

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE PHYSIQUE

N° : Ph/ENR/01/2021



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 :

BELAKHAL Fairouz et GUIA Siham

Intitulé

**Etude numérique et optimisation dans un tube
spiral d'un capteur solaire paraboloidal**

Soutenu devant le 24 / 06 / 2019 jury composé de:

TALOUB Djedid	Université Mohamed Boudiaf - M'Sila	Président
MAHDI Khaled	Université Mohamed Boudiaf - M'Sila	Rapporteur
BOURAS Abdelkarim	Université Mohamed Boudiaf - M'Sila	Examineur

Année universitaire : 2020 /2021

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 Dr TALOUB Djedid de jury et Dr BOURAS Abdelkrim d'avoir accepté de me faire l'honneur de juger ce travail et de participer au jury de ce mémoire.

Dédicace

Je dédie ce travail à toute ma famille, mon père et ma mère
ainsi mes sœurs et frères.

Tous mes amis, et pour tous ce qui m'aiment.

BELAKHAL Fairouz

Dédicace

Je dédie ce travail à toute ma famille, mon père et ma mère
ainsi mes sœurs et frères.

Tous mes amis, et pour tous ce qui m'aiment.

GUIA Siham

Table des Matières

Introduction Générale	1
Chapitre I: Différents types de climat	
I.1 Introduction.....	3
I.2 Capteur Plan	3
I.2.1 Capteur Photovoltaïque.....	3
I.2.2 Capteur Photothermique	3
I.3 Capteur à Concentration	3
I.3.1 Principes	3
I.3.1.1 Lois de Descartes relatives à la réflexion	3
I.3.1.2 Stigmatisme.....	4
I.3.2 Définition de la concentration.....	4
I.3.3 Concentration géométrique	5
I.3.4 Concentration optique (énergétique).....	5
I.3.5 Formules de calcul des différentes concentrations.....	6
I.3.6 Concentrateur Linéaire (2D).....	6
I.3.6.1 Concentrateur Cylindro-Parabolique	7
I.3.6.2 Concentrateur Cylindrique	7
I.3.6.3 Concentrateur Fresnel	7
I.3.7 Concentrateur Linéaire (3D).....	8
I.3.7.1 Concentrateur Sphérique	8
I.3.7.2 Central à tour.....	8
I.4 Concentration parabolique.....	9
I.5 Conclusion.....	9
Chapitre II: Étude théorique d'un concentrateur paraboloidal	
II.1 Introduction.....	11
II.2 Réflecteurs	11
II.2.1 Influence de la distance focale.....	14
II.2.2 Influence de l'angle d'ouverture.....	14
II.2.3 Matériaux de réflecteur.....	16
II.2.4 Rendements optiques.....	17
II.2.5 Taille de réflecteur.....	18
II.5 Système de poursuite solaire.....	19

II.5.1 Montage équatorial.....	19
II.5.2 Montage altazimutal.....	20
II.6 Récepteur.....	20
II.6.1 Isolation.....	22
II.6.2 Type de récepteur	22
II.7 Fluides caloporteurs.....	22
II.8 Conclusion.....	23

Chapitre III: Outils de calcul

III.1 Introduction.....	28
III.2 Introduction à la CFD.....	28
III.2.1 La méthode analytique.....	28
III.2.2 La méthode expérimentale.....	28
III.2.3 L'approche numérique.....	28
III.3 Équations gouvernant la CFD.....	29
III.3.2 Équation de conservation de la quantité de mouvement.....	29
III.3.3 Équation de conservation de l'énergie.....	29
III.4 Techniques de discretization.....	30
III.5 Modélisation de la turbulence.....	30
III.5 Utilisation de la CFD.....	32
III.5.1 Pré-processeur.....	32
III.5.2 Solveur.....	32
III.5.3 Post-processeur.....	34
III.6 La méthode de Monte Carlo.....	30
III.6.1 Description sur logiciel SolTrace.....	30
III.6.2 Principe de fonctionnement.....	30
III.6.2.1 Paramètres optiques.....	31

Chapitre IV: Résultats de la simulation de SolTrace & CFD

IV.1 Introduction.....	34
IV.2 Réalisation le récepteur par logiciel Gambit.....	34
IV.2.1 Élaboration de la géométrie et le maillage.....	35
IV.2.2 Hypothèses simplificatrices et conditions aux limites.....	36
IV.2.3 Les propriétés thermo-physiques.....	38
IV.2.4 Résultats de la simulation du model sur SolTrace.....	37

IV.2.5 Exploitation des résultats de FLUENT.....	37
IV.3 Conclusion.....	45
Conclusion générale.....	46
Référence.....	47
Résumé	

Liste des figures

Figure I.1 : Réflexion d'un rayon lumineux.....	4
Figure I.2 : Stigmatisme.....	4
Figure I.3 : Réflexion sur surface courbe.....	5
Figure.1.4 Schéma d'un capteur solaire à concentration.....	6
Figure I.5 : Présentation de la concentration linéaire pour un concentrateur cylindre parabolique Stigmatique.....	7
Figure I.7: Présentation d'un cylindrique/circulaire astigmatique.....	7
Figure I.8 : Central Fresnel	8
Figure I.9 : schéma illustratif de principe de fonctionnement d'un concentrateur sphérique à récepteur mobile.....	8
Figure I.10 : schéma illustratif de principe de fonctionnement de la centrale Thémis-Odeillo (1983-1986).....	9
Figure I.11 : différentes formes de Concentrateur parabolique.....	9
Figure II.1 : Schéma parabolicoïde de révolution et leur coupe transversale.....	11
Figure II.2 : Concentration géométrique.....	12
Figure II.3 : (à gauche) Variation de la forme en fonction de la distance focale (à droite) Représentation de l'angle de l'ouverture d'un parabolicoïde.....	12
Figure II.4 : Variation de D/f en fonction de l'angle d'ouverture.....	13
Figure II.5 : La relation entre la distance focale et l'ouverture pour un diamètre Constant de réflecteur.....	14
Figure II.6 : la relation entre la taille de la tache focale et l'ouverture pour le même diamètre de Réflecteur.....	14
Figure II.7 : La liaison entre la taille de la tache focale et l'ouverture pour le même réflecteur.....	15
Figure II.8 : Le concentrateur sphérique comporte comme un concentrateur parabolique à faible l'angle d'ouverture.....	16
Figure II.10 : concentrateur à facettes sphériques.....	16
Figure II.11 : variation du coefficient de réflexion de quelques métaux en fonction de longueur d'onde de l'onde incidente perpendiculaire à la surface.....	17
Figure II.12 : Pertes optiques d'un concentrateur parabolique.....	18
Figure II.13 : Évolution de la puissance électrique en fonction de diamètre de	

réflecteur pour un rayonnement solaire incident $I_N = 1000 \text{ W/m}^2$ et un rendement de système entre 15% et 25%.....	19
Figure II.14 : Système poursuite Equatoriale (à gauche) et Altazimutal (à droite).	20
Figure II.15 : Facteurs monochromatiques d'absorption α_λ , d'émission ε_λ , de réflexion ε_λ et de transmission τ_λ pour une surface idéale.....	21
Figure II.16: Représentation schématique d'un récepteur externe (à gauche) et d'un récepteur cavité (à droit).....	22
Figure III.1: Interface de logiciel Soltrace version 2012.7.9.....	29
Figure III.2: Introduction des propriétés optiques du concentrateur.....	29
Figure III.3: Introduction des propriétés optiques de l'absorbeur.....	30
Figure III.4: Introduction dimensions de réflecteur.....	30
Figure IV.1 : Le Prototype proposé.....	34
Figure IV.2: vue horizontale de tube spiral réalisé et maillé par logiciel Gambit...	35
Figure IV.3: Maillage de domaine de Fluide.....	35
Figure IV.4: Description du tube spiral de récepteur.....	36
Figure IV.5 Réalisation de tube spiral par logiciel Gambit.....	37
Figure IV.6 Présentation de rayon de soleil concentré sur le récepteur.....	38
Figure IV.7 : Distribution de flux de rayonnement solaire concentré sur la circonférence du tube spiral de récepteur.....	38
Figure IV.8 : Présentation de la tache solaire sur le récepteur.....	39
Figure IV.9 : Distribution de flux de chaleur par rayonnement solaire concentré sur la surface inférieure du tube spiral de l'absorbeur en W/m^2	40
Figure IV.10 : Évolution des résidus.....	40
Figure IV.11 : Présentation de la distribution de la pression, la vitesse d'écoulement et la température pour $Re = 100$	41
Figure IV.12 : Présentation de la distribution de la pression, la vitesse d'écoulement et la température pour $Re = 500$	42
Figure IV.13 : présentation de la distribution de la pression, la vitesse d'écoulement et la température pour $Re = 1000$	43
Figure IV.14 : Distribution radial de flux solaire concentré.....	44
Figure IV.15 : Distribution radial de la pression radiale et axiale dans le tube spiral.....	44
Figure IV.16 : Distribution radial de la vitesse radiale et axiale dans le tube	

spiral.....	44
-------------	----

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Valeurs de coefficients de réflexion, pour le spectre solaire, de miroirs non dégradés.....	4
Tableau II.2 : Le coefficient d'absorption et le coefficient d'émission donnés pour les supports les plus utilisés comme absorbeur.....	21
Tableau II.3 : Les propriétés thermo-physiques.....	37
Tableau IV.1 : Paramètres géométriques de base utilisés pour la simulation numérique.....	40

Nomenclature

Lettres latines

$C_{id\acute{e}ale}$	: Concentration géométrique idéale
C_g	: Concentration géométrique
C_o	: Concentration optique (��nerg��tique)
A_{ref}	: Section d'ouverture du concentrateur caractérisée par l'angle θ , 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}	: Eclair��ment solaire direct, W/m^2
I_{ref}	: Eclair��ment solaire direct dans la section d'ouverture du concentrateur, W/m^2
D	: Diamètre, m
$\dot{Q}_{��le}$	: Puissance ��lectrique, 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_ϵ	: 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

θ	: L'angle d'ouverture du concentrateur
ϕ	: Demi-angle d'ouverture du concentrateur
α_r	: Coefficient d'absorption

ϵ_r	: Emissivité
ρ	: Massa volumique, (kg/m ³)
c_p	: Chaleur spécifique, (J/kg/°C)
λ	: conductivité thermique, (W/m/°C)
μ	: Viscosité dynamique, (kg/m/s)
β	: Coefficient d'expansion thermique, (K ⁻¹)
λ	: Coefficient de transmission, conductivité thermique, (W/°C/m)
δ_{ij}	: Indice de Kronecker
σ	: Constante de Stefan-Boltzmann, (W/m ² /K ⁴)
Ω, Ω'	: Angle solide (degrees, radians, gradians)

Introduction générale

Le réchauffement planétaire de l'atmosphère causé par l'émission des gaz à effet de serre ainsi que l'instabilité des prix du pétrole conduit l'homme à s'intéresser à d'autres sources d'énergie renouvelable.

Les énergies fossiles et fissiles représentent des ressources épuisables et dangereuses pour notre environnement écologiques par contre on trouve les ressources renouvelables constituent une source d'énergie inépuisable pour l'homme. Elles sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués par les astres, principalement le Soleil (rayonnement et vent), mais aussi la Lune (marée) et la Terre (énergie géothermique).

L'énergie solaire est l'énergie que dispense le soleil par son rayonnement, directement ou de manière diffuse à travers l'atmosphère. Sur Terre, l'énergie solaire est à l'origine du cycle de l'eau et du vent. Le règne végétal, dont dépend le règne animal, l'utilise également en la transformant en énergie chimique via la photosynthèse. A l'exception de l'énergie nucléaire, de la géothermie et de l'énergie marémotrice, l'énergie solaire est à l'origine de toutes les énergies sur Terre.

La conversion photothermique de l'énergie solaire au niveau de l'absorbeur/récepteur peut constituer un apport d'énergie non négligeable pour un grand nombre d'applications thermiques, thermomécaniques et thermochimiques à condition que des rendements de conversion élevés puissent être atteints dans une gamme de températures relativement étendue. Quatre catégories d'applications se dégagent en fonction de la température [1,2] :

- Applications aux basses températures solaires ($T < 60^{\circ}\text{C}$) : chauffage de l'eau sanitaire, ...
- Applications aux moyennes températures solaires ($60^{\circ}\text{C} < T < 150^{\circ}\text{C}$) : chauffage des habitations, réfrigération, climatisation, dessalement de l'eau de mer, production d'énergie mécanique...,
- Applications aux hautes températures solaires ($150^{\circ}\text{C} < T < 800^{\circ}\text{C}$) : production d'énergie mécanique, production de vapeur, Dissociation de l'eau...,
- Applications aux très hautes températures solaires ($T > 800^{\circ}\text{C}$) : dissociation thermique de l'eau, magnétohydrodynamique, thermo électricité).

Les miroirs paraboliques présentent un certain nombre d'avantages dans la réalisation de concentrateurs du rayonnement solaire, et notamment dans un large domaine de la conversion photothermique. Pour améliorer la conception de tels capteurs, et optimiser leur adaptation au type de conversion projeté, on a étudié l'influence des différents paramètres intervenant dans cette réalisation : dimensions du réflecteur, positionnement sur le support, effets des erreurs de position et du dépointage. Un logiciel de calcul a été mis au point et les résultats des

simulations réalisées à l'aide de cet outil sont présentées et commentés, notamment pour le paramètre température (moyenne et maximale) après conversion du rayonnement solaire en chaleur.

Grâce à divers procédés, l'énergie solaire peut être transformée en une autre forme d'énergie utile pour l'activité humaine, notamment en chaleur, en électricité ou en biomasse. Par extension, l'expression « énergie solaire » est souvent employée pour désigner l'électricité ou la chaleur obtenue à partir de cette dernière.

Notre travail porte essentiellement est basé sur une étude numérique renforcée par des résultats de la littérature, de la production de l'énergie thermique par un tube de forme spirale à l'aide d'un capteur à concentration solaire.

Cette étude comporte les chapitres suivants :

- **Le premier chapitre** est représenté une description générale sur les différents capteurs et les concentrateurs.
- **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 principe de fonctionnement de concentrateur type paraboloïdale devant les rayons du soleil.
- **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 puis nous avons aussi discuté sur le principe de calcul de Fluent.
- **Le quatrième chapitre** est divisé en deux essentielle partie, la première partie consiste à déterminé la tache concentré sur récepteur/absorbeur à l'aide de SolTrace par l'intégration les dimensions de notre concentrateur paraboloïdale. La seconde partie nous avons exécuté une simulation à trois dimensionnelle à l'aide de logiciel Fluent sur un tube spiral contient de l'eau. La conception de tube spiral a été réalisée et maillé par Gambit, puis nous avons produit des résultats qui représente plusieurs distributions des paramètres suivant : la tache solaire, pression, vitesse d'écoulement et température...

On finira notre étude par une conclusion générale.

Les différents types des concentrateurs

I.1 Introduction

La concentration du rayonnement solaire sur un seul foyer permet d'atteindre des températures élevées. Ce principe met en œuvre soit des capteurs de forme parabolique ou Cylindro-parabolique, soit des centrales dites « à tour », pour lesquelles une multitude de miroirs orientables, appelés héliostats, concentrent l'énergie solaire sur une chaudière unique située sur une tour. Cela rend possible le réchauffement de fluides caloporteurs, en général de l'huile ou des sels fondus, dans une gamme de température allant de 250 °C à 2000°C, avec un rendement supérieur à 70% (rapport chaleur utile/énergie incidente). Le capteur solaire représente des surfaces réceptrices au rayonnement qui provient du soleil et de l'atmosphère. On peut diviser les capteurs en deux types principaux, le premier est de type plan et le second du type à concentration [1].

I.2 Capteur Plan

Le capteur se compose par deux grandes catégories le premier est le capteur photovoltaïque et le deuxième photothermique.

I.2.1 Capteur Photovoltaïque

Un système solaire Photovoltaïque fabriqué en silicium est exploité le rayonnement du Soleil afin de le transformer directement en électricité. La figure ci-dessous montre un capteur Photovoltaïque

I.2.2 Capteur Photothermique

Un système solaire thermique exploite le rayonnement du Soleil afin de le transformer directement en chaleur (énergie calorifique).

I.3 Capteur à Concentration

Un système solaire à concentration thermodynamique exploite le rayonnement du Soleil en orientant, au moyen de miroirs, les flux de photons. Ce système thermique concentré permet d'atteindre des niveaux de température bien supérieurs à ceux des systèmes thermiques classiques non concentrés. On peut distinguer les capteurs à concentration en deux types de concentrations.

I.3.1 Principes

1.3.1.1 Lois de Descartes relatives à la réflexion

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

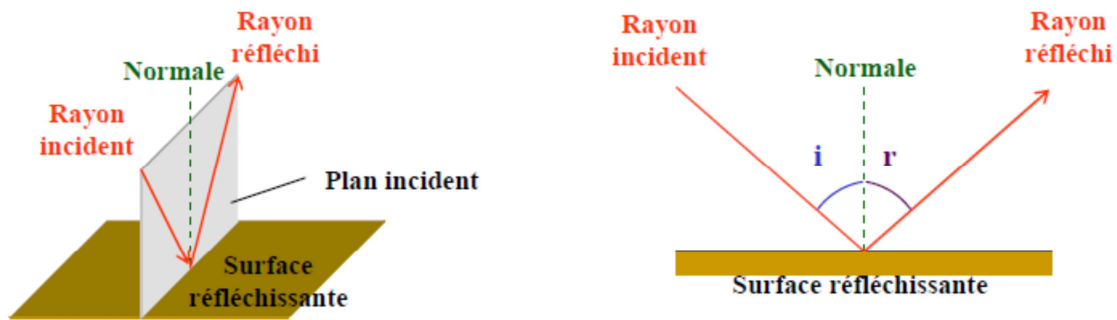


Figure I.1 : Réflexion d'un rayon lumineux

2. l'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence illustré par la Figure I.1.

1.3.1.2 Stigmatisme [1]

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 montrée par la Figure I.2.

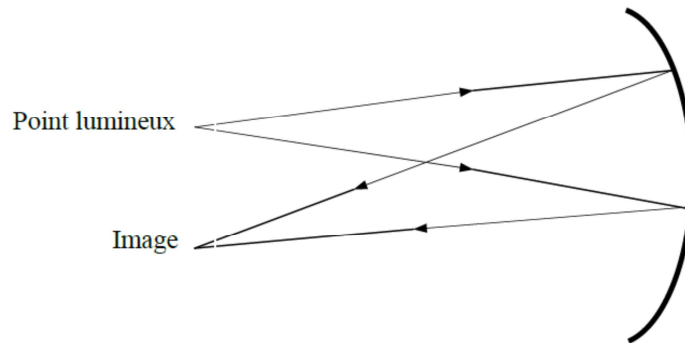


Figure I.2 : Stigmatisme [1]

1.3.2 Définition de la concentration

C'est un indicateur de la quantité de concentration réalisée par un collecteur donné, nous avons trois types de concentration [2] :

1. Concentration idéale (Gauss);
2. Concentration géométrique
3. 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 θ et la surface d'image de Gauss du soleil S_G [2].

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

Avec :

$$s_G = \pi f^2 \left(\frac{\varepsilon}{2}\right)^2 \quad (\text{I.2})$$

I.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 :

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

I.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 [2] :

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

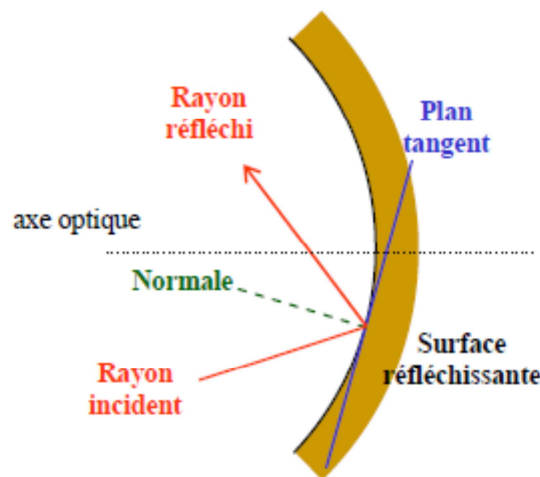


Figure I.2 : Réflexion sur surface courbe [3]

Si la surface réfléchissante est courbe (**Figure 3**), celle-ci peut être décomposée en une multitude de plans infiniment petits. Ainsi, au point d'impact du rayon incident sur la surface réfléchissante, il faut considérer le plan tangent en ce point. On obtient ainsi la normale du plan tangent au point d'impact, et les deux lois de la réflexion sont alors d'application pour déterminer le rayon réfléchi. Il existe deux types de miroirs courbes : les miroirs concaves et les miroirs convexes [3].

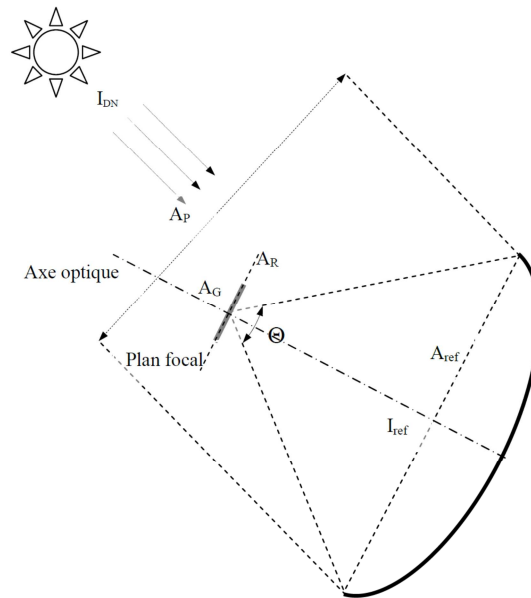


Figure.1.3 Schéma d'un capteur solaire à concentration [1]

θ : 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 θ 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.

I.3.5 Formules de calcul des différentes concentrations

On utilise les formules suivantes pour caractériser les différents types de concentrations [1] :

1. Concentration idéale:

$$C_{idél} = \frac{A_{ref}}{A_G} = \frac{\text{section d'ouverture}}{\text{surface d'image de Gauss}} \quad (I. 4)$$

I.3.6 Concentrateur Linéaire (2D)

Le rayonnement solaire est concentré sur un ou plusieurs tubes absorbeurs installés le long de la ligne focale des miroirs. Ce tube contient un fluide caloporteur porté à une température de l'ordre de 250 à 500°C.

I.3.6.1 Concentrateur Cylindro-Parabolique

Le foyer d'une parabole est un point, celui d'un miroir cylindro-parabolique est un axe, sur lequel est placé un tube absorbeur (le récepteur) de couleur noire, pour capter un maximum de rayonnement. Dans ce tube circule le fluide caloporteur, qui se réchauffe jusqu'à une température d'environ 500°C et qui est ensuite centralisé et transporté jusqu'au bloc de génération électrique. L'ensemble miroir cylindro-parabolique/récepteur suit le mouvement du Soleil.

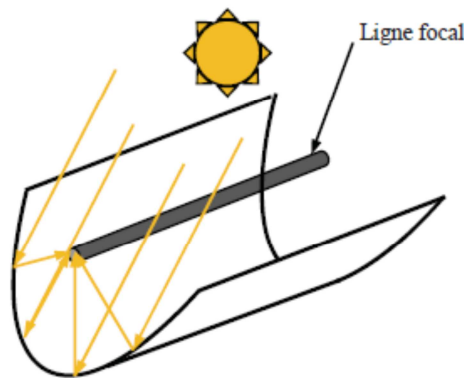


Figure I.1 : Présentation de la concentration linéaire pour un concentrateur cylindre parabolique Stigmatique [2]

1.3.6.2 Concentrateur Cylindrique

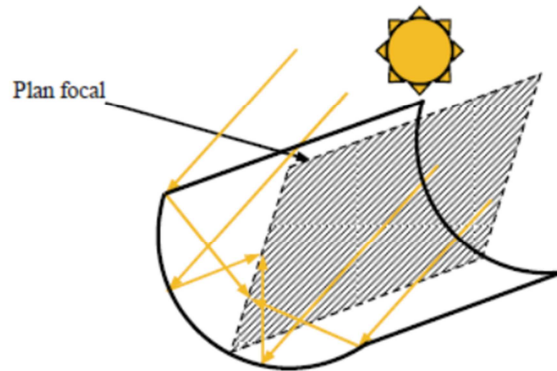


Figure I.2 Présentation d'un cylindrique/circulaire astigmatique [2]

1.3.6.3 Concnetrateur Fresnel

Un facteur de coût important dans la technologie des collecteurs cylindro-paraboliques est la mise en forme du verre pour obtenir la forme parabolique requise. Afin de diminuer ce coût, plusieurs groupes de recherche travaillent sur des prototypes de collecteurs de Fresnel à focalisation linéaire. L'idée est d'approximer la forme parabolique du collecteur par une succession de miroirs plane. La puissance atteinte varie entre 5MW (Kimberlina Solar

Thermal Energy plant, Californie 2010) et 30MW (PuertoErrado 2, Espagne 2012) avec un rendement maximal de 38% (Puerto Errado 2).

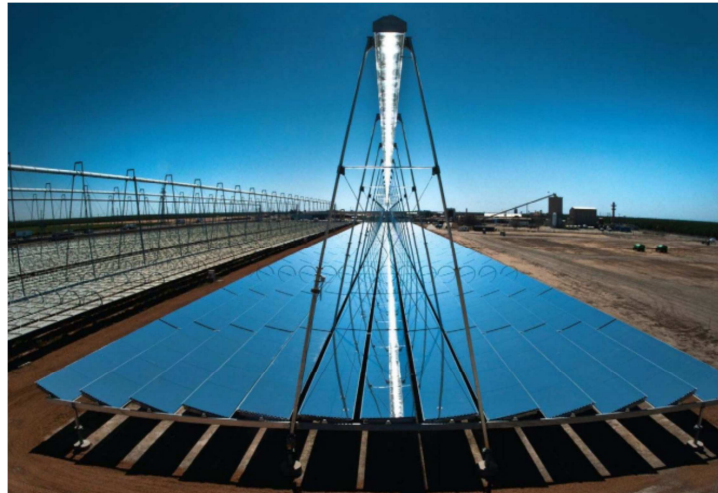


Figure I.3 : Central Fresnel [3]

1.3.7 Concentrateur Linéaire (3D)

Qu'il s'agisse des paraboles ou des héliostats des centrales à tour et des fours solaires, ce type de concentrateurs assure le suivi solaire sur deux axes : en azimut et en élévation.

1.3.7.1 Concentrateur Sphérique

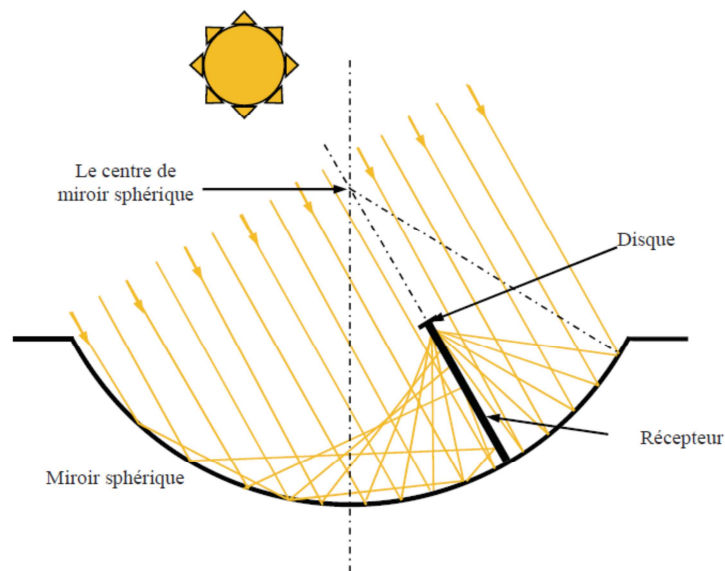


Figure I.4 : schéma illustratif de principe de fonctionnement d'un concentrateur sphérique à récepteur mobile [2]

1.3.7.2 Central à tour

C'est centrale solaire ou héli thermoélectrique transforme l'énergie lumineuse en provenance du soleil dans un premier temps en énergie thermique puis dans un deuxième temps en électricité. Vouloir produire de l'électricité à partir de la voie thermodynamique oblige à

satisfaisant au principe de Carnot (Figure 3.12). Il sera nécessaire d'élever au maximum la température de la source chaude pour augmenter le rendement.

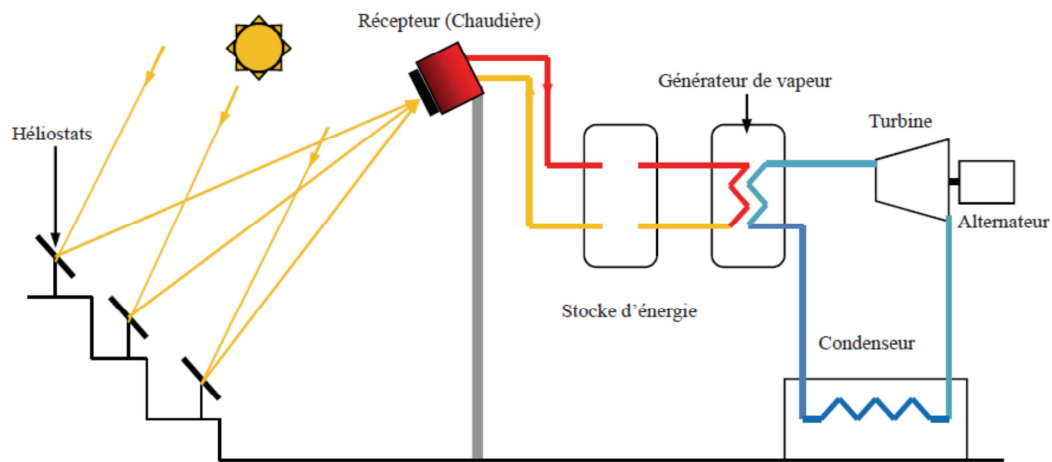


Figure I.5– schéma illustratif de principe de fonctionnement de la centrale Thémis - Odeillo (1983-1986) [2]

1.4 Concentration parabolique

Les concentrateurs solaires paraboliques sont formés par un ensemble de miroir incurvés dont l'assemblage entraîne la réalisation d'une parabole. Ressemblant à des paraboles de réception satellite, les concentrateurs paraboliques sont en 3 dimensions. En effet, ils forment une courbe de la même manière sur toute leur longueur et la largeur. Les concentrateurs sont bordés de miroirs ou recouverts d'un revêtement réfléchissant tel que l'aluminium. Bien entendu, l'utilisation de certains revêtements entraînera des résultats plus élevés dans la réflectivité. Plus la réflectivité sera grande, plus les concentrateurs solaires seront puissants.



Figure I.6 : Concentrateurs paraboliques.

1.5 Conclusion

Il est intéressant de noter que la puissance radiante solaire générée par la concentration d'énergie solaire a considérablement augmenté. Chaque concentrateur est caractérisé par

Sa géométrie, sa concentration optique (énergie) et son rendement lumineux au niveau du réflecteur et de l'absorbeur (chaudière) Efficacité thermique.

**Étude théorique d'un
concentrateur
paraboloïdale**

II.1 Introduction

La production de l'électricité nécessaire pour le procédé de production d'hydrogène peut avoir diverses origines autres que d'origine fossile. Dans le cadre de notre étude, nous nous sommes intéressés à la production d'électricité à partir de l'énergie solaire, et plus particulièrement à la filière thermodynamique.

Cette filière propose différents moyens pour convertir l'énergie solaire en énergie électrique. Tous consistent d'abord à chauffer un fluide avec le rayonnement solaire. L'énergie thermique récupérée est convertie en énergie mécanique, grâce à un cycle thermodynamique qui met en mouvement un alternateur pour produire enfin de l'électricité. Cependant, pour produire de la vapeur à partir de l'énergie solaire, il faut atteindre des températures de sources chaudes plus élevées que celle rencontrée avec les capteurs plan (Le rendement de Carnot : $\eta_{\text{Carnot}} = 1 - T_f/T_c$). Pour cela il est nécessaire de concentrer le rayonnement solaire au moyen de surfaces optiques ce qui élimine en pratique l'énergie rayonnée de façon diffuse. Une orientation permanente et précise de capteur s'avère nécessaire pour obtenir un bon rendement. Un système de captation de l'énergie solaire avec concentration sera donc le plus souvent un système dynamique. Dans ce chapitre nous présentons les paramètres et les éléments essentiels des systèmes à degré solaire pour une bonne conception de ces derniers, c'est-à-dire pour l'obtention d'un bon rendement de conversion [1].

II.2 Réflecteurs

Est un de forme paraboloidal de révolution s'obtient par rotation d'une parabole autour de son axe. Rappelons ici quelques propriétés de cette courbe [4].

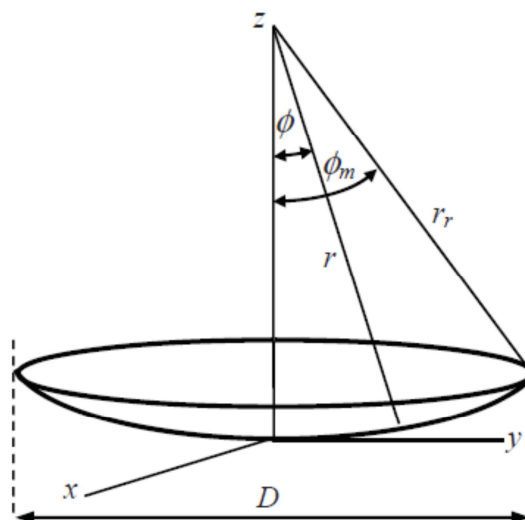


Figure II.1 : Schéma paraboloïde de révolution et leur coupe transversale

Cette surface est dite stigmatique (tout rayon parallèle à l'axe optique converge, après réflexion, en point F appelé foyer. L'équation du paraboloïde de révolution comme représenté sur la figure (II.1), en coordonnées cartésiennes et l'axe z représente l'axe de symétrie, est :

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

La surface de l'ouverture de réflecteur paraboloidal est représentée dans la Figure II.2 :

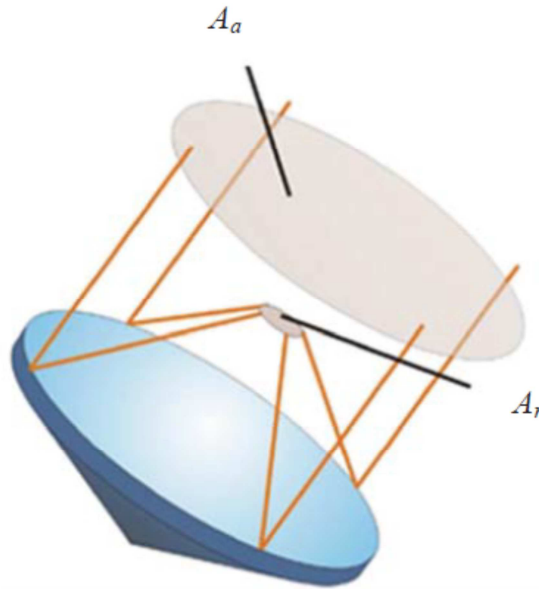


Figure II.2 : Concentration géométrique

$$A_a = \pi \times \frac{D^2}{4} \quad (\text{II.2})$$

La figure (II.3) à gauche représente la variation de la courbure de la parabole avec la variation de la distance focale.

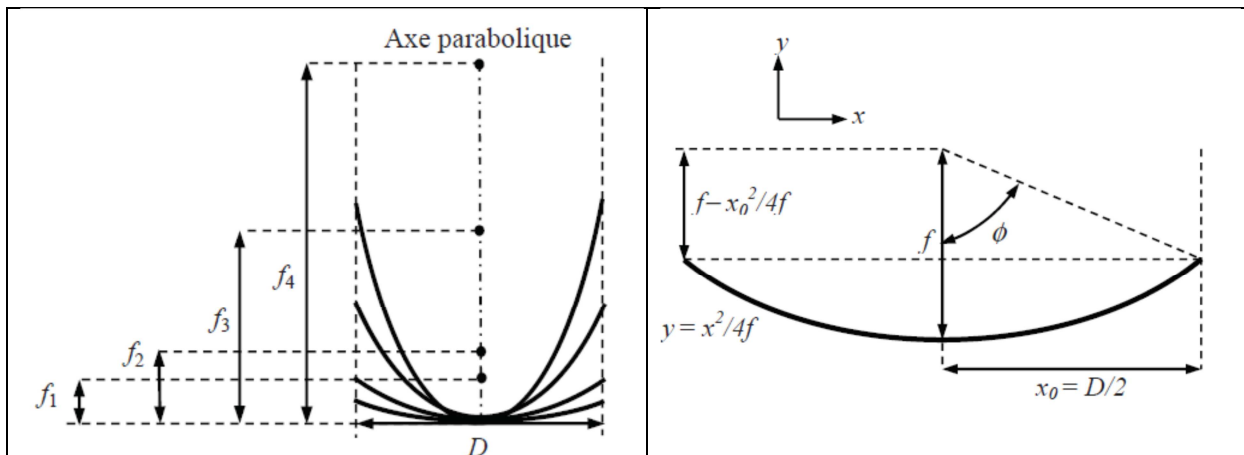


Figure II.3 : (à gauche) Variation de la forme en fonction de la distance focale [5] (à droite) Représentation de l'angle de l'ouverture d'un paraboloïde

Cela avoir de calcul, $\tan \phi$ en fonction de D/f , où D est le diamètre d'ouverture du réflecteur

$$D = 2x_0$$

$$\tan \phi = \frac{\frac{D}{f}}{2 - \frac{1}{8} \left(\frac{D}{f}\right)^2} \quad (\text{II.3})$$

Ce qui représente la relation entre l'angle d'ouverture ϕ et le rapport de diamètre de l'ouverture et la distance focale D/f . L'équation (2 -5) peut être transformée afin d'exprimer le rapport D/f

En fonction de l'angle d'ouverture ϕ (figure II.4)

$$\frac{D}{f} = -\frac{4}{\tan \phi} + \sqrt{\left(\frac{4}{\tan \phi}\right)^2 + 16} \quad (\text{II.4})$$

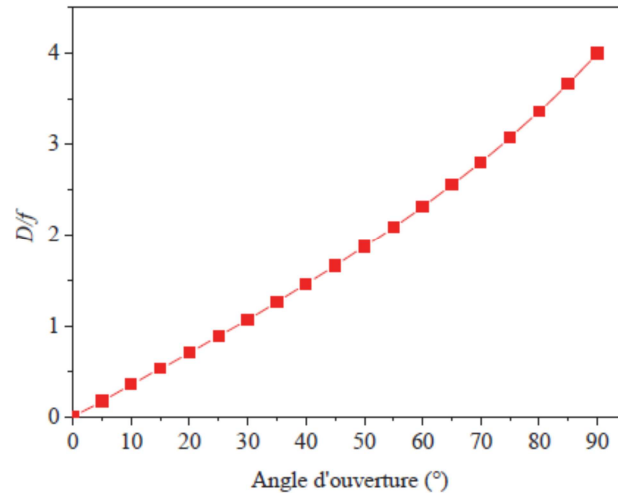


Figure II.4 : Variation de D/f en fonction de l'angle d'ouverture

Comme illustré dans la figure (II.4), les petits angles d'ouverture de miroir correspondent aux distances focales élevées (pour un diamètre donné d'ouverture) et vice versa.

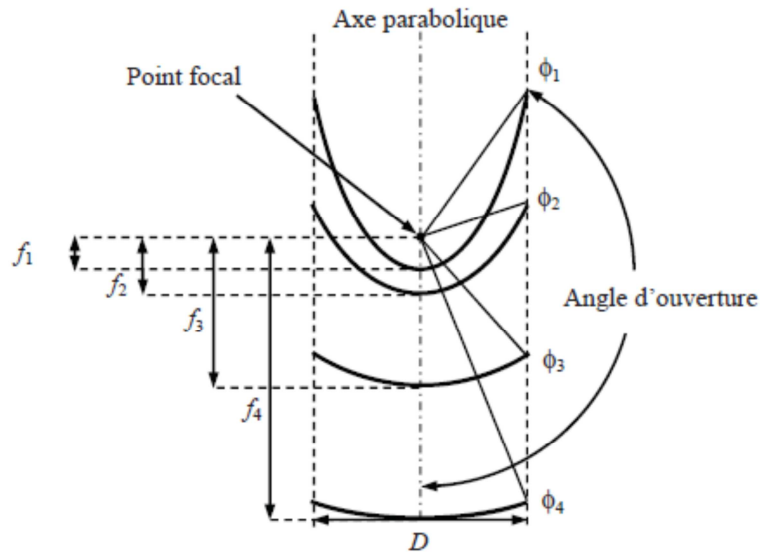


Figure II.5 : La relation entre la distance focale et l'ouverture pour un diamètre Constant de réflecteur [5]

II.2.1 Influence de la distance focale [5]

La taille de la tache solaire augment avec l'augmentation de la distance focale pour le même diamètre d'ouverture comme représenté dans la figure (II.6)

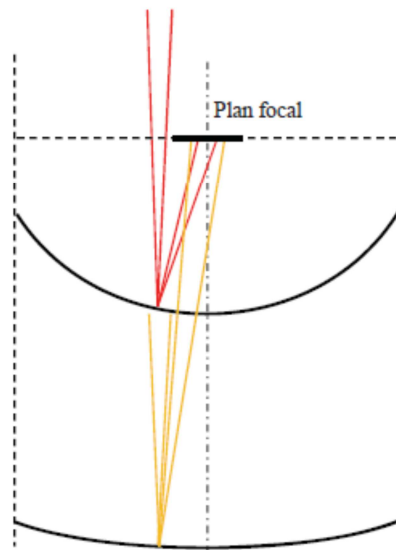


Figure II.6 : la relation entre la taille de la tache focale et l'ouverture pour le même diamètre de Réflecteur

II.2.2 Influence de l'angle d'ouverture

D'autres parts, il y a un autre effet qui provoque un élargissement de la tache focale en fonction des angles d'ouvertures, les grands angles d'ouvertures affectent négativement sur la concentration. Si nous prenons un récepteur avec une ouverture plane et circulaire est placé au niveau du plan, alors les rayons réfléchis par les bords du miroir ou dans cette partie de miroir l'angle d'incidence sur l'ouverture de récepteur, provoquent un élargissement de la tache

focale comme illustré dans la figure (3.7). Par conséquent les miroirs avec des grands angles d'ouverture ne sont pas adaptés pour des concentrations élevées.

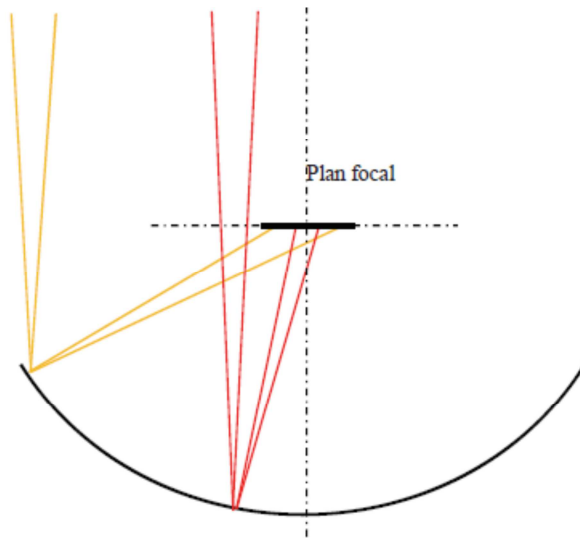


Figure II.7 : La liaison entre la taille de la tache focale et l'ouverture pour le même réflecteur.

Un avantage des miroirs avec un faible angle d'ouverture est que leur forme parabolique idéale peut être tout à fait bien rapprochée par sphérique (Figure 2.8).

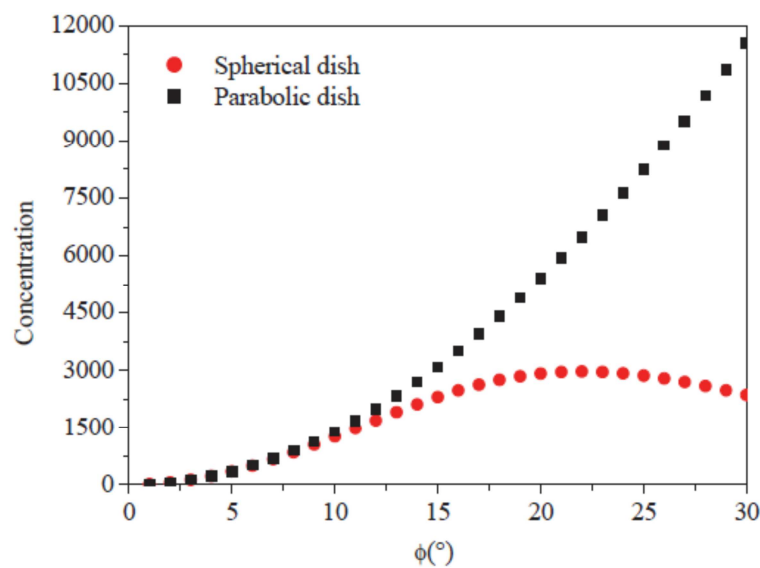


Figure II.8 : Le concentrateur sphérique comporte comme un concentrateur parabolique à faible l'angle d'ouverture [2]

La concentration du capteur paraboloidal est très supérieure par rapport à la concentration sphérique, la concentration d'un paraboloidal augmente avec l'angle d'ouverture du capteur, par contre le capteur sphérique est plus performant dans l'angle d'ouverture de 22° où la concentration est maximale [1,2]. La figure (2.9) montre l'étude du rapport (C_p/C_s) , C_p

concentration géométrique d'un miroir parabolique s'ouverture 30° , sur C_s concentration du miroir sphérique, en fonction d'angle d'ouverture. Pour des valeurs importantes de cet angle.

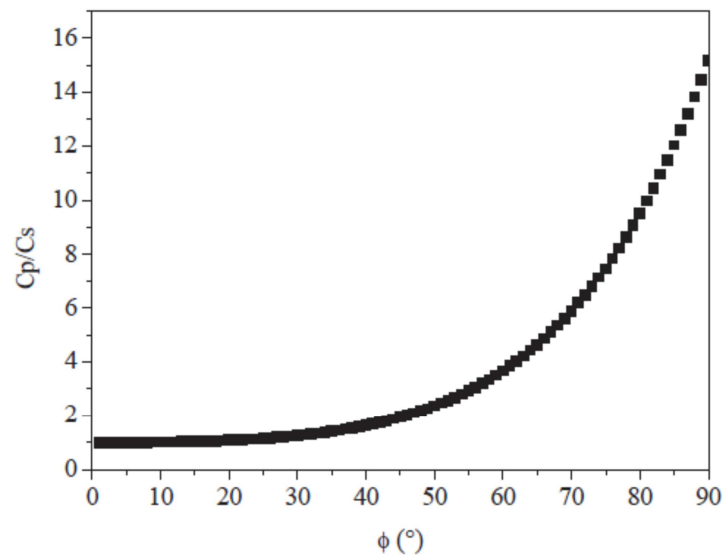


Figure II.9 : Le concentrateur sphérique comporte comme un concentrateur parabolique à faible l'angle d'ouverture [2]

Le miroir sphérique lui est préférable du fait de sa grande simplicité de réalisation (Figure 2.10). Le transfert thermique au fluide caloporteur est par ailleurs facilité par une répartition plus uniforme au niveau de surface d'échange [6].

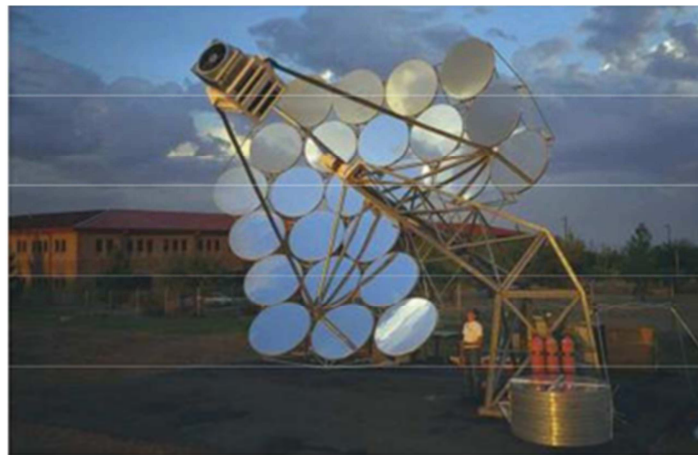


Figure II.10 : concentrateur à facettes sphériques [10].

II.2.3 Matériaux de réflecteur

L'énergie solaire qui arrive sur terre provient principalement des Ultraviolets (UV-A) (10 %), de la lumière visible (40 %) et des Infrarouges (50%). Le choix d'un métal qui est caractérisé par un coefficient de réflexion élevé pour des longueurs d'onde comprises entre $0,28 \mu\text{m}$ et $1,4 \mu\text{m}$. Après recherche dans des tables donnant le coefficient de réflexion de différents métaux en fonction de la longueur d'onde du rayon incident [5,11], la figure (2.10) montre la variation de la réflexion en fonction de la longueur d'onde du spectre solaire. On remarque qu'entre

0,3 et 0,6 μm , l'aluminium au meilleur coefficient de réflexion (environ 0,92). Après 0,6 μm , l'or, l'argent et le cuivre ont un coefficient de réflexion plus élevé. Cependant, l'aluminium conserve un coefficient de réflexion avoisinant 0,9. En conclusion, l'aluminium est le meilleur métal du point de vue de la réflexion des rayons de longueurs d'onde comprises entre 0,1 et 1,4 μm . Ce métal n'est de plus pas trop cher, contrairement à l'or ou à l'argent.

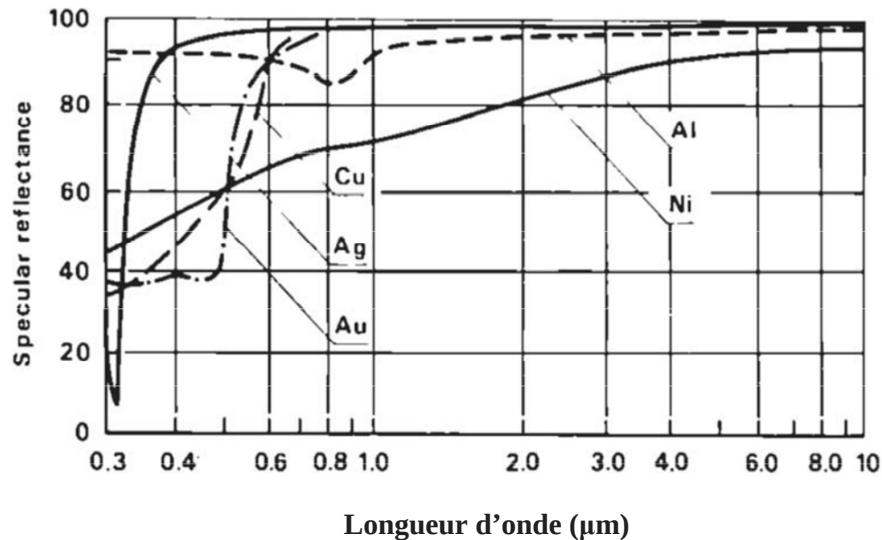


Figure II.11 : variation du coefficient de réflexion de quelques métaux en fonction de longueur d'onde de l'onde incidente perpendiculaire à la surface [9]

II.2.4 Rendements optiques

Le rendement optique d'un capteur, par définition, égale au rapport du flux absorbé par le récepteur, à la valeur maximale que pourrait présenter ce flux :

$$\eta_{\text{opt}} = \frac{\dot{Q}_r}{I_N \times A_a} \quad (\text{II.5})$$

Le rendement optique est la résultante multiplicative de plusieurs facteurs (figure 2.11) :

- ❖ rapport des surfaces de captage et de l'ouverture : effet cosinus mais également, pour les concentrateurs segmentés, effets d'interstice ou d'ombre à l'émergence, entre segments ;
- ❖ réflexion ou transmission sur le concentrateur ;
- ❖ interception par l'absorbeur du rayonnement concentré ;
- ❖ absorption, par exemple 0,95 pour une peinture noire ;
- ❖ effet d'ombre d'incidence ou à l'émergence de l'absorbeur et de son système de support ;

Le rendement optique est une grandeur dépendante du temps, périodiquement, au cours de la journée ou de l'année (sauf pour les capteurs à de mouvement en permanence pointé) Mais également en raison des salissures ou du vieillissement, la dégradation des miroirs peut être

importante, excepté dans le cas relativement onéreux du sandwich verre mince/verre porteur. Le tableau (II.1) montre quelques valeurs de coefficients de réflexion, pour le spectre solaire, de miroirs non dégradés :

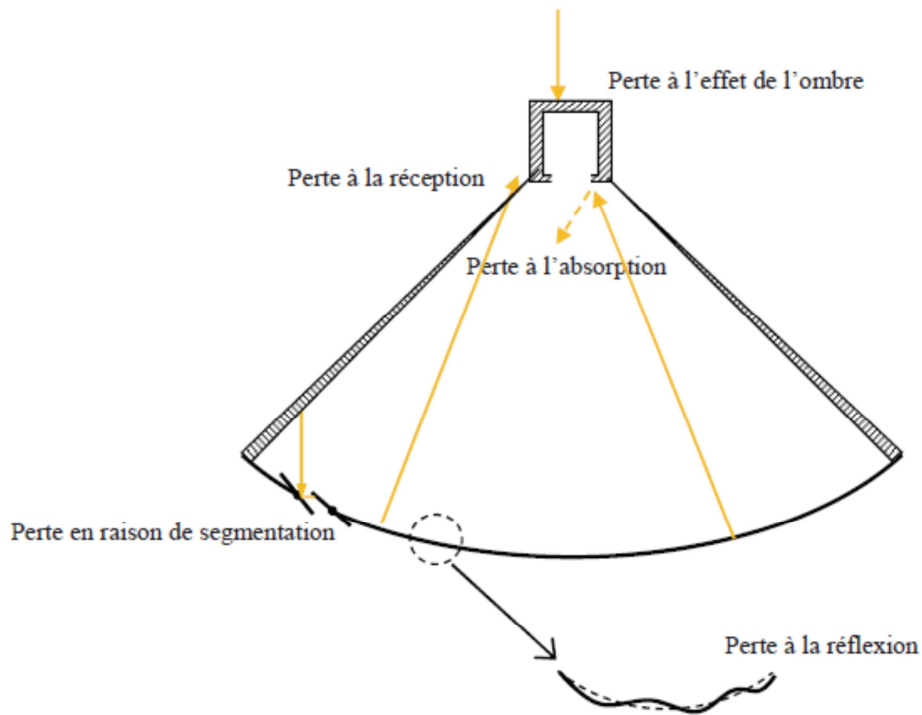


Figure II.12 : Pertes optiques d'un concentrateur parabolique

Tableau II.1 : Valeurs de coefficients de réflexion, pour le spectre solaire, de miroirs non dégradés [13]

Angle d incidence	Verre blanc	Verre ordinaire		
	2 mm	3 mm	4 mm	6 mm
0°	0,926	0,895	0,875	0,851
40°	0,925	0,797	0,740	0,590

II.2.5 Taille de réflecteur

La taille du concentrateur dépend fondamentalement de la puissance électrique de système désirée, le rayonnement disponible et le rendement de la conversion du rayonnement en énergie électrique. A connu le rayonnement solaire direct et le rendement de système, la surface d'ouverture et le diamètre de réflecteur peuvent être déterminés comme suit :

$$A_a = \frac{\dot{Q}_{\text{éle}}}{I_N \times \eta_{\text{sys}}} \quad (\text{II.6})$$

$$D = 2 \times \sqrt{\frac{\dot{Q}_{\text{éle}}}{\pi \times I_N \times \eta_{\text{sys}}}} \quad (\text{II.7})$$

Où $\dot{Q}_{\text{éle}}$ est la puissance désirée de système électrique, η_{sys} le rendement de conversion de l'énergie solaire à l'énergie électrique de système et I_N le rayonnement solaire direct au point de conception. Cette équation peut servir au calcul de la surface d'ouverture au point de conception, ce qui est un point auquel le système atteint un rendement élevé. Un système devrait être conçu de telle manière qu'un rendement élevé soit atteint pour des conditions environnementales typiques de lieu adéquat, particulièrement pour des valeurs de rayonnement solaire et pour des conditions de vent typiques [10].

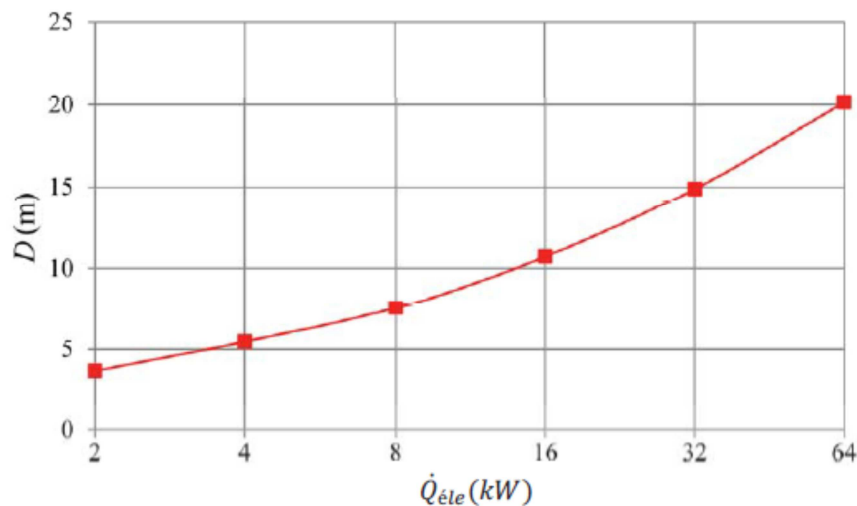


Figure II.13: Évolution de la puissance électrique en fonction de diamètre de réflecteur pour un Rayonnement solaire incident $I_N = 1000 \text{ W/m}^2$ et un rendement de système entre 15% et 25% [5]

Le but général de système est déterminé $Q_{\text{éle}}$ par les rendements de système typiques η_{sys} au point de conception sont entre 15 et 25%. La figure (3.26) illustre la relation entre la taille de réflecteur et la puissance de système, avec un rayonnement incident I_N de 1000 W/m^2 est sélectionné [9].

3.4.2 Système de poursuite solaire

Deux types de monture correspondant aux systèmes de coordonnées équatoriales et horizontales, assure habituellement la mobilité du concentrateur.

3.4.2.1 Montage équatorial

Le miroir subit une rotation uniforme autour de l'axe du monde et une rotation autour d'un axe perpendiculaire servant à ajuster la déclinaison comme illustrée dans la figure (3.27). La

poursuite en est grandement facilitée, mais la réalisation mécanique en est beaucoup plus difficile à cause de l'axe incliné.

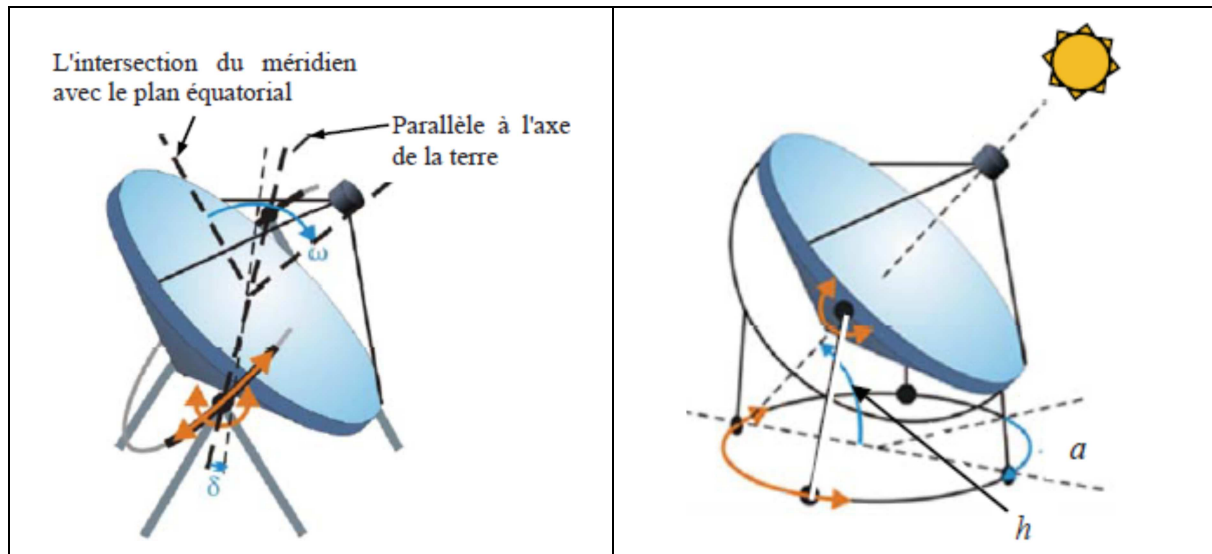


Figure II.14 : Système poursuite Equatoriale (à gauche) et Altazimutal (à droite)

3.4.2.2 Montage altazimutal [4,8]

Le premier mouvement s'effectue en azimuth autour d'un axe vertical et le second en hauteur autour d'un axe horizontal est-ouest au midi solaire. Pour les systèmes à un mouvement, il s'effectue en hauteur autour d'un axe est-ouest.

3.4.3 Récepteur

Ils transforment le rayonnement reçu en chaleur et échangent celle-ci avec le fluide caloporteur. L'absorbeur est l'élément principal dans le fonctionnement d'un capteur plan. Trois fonctions lui régissent :

- ❖ Absorber le rayonnement solaire,
- ❖ Le transformer en chaleur,
- ❖ Transmettre cette chaleur au fluide caloporteur.

La surface captatrice idéale du rayonnement solaire devrait absorber toute l'énergie correspondante au spectre solaire, c'est à dire pour $< 3\mu\text{m}$, et émettre faiblement dans l'infrarouge lointain ($> 3\mu\text{m}$) correspondant au spectre du rayonnement réémis par l'absorbeur dont la température se situe entre 50 et 100°C pour les capteurs plans par exemple [10]. Il est évident que la recherche de telles surfaces présente surtout de l'intérêt pour les surfaces captatrices à haute température (concentrateurs) car la loi de réémission de l'énergie est proportionnelle à la température. Dans des conditions normales de fonctionnement, la surface idéale devra donc posséder les valeurs suivantes portées sur la figure (3.29) pour ses facteurs

monochromatiques d'absorption α_λ , d'émission ε_λ , de réflexion ρ_λ et de transmission τ ; c'est la longueur d'onde critique. De nombreuses recherches sont en cours de développement et concernent de telles surfaces. Elles sont fondées sur le traitement de surface des métaux, généralement par dépôt de multicouches judicieusement choisies. Nous présentons, à titre indicatif le tableau (II.2), sur lequel sont portés les valeurs du coefficient d'absorption et le coefficient d'émission.

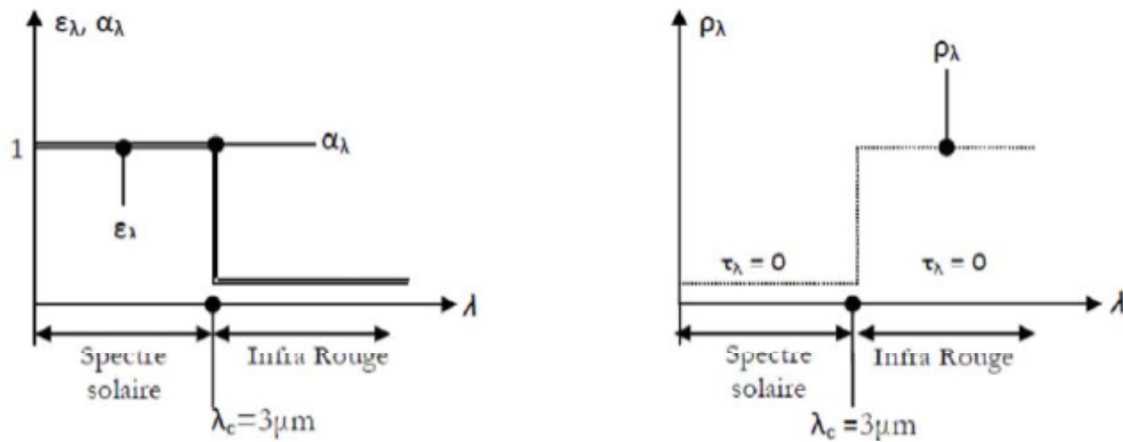


Figure II.15 : Facteurs monochromatiques d'absorption α_λ , d'émission ε_λ , de réflexion ε_λ et de transmission τ_λ pour une surface idéale

Tableau II.2: Le coefficient d'absorption et le coefficient d'émission donnés pour les supports les plus utilisés comme absorbeur [2]

Support de traitement	α_r	ε_r
Acier et Nickel noir sur Nickel	0,95	0,07
Acier et chrome noir sur nickel	0,97	0,09
Acier de chrome noir	0,91	0,07
Cuivre et chrome noir	0,95	0,14
Acier galvanisé et chrome noir	0,95	0,16
Cuivre et oxyde de fer	0,85	0,08
Aluminium et oxyde de manganèse	0,7	0,08
Acier et couche organique sur chrome noir	0,94	0,2
Peinture noir époxy	0,95	0,18
Peinture blanche époxy	0,25	0,91

3.4.3.1 Isolation

L'isolation joue un rôle très important dans les applications thermiques de l'énergie solaire, pour limiter les pertes par conduction et convection vers le milieu environnant, au niveau des côtés et en bas du capteur. L'isolant doit être opaque aux rayonnements de grandes longueurs d'onde, dans le domaine de l'infrarouge émis par la plaque rayonnante (absorbeur). Un bon isolant doit avoir les qualités suivantes :

- ❖ Une faible conductivité thermique ;
- ❖ Une faible densité ;
- ❖ La chaleur massique doit être basse.

3.4.3.3 Type de récepteur

Le récepteur d'un système solaire de concentration est l'interface entre le concentrateur et le moteur de chaleur. Il a deux fonctions : au début, il absorbe une grande partie ou l'énergie de rayonnement solaire reflété par le réflecteur et le convertit en énergie thermique. En second lieu, il transfère la chaleur au fluide de travail (caloporteur) du moteur thermique. Les conditions importantes pour le récepteur sont, ainsi, des taux élevés d'absorption et de bonnes Caractéristiques de transfert thermique. En général, les deux types de géométries de récepteur ont pu être utilisés avec les concentrateurs paraboliques sont montré dans la figure (3.33) :

- ❖ Récepteurs externes :

Les récepteurs Externes sont habituellement sphériques et absorbent le rayonnement venant de différentes directions.

- ❖ récepteurs de cavité :

Les récepteurs de cavité ont une ouverture par laquelle le rayonnement passe.

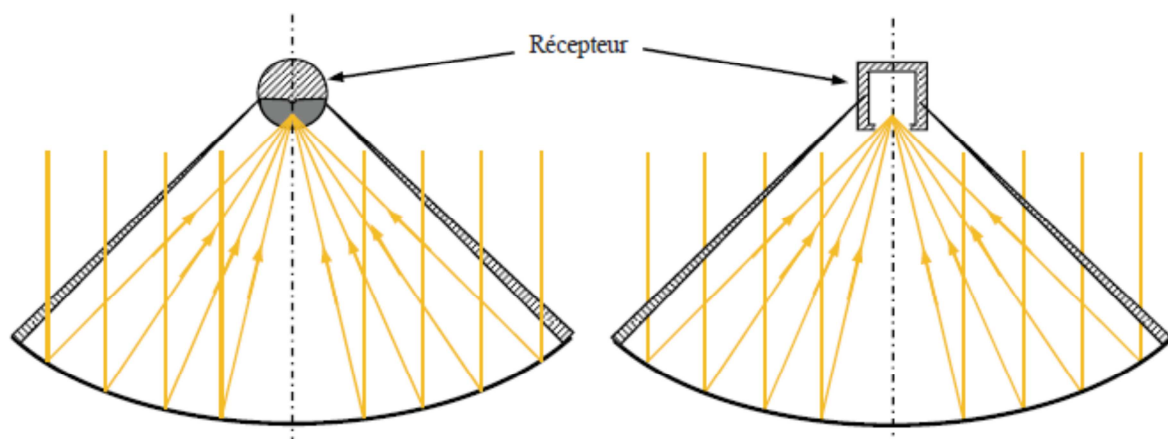


Figure II.16: Représentation schématique d'un récepteur externe (à gauche) et d'un récepteur cavité (à droite)

3.4.5 Fluides caloporteurs [6]

Le fluide caloporteur, ou fluide de chauffage ou encore fluide thermique doit présenter les propriétés suivantes :

- ❖ Un coefficient de transfert de chaleur élevé pour une vitesse de fluide et un diamètre de canalisation déterminés,

- ❖ Une capacité thermique massique élevée afin de réduire les débits masses,

- ❖ Une faible viscosité afin de diminuer les puissances de pompage,

Ainsi que de bonnes caractéristiques concernant :

- ❖ Sa résistance à l'oxydation, pour éviter l'encrassement des tuyauteries,

- ❖ Sa pression de vapeur, de préférence faible pour pouvoir l'employer sous de faibles pressions,

- ❖ Son pouvoir corrosif,

- ❖ Sa toxicité,

- ❖ Son coût.

3.5 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.

Outils de calcul

III.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- ϵ) 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 existantes 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'une 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 ϕ 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, CFD Fluent 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- ϵ et k- ω , 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 ε (modèle k- ε), soit la fréquence de turbulence ω (pour le modèle k- ω).

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 indicielle, sous la forme suivante :

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

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho V_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (\text{III.11})$$

$$\frac{\partial(\rho V_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho V_i V_j)}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\mu \left(\frac{\partial V_i}{\partial x_j} + \frac{\partial V_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial V_k}{\partial x_k} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_i} (-\rho \bar{V'_i V'_j}) \quad (\text{III.12})$$

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

$$-\rho \bar{V'_i V'_j} = \mu_t \left(\frac{\partial V_i}{\partial x_j} + \frac{\partial V_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial V_k}{\partial x_k} \right) \lambda \nabla^2 T + \mu \phi \quad (\text{III.13})$$

$$-\rho V'_i V'_j = \mu_t \left(\frac{\partial V_i}{\partial x_j} + \frac{\partial V_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \left(\rho k + \mu_t \frac{\partial V_k}{\partial x_k} \right) \delta_{ij} \quad (\text{III.14})$$

Le modèle k- ε 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- ε , 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- ε s'écrit de la façon suivante :

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k V_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_\varepsilon \mu_{\text{eff}} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (\text{III.15})$$

et

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \varepsilon V_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_\varepsilon \mu_{\text{eff}} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + G_{3\varepsilon} G_{kb}) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} - R_\varepsilon + S_\varepsilon \quad (\text{III.16})$$

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 α_k et α_ε sont les nombres de Prandtl effectifs inverses pour k et ε respectivement. S_k et S_ε 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 - ε . 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 ε sont directement calculés par Fluent en utilisant les formules suivantes :

$$I = 0,16 \times \text{Re}^{-1/8} \quad (\text{III.17})$$

$$k = 1, \times (V \times I)^2 \quad (\text{III.18})$$

$$\varepsilon = C_\mu^{3/4} \times k^{3/2} \times l^{-1} \quad (\text{III.19})$$

avec

$$\text{Re} = \frac{\rho \times V \times D_h}{\mu} \quad (\text{III.20})$$

$$l = 0,07 \times D_h \quad (\text{III.21})$$

Dans les équations précédentes, V représente la vitesse moyenne en m/s. C_μ est un paramètre du modèle k - ε et est égal à 0,09. La variable l est l'échelle de longueur de la turbulence. Dans l'équation (III.20), 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.

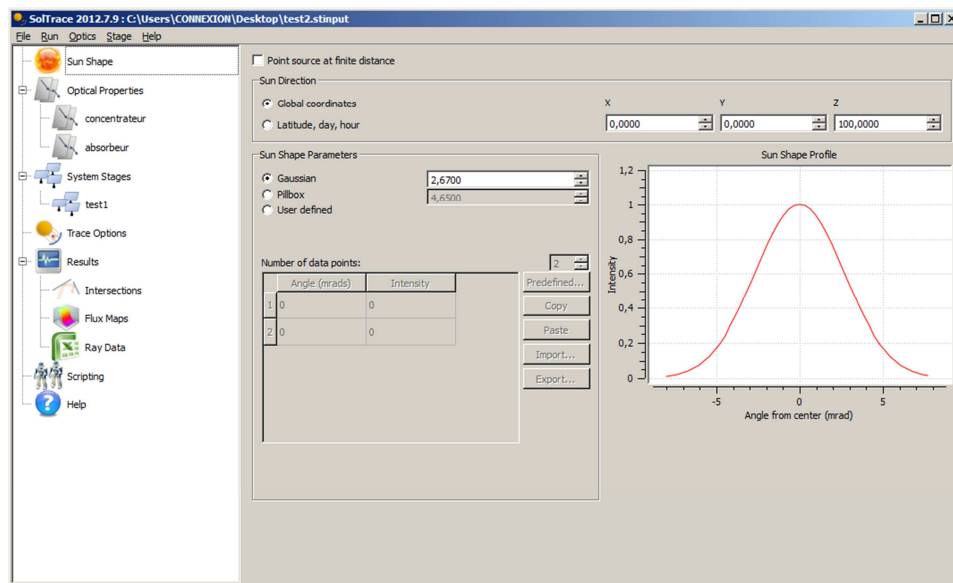


Figure. III.1 : Interface de logiciel Soltrace version 2012.7.9

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

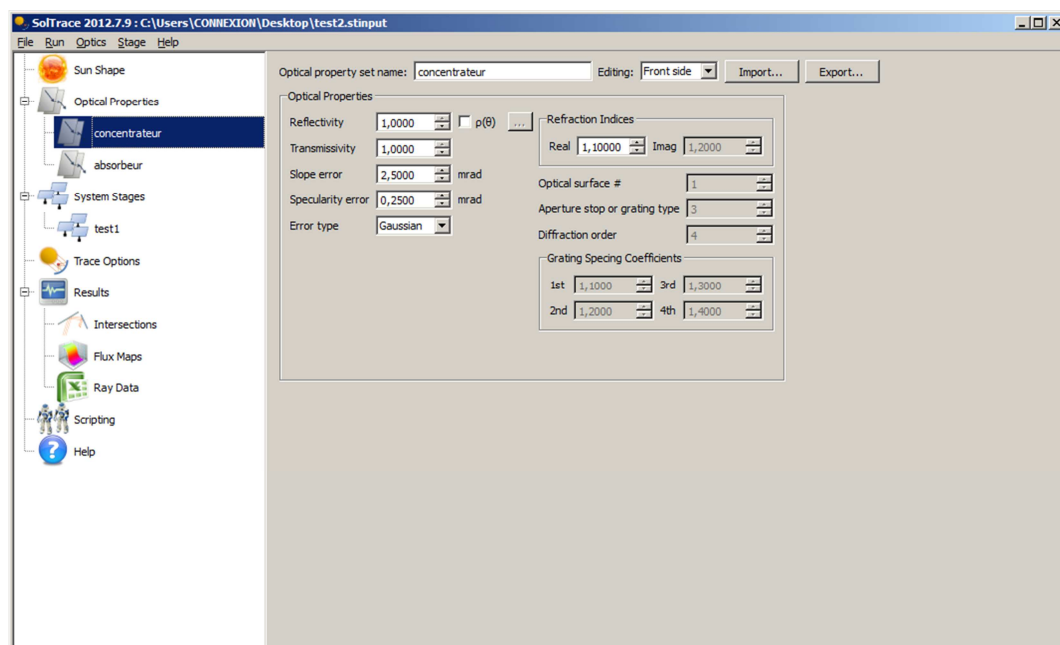


Figure III.2 : Introduction des propriétés optiques du concentrateur.

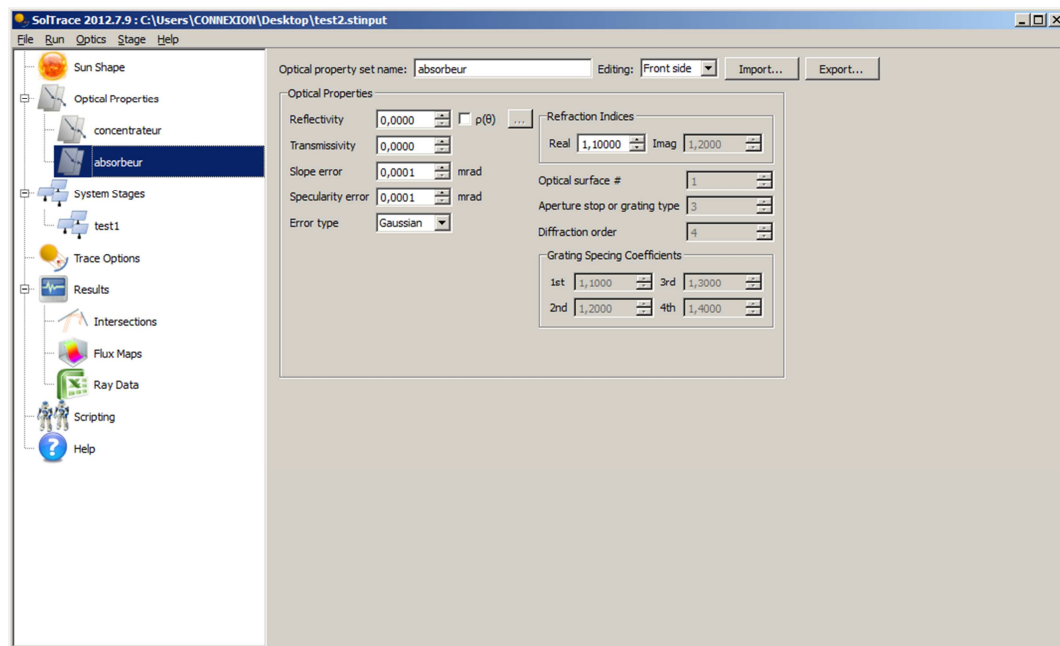


Figure III.3: Introduction des propriétés optiques de l'absorbeur.

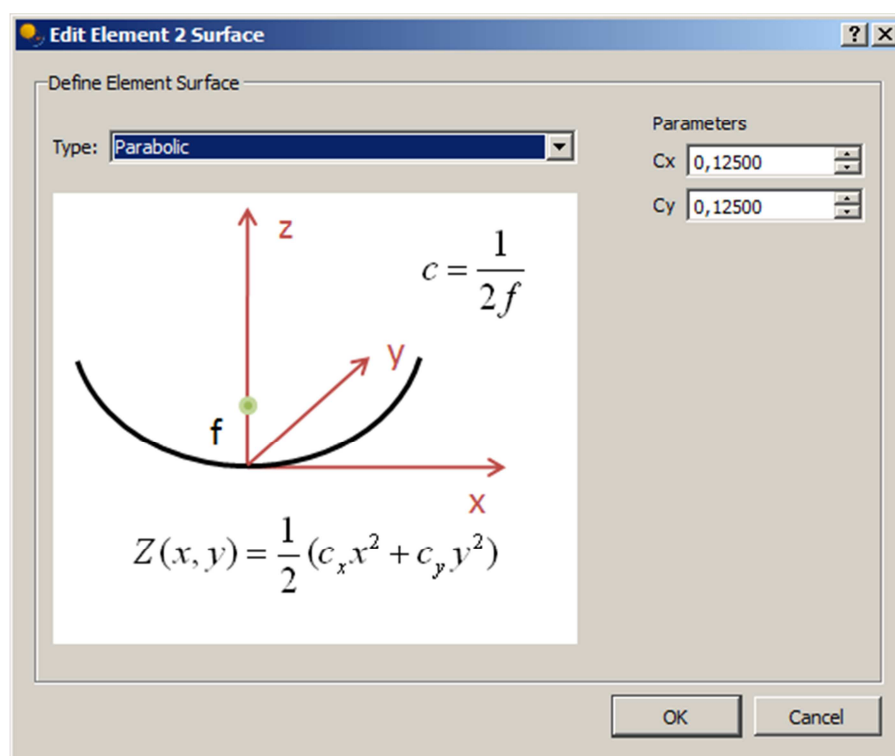


Figure III.4: Introduction dimensions de réflecteur.

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 spiral (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 calcul Fluent.

Et à la fin, une simulation a été faite entre la distribution de flux concentré et non uniforme et une autre comparaison entre différentes vitesses d'écoulement de fluide pour voir le gradient de température et la vitesse réparti sur le tube spiral de l'absorbeur.

IV.2 Réalisation le récepteur par logiciel Gambit

Les distributions du flux de rayonnement solaire concentré calculées par La méthode de lancer de rayons 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-contre.

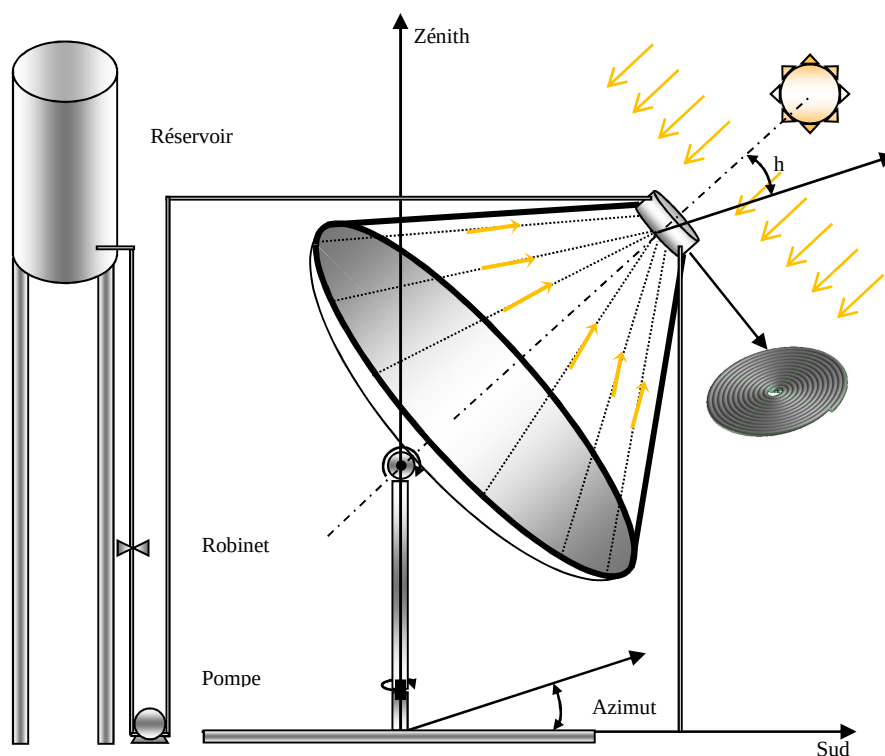


Figure IV.1 : Le Prototype proposé

IV.2.1 Élaboration de la géométrie et le maillage

La création de la géométrie de tube spiral est réalisée par GAMBIT 2.3. Les paramètres géométriques retenus sont ceux considérés par la configuration de Wang et al. [8].

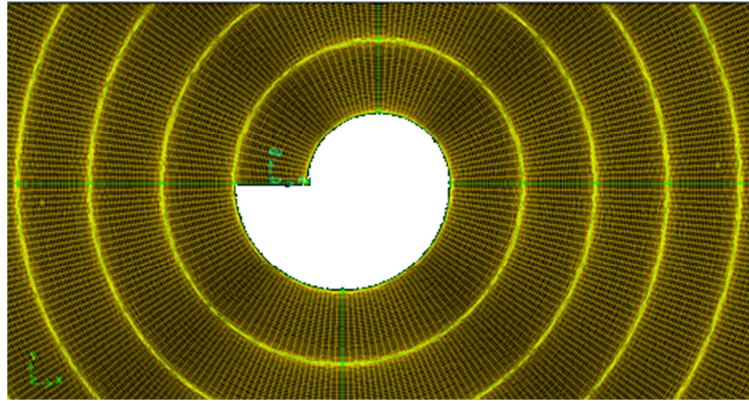


Figure IV.2 : vue horizontale de tube spiral réalisé et maillé par logiciel Gambit

Le modèle géométrique créé est maillé avec des cellules quadrilatérales. Le maillage choisi non uniforme. En effet, il est plus raffiné dans les sections transversales (angulaires) et radiales ainsi qu'à proximité des parois. Cette non-uniformité du maillage s'explique par les changements importants des distributions de flux de rayonnement solaire concentré en chaleur remarqués dans les directions angulaire et radiale.

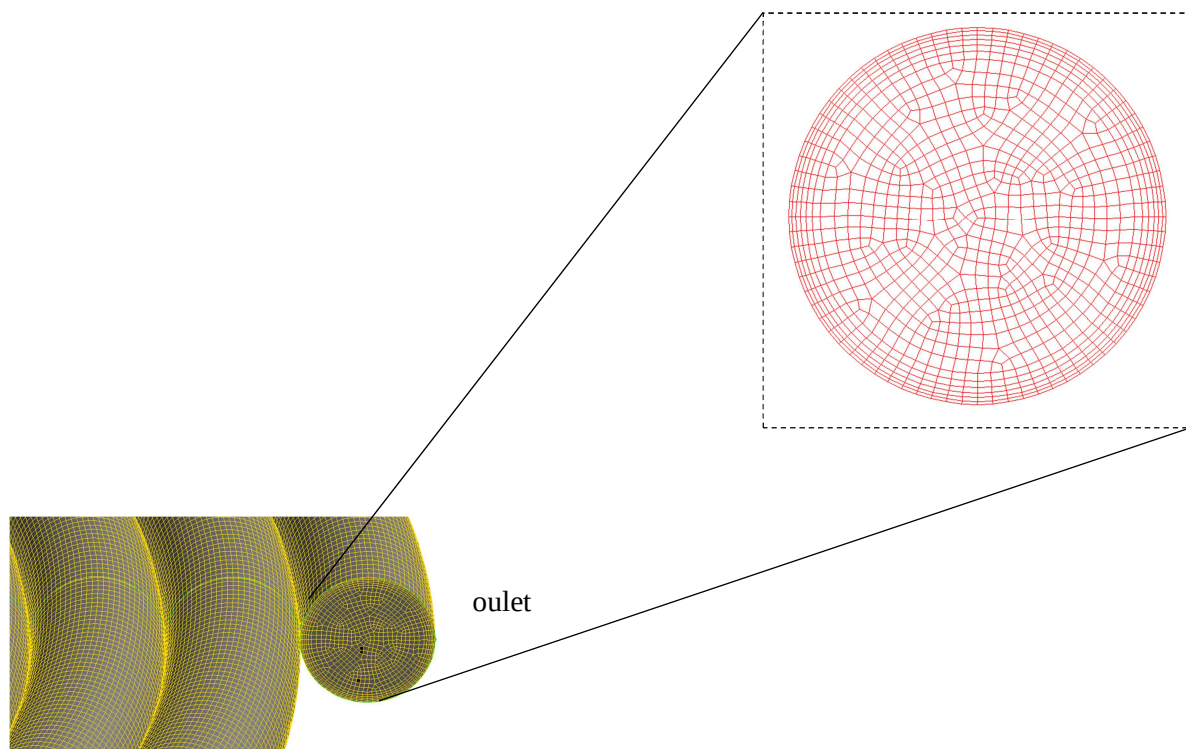


Figure IV.3 : Maillage de domaine de Fluide

Pour valider notre travail numérique, nous avons testé plusieurs grilles, la grille adoptée comporte :

- 7 124 544 éléments de volume de contrôle,
- 21 643 224 faces,
- 7 401 243 nœuds.

Nous avons adopté un maillage bien raffiné près des parois de l'espace de fluide et l'absorbeur [21].

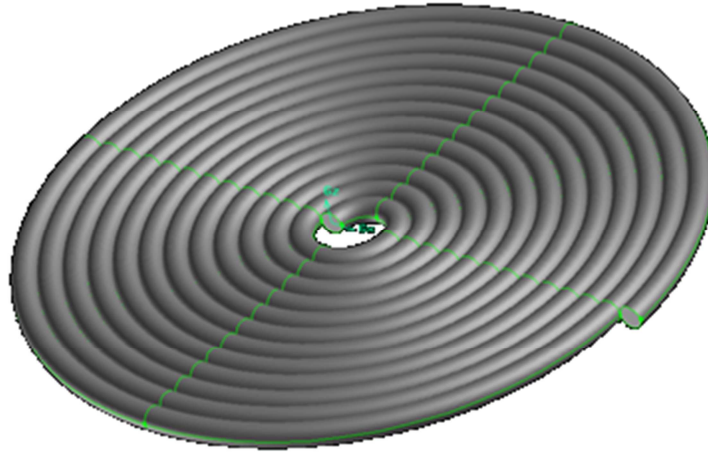


Figure IV.4 : Description du tube spiral de récepteur

IV.2.2 Hypothèses simplificatrices et conditions aux limites

Selon les hypothèses simplificatrices, on considère :

- ❖ Régime stationnaire,
- ❖ L'écoulement est turbulent,
- ❖ Fluide incompressible,
- ❖ la convection est considérée comme convection mixte.

En effet, si l'on définit un nombre Grashof exprimé comme suit :

$$Gr = \frac{g \times \beta \times q_a \times D^4}{\lambda \times \nu^2}$$

Où q_a est le flux de chaleur moyen sur toute la surface du tube ci-contre le réflecteur. Il s'est avéré que $\frac{Gr}{Re^2} = 36,21$

Les conditions aux limites appliquées sur le tube absorbeurs sont illustrées comme suit :

- ❖ La simulation a été réalisée en considérant un débit à des vitesses uniformes (0,067-0,67 m/s) à la température ambiante de l'atmosphère à l'entrée de tube de spiral de 27° C.
- ❖ La surface supérieure d'absorbeur est ne soumise à aucun flux : 0 W/m².

- ❖ La surface inférieure d'absorbeur est soumise à un flux de chaleur concentré calculée par le logiciel SolTrace qui est suit une distribution gaussienne (non uniforme).
- ❖ La pression zéro à la sortie de tube absorbeur

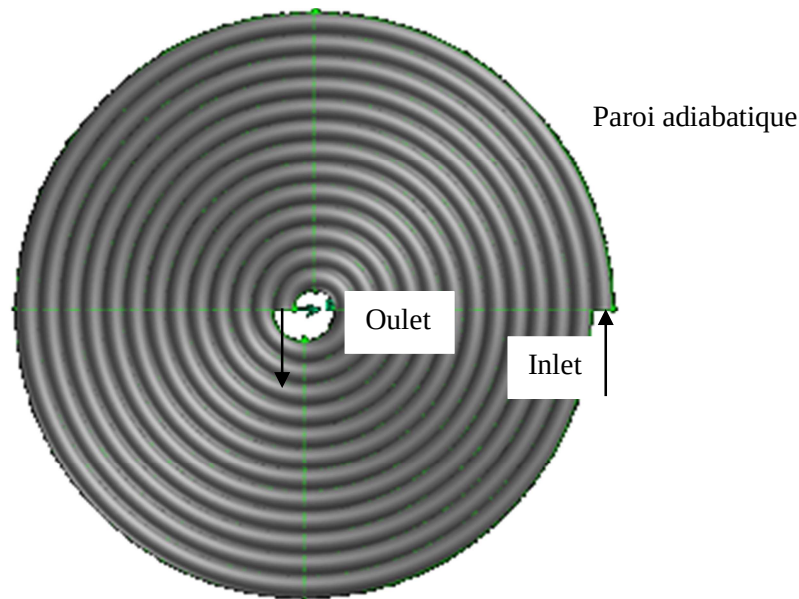


Figure IV5 : Réalisation de tube spiral par logiciel Gambit

IV.2.3 Les propriétés thermo-physiques

Les propriétés thermo-physiques du fluide caloporteur et de tube absorbeurs utilisés sont présentées dans le tableau (IV.1). [6]

propriétés	Cuivre	Aluminium	Air	Eau
ρ (kg/m ³)	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
μ (Pa.s)	-	-	$(0,0046 \times T + 1,7176) \times 10^{-5}$	$(0,002 \times T^2 + 0,3389 \times T + 17,199) \times 10^{-4}$
k (W/m/K)	237	204	$0,0242 + 7,57 \times 10^{-5} \times T$	$-9,87 \times 10^{-6} \times T^2 + 2,238 \times 10^{-3} + 0,5536$
β (K ⁻¹)	-	-	$1/T$	-

IV.2.4 Résultats de la simulation du model sur SolTrace

Pour cette étude, les simulations ont été réalisées avec 1000 rayons issus du disque solaire lancés en direction du concentrateur avec un flux solaire direct normal égal à 1000 W/m². Les figures suivantes représentent les Schémas de concentrateur paraboloidale et le tube de forme spiral (absorbeur) avec le logiciel SolTrace.

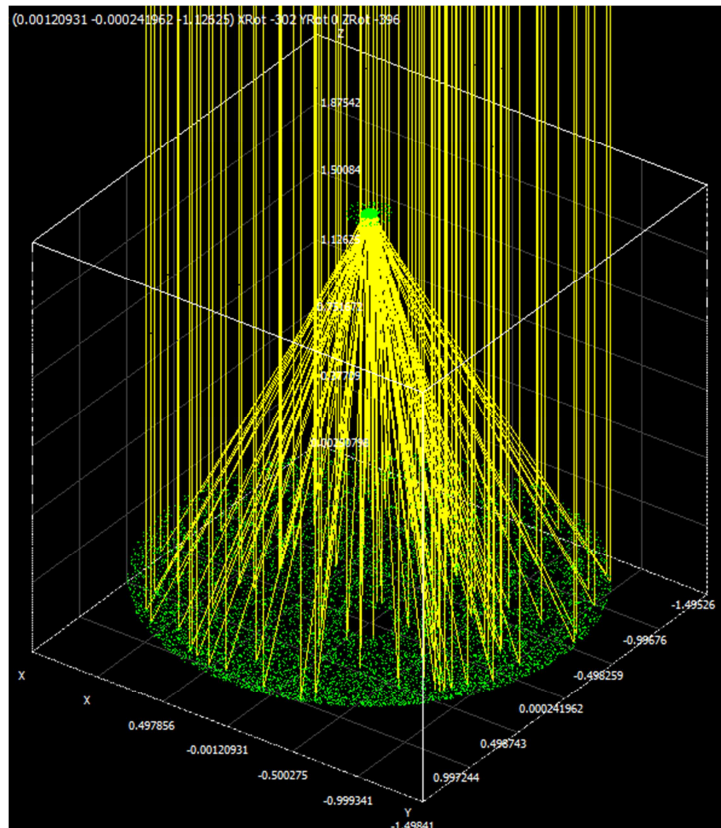


Figure IV.5 : Présentation de rayon de soleil concentré sur le récepteur

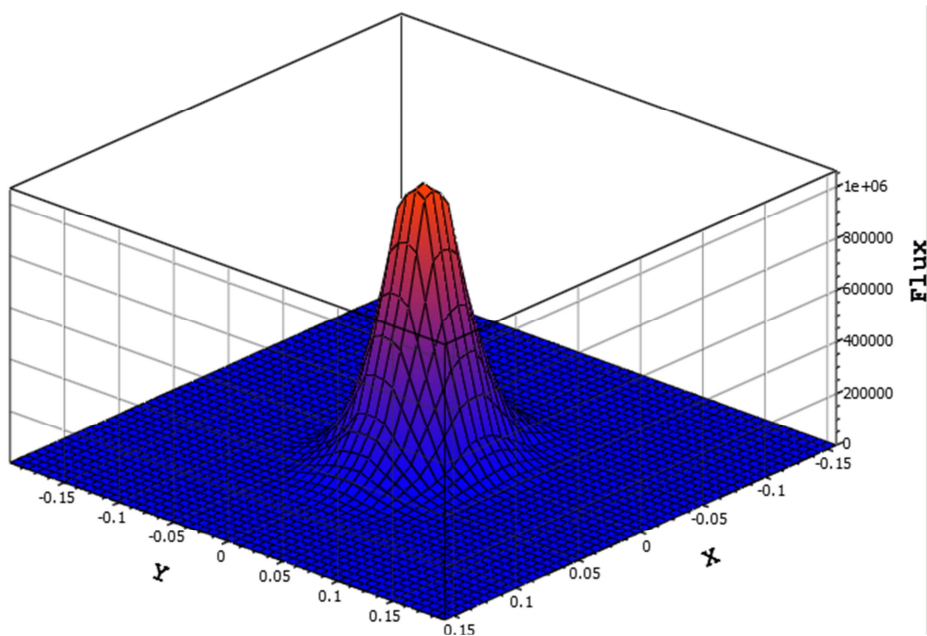


Figure IV.6 : Distribution de flux de rayonnement solaire concentré sur la circonférence du tube spiral de récepteur

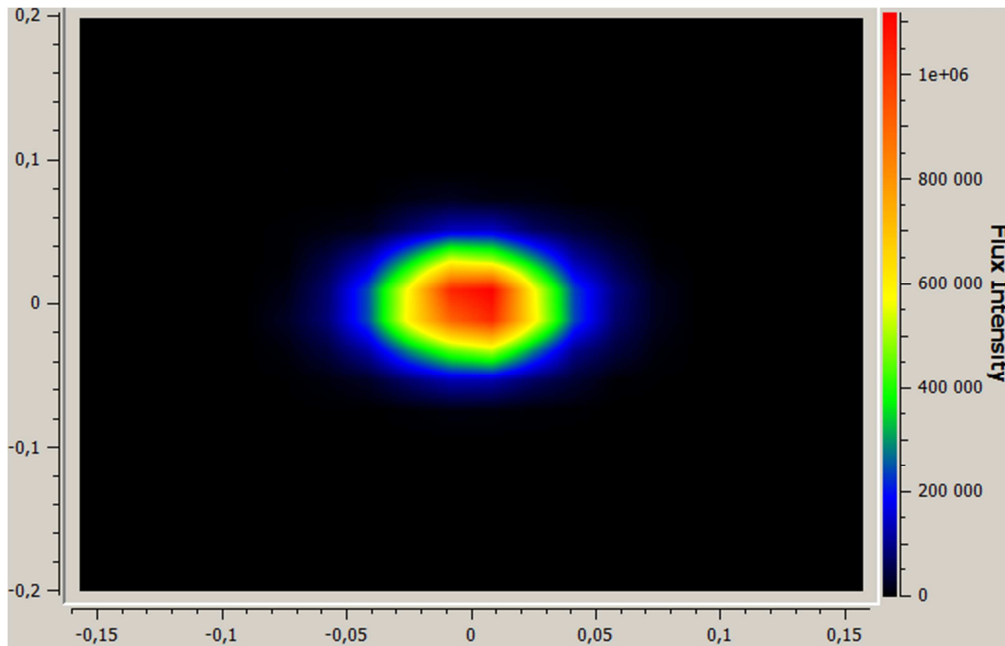


Figure IV.7 : présentation de la tache solaire sur le récepteur

La figure (IV.7) présente le contour de l'intensité de flux thermique moyen avec une valeur de rayonnement solaire direct égale à $1000 \text{ [W/m}^2\text{]}$ sur la surface du tube de l'absorbeur ci-contre de réflecteur.

IV.2.5 Exploitation des résultats de FLUENT

Après avoir exporté le fichier des valeurs de l'intensité de flux solaire sur la base extérieure du tube spiral de l'absorbeur, on prend les valeurs périphériques inférieures du tube et on les utilise comme conditions aux limites pour la simulation sur Fluent.

Le flux concentré de rayonnement est calculé par le logiciel SolTrace la partie inférieure du tube spiral de l'absorbeur peut être suit la distribution gaussienne non uniforme. Et la figure suivante (Figure. IV.8) montre la distribution du flux de rayonnement solaire concentré.

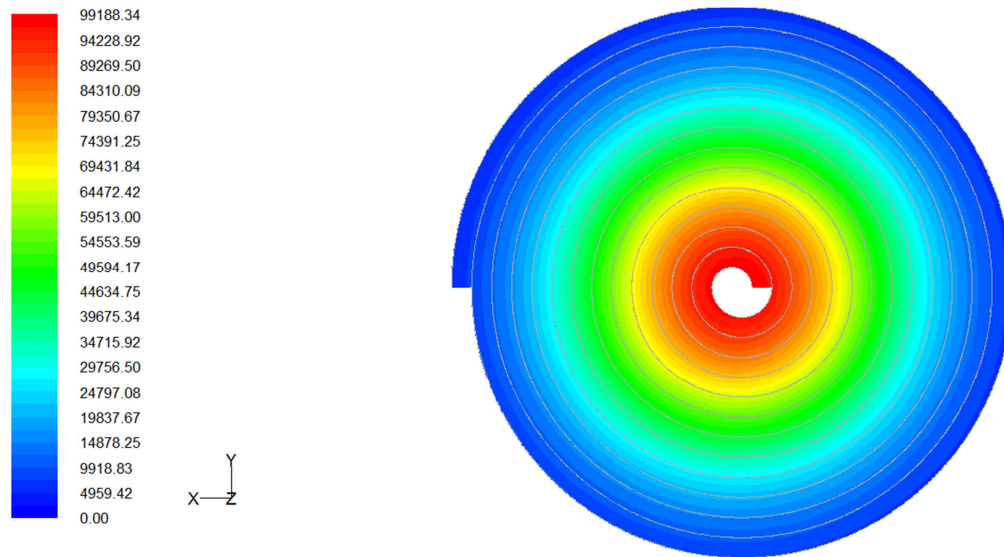


Figure IV.8 : Distribution de flux de chaleur par rayonnement solaire concentré sur la surface inférieure du tube spiral de l'absorbeur en W/m^2 .

Tableau IV.1 : Paramètres géométriques de base utilisés pour la simulation numérique

Concentrateur parabolique et récepteur à tube spiral	dimension	unité
Diamètre de tube	12	mm
Longueur de tube	9	m
Rayon de spiral	~ 17	cm
Diamètre de réflecteur	2,3	m
Distance focal	3,97	m

Dans la figure IV.9 on remarque que la convergence de calcul est établit 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.

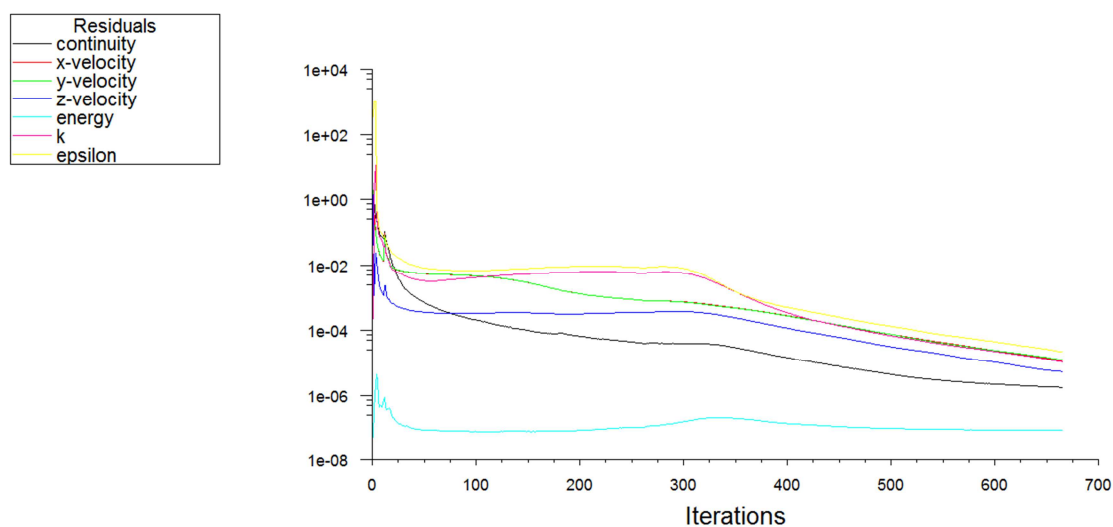


Figure IV.9 : Évolution des résidus

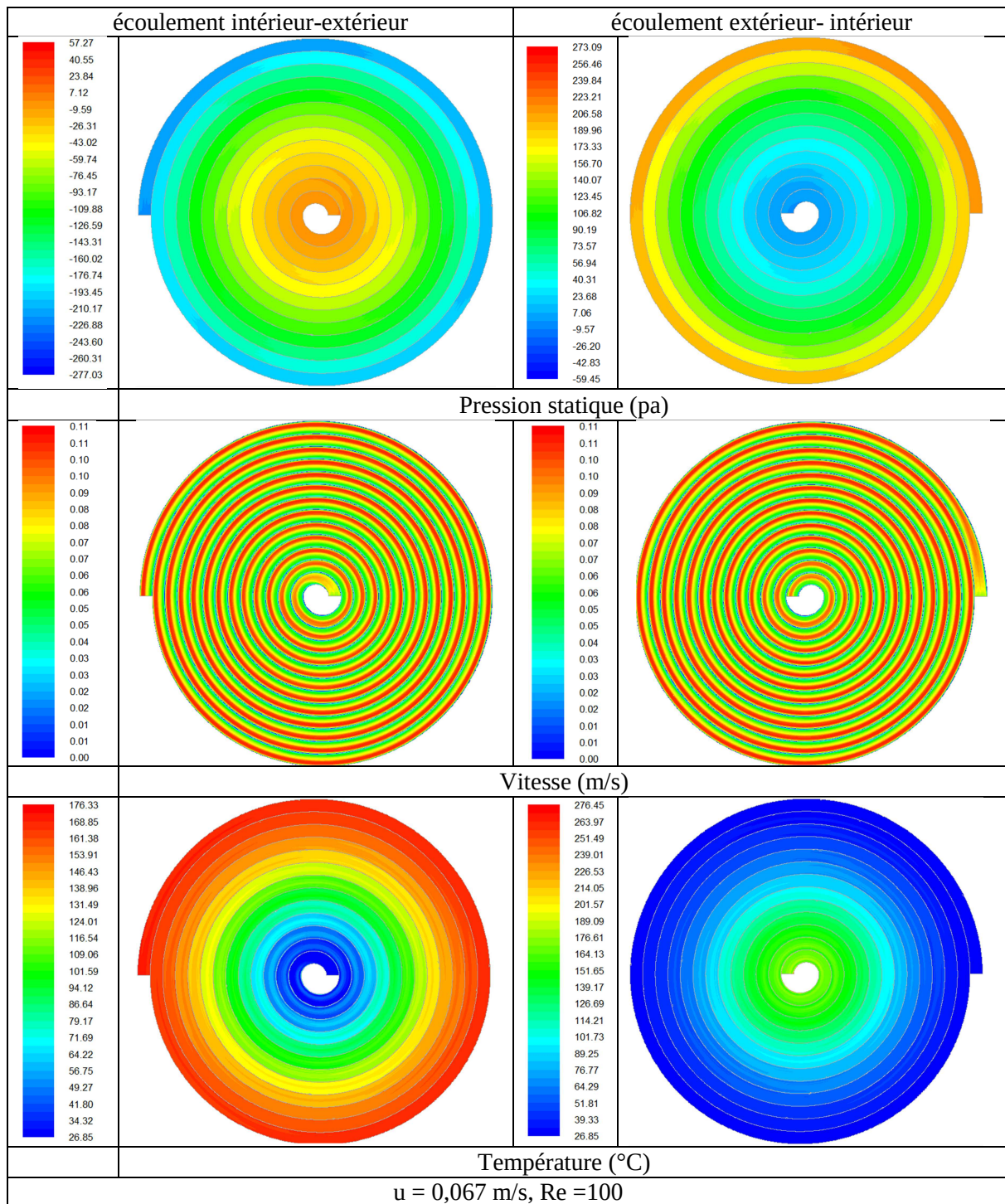


Figure IV.10 : présentation de la distribution de la pression, la vitesse d'écoulement et la température pour $Re = 100$

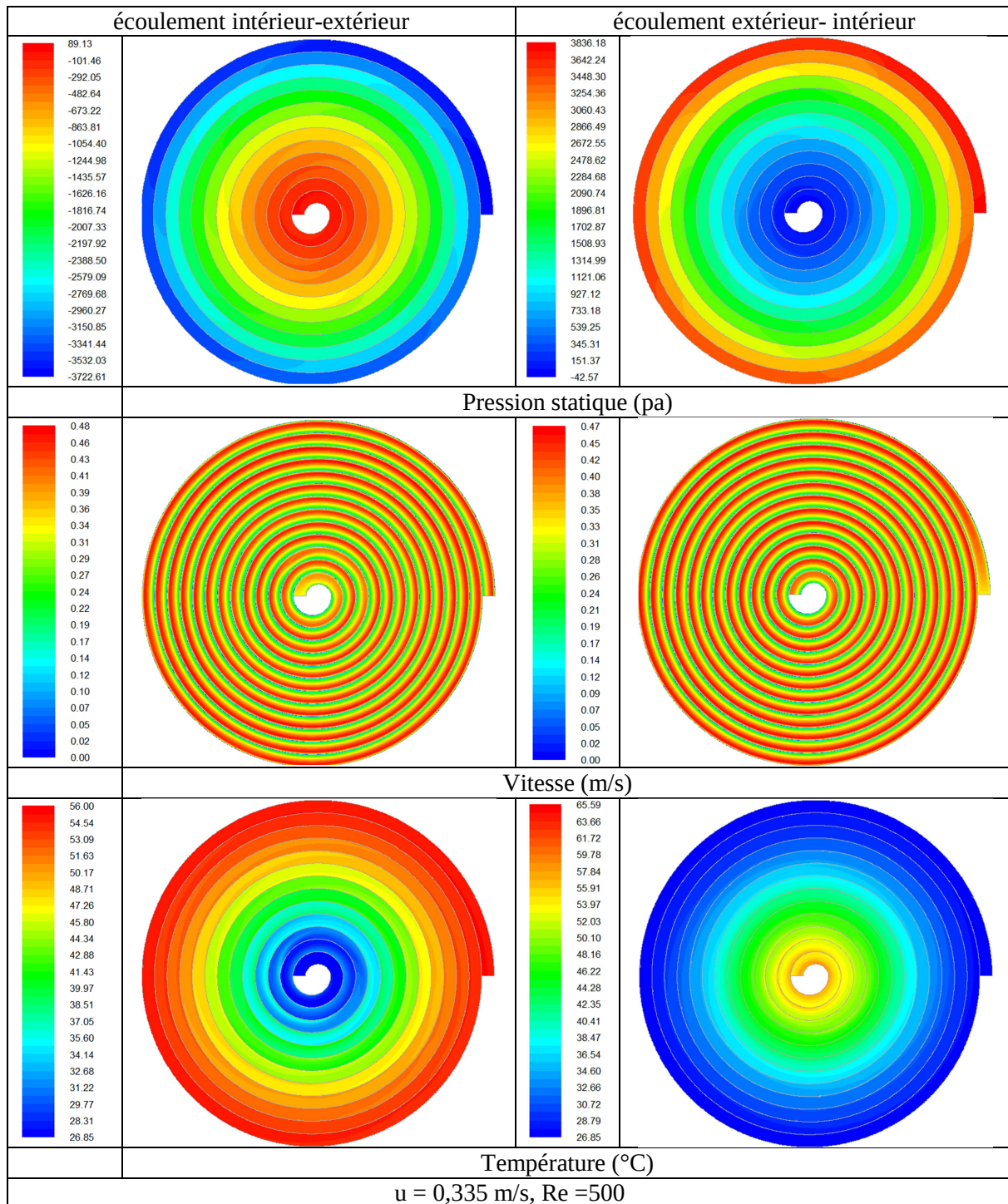


Figure IV.11 présentation de la distribution de la pression, la vitesse d'écoulement et la température pour $Re = 500$

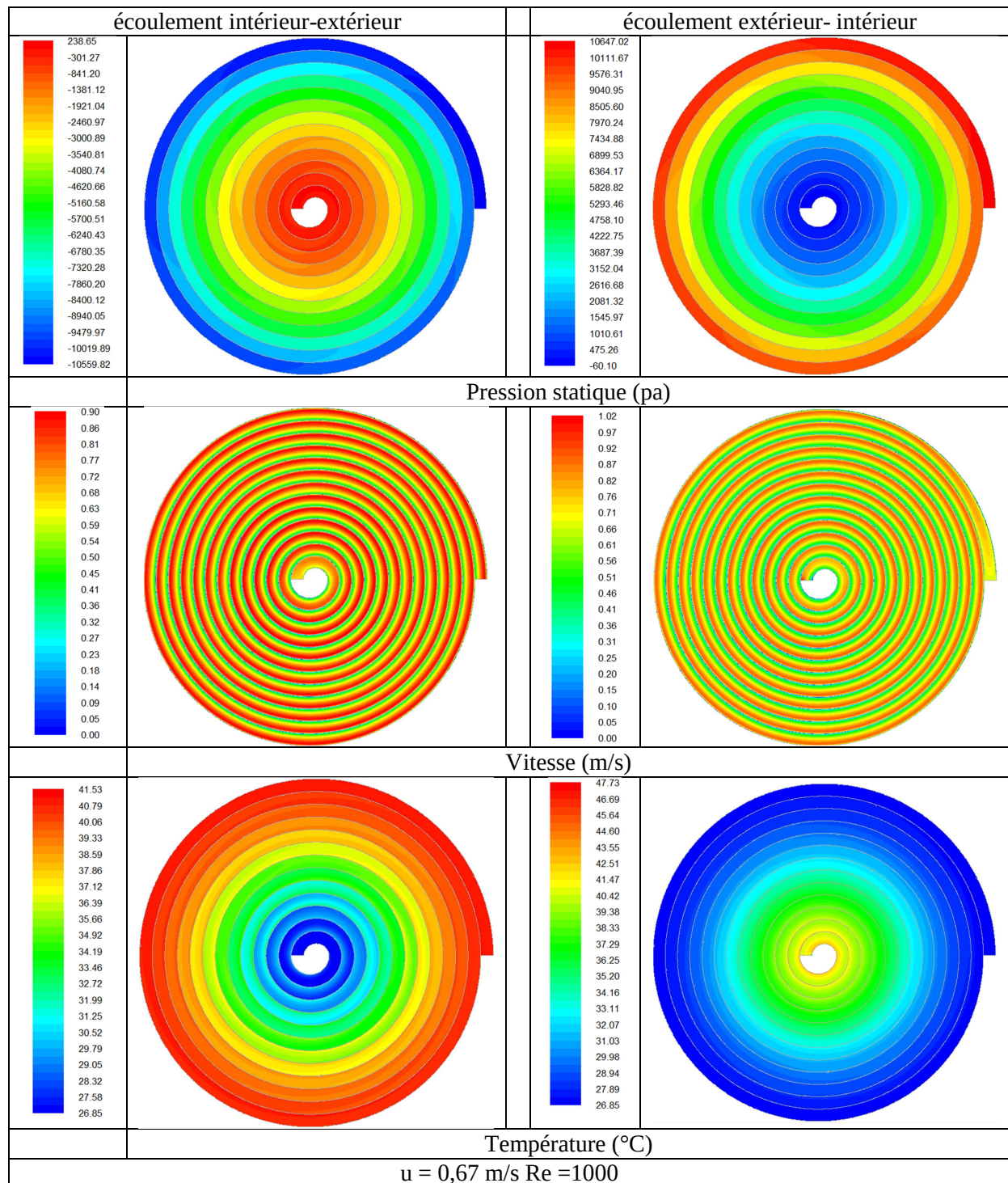


Figure IV.12 : présentation de la distribution de la pression, la vitesse d'écoulement et la température pour $Re = 1000$

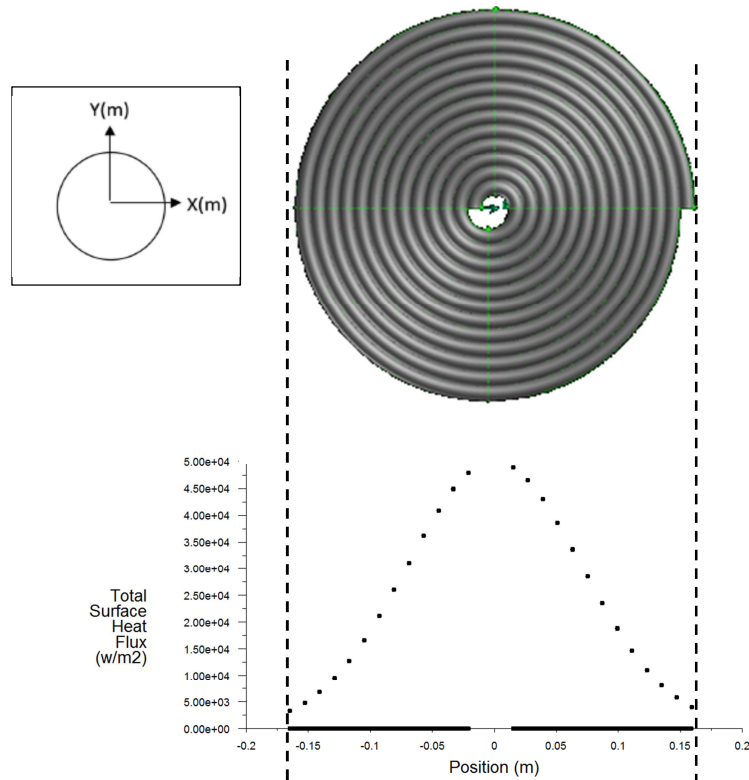


Figure IV.13: Distribution radiale de flux solaire concentré

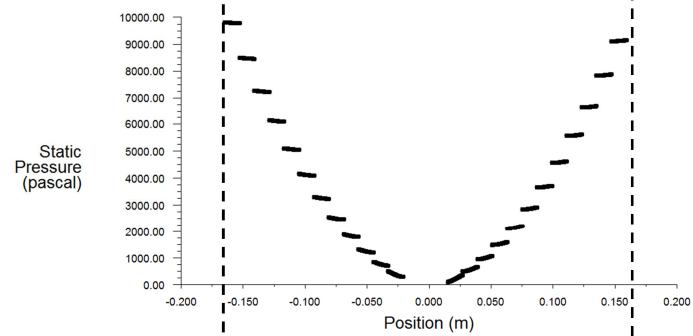


Figure IV.14 : Distribution radiale de la pression radiale et axiale dans le tube spiral

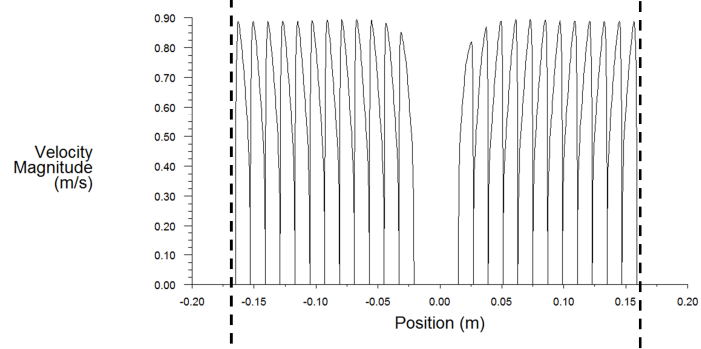


Figure IV.15 : Distribution radiale de la vitesse radiale et axiale dans le tube spiral

IV.10 Conclusion

La variation de la température du fluide dans un récepteur en spirale pour un système de concentration paraboloidale est déterminée numériquement. Ce résultat obtenu par CFD est comparé aux résultats de la littérature et les deux sont en concordances. La température du fluide atteint une valeur maximale à un débit d'écoulement faible puis décroît avec l'augmentation de débit d'écoulement. Lorsque l'intensité de rayonnement augmente, la température du fluide augmente également. À mesure que le débit augmente, la température moyenne diminue et le coefficient de transfert de chaleur augmente. Le débit massique plus faible, le coefficient de transfert thermique est fonction du rayon de courbure, alors qu'à débit plus important lorsque le coefficient de transfert thermique est fonction du débit massique. En raison de l'apparition de la force centrifuge, qui va donner la formation des tourbillons de Dean dans le récepteur de l'échangeur de chaleur à tube spirale. Le coefficient de transfert de chaleur et la chute de pression dans le tube en spirale sont respectivement de 1,5 et 2 fois ceux du tube tendu. Par conséquent, il est pratique d'utiliser un absorbeur à tube spiralé (récepteur) afin de créer d'une chute de pression importante.

Conclusion Générale

Dans ce travail de mémoire de fin d'étude, on a présenté une simulation d'un tube de forme spirale joue le rôle d'un absorbeur placé au point focale d'un concentrateur de forme paraboloidale. Dans la première étape de la simulation, en utilisant le codes de calcul SolTrace afin d'obtenir la distribution de la tache solaire se trouve au point focale du réflecteur; dans la deuxième partie du travail on va utiliser le Gambit comme constructeur de la géométrie de la forme spirale et aussi son maillage; ainsi que logiciel Fluent utilisé pour obtenir la distribution de la concentration du flux solaire sur le long de tube de forme spiral ainsi que les répartitions des autres paramètres physique comme la température, la vitesse de fluide et la pression.

La variation de la température du fluide dans un récepteur en spirale pour un système de concentration paraboloidale est déterminée numériquement. Ce résultat obtenu par CFD est comparé aux résultats de la littérature et les deux sont en concordances. La température du fluide atteint une valeur maximale à un débit d'écoulement faible puis décroît avec l'augmentation de débit d'écoulement. Lorsque l'intensité de rayonnement augmente, la température du fluide augmente également. À mesure que le débit augmente, la température moyenne diminue et le coefficient de transfert de chaleur augmente. Le débit massique plus faible, le coefficient de transfert thermique est fonction du rayon de courbure, alors qu'à débit plus important lorsque le coefficient de transfert thermique est fonction du débit massique. En raison de l'apparition des force centrifugeuses sur tout le long de tube en spiral, qui va donner la formation des tourbillons de Dean dans le tube. Le coefficient de transfert de chaleur et la chute de pression dans le tube en spirale sont respectivement de 1,5 et 2 fois ceux du tube tendu. Par conséquent, il est pratique d'utiliser un absorbeur à tube spiralé (récepteur) afin de crée d'une chute de pression importante qui va permettre au chauffage plus rapide de fluide.

Références

- [1] **K.Mahdi**, « Conception et réalisation d'un concentrateur sphérique», mémoire de magister, université Mentouri, Constantine 1, 2009.
- [2] **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.
- [3] <https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/bilan-radiatif-terre1.xml>
- [4] **R. Bernard, G. Menguy, M. Schwartz**, « Le Rayonnement Solaire, Conversion Thermique et Applications », Technique et Documentation Lavoisier, Paris, 1983.
- [5] **B. Stine, M. Geyer**, « Power from the Sun », Lyle centre for regenerative studies, 2001.
- [7] **KE. Cox, KD. Williamson Jr**, « Hydrogen: its technology and implications; vol. I, Hydrogen production technology », CRC Press, 1979.
- [8] **J.A. Duffie, and J.W. Beckman**, « Solar Engineering of Thermal Processes», Wiley 2ed^e Inc, 1991.
- [9] **W.B. Stine, R.B. Diver**, « A Compendium of Solar Dish/Stirling Technology Albuquerque », Sandia National Laboratories, Livermore, 1994.
- [10] «Optical Society of America, Handbook of Optics », Devices, Measurements& Properties», (volume II), 1995.
- [11] **O. Zikanov**, « Essentil computational fluid dynamics », John Wiley & Sons, 2010 .
- [12] **L. M. Jiji**, « Heat Convection », Springer, 2009.
- [13] **C. Hirsch**, « Numerical Computation of Internal and External Flows : The Fundamentals of Computational Fluid Dynamics», Butterworth-Heinemann, 2nd Edition, 2007.
- [14] **S. Patankar**, « Numerical Heat transfer and Fluid Flow (Hemisphere Series on Computational Methods in Mechanics and Thermal Science) », CRC Press, 1st Edition, 1980.
- [15] **S.V. Patankar, and 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,

ملخص

في هذا العمل درسنا عدديًا التحويل الحراري للمستقبل على شكل أنبوب حلزوني؛ يتم وضعها في النقطة البؤرية لمركز شمسي مكافئ باستخدام برنامجين هما SolTrace و الفلوانت. الخطوة الأولى استخدمنا Soltrace لتحديد التدفق المركز (البقع الشمسية) على مستوى النقطة البؤرية بواسطة شدة الإشعاع الشمسي و أبعاد المركز و اللاقط اللولبي. في الخطوة الثانية ، استخدمنا التدفق الشمسي المركز كشرط حدودي للجزء المقابل لمكثف الأنبوب اللولبي باستخدام الفلوانت. كما أتاحت لنا هذه الدراسة معرفة عمل هذا النظام والتنبؤ بتوزيع درجة الحرارة في الأنبوب وكذلك درجة حرارة المخرج.

Résumé

Dans ce travail nous avons numériquement étudié le transfert thermique d'un récepteur sous forme un tube spiral; placé au point focal d'un concentrateur paraboloidal à l'aide de deux logiciels sont SolTrace et Fluent. La première étape nous avons utilisé le Soltrace pour déterminer le flux concentré (tache solaire) au niveau de point focal en fonction de rayonnement solaire et les dimensions de réflecteur et absorbeur. Dans la deuxième étape nous avons utilisé le flux solaire concentré comme une condition au limite pour la partie ci-contre au concentrateur de tube spiral à l'aide du fluent. Aussi cette étude nous a permis de connaître le fonctionnement de ce système et prévoir la distribution de la température dans le tube ainsi la température de sortie.

Abstract

In this work we have numerically studied the thermal transfer of a receiver in the form of a spiral tube; placed at the focal point of a paraboloidal concentrator using two software programs are SolTrace and Fluent. The first step we used the Soltrace to determine the concentrated flux (sunspot) at the focal point level as a function of solar radiation and the dimensions of reflector and absorber. In the second step we used the concentrated solar flux as a boundary condition for the part opposite to the spiral tube concentrator using the fluent. Also this study allowed us to know the operation of this system and to predict the temperature distribution in the tube as well as the outlet temperature.