

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES  
DEPARTEMENT DE PHYSIQUE  
N° : Ph/ENR/02/2022



DOMAINE: Sciences de la matière  
FILIERE : Sciences de La Matière  
OPTION : Physique Énergétique et  
Energies Renouvelables

**Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master  
Académique**

**Par : RAHMOUNI Hadjer et LOUKRIZ Souad**

**Intitulé**

**Étude comparative de récepteurs à cavité  
spirale et conique d'un concentrateur  
paraboloïde**

Soutenu le 25 / 06 / 2022 devant le jury composé de:

TAHROUR Farouk	Université Mohamed Boudiaf - M'Sila	Président
MAHDI Khaled	Université Mohamed Boudiaf - M'Sila	Rapporteur
SALMI Mohamed	Université Mohamed Boudiaf - M'Sila	Examineur

**Année universitaire : 2021 /2022**

## *Remerciements*

Avant tout, je remercie **ALLAH**, le tout puissant, de m'avoir donné le courage et la volonté pour accomplir ce travail de recherché.

Je remercie Dr MAHDI Khaled d'avoir accepté d'être mon encadreur de mémoire, ses conseils et son soutien ont été pour moi un vrai support scientifique et personnel.

J'adresse mes remerciements à monsieur le président Docteur TAHROUR Farouk de jury et Professeur SALMI Mohamed d'avoir accepté de me faire l'honneur de juger ce travail et de participer au jury de ce mémoire.

## ***Dédicace***

Je dédie cet humble travail à mon honorable famille, à commencer par mes généreux parents, mes sœurs, mes frères, mon mari, et au plaisir de mon foie, et à tous Mes amis et petites amies et à tous ceux que je connais de près ou de loin.

***RAHMOUNI Hadjer***

## ***Dédicace***

Je dédie cet humble travail à mon honorable famille, à commencer par mes généreux parents, mes sœurs, ~~mes~~ frères, mon mari, et au plaisir de mon foie, et à tous Mes amis et petites amies et à tous ceux que je connais de près ou de loin.

***LOUKRIZ Souad***

<b>Introduction générale .....</b>	<b>1</b>
 <b>Chapitre I: Différentes ressources énergétiques</b>	
I.1 Introduction.....	4
I.2 Manifestations naturelles de l'énergie.....	4
I.2.1 Énergie solaire.....	4
I.2.2 Manifestations de l'énergie dans l'hydrosphère .....	5
I.2.2.1 Énergie hydraulique.....	5
I.2.2.2 Énergie marémotrice.....	5
I.2.2.3 Énergie des vagues et des courants .....	5
I.2.3 Manifestations de l'énergie dans l'atmosphère.....	6
I.2.3.1 Énergie éolienne .....	6
I.2.4 Manifestations de l'énergie dans la biosphère .....	7
I.2.4.1 Énergie de la biomasse .....	7
I.2.5 Manifestations de l'énergie dans la lithosphère .....	7
I.2.5.1 Énergies fossiles .....	7
I.2.5.2 Énergie géothermique.....	8
I.2.5.3 Énergie nucléaire.....	8
I.3 Ressources énergétiques renouvelables et non renouvelables .....	8
I.3.1 Ressources naturelles renouvelables .....	8
I.3.2 Ressources naturelles non renouvelables .....	9
I.4 Conclusion.....	9
 <b>Chapitre II : Capteur à concentration</b>	
II.1. Introduction.....	10
II.2. Capteur solaire plan .....	10
II.2.1 Capteur solaire à eau .....	10
II.2.2 Capteur à ruissellement .....	10
II.2.3 Capteur à air.....	10
II.2.4 Capteur à type évacués.....	11
II.3 Concentrateurs.....	11
II.3.1.1 Lois de Descartes relatives à la réflexion .....	12
II.3.1.2 Stigmatisme.....	12
II.3.2 Définition de la concentration .....	12
II.3.3 Concentration géométrique.....	13
II.3.4 Concentration optique (énergétique) .....	13

II.3.5 Formules de calcul de différentes concentrations.....	14
II.3.6 Concentrateur Fresnel .....	14
II.3.7 Concentrateur Centrale à tour.....	15
II.3.8 Capteurs solaires fixes à concentration.....	16
II.3.9 Concentrateur parabolique .....	16
II.3.10 Concentrateur cylindro- parabolique .....	17
II.4 Conclusion.....	17

**Chapitre III: Outil utilisé pour la simulation**

III.1 Introduction.....	18
II.2 Introduction à la CFD.....	18
II.2.1 Méthode analytique.....	18
II.2.2 Méthode expérimentale.....	18
II.2.3 Approche numérique .....	18
III.3 Équations gouvernantes de CFD.....	19
III.3.1 Équations de continuité.....	19
III.3.2 Équation de conservation de la quantité de mouvement .....	19
III.3.3 Équation de conservation de l'énergie .....	20
III.3.4 Techniques de discrétisation .....	20
III.4 Modélisation de la turbulence .....	9
III.5 Utilisation de la CFD.....	22
III.5.1 Pré-processeur.....	23
III.5.2 Solveur.....	23
III.5.3 Post-processeur .....	24
III.6 Méthode de Monte Carlo .....	24
II.6.1 Description sur logiciel SolTrace.....	24
II.6.2 Principe de fonctionnement.....	24
II.6.3 Principe de fonctionnement.....	25

**Chapitre IV: Résultats de la simulation de SolTrace & CFD**

IV.1 Introduction.....	28
IV.2 Présentation de la conception.....	28
IV.2.1 Proposition de dimension de capteur parabolique.....	29
IV.2.2 Résultats de la simulation du model sur SolTrace.....	30
IV.2.3 Conditions aux limites et initiales .....	32
IV.2.3.1 Conditions aux limites .....	32

IV.2.3.2 Conditions initiales .....	33
IV.2.4 Création de la géométrie et de maillage.....	34
IV.3 Test de convergence .....	35
IV.4 Exploitations des résultats de Fluent.....	35
IV.5 Conclusion.....	40
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>41</b>
Références bibliographiques.....	42

## Nomenclature

### lettres latines

- $C_{id\acute{e}ale}$  : Concentration géométrique idéale  
 $C_g$  : Concentration géométrique  
 $C_o$  : Concentration optique (énergétique)  
 $A_{ref}$  : Section d'ouverture du concentrateur caractérisée par l'angle  $\theta$ ,  $m^2$   
 $A_G$  : surface de l'image de Gauss du soleil,  $m^2$   
 $A_R$  : surface de l'image réelle du soleil dans le plan focal  
 $f$  : Vitesse du vent (m/s)  
 $I_{DN}$  : Eclairement solaire direct,  $W/m^2$   
 $I_{ref}$  : Eclairement solaire direct dans la section d'ouverture du concentrateur,  $W/m^2$   
 $D$  : Diamètre, m  
 $\dot{Q}_{\acute{e}le}$  : Puissance électrique, W  
 $t$  : Temps (s)  
 $\dot{Q}$  : Flux thermique, W  
 $x,y,z$  : Coordonnées cartésiennes  
 $h$  : Coefficient de transfert de chaleur par convection, ( $W/m^2 K$ )  
 $S_k$  : Termes source de l'énergie cinétique  
 $S_\epsilon$  : Terme source de l'énergie de dissipation  
 $C_{1\epsilon}$  : 1,42  
 $C_{2\epsilon}$  : 1,68  
 $k$  : Energie cinétique turbulente  
 $Re$  : Nombre de Reynolds  
 $Gr$  : Nombre Grashof  
 $D_h$  : Diamètre hydraulique, (m)  
 $l$  : Longueur de la turbulence, (m)  
 $I_{si}$  : Intensité locale de la source  
 $I$  : Intensité de la turbulence

### lettres grecques

- $\theta$  : L'angle d'ouverture du concentrateur  
 $\phi$  : Demi-angle d'ouverture du concentrateur  
 $\alpha_r$  : Coefficient d'absorption  
 $\epsilon_r$  : Emissivité

$\rho$	: Masse volumique, ( $\text{kg/m}^3$ )
$c_p$	: Chaleur spécifique, ( $\text{J/kg}^\circ\text{C}$ )
$\lambda$	: Conductivité thermique, ( $\text{W/m}^\circ\text{C}$ )
$\mu$	: Viscosité dynamique, ( $\text{kg/m s}$ )
$\beta$	: Coefficient d'expansion thermique, ( $\text{K}^{-1}$ )
$\delta_{ij}$	: Indice de Kronecker
$\sigma$	: Constante de Stefan-Boltzmann, ( $\text{W/m}^2/\text{K}^4$ )
$\Omega, \Omega'$	: Angle solide (degrés, radians, gradians)

Liste des figures

Figure I.1	: Image de soleil.....	4
Figure I.2	: Panneaux solaires photovoltaïques.....	4
Figure I.3	: Hydrolienne servant à capter les courants marins.....	6
Figure I.4	: Barrage hydroélectrique.....	6
Figure I.5	: Eolienne. de type offshores.....	6
Figure I.6	: Combustion du bois.....	7
Figure I.7	: Centrale géothermique en Islande.....	8
Figure I.8	: Centrale nucléaire.....	8
Figure.II.1	: Utilisation du rayonnement solaire dans le capteur.....	11
Figure II.2	: Réflexion d'un rayon lumineux.....	12
Figure II.3	: Stigmatisme.....	12
Figure II.4	: Schéma d'un capteur solaire à concentration.....	14
Figure II.5	: Centrale de Fresnel.....	15
Figure II.6	: Concentrateur centrale a tour.....	16
Figure II.7	: Concentrateurs paraboliques.....	16
Figure II.8	: Concentrateur cylindro- parabolique.....	17
Figure II.9	: Interface de logiciel Soltrace.....	25
Figure III.1	: Introduire les propriétés optiques .....	25
Figure III.2	: Entrer les propriétés optiques de l'absorbeur.....	26
Figure III.3	: Entrer les dimensions de réflecteur.....	26
Figure IV.1	: Concentrateur exposé au soleil.....	28
Figure IV.2	: Caracteristiques d'un miroir parabolique.....	29
Figure IV.3	: Variation de la distance focale en fonction de la profondeur h de la Parabole pour un diamètre $D = 1$ m.....	29
Figure IV.4	: Représentation de l'influence de rayonnement concentré en fonction de f et h.....	30
Figure IV.5	: Sorties de Soltrace représente la dimension de la tache solaire en fonction de f et h.....	32
Figure IV.6	: Représentation des conditions aux limites.....	32
Figure IV.7	: Nominations des conditions aux limites.....	33
Figure IV.8	: Représentation de deux type d'absorbeurs/Recepteurs.....	33
Figure IV.9	: Représentation le détaillée de maillage sur la sortie et la paroi latérale	

---

	de spiral conique.....	34
Figure IV.10	: Réalisation et représentation de maillage de spiral conique par Gambit..	34
Figure IV.11	: Réalisation et représentation de maillage de spiral plan par Gambit.....	35
Figure IV.12	: Evolution des résidus.....	35
Figure IV.13	Présentation de la distribution de flux solaire concentré exprimé en W/m <sup>2</sup> sur le tube absorbeur de spiral conique.....	36
Figure IV.14	Présentation de la distribution de flux solaire concentré exprimé en W/m <sup>2</sup> sur le tube absorbeur de spiral plan.....	36
Figure IV.15	: Représentation la distribution de de température et la vitesse.....	37
Figure IV.16	: Distribution de rayonnement concentré Q <sub>c</sub> et la température de récepteur T <sub>r</sub> de spiral conique.....	39
Figure IV.17	: Distribution de rayonnement concentré Q <sub>c</sub> et la température de récepteur T <sub>r</sub> de spiral conique.....	39

**Liste des tableaux**

Tableau IV.1	: Paramètres des configurations étudiées absorbeur de spiral.....	38
Tableau IV.2	Les propriétés thermo-physiques.....	39

# **Introduction générale**

La consommation d'énergie a augmenté dans le monde entier en raison des nouvelles tendances du mode de vie. Avec les menaces de réchauffement climatique et l'augmentation du coût de l'énergie, l'utilisation de sources d'énergie renouvelables et durables devient de plus en plus populaire. L'énergie solaire est la source la plus abondante et son utilisation est la plus répandue. Les capteurs solaires sont des dispositifs d'échange de chaleur qui captent le rayonnement solaire incident et en transforment une partie en chaleur utile. Cette chaleur est transmise à un fluide afin d'être transférée à la charge ou au dispositif de stockage. Le niveau de température du fluide détermine son flux d'énergie qui est également un paramètre important pour les applications à haute température. Afin d'augmenter la température du fluide et son flux d'énergie, des capteurs à concentration sont utilisés dans de nombreuses applications. Les capteurs solaires thermiques ont été largement utilisés pour concentrer le rayonnement solaire et le convertir en chaleur utile pour divers processus thermiques. Les caractéristiques des capteurs solaires thermiques, en particulier le type à concentration, sont bien établies dans la littérature de recherche et ont de nombreuses applications dans l'industrie et pour le chauffage de l'eau sanitaire et la production de vapeur [1, 2]. Le principe de fonctionnement des capteurs solaires à concentration est la focalisation du rayonnement solaire incident sur une petite zone appelée récepteur. Il existe de nombreux types de capteurs à concentration, avec des facteurs de concentration et des niveaux de température de fonctionnement différents. Les capteurs paraboliques linéaires, les capteurs paraboliques composés, les capteurs de Fresnel et les capteurs paraboliques sont les capteurs à concentration les plus répandus. En général, l'utilisation de l'énergie solaire thermique peut être séparée en systèmes à basse, moyenne, et haute température. Les systèmes solaires à basse température, qui fonctionnent sans concentration de lumière solaire, ont un faible rendement de conversion et sont utilisés dans des applications domestiques. Les systèmes solaires thermiques à moyenne et haute température, qui nécessitent une concentration de rayonnement solaire, ont un rendement de conversion plus élevé [3, 4] et peuvent être utilisés dans une grande variété d'applications.

Au cours des dernières années, les capteurs solaires paraboliques sont les capteurs à concentration concentrés qui ont fait l'objet d'études plus qu'intéressantes car il existe de nombreuses conceptions de la forme de l'absorbeur (spirale, cavités, tubes, etc.). Pavlović et al. [5] ont présenté un modèle mathématique et physique du nouveau type de capteur parabolique concentrique décalé. Nouveau concentrateur parabolique de type offset avec un absorbeur en spirale pour calculer sa performance optique.

Le concentrateur parabolique conçu est un concentrateur solaire à faible coût pour des applications à moyenne température. Les mêmes chercheurs [6] ont également développé un modèle mathématique d'un concentrateur solaire parabolique basé sur des facettes plates carrées, qui peut être construit facilement et à bon marché. De nombreuses études relatives aux capteurs solaires paraboliques se concentrent sur l'analyse optique, car celle-ci dépend de la qualité de l'image. Habituellement, l'analyse optique des concentrateurs solaires a été effectuée à l'aide des programmes informatiques de traçage de rayons (ray tracing). Cette méthode est articulée sur le calcul de la performance optique du capteur, mais elle suppose aussi que la source de rayonnement (soleil) est un disque uniforme.

Saleh Ali et al. [7] ont présenté une étude intéressante qui vise à développer un concentrateur solaire statique qui peut être utilisé comme une technologie à bon marché sert à la production d'eau chaude mobile dans les régions rurales à l'Inde. Ils ont utilisé le logiciel de traçage de rayons pour évaluer la performance optique d'un concentrateur statique 3-D elliptique hyperboloïde. L'optimisation du profil et de la géométrie du concentrateur et de la géométrie du concentrateur afin d'améliorer les performances globales du système. Kaushika et Reddy [8] ont utilisé une antenne parabolique de 2,405 m de diamètre avec un cadre en aluminium comme réflecteur afin de réduire le poids de la structure et le coût du système de concentration solaire. La température moyenne de la vapeur produite était d'environ 300 °C, lorsque l'absorbeur était placé au point focal. Le coût final de ce système était d'environ 950\$ us. Reddy et al. [9] ont expérimenté un système solaire parabolique de 20 m<sup>2</sup> de surface afin d'étudier ses performances avec le récepteur à avec le récepteur avec une cavité modifiée. La valeur moyenne du coefficient de perte de chaleur global s'est avérée à de valeur de 356 W/m<sup>2</sup>. Jones et Wang [10] ont calculé la distribution du flux sur un récepteur cylindrique de concentrateur parabolique en utilisant la méthode de l'optique géométrique. Les paramètres tels que les erreurs de surface du concentrateur, les erreurs de décalage de pointage et la forme du soleil ont été pris en compte dans la méthode d'optique géométrique. Méthode d'optique géométrique. Pavlović et al. [11] ont présenté une conception optique avec une analyse par Raytracing d'un concentrateur solaire parabolique composé de d'un concentrateur solaire parabolique composé de douze facettes réfléchissantes trapézoïdales curvilignes.

L'objectif de ce travail est de comparer deux récepteurs à cavité pour un concentrateur solaire. Les cavités ont deux formes géométriques différentes : la première un tube en forme spirale plan et la deuxième un tube en spirale est façonner sous forme conique. En utilisant deux logiciels pour la simulation. Le premier analysé optiquement par SolTrace, et la deuxième étude à l'aide de Fluent pour étudier thermiquement au niveau les deux récepteurs, pour

différentes températures d'entrées et de différents débits. Les résultats que nous avons obtenus par la simulation, montrent la différence entre plusieurs paramètres physiques de ces deux récepteurs.

L'objectif de ce travail est de présenter la conception optique d'un concentrateur solaire simple à bon marché qui va utiliser comme un outil de concentration de rayonnement solaire pour les températures moyennes, pour répondre les besoins quotidiennes en eau sanitaire. Cette étude comporte les chapitres suivants :

**Le premier chapitre :** représente une description générale sur les différentes ressources énergétiques.

**Le deuxième chapitre :** porte sur une étude bibliographique sur les notions de base de la concentration solaire, nous avons aussi basé beaucoup plus sur le capteur à concentration.

**Le troisième chapitre :** contient une description sur les outils de calcul, nous avons discuté un peu sur le SolTrace pour caractérisé notre tache solaire et sa distribution sur le tube spiral et conique puis nous avons aussi discuté sur le principe de calcul de Fluent.

**Le quatrième chapitre :** résultats et interprétations.

On finira notre étude par une conclusion générale.

# **Différentes ressources énergétiques**

## I.1 Introduction

Le monde qui nous entoure est composé de matière, mais aussi d'énergie. La matière, d'un côté, est composée d'atomes et comprend tout ce qui est solide, liquide ou gazeux. En comparaison, l'énergie est impossible à observer. On peut en constater la présence par l'observation de ses effets. Par exemple, lorsque le vent souffle, on ne le voit pas. On peut par contre observer le mouvement des feuilles qui sont déplacées par le vent, ce qui représente un effet de l'énergie éolienne. L'énergie est donc définie comme étant la capacité de provoquer un changement. Dans le Système international d'unités, **l'énergie s'exprime en joule**. Un joule (J) correspond à l'énergie nécessaire pour soulever un objet ayant un poids d'un newton (N) sur une distance d'un mètre (m) Un joule correspond également à l'énergie nécessaire pour faire augmenter la température de 0,24 g d'eau de 1°C [4].

## I.2 Les manifestations naturelles de l'énergie

Dans la nature, l'énergie se manifeste sous plusieurs formes. L'homme a développé des moyens servant à transformer les manifestations naturelles de l'énergie en énergie utile, comme l'électricité, afin de combler ses besoins quotidiens. Ainsi, en plus de l'énergie solaire, on peut retrouver diverses formes d'énergie dans les différentes sphères de la Terre [5].

### I.2.1 L'énergie solaire

Le Soleil libère une énorme quantité d'énergie. L'énergie solaire est donc reliée à la partie du rayonnement solaire qui traverse l'atmosphère et qui parvient jusqu'à la Terre.

L'être humain peut directement utiliser le rayonnement solaire pour combler ses besoins. Par exemple, le Soleil nous permet de s'éclairer ou encore de chauffer un bâtiment en l'orientant en fonction du rayonnement. Il est aussi possible de transformer l'énergie solaire en une forme d'énergie utile, notamment en énergie électrique à l'aide de panneaux solaires photovoltaïques.

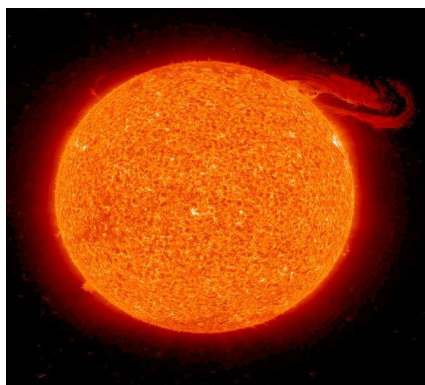


Figure I.1: Soleil [7].



Figure I.2: Panneaux solaires photovoltaïques [7].

L'énergie solaire est aussi à la base de toutes les autres manifestations naturelles de l'énergie. Par exemple, le cycle de l'eau est engendré par la formation de vapeur d'eau sous la chaleur du rayonnement solaire, les courants atmosphériques résultent des différences de températures entre deux masses d'air, et la photosynthèse, qui permet d'emmagasiner de l'énergie chimique dans les êtres vivants, serait impossible en l'absence du soleil.

### **I.2.2 Manifestations de l'énergie dans l'hydrosphère**

Le cycle de l'eau est dû à l'énergie solaire. Sous l'effet de la chaleur du rayonnement solaire, l'eau s'évapore dans l'atmosphère. La vapeur d'eau s'y condense et libère alors toute l'énergie qu'elle a emmagasinée, ce qui contribue à réchauffer l'air. Lors des précipitations, l'eau retournera dans les lacs, les rivières et les océans et le cycle pourra alors recommencer.

Les différents mouvements de l'eau produisent de l'énergie. On distingue trois manifestations de l'énergie dans l'hydrosphère [5-6].

#### **I.2.2.1 Energie hydraulique**

Est l'énergie reliée au mouvement de l'eau, principalement sous l'action de la gravité. Le courant d'une rivière ou d'une chute procure de l'énergie hydraulique en quantité proportionnelle à l'intensité du mouvement. On peut transformer cette forme d'énergie en électricité à l'aide de centrales hydroélectriques. C'est d'ailleurs la principale source d'électricité au Québec.

#### **I.2.2.2 Energie marémotrice**

Est l'énergie reliée aux mouvements périodiques des océans, les marées. On exploite cette source d'énergie dans les endroits où les marées sont de fortes amplitudes, principalement sur les côtes européennes. En Amérique du Nord, on ne retrouve qu'une centrale marémotrice en Nouvelle-Écosse, à l'embouchure de la baie de Fundy.

#### **I.2.2.3 Energie des vagues et des courants**

Est l'énergie reliée au mouvement de l'eau lors de la production de vagues par le vent et lors des courants marins à grandes échelles. Bien que les vagues possèdent une quantité importante d'énergie, cette source est peu utilisée puisqu'elle varie beaucoup en fonction de l'intensité des vagues. Aussi, certains courants marins, tels que le Gulf Stream ou le courant du Labrador, se déplacent à très grande vitesse. Leur énergie est donc importante due à cette vitesse, mais elle est difficile à exploiter puisqu'elle se situe en pleine zone océanique. Il s'agit donc d'une source d'énergie peu exploitée.



**Figure I.3:** Hydrolienne servant à capter les courants marins [7].



**Figure I.4:** Barrage hydroélectrique [7]

### **I.2.3 Manifestations de l'énergie dans l'atmosphère**

Les courants atmosphériques sont causés par la combinaison de deux facteurs : la rotation de la terre et le réchauffement inégal des différentes régions de la planète. Ainsi, le rayonnement solaire est à la base des manifestations énergétiques observées dans l'atmosphère. La principale manifestation observée est le vent.

#### **I.2.3.1 Energie éolienne**

Est l'énergie générée par le vent, c'est-à-dire par le déplacement des masses d'air. Le vent est généré lors d'une différence de température, conséquemment de pression, entre les masses d'air. L'air a alors la tendance à se déplacer l'aire d'une région froide vers une région plus chaude. Le vent ainsi produit peut être directement utilisée par l'homme pour aérer les maisons pour se rafraichir ou bien utiliser pour sécher le linge à l'extérieure d'une maison. Il utilise aussi certains dispositifs, particulière les éoliennes sont utilisées pour transformer le vent en énergie électrique. Voici un dispositif permettant d'utiliser l'énergie de l'atmosphère.



**Figure I.5:** Eoliennes de type offshores.

## **I.2.4 Manifestations de l'énergie dans la biosphère**

L'énergie du Soleil est à la base de la vie sur Terre. En plus de créer un climat habitable, elle rend possible la photosynthèse des végétaux. L'énergie solaire est alors transformée en énergie chimique qui sera ensuite utilisable par tous les êtres vivants. Les végétaux forment d'ailleurs la base de toute chaîne alimentaire. La forme d'énergie contenue dans le vivant se nomme énergie de la biomasse [5-6].

### **I.2.4.1 Energie de la biomasse**

est l'énergie emmagasinée dans les organismes vivants. Le terme biomasse est un synonyme de matière organique. Cette forme d'énergie est utilisable de diverses façons. Par exemple, c'est en consommant de la biomasse (en mangeant) que l'être humain retrouve l'énergie nécessaire au fonctionnement de son corps. Il est aussi possible de brûler de la matière organique, comme du bois, afin de se réchauffer. Finalement, la combustion de matière organique peut nous permettre de convertir l'énergie de la biomasse en énergie électrique. On appelle parfois cette transformation la bioénergie.



**Figure I.6:** Combustion du bois.

## **I.2.5 Manifestations de l'énergie dans la lithosphère**

La lithosphère contient trois grandes sources d'énergie utilisées par l'homme. Deux d'entre elles, l'énergie géothermique et l'énergie nucléaire, n'ont pas d'origine solaire. Toutefois, l'énergie contenue dans les combustibles fossiles a un lien avec le soleil puisque ces combustibles sont issus de la décomposition d'êtres vivants.

### **I.2.5.1 Energies fossiles**

Proviennent de la transformation de végétaux en substance minérale. Pendant des millions d'années, des débris organiques de même que des êtres vivants morts se sont lentement décomposés et, en absence d'oxygène et sous de fortes pressions, se sont transformés en combustibles fossiles. Ces combustibles sont le charbon (forme solide), le pétrole (forme

liquide) et le gaz naturel (forme gazeuse). On les utilise principalement pour le transport et pour la production d'électricité.

### **I.2.5.2 Energie géothermique**

Est l'énergie reliée à la chaleur interne de la Terre. Le magma situé sous la lithosphère transmet sa chaleur à l'eau souterraine et au sous-sol de la croûte terrestre. L'eau, alors réchauffée par la chaleur intense, peut remonter à la surface sous forme de vapeur d'eau. Les geysers et les sources thermales sont des manifestations naturelles de ce phénomène. On peut aussi utiliser cette chaleur dans des systèmes de chauffage à eau chaude ou encore la transformer en énergie électrique à l'aide de centrales géothermiques.

### **I.2.5.3 Energie nucléaire**

Est contenue dans le noyau des atomes de certains éléments chimiques. Ces éléments, dits radioactifs, dégagent naturellement un rayonnement très énergétique. Bien qu'elle soit difficile à contrôler, on utilise souvent ce type d'énergie pour la transformer et produire de l'électricité.



**Figure I.7:** Centrale géothermique en Islande



**Figure I.8:** Centrale nucléaire

## **I.3 Ressources énergétiques renouvelables et non renouvelables**

De façon naturelle, l'énergie se présente sous plusieurs formes: solaire, éolienne, marémotrice, etc. De nombreuses ressources naturelles sont utilisées par l'homme pour combler ses besoins en énergie. Ainsi, l'être humain a su tirer profit des ressources naturelles qui l'entourent pour combler ses besoins, pour se réchauffer, s'alimenter ou construire des abris.

Selon la disponibilité des ressources naturelles et leur vitesse de renouvellement, on a classé les différentes ressources en deux catégories [6] :

### **I.3.1 Ressources naturelles renouvelables**

Une ressource énergétique renouvelable est une ressource qui n'est pas détruite lors de son utilisation et/ou qui possède la capacité de se renouveler naturellement au moins à la même vitesse qu'elle est utilisée.

L'exploitation d'une ressource renouvelable se fait moins rapidement que son renouvellement. On accorde maintenant beaucoup d'importance aux énergies renouvelables. Il s'agit de sources d'énergie qui se renouvellent suffisamment rapidement, de sorte qu'elles peuvent être considérées comme presque inépuisables. Parmi les énergies renouvelables, on compte celle qui provient du Soleil, des biocarburants (la culture d'éthanol par exemple), de l'eau, du vent, de la chaleur du sol, etc. Attention, une source d'énergie renouvelable n'est pas nécessairement une source d'énergie verte (énergie propre).

On considère les sources d'énergie suivantes comme des ressources renouvelables:

- l'énergie solaire
- l'énergie éolienne
- l'énergie hydraulique
- l'énergie marémotrice
- l'énergie des vagues et des courants
- la biomasse
- l'énergie géothermique

### **I.3.2 Ressources naturelles non renouvelables**

Les ressources naturelles existent parfois en quantités limitées. On parle de ressources naturelles non renouvelables lorsque la période de renouvellement d'une ressource est relativement longue, voire parfois trop longue (dont la durée peut notamment dépasser le temps d'une vie humaine).

En fait, ce type de ressource se renouvelle moins rapidement que l'exploitation qu'on en fait.

On considère les sources d'énergie suivantes comme des ressources non renouvelables:

- L'énergie fossile
- L'énergie nucléaire

### **I.4 Conclusion**

L'utilisation des énergies renouvelables actuellement est dispensable pour la protection de l'environnement. L'exploitation des matériaux abandonnés ou recyclés est une obligation économique et environnementale. Il existe de nombreuses méthodes qui doivent être prises en compte pour l'exploitation de l'énergie solaire par des projets basés sur les capteurs à concentrations solaires, qui ne demande pas à l'état un grand budget et simple à réaliser.

**Capteur à concentration**

## II.1 Introduction

Les capteurs solaire peuvent être classés en plusieurs catégories on distingue selon les types des captations d'énergie solaire:

- Les capteurs solaires plans.
- Les capteurs à concentration.

## II.2 Le capteur solaire plan [8]

Le capteur solaire plan il est constitué des parties principales :

La partie avant qui est exposé au rayonnement, c'est une couverture qu'est généralement en verre simple ou double destinée à réduire les pertes vers l'avant de l'absorbeur par rayonnement (effet de serre), et par convection (effet de lame d'air immobile). Elle doit résister aux changements de la température aux intempéries et recevoir le rayonnement sans réflexion ni diffusion importante. L'absorbeur est un panneau noir pourvu d'un réseau de tube de forme spirale où le fluide caloporteur circule.

Dans la partie arrière qui est le boîtier contenant le tout et les parois sont tapissés d'une couche isolante destinée à réduire les pertes de l'absorbeur vers l'arrière ou les cotés. Les capteurs les plus utilisés sont les capteurs plans orientés le plus souvent vers le sud et inclinés par rapport à l'horizontale d'un angle pouvant être adapté à chaque saison.

### II.2.1 Le capteur solaire à eau

Dans ce type de capteur on distingue deux formes de système :

Les systèmes à basse pression de circulation, et les systèmes à haut pression de circulation. On emploie les systèmes à basse pression pour le chauffe-eau industrielle dans le cas d'un système à circulation ou lorsque l'emploi d'un chauffage dans les foyers domestiques de certaines régions du monde. Dans les systèmes à basse pression, il suffit utiliser une bonde plastique mince comme réservoir d'eau. Le plastique doit cependant être suffisamment épais pour supporter les conditions atmosphériques.

### II.2.2 Le capteur à ruissellement

Dans ce type de capteur, l'absorbeur a le meilleur contact avec l'énergie incident, c'est-à-dire le rendement thermique est meilleur (mais pertes de charge importantes). Ce type d'isolateur est utilisé pour le chauffage d'eau.

### II.2.3 Le capteur à air

Ce type de capteur est constitué d'une couche absorbante à dos isolé, refroidie par un courant d'air circulant entre l'absorbeur et un absorbeur poreux. On peut employer à cet effet du tissu

noir de la fibre de verre noircie des écrans rainurés et étirés de la laine d'acier ou des assemblages de lamelles.

### II.2.4 Le capteur à type évacués

Le capteur est constitué de plusieurs tubes en verre dans lesquels sont placés les absorbeurs. Ils sont montés en série. Les tubes sont mis dans les vides ce qui permet de réduire les pertes thermique par convection et par conduction. Le capteur est composé d'un récipient rempli d'une certaine quantité de fluide volatile qui fonctionne comme milieu caloporteur à fois que le fluide s'évapore et se condense. Plus précisément, le rayonnement solaire fait évaporer le fréon qui se charge de chaleurs latentes, laquelle est transmise au liquide caloporteur lors de sa condensation. Il existe également des capteurs à tubes évacués qui fonctionnent plus simplement en circuit direct. La (Figure II.1.) montre l'utilisation du rayonnement solaire dans le capteur.

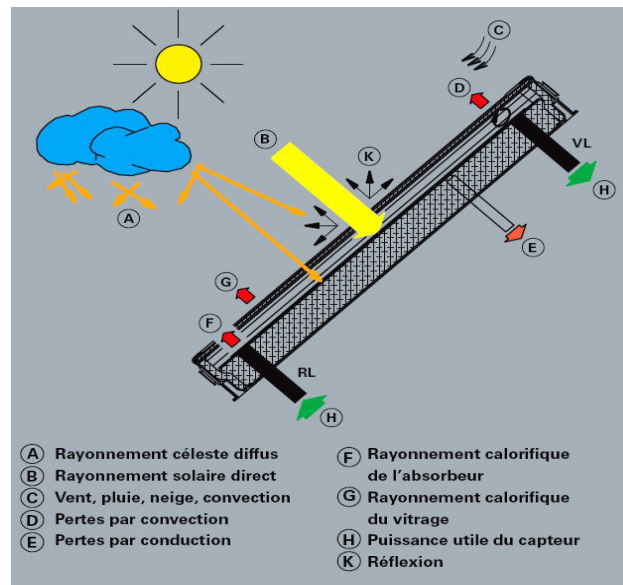


Figure II.1 : Utilisation du rayonnement solaire dans le capteur.

### II.3 Les concentrateurs

L'énergie solaire est à l'origine de richesses énergétiques telles que le charbon, le pétrole et le gaz. L'énergie solaire est utilisée depuis de nombreux siècles de façon plus ou moins indirecte pour, par exemple, chauffer. Ensuite le capteur à concentration est un capteur solaire comportant un système optique (réflecteur, lentilles, ...) destiné à concentrer sur l'absorbeur le rayonnement reçu (d'où le nom de capteur à concentration). Naturellement ces concentrateurs doivent suivre le mouvement du soleil. En utilisant des réflecteurs afin de concentrer les rayons du soleil sur l'absorbeur d'un capteur solaire, cela permet de diminuer grandement la

taille de l'absorbeur, ce qui réduit les pertes de chaleur et augmente le rendement de chauffage. Son efficacité à hautes températures. Un autre avantage de cet système est que les réflecteurs sont sensiblement moins coûteux par unité de surface que les capteurs plans.

Les capteurs à concentration permettent d'obtenir une température élevée au foyer, cependant ils n'utilisent que les rayons directs du soleil et qu'il faut que les réflecteurs soient orientés en permanence vers le soleil, on utilise en général pour cela des systèmes d'asservissement [8].

### II.3.1 Principes

#### II.3.1.1 Lois de Descartes

1. Le rayon incident, le rayon réfléchi et la normale au miroir se trouve dans un même plan appelé plan d'incidence.

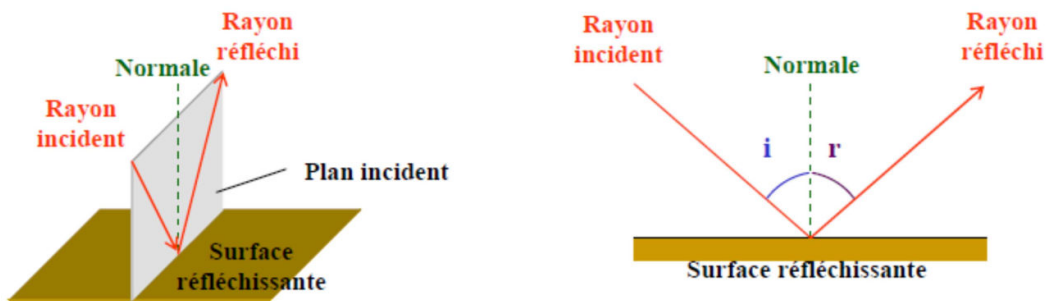


Figure II.2 : Réflexion d'un rayon lumineux.

2. l'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence comme illustrer dans la Figure II.2.

#### II.3.1.2 Stigmatisme [9]

Un système optique est dit stigmatique si tout faisceau issu d'un point lumineux donne à la sortie du système, un faisceau convergent en un point, ou semblant provenir d'un point. Ce point est appelé image, comme montrer dans la figure II.3.

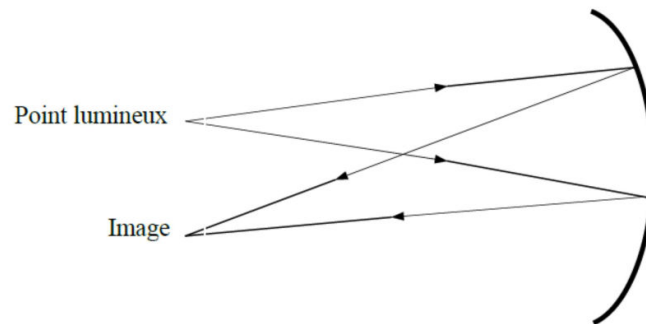


Figure II.3 : Stigmatisme [9].

### II.3.2 Définition de la concentration

C'est un indicateur de la quantité de concentration réalisé par un collecteur donné, nous avons trois types de concentration [7] :

- Concentration idéale (Gauss);
- Concentration géométrique
- Concentration optique (énergétique)

#### 1.3.3 Concentration idéale (Gauss)

C'est le rapport de la section d'ouverture du concentrateur (réflecteur)  $S_{ref}$  caractérisée par l'angle d'ouverture  $\theta$  et la surface d'image de Gauss du soleil  $S_G$  [7].

$$C_{idéale} = \frac{S_{ref}}{S_G} \quad (II.1)$$

Avec :

$$S_G = \pi f^2 \left(\frac{\epsilon}{2}\right)^2 \quad (II.2)$$

#### II.3.3 Concentration géométrique

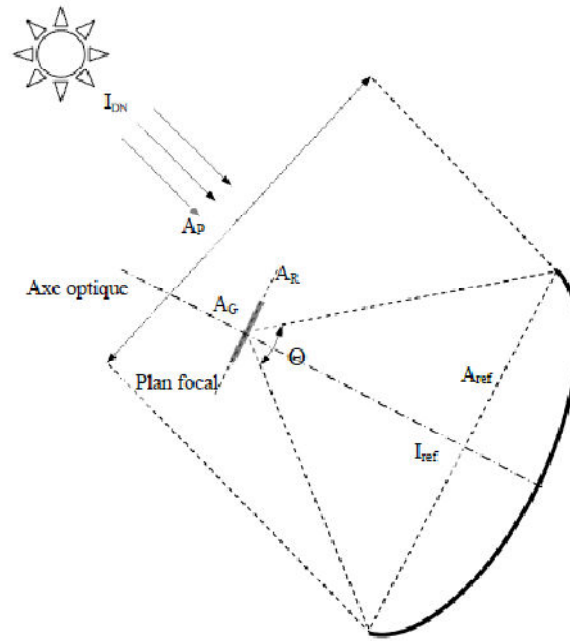
C'est le rapport de la surface de l'ouverture du réflecteur  $S_{ref}$  à celle de l'absorbeur  $S_{abs}$ , elle est donnée par la formule :

$$C_g = \frac{S_{ref}}{S_{abs}} \quad (II.3)$$

#### II.3.4 Concentration optique (énergétique)

C'est le rapport de l'éclairement solaire direct moyen sur la surface de l'absorbeur sur l'éclairement solaire direct de l'ouverture du réflecteur, elle est donnée par la formule [7] :

$$C_o = \frac{\frac{1}{S_{abs}} \int I_{abs} dS_{abs}}{I_{ref}} \quad (II.4)$$



**Figure II.4:** Schéma d'un capteur solaire à concentration [8]

$\theta$ : L'angle d'ouverture du concentrateur, c'est l'angle par lequel on voit le concentrateur à partir du plan focal, il est relevé dans un plan contenant l'axe optique et dépend de l'orientation de ce plan, sauf pour les concentrateurs à révolution.

$I_{DN}$ : Eclairement solaire direct en  $W/m^2$ .

$I_{ref}$ : Eclairement solaire direct dans la section d'ouverture du concentrateur en  $W/m^2$ .

$A_{ref}$ : Section d'ouverture du concentrateur caractérisée par l'angle  $\theta$  en  $m^2$ .

$A_p$ : section de passage du rayonnement solaire entrant dans le concentrateur.  $A_p$  se confond avec  $A_{ref}$  quand l'axe optique du concentrateur est dirigé vers le soleil,

$A_G$ : surface de l'image de Gauss du soleil; c'est l'image nette du soleil dans le plan focal donnée par des rayons paraxiaux, c'est-à-dire des rayons proches de l'axe optique,

$A_R$ : surface de l'image réelle du soleil dans le plan focal.

### II.3.5 Formules de calcul des différentes concentrations

On utilise les formules suivantes pour caractériser les différents types de concentrations [13]:

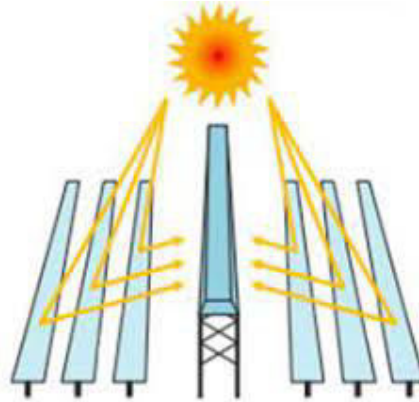
1. Concentration idéale:

$$C_{idéal} = \frac{A_{ref}}{A_G} = \frac{\text{section de réflecteur}}{\text{surface de Gauss}} \quad (II.5)$$

### II.3.6 Concentrateur Fresnel

Plutôt que de courber les miroirs (processus industriel coûteux), les miroirs de Fresnel « miment » la forme cylindro-parabolique avec des miroirs très légèrement incurvés, et placés à un même niveau horizontal. Seuls les miroirs bougent, la structure et le tube absorbant sont

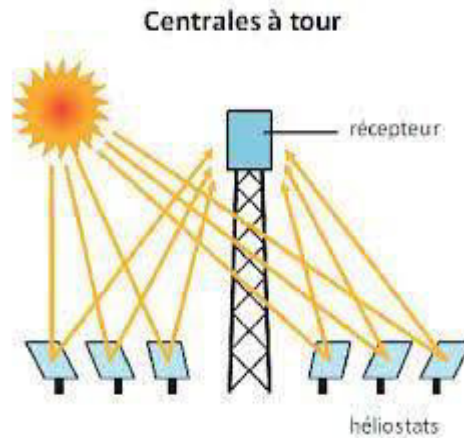
tous deux stationnaires. Les coûts des centrales solaires à miroirs de Fresnel sont donc inférieurs à ceux des centrales à miroirs cylindro-paraboliques tant à l'installation qu'à la maintenance. La focalisation est toutefois dégradée dans ce système (puisque la parabole n'est pas parfaite) : le pari est donc que la baisse de coût « compense » la dégradation de l'efficacité d'un point de vue économique. Ce type de système est encore relativement peu répandu.



**Figure II.5 :** Centrale Fresnel [7].

### **II.3.7 Concentrateur Centrale à tour**

Un héliostat utilise un ensemble de pointeurs solaires à double axe qui dirige l'énergie du soleil vers un grand absorbeur situé dans une tour. A ce jour, la seule application du capteur héliostat est la production d'énergie dans un système dénommé «centrale à tour». Une centrale à tour possède un ensemble de grands miroirs qui suit le mouvement du soleil, les miroirs concentrent les rayons du soleil sur le récepteur en haut de la grande tour. Un ordinateur garde les miroirs alignés afin que les rayons du soleil qui sont réfléchis, visent toujours le récepteur où la température peut dépasser 1000 °C. De la vapeur à haute pression est générée afin de produire de l'électricité [8].



**Figure II.6 :** Concentrateur centrale a tour [7].

### II.3.8 Capteurs solaires fixes à concentration

Les capteurs fixes à concentration utilisent des réflecteurs à composés paraboliques ainsi que des réflecteurs plans afin d'orienter l'énergie solaire vers un absorbeur d'accompagnement ou une fente à travers un important angle. L'important angle d'admission pour ces réflecteurs élimine la nécessité d'avoir un système de pointeur solaire. Ce type de capteur comprend des capteurs plans à réflecteurs cylindro-paraboliques, des capteurs plans, avec des réflecteurs Paraboliques de surpression [8].

### II.3.9 Concentrateur parabolique

Ces capteurs utilisent des surfaces réfléchissantes paraboliques pour concentrer les rayons solaires dans le foyer où se trouve le récepteur (absorbeurs) qui va capter cette énergie rayonnant concentrée et la transformée en énergie thermique. Généralement ces concentrateurs doivent d'êtres suivre la course du soleil pour pouvoir atteindre à des températures plus élevées (supérieur 'à 1500 °) [8].



**Figure II.7 :** Concentrateur parabolique

### II.3.10 Concentrateur cylindro-parabolique

Les réflecteurs cylindro-paraboliques sont des systèmes en forme de « U ». Ils concentrent les rayons du soleil sur un tube récepteur situé le long de la ligne focale du réflecteur. Parfois un tube en verre transparent entoure le tube récepteur afin de réduire les pertes de chaleur. Ces concentrateurs utilisent souvent un système de pointeur solaire à simple axe ou à double axe. Les températures du récepteur peuvent atteindre 400°C. Est un capteur à concentration à foyer linéaire utilisant un réflecteur cylindrique de section parabolique. Les miroirs cylindro-paraboliques alignés concentrent la chaleur. Le circuit du fluide caloporteur passe au centre de chaque miroir et traverse l'ensemble du champ de capteurs. C'est la technologie la plus répandue aujourd'hui.

Collecteurs cylindro-paraboliques

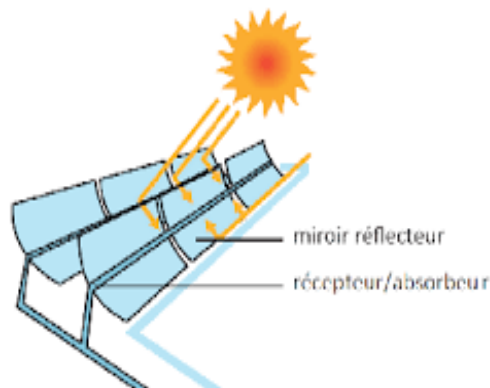


Figure II.8 : Concentrateur cylindro- parabolique.

### II.4 Conclusion

L'augmentation considérable de la puissance du rayonnement solaire à travers la concentration solaire est intéressante, chaque concentrateur caractérisé par leur concentration géométrique, optique (énergétique) et leur rendement optique au niveau du réflecteur et le rendement thermique au niveau de l'absorbeur. la concentration solaire est nécessaire pour convertir l'énergie solaire en travail mécanique ; en outre, pour chaque concentration géométrique, il y a une température de fonctionnement d'absorbeur optimum théorique. La température augmente évidemment avec la concentration.

**Outil utilisé pour la  
simulation**

## II.1 Introduction

L'objectif de ce chapitre est de décrire simplement les équations qu'utilise le Fluent pour résoudre un problème physique donné. Tout d'abord, les équations de Navier Stokes sont exposées. Ensuite, les équations du modèle de turbulence choisi (RNG k- $\epsilon$ ) sont présentées. Enfin, il est question des différentes étapes poursuivies dans l'utilisation de la CFD pour l'étude plus détaillée présentée dans le prochain chapitre.

## III.2 Introduction à la CFD

Trois méthodes existences pour résoudre l'écoulement des fluides : les approches analytiques, expérimentale et numérique.

### III.2.1 La méthode analytique

Offre des solutions exactes, mais elle est limitée à quelques problèmes typiques (exemple : profil de vitesse d'écoulement d'un fluide dans une conduite cylindrique) puisque les solutions analytiques ne s'obtiennent que pour des équations différentielles très particulières. Cette méthode permet toutefois d'obtenir une solution continue pour une variable d'intérêt.

### III.2.2 La méthode expérimentale

Permet d'étudier plusieurs problèmes. Son inconvénient est qu'elle nécessite beaucoup de temps pour l'installation et que son coût est parfois, sinon toujours, élevé. Qui plus est, l'approche expérimentale ne permet d'obtenir la valeur des variables d'intérêt que pour certains cas très particuliers : l'étude paramétrique est le plus souvent impossible.

### III.2.3 L'approche numérique

L'un des méthodes flexible, universelle et n'est pas aussi chère que l'approche expérimentale. Son défaut est qu'elle n'offre pas une solution exacte, comparée à la solution analytique lorsque cette dernière est possible. Cependant, elle donne une description raisonnable pouvant être utile pour l'analyse expérimentale [11]. Parmi les différentes approches numériques possibles, la CFD utilise les principes fondamentaux de la mécanique des fluides et du transfert de masse et de chaleur. Les aspects physiques de l'écoulement des fluides reposent sur trois principes fondamentaux : conservation de la masse, conservation de la quantité de mouvement et conservation de l'énergie. Ces trois principes peuvent être exprimés à l'aide d'équations aux dérivées partielles.

Le CFD utilise des méthodes numériques qui permettent de résoudre les équations mathématiques discrétisées, représentations discrètes des équations différentielles, dans l'espace et dans le temps, pour obtenir une description numérique finale du problème traité.

Les avancements de la CFD et de ses applications sont liés fortement au progrès des ordinateurs et des calculateurs, évidemment en termes de stockage et de vitesse d'exécution.

### III.3 Équations gouvernant la CFD

Les équations qui permettent de décrire un problème de transfert thermique et d'écoulement de fluide sont : l'équation de continuité, l'équation de conservation de la quantité de mouvement et l'équation de l'énergie.

#### III.3.1 Équation de continuité

Le principe de conservation de la masse s'écrit sous la forme :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \vec{V}) = 0 \quad (\text{III.1})$$

Si on travaille dans les coordonnées cartésiennes, on obtient :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial t}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho w) = 0 \quad (\text{III.2})$$

#### III.3.2 Équation de conservation de la quantité de mouvement

Les équations de conservation de la quantité de mouvement pour un fluide visqueux, incompressible dans un repère Cartésien sont :

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial t} + w \frac{\partial u}{\partial x} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \left\{ \left[ \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right] + \left[ \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right] + \left[ \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] \right\} + F_x \quad (\text{III.3})$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial t} + w \frac{\partial v}{\partial x} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \left\{ \left[ \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} \right] + \left[ \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right] + \left[ \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right] \right\} + F_y \quad (\text{III.4})$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial t} + w \frac{\partial w}{\partial x} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \nu \left\{ \left[ \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right] + \left[ \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right] + \left[ \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right] \right\} + F_z \quad (\text{III.5})$$

#### III.3.3 Équation de conservation de l'énergie

Pour un fluide newtonien incompressible à conductivité thermique constante, l'équation de conservation de l'énergie ou équation d'énergie peut s'écrire de la façon suivante [12] :

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \nabla^2 T + \mu \phi \quad (\text{III.6})$$

En coordonnées cartésiennes cette équation devient,

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \lambda \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \mu \phi \quad (\text{III.7})$$

Où  $\phi$  est la fonction de dissipation visqueuse qui est exprimée de la façon suivante :

$$\phi = 2 \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right] + \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 \right] - \frac{2}{3} \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \quad (\text{III.8})$$

### III.3 Techniques de discrétisation

La discrétisation du domaine de calcul consiste à mettre en place une grille dans le domaine, C'est-à-dire que l'espace est rempli d'un nombre fini de points où les solutions numériques sont déterminées par Hirsch [13]. La précision de la solution numérique est fortement liée à la taille des mailles : plus la taille est petite, meilleure est la solution (si elle est comparée à une solution analytique connue). Cette précision est aussi liée au choix des fonctions d'interpolation sur ces mailles qui permettent d'obtenir le système d'équations algébriques qui remplacent les équations différentielles originales dans la solution. Finalement, l'information continue qui est contenue dans la solution exacte de l'équation différentielle a été remplacée par des valeurs discrètes.

Il existe plusieurs méthodes de discrétisation qui procèdent de cette manière :

Les différences finies, les éléments finis (élaborée dans les années 1950 par Turner et al. Hirsch [13] ; les volumes finis, les moindres carrés ou plus généralement la méthode des résidus pondérés dont toutes les précédentes font partie [15].

La méthode des volumes finis a été introduite par Mc Donald en 1971 et Mac Cormack et Paullay en 1972 pour la solution des équations d'Euler bidimensionnelles et a été prolongée par Rizzi et Inouye en 1973 pour les écoulements 3D [15]. Son principe consiste à découper le domaine en volumes de contrôle afin d'intégrer les équations sur chaque volume. Dans ce mémoire, CFXFluent qui utilise la méthode des volumes finis est sélectionné.

### III.4 Modélisation de la turbulence

Pour un fluide visqueux, il existe trois types d'écoulement : écoulement laminaire (les lignes de courant sont parallèles et ordonnées), écoulement de transition et écoulement turbulent (les lignes de courant sont désordonnées et ne restent plus parallèles).

Pour la modélisation dans le régime turbulent, le Fluent utilise des modèles de turbulence qui se basent sur les équations de Reynolds moyennées (RANS) et une ou deux équations de turbulence selon le modèle choisi. Pour le modèle Spalart-Allmaras, une seule équation qui représente la viscosité turbulente est ajoutée. Pour les modèles de turbulence k- $\epsilon$  et k- $\omega$ , deux

équations sont résolues qui sont l'énergie cinétique turbulente  $k$  (commune pour les deux modèles) et soit le taux de dissipation de la turbulence  $\varepsilon$  (modèle  $k$ - $\varepsilon$ ), soit la fréquence de turbulence  $\omega$  (pour le modèle  $k$ - $\omega$ ).

Pour résoudre les équations de Navier Stokes, la vitesse  $V_i$  est décomposée en vitesse moyenne  $\bar{V}_i$  et fluctuante  $V'_i$ . Cette décomposition s'écrit sous la forme suivante :

$$V_i = \bar{V}_i + V'_i \quad (\text{III.9})$$

Ainsi, les équations de Navier Stokes moyennées s'écrivent dans un repère cartésien, en notation indicelle, sous la forme suivante :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho V_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (\text{III.10})$$

$$\frac{\partial(\rho V_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho V_i V_j)}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \mu \left( \frac{\partial V_i}{\partial x_j} + \frac{\partial V_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial V_k}{\partial x_k} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_i} (-\rho \overline{V'_i V'_j}) \quad (\text{III.11})$$

De nouveaux termes apparaissent qui représentent les effets de la turbulence. Les contraintes turbulentes représentées par le terme  $(-\rho \overline{V'_i V'_j})$  peuvent être modélisées grâce à l'hypothèse de Boussinesq comme le montre l'équation suivante :

$$-\rho \overline{V'_i V'_j} = \mu_t \left( \frac{\partial V_i}{\partial x_j} + \frac{\partial V_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial V_k}{\partial x_k} \right) \lambda \nabla^2 T + \mu \phi \quad (\text{III.12})$$

$$-\rho V'_i V'_j = \mu_t \left( \frac{\partial V_i}{\partial x_j} + \frac{\partial V_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \left( \rho k + \mu_t \frac{\partial V_k}{\partial x_k} \right) \delta_{ij} \quad (\text{III.13})$$

Le modèle  $k$ - $\varepsilon$  standard est un modèle de turbulence qui est fréquemment utilisé dans plusieurs applications d'ingénierie qui s'intéressent à l'écoulement des fluides. Ce modèle proposé par [6] est robuste, économique en termes de temps de résolution et possède une précision raisonnable. Son inconvénient est qu'il ne doit être utilisé que pour les écoulements turbulents à grand nombre de Reynolds.

Le modèle RNG  $k$ - $\varepsilon$ , qui est dérivé du modèle standard, fournit une formule différentielle pour la viscosité qui tient compte des effets à faible nombre de Reynolds. Ainsi, ce modèle est valide pour une classe plus large d'écoulements. Le modèle RNG  $k$ - $\varepsilon$  s'écrit de la façon suivante :

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k V_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \alpha_\varepsilon \mu_{\text{eff}} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (\text{III.14})$$

et

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \varepsilon V_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \alpha_\varepsilon \mu_{\text{eff}} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + G_{3\varepsilon} G_{kb}) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} - R_\varepsilon + S_\varepsilon \quad (\text{III.15})$$

Dans ces équations,  $G_k$  représente la génération de l'énergie cinétique turbulente due aux gradients de vitesse.  $G_b$  représente la même quantité précédente, mais qui est due aux forces de flottaison.  $Y_M$  est un facteur lié aux écoulements compressibles, donc il est négligé dans le cas d'un écoulement incompressible (le cas pour ce travail). Les deux variables  $\alpha k$  et  $\alpha \varepsilon$  sont les nombres de Prandtl effectifs inverses pour  $k$  et  $\varepsilon$  respectivement.  $S_k$  et  $S_\varepsilon$  sont des termes source de l'énergie cinétique et de l'énergie de dissipation respectivement.  $C_{1\varepsilon}$  et  $C_{2\varepsilon}$  sont des constantes calculées analytiquement par la théorie du modèle RNG  $k$ - $\varepsilon$ . Les valeurs utilisées par défaut par Fluent sont :

$$C_{1\varepsilon} = 1,42 \text{ et } C_{2\varepsilon} = 1,68$$

Dans la modélisation numérique, l'intensité de turbulence  $I$  est imposée à l'entrée. L'énergie cinétique turbulente  $k$  et le taux de dissipation  $\varepsilon$  sont directement calculés par Fluent en utilisant les formules suivantes :

$$I = 0,16 \times \text{Re}^{-1/8} \quad (\text{III.16})$$

$$k = 1,5 \times (V \times I)^2 \quad (\text{III.17})$$

$$\varepsilon = C_\mu^{3/4} \times k^{3/2} \times l^{-1} \quad (\text{III.18})$$

avec

$$\text{Re} = \frac{\rho \times V \times D_h}{\mu} \quad (\text{III.19})$$

$$l = 0,07 \times D_h \quad (\text{III.20})$$

Dans les équations précédentes,  $V$  représente la vitesse moyenne en m/s.  $C_\mu$  est un paramètre du modèle  $k$ - $\varepsilon$  et est égal à 0,09. La variable  $l$  est l'échelle de longueur de la turbulence. Dans l'équation (III.19),  $D_h$  est le diamètre hydraulique (si l'écoulement est dans une conduite circulaire,  $D_h$  est remplacé par le diamètre de la conduite).

### III.5 Utilisation de la CFD

Les codes CFD sont structurés autour des algorithmes numériques qui traitent les problèmes de circulation des fluides. Afin de faciliter leur résolution, tous les logiciels commerciaux de

CFD comprennent des interfaces sophistiquées pour entrer les paramètres du problème et pour examiner par la suite les résultats. Ainsi, tous les codes contiennent trois éléments principaux : un pré-processeur, un solveur et un post-processeur (H.K Versteeg, 2007).

### III.5.1 Pré-processeur

Le pré-processeur consiste à créer un modèle représentatif du problème d'écoulement avant sa résolution numérique. Cette étape comprend les tâches suivantes :

- Créer le domaine de calcul.
- Générer le maillage.
- Choisir le phénomène physique qui nécessite d'être résolu.
- Définir les propriétés du fluide.
- Spécifier les conditions aux limites.

Dans l'étape du pré-processeur, la forme et la taille des éléments dans un domaine d'écoulement jouent un rôle important pour la précision de la solution et pour le temps de calcul nécessaire pour résoudre le problème. Dans une simulation 3D, la forme parfaite est un hexaèdre parce que le nombre d'éléments est plus faible que si les éléments utilisés sont des tétraèdres et les éléments peuvent être alignés avec l'écoulement. En conséquence, le temps de simulation est réduit, et les résultats sont plus précis.

De plus, tel que spécifié antérieurement, la réduction de la taille des cellules augmente la précision de la solution. Néanmoins, l'augmentation du nombre de cellules nécessite un temps de calcul plus grand et un matériel informatique plus puissant. Donc, il faut optimiser la taille de la cellule pour obtenir des résultats réalistes dans un temps raisonnable.

### III.5.2 Solveur

Le Fluent utilise l'approche du volume de contrôle. L'algorithme numérique de cette méthode consiste en trois étapes :

- Les équations de l'écoulement du fluide sont intégrées sur l'ensemble des volumes de contrôle du domaine.
- Les équations non linéaires sont linéarisées et les équations résultantes sont converties en équations algébriques.
- Les équations sont solutionnées algébriquement grâce à une méthode itérative.

Les paramètres du solveur utilisés dans ce travail seront discutés ultérieurement.

### III.5.3 Post-processeur

C'est un moyen pour présenter les résultats des prédictions et produire les images et animations CFD. Il existe plusieurs méthodes pour présenter les résultats tels que les tracés des vecteurs, des contours et des surfaces 2D et 3D.

Lorsque les trois étapes de résolution précédentes sont effectuées, il faut valider la démarche poursuivie en comparant les résultats obtenus avec d'autres résultats analytiques, numériques ou expérimentaux. Pour cette raison, le prochain chapitre s'intéresse à la comparaison des résultats numériques de la distribution massique de l'eau dans des tubes parallèles situés verticalement entre deux plénums à des résultats obtenus analytiquement.

### III.6 La méthode de Monte Carlo :

La méthode de Monte Carlo de ray-tracing (lancer des rayons) est une méthode mathématique basée sur les probabilités, cette méthode est très utilisée dans plusieurs domaines (traitement d'image, énergies renouvelables et surtout dans les phénomènes radiatifs). C'est une technique qui consiste à lancer un nombre de rayons ou bien des photons à partir d'une source lumineuse par exemple le soleil. Chaque particule transporte une certaine quantité d'énergie. On suit la trajectoire de chacune des particules. Cette méthode est bien adaptée aux géométries très complexes, et aux phénomènes de réflexion, réfraction et transmission, seulement il est nécessaire de lancer un nombre très important de rayons pour approcher correctement les phénomènes. Aujourd'hui il existe plusieurs codes basés sur cette méthode, comme le code Soltrace, ces derniers sont utilisés pour la simulation optique des différents systèmes. Par exemple : La concentration du rayonnement solaire à l'aide d'un concentrateur paraboloidal.

#### III.6.1 Description sur logiciel SOLTRACE [18]

SolTrace est un logiciel développé au sein du National Renewable Energy Laboratory (NREL) pour modéliser les systèmes de concentration d'énergie solaire et analyser leurs performances optiques. Ce logiciel utilise la méthode dite de Monte Carlo. L'utilisateur choisit le nombre de rayons qu'il souhaite lancer depuis le soleil. Le logiciel produit alors de manière aléatoire une série de rayons.

#### III.6.2 Principe de fonctionnement

Le principe de base est de calculer la trajectoire de chaque rayon pour voir comment il interagit avec les différents éléments du système et de pouvoir ainsi déterminer le nombre de rayons qui impactent chaque surface. À toutes les étapes, le logiciel détermine l'angle de réflexion de chaque rayon en fonction de son point d'impact, de son angle d'incidence et de la géométrie de la surface. Cette méthode de calcul reproduit le parcours réel des photons. En

utilisant un grand nombre de rayons, elle permet d'avoir des résultats précis même avec des systèmes optiques complexes.

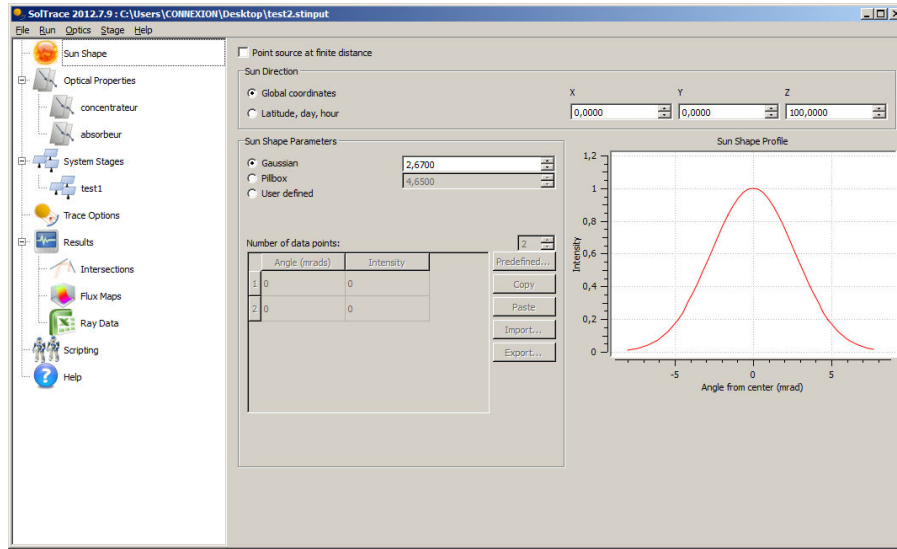


Figure III.1 : Interface de logiciel Soltrace version 2012.7.9

### III.6.2.1 Paramètres optiques

Les propriétés optiques sont définies sur la deuxième page d'entrée, Chaque projet SolTrace peut avoir de nombreux ensembles de propriétés optiques du concentrateur ainsi que l'absorbeur sont déclarées successivement dans des pages séparées comme illustré sur les deux figures III.3 et III.4

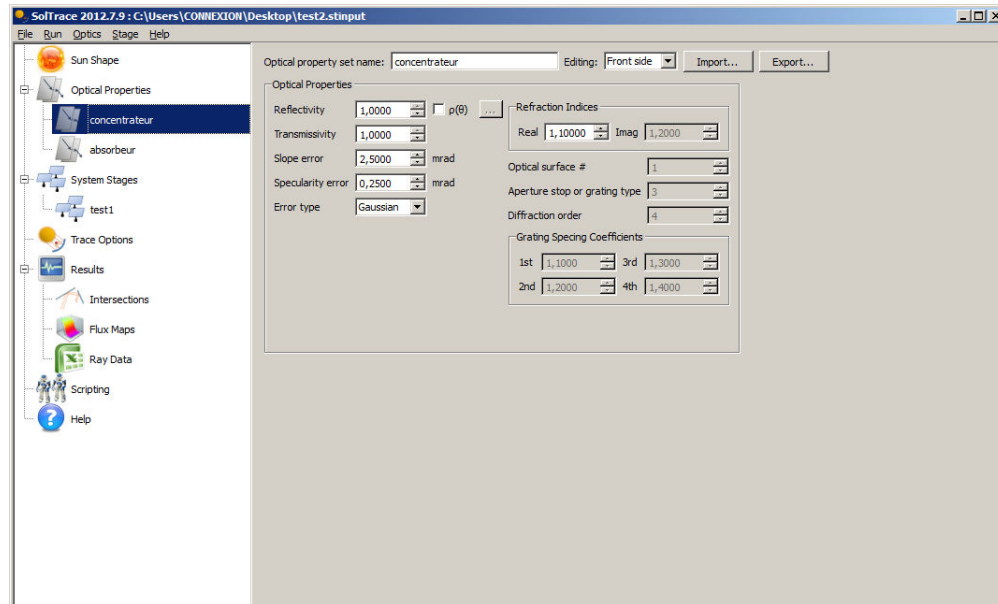


Figure III.2 : Introduire les propriétés optiques.

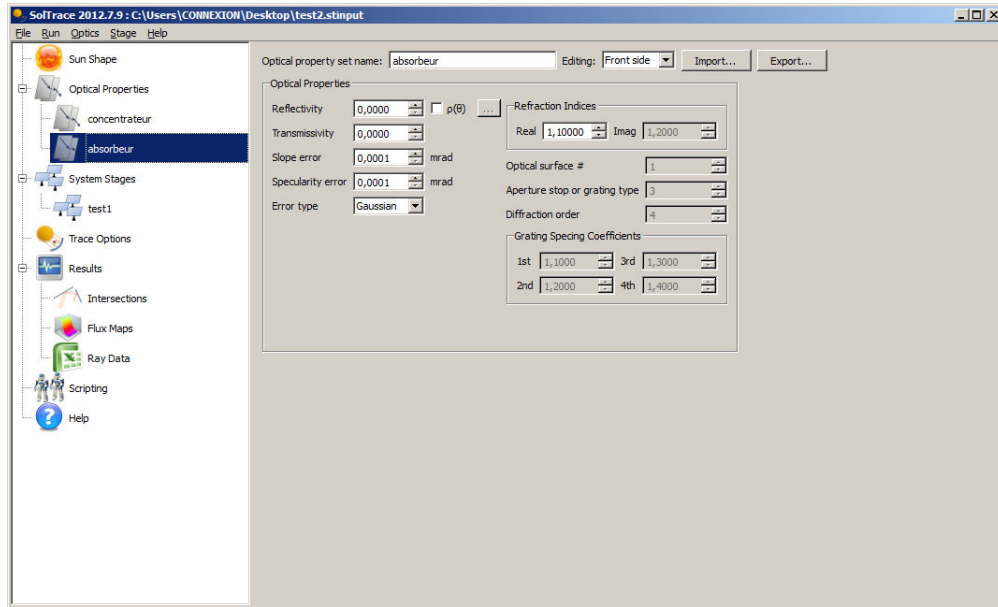


Figure III.3: Entrer les propriétés optiques de l'absorbeur.

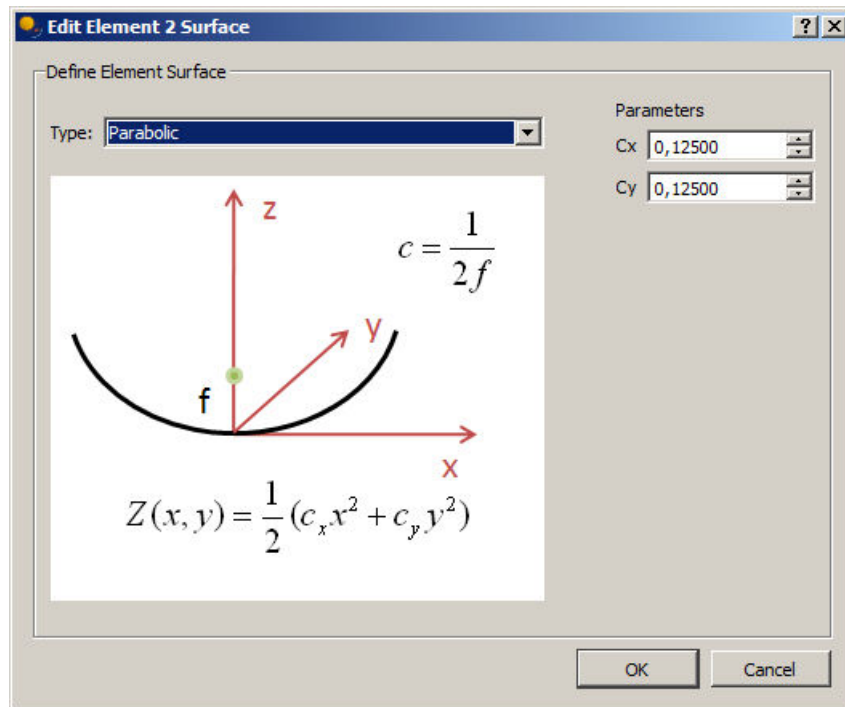


Figure III.4: Entrer les dimensions de réflecteur.

À l'extrême gauche, des icônes pour différentes étapes de la création et de l'exécution d'une simulation de traçage des rayons :

- Définition de la forme du soleil ;
- Propriétés optiques du matériel ;
- Options Ray-tracing ;

- Résultats ;

Les résultats qui nous avons obtenus sont :

- Le flux solaire collecté par les deux différents composants ; réflecteur et récepteur.
- Intersection des rayons réfléchit par le réflecteur avec le récepteur.
- La distribution du flux solaire sur la paroi inférieure du tube absorbeur

Aussi il existe la possibilité pour exporter des fichiers des données, par exemple en Excel

**Résultats de la simulation  
de SolTrace & CFD**

### IV.1 Introduction

Dans cette étude, les performances d'un concentrateur parabolique sont analysées. Pour atteindre cet objectif, la procédure adoptée comprend deux étapes principales. Dans la première partie du travail, les rayons solaires concentrés au niveau du plan focal du concentrateur sont calculées à travers le logiciel SOLTRACE. Ensuite, les résultats de la simulation optique, qui détermine la distribution du flux d'énergie solaire à la partie inférieure de tube spirale (absorbeur), sont prises comme des conditions aux limites du flux de chaleur dans le modèle de la simulation de la performance thermique utilisé dans le code de calculé Fluent. Et à la fin, une simulation a été faite entre la distribution de flux concentré et non uniforme et une autre comparaison entre différents vitesses d'écoulement de fluide pour voir le gradient de température et la vitesse réparti sur le tube spiral plan et le tube spiral conique de l'absorbeur .

### IV.2 Présentation de la conception

Les distributions du flux de rayonnement solaire concentré calculées par La méthode de Raytracing de Monte Carlo (MCRT) détaillé ci-dessus sont introduites dans le logiciel FLUENT comme conditions aux limites de point de vue thermique sur le côté inférieure du tube spiral de récepteur exposé au réflecteur comme montré dans la figure ci-dessous.

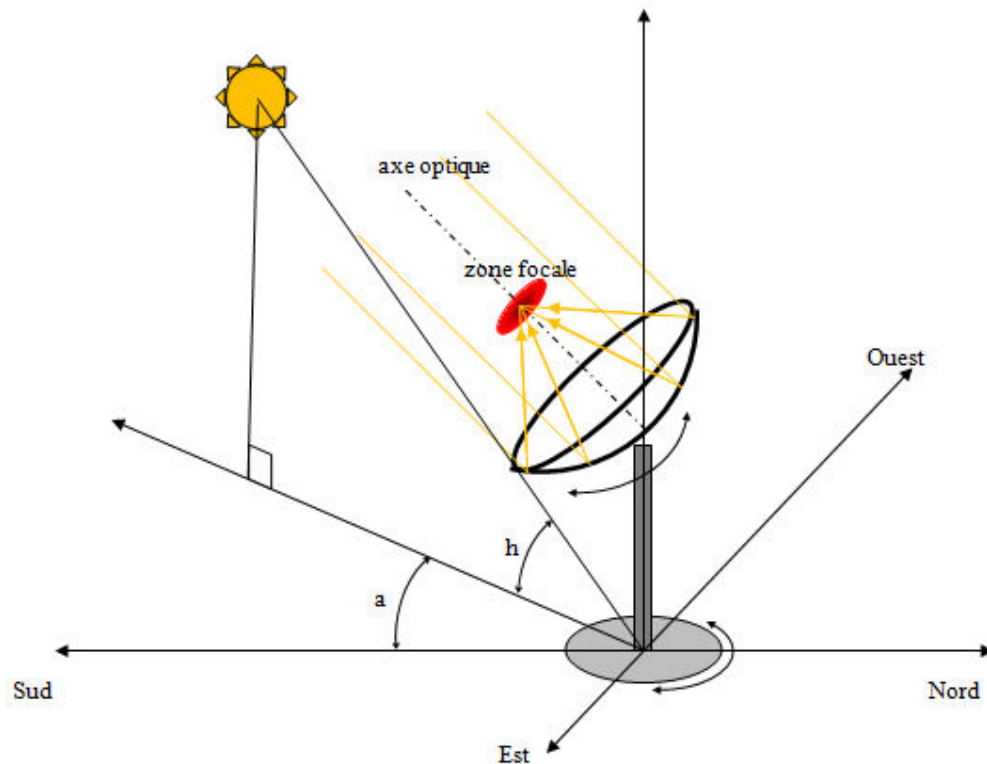


Figure IV.1 : Concentrateur exposé au soleil.

Cette figure est montrée les caractéristique d'un miroir parabolique.

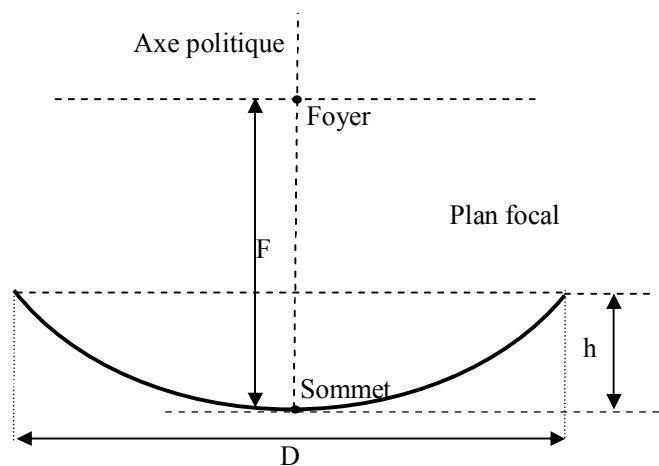


Figure IV.2 : Caractéristiques d'un miroir parabolique.

### VI.2.1 Proposition de dimension de capteur parabolique

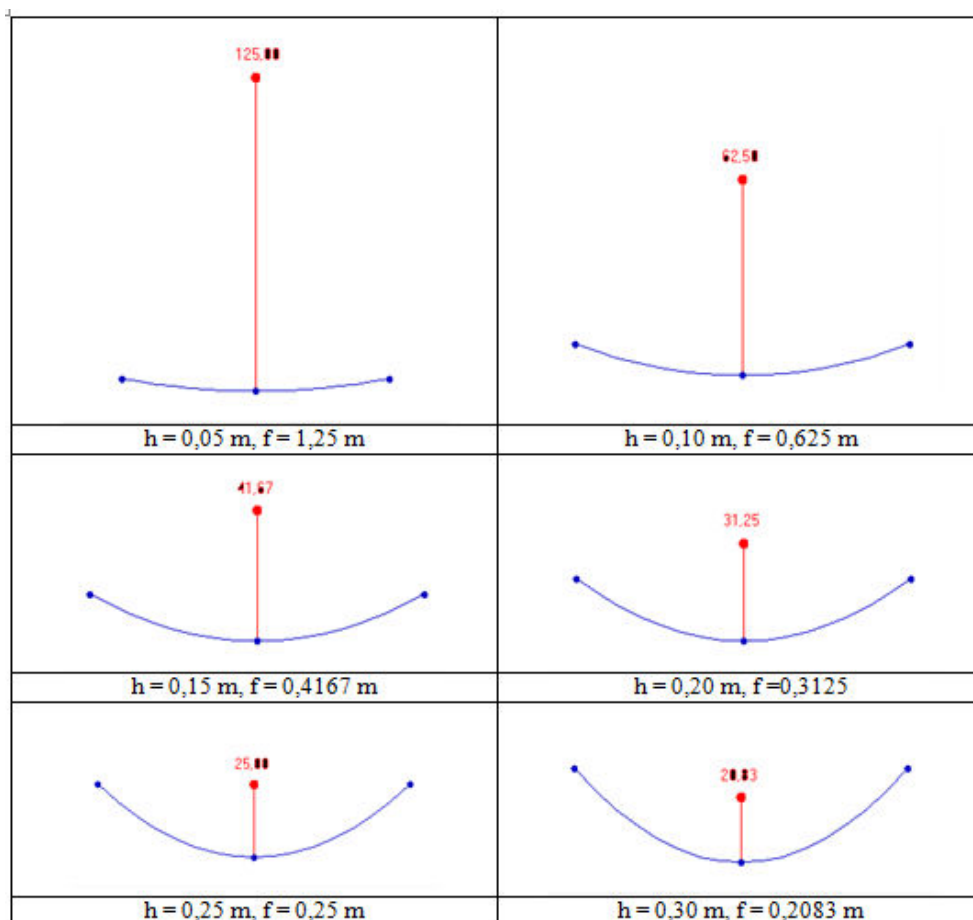


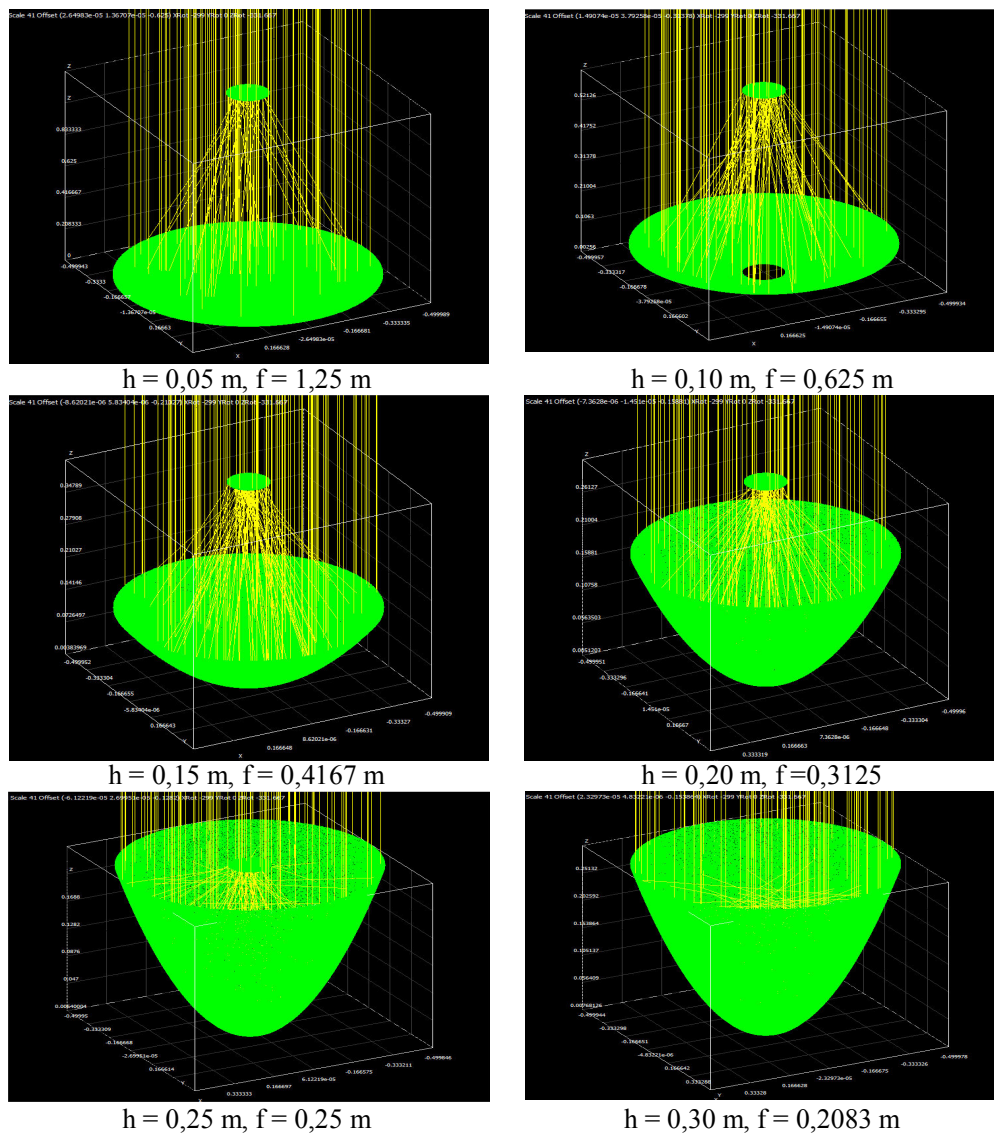
Figure IV.3 : Variation de la distance focale  $f$  en fonction de la profondeur  $h$  de la parabole pour un diamètre  $D = 1 \text{ m}$ .

A l'aide de logiciel PARABOLA CALCULATOR Version 2, on peut tracer la courbure de réflecteur d'un mètre de diamètre en fonction de leurs paramètres  $f$  et  $h$  suivant la figure ci-dessus (Figure IV.3) :

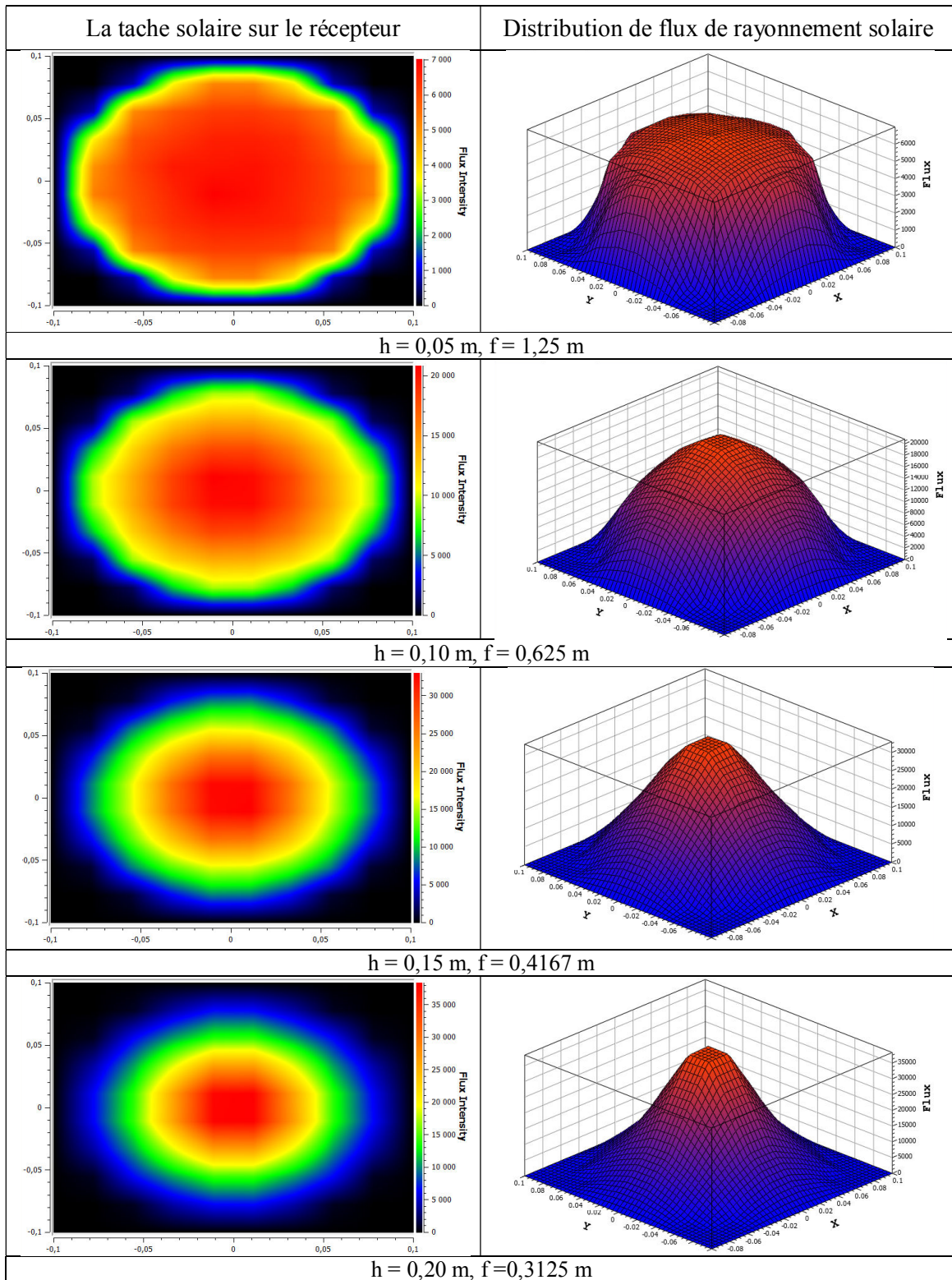
$f$  : représente la distance focale,

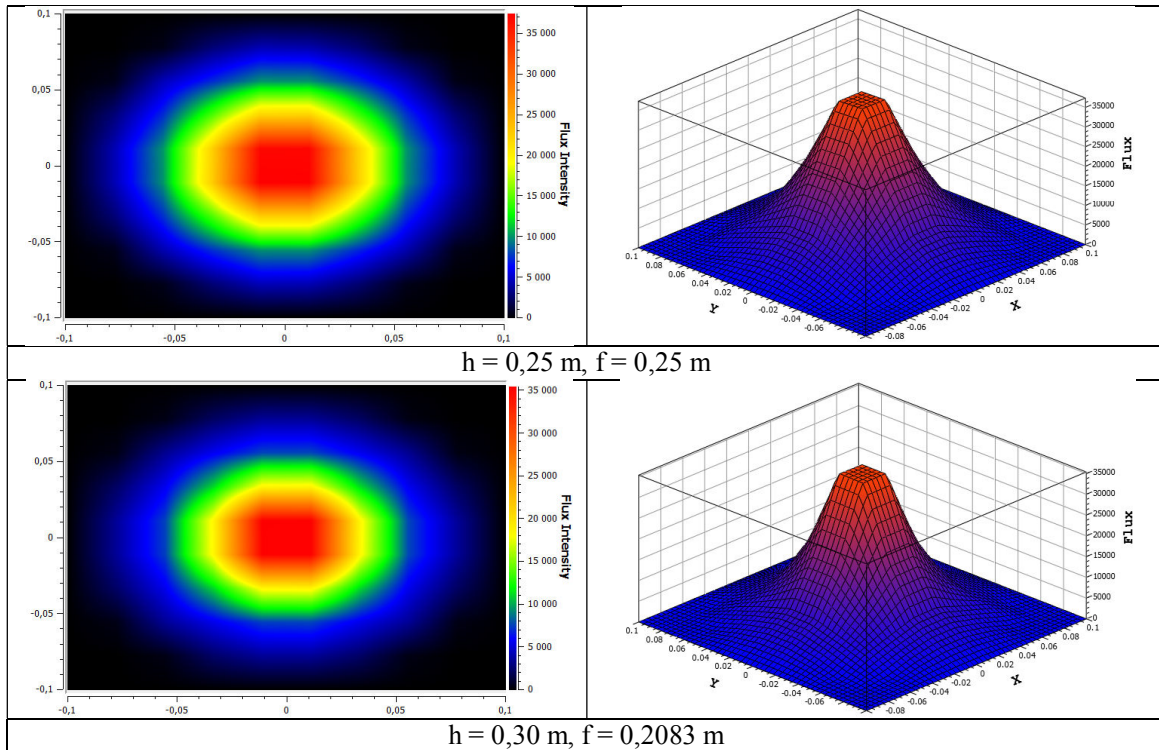
$h$  : la profondeur de réflecteur,

#### IV.2.2 Résultats de la simulation du model sur SolTrace



**Figure IV.4 :** Représentation de l'influence de rayonnement concentré en fonction de  $f$  et  $h$   
 Le figure ci-dessus montre les trajectoires des rayons réfléchissent par les différents réflecteurs en fonction de la distance focale et la profondeur de réflecteur (concentrateur)



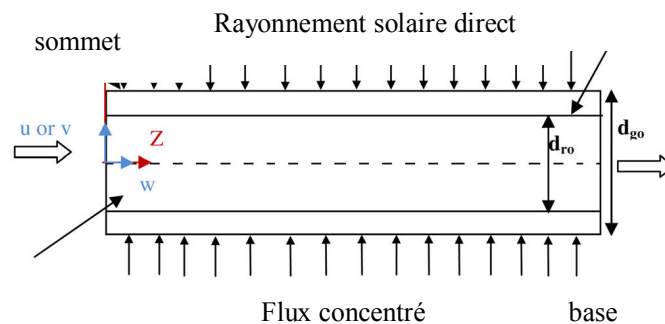


**Figure IV.5 :** Sorties de Soltrace représente la dimension de la tache solaire En fonction de f et h

A l'aide de logiciel SolTrace, on peut présenter la concentration des rayons au point focal de un mètre de diamètre en fonction de leurs paramètres h et f suivant la figure ci-dessus (Figure IV.3) : ces figures se présentent les courbes de l'intensité de flux concentré provenant de la valeur de rayonnement solaire direct égale à  $1000 \text{ [W/m}^2\text{]}$  sur la surface du tube de l'absorbeur, voir la figure ci- contre, d'un réflecteur, et aussi présentés les distributions de flux de rayonnement solaire concentré sur la circonférence de tube spiral de récepteur.

### IV.2.3 Conditions aux limites et initiales

#### IV.2.3.1 condtions aux limites



**Figure IV.6 :** Présentation les conditions aux limites

sur la figure ci dessous nous représentons les conditions aux limites pour l'absorbeur conique comme suit:

1. l'entrée de fluide : inlet
2. la sortie de fluide : outlet,
3. la paroi latérale de tube conique inférieur (base): Wall
4. la paroi latérale de tube conique supérieur (sommet): Wall

#### IV.2.3.2 condtions initiales

nous avons imposé les conditions initiale qui nous permette à lancer le calcul a partie de ces données

la température ambiante :  $T_{\infty} = 10, 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$

la température d'entrée :  $T_e = 30, 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$

vitesse d'entrée :  $v_{\text{inlet}} = 0,1, 0,3, 0,6 \text{ m/s}$

le rayonnement concentré sur la base : nous avons réalisé un programme en C++ comme UDF.

Le rayonnement incident sur le sommet :  $850, 1000 \text{ W/m}^2$ .

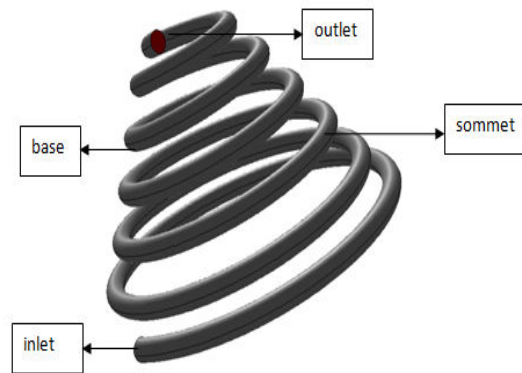


Figure IV.7 : Représentation des conditions aux limites

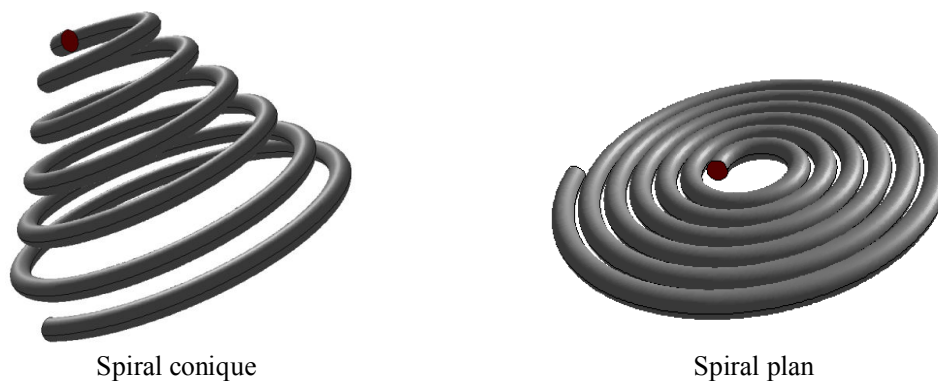


Figure IV.8: Représentation de deux type d'absorbeurs

#### IV.2.4 Création de la géométrie et de maillage

La conception de la géométrie des deux récepteurs sont réalisées à l'aide de GAMBIT 2.3 [20]. Les paramètres géométriques adoptés sont ceux considérés par la configuration de Wang et al. [8]. Le modèle géométrique créé est maillé avec des cellules quadrilatérales. Le maillage choisi est non uniforme. En effet, il est plus fin dans les sections transversales (angulaires) et radiales et aussi au voisinage des parois de tube. Cette non-uniformité de maillage s'explique par les changements remarquable de la distribution de flux concentré, remarqué dans les deux directions angulaire et radiale. Pour chaque configuration étudiée, plusieurs maillages ont été testés avec différents nombre de nœuds. Il est constaté que 765440 volumes de contrôle (104 (angulaires) 56 (radiaux) 320 (axiaux)) sont suffisants pour le tube absorbeur recouvert d'une enveloppe de verre (voir Fig. 6). Compte tenu de la nécessité d'une haute résolution près des parois, un modèle amélioré de traitement des parois est utilisé avec le modèle non dimensionnel. est utilisé avec la distance non-dimensionnelle près des parois  $y_+$  dans toutes les simulations [21].

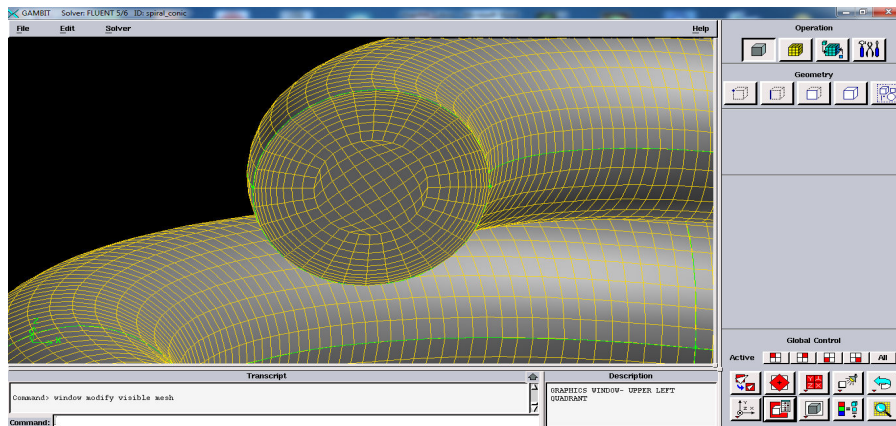


Figure IV.9 : Représentation le détail de maillage sur la sortie et pa paroi latérale de spiral conique

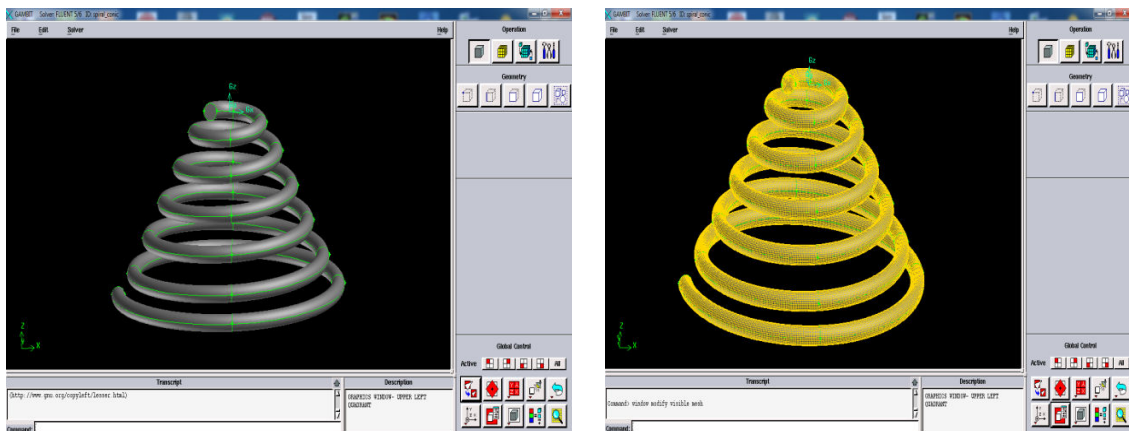


Figure IV.10 : Réalisation et représentation de maillage de spiral conique par Gambit

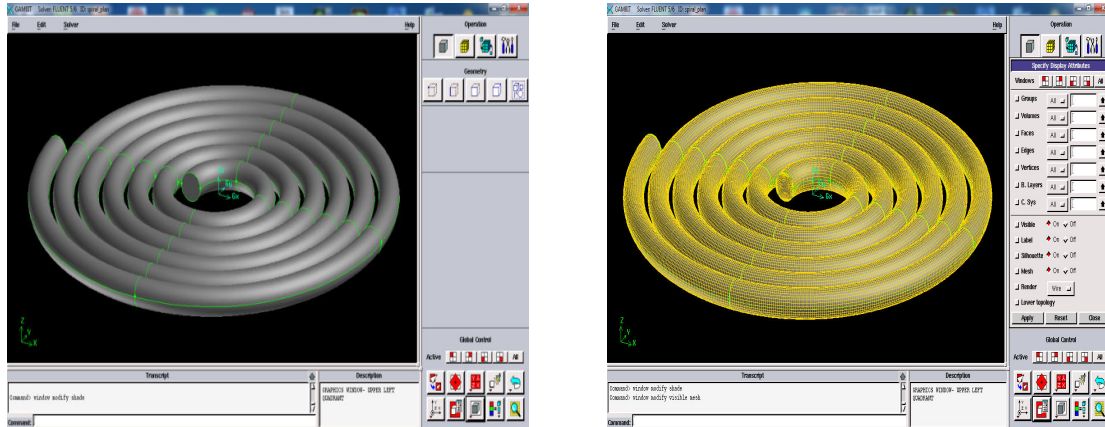


Figure IV.11: Réalisation et représentation de maillage de spirale plan par Gambit

### IV.3 Test de convergence

Dans la figure IV.12 on remarque que la convergence de calcul est établie pour une précision de  $10^{-5}$  pour les équations de continuité, quantité de mouvement et  $10^{-6}$  pour l'équation d'énergie. On avait utilisé un PC Portable Lenovo i5 de 8 Go de RAM.

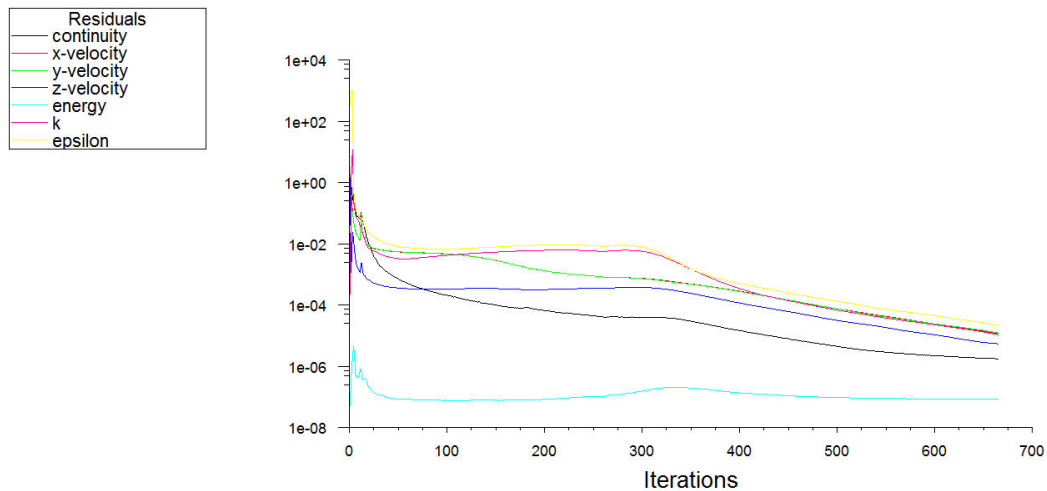
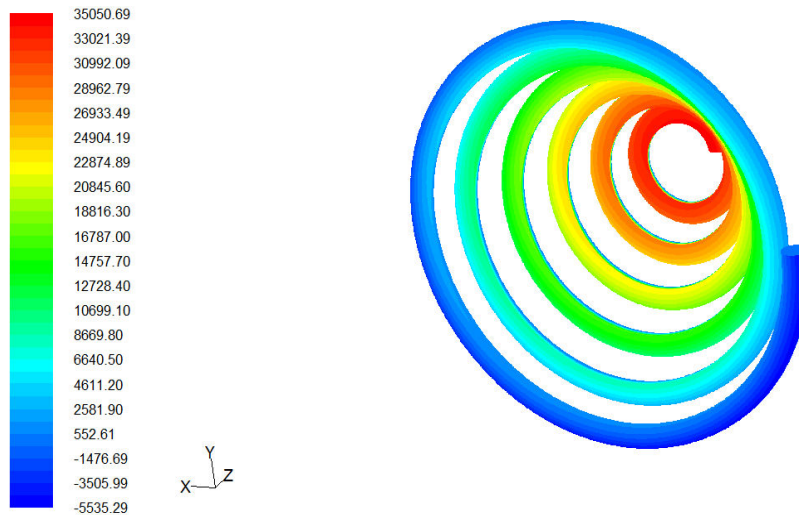


Figure IV.12: Évolution des résidus

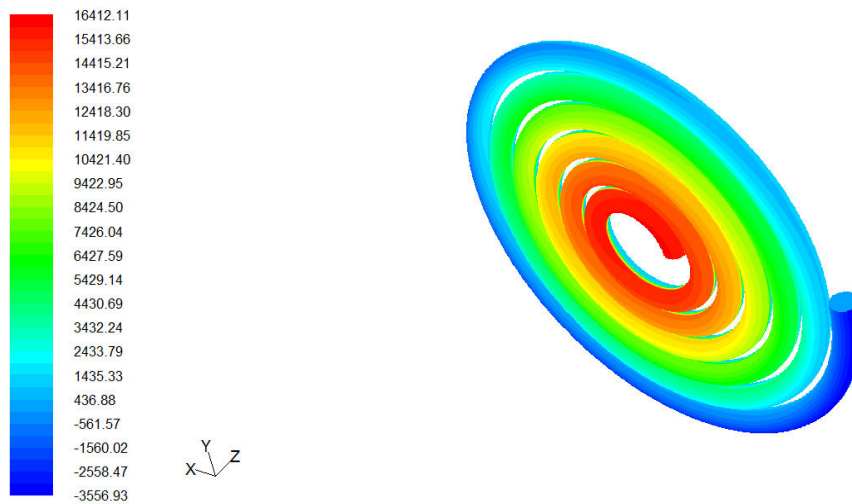
### IV.4 Exploitation des résultats de FLUENT

Dans cette étape de cette analyse nous avons présenté la distribution des flux concentrés bien illustré dans la Figure IV. 13 et 14. Ces résultats sont estimés en  $[W/m^2]$  et la zone extérieure de chaque spire est donc utilisée dans ce calcul. Les résultats indiquent que le flux de chaleur est plus intense dans la forme conique et ce fait conduit à une énergie absorbée plus élevée par rapport à la forme spirale plan. Le flux concentré est plus important sur les parois de cavité conique à cause de l'approximation des spires internes au centre où le flux concentré a des valeurs maximales. De plus, il faut dire que la conception en spirale plan présente un aspect relativement à la distribution uniforme du flux de chaleur, ce qui explique des valeurs de flux

moins importantes par rapport a la forme conique. Cependant, les contraintes thermiques ne sont pas un problème majeur dans cavités récepteurs et donc cet avantage n'est pas si important pour le système actuel.



**Figure IV.13** : Représentation la distribution de flux solaire concentré exprimé en  $W/m^2$  sur le tube absorbeur de spirale conique .



**Figure IV.14** : Représentation la distribution de flux solaire concentré exprimé en  $W/m^2$  sur le tube absorbeur de spirale plan .

On peut constater que l'efficacité optique maximale de spirale plan par rapport au spirale conique de 75,21 %, tandis que pour le récepteur en spirale, elle est de 74,06 %.

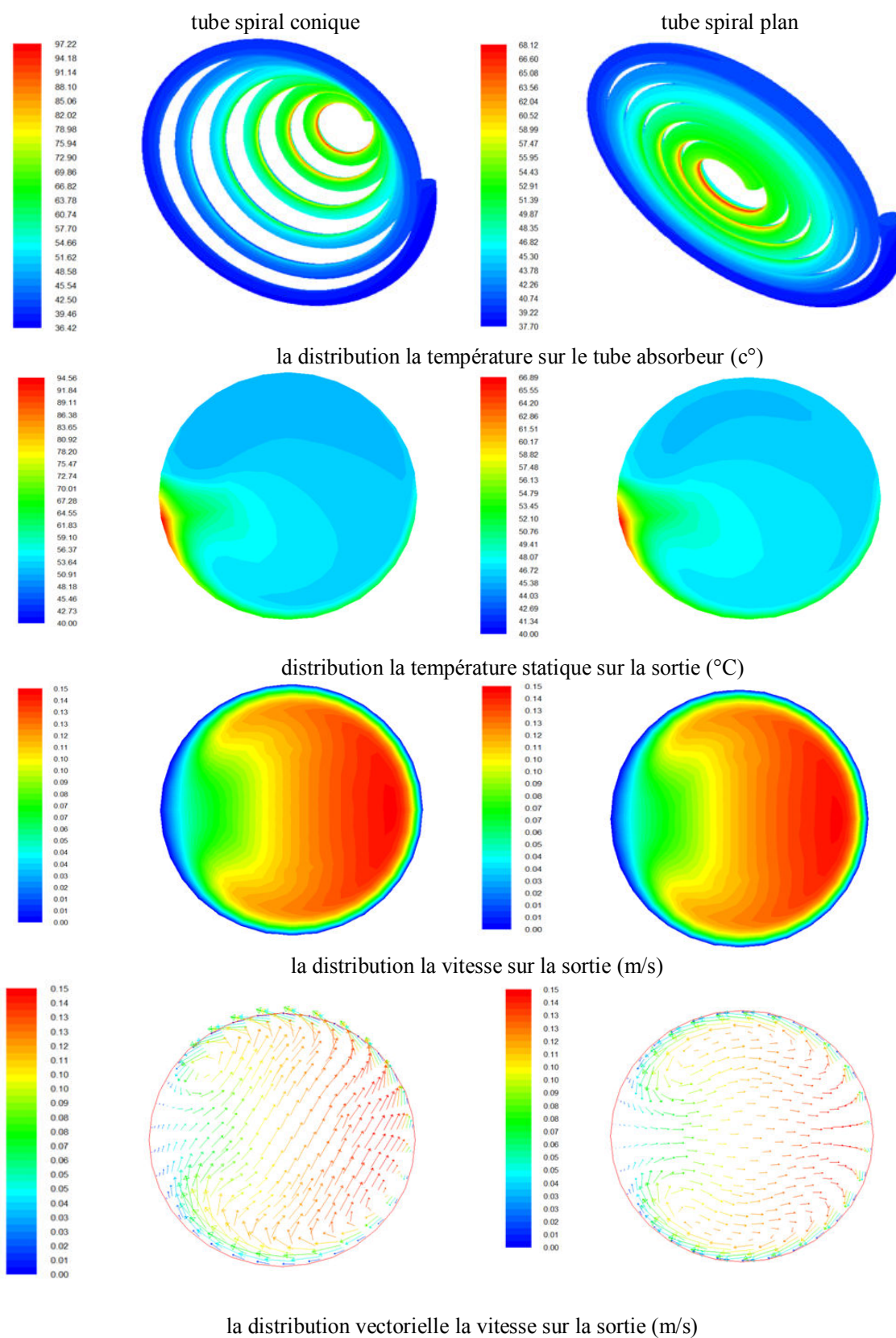


Figure IV.15 : Présentation de la distribution de la température et la vitesse.

Le sens des vitesses associées aux contours de température sont bien représentées à la Fig. 13 dans la section de sortie du tube de l'absorbeur (outlet). On peut noter que la température du tube de récepteur est plus élevée sur la face exposée au réflecteur (rayonnement concentré). Au contact de cette surface, le fluide amorce un mouvement ascensionnel vers la surface supérieure, cette surface est plus froide. Au contact avec le fluide, celui-ci se refroidit et descend. Deux grandes structures tourbillonnaires symétriques sont observées. Les vortex sont principalement causés par la non-uniformité du flux concentré par le réflecteur.

La conception de spiral conique conduit à une efficacité thermique plus élevée par rapport au spiral plan avec un pourcentage d'environ 15%

<b>Concentrateur parabolique et récepteur à tube spiral</b>	<b>valeur</b>
Rapport de concentration	80,2
Diamètre extérieur du concentrateur	3,8 m
Diamètre intérieur du concentrateur	0,4 m
Angle de jante parabolicoïde	45,6°
Distance focale	2,26 m
Ouverture nette du collecteur	10,29 m <sup>2</sup>
Diamètre extérieur du tube en spirale	12,2 mm
Diamètre intérieur du tube en spirale	10,5 mm
Nombre de spires dans la spirale	13
Nombre de bobines dans le conique	11
Diamètre d'ouverture (dans les deux cas)	404 mm
Émittance de l'absorbeur	0,08
Absorbeur absorbance	0,95
Réflexion du concentrateur	0,85

**Tableau IV.1** : Paramètres des configurations étudiées

Les propriétés thermo-physiques du fluide caloporteur et de tube absorbeurs utilisés sont présentées dans le tableau suivant [16]:

Tableau IV.2 : Les propriétés thermo-physiques.

propriétés	Cuivre	Aluminium	Air	Eau
$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	2702	2707	$353/(T+273)$	$-0,0038 \times T^2 - 0,0505 \times T + 1002,6$
$C_p$ (J/kg/K)	903	896	1008	4180
$\mu$ (Pa.s)	-	-	$(0,0046 \times T + 1,7176) \times e^{-5}$	$(0,002 \times T^2 + 0,3389 \times T + 17,199) \times e^{-4}$
$k$ (W/m/K)	287	204	$0,0242 + 7,57 \times T \times e^{-5}$	$-9,87 \times T^2 \times e^{-6} + 2,238 \times T \times e^{-3} + 0,5536$
$\beta$ (K <sup>-1</sup> )	-	-	1/T	-

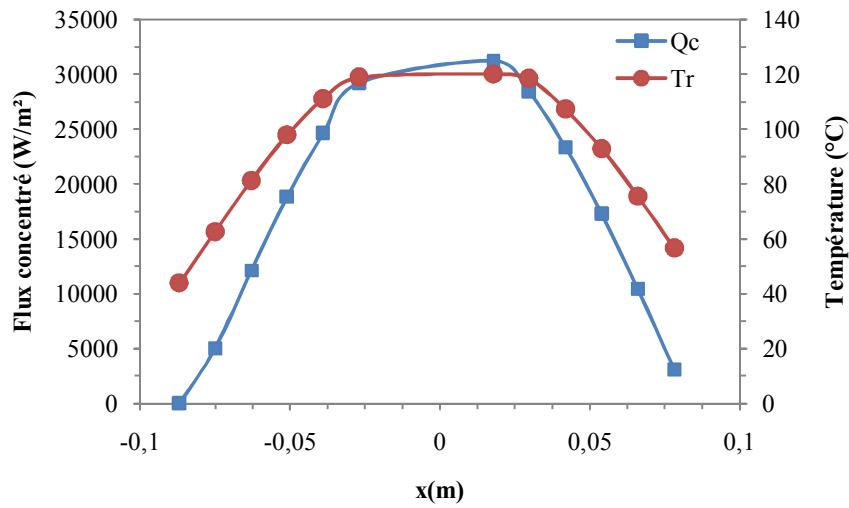


Figure IV.16 : Distribution de rayonnement concentré  $Q_c$  et de la température de récepteur  $T_r$  sur la cavité (base) de tube conique

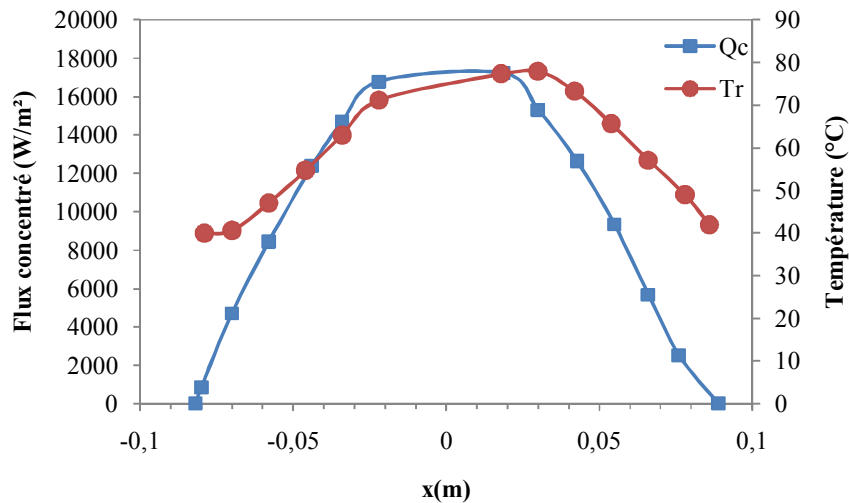


Figure IV.17 : Distribution de rayonnement concentré  $Q_c$  et de la température de récepteur  $T_r$  sur la cavité (base) de tube spiral

Ces résultats sont donnés en unités  $[W/m^2]$  et la surface extérieure de récepteur de chaque spirale est donc utilisée dans ce calcul. Les résultats indiquent que le flux concentré est plus intense dans le tube conique et ce fait conduit à une énergie absorbée plus élevée par cette conception. En général, le flux de chaleur est plus important pour les spirales les plus proches du centre pour les deux conceptions. De plus, il faut dire que la conception en spirale présente une distribution du flux thermique relativement plus uniforme, ce qui peut conduire à une augmentation de l'énergie absorbée. La distribution du flux concentré relativement plus uniforme, ce qui peut conduire à des températures moins élevées. Cependant, les contraintes thermiques ne constituent pas un problème majeur dans les récepteurs à cavités. Récepteurs à cavité et cet avantage n'est donc pas si important pour le présent système.

#### **IV.5 Conclusion**

La présente étude porte sur la simulation de deux récepteurs, le premier un tube spiral plan et le second un tube spiral sa cavité conique placé au point focal d'un concentrateur parabolique. Après la simulation par SolTrace et Fluent, on peut dire que l'évaluation des résultats obtenus indique que la conception conique est la plus efficace et on peut dire que c'est une option prometteuse pour les concentrateurs paraboliques.

# **Conclusion Générale**

Ce travail est une analyse de l'utilisation d'un absorbeur de type tube sous forme spiral placé au point focal d'un concentrateur parabolique. Le tube conique est correctement conçu afin de remplacer le tube spiral plan. L'étude optique, thermique de système est en premier étape est optimisé l'effet de la concentration, puis examiné dans la seconde étape la distribution de la température dans le tube et à la sortie de tube pour chacun tube, on apprit l'eau comme fluide de travail.

Les conclusions les plus importantes de ce travail sont résumées ci-dessous :

- L'efficacité optique maximale de spiral plan par rapport au spiral conique de 75,21 %, tandis que pour le récepteur en spirale, elle est de 74,06 %. L'amélioration de l'efficacité optique est d'environ 1,15 %.
- La température moyenne de spiral conique est d'environ 30°C plus par rapport à la conception en spirale et ce fait réduit l'efficacité thermique de le récepteur en spiral.
- La conception de spiral conique conduit à une efficacité thermique plus élevée par rapport au spiral plan avec un pourcentage d'environ 15%,

La demande de travail de pompage s'augmente plus vite avec la spirale plan à cause de de plus de nombre des spires par rapport au spiral conique, ce qui fait va augmenter la longueur du récepteur. Le critère d'efficacité globale a prouvé que la conception spirale conique est plus rentable que le tube spiral plan.

**Références  
bibliographiques**

- [1] Govind, N. K., *et al.*, Design of Solar Thermal Systems Utilizing Pressurized Hot Water Storage for Industrial Applications, *Solar Energy*, 82 (2008), 8, pp. 686-699
- [2] Kalogirou, S., The Potential of Solar Industrial Process Heat Applications, *Applied Energy*, 76 (2003), 4, pp. 337-361
- [3] Amit, J., *et al.*, Optimizing the Cost and Performance of Parabolic Trough Solar Plants with Thermal Energy Storage in India, *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 32 (2013), 3, pp. 824-829
- [4] Abutayeh, M., *et al.*, Solar Thermal Power Plant Simulation, *Environmental Progress and Sustainable Energy*, 32 (2013), 2, pp. 417-424
- [5] Pavlović, S., *et al.*, Optical Model and Numerical Simulation of the New Offset Type Parabolic Concentrator with Two Types of Solar Receivers, *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering*, 13 (2015), 2, pp. 169-180
- [6] Pavlović S., *et al.*, Optical Modeling of Solar Dish Thermal Concentrator Based on Square Flat Facets, *Thermal Science*, 18 (2014), 3, pp. 989-998
- [7] Saleh Ali, I. M., *et al.*, An Optical Analysis of a Static 3-D Solar Concentrator, *Solar Energy*, 88 (2013), Feb., pp. 57-70
- [8] MT. Islam, N.huda , AB. Abdullah,R. Saidur, « A comprehensive review of satiate-of-the-art concentrating solar power technologies », *Renew sustain energy rev* 2018 ;91 :987-1018
- [9] J. coventry, G Andraka . « Dish systems for GSP », *Sol energy* 2017; 152:140-70
- [10] SG. John , T. Lakshmanan . «Cost optimization of dish solar concentrators for improved scalability decisions». *Sol energy* 2017 ; 114B :600-13
- [11] <https://www.cnrs.fr/comitenational/doc/rapport/2004/lesateliers/133-156-Chap6-energie.pdf>, consulter le 23/05/2022.
- [12] <https://www.alloprof.qc.ca/fr/eleves/bv/sciences/les-manifestations-naturelles-de-l-energie-s1382#l-energie-solaire> , consulter le 23/05/2022.
- [13] [http://www.lyc-vinci-st-witz.ac-versailles.fr/IMG/pdf/chapitre17\\_ressourcesenergetiques\\_corrige\\_.pdf](http://www.lyc-vinci-st-witz.ac-versailles.fr/IMG/pdf/chapitre17_ressourcesenergetiques_corrige_.pdf), consulter le 23/05/2022.
- [14] <https://commons.wikimedia.org> consulter le 23/05/2022.
- [15] S. Patankar, « Numerical Heat transfer and Fluid Flow (Hemisphere Series on Computational Methods in Mechanics and Thermal Science) », CRC Press, 1st Edition, 1980.
- [16] K. Mahdi, « Conception et réalisation d'un concentrateur sphérique», mémoire de

Magister, université Mentouri, Constantine 1, 2009.

- [17] K. Mahdi, « Production d'hydrogène par électrolyse sous chauffage solaire par un concentrateur paraboloidal », thèse de doctorat en sciences, université frères Mentouri, Constantine 1, 2015
- [18] <https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/bilan-radiatif-terre1.xml>
- [19] O. Zikanov, « Essential computational fluid dynamics », John Wiley & Sons, 2010.
- [20] L. M. Jiji, « Heat Convection », Springer, 2009.
- [21] C. Hirsch, « Numerical Computation of Internal and External Flows : The Fundamentals of Computational Fluid Dynamics », Butterworth-Heinemann, 2nd Edition, 2007.
- [22] S.V. Patankar, D. Brian Spalding, « A calculation procedure for heat, mass and momentum transfer in three-dimensional parabolic flows », International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol 15, pp, 1787-1806., 1972.
- [23] B. Stine, M. Geyer, « Power from the Sun », Lyle centre for regenerative studies, 2001.
- [24] B. Fairouz , G. Siham, « Etude numérique et optimisation dans un tube spiral d'un capteur solaire paraboloidal », mémoire de master, université de M'sila ,2021
- [25] <https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/bilan-radiatif-terre1.xml>
- [26] R. Bernard, G. Menguy, M. Schwartz, « Le Rayonnement Solaire, Conversion Thermique et Applications », Technique et Documentation Lavoisier, Paris, 1983.
- [27] B. Stine, M. Geyer, « Power from the Sun », Lyle centre for regenerative studies, 2001.
- [28] KE. Cox, KD. Williamson Jr, « Hydrogen: its technology and implications; vol. I, Hydrogen production technology », CRC Press, 1979.
- [29] J.A. Duffie, and J.W. Beckman, « Solar Engineering of Thermal Processes », Wiley 2ed Inc, 1991.
- [30] W.B. Stine, R.B. Diver, « A Compendium of Solar Dish/Stirling Technology Albuquerque », Sandia National Laboratories, Livermore, 1994.
- [31] « Optical Society of America, Handbook of Optics », Devices, Measurements & Properties », (volume II), 1995.

## دراسة مقارنة لمستقبلات التجويف الحلزوني والمخروطي لمركز مكافئ

### ملخص

في هذا العمل قمنا بالدراسة النظرية و المقارنة بين مستقبل على شكل أنبوب حلزوني مسطح و مستقبل على شكل أنبوب حلزوني مخروطي بحيث يتم وضعهما في النقطة البؤرية لمركز شمسي مكافئ و ذلك عن طريق الاعتماد على النمذجة ببرنامج Gambit و المعالجة و التحليل عن طريق برنامج Fluent و SolTrace و الذي من خلالهما تمكنا من التنبؤ بتوزيع درجة الحرارة في الأنبوب و كذلك درجة حرارة المخرج . بالإضافة إلى مقارنة متغيرات أخرى من تدفق و فعالية ضوئية حيث في الأخير توصلنا إلى أن المستقبل ذو الأنبوب المخروطي أكثر فعالية و كفاءة من المستقبل ذو الأنبوب الحلزوني المسطح.

**الكلمات المفتاحية:** أنبوب حلزوني ، حلزوني مخروطي ، صولترايس، درجة الحرارة ، الفلوانت

## Étude comparative de récepteurs à cavité spirale et conique d'un concentrateur parabolöide

### Résumé

Dans ce travail, nous étudions et comparons théoriquement entre un récepteur en forme de tube spirale plan et un récepteur en forme de tube spirale conique, pour qu'ils soient placés au foyer d'un centre solaire équivalent, en s'appuyant sur modélisation dans le programme Gambit, traitement et analyse par le programme Fluent et SolTrace. Grâce à quoi nous avons pu prédire la répartition de la température dans le tube ainsi que la température de sortie. En plus de comparer d'autres variables de flux et d'efficacité optique. En fin de compte, nous avons constaté que le récepteur à tube conique est plus efficace et efficient que le récepteur à tube spirale plan.

**Mots clés :** tube spirale, spirale conique, SolTrace, Température, Fluent

## Comparative study of spiral and conical cavity receivers of a paraboloidal concentrator

### Abstract

In this work, we study and theoretically compare between a flat spiral tube-shaped receiver and a conical spiral tube-shaped receiver, so that they are placed at the focus of an equivalent solar center, relying on modeling in the plug-in program, processing and analysis by Fluent and Soltrace program. Thanks to which we were able to predict the temperature distribution in the tube as well as the outlet temperature. In addition to comparing other flux and luminous efficiency variables. In the end, we found that the conical tube receiver is more effective and efficient than the spiral flat tube receiver.

**Keywords:** spiral tube, conical spiral, SolTrace, Temperature, Fluent