

**République Algérienne Démocratique et Populaire**

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

**Université de DJILALI BOUNAAMA Khemis Miliana**



**Faculté des Sciences et de la Technologie**

**Département de la Technologie**

Mémoire Présenté

Pour l'obtention de diplôme

**Master**

En

« Génie mécanique »

Option :

« Énergétique »

Titre :

**Mise au point et analyse thermique d'un récepteur  
solaire linéaire équipant un concentrateur cylindro-  
parabolique.**

Réalisé par :

LAKHDAR EZZINE Adel

DOUCHA DHIAEDDINE Mohammed

Encadré par :

Dr. AZZOUZI Djelloul

Année Universitaire 2016/2017

# *Remerciements*

---

*Nous remercions dieu, le tous puissant, pour nous avoir donné, le courage, la patience, la volonté et la force nécessaire, pour affronter toutes les difficultés et les obstacles, qui se sont au travers de notre chemin, durant nos années d'études.*

*Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à notre promoteur Mr. AZZOUZI Djelloul pour nous avoir proposé ce sujet, leurs précieux conseils tout au long de notre travail, leur aide et leur confiance et bien sur leur disponibilité.*

*Nous remercions également tous les enseignants de département de technologie pour leur encouragement durant notre cursus universitaire et tous les enseignants du primaire jusqu'à l'université.*

*Enfin, nous remercions tout a tous qui nous ont soutenu ou qui, d'une manière ou d'une autre, ont contribué à l'élaboration de ce travail.*



*Dédicace*

*À ma Mère et mon Père.  
À ma Sœur et mon Frère.  
À le petit Rassim.*

*À NACER el Afia et les familles Hachíchí  
,Meraími,*

*À mes très chères amis, íslam²,  
Houssem², bahrí, Brown, dadí,  
Abdalláh, Salah, pícsou, Mehdi,  
Sofiane, zakí, et ayoub*

*À mes collègues*

*Est À toute l'équipe Sergent Major ain  
defla et Sarl Rynouz*

*LAKHDAR EZZINE ADEL*

## *Dédicaces*

*Je voudrais dédier cet humble travail à :*

*Mon cher père, Monsieur Doucha Abdel Kader, qui a toujours cru en moi et A mis à ma disposition tous les moyens nécessaires pour que je réussisse dans mes études.*

*Ma chère mère Kateb Zohra, que je ne cesse de remercier pour tout ce qu'elle m'a donné. Elle m'a supporté 9 mois dans son ventre et a fait de moi l'homme que je suis aujourd'hui. Que Dieu la récompense pour tous ces bienfaits.*

*A mes cher grands parents qui m'ont soutenu et encourager.*

*A mes sœurs wafaa, Achouak,*

*A mes frères Abd el Madjid, abd el Wahab.*

*A mon binôme Lakhdar\_Ezzine Adel.*

*À tous mes proches amis et ma famille DOUCHA.*

*À tous ce qui ont enseigné moi au long de ma vie scolaire*

***Doucha Mohamed Dhiaeddine***

## Résumé

La lutte contre le changement climatique, conjuguée aux récentes augmentations du prix des hydrocarbures, a relancé les efforts de recherche pour produire l'électricité et d'autres vecteurs énergétiques en minimisant les émissions de CO<sub>2</sub> et la pollution en générale.

Le recours massif aux technologies solaires thermodynamiques (prés de 300 MW de projets CSP sont en cours de réalisation à travers le monde) est dû à leurs nombreux avantages spécifiques : possibilité de stockage thermique, hybridation, rendements de conversion solaire-électrique supérieur aux procédés photovoltaïques, et forts potentiel de réduction des coûts.

Dans ce contexte favorable, l'étude que nous avons réalisée porte sur un concentrateur cylindro-parabolique, elle nous a permis de connaître le fonctionnement de ce système et de prévoir la température atteinte au niveau du focale, afin d'estimer l'influence et les limites du taux de concentration (donc température) sur le rendement de conversion global du concentrateur solaire thermodynamique, et l'influence des différents facteurs sur la température de sortie du fluide pour une exploitation maximale du concentrateur.

Mots clés :

Solaire thermodynamique,

Concentration,

## **Abstract**

The fight against climate change, coupled with recent increases in fuel prices, has boosted research efforts to produce electricity and other energy carriers minimizing CO<sub>2</sub> emissions and pollution.

The massive use of thermodynamic solar technologies (nearly 300 MW of CSP projects are under development around the world) is due to their many specific advantages: possibility of thermal storage, hybridization, solar-electric conversion efficiencies greater photovoltaic processes and strong potential for reducing costs.

In this favorable context, the study we conducted relates to a parabolic trough concentrator, it allowed us to know the functioning of this system and predict the temperature reached at the focal length to estimate the influence and the limits of the concentration ratio (and hence temperature) of the overall conversion efficiency of the thermodynamic solar concentrator, and the influence of different factors on the fluid outlet temperature to a maximum operation of the concentrator.

Keywords :

Solar thermal,

Concentration,

## ملخص

الطلب المقترح من قبل المجتمع الصناعي على الطاقة هو ضرورة إتقان الواسع لمختلف المصادر الطاقة المتاحة لتحقيق استغلالها وفي هذا الصدد تم البدء بأعمال التحقيق والبحث من أجل استبدال المصادر الطاقوية القديمة المستخدمة في محطات الحرارية، و تعويضها بي الطاقة الشمسية وتحويلها. اللوحات الشمسية لتركيز، هم الاكثر استعمالا لتحويل الطاقة. و هذا الأخير يقودنا إلى مختلف الآليات الموجودة لاستغلال هذه الطاقة. والهدف من هذا المشروع البحثي هو إدخال الطالب في مجال الطاقة الشمسية المركزة لتمكينه من استيعاب التقنيات المناسبة في مجال الصناعة

الكلمات الرئيسية

الطاقة الشمسية الحرارية،

التركيز،

## ***NOMENCLATURE***

| <b>Symbole</b> | <b>définition</b>                            | <b>unité</b> |
|----------------|--|--------------|
| $E_S$          | Eclairement Solaire                          | $W / m^2$    |
| $Q_u$          | Flux utile                                   | $W / m$      |
| $Q_{inc}$      | flux incident                                | $W / m$      |
| $C_p$          | chaleur spécifique                           | $J/Kg.K$     |
| f              | Distance focale.                             | m            |
| L              | longueur du concentrateur                    | m            |
| $A_t$          | la surface de la tache solaire focalisée     | $m^2$        |
| $A_0$          | Surface d'ouverture du concentrateur.        | $m^2$        |
| $\alpha$       | le coefficient de réflexion du concentrateur |              |
| H              | la profondeur du concentrateur.              | m            |
| D              | diamètre                                     | m            |
| $\Psi$         | l'angle d'ouverture.                         | degré        |
| $T_e$          | Température d'entrée du fluide.              | $^{\circ}C$  |
| $T_a$          | Température ambiante.                        | $^{\circ}C$  |
| $\dot{M}$      | Débit massique.                              | kg/s         |
| $T_s$          | Température de sortie du fluide Caloporteur. | $^{\circ}C$  |
| $\eta_{th}$    | Rendement thermique de l'absorbeur.          | %            |



| Figure       | Listes   | Page |
|--------------|--|------|
| Fig. 1.1     | Centrale hybride SPP1 de Hassi Rmel  | 4    |
| Fig. 1.2     | Rayonnement solaire  | 5    |
| Fig. 1.3     | Répartition de l'ensoleillement solaire sur le globe terrestre<br>(KWh/m <sup>2</sup> .an)                               | 7    |
| Fig. 1.4     | Classification des différents modes de la concentration solaire.   | 8    |
| Fig. 1.5     | Schéma descriptif d'une centrale cylindro-parabolique.   | 9    |
| Fig. 1.6     | les deux étages d'une centrale à réflecteur de Fresnel.  | 11   |
| Fig. 1.7     | La tour solaire (Solar II) de Barstow en Californie (USA)  | 12   |
| Fig. 1.8 (a) | ; Schéma descriptif d'un dish solaire (parabole/Stirling).   | 15   |
| Fig. 1.8 (b) | Système DISTAL II de 10 KWe installé à Almería (Espagne)   | 15   |
| Fig. 2.1     | Vue de face d'une centrale solaire constituée de plusieurs éléments<br>Cylindro-paraboliques avec absorbeurs tubulaires. | 18   |
| Fig.2.2      | un absorbeur tubulaire utilisé dans un prototype d'expérimentation à<br>l'université d'Anna en Inde.                     | 19   |
| Fig.2.3      | un absorbeur tubulaire placé dans la ligne focale d'un champ de miroirs<br>de Fresnel                                    | 19   |
| Fig. 2.4     | Schéma descriptif d'un absorbeur à cavité cylindrique destiné à fournir<br>de<br>l'air chaud.                            | 20   |
| Fig. 2.5     | (a)- Récepteur à cavité conique. (b)- Dispositif de concentration<br>DEFRAÇ  | 21   |
| Fig.2.6      | Image d'un récepteur hémisphérique placé dans un concentrateur<br>parabolique  | 22   |
| Fig. 2.7     | récepteur à cavité hémisphérique ; (a)- à base isolée b)- à base non<br>isolée   | 23   |
| Fig. 2.8     | schéma descriptif d'un récepteur à cavité hexagonale   | 24   |
| Fig. 2.9     | schéma d'un récepteur trapézoïdal dans un champ de miroirs LFR   | 24   |
| Fig. 3.1     | Schéma descriptif d'une parabole.  | 26   |
| Fig. 3.2     | description géométrique d'un cylindro- parabolique   | 27   |

|          |  |          |
|----------|--|----------|
| Fig. 3.3 | Concentration des rayons réfléchis dans la zone focale.  | 28       |
| Fig. 3.4 | Image du concentrateur cylindro-parabolique sur le site D'expérimentation  | 29       |
| Fig 3.5  | Schéma descriptif adopté pour la mesure de la distance focale réelle.  | 30       |
| Fig. 4.1 | Image descriptive d'un cylindro-parabolique modélisé par le code Soltrace  | 32       |
| Fig.4.2  | Fenêtre descriptive pour l'introduction des propriétés optiques du concentrateur.                                      | 34       |
| Fig.4.3  | Fenêtre descriptive pour l'introduction des propriétés optiques de l'absorbeur.  | 35       |
| Fig.4.4  | Fenêtre de déclaration des paramètres géométriques.  | 36       |
| Fig.4.5  | Flux de chaleur moyen à différentes positions du récepteur.  | 37       |
| Fig.4.6  | Intensité du flux de chaleur (W/m <sup>2</sup> ) calculée par le code Soltrace différentes positions de l'absorbeur.   | 38,39,40 |
| Fig4.7   | Taille de la tache solaire focalisée au niveau de la zone focale.  | 40       |
| Fig .5.1 | Schéma descriptif de l'absorbeur solaire.  | 43       |
| Fig.5.2  | image inclinée de l'absorbeur réalisé  | 44       |
| Fig.5.3  | description de l'absorbeur solaire positionné à 1.3 cm en dessous de la ligne focale (simulation par le code SOLTRACE) | 45       |
| Fig.5.4  | image du prototype d'expérimentation   | 46       |
| Fig.6.1  | Variation de la température en fonction de la distance de l'absorbeur.   | 48       |
| Fig.6.2  | Variation de la température en fonction de la distance longitudinale au centre l'absorbeur                             | 49       |

|         |   |    |
|---------|---|----|
| Fig.6.3 | Variation de la température de sortie d'eau en fonction du temps.       | 51 |
| Fig.6.4 | Variation de la température de sortie d'eau en fonction du débit d'eau. | 52 |
| Fig.6.5 | Variation du rendement thermique en fonction du débit d'eau             | 53 |

## Table des Matières

|   |    |
|---|----|
| Introduction générale.....  | 1  |
| <b>Chapitre 1 : Généralité sur le solaire à concentration</b>       |    |
| 1. Aperçu historique.....   | 2  |
| 1.1. Energie solaire.....   | 3  |
| 1.1.1. Concentration de l'énergie solaire.....                      | 6  |
| 1.2. Gisement du solaire à concentration .....                      | 6  |
| 1.2.1. Choix de site pour les centrales à concentration.....        | 7  |
| 1.3. Technologies du solaire à concentration.....                   | 8  |
| 1.3.1. Centrales à concentrateurs cylindro-paraboliques.....        | 8  |
| 1.3.2. Centrales à réflecteurs linéaires de Fresnel.....            | 10 |
| 1.3.3. Centrales à tour.....  | 12 |
| 1.3.4. Centrales à concentrateurs paraboliques (dish-Stirling)..... | 12 |
| <b>Chapitre 2 : Etat de l'art sur les récepteurs solaires</b>       |    |
| 2.1. Introduction.....  | 17 |
| 2.2. Absorbeur tubulaire .....                                      | 17 |
| 2.3. Absorbeurs à cavité .....                                      | 20 |
| 2.3.1. Absorbeur à cavité cylindrique .....                         | 20 |
| 2.3.2. Absorbeur à cavité conique.....                              | 21 |

|  |    |
|--|----|
| 2.3.3. Absorbeur à cavité sphérique .....                  | 22 |
| 2.3.4. Absorbeur à cavité hexagonale et trapézoïdale ..... | 23 |

### **Chapitre 03 : Caractérisation et Mise au point du Concentrateur Cylindro-parabolique**

|   |    |
|---|----|
| 3.1. Introduction.....                                      | 25 |
| 3.2. Caractérisation géométrique d'une parabole.....        | 25 |
| 3.3. Caractérisation optique.....                           | 28 |
| 3.4. Réalisation du concentrateur cylindro-parabolique..... | 28 |
| 3.5. Tests de performance .....                             | 28 |
| 3.5.1. Distance focale réelle.....                          | 30 |
| 3.5.2. Taille de la tâche solaire focalisée.....            | 30 |

### **Chapitre 04 : Simulation par le Code SOLTRACE**

|  |    |
|--|----|
| 4.1. Introduction.....                                       | 32 |
| 4.2. Présentation du code .....                              | 33 |
| 4.2.1 Méthodologie et étapes d'application. ....             | 33 |
| 4.2.2. Déclaration des données .....                         | 34 |
| 4.2.2.1. Paramètres optiques .....                           | 34 |
| 4.2.2.2. Paramètres géométriques .....                       | 35 |
| 4.2.3. Présentation des résultats d'application .....        | 36 |
| 4.2.3.1. Détermination de la distance focale .....           | 36 |
| 4.2.3.2. Détermination de la taille de la tâche focale ..... | 40 |

### **Chapitre 05 : Conception de l'absorbeur Solaire et processus d'expérimentation**

|   |    |
|---|----|
| 5.1 Introduction.....   | 42 |
| 5.2. Présentation de l'absorbeur.....                         | 42 |
| 5.2.1. Étapes de mise au point .....                          | 43 |
| 5.3. Processus d'expérimentation et tests de performance..... | 44 |
| 5.4. Approche thermique.....                                  | 47 |

**Chapitre 06 :**

**Résultats et interprétations**

|   |    |
|---|----|
| 6.1. Introduction .....                             | 48 |
| 6.2. Tests de caractérisation du concentrateur..... | 48 |
| 6.2.1. Distance focale réelle.....                  | 48 |
| 6.2.2. Taille de la tache focale.....               | 49 |
| 6.3. Tests de performance de l'absorbeur.....       | 50 |
| 6.3.1. Évaluation de la constante du temps.....     | 50 |
| 6.3.2. Effet de la variation du débit d'eau.....    | 51 |
| 6.3.3. Rendement thermique de l'absorbeur.....      | 52 |
| Conclusion et perspectives .....                    | 54 |

***Bibliographies***

# ***Introduction générale***

### Introduction

La filière solaire thermodynamique réapparaît au début des années 2000 est devenue l'une des alternatives les plus envisageables pour la production d'énergie électrique dans les pays possédant une ressource solaire annuelle élevée, avec une forte intensité d'ensoleillement direct. Actuellement, la technologie la plus mature à l'échelle industrielle est celle des cylindro-paraboliques qui offrent la possibilité d'atteindre à des puissances de centaines de mégawatts, avec des rendements de conversion énergétique limités ne dépassent pas 20%. Cette limitation énergétique présente un enjeu majeur au sein de la communauté scientifique afin de l'améliorer en atteignant des rendements thermo-économiques acceptables. Cependant, l'élément clef dans cette démarche est l'amélioration de l'absorbeur qui présente le mécanisme de conversion énergétique dans les installations du solaires à concentration. Dans cette optique, cette étude a été entamée dans le souci de contribuer efficacement dans ce conduit de développement. En mettant au point un banc d'essai constitué d'un concentrateur solaire et un absorbeur linéaire. Cette conception est suivie d'une analyse expérimentale du concentrateur cylindro-parabolique et de l'absorbeur.

Le manuscrit présenté débute par un premier chapitre, dans lequel les différentes technologies du solaires à concentration sont succinctement présentées en récapitulant leurs avantages et inconvénients. Dans le deuxième chapitre, une étude bibliographique s'est étendue sur l'état de l'art en présentant les différentes études et investigations relatives à l'ensemble des absorbeurs solaires utilisés dans le solaire à concentration. Dans ce chapitre, une répartition selon la forme géométrique des absorbeurs à été adoptée.

A travers le troisième chapitre, une présentation de la démarche de mise en œuvre du concentrateur solaire est faite suivi d'une démarche de caractérisation géométrique et optique. Une analyse expérimentale de la zone focale est en suite présentée.

Dans le quatrième chapitre, une modélisation optique et thermique du concentrateur a été réalisée à l'aide du code SOLTRACE L'interprétation des résultats est explicitement détaillée à la fin de ce chapitre.

La conception et l'analyse expérimentale de l'absorbeur linéaire a fait l'objet du chapitre cinq. Ce dernier contient deux volets ; le premier est consacré la mise au point de l'absorbeur à ainsi que sur la procédure d'expérimentation adoptée. Tandis que, le deuxième volet est consacré à décrire une approche thermique capable de déterminer le flux thermique utile et l'efficacité de l'absorbeur. Une synthèse des différents résultats est présentée dans le chapitre six avec leurs interprétations. En fin une conclusion générale avec les perspectives envisagées sont présentés.

# **Chapitre 1 :**

*Généralité sur le solaire à  
concentration*

## **1. Aperçu historique**

La grande lancée des pays industrialisés dans la course aux énergies alternatives a été motivée par le choc pétrolier qu'a connu le monde en 1973, suite à la hausse imprévue de son prix pratiqué dans les différents marchés mondiaux. Cette flambée du prix a mis en évidence la nécessité de rechercher d'autres substituts énergétiques indépendants du fossile, pouvant garantir une certaine autonomie énergétique aux pays importateurs du pétrole. Dans cette optique, une maîtrise des différentes technologies relatives aux diverses applications et exploitations rationnelles de ces nouvelles sources sur les deux échelles ; domestique et industrielle s'est imposé. Depuis 1974 plusieurs investigations de mise au point ont conduit à l'installation des premières centrales thermodynamiques solaires sur des sites d'expérimentation (plate forme expérimentale) ainsi que de production, telle que la centrale solaire de Solnova (Espagne,150 MW), la centrale solaire Alba Nova (France,12 MW). La plus puissante centrale au monde est constituée de trois tours solaires, située en Californie (Etats Unis d'Amérique), d'une puissance nominale nette de 377MW [1], mise en service en février 2014. Ce secteur de l'énergie solaire thermique affiche une croissance rapide, avec une puissance en fonctionnement de l'ordre de 7,5 GW s'ajoute à 8,5 GW en projet de réalisation ou en pré-construction à l'échelle mondiale. Dans cette course du solaire, l'Espagne est en première position avec une puissance produite de 2000MW en fin 2012. A l'échelle mondiale et selon une dernière étude qui récapitule toutes les centrales solaires opérationnelles, on enregistre une puissance nominale de l'ordre de 3108MW [1].

Après la ratification des accords de Kyoto en 1997, relatifs à la lutte contre les changements climatiques visant à diminuer les gaz à effet de serre d'origine fossile, les efforts se sont axés sur la mise au point de centrales thermoélectriques permettant de produire l'électricité en minimisant les émissions de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Chose qui a fait recours sans précédant aux technologies du solaire à concentration, en raison de son taux d'émission

réduit du CO<sub>2</sub> qu'est de l'ordre de 15 Kg/ MWh<sub>e</sub> pour une centrale cylindro-parabolique comparée à 700 Kg/ MWh<sub>e</sub> [2] qu'affiche une centrale produisant l'électricité issue de la combustion des produits fossiles (pétrole, gaz,..).

Au niveau national, la première centrale électrique mise en service le 14 juillet 2011 est de type HSGT (hybrid solar gas turbine) d'une capacité de 150 mégawatts située dans la région saharienne de Hassi R'mel. Cette centrale dénommée SPP1 (solar power plant one) qui produit 120 mégawatts (Figure.1.1) à partir du gaz et 30 mégawatts par l'énergie solaire à travers des concentrateurs cylindro-praboliques.



Fig.1.1 : Centrale hybride SPP1 de Hassi Rmel

Dans son programme national de développement des énergies renouvelables visant à atteindre une puissance électrique de 20000 MW produite des sources renouvelables à l'aube 2030, Sonelgaz prévoit la réalisation de 67 projets de production d'électricité à partir des renouvelables, dont 27 centrales photovoltaïques, 27 centrales hybrides, 6 centrales solaires thermiques et 7 centrales éoliennes. Les plus grandes centrales à réaliser sont de type solaire thermique et seront installées dans les régions du sud, dans les wilayas d'El Oued et de Bechar, dont la plus puissante centrale de ce type aura une capacité de 400 MW pour la partie solaire seulement.

## 1.1. Energie solaire

L'énergie solaire est la fraction de l'énergie du rayonnement solaire qui apporte l'énergie thermique et la lumière parvenant sur la surface de la terre après son passage par l'atmosphère terrestre. Le flux solaire émis par le disque solaire (Figure.1.2) est de l'ordre de  $1367 \text{ W/m}^2$  hors atmosphère. Ce flux subit une altération lors de sa traversée des différentes couches atmosphériques, seule une fraction donc est disponible au sol. Dans les applications énergétiques de l'énergie solaire on distingue trois types de rayonnement ; le rayonnement direct provenant en ligne droite du seul disque solaire, le rayonnement diffus provenant de toute la voûte céleste hors disque solaire et le rayonnement global qui est la somme des deux composants.

Au sol, l'intensité du rayonnement direct dépend de l'affaiblissement que ce rayonnement subit lors de la traversée de l'atmosphère. Elle dépend également de l'épaisseur atmosphérique traversée, et donc de la hauteur du soleil à chaque instant. Le rayonnement est plus intense en altitude (d'environ 7% par 1000 m) où l'air est plus sec et pur. A l'inverse il est généralement affaibli en zone urbaine. Le rayonnement direct s'atténue fortement ou même s'annule en cas de passage nuageux.



Fig.1.2 : Rayonnement solaire.

Le rayonnement diffus est d'autant plus important que l'atmosphère est moins claire. Il provient en effet de la diffusion de la lumière par les particules, les aérosols, les gaz et les nuages.

### **1.1.1. Concentration de l'énergie solaire**

Les collecteurs d'énergie solaire à concentration (paraboloïde, cylindro-parabolique, miroir de Fresnel) focalisent de larges quantités de rayonnement sur une faible surface, ce qui génère des températures élevées variant entre 400 et 1400 C°. Cette énergie thermique est, soit utilisée directement dans des applications du thermique industriel (séchage, eau chaude..), soit convertie en électricité à l'aide de turbine à gaz ou à vapeur ainsi que par le biais des moteurs à air chaud (Moteur Stirling, moteur Ericsson).

La technologie solaire à concentration présente un grand intérêt, dans la mesure où elle est un moyen efficace et adéquat pour faire face à la demande sans cesse en électricité solaire à l'échelle mondiale. Des investissements très lourds ont été dégagés durant ces dernières années dans le souci de développer cette brochure industrielle des technologies à concentration. Ces dernières n'ont pas encore fait l'objet d'une optimisation, que ce soit sur le plan technique ou économique. Donc il faudra attendre d'avoir acquis une expérience plus importante avant que l'énergie solaire à concentration puisse être considérée comme source d'électricité, avec un prix de revient admissible sur le plan économique.

## **1.2. Gisement du solaire à concentration**

Le solaire à concentration nécessite un éclairage direct, d'une intensité élevée avec un faible taux d'humidité. Du point de vue rayonnement solaire, les sites convenant le mieux aux centrales à concentration sont les déserts de la planète qui sont des zones présentant un très haut niveau de rayonnement direct, nécessaire au fonctionnement des installations

solaires à concentration. Les meilleurs gisements mondiaux se trouvent dans les déserts d'Afrique du sud et du Chili où l'insolation annuelle directe atteint 2500 KWh/m<sup>2</sup>.an [3], le sud des états unis et la haute Egypte présentent respectivement un ensoleillement de l'ordre de 2000 à 2300 KWh/m<sup>2</sup>.an (Figure.1.3). Dans le sud de l'Espagne et sur la côte nord africaine, le rayonnement solaire est de 1800-2200 KWh/m<sup>2</sup>.an.

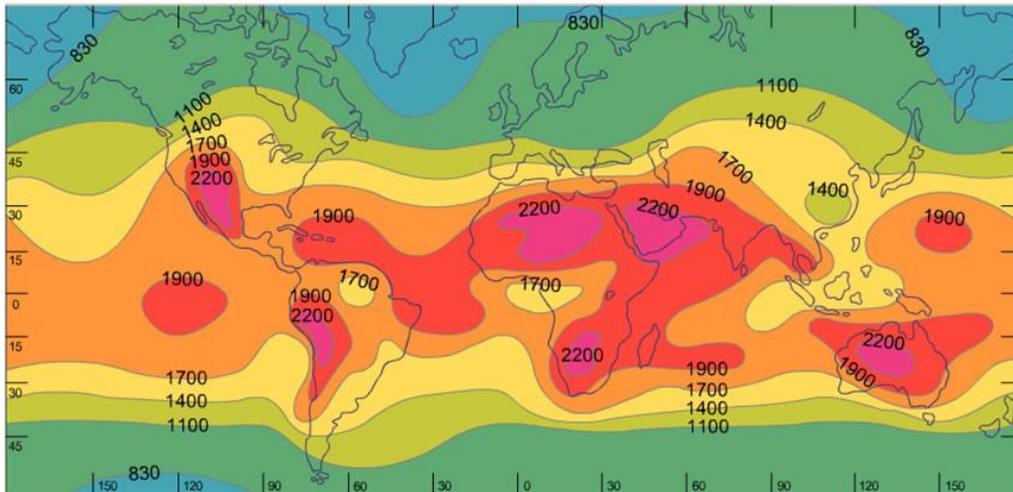


Fig.1.3 : Répartition de l'ensoleillement solaire sur le globe terrestre (KWh/m<sup>2</sup>.an) [3]

Ces gisements solaires peuvent être déterminés à partir des images que fournissent les satellites géostationnaires météosat de seconde génération (MSG), les images sont traitées par le biais de plusieurs procédés de traitement d'image permettant d'évaluer avec précision l'ensoleillement à chaque point de la planète.

### 1.2.1. Choix de site pour les centrales à concentration

Le choix du site d'installation d'une centrale solaire à concentration est motivé par les facteurs principaux cités ci-dessous :

- Positionnement du terrain dans une zone à forte intensité d'ensoleillement.
- Nature plat du terrain.

- Distance reliant le site au réseau électrique.
- Risques climatiques potentiels.
- Coût d'exploitation y compris la location du terrain.
- Existence d'un accord d'achat d'énergie.

### 1.3. Technologies du solaire à concentration

L'ensemble des technologies exploitées dans le solaire à concentration repose sur les deux modes de concentration linéaire et ponctuelle. On compte quatre technologies principalement développées qui sont représentées sur la figure.1.4.

#### 1.3.1. Centrales à concentrateurs cylindro-paraboliques :

Ce type de centrales est constitué de miroirs cylindro-paraboliques (parabolic trough) qui concentrent de façon linéaire le rayonnement solaire incident, sur un tube récepteur mis sous vide et placé dans la ligne focale du concentrateur et dans lequel circulent un fluide caloporteur (Figure.1.4). La quantité de chaleur absorbée par ce dernier fait provoquer une augmentation de sa température dans une plage allant de 300 à 450 °C sous une pression de 0.8 à 2Mpa [1], servant comme une source chaude pour le fonctionnement du cycle thermodynamique de Rankine produisant un travail. Cette énergie est converti ensuite en puissance électrique par le biais d'un mécanisme de conversion (générateur de courant).

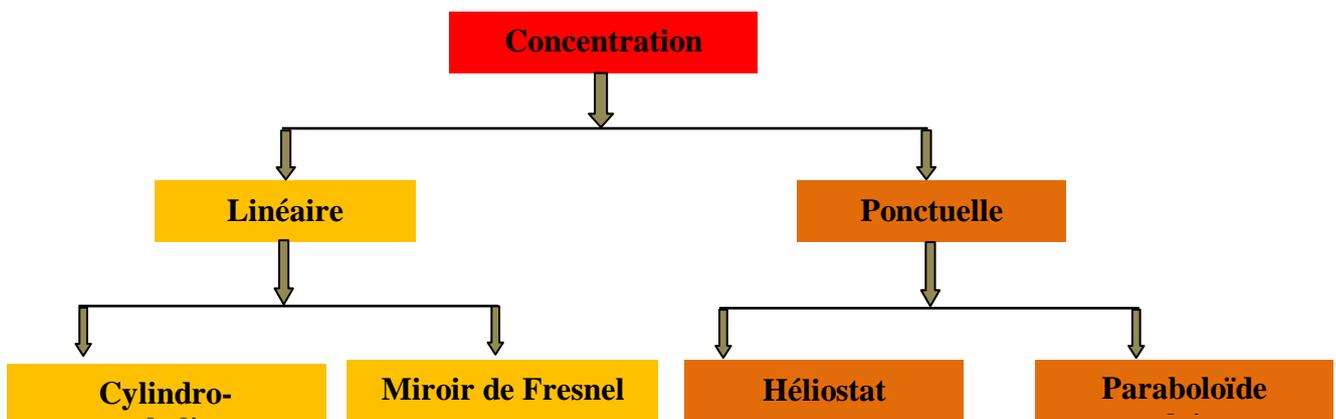


Fig.1.4 : Classification des différents modes de la concentration solaire.

La puissance totale des centrales à miroirs cylindro-paraboliques installées et mises en route à ce jour, dépasse 900MWe s'ajoute à cela les projets en cours de construction d'une puissance de l'ordre de 1000MWe [1].

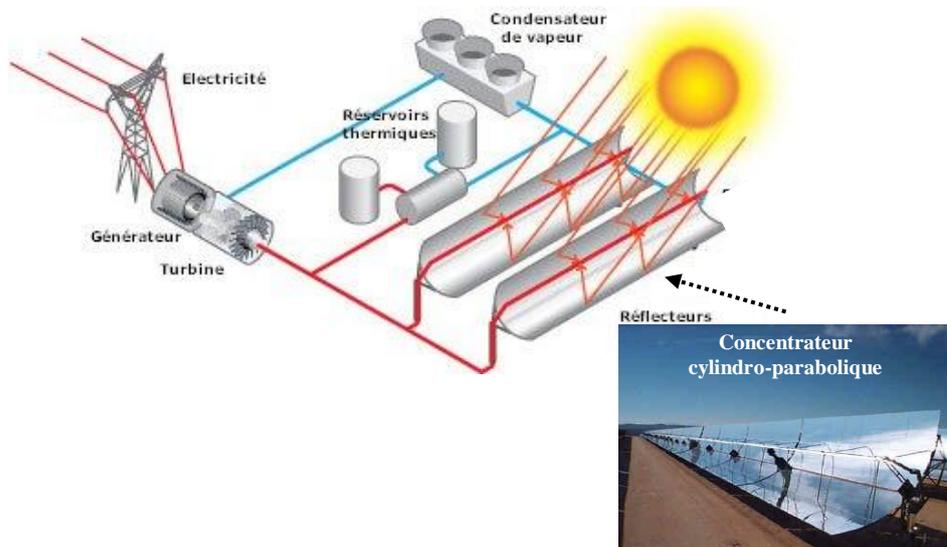


Fig.1.5 : Schéma descriptif d'une centrale cylindro-parabolique.

Cette catégorie de centrales énumère trois principales technologies, classées en fonction du fluide caloporteur ou du mode de fonctionnement :

- Centrale cylindro-parabolique à huile.
- Centrale cylindro-parabolique à génération directe de vapeur (DSG).
- Centrale hybride de cycle combiné à préchauffage solaire (ISCC).

Comme chaque installation, les centrales cylindro-paraboliques présentent des avantages et des inconvénients [4] liés à la construction ainsi qu'à leurs exploitations.

- Avantages :
  - Technologie assez développée permettant une bonne accessibilité sur le plan commercial.
  - Coût d'investissement modéré par rapport au prix de revient du kWh<sub>e</sub> produit.

- Possibilité d'hybridation avec des centrales électriques classiques.
- Une capacité de stockage importante.
  
- Inconvénients :
  - La surface assez importante des surfaces de réflexion augmente la dissipation thermique et par conséquent une diminution du rendement.
  - En raison des longues étendues des tubes de circulation du fluide caloporteur, une perte thermique et perte dynamique s'affichent en réduisant l'efficacité de l'installation.

### 1.3.2. Centrales à réflecteurs linéaires de Fresnel

Les centrales à réflecteurs linéaires de Fresnel (LFR) sont des centrales à concentration en plein essor, elles sont similaires aux centrales cylindro-paraboliques mais avec un absorbeur fixe. Les réflecteurs de Fresnel présentent une forme proche de celle des miroirs cylindro-paraboliques avec de longues rangées de miroirs ou légèrement courbés. Un premier étage de réflecteur est installé sur le sol, le rayonnement est réfléchi au foyer de la parabole approximée par le jeu de miroirs. Un deuxième étage de réflecteurs redirige le rayonnement vers le tube récepteur. Cet se étage de réflecteurs, en plus de sa réflexion du rayonnement, il joue aussi le rôle d'isolant pour le tube récepteur. Il est en effet recouvert d'une importante couche d'isolation en sa partie supérieure. La partie inférieure est quant à elle, isolée par une vitre.

Un nouveau modèle plus performant appelé CLFR (Compact Linear Fresnel Reflector) possède deux capteurs parallèles pour chaque rangée de miroir (figure.1.6). Les systèmes LFR chauffent de l'eau passant directement dans les tubes récepteurs (absorbeurs) afin de produire

de la vapeur d'eau à environ 270 °C [6], éliminant ainsi le besoin en fluides caloporteurs et en échangeurs de chaleur.

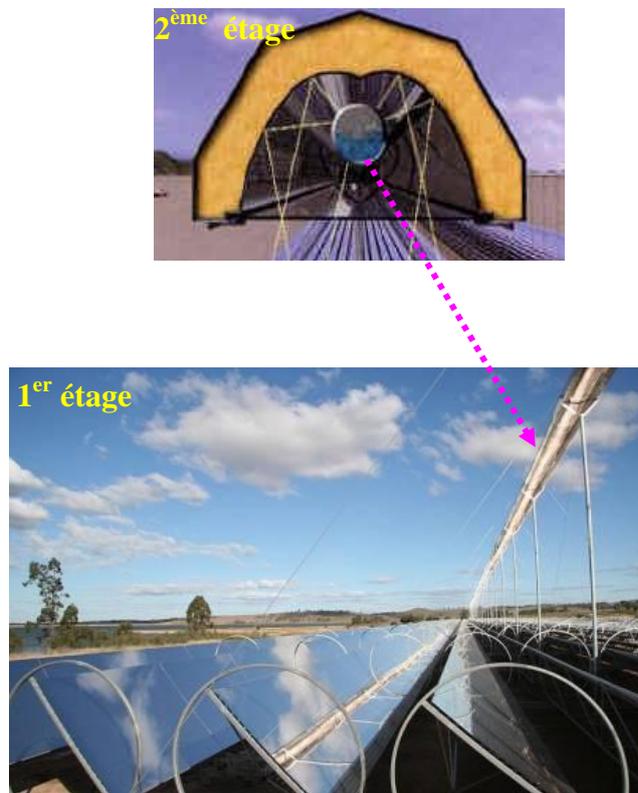


Fig.1.6 : les deux étages d'une centrale à réflecteur de Fresnel.

A l'échelle mondiale seule trois centrales LFR sont en activité d'une puissance totale générée de l'ordre de 10.5 MWe [7], la plus puissante est opérationnelle depuis 2008 en Californie (USA) produisant une puissance de 5 MWe. Cette technologie plus récente présente plusieurs performances meilleures que celle de la technologie des cylindro-paraboliques, elles sont liées principalement à la forte diminution du coût d'investissement qu'elle offre. Cette baisse du coût est le résultat des paramètres suivants [4] ;

- La génération directe de la vapeur d'eau élimine l'étage d'échangeurs complexes et coûteux et réduit les pertes énergétiques.

- La séparation des tubes absorbeurs du champ de miroirs supprime les problèmes liés aux joints.
- Le mouvement ainsi que la fabrication des LFR sont simplifiés.
- Occupation de moins de terrain comparativement à la technologie des cylindro-paraboliques pour la même puissance à produire.
- La disposition plane des miroirs fait réduire les contraintes mécaniques dues à la poussée du vent.

Cette technologie à concentration par les miroirs de Fresnel présente quelques inconvénients majeurs qui sont principalement liés à :

- La chute des performances optiques des miroirs.
- Un rendement de conversion énergétique de l'ordre de 10% inférieur à ce des cylindro-paraboliques.
- La combinaison des systèmes LFR avec le stockage thermique est difficile à réaliser.

### 1.3.3. Centrales à tour

Dans les centrales à tour le rayonnement solaire est réfléchi à l'aide d'un champ d'héliostats (réflecteurs) qui suivent le mouvement du soleil, vers un récepteur (échangeur de chaleur) positionné au sommet d'une tour située au centre du champ.

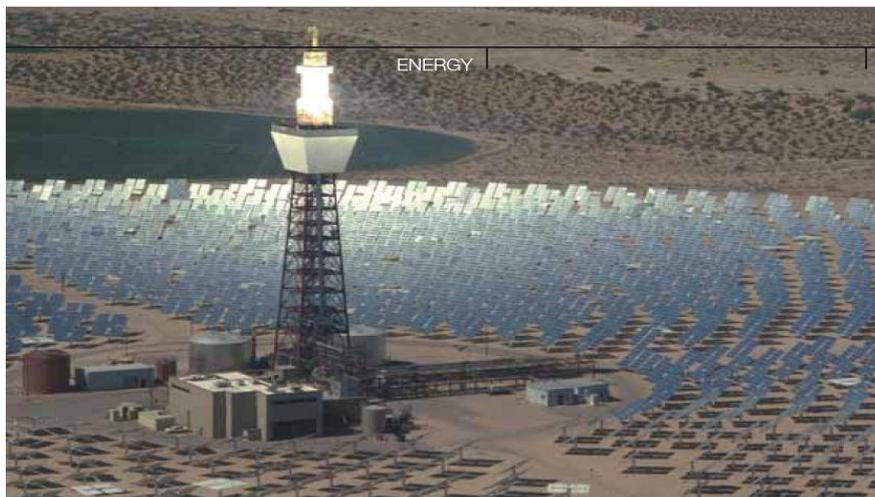


Fig.1.7 : La tour solaire (Solar II) de Barstow en Californie (USA)

Cette technologie de concentration est capable de développer des concentrations plus élevées que celles atteintes par le biais des réflecteurs linéaires, ce qui permet d'atteindre des températures importantes de

700 °C à 1000 °C [8] au foyer de l'absorbeur.

Cette filière de centrales affiche quatre types de système classés selon le mode de production d'énergie ainsi que le fluide caloporteur utilisé.

- Système de production indirecte de vapeur avec sel fondus comme fluide caloporteur.
- Système de production directe de vapeur (caloporteur eau/vapeur).
- Système à caloporteur air atmosphérique.
- Système hybride à caloporteur air pressurisé.

L'avantage majeur de cette technologie est le rendement de conversion assez acceptable en raison des hautes températures atteintes au niveau du foyer de la tour (absorbeur). De plus, une réduction très sensible des pertes thermiques à l'ambiance est affichée par rapport à celles enregistrées dans les capteurs cylindro-paraboliques, suite à la surface de réflexion limitée des héliostats. La possibilité de couplage du captage de l'énergie solaire à un dispositif de stockage d'énergie sous forme de chaleur sensible, est une qualité qui s'ajoute aux avantages précédemment énumérés.

Le fonctionnement des centrales à tours avec sels fondus, présente un inconvénient dû essentiellement à la température de solidification un peu élevée des sels fondus qu'est de l'ordre de 255°C [10]. Ce qui impose un apport de chaleur permanent aux tuyauteries du réseau basse température afin d'éviter les problèmes engendrés par les bouchons solides.

#### 1.3.4. Centrales à concentrateurs paraboliques (dish Stirling)

Ce type de centrales est constitué d'un ensemble de dispositifs parabole/Stirling (dish Stirling), capables de convertir l'énergie solaire thermique en électricité avec un rendement de conversion relativement important (21% à 30%) [9] par rapport à d'autres systèmes à concentration ponctuelle (tour solaire) ou linéaire (centrales cylindro-paraboliques) (tableau.1.1). L'unité parabole/Stirling est constituée de trois éléments principaux (figure.1.8.a) ; le concentrateur solaire, le récepteur solaire placé au foyer du concentrateur et le moteur Stirling couplé à une génératrice électrique. Son fonctionnement autonome est caractérisé par une conversion directe du rayonnement solaire incident, focalisé par le concentrateur parabolique à la zone focale. Cette énergie solaire est absorbée sous forme de chaleur par un récepteur placé à l'intérieur d'une cavité de réception thermiquement isolée. Cette énergie thermique disponible au niveau de l'absorbeur servira comme source chaude au fonctionnement du cycle thermodynamique du moteur à air chaud qui développe une puissance mécanique convertible en puissance électrique à l'aide d'une génératrice couplé à son arbre de sortie. Il est à noter que la taille de la majorité des concentrateurs actuellement exploités est comprise entre 4m<sup>2</sup> et 120 m<sup>2</sup>. Le plus grand des concentrateurs paraboliques a été conçu est mis en œuvre en Australie (ANU) , d'une surface réfléchissante de 489m<sup>2</sup> (figure.1.9) et une distance focale de 13.4m.

Le système Distal II illustré sur la Figure 1.8.b est constitué d'une parabole d'un diamètre d'ouverture de 8.5 m, équipé d'un moteur Stirling Solo d'une puissance effective de 10 KWe.

La poursuite solaire est assurée par un système altazimutal.

- Avantage :
  - Un rendement de conversion élevé par rapport à toute la catégorie des systèmes utilisant la technologie à concentration, soit un ordre de grandeur de 21% à 30%

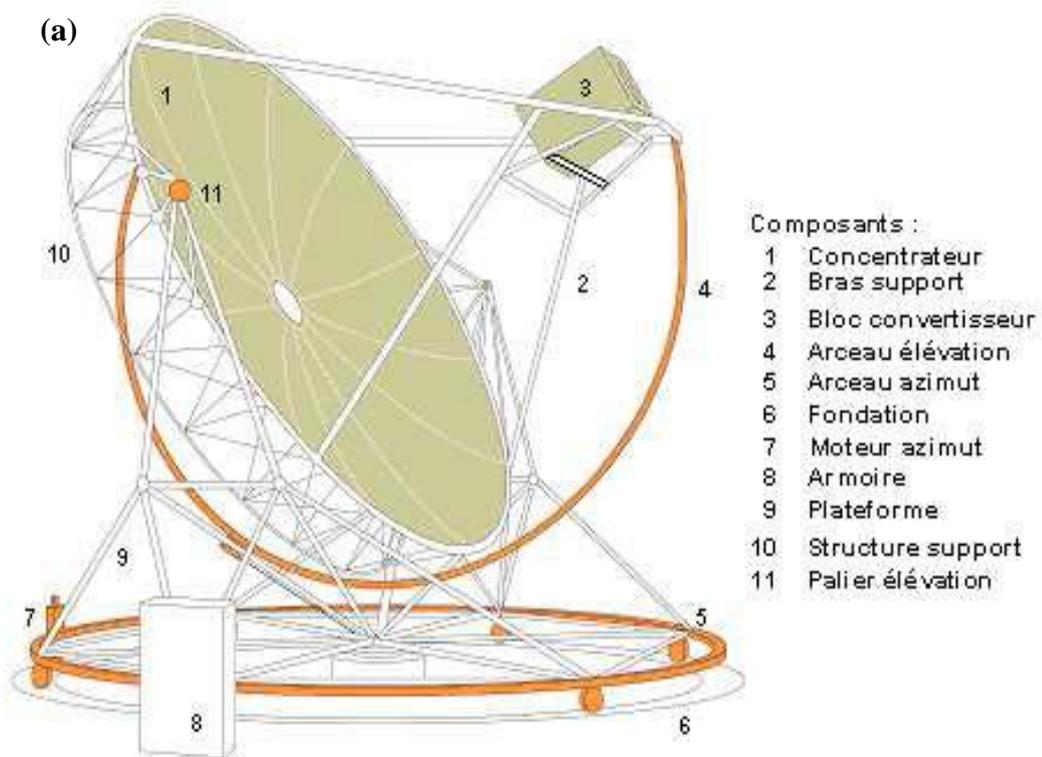


Fig.1.8 : (a) ; Schéma descriptif d'un dish solaire (parabole/Stirling).  
(b) ; Système DISTAL II de 10 KWe installé à Almería (Espagne)

- Forte adaptation à des applications autonomes et isolées
  - Possibilité d'installation sur tous les types de terrain sans contrainte de planéité du sol.
  - Modularité du système et possibilité d'intégration du stockage thermique avec une grande efficacité.
- Inconvénients :
- Coût d'investissement et de fonctionnement élevé et par conséquent le prix du kilowatt électrique produit est le double à
  - celui généré par une centrale cylindro-parabolique.

## **Chapitre 02 :**

*Etat de l'art sur les récepteurs  
solaires*

## 2.1. Introduction

La plus part des installations du solaire thermique qui produisent l'énergie électrique sont dotées de capteurs à concentration linéaire ou ponctuelle, afin d'assurer la focalisation du flux solaire incident dans la zone focale en générant de hautes températures. La puissance thermique disponible au niveau de cette zone est ensuite convertie en puissance mécanique à l'aide d'une turbine à vapeur, une turbine à gaz [11] ou un moteur Stirling qui fonctionnent respectivement selon les cycles thermodynamique de Rankine, Brayton et Stirling. Parmi les quatre technologies du solaire thermique, figure la technologie des concentrateurs cylindro-parabolique (PT) composé d'un concentrateur parabolique, un absorbeur thermique positionné dans la zone focale du concentrateur. Ce système s'affiche comme l'un des systèmes les plus rentables sur le plan énergétique avec des taux de concentration arrivant jusqu'à 120 et des températures de travail de l'ordre de 450°C,

L'absorbeur est un élément qui joue un grand rôle dans l'efficacité thermique du système, car il représente la partie intermédiaire de conversion énergétique. Alors, toute perte de chaleur à travers l'absorbeur affecte sensiblement le rendement global de l'installation. Il est à noter que la majorité des absorbeurs qui sont utilisés dans le solaire à concentration sont divisés en deux grandes catégories :

- Les absorbeurs tubulaires (utilisés dans la concentration linéaire)
- Les absorbeurs à cavité (utilisés dans la concentration ponctuelle)

## 2.2. Absorbeur tubulaire

Ce type de centrales est constitué de rangées de miroirs paraboliques, qui concentrent la lumière sur un tube où circule un fluide caloporteur. Ce tube métallique est recouvert d'un revêtement absorbant qui est protégé par un tube en verre. L'espace entre le tube en verre et le tube métallique est maintenu sous vide pour éviter la dégradation de l'absorbeur en présence notamment d'oxygène et pour limiter les pertes thermiques par convection.

Les fluides caloporteurs utilisés peuvent être de l'eau pour les basses températures, des huiles synthétiques ou des sels fondus pour les applications à hautes températures. Les sels fondus sont intéressants car ils possèdent une bonne inertie thermique qui permet de stocker la chaleur. Ils permettent aussi un fonctionnement des centrales entre 550 et 650°C, contre maximum 400°C pour les huiles synthétiques.

Les miroirs sont souvent orientés selon un axe nord-sud et suivent le déplacement du soleil au cours de la journée.

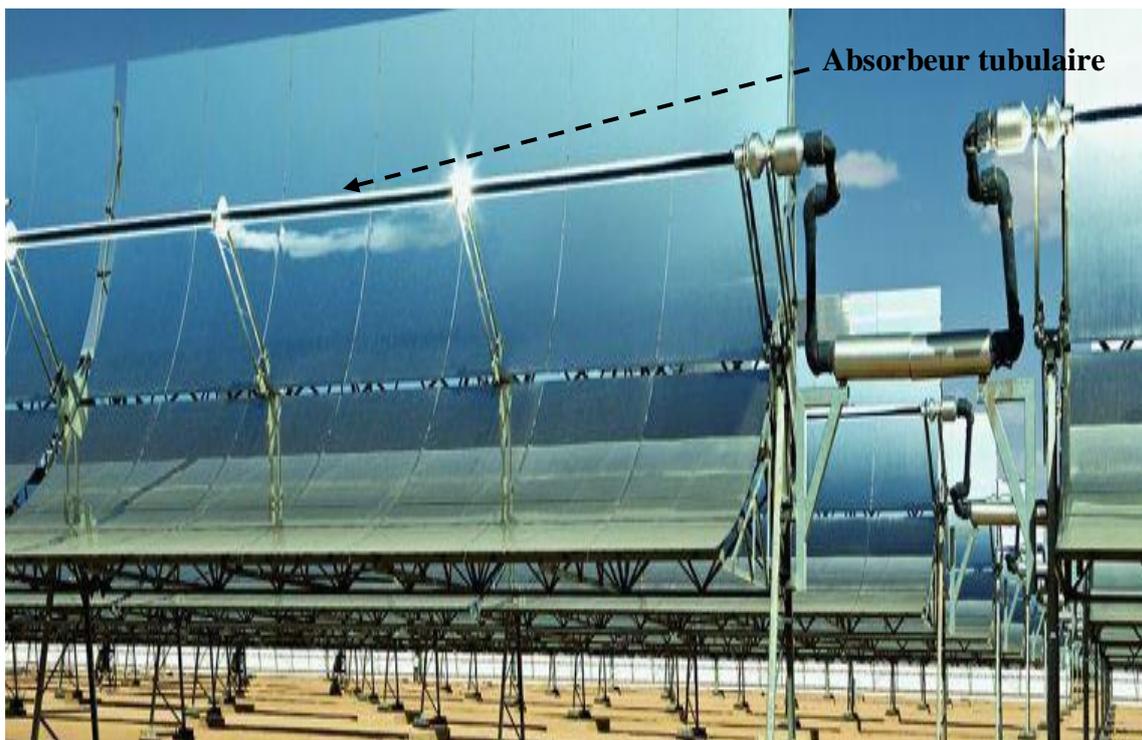


Fig. 2.1 : Vue de face d'une centrale solaire constituée de plusieurs éléments Cylindro-paraboliques avec absorbeurs tubulaires.

Un exemple de ce type de centrales est présenté sur la figure (2.1) . Ce type de centrales est le plus répandu à l'heure actuelle, particulièrement en Espagne et aux États Unis. Les températures de fonctionnement de ce genre de centrales varient entre 350 et 550°C, avec des facteurs de concentration allant jusqu'à 80.

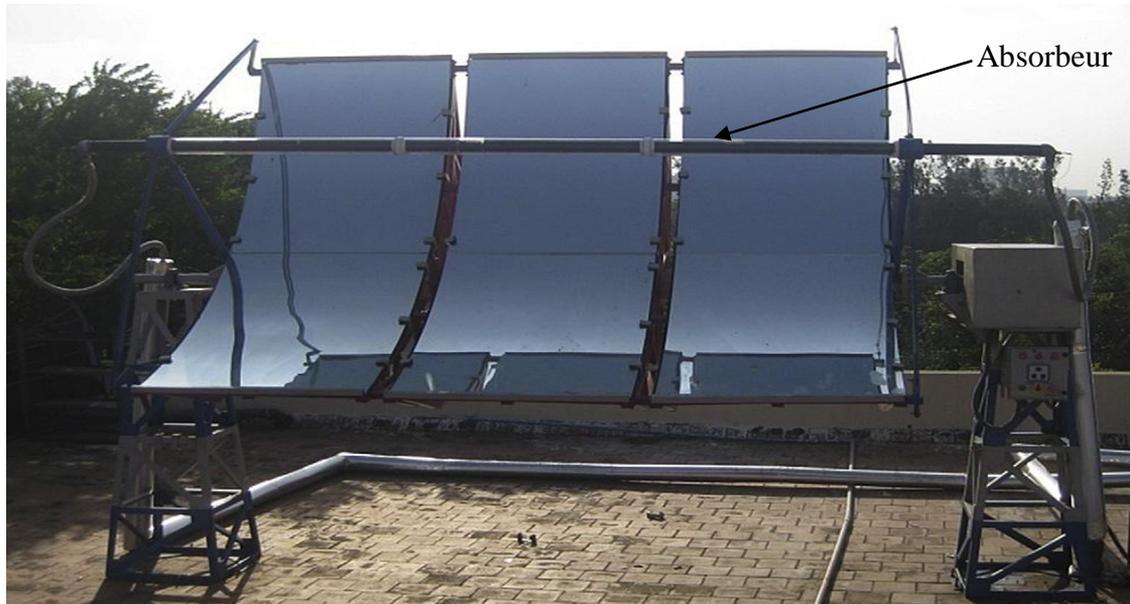


Fig. 2.2 : un absorbeur tubulaire utilisé dans un prototype d'expérimentation à l'université d'Anna en Inde.

Dans les centrales solaires à réflecteurs de Fresnel comme indiqué sur la Figure (2.3), l'absorbeur est constitué d'un tube fixe dans ligne focale et dans lequel circule un fluide caloporteur. Les miroirs sous forme de lamelles sont orientables afin de suivre le déplacement du soleil.



Fig. 2.3 : un absorbeur tubulaire placé dans la ligne focale d'un champ de miroirs de Fresnel

## 2.2. Absorbeurs à cavité

Ces types d'absorbeurs sont largement utilisés dans les centrales thermiques à concentration ponctuelle telles que les tours solaires et Dish solaires. Ces absorbeurs sont classés selon leurs géométries.

### 2.2.1. Absorbeur à cavité cylindrique

Comme exemple à ce type d'absorbeur, on cite ce conçu par M. Neber, and H. Lee [11]. Lee destiné à fournir de l'air à haute température pour le fonctionnement d'une turbine à gaz. La cavité en question est d'une longueur de 90 mm et un diamètre de 44mm, fabriqué en silicone pour son excellent rapport émissivité-absorptivité que présente par rapport aux autres matériaux, ainsi que, sa conductivité thermique très élevée. Un échangeur thermique est intégré en forme de serpentin sur la paroi extérieure de la cavité comme illustré sur la figure (2.4). Les essais expérimentaux ont été effectués sur un concentrateur parabolique d'un diamètre d'ouverture de 895 mm et une distance focale de 500 mm.

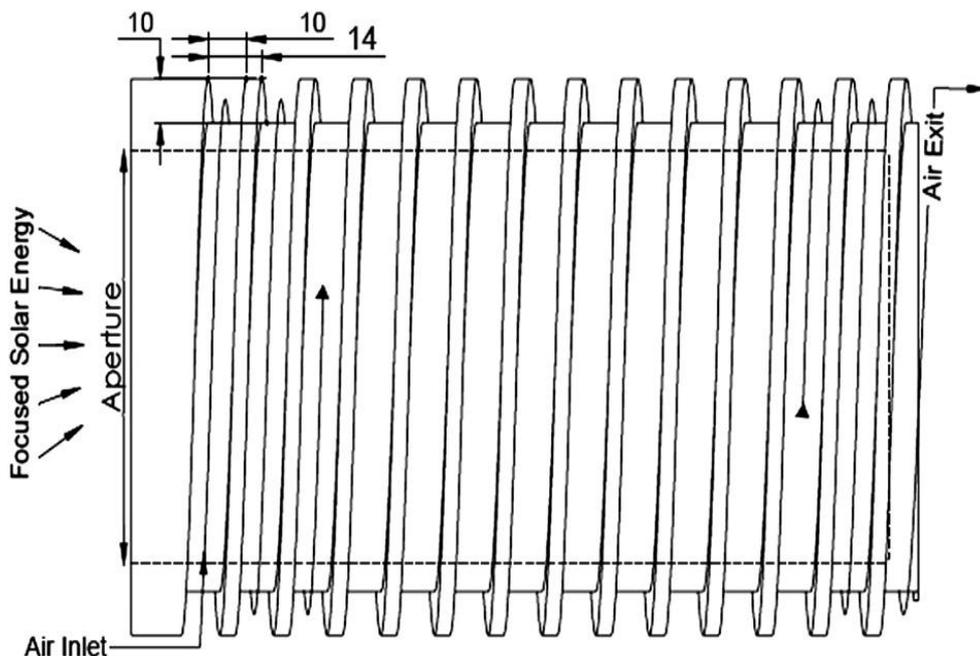


Fig. 2.4 : Schéma descriptif d'un absorbeur à cavité cylindrique destiné à fournir de l'air chaud.

Les résultats ont fait ressortir que la diminution du diamètre d'ouverture de la cavité exige un taux de concentration élevé afin de générer la puissance requise de 2.5kW. De plus, il est à noter que la température maximale atteinte au fond de la cavité est de l'ordre de 1284K.

### 2.2.2. Absorbeur à cavité conique

Les absorbeurs solaires à cavité conique ont fait l'objet de plusieurs travaux d'investigation et de design visant à améliorer leurs efficacités pour une exploitation rentable. Parmi ces travaux, on cite celui mené par C.A.Perez et al [12], qui consiste à étudier le transfert de chaleur d'un récepteur à cavité conique, destiné à mesurer la puissance thermique disponible au niveau de la zone focale du concentrateur DEFRACT. Ce dernier est un dispositif à concentration constitué de 18 miroirs paraboliques comptant une surface totale de 1.27m<sup>2</sup> et une distance focale de 2m (Figure.2.5.a).

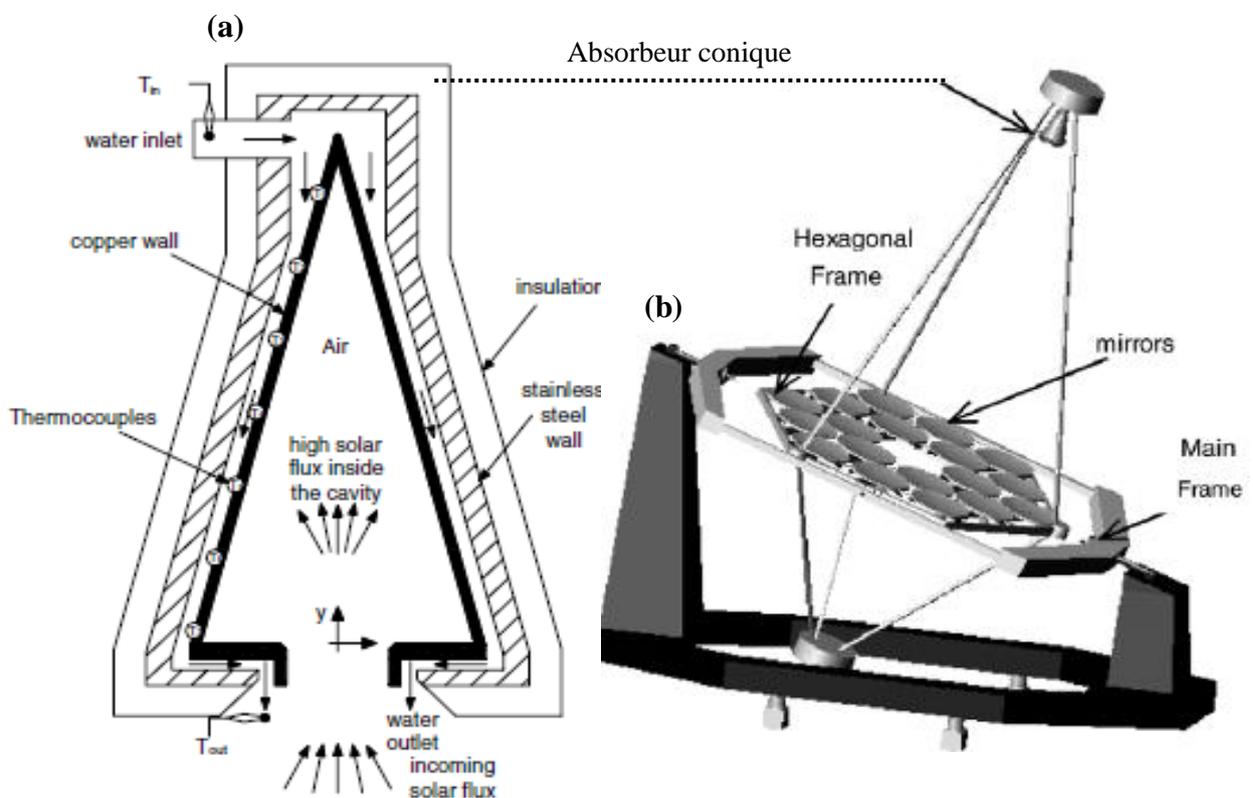


Fig.2.5. : (a)- Récepteur à cavité conique. (b)- Dispositif de concentration DEFRACT [12].

Le récepteur conique placé au point focal est composé de deux cônes coaxiaux, le cône intérieur est réalisé en cuivre, il possède une conicité de  $15^\circ$ , une hauteur de 16cm, un diamètre de base de 8.57 cm, un diamètre d'ouverture de 3.24 cm et une épaisseur de 0.3 cm. Tandis que le cône extérieur est réalisé en acier inoxydable et son épaisseur est de 0.8 cm (figure.2.5.b).

### 2.2.2. Absorbeur à cavité sphérique

L'une des formes de cavité qui trouve une large exploitation dans le solaire à concentration ponctuelle est la forme sphérique comme indiqué sur la figure (2.6). Plusieurs études et investigations ont été menées dans les dernières années visant à améliorer l'efficacité de ce type de récepteur. K.S.Reddy et al [13], ont présenté un travail d'analyse sous forme d'un model numérique bidimensionnel, capable d'évaluer la perte de chaleur par convection, d'un récepteur à cavité hémisphérique.

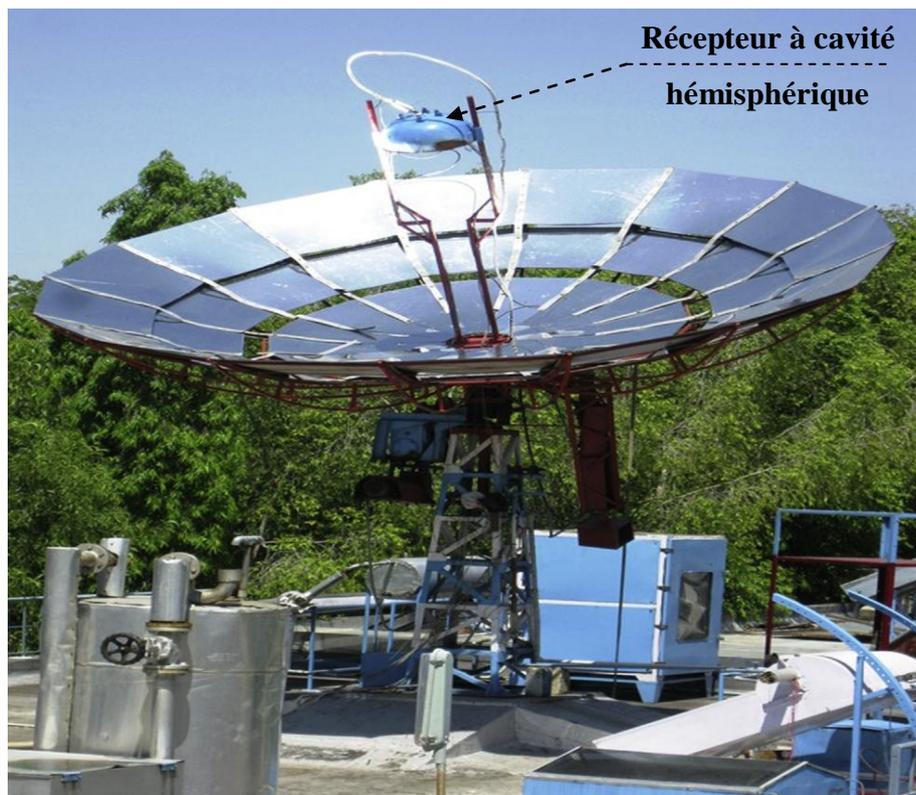


Fig.2.6 : Image d'un récepteur hémisphérique placé dans un concentrateur parabolique

Deux configurations de récepteurs sont analysées par ce model sous différents angles d'inclinaison; la première est celle qui possède une base d'ouverture isolée, d'une épaisseur de 20mm (figure.2.7.a), tandis que la deuxième est sans isolation de base (Figure. 2.7.b). La fourchette des températures appliquées dans cette simulation varie de 300°C à 700°C.

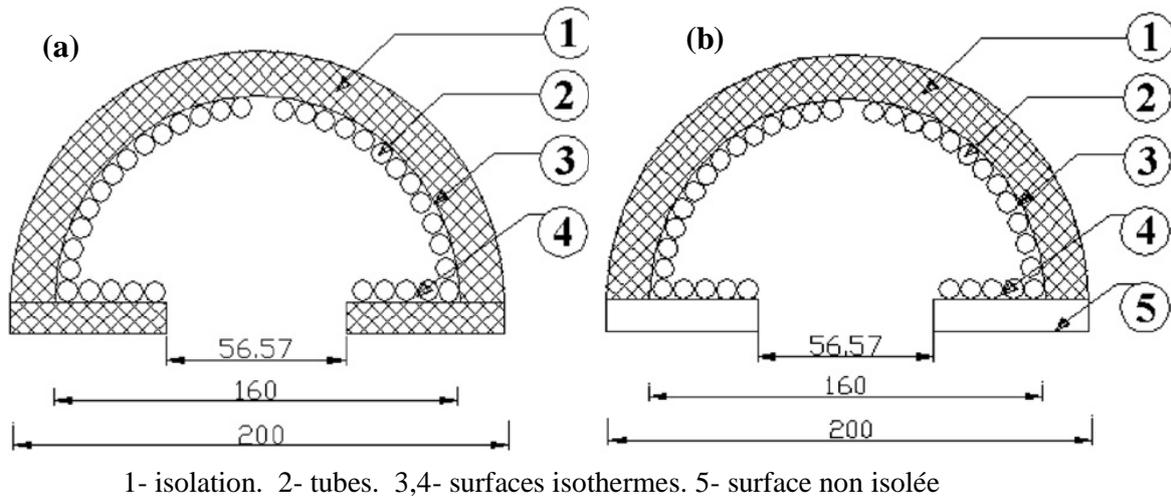


Fig. 2.7 : récepteur à cavité hémisphérique ; (a)- à base isolée b)- à base non isolée [13]

#### 2.2.4. Absorbeur à cavité hexagonale et trapézoïdale

Les cavités hexagonales trouvent une large exploitation comme récepteur solaire dans les tours solaires. Une analyse thermique d'un récepteur hexagonal (six côtés) à été menée par J.B.Fang et al [14].

Le récepteur d'une ouverture carrée de 4x4m est placé à une altitude de 100m sous un angle de 21.8° dans la zone focale d'un champ d'héliostats d'une puissance de 1MW. Il est destiné à produire 7 t/h de vapeur saturée sous une pression de 7 MPa et une température de saturation de 285 °C. L'eau saturée circule à l'intérieur des tubes de 46 mm de diamètre arrangés sur les six facettes du récepteur (figure 2.8).

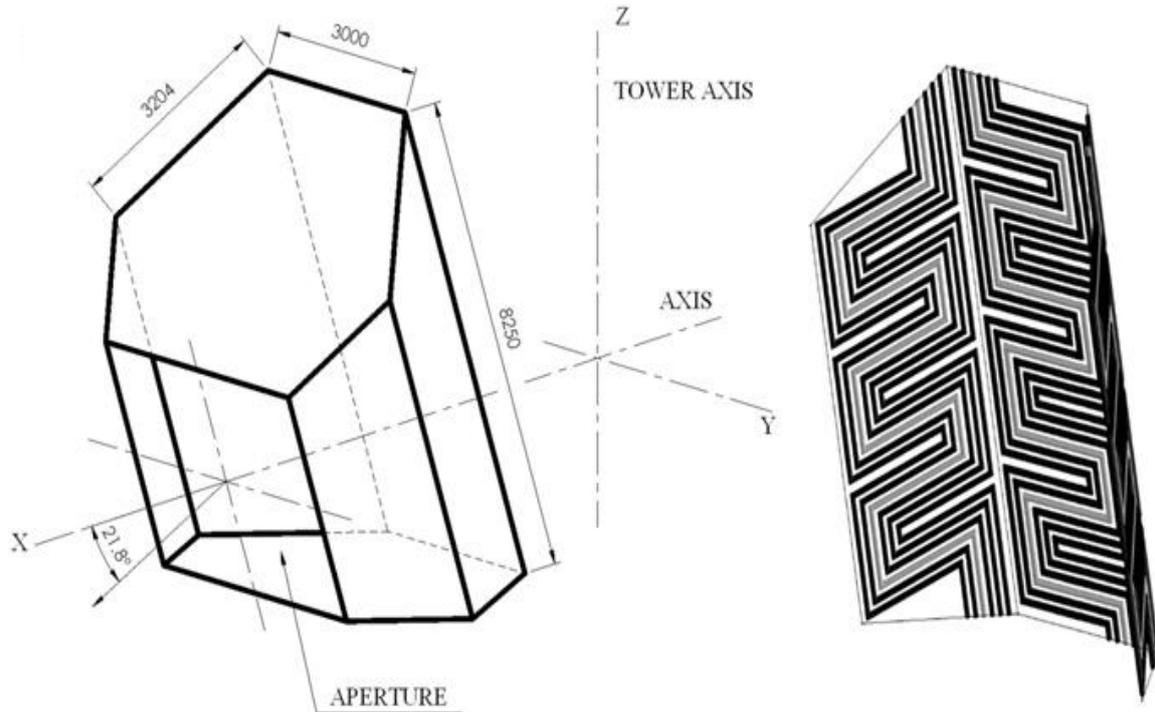


Fig.2.8 : schéma descriptif d'un récepteur à cavité hexagonale [14]

De même, le récepteur à cavité trapézoïdale trouve une large utilisation dans le solaire à concentration linéaire et plus précisément comme absorbeur dans les centrales solaires à miroirs de Fresnel. Récemment, S.K.Nataragan et al [15] ont étudié numériquement les pertes de chaleur convective et radiative d'une cavité trapézoïdale placée au plan focal d'un champ de miroirs Fresnel (figure.2.9)

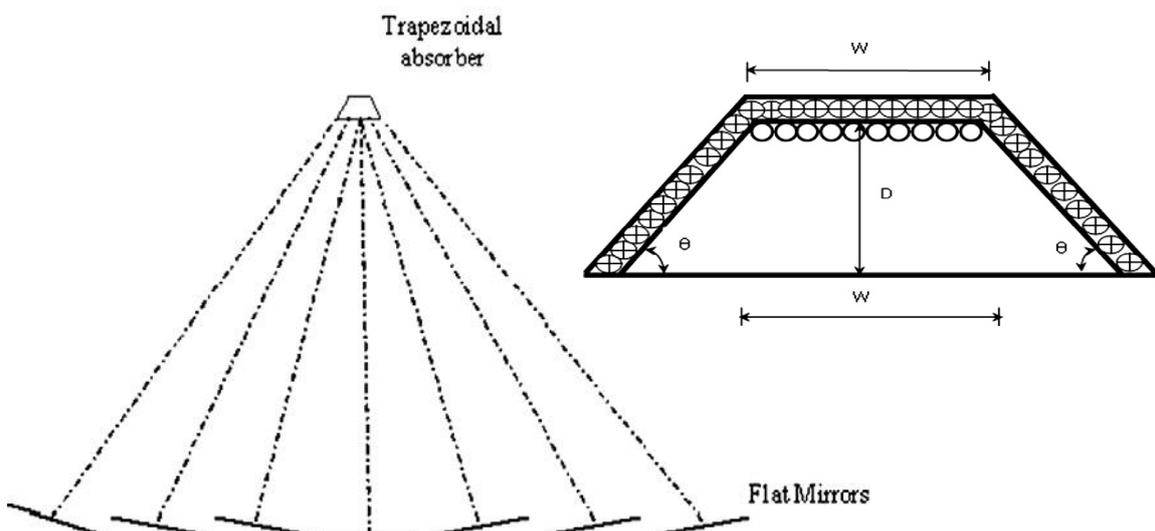


Fig.2.9 : schéma d'un récepteur trapézoïdal dans un champ de miroirs LFR [15]

**Chapitre 03 :**  
*Caractérisation et mise au point*  
*Du concentrateur cylindro-*  
*parabolique*

### 3.1. Introduction

Les concentrateurs cylindro-paraboliques paraboliques présentent de meilleures efficacités optiques et thermiques comparées à d'autres concentrateurs solaires. Cette caractéristique est due principalement à leur mode de concentration qui favorise la collecte rationnelle des rayons solaires concentrés dans la zone focale.

En concevant un tel concentrateur, il est très important d'employer des tailles de facettes qui peuvent assurer une distribution homogène dans la surface primaire du concentrateur, afin de développer un taux de concentration élevé et de réduire la surface inutile produite par les jonctions inter facettes. Sa mise au point passe en premier lieu, par la connaissance des éléments de calcul relatifs à sa géométrie décrite par des expressions analytiques permettant la détermination de l'ensemble des paramètres géométriques tels que la surface primaire, l'angle d'ouverture, la distance focale et la longueur du contour. Dans cette optique, un développement des différentes relations susceptibles de déterminer les paramètres suscités, est donné explicitement dans le premier volet de ce chapitre. Le deuxième volet est consacré à la mise au point proprement dite du concentrateur, tandis que ses paramètres géométriques et optiques sont déterminés dans cette partie.

### 3.2. Caractérisation géométrique d'une parabole

La parabole est une forme géométrique définie analytiquement par une équation traduisant la relation entre chaque point  $(x, y)$  appartenant à son contour avec un point caractéristique (F) appelé point focal situé à une distance  $f$  du centre de base (o). Cette équation est donnée par l'expression suivante :

$$y^2 = 4fx \tag{3.1}$$

Dont  $f$  est la distance focale (Fig.3.1)

L'angle d'ouverture  $\psi$  d'une parabole est exprimé par la relation suivante :

$$\tan \psi = \frac{f/D}{2(f/D)^2 - \frac{1}{8}} \quad 3.2$$

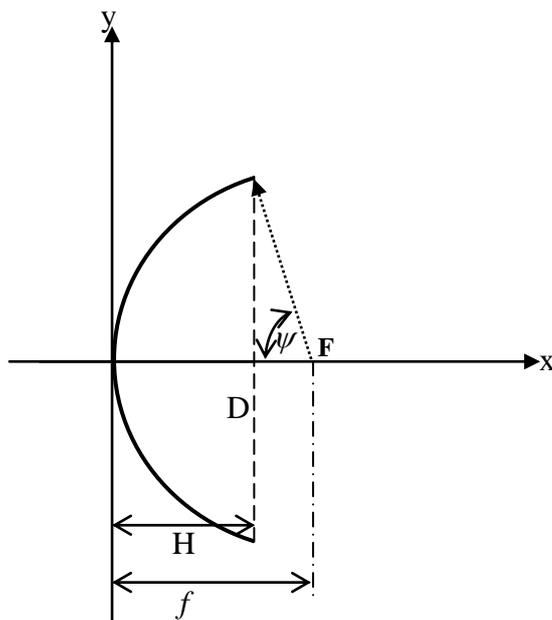


Fig.3.1 : Schéma descriptif d'une parabole.

dont  $D$  est diamètre d'ouverture de la parabole.

La profondeur  $H$  de la parabole, le diamètre d'ouverture ainsi que sa distance focale sont reliés par l'expression analytique suivante :

$$f = \frac{D^2}{16H} \quad 3.3$$

A travers les deux expressions 3.2 et 3.3, l'angle d'ouverture peut être exprimé en fonction des deux dimensions de la parabole en prenant la forme suivante :

$$\tan \psi = \frac{1}{(D/8H) - (2H/D)} \quad 3.4$$

La surface primaire d'un concentrateur cylindro-parabolique est déterminée à travers le produit de son contour par sa longueur  $L$  comme indiqué sur la figure (3.2), tandis que sa surface d'ouverture est définie comme étant le produit de son diamètre d'ouverture  $D$  par sa longueur  $L$

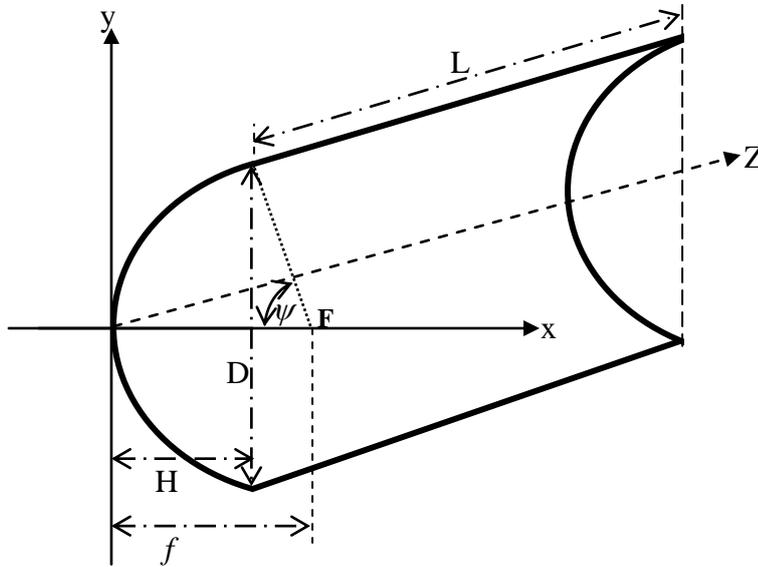


Fig.3.2 : description géométrique d'un cylindro- parabolique.

### 3.3. Caractérisation optique

Le paramètre optique dominant dans les concentrateurs solaires est le coefficient de concentration solaire  $C$ . Il est défini comme étant le rapport entre le flux solaire concentré au plan focal et le flux solaire réfléchi à travers la surface d'ouverture du concentrateur comme illustré sur la figure (3.3). Ce rapport entre les deux flux surfaciques fait ressortir l'expression suivante :

$$C = \frac{A_o}{A_f} \quad 3.5$$

Dont ;  $A_o$  est la surface d'ouverture du concentrateur

$A_f$  Est la surface de la tache solaire focalisée le long de ligne focale

Il est à noter que le coefficient de concentration solaire prend des valeurs maximales, lorsque la surface réfléchissante du concentrateur est bien polie. Ceci provoque une diminution du taux de dispersion des rayons réfléchis et par conséquent une meilleure concentration à la zone focale.

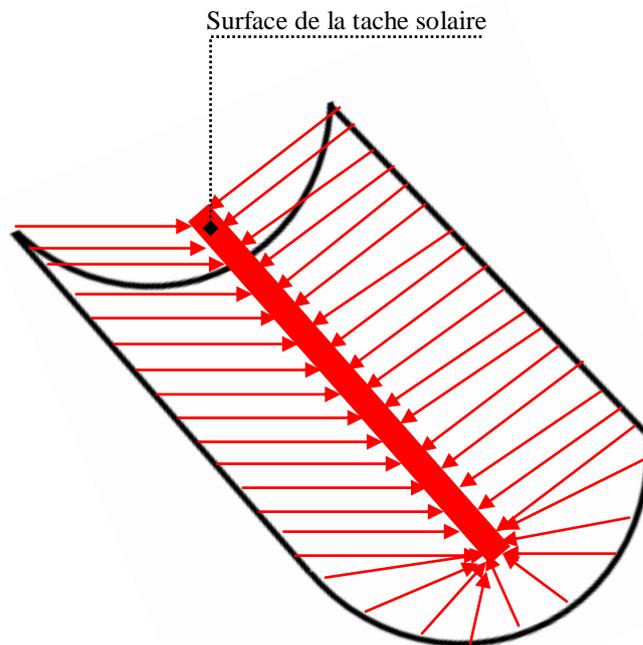


Fig.3.3 : Concentration des rayons réfléchis dans la zone focale.

### 3.4. Réalisation du concentrateur cylindro-parabolique

Le besoin nécessaire d'un prototype d'expérimentation afin d'étudier le comportement thermique de l'absorbeur envisagé, nous a conduit à récupérer un concentrateur déjà conçu et sur lequel on a effectué des rectifications sur sa surface primaire ainsi que sur la qualité de la surface de réflexion. La première étape consiste au découpage symétrique des deux faces latérales du concentrateur dans le but de réduire sa surface primaire. A la fin de cette étape le concentrateur comme indiqué sur la figure (3.4) présente les dimensions suivantes ;

- Une profondeur  $H = 21.5cm$
- Un diamètre d'ouverture  $D = 74cm$
- Une longueur  $L = 160cm$
- Un angle d'ouverture  $\psi = 106^\circ$

La deuxième étape a été consacrée au changement de l'ancien réflecteur par un nouveau sous forme de feuille d'aluminium. Cette étape passe par la mise en cote du réflecteur d'une épaisseur de 6/10 de mm en le collant à l'aide d'une colle spéciale sur l'ancienne surface. Ce nouveau réflecteur possède une réflectivité de l'ordre de 0.86 selon le fournisseur.

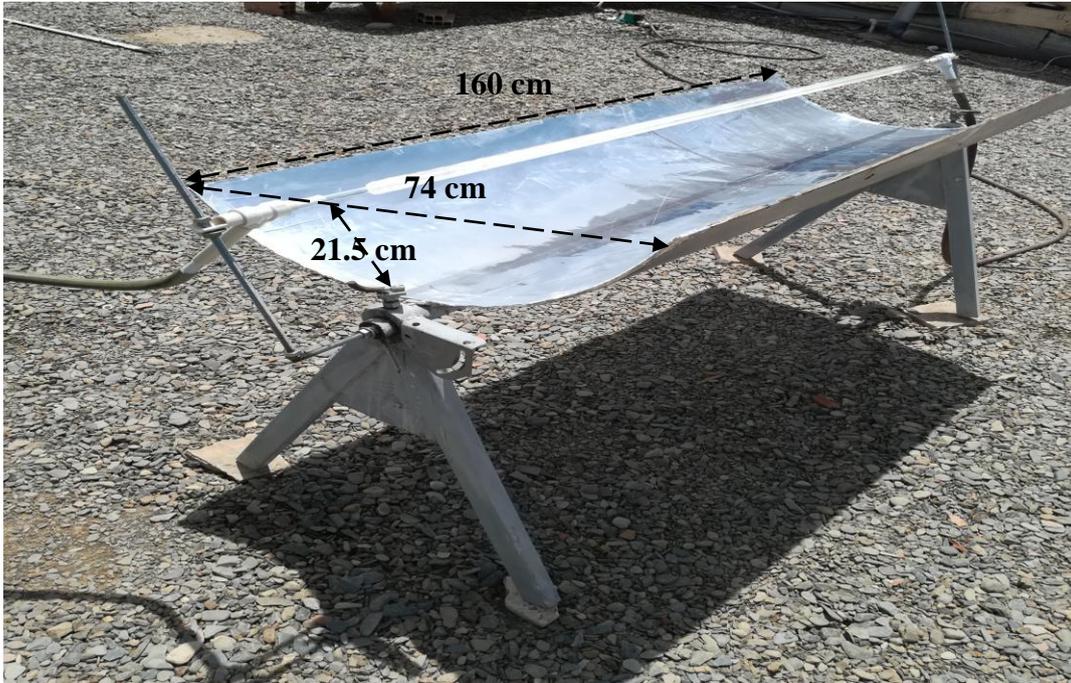


Fig.3.4 : Image du concentrateur cylindro-parabolique sur le site D'expérimentation

### 3.5. Tests de performance :

Le concentrateur cylindro-parabolique en question a subi des tests de performance visant à déterminer les deux caractéristiques principales à savoir :

- ✓ La distance focale réelle.
- ✓ La taille de la tache solaire focalisée. sur la figure ci-dessous.

Cette étape s'est déroulée, après l'emplacement du concentrateur sur la terrasse nue de notre bloc laboratoire en l'orientant d'un angle de  $36^\circ$  correspondant à la latitude du site d'expérimentation.

### 3.5.1. Distance focale réelle :

La distance focale réelle est définie comme étant la distance entre le centre de base du concentrateur et la tâche solaire dans la direction de l'axe focal. Pour sa détermination, on place un dispositif de positionnement linéaire qui porte dans sans bout supérieur une plaque métallique en acier doux de forme rectangulaire comme illustré sur la figure (3.6). Un thermocouple de type K (-50°C à 1200°C) placé au centre du récepteur et relié à une acquisition afin de mesurer la température aux différentes distances allant de 7 cm à 20 cm. La température maximale enregistrée est atteinte lorsque le centre géométrique de la plaque coïncide exactement avec le plan focal, ce qui permet de déterminer avec précision la distance focale réelle.

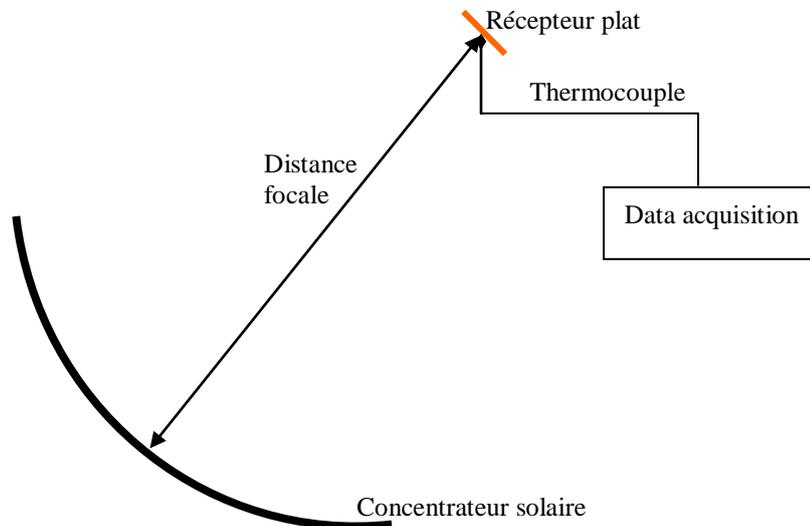


Fig.3.5 : Schéma descriptif adopté pour la mesure de la distance focale réelle.

### 3.5.2. Taille de la tâche solaire focalisée

Une fois que la distance focale réelle est déduite, le récepteur métallique couvert d'une peinture mate noire, est placé exactement dans la zone focale. Après positionnement du concentrateur, la tâche solaire est focalisée sur le récepteur. Au centre du récepteur on procède à déterminer la température le long de sa largeur du avec des pas de 2mm. La

répartition radiale de la température offre la possibilité de délimiter l'épaisseur de la tache solaire focalisée.

## **Chapitre : 04**

*Application du code*

*SOLTRACE*

#### 4.1. Introduction

Le code de calcul Soltrace est un outil logiciel développé au le laboratoire national d'énergie renouvelable allemand (NREL) pour modéliser les systèmes optiques de puissance solaire et analyser leurs performances. sa mise en œuvre a été motivée par le souci de modéliser des systèmes optiques plus complexes que ceux qui pourraient être modelés avec des outils existants. Le SolTrace peut modéliser des concentrateurs à caniveaux paraboliques ainsi que des plats, des tours ou d'autres géométries uniques (tours de puissance linéaires, fours solaires, etc.). Il modélise les géométries optiques comme une série d'étapes composées d'éléments optiques qui possèdent une grande variété d'attributs disponibles, y compris la forme, le contour et la qualité optique. Le logiciel affiche et enregistre rapidement des données sous forme de diagrammes de dispersion, de flux et de données de sortie pour une analyse ultérieure à l'aide d'autres logiciels (par exemple, Excel, etc.). La figure (4.1) montre un exemple de l'une des fenêtres de simulation

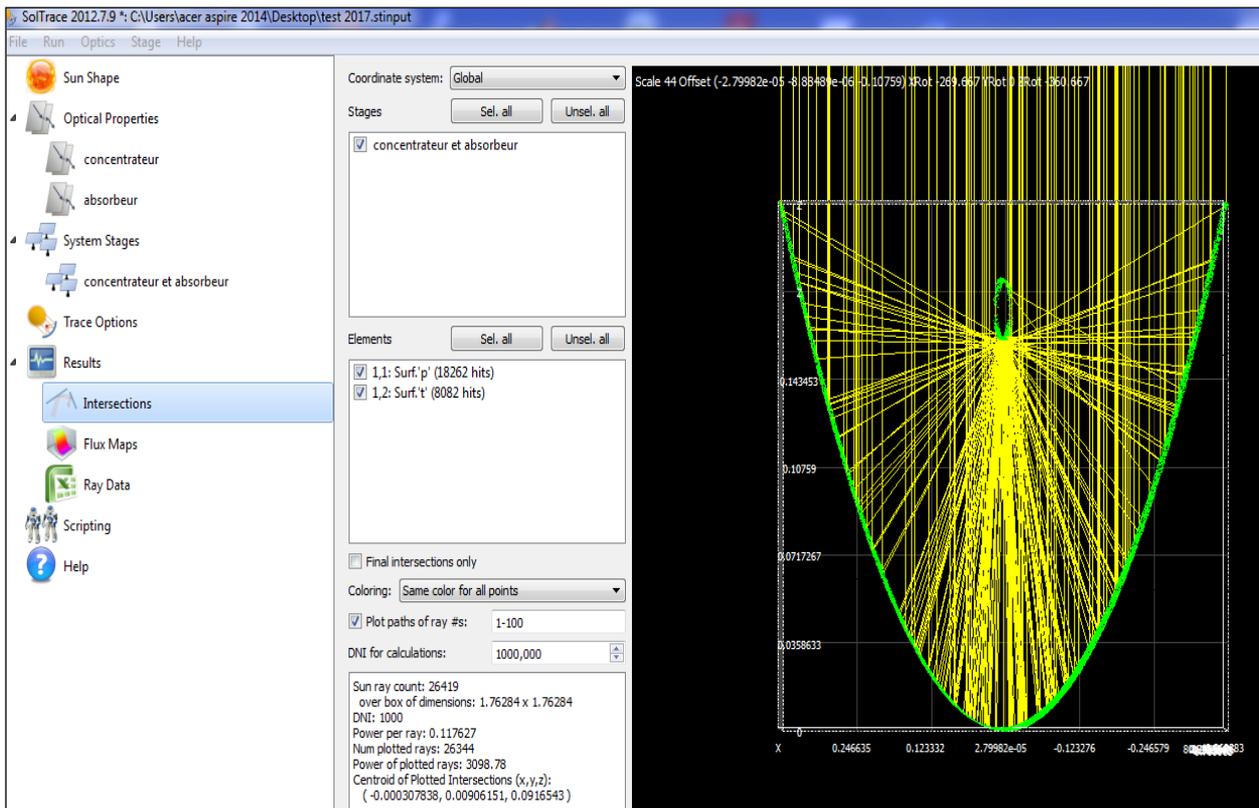


Fig. 4.1 : Image descriptive d'un cylindro-parabolique modélisé par le code Soltrace

## 4.2. Présentation du code

Le logiciel SOLTRACE permet la modélisation de systèmes optiques de type centrales solaires à concentration afin d'en analyser les performances. L'algorithme de calcul utilise la méthode de « Rayons lancés ». L'utilisateur sélectionne un nombre donné de rayons à tracer issus du disque solaire. Chaque rayon interagit optiquement avec le système.

Le principe de cette démarche est de choisir de manière aléatoire une série de rayons issus d'une surface 1, et de déterminer la quantité de rayons de cette série qui arrive sur une surface 2. L'éclairement d'un élément de surface est ainsi déterminé grâce à la proportion de rayons impactant la surface 2 par rapport au nombre total de rayons lancés depuis la surface 1. Dans le cas d'un système concentrateur avec une seule réflexion, cet algorithme est employé deux fois : La première entre le soleil et la surface réfléchissante, en respectant une distribution énergétique correspondant à la forme du soleil, puis entre le champ solaire et le récepteur, en respectant une loi statistique de distribution d'erreurs correspondant aux imperfections de l'élément réfléchissant (réflectivité, erreurs macroscopiques ou microscopiques).

### 4.2.1. Méthodologie et étapes d'application

Dans le SolTrace, un système optique est organisé en rangées (stages) dans un système de coordonnées globales. Une rangée (stage) est définie comme une section de la géométrie optique qui, une fois que le rayon sort du disque solaire, ne sera pas réintégrée par le rayon sur le reste de son chemin à travers le système. Une géométrie complète du système peut consister en une ou plusieurs étapes. Il incombe à l'utilisateur de définir la géométrie de scène en conséquence. La motivation derrière ce concept est d'utiliser un suivi efficace afin d'économiser le temps de traitement et de permettre une représentation modulaire d'un système.

L'un des avantages importants des étapes est celle qui consiste sauvegarder et utiliser les paramètres dans d'autres géométries du système sans avoir à recalculer les positions et les orientations des éléments.

La segmentation de la géométrie par étapes peut également être utile dans l'attribution de différents systèmes de coordonnées pour des géométries spécifiques et peut rendre le réglage des emplacements beaucoup plus simple.

## 4.2.2. Déclaration des données

### 4.2.2.1. Paramètres optiques

Les propriétés optiques sont définies sur la deuxième page d'entrée, Chaque projet SolTrace peut avoir de nombreux ensembles de propriétés optiques définis. Dans notre cas du concentrateur cylindro-parabolique sur lequel est monté un absorbeur, les propriétés optiques du concentrateur ainsi que l'absorbeur sont déclarées successivement dans des pages séparées comme illustré sur les deux figures (4.2) et (4.3).

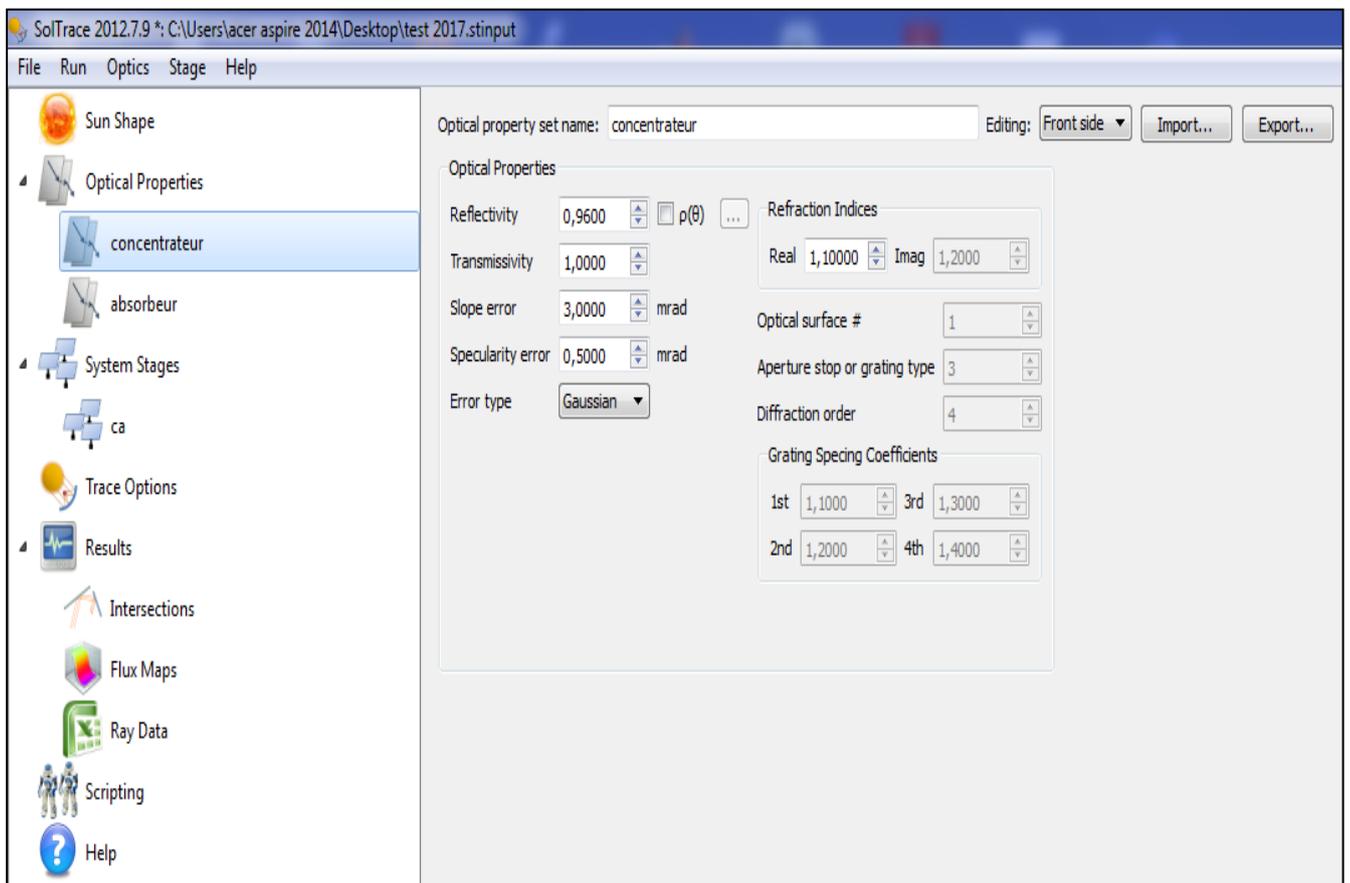


Fig.4.2 : Fenêtre descriptive pour l'introduction des propriétés optiques du concentrateur.

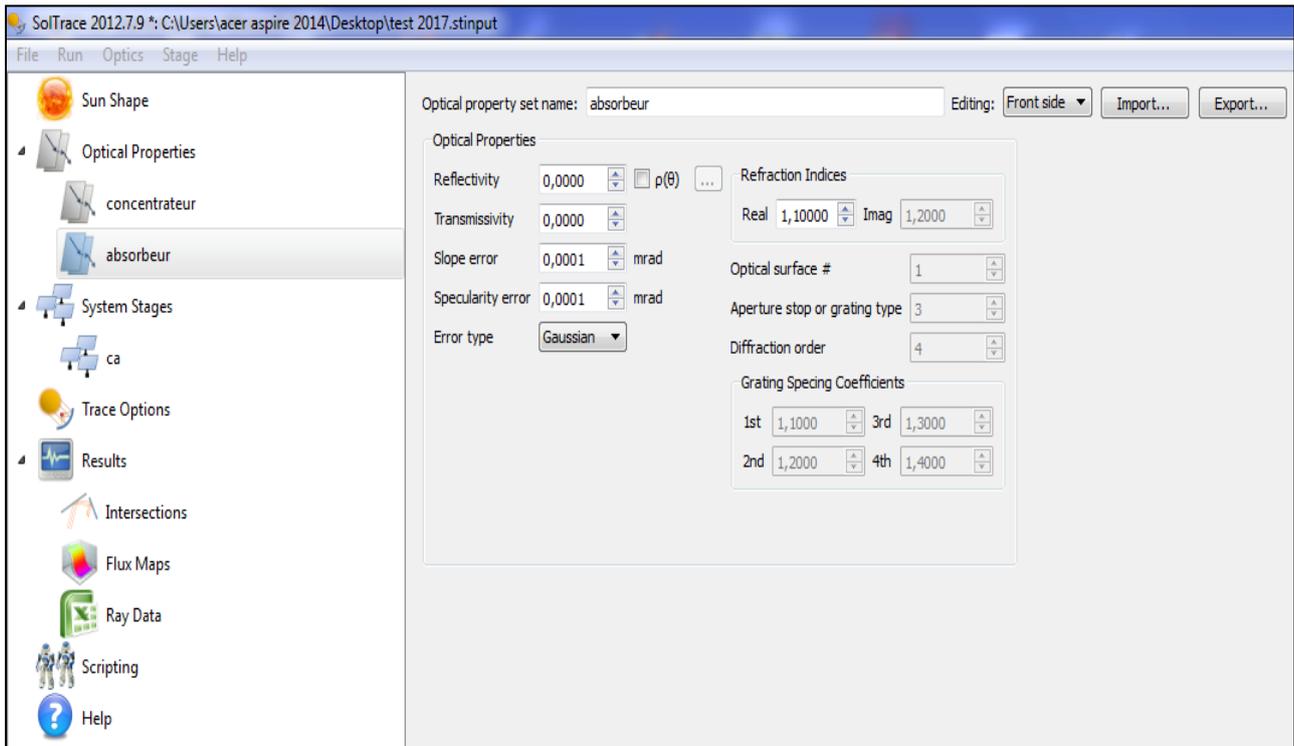


Fig.4.3 : Fenêtre descriptive pour l'introduction des propriétés optiques de l'absorbuer.

#### 4.2.2.1. Paramètres géométriques

La deuxième étape dans la déclaration des données consiste à introduire les dimensions géométriques du concentrateur ainsi que l'absorbuer. Cette étape est de très grande utilité car, une erreur de dimensionnement engendre une fausse modélisation et par conséquent des résultats erronés. La géométrie du cylindro-parabolique est représentée par le code Soltrace après avoir introduire des paramètres géométriques demandés par le code. De même pour l'absorbuer, la géométrie doit être définie de manière que le code peut la modéliser correctement.

Le code Soltrace offre la possibilité de procéder à une déclaration faite sur la même page contenant les deux géométries (concentrateur et absorbuer), ou bien dans des pages séparées selon le choix de l'utilisateur. Sur la figure (4.4) est illustrée une fenêtre de déclaration commune entre les deux surfaces.

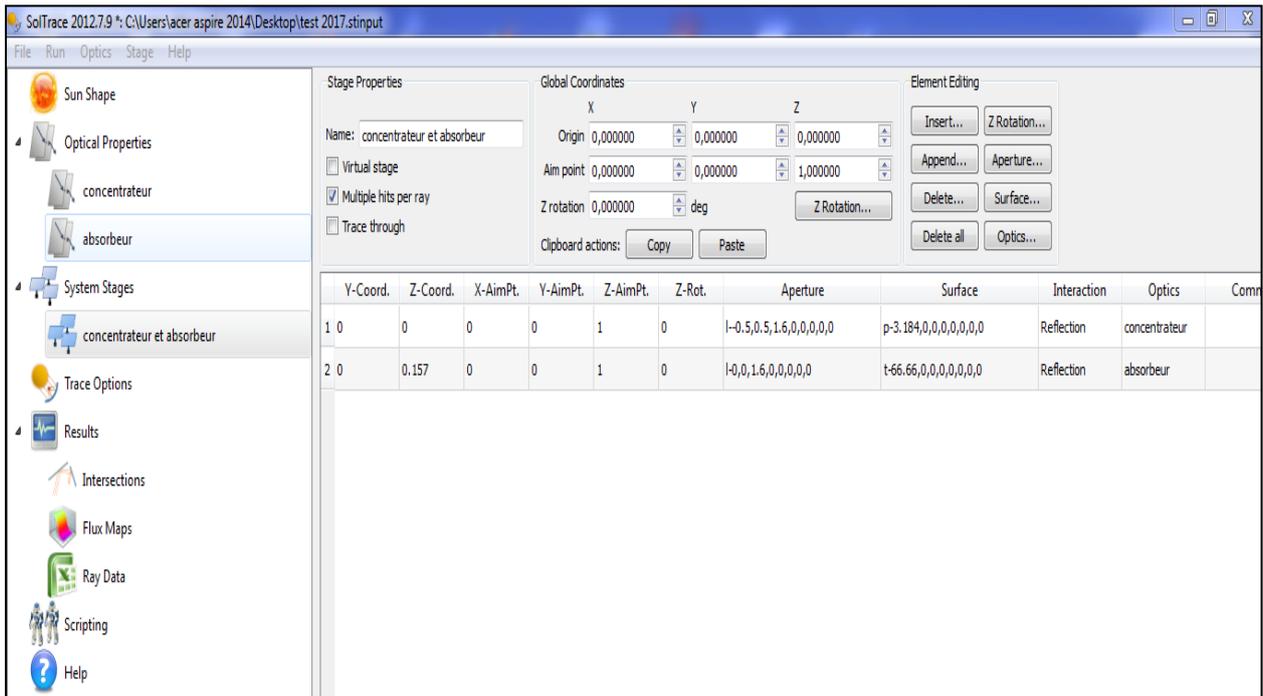


Fig.3.4 : Fenêtre de déclaration des paramètres géométriques.

### 4.2.3. Présentation des résultats d'application

Une fois l'étape de déclaration des données est achevée, on procède à l'exécution du programme. Le fichier des résultats peut afficher une modélisation géométrique du système solaire à concentration, associé à une image illustrative de la réflexion des rayons incidents à travers le concentrateur en direction de l'absorbeur. Cette illustration graphique offre une réelle possibilité de vérifier le taux de focalisation solaire au niveau du récepteur et par conséquent, une réduction maximale du taux de dispersion. La répartition du flux surfacique au niveau de l'absorbeur est obtenue en exécutant l'option (Flux Maps), ce ci permet d'afficher la distribution du flux focalisé sous une insolation solaire donnée.

#### 4.2.3.1. Détermination de la distance focale

Dans cette étude, le code a été utilisé afin de déterminer la distribution du flux solaire focalisé à différentes positions du récepteur le long de l'axe focal et par conséquent l'évaluation de la distance focale. Les paramètres de simulation introduits dans l'application,

tiennent compte de l'ensemble des caractéristiques géométriques et optiques relatives au concentrateur ainsi qu'au récepteur utilisés dans l'expérimentation. Le type d'erreur adopté dans l'application est Gaussien avec une erreur de pente d'une valeur de 0.95mrad.

La figure (4.5) représente la variation du flux de chaleur moyen en fonction de la distance du récepteur par rapport au centre de base du concentrateur le long de l'axe focal.

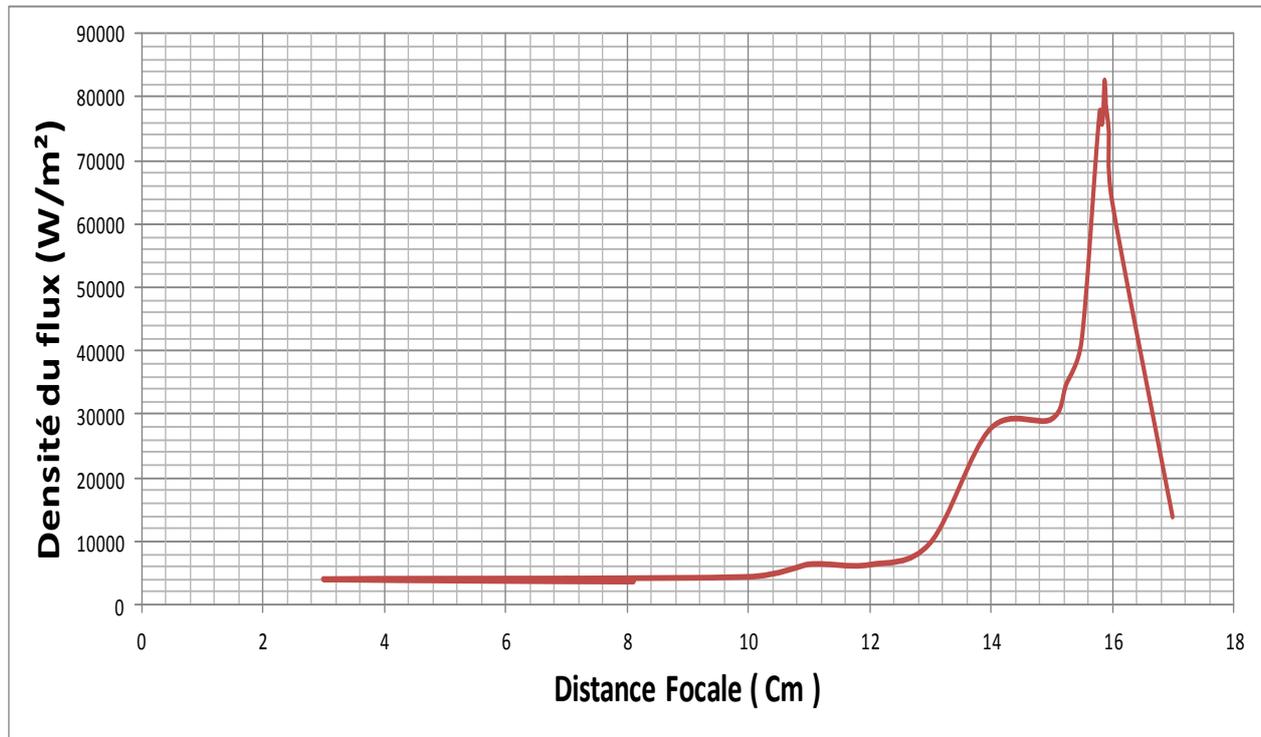
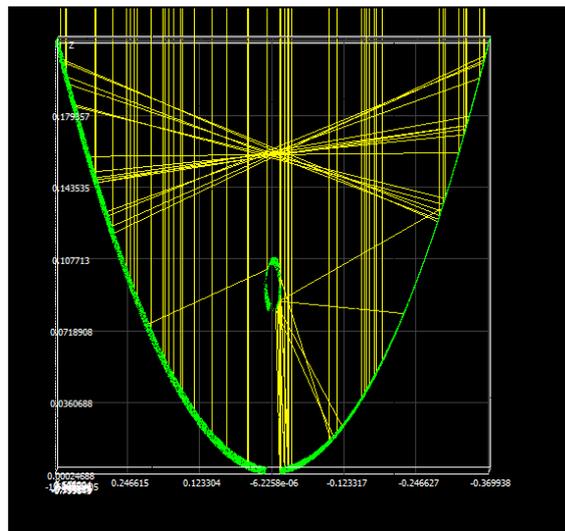


Fig.4.5 : Flux de chaleur moyen à différentes positions du récepteur.

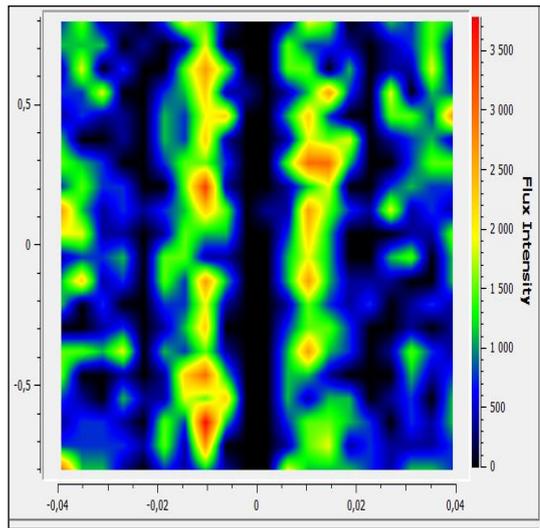
À travers l'allure de la figure (4.5), on constate que l'évolution du flux moyen passe par son maximum, à une distance de 15.88cm par rapport au centre de base du concentrateur enregistrant une valeur de 82.5kW/m².

Dans la figure (4.6), sont illustrées les intensités du flux de chaleur à chaque distance du. Il s'avère clairement que l'intensité du flux grimpe graduellement jusqu'à un seuil de 8MW/m² indiqué dans la figure (4.7i). Ce maximum atteint à une position donnée du récepteur, offre la possibilité de déterminer la distance focale du concentrateur, qui vaut 15.88cm.

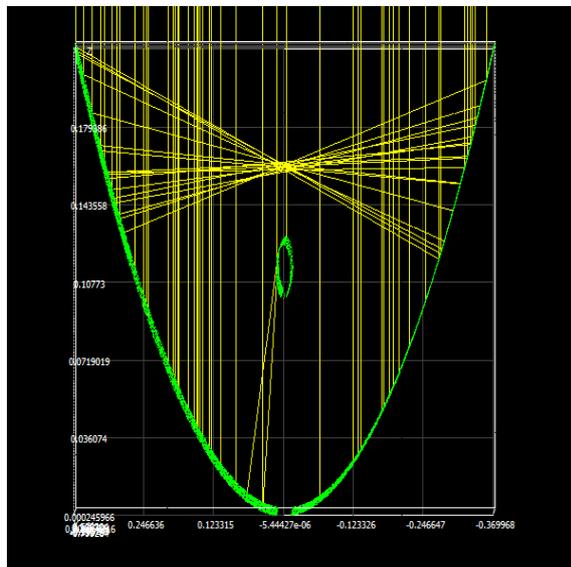
Distance=8cm



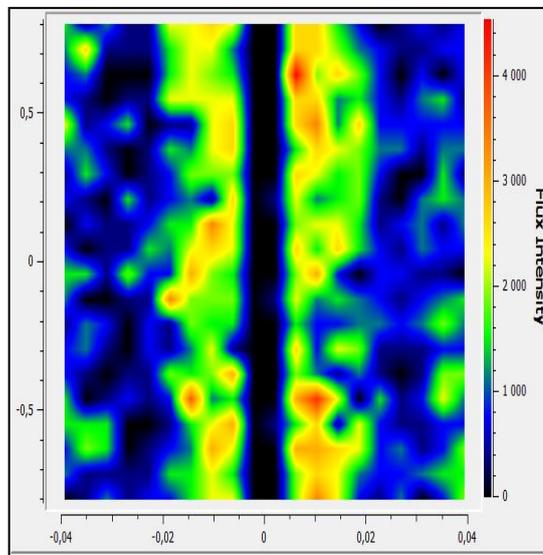
(a)



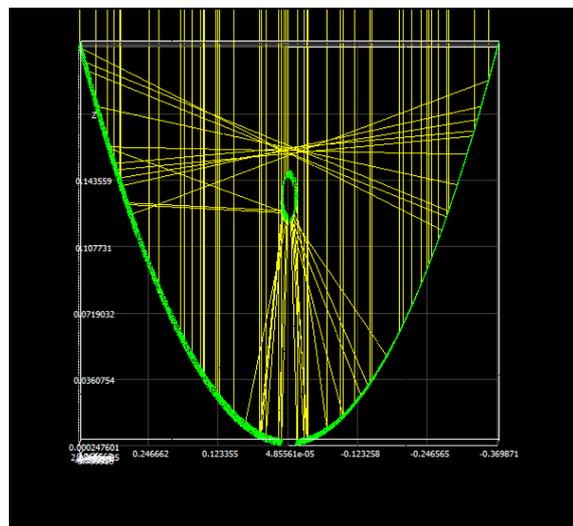
Distance=10cm



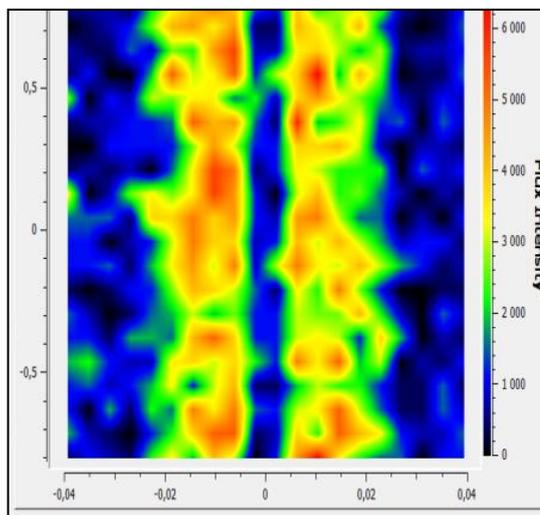
(b)



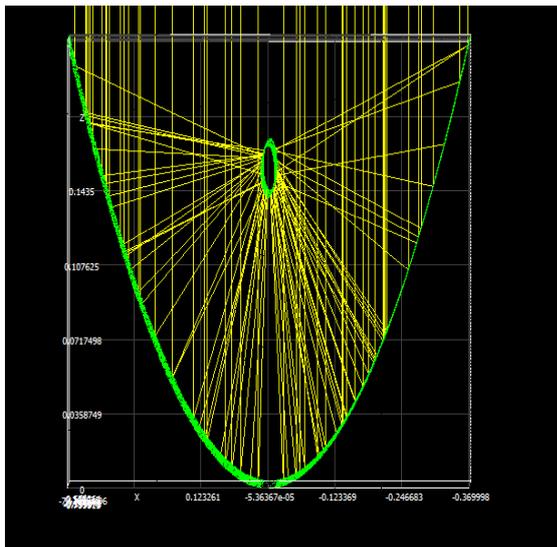
Distance=12cm



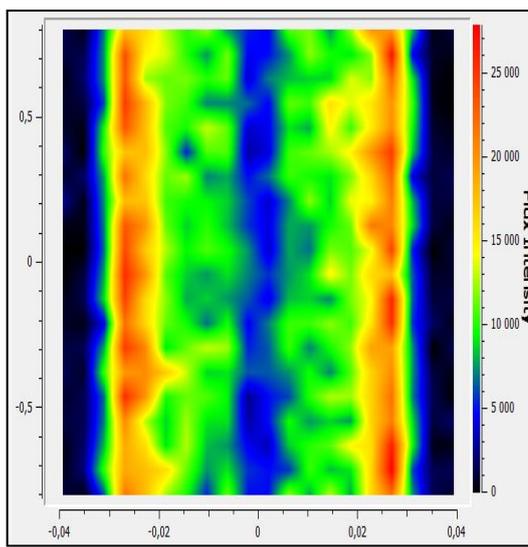
(c)



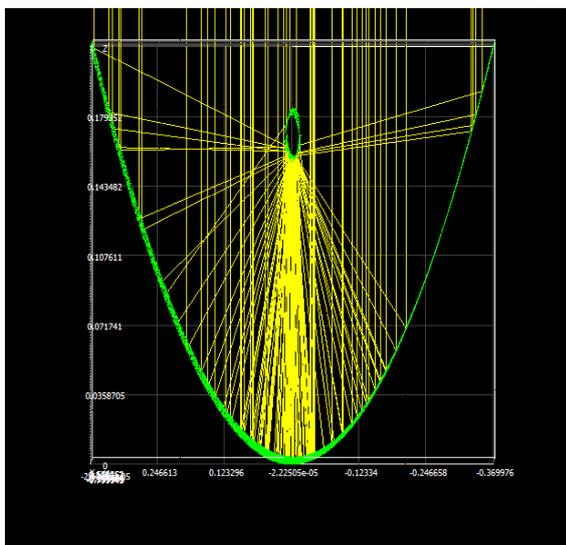
Distance=14cm



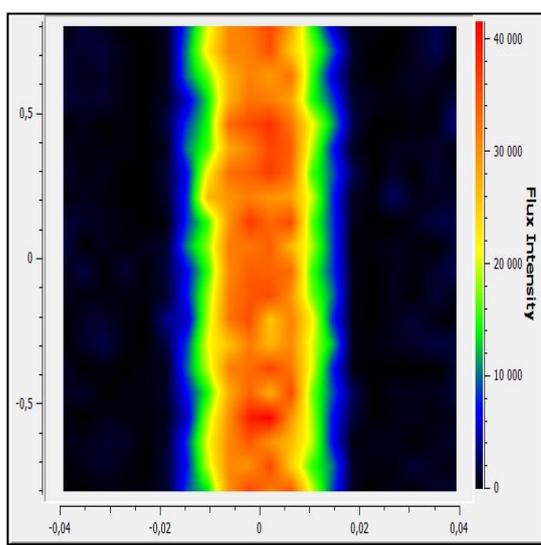
(d)



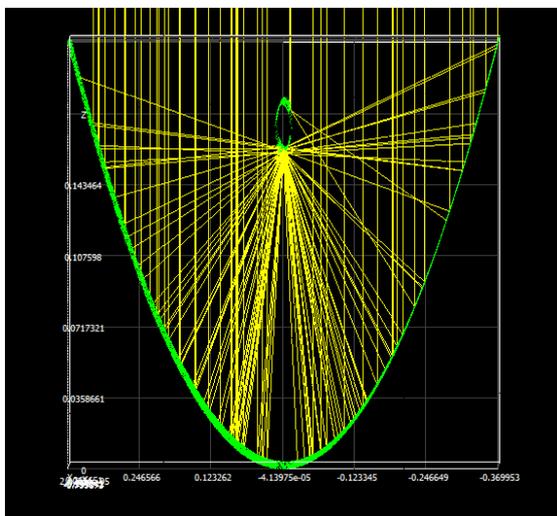
Distance=15.5cm



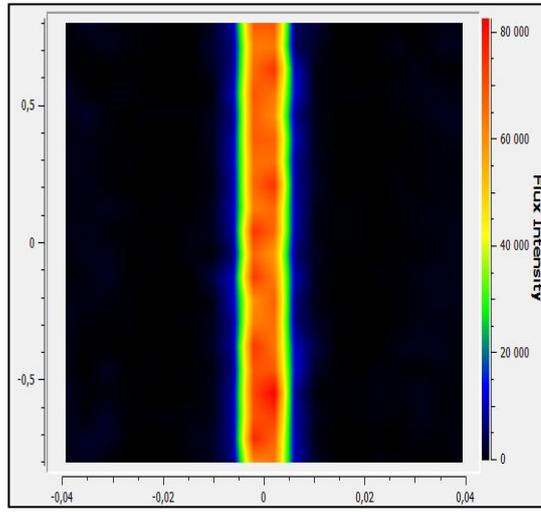
(e)



Distance=15.88cm (distance focale)



(f)



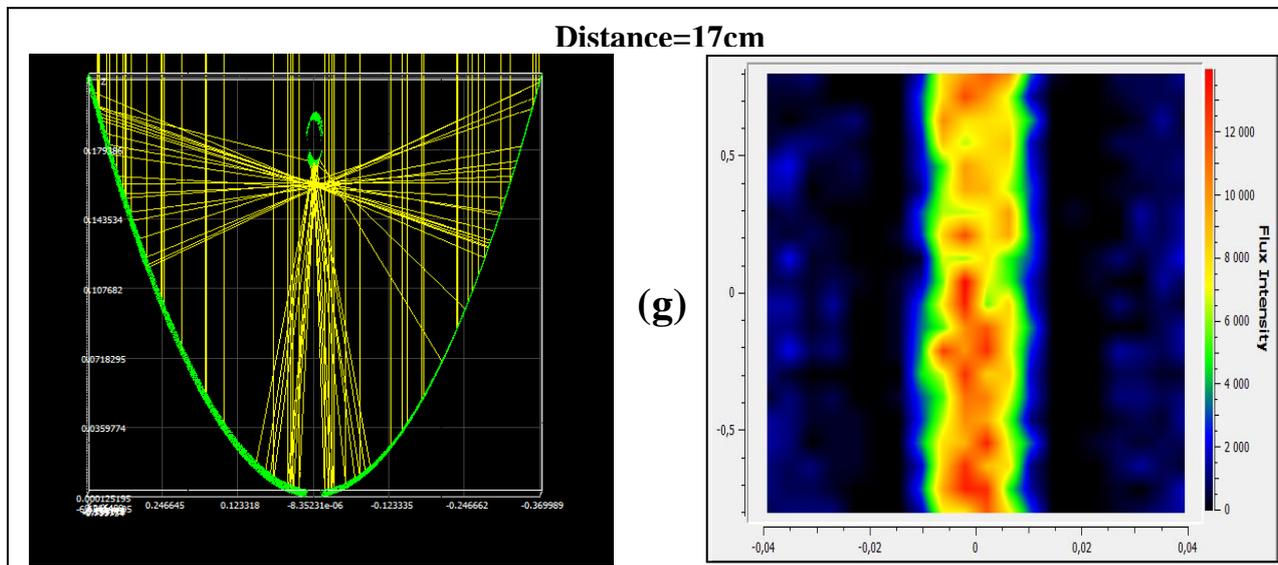


Fig.4.6 : (a).....(g) ; Intensité du flux de chaleur ( $W/m^2$ ) calculée par le code Soltrace à différentes positions de l'absorbeur.

#### 4.2.3.2. Détermination de la taille de la tache focale

La taille de la tache solaire est une grandeur de grande importance dans le solaire à concentration.

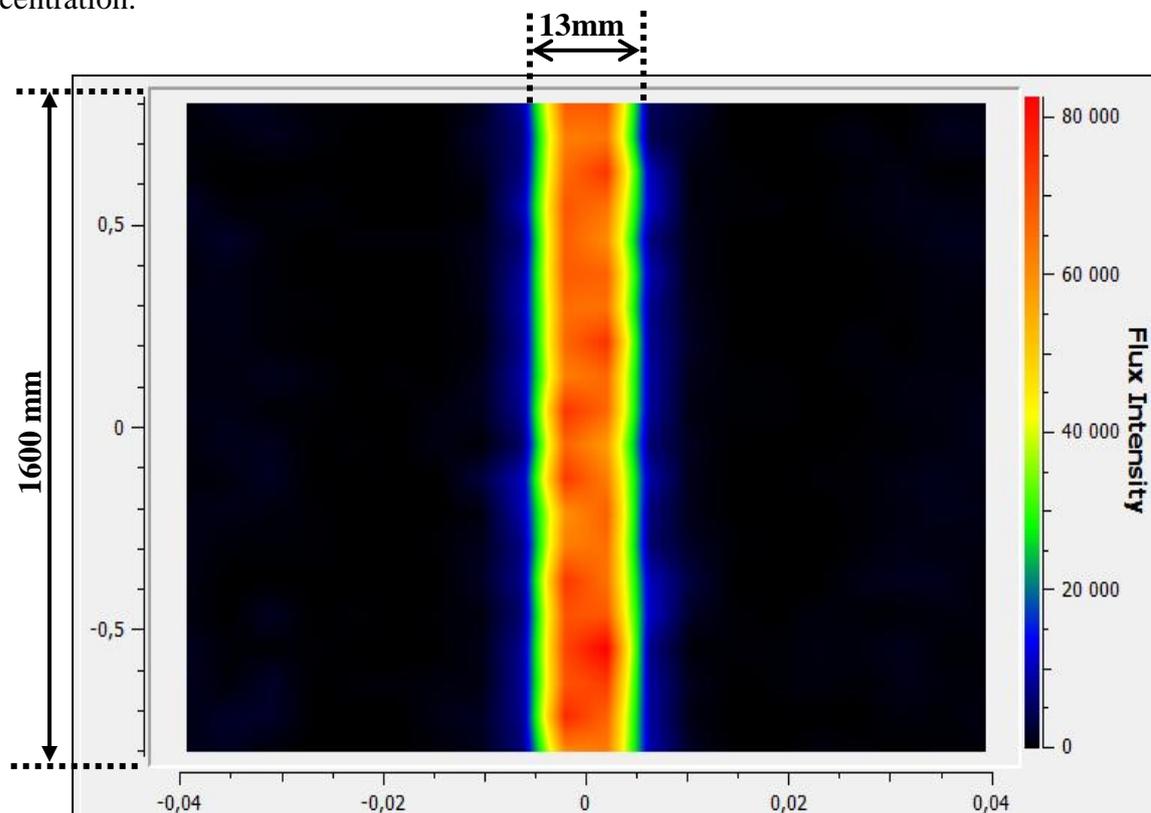


Fig.4.7 : Taille de la tache solaire focalisée au niveau de la zone focale.

La détermination de la taille de cette tache offre la possibilité de bien dimensionner l'absorbeur afin d'obtenir un meilleur rendement thermique. A travers le code Soltrace, cette dimension de la tache est obtenue suite à une lecture directe de sa largeur qui apparaît sur le graphe de la répartition surfacique du flux au niveau de l'absorbeur placé exactement dans la ligne focale comme indiqué sur la figure (4.7). à travers la figure ci-indiquée, on peut clairement déduire que la tache focale prend une forme rectangulaire d'une largeur de 13mm et une longueur de 1600mm (longueur de l'absorbeur) donnant une surface totale de 208 cm<sup>2</sup>.

## **Chapitre : 05**

*Conception de l'absorbeur  
Solaire et processus  
d'expérimentation*

## **5.1 Introduction**

Les absorbeurs solaires utilisés dans le solaire à concentration, ont pour but de collecter l'énergie solaire concentrée à travers les concentrateurs afin de la transmettre à un fluide caloporteur circulant dans leurs volumes confinés. L'analyse thermique d'un absorbeur solaire a pour but de déterminer son efficacité thermique. Cette dernière est définie comme étant le rapport entre l'énergie thermique utile générée et l'énergie solaire focalisé.

Du point de vue énergétique, il est très utile d'utiliser les absorbeurs comme collecteurs d'énergie solaire dans le souci de minimiser les pertes de chaleur. Dans ce chapitre, une conception d'un nouveau absorbeur linéaire sera présentée suivie d'une partie expérimentale visant à évaluer son efficacité thermique sous différents paramètres opératoires.

## **5.2. Présentation de l'absorbeur**

Les dimensions de l'absorbeur solaire à réaliser sont déduites en se basant sur les résultats obtenus lors de la caractérisation expérimentale du concentrateur et qui ont relevés une épaisseur de la tache focale égale à 18 mm sur une longueur de 160 cm. Le diamètre extérieur comme indiqué sur la figure (5.1) été pris pour une valeur de 24 mm et ce dans le but d'absorber toute la tache solaire disponible au niveau de la zone focale. Le tube en verre extérieur de diamètre 24 mm est coaxial avec un autre tube en verre d'un diamètre de 8 mm et qui présente deux extrémités en porte à faux d'une longueur de 12 cm. Le volume annulaire compris entre les deux tubes extérieur est intérieur est d'une valeur de  $1401.96 \text{ cm}^3$ .

L'épaisseur du tube en verre extérieur est de 2mm tandis que celle du tube intérieur est de 1.5mm. Ces valeurs d'épaisseur sont choisies afin que les différentes parois de l'absorbeur puissent résister à la forte pression qui peut être générée au cours de fonctionnement étalé de l'absorbeur.

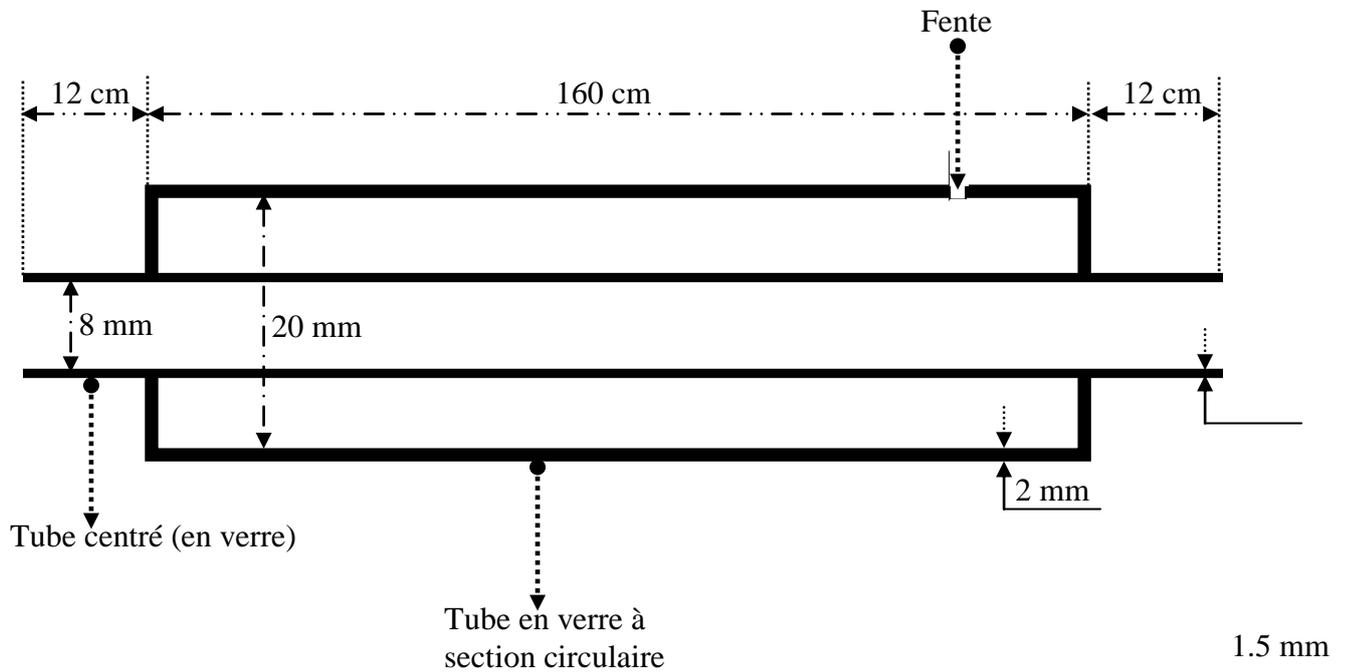


Fig. 5.1 : Schéma descriptif de l'absorbeur solaire.

### 5.2.1. Étapes de mise au point

La réalisation de l'absorbeur schématisé dans la figure ci-dessus s'est déroulée au niveau de la société algérienne des verres (SOMIVER) sise à la zone industrielle de Boudouaou wilaya de Boumerdes. Sa mise au point passe au premier lieu, par la mise en cote des deux tubes en verres en respectant les dimensions fixées préalablement. Il est important de noter que le verre utilisé est importé de l'Allemagne dont les deux caractéristiques techniques sont :

- ❖ Résistance aux hautes températures (jusqu'à 1330°C).
- ❖ Excellent coefficient de transparence (avoisine l'unité).

L'étape de cintrage du tube intérieur est entamée après la mise en cote des tubes. Cette étape est de grande utilité du point de vue conception car, toute erreur de pente engendre un mauvais positionnement et par conséquent ; une fausse coaxialité. La partie intérieure est encastrée avec le tube extérieure moyennant deux point de fusion à chaud dans les deux extrémités comme illustré sur la figure (5.2).

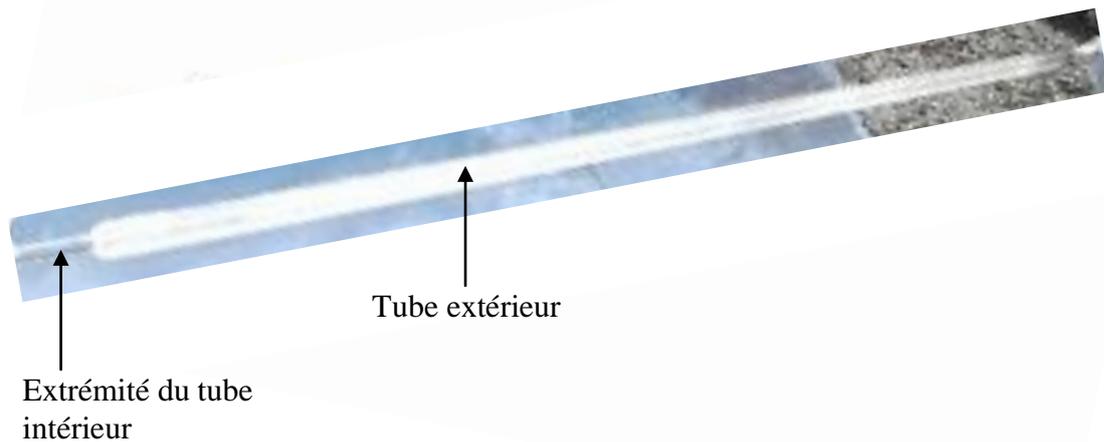


Fig.5.2 : image inclinée de l'absorbeur réalisé.

Afin de pouvoir réaliser le vide dans le volume annulaire de l'absorbeur, une fente (issue d'air) est faite sur le tube extérieur permettant à la fois, un transfert de la matière (air) avec l'ambiance extérieure afin d'éviter le risque d'augmentation de pression du volume confiné.

Une analyse thermodynamique du volume d'air emprisonné dans le volume annulaire en cas d'absence de fente (le volume devient fermé), fait ressortir une masse d'air de l'ordre de 1,64g sous les conditions opératoires de 25° c et 1 bar. Dans le cas où cette masse s'échauffe au cours de l'exposition l'absorbeur à un flux solaire focalisé jusqu'à une température de 200°c, la pression à l'intérieure du volume annulaire prend une valeur de 1.5 bar.

### 5.3. Processus d'expérimentation et tests de performance :

L'absorbeur réalisé a fait l'objet de tests expérimentaux visant à déterminer son efficacité thermique. La procédure expérimentale adoptée consiste à le positionner dans la zone focale du concentrateur parabolique. De plus, il est à signaler que pour assurer une bonne collecte du flux incident, on doit placer l'absorbeur de 1 à 2cm en dessous de la distance focale réelle afin que la tâche solaire soit complètement répartie à la surface extérieure de l'absorbeur comme indiqué sur la figure (5.3).

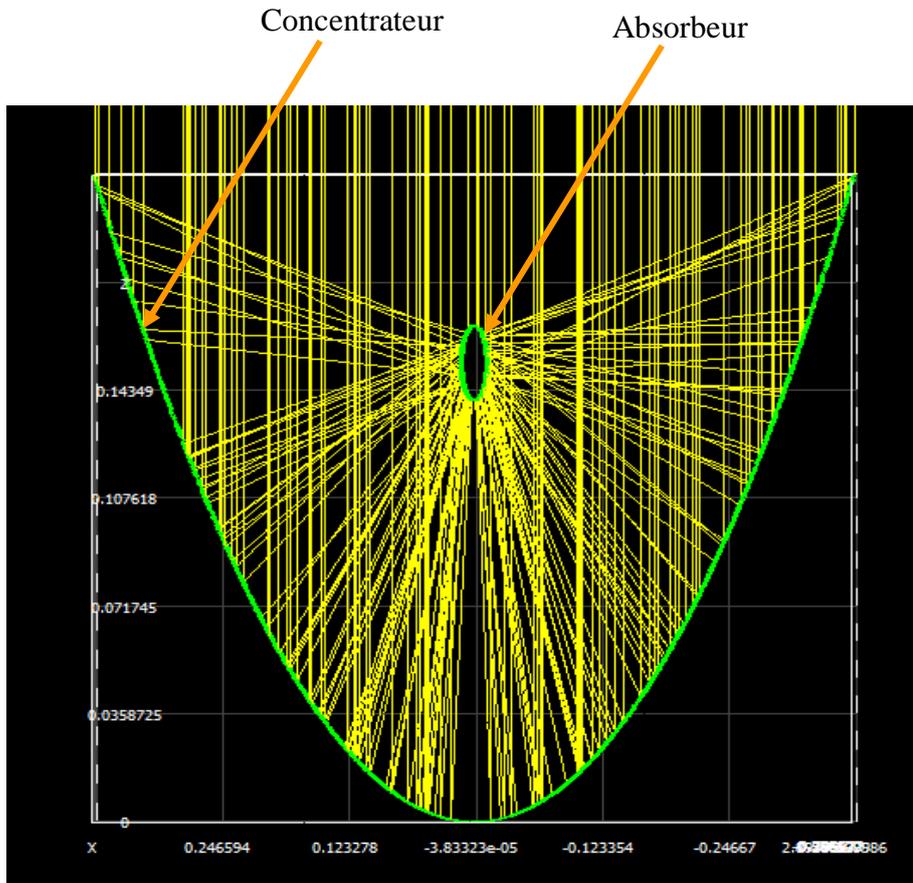


Fig.5.3 : description de l'absorbeur solaire positionné à 1.3 cm en dessous de la ligne focale (simulation par le code SOLTRACE)

Le déroulement d'un essai expérimental passe en premier lieu par l'orientation et le positionnement du concentrateur, à un angle de  $36^\circ$  correspondant à la latitude du site d'expérimentation situé à Khemis Miliana, en s'assurant que la poursuite solaire s'effectue de manière rationnelle.

La deuxième étape consiste à faire circuler un débit d'eau constant dans le récepteur à travers le tube intérieur de l'absorbeur. Au cours de cette étape une prise des températures d'entrée et sortie d'eau est effectuée à l'aide des thermocouples de type K reliés à un enregistreur digital. De plus, il est utile de noter que l'éclairement solaire est mesuré par un pyranomètre de type CMP11 installé sur le site d'expérimentation.

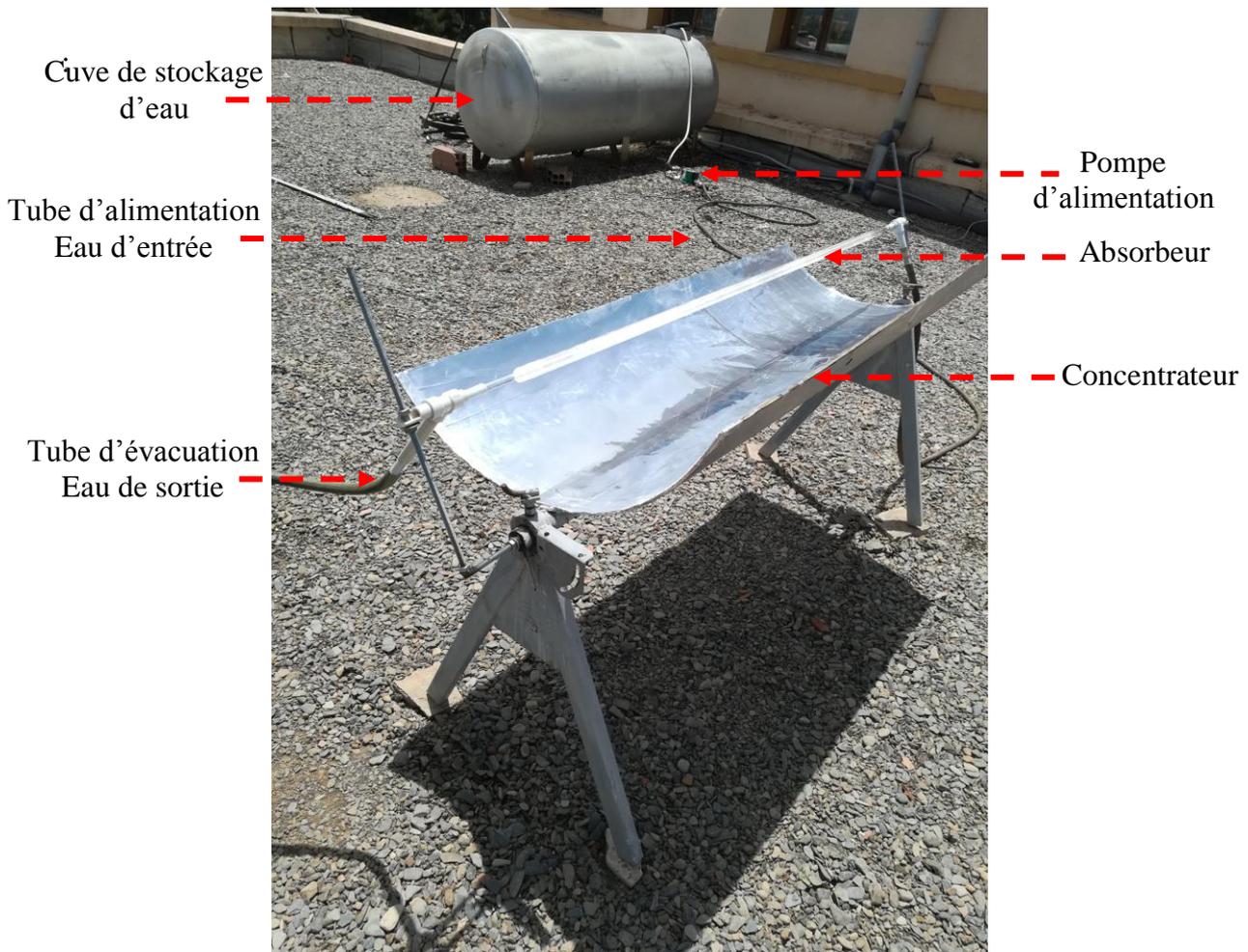


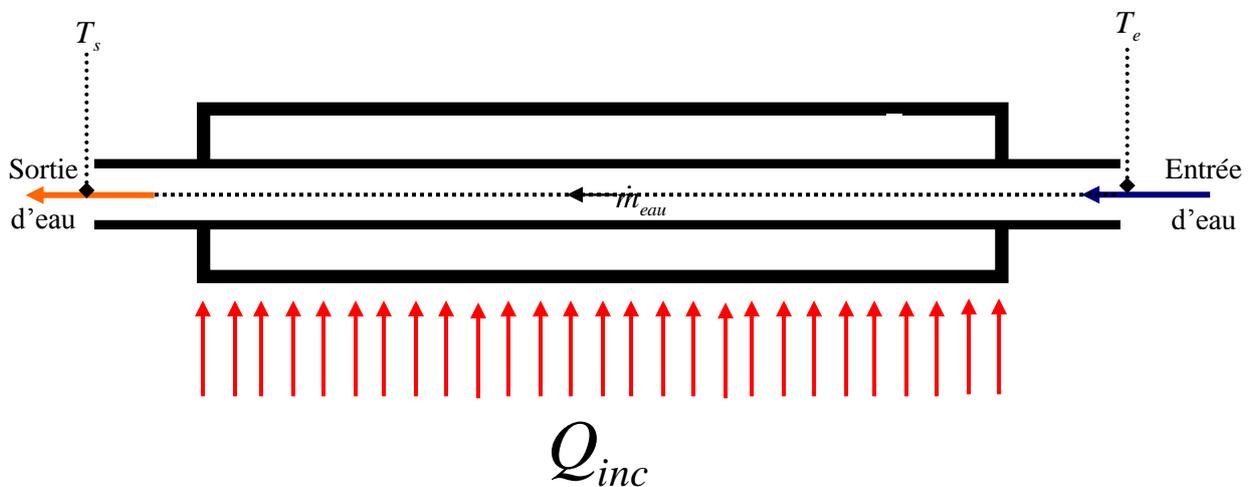
Fig.5.4 : image du prototype d'expérimentation

La lecture des données affichés par l'enregistreur permet d'une part ; l'évaluation du flux de chaleur utile en fonction de différents débits, ce qui permet de calculer l'efficacité de l'absorbeur. D'autre part ; la détermination de la constante de temps caractérisé par la durée de transfert nécessaire pour atteindre un régime thermique établi. Ce dernier est traduit par une constance de la température de sortie d'eau. La connaissance de la constante de temps d'un absorbeur solaire est d'une grande importance du point de vue énergétique, car il reflète le temps écoulé pour un maximum de transfert thermique. Alors, plus la constante de temps est faible plus l'efficacité thermique est importante.

#### 5.4. Approche thermique :

L'approche thermique adoptée a pour but d'évaluer le rendement thermique de l'absorbeur en question sous les différentes conditions opératoires. Si un flux solaire est focalisé uniformément sur la surface extérieure de l'absorbeur comme illustré sur la figure (5.5), l'échange thermique a pour effet d'augmenter la température du fluide caloporteur (eau) circulant à l'intérieur du tube. L'évaluation du rendement thermique de cet absorbeur est traduite par le rapport entre le flux utile  $Q_u$  et incident  $Q_{inc}$  comme exprimé par la relation suivante :

$$\eta_{th} = \frac{Q_u}{Q_{inc}} \quad 5.1$$



Dont ;

$$Q_u = \dot{m}_{eau} C_p (T_s - T_e) \quad 5.2$$

$$Q_{inc} = \alpha E_s A_o \quad 5.3$$

Avec  $\alpha$  est le coefficient de réflexion du concentrateur qu'égal à 0.86 selon le fournisseur.

$E_s$  est l'éclairement solaire et  $A_o$  est la surface d'ouverture du concentrateur.

## **Chapitre : 06**

### *Résultats et interprétations*

## 6.1. Introduction

Dans ce chapitre est illustré l'ensemble des résultats obtenus à travers la caractérisation expérimentale de notre concentrateur, ainsi que ceux affichés lors des essais de performance de l'absorbeur solaire. Il s'ajoute à cet ensemble, les résultats calculés à l'issue de l'application du code Soltrace détaillé dans le chapitre quatre. Ces différents résultats représentés sous formes de graphe, feront l'objet d'une comparaison visant à évaluer le degré de leurs convergences.

## 6.2. Tests de caractérisation du concentrateur

### 6.2.1. Distance focale réelle

Lors de cette étape des essais expérimentaux ont été effectués au cours d'une journée pendant laquelle on enregistré un éclairement solaire de  $620 W/m^2$ . La première série de tests consiste à déterminer la distance focale réelle de notre concentrateur. Pour se faire, Plusieurs tests ont été réalisés dans cette journée, ce qui nous a permis de prélever la température à chaque distance réglée préalablement.

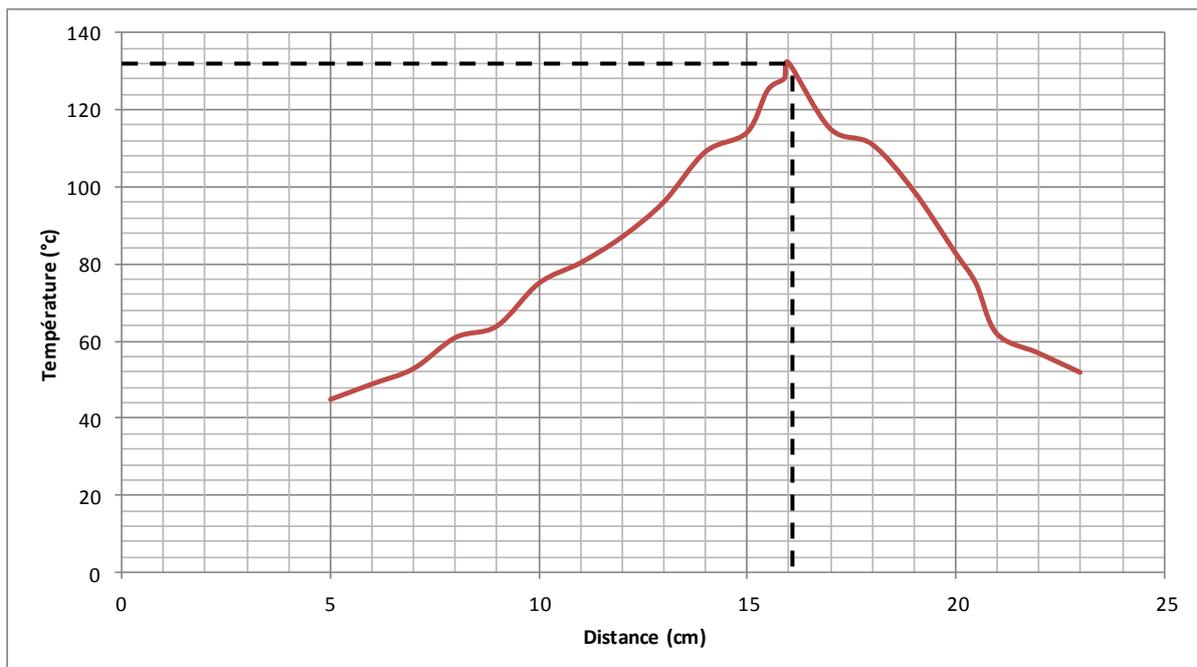


Fig.6.1 : Variation de la température en fonction de la distance de l'absorbeur.

L'allure de la figure (6.1) représentant la variation de la température prélevée au centre de l'absorbeur en fonction des distances montre que ; la distance focale réelle est enregistré à 16 cm de la base du concentrateur. A cette distance correspondre la température maximale atteinte pendant cette série d'expérience et qui vaut une valeur de 132°C.

Ce qui est remarquable est ; La différence insignifiante entre la distance focale théorique du concentrateur calculée dans le chapitre trois (15.9 cm) et celle calculée par le code Soltrace (15.88cm) avec la distance focale réelle (16 cm). Ce résultat peut être expliqué par la bonne adhérence des feuilles d'aluminium réflecteur après leur collage sur la surface primaire du concentrateur, ce qui réduit l'erreur de pente et par conséquent un taux de dispersion minimal.

### 6.2.2. Taille de la tache focale

La détermination de la taille de la tache solaire focalisée est déterminée à l'aide d'un processus expérimentale qui consiste au premier lieu, de positionner le récepteur exactement à la ligne focale réelle précédemment calculée, avant d'entamer la mesure des

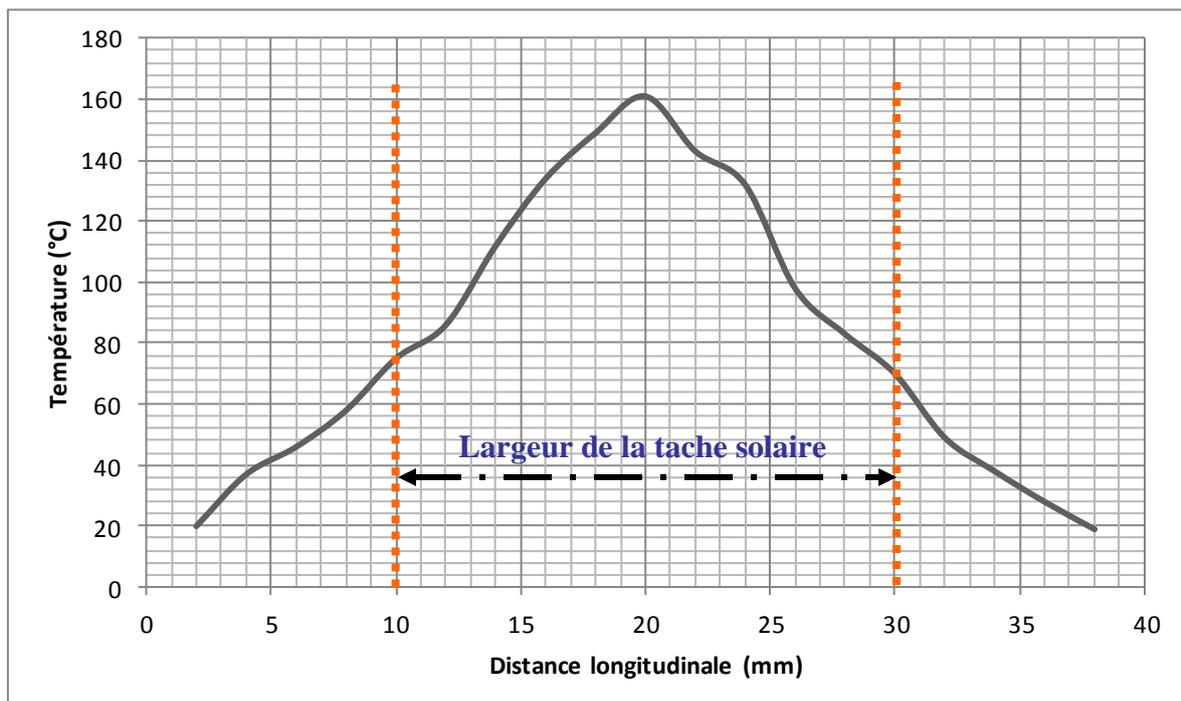


Fig.6.2 : Variation de la température en fonction de la distance longitudinale au centre l'absorbeur.

La mesure de la température dans le sens longitudinal du récepteur à des points équidistante de 2mm. Les résultats obtenus que représente la figure (6.2), indiquent que la tache solaire est délimitée par les isothermes 75 °C donnant une largeur de 20mm le long de la ligne focale. Ce résultat reflète une convergence relative avec ce détermine par le code Soltrace schématisé dans la figure (4.7) qui est de 13mm.

### 6.3. Tests de performance de l'absorbeur

#### 6.3.1. Évaluation de la constante du temps

Comme il a été indiqué dans la partie d'expérimentation, un test d'évaluation de la constante de temps a été entamé. Le test en question est effectué au-cours d'une durée de 10min dans laquelle un flux solaire moyen de 560 W/m<sup>2</sup> a été enregistré. Le débit d'eau circulant à l'intérieur du récepteur est fixé à 0.6 l/min avec une température d'entrée de 27°C. La première étape consiste à défocaliser complètement le concentrateur solaire en faisant circuler ce débit d'eau dans l'absorbeur à système ouvert jusqu'à ce que les deux températures d'entrée et de sortie d'eau s'égalisent.

Il est à noter que le temps qu'a pris cet établissement d'équilibre thermique est de 3min. la deuxième étape est entamée directement après l'établissement de l'équilibre thermique, en positionnant le concentrateur à une latitude de 36° afin de focaliser le flux solaire incident sur la surface extérieure de l'absorbeur. Un enregistrement de la température de sortie est effectué chaque 1min à l'aide d'un enregistreur digital.

A travers la figure (6.3) illustrant la variation de température de la sortie d'eau en fonction du temps, on constate clairement que cette variation passe par deux zones distinctes. La première zone est celle comprise entre 1min et 8min, caractérisée par une variation quasi linéaire de la température passant d'une valeur de 27.2°C à 31°C. Cette zone délimite la l'intervalle du régime transitoire. La deuxième zone est traduite par un maintien de la température de sortie d'eau à une valeur de 31°C, donnant naissance à un régime thermique établi (permanent) au

delà de 8 minutes. Cette dernière valeur de 8 min n'est que la constante de temps recherchée, car elle traduit la durée nécessaire pour que le régime thermique permanent de l'absorbeur

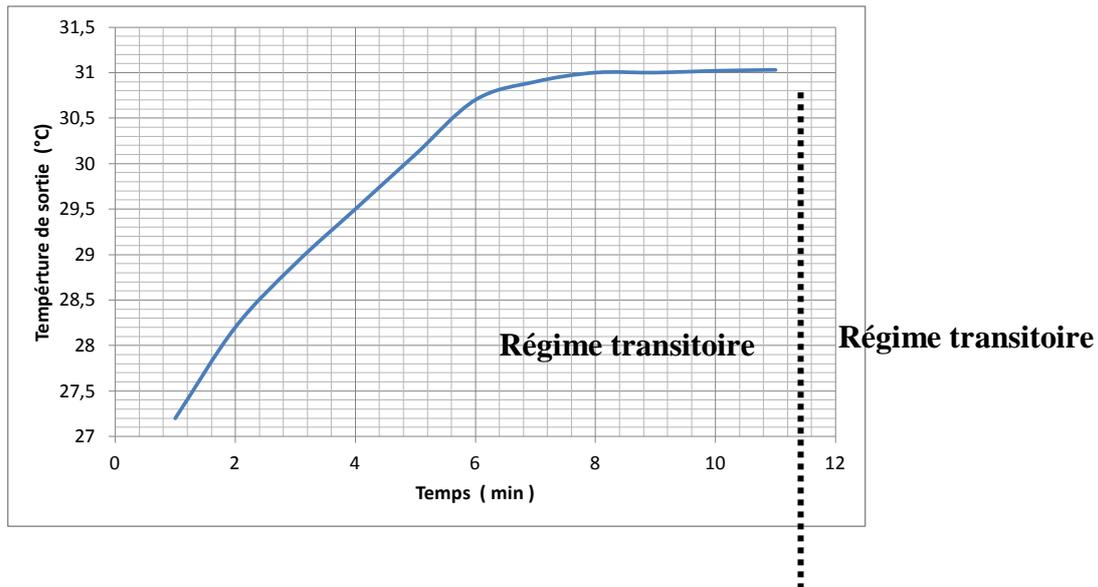


Fig.6.3 : Variation de la température de sortie d'eau en fonction du temps.

### 6.3.2. Effet de la variation du débit d'eau

En gardant les mêmes conditions opératoires avec lesquelles la constante du temps a été évaluée, sauf on fait varier le débit d'eau dans une fourchette allant de 0.5L/min à 6L/min. les résultats expérimentaux représentés sur la figure (6.4) montrent que la différence de température d'eau est sensiblement affectée par la variation du débit. Il est remarquable que lorsque le débit passe d'une valeur de 0.5 à 1L/min, la différence de température chute de 3.9°C à 1.4 °C, enregistrant un taux de variation de l'ordre de 5 °C/ (L/min). Pour des débits allant de 1 à 6L/min, une chute lente de la différence de température est enregistrée passant de 1.4°C à 0.4°C.

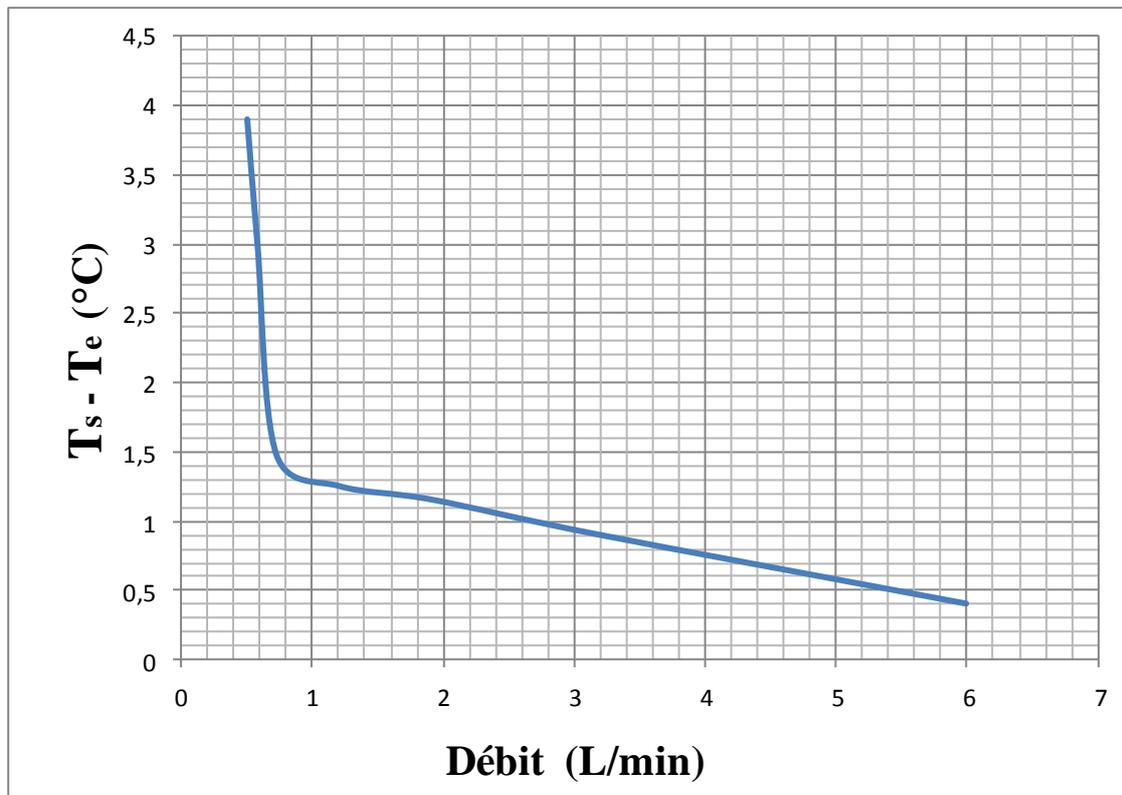


Fig.6.4 : Variation de la température de sortie d'eau en fonction du débit d'eau.

### 6.3.3. Rendement thermique de l'absorbeur

Le rendement thermique de l'absorbeur est déterminé en fonction du débit d'eau circulant dans son tube intérieur par l'application de la relation (5.1). Les résultats affichés dans la figure (6.5) montrent que le rendement thermique est sensiblement affecté par le débit du fluide caloporteur. On remarque que le rendement augmente avec l'augmentation du débit jusqu'à un maximum de 35 % enregistré à un débit de 3.18 L/min. ce résultat peut être expliqué par l'effet du régime d'écoulement sur le taux d'échange thermique dans cet intervalle de débit. Ce ci est dû essentiellement à l'augmentation du nombre de Nusselt qui caractérise le coefficient d'échange en fonction du nombre de Reynolds et du nombre de Prandtl. Au-delà de ce débit critique (3.18 l/min), le rendement thermique décroît en valeur ce qui explique la dominance de l'aspect dynamique de l'écoulement sur l'aspect thermique.

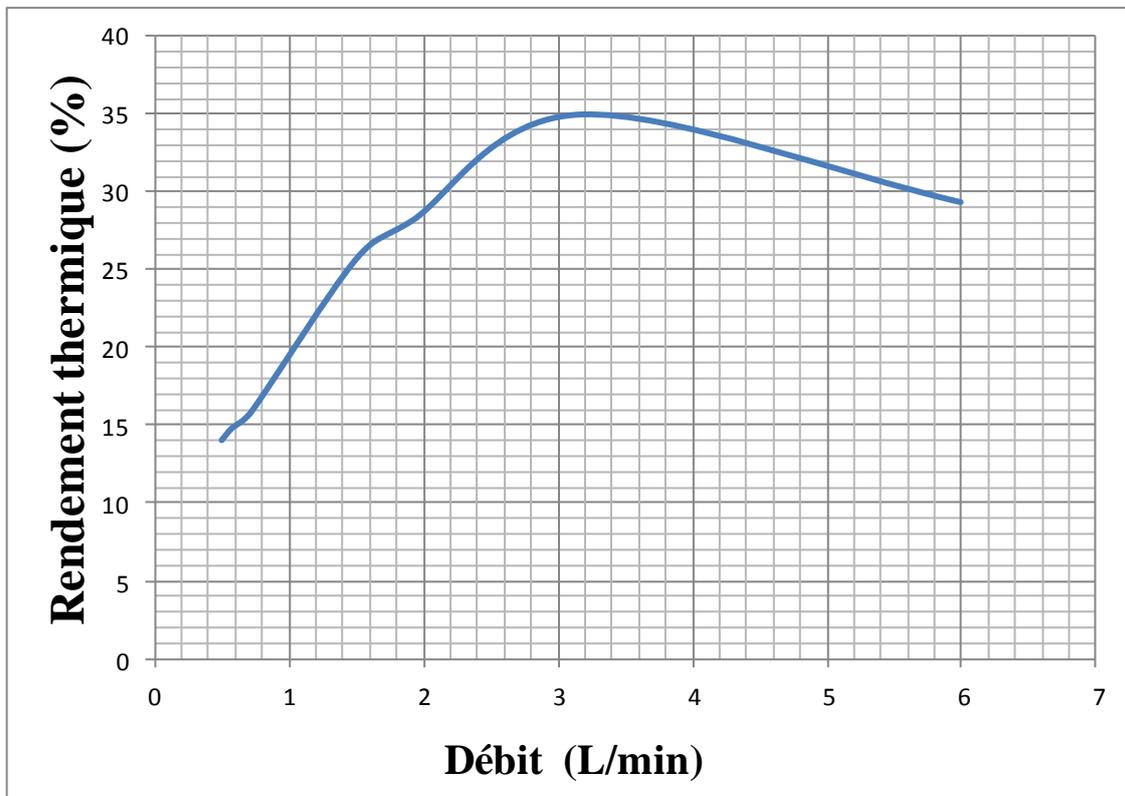


Fig.6.5 : Variation du rendement thermique en fonction du débit d'eau.

## ***Conclusion et perspectives***

## **Conclusion**

Le premier volet de ce travail a été consacré à la présentation d'une méthodologie expérimentale et analytique pour la caractérisation du concentrateur cylindro- parabolique. Il est à noter que le bon choix du réflecteur d'aluminium, ainsi que sa bonne adhérence avec la surface primaire du concentrateur présentent un impact significatif sur la réduction du taux de dispersion et par conséquent un meilleur coefficient de concentration. Ce résultat peut être approuvé par la petite différence qui existe entre la valeur de la distance focale théorique et celle déterminée expérimentalement. L'analyse expérimentale indique que le flux moyen à la zone focale est environ 82.5 kW/m<sup>2</sup>.

La mise au point de l'absorbeur solaire qui a été soumis à un processus d'expérimentation visant à déterminer son rendement thermique, a permis de mieux visualiser son comportement thermique sous différents débits du fluide caloporteur circulant dans son tube intérieur. Les résultats expérimentaux ont fait ressortir que l'absorbeur mis en œuvre est influencé par la valeur du débit du fluide affichant un rendement maximal de 35% à 3.18 litres/min. De plus, il est remarquable que le rendement thermique de l'absorbeur ne présente pas une variation linéaire avec le débit.

## **Perspectives**

A travers les étapes du déroulement de ce travail ainsi que les résultats affichés à l'issue de ce projet de fin d'étude, il apparaît clairement que nombreux points d'ombre restent à étudier afin de mieux cerner le comportement thermique des absorbeurs linéaires largement utilisés dans le solaire à concentration. Un de ces points, est l'influence de la vitesse du vent sur le rendement thermique du récepteur dont on n'a pas tenu compte dans ce travail. De plus, l'optimisation d'un tel absorbeur exige des tests expérimentaux de son

volume annulaire met sous vide afin d'éliminer la résistance thermique convective. En fin, une série d'expérimentation sous différents flux solaires et différentes latitudes est très souhaités afin de d'analyser le comportement thermique de l'absorbeur dans des conditions opératoires réelles.

- [1]. CSPToday Worldmap; <http://www.csptoday.com>.
- [2] M. Pehnt, Dynamic cycle assesement (LCA) of renewable energy technologies, *Renewable Energy* 31, 55-71, 2006
- [3] Concentrated Solar Power Global Market Initiative; <http://www.solarpaces.org>
- [4] P. Garcia, Outils d'évaluation technico-économique et d'aide à la conception des centrales solaires thermodynamiques du futur, Thèse de doctorat, université de Perpignan, 2007
- [5] S. Pincemin, X. PY, R. Olives, M. Christ, O. Oettinger, Elaboration of conductive thermal storage composites made of phase change materials and graphite for solar plant, *Proceeding of the 13th SolarPACES International Symposium, Séville, Espagn, Avril 2006*
- [6] Goffe D. Et al., (2009), The benefits of coupling a linear Fresnel field with an overheating central receiver, *Proceedings of 15th SolarPACES International Symposium, 15- 18 septembre, Berlin, Germany.*
- [7] J. Dersch, M. Geyer, U. Herrmann, S. A. Jones, B. Kelly, R. Kistner, W. Ortmanns, R. pitz-paal, H. Price, Trough integration into power plants - a study on the performance and economy of integrated solar combined cycle systems, *Energy* 29, 947-959, 2004
- [8] R. pitz-paal, J.Dersch, B. Milow, ECOSTAR Roadmap Document, Ed DLR, SES6-CT-2003-502578, 2005, <ftp://ftp.dlr.de/ecostar/>
- [9] Nepveu, F., Ferriere, A., Bataille, F., 2009, Thermal model of a dish/Stirling systems. *Solar Energy* 83, 81–89.
- [10] Collado F. & Guallar J. 2009, Design of solar tower plants heliostat by heliostat: the blocking factor, *Proceedings of 15th SolarPACES International Symposium,15-18 septembre, Berlin, Germany*
- [11] M. Neber, H. Lee, 2012. Design of a high temperature cavity receiver for residential scale concentrated solar power. *Energy* 47,481- 487
- [12] C.A. Pe´rez-Ra´bago a, M.J. Marcos b, M. Romero b, C.A. Estrada, 2006. Heat transfer in a conical cavity calorimeter for measuring thermal power of a point focus concentrator. *Solar Energy* 80, 1434–1442.
- [13] N. Sendhil Kumar, K.S. Reddy, 2007. Numerical investigation of natural convection heat loss in modified cavity receiver for fuzzy focal solar dish concentrator. *Solar Energy* 81, 846–855
- [14] J.B. Fang, N. Tu, J.J. Wei, 2013. Numerical investigation of start-up performance of a solar cavity receiver. *Renewable Energy* 53, 35-42.
- [15] Sendhil Kumar Natarajan , K.S. Reddy ,Tapas Kumar Mallick, 2012. Heat loss characteristics of trapezoidal cavity receiver for solar linear concentrating system. *Applied Energy* 93, 523–531.

