019 vol. 87, no. 2, pp. 541-550, 2010/2// 2010.
- [71] P. L. Singh, S. Ganesan, and G. C. Yadav, "Technical note: Performance study of a linear Fresnel concentrating solar device," *Renewable Energy*, vol. 18, pp. 409-416, Received 10 July 1998 accepted 3 November 1998 1999.
- [72] B. S. Negi, S. S. Mathur, and T. C. Kandpal, "Optical and thermal performance evaluation of linear Fresnel reflector solar concentrator," *Solar & Wind Technology*, vol. 6, no. 5, pp. 589-593, 1989.
- [73] M. A. Moghimi, K. J. Craig, and J. P. Meyer, "Optimization of a trapezoidal cavity absorber for the Linear Fresnel Reflector," *Solar Energy*, vol. 119, pp. 343-361, <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2015.07.009>, 2015.
- [74] S. A. Kalogirou, C. C. Neocleous, and C. N. Schizas, "A comparative study of methods for estimating intercept factor of parabolic trough collectors," in *Proceedings of the Engineering Applications of Neural Networks (EANN'96) Conference*, ["http://ktisis.cut.ac.cy/handle/10488/820"](http://ktisis.cut.ac.cy/handle/10488/820), London, UK, 1996, pp. 5-8.
- [75] B. nature. (2018). *Les centrales à capteurs cylindro-paraboliques*, Web page: <http://1.bp.blogspot.com/-OsYtTHJrokY/VivJOQYedII/AAAAAAAAADX0/EXgZKuV-Tko/s640/4.JPG>.
- [76] R. Abbas, M. J. Montes, M. Piera, and J. M. Martinez-Val, "Solar radiation concentration features in Linear Fresnel Reflector arrays," *Energy Conversion and Management*, doi: 10.1016/j.enconman.2011.10.010 vol. 54, no. 1, pp. 133-144, 2012/2// 2012.
- [77] H. L. Zhang, J. Baeyens, J. Degreve, and G. Cacères, "Concentrated solar power plants: Review and design methodology," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 22, pp. 466-481, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.032>, 2013.
- [78] B. nature. (2018). *Les centrales à capteurs linéaires de Fresnel*, Web page: [http://3.bp.blogspot.com/-CCAzBW8D5us/VivJN8cVdMI/AAAAAAAAADX4/uF0KvqHv\\_44/s1600/3.JPG](http://3.bp.blogspot.com/-CCAzBW8D5us/VivJN8cVdMI/AAAAAAAAADX4/uF0KvqHv_44/s1600/3.JPG).
- [79] M. A. Moghimi, K. J. Craig, and J. P. Meyer, "A novel computational approach to combine the optical and thermal modelling of Linear Fresnel Collectors using the finite volume method," *Solar Energy*, vol. 116, pp. 407-427, <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2015.04.014>, 2015.
- [80] G. Zhu, T. Wendelin, M. J. Wagner, and C. Kutscher, "History, current state, and future of linear Fresnel concentrating solar collectors," *Solar Energy*, vol. 103, pp. 639-652, <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2013.05.021>, 2014.
- [81] C. Silvi, "The pioneering work on linear Fresnel reflector concentrators (lfcs) in italy " presented at the 15th SolarPACES Conference, 15. – 18. September 2009, Berlin, Germany, 2009 .
- [82] P. Garcia, "Outils d'évaluation technico- économique et d'aide à la conception des centrales solaires thermodynamiques du futur," Perpignan (France), 2007.

- [83] L. S. Panna, R. M. Sarvia, and J. L. Bhagoria, "Thermal performance of linear Fresnel reflecting solar concentrator with trapezoidal cavity absorbers," *Applied Energy*, vol. 87, pp. 541- 550, 2010.
- [84] N. Velázquez, O. G. Valladares, D. Saucedo, R. Beltrán, and A. R, "Numerical simulation of a Linear Fresnel Reflector Concentrator used as direct generator in a Solar-GAX cycle," *Energy Conversion and Management*, vol. 51, pp. 434–445, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2009.10.005>, 2010.
- [85] D. Bishoyi and K. Sudhakar, "Modeling and performance simulation of 100 MW LFR based solar thermal power plant in Udaipur India," *Resource-Efficient Technologies*, pp. 1-13, <http://dx.doi.org/10.1016/j.reffit.2017.02.0022405-6537/> 2017.
- [86] R. Bliss and Whillier, "The derivation of several, plate efficiency factors, useful in the design of the flat plat solar heat collector," *Solar Energy*, vol. 4, pp. 55 - 64, 1959.
- [87] B. S. Negi, S. S. Mathur, and T. C. Kandpal, "Optical and thermal performance evaluation of linear Fresnel reflector solar concentrator," *Solar and Wind Technology*, vol. 6, pp. 589- 593, 1989.
- [88] P. L. Singh, S. Ganesan, and G. C. Yadav, "Performance study of a linear Fresnel concentrating solar device," *Renewable Energy*, vol. 18, pp. 409-4016, Received 10July 1998 accepted 3November 1998 1999.
- [89] K. F. Yogi D.G, Kreider J.F, " Off-Normal Incidence Effects," in *Principles of solar engineering*, T. Francis., Ed. 2nd Edition ed., 1999, p. 139.
- [90] M. Ghodbane and B. Boumeddane, "Estimating solar radiation according to semi empirical approach of PERRIN DE BRICHAMBAUT: application on several areas with different climate in Algeria," *International Journal of Energetica (IJECA)*, vol. 1, no. 1, pp. 20-29, 2016.
- [91] N. Blair *et al.*, "System Advisor Model, SAM 2014.1.14: General Description " National Renewable Energy Laboratory (NREL), [www.nrel.gov/publications](http://www.nrel.gov/publications). February 2014.
- [92] M. J. Wagner and G. Zhu, "A direct-steam linear fresnel performance model for NREL's system advisor model," in *6th International Conference on Energy Sustainability & 10th Fuel Cell Science, Engineering and Technology Conference ESFuelCell2012*, San Diego, CA, USA, July 23-26, 2012: ASME.

**Titre du mémoire :** ETUDE DE LA PERFORMANCE D'UNE CENTRALE A CONCENTRATEUR LINEAIRE DE FRESNEL DE MOYENNE PUISSANCE SUR LE SITE D'EL-OUED.

**Master :** Energétique et Énergies renouvelables.

**Auteur :** Salah eddine Soualah.

**Mots clés :** Energie solaire, Concentrateur linéaire de Fresnel, Centrale solaire thermodynamique, Performance.

**Résumé :**

Ce travail consiste à caractériser une centrale solaire thermodynamique à concentration de type Fresnel sur la région d'El-Oued, Algérie. Cette caractérisation sera faite à travers une simulation en utilisant SAM. La simulation sera réalisée à l'échelle horaire en fonction des conditions climatiques (le rayonnement solaire direct, la température de l'air ambiant et la vitesse du vent). Les résultats de la simulation seront représentés en moyenne annuelle. Le rendement global moyen de la centrale a atteint 38 % et la production électrique de la centrale a dépassé 90 MWe.

**Report title:** STUDY OF THE PERFORMANCE OF A CENTRAL CONCENTRATOR LINEAR FRESNEL WITH MEDIUM POWER ON THE SITE OF EL-OUED

**Keywords:** Solar energy, Fresnel linear concentrator, thermodynamic solar power plant, Performance.

**Abstract:**

This work consists of characterizing a Fresnel concentrating thermodynamic solar power plant in the region of El-Oued, Algeria. This characterization will be done through a simulation using SAM. The simulation will be performed at the time scale according to climatic conditions (direct solar radiation, ambient air temperature and wind speed). The results of the simulation will be represented as an annual average. The average overall efficiency of the plant was 38% and the power output of the plant exceeded 90 MWe.

**عنوان المذكرة:** دراسة نجاعة محطة كهربائية متوسطة الإستطاعة تعتمد على المركز الشمسي الخطي من نوع فريزل في منطقة الوادي (واد سوف)، الجزائر

**الكلمات المفتاحية:** الطاقة الشمسية، مرايا فريزل الخطية، محطات كهربائية شمسية ذات طابع ترموديناميكي، اجاعة (ضوئية، حرارية و إجمالية).

**الملخص:**

هذا العمل هو عبارة عن نمذجة لمحطة للطاقة الشمسية حرارية تعتمد في عملها على المركز الشمسي الخطي لفريزل في منطقة الوادي بالجزائر. وسيتم إنجاز هذه الدراسة من خلال محاكاة باستخدام SAM. سيتم تنفيذ المحاكاة بدلالة مقياس الوقت وفقاً للظروف المناخية (الإشعاع الشمسي المباشر، درجة حرارة الهواء المحيط وسرعة الرياح). سيتم تمثيل نتائج المحاكاة كمتوسط سنوي. متوسط الكفاءة الكلية للمحطة قد بلغ 38 % وتجاوز إنتاج الطاقة للكهربائية للمحطة 90 MWe.