



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des Sciences et Technologie  
Département de Génie Mécanique

# MÉMOIRE DE MASTER

**Domaine : Sciences et Techniques**

**Filière : Génie Mécanique**

**Spécialité : Énergétique**

Réf. : Entrez la référence du document

---

Présenté et soutenu par :

**Heithem ELBAH**

**Noureddine Marouani**

Le : [Click here to enter a date.](#)

## **Etude numérique d'un tube absorbeur de concentrateur cylindro-parabolique**

---

### **Jury :**

Prf.	Adel BENCHABANE	Prf	Université de Biskra	Président
Dr.	Kamel AOUES	MCA	Université de Biskra	Encadreur
Dr.	Chawki MAHBOUB	MCB	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2020 - 2021

# Dédicaces

Je dédie ce mémoire.

A mon père et ces conseil exceptionnel.

A ma maman qui m'a soutenu et encouragé durant ces années d'études

Qui trouvent ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

A mes frères et ma soeur , mes grandes parents, ma famille et ceux qui ont partagé  
avec moi

tous les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail. Ils m'ont  
chaleureusement supporté et encouragé tout au long de mon parcours.

A tous mes amis, Youcef,Badreddine et Housseem pour son aide.avec qui j'ai  
partagé beaucoup de souvenirs inoubliables.

A tous ce que j'aime.

Merci !

*Heithem*

*ELBAH*

# Remerciements

On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire, également je remercie infiniment mes parents, qui m'ont encouragé et aidé à arriver à ce stade de ma formation.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Dr. Kamel AOUES, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Nous sommes conscientes de l'honneur que nous a fait Prf. Adel BENCHABANE en étant président du jury et Dr. Chawki MAHBOUB d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nos remerciement s'adresse au Mr. Mohamed Aymen Kethiri pour son aide pratique et son soutien moral et ses encouragements.

On remercie aussi toute l'équipe de LGEM pour leurs aides et leurs encouragements. Nos remerciement s'adresse également à tout nos professeurs pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles.

Nos profonds remerciements vont également à toutes les personnes qui ont contribué à la réussite de ce modeste travail.

# Résumé

Ce travail représente la suite de l'étude débuté par Mr. HROUB Qussay sous la direction du Dr. K. Aoues. Dans cette partie, nous avons mené une étude numérique visant à déterminer les paramètres qui influencent directement les tubes absorbeurs du CCP. Des tubes absorbeurs du CCP destinés à la production d'énergie. Le tube absorbeur traité par différents débits, deux types de matériau de construction des tubes et deux type de fluide, afin d'évaluer les caractéristiques de ces systèmes dans des installations et dans différentes conditions de travail. Les calculs ont été effectués avec le code CFD Fluent et les simulations ont couvert les conditions climatiques de la saison estivale (la période la plus chaude) dans le sud de l'Algérie (Biskra). Les paramètres les plus importants pour le transfert de chaleur de ce système a résulté ; la configuration en tube aluminium qui contient l'eau comme un fluide caloporteur avec un débit 0,01 Kg/s, s'avère la mieux adapté pour satisfaire le compromis (quantité du fluide / énergie fournie) destiné à la production de l'énergie.

## Mots clés :

Rayonnement solaire, Transfert de chaleur, Concentrateur cylindro-parabolique (CCP), Le foyer, Réflecteur, Plan focal , tube absorbeur.

# Abstract

This work represents the continuation of the study started by Mr. HROUB Qusay under the direction of Dr. K. Aoues, in this section, we conducted a numerical study to determine the parameters that directly influence the CCP absorbent tubes, CCP absorbent tubes for power generation, The absorber tube treated with different flow rates, two types of tube construction material and two types of fluid, in order to evaluate the characteristics of these systems in different installations and working conditions, The calculations were carried out with the CFD Fluent code and the simulations covered the climatic conditions of the summer season (the warmest period) in southern Algeria (Biskra), The most important parameters for the heat transfer of this system resulted ; he aluminum tube configuration that contains water as a heat transfer fluid with a flow rate of 0.01 Kg/s, is best suited to satisfy the compromise (quantity of fluid/ energy supplied) for the production of energy

## **Keywords :**

Solar radiation, Heat transfer, cylindrical-parabolic concentrator (CCP), The focal spot, Reflector, Focal plane , absorber tube.

# Table des matières

<b>Table des matières</b>	<b>I</b>
<b>Liste des figures</b>	<b>IV</b>
<b>Liste des tables</b>	<b>VIII</b>
<b>Introduction générale</b>	<b>1</b>
<b>1 Généralités</b>	<b>4</b>
1.1 Introduction . . . . .	4
1.2 Généralités sur Les concentrateurs Cylindroparabolique . . . . .	4
1.2.1 Définition . . . . .	4
1.2.2 Les Avantages et les inconvénients de CCP . . . . .	5
1.3 Principe de fonctionnement . . . . .	6
1.4 Recherche bibliographique . . . . .	6
1.5 Conclusion . . . . .	15
<b>2 Etude théorique du Concentrateur Cylindro-Parabolique et Modélisation Numérique de l’Absorbeur</b>	<b>16</b>
2.1 Introduction . . . . .	16
2.2 La géométrie parabolique . . . . .	16
2.3 Description optique . . . . .	19
2.4 Système optique d’une surface cylindro-parabolique . . . . .	20
2.5 Les composants d’un concentrateur solaire cylindro-parabolique . . . . .	21
2.5.1 Réflecteur (miroirs) . . . . .	21
2.5.2 Récepteur (Le tube absorbeur) . . . . .	21

2.5.3	Mécanisme de suivi du soleil . . . . .	23
2.6	La concentration . . . . .	23
2.6.1	Concentration géométrique . . . . .	23
2.6.2	Concentration optique . . . . .	24
2.7	Température de l'ouverture du récepteur . . . . .	25
2.7.1	L'énergie reçue au niveau d'un concentrateur . . . . .	26
2.7.2	Puissance solaire absorbée par l'ouverture du récepteur . . . . .	27
2.7.3	Puissance correspondant aux pertes thermiques . . . . .	27
2.8	Rendement du concentrateur . . . . .	28
2.9	Introduction au CFD . . . . .	28
2.9.1	Définition du CFD . . . . .	28
2.9.2	Fonctionnement d'un code CFD . . . . .	29
2.9.2.1	Prétraitement . . . . .	29
2.9.2.2	Calcul . . . . .	30
2.9.2.3	Post-traitement . . . . .	30
2.10	Présentation du logiciel de simulation « ANSYS Fluent » . . . . .	31
2.11	La modélisation de notre cas d'étude (le tube absorbeur du concen- trateur cylindro-parabolique) . . . . .	31
2.11.1	La partie Géométrie . . . . .	32
2.11.2	La partie maillage . . . . .	32
2.11.2.1	Les surfaces nommées : . . . . .	32
2.11.3	Les statistiques du maillage . . . . .	33
2.11.4	Équations générales de l'outil Fluent (ANSYS) (Équations gouvernantes du problème étudié) . . . . .	33
2.11.5	Les conditions initiales et les conditions aux limites . . . . .	34
2.12	Conclusion . . . . .	34
<b>3</b>	<b>Résultats de la simulation du tube absorbeur</b>	<b>35</b>
3.1	Introduction . . . . .	35
3.2	Description de la configuration de concentrateur CCP et le tube ab- sorbeur . . . . .	36
3.2.1	Le foyer . . . . .	38

3.2.2	Dimensions de l'absorbeur . . . . .	38
3.3	Les cas étudiés . . . . .	39
3.4	Résultats et discussions . . . . .	40
3.4.1	Effet du débit . . . . .	40
3.4.2	Effet du fluide . . . . .	49
3.4.3	Effet de la conductivité thermique du matériau . . . . .	53
3.5	Comparaisons générales . . . . .	57
	<b>Conclusion générale</b>	<b>59</b>
	<b>Bibliographie</b>	<b>60</b>



# Liste des figures

1.1	Le capteur cylindro-parabolique fournissant de l'énergie électrique à partir d'énergie thermique. . . . .	6
1.2	Récepteur poreux solaire : (a) avec conditions aux limites et (b) avec des paramètres géométriques. . . . .	8
1.3	(a) Distribution de flux sur le tube , (b) Distribution de température sur le tube . . . . .	9
1.4	Disposition des trois anneaux poreux. . . . .	11
1.5	Distribution de la température de PTR pour Y constante. (a)Tube absorbeur, (b) enveloppe de verre . . . . .	12
1.6	Schéma du nouveau type de Cylindro parabolique avec un HR et la distribution de flux solaire sur la surface extérieur du tube absorbeur (A) avant l'amélioration (B) . . . . .	13
1.7	Schéma du model numérique du collecteur du CCP de type LS-2 . . . . .	14
1.8	Le schéma de principe du système [28]. . . . .	15
2.1	Description géométriques de la parabole [9,38]. . . . .	17
2.2	Distance focale en fonction de l'angle d'ouverture d'une parabole d =1m [8,9]. . . . .	18
2.3	Description géométrique d'un cylindro- parabolique [8]. . . . .	19
2.4	Description optique d'un cylindro- parabolique [8]. . . . .	20
2.5	Système optique d'une surface cylindro-parabolique [8]. . . . .	20
2.6	Miroirs de concentrateur [8]. . . . .	21
2.7	Le tube absorbeur [8]. . . . .	22
2.8	Description du tube absorbeur [40]. . . . .	22
2.9	Exemple de système de mouvement [1]. . . . .	23

2.10	Concentration géométrique à différentes valeurs du diamètre du ré- cepteur [8, 9]. . . . .	24
2.11	Bilan énergétique [42]. . . . .	25
2.12	Réflexion d'un rayon parallèle [1,9]. . . . .	26
2.13	Processus du fonctionnement d'un code CFD . . . . .	29
2.14	Les étapes du prétraitement d'un code CFD. . . . .	30
2.15	ANSYS Fluent. . . . .	31
2.16	la géométrie . . . . .	32
2.17	Le maillage . . . . .	32
2.18	le maillage (surface nommé) . . . . .	33
3.1	(a) Interface arrière du CCP,(b) Interface arrière du CCP . . . . .	37
3.2	Dimensions du réflecteur. . . . .	38
3.3	Description de la configuration de foyer . . . . .	38
3.4	La distribution de la température de l'air en fonction de la longueur de tube absorbeur en cuivre pour les débits (0,001 Kg/s, 0,004 Kg/s, 0,008 Kg/s et 0,01 Kg/s). . . . .	40
3.5	Contour de la distribution de la température de l'air dans un tube de cuivre pour les quatre débits. . . . .	41
3.6	La distribution de la température de l'eau en fonction de la longueur de tube absorbeur en cuivre pour les débits (0,001 Kg/s, 0,004 Kg/s, 0,008 Kg/s et 0,01 Kg/s). . . . .	42
3.7	Contour de la distribution de la température de l'eau dans un tube de cuivre pour les quatre débits . . . . .	43
3.8	La distribution de la température de l'air en fonction de la longueur de tube absorbeur en aluminium pour les débits (0,001 Kg/s, 0,004 Kg/s, 0,008 Kg/s et 0,01 Kg/s). . . . .	44
3.9	Contour de la distribution de la température de l'air dans un tube d'aluminium pour les quatre débits . . . . .	45
3.10	La distribution de la température de l'eau en fonction de la longueur de tube absorbeur en aluminium pour les débits (0,001 Kg/s, 0,004 Kg/s, 0,008 Kg/s et 0,01 Kg/s). . . . .	46

3.11	Contour de la distribution de la température de l'eau dans un tube d'aluminium pour les quatre débits . . . . .	47
3.12	La distribution de la température des fluides (air et eau) en fonction de la longueur de tube absorbeur ( (a) en aluminium et (b) en cuivre )pour un débit (0,001 Kg/s). . . . .	49
3.13	La distribution de la température des fluides (air et eau) en fonction de la longueur de tube absorbeur ( (a) en aluminium et (b) en cuivre )pour un débit (0,004 Kg/s) . . . . .	50
3.14	La distribution de la température des fluides (air et eau) en fonction de la longueur de tube absorbeur ( (a) en aluminium et (b) en cuivre )pour un débit (0,008 Kg/s) . . . . .	51
3.15	La distribution de la température des fluides (air et eau) en fonction de la longueur de tube absorbeur ( (a) en aluminium et (b) en cuivre )pour un débit (0,01Kg/s) . . . . .	52
3.16	La distribution de la température de( (a) l'air , (b) l'eau) en fonction de la longueur de deux tubes différentes (cuivre- aluminium) absorbeur en pour un débit (0,001 Kg/s) . . . . .	53
3.17	La distribution de la température de( (a) l'air , (b) l'eau) en fonction de la longueur de deux tubes différentes (cuivre- aluminium) absorbeur en pour un débit (0,004 Kg/s) . . . . .	54
3.18	La distribution de la température de( (a) l'air , (b) l'eau) en fonction de la longueur de deux tubes différentes (cuivre- aluminium) absorbeur en pour un débit (0,008 Kg/s) . . . . .	55
3.19	La distribution de la température de( (a) l'air , (b) l'eau) en fonction de la longueur de deux tubes différentes (cuivre- aluminium) absorbeur en pour un débit (0,01 Kg/s) . . . . .	56

# Liste des tables

3.1	Configuration de concentrateur CCP . . . . .	36
3.2	Les cas étudiés. . . . .	39
3.3	les Propriétés des matériaux . . . . .	39
3.4	les Propriétés des fluides . . . . .	40
3.5	La température de sortie de l'air en fonction du débit dans un tube en cuivre. . . . .	42
3.6	La température de sortie de l'air en fonction du débit dans un tube en cuivre. . . . .	44
3.7	La température de sortie de l'air en fonction du débit dans un tube en cuivre. . . . .	46
3.8	La température de sortie de l'air en fonction du débit dans un tube en cuivre. . . . .	48
3.9	La température de sortie pour les deux fluides pour un débits 0,001 Kg/s. . . . .	49
3.10	La température de sortie pour les deux fluides pour un débits 0,004 Kg/s. . . . .	50
3.11	La température de sortie pour les deux fluides pour un débits 0,004 Kg/s. . . . .	51
3.12	La température de sortie pour les deux fluides pour un débits 0,004 Kg/s. . . . .	52
3.13	La température de sortie de deux fluides (eau et air) en fonction de la longueur de deux différentes tube (cuivre et aluminium) pour un débit de 0,001 Kg/s. . . . .	54

3.14	La température de sortie de deux fluides (eau et air) en fonction de la longueur de deux différentes tube (cuivre et aluminium) pour un débit de 0,004 Kg/s. . . . .	55
3.15	La température de sortie de deux fluides (eau et air) en fonction de la longueur de deux différentes tube (cuivre et aluminium) pour un débit de 0,008 Kg/s. . . . .	56
3.16	La température de sortie de deux fluides (eau et air) en fonction de la longueur de deux différentes tube (cuivre et aluminium) pour un débit de 0,01 Kg/s. . . . .	57
..		

# Introduction générale

Le soleil est une boule de gaz très chaude d'un diamètre de  $1,39 \times 10^9$  m, un réacteur de fusion continu dans lequel l'hydrogène est converti en hélium. L'énergie solaire atteint notre planète à seulement 8 minutes et 20 secondes du lever du soleil [1, 2].

La température au centre du soleil est élevée et estimée à de  $8 \times 10^6$  à  $40 \times 10^6$  °C. L'énergie totale du soleil est de  $3,8 \times 10^{20}$  MW, ce qui correspond à  $63 \text{ MW/m}^2$  de la surface du soleil. Cette énergie rayonne dans toutes les directions [3]. La Terre n'est interceptée que par une petite fraction du rayonnement total émis, soit  $1,7 \times 10^{14}$  kW. Même avec ce petit segment, on estime que le rayonnement solaire pendant 30 minutes est égal à la demande mondiale en énergie pour un an [1, 4].

Les humains ont compris que l'utilisation appropriée de l'énergie solaire était à l'époque préhistorique et était utilisée pour le séchage afin de conserver les aliments et d'évaporer l'eau de mer pour extraire le sel. Depuis qu'il a commencé à penser au monde qui l'entoure, il sait que le soleil est une force formidable responsable de la plupart des phénomènes naturels. C'est pourquoi de nombreuses tribus préhistoriques considèrent le soleil comme un "dieu" [1, 4].

Fondamentalement, toutes les formes d'énergie dans le monde que nous connaissons sont d'origines solaires. Le pétrole, le charbon, le gaz naturel et le bois ont été produits à l'origine par la photosynthèse, suivie de réactions chimiques complexes exposées à des phénomènes de décomposition à des températures et à des pressions extrêmement élevées pendant une longue période. Même l'énergie éolienne et l'énergie marémotrice ont une origine solaire car elles sont causées par des différences de température dans différentes parties de la terre [5, 6].

Bien que les combustibles fossiles fournissent l'essentiel de notre énergie au cours

du siècle dernier, car ils sont beaucoup moins chers et plus confortables que d'autres, le principal problème est que les réserves trouvées de pétrole et de gaz au taux de consommation actuel seront suffisantes pour répondre à la demande des 40 prochaines années. Avec le temps, les prix de l'énergie dans les prochaines décennies atteindront un niveau d'inflation plus élevé, qui est également l'une des principales causes de la pollution et du réchauffement de la planète, ce qui nécessite une révision de la stratégie énergétique et de chercher d'autres ressources [7].

Les ressources en énergies renouvelables sont l'une des stratégies les plus importantes en matière d'énergie. Ils diffèrent considérablement des combustibles fossiles contenus dans le pétrole, le charbon, le gaz naturel ou le combustible nucléaire utilisés dans les réacteurs nucléaires. Les énergies renouvelables ne produisent généralement pas de dioxyde de carbone résiduel ni de gaz nocifs, et le réchauffement climatique n'augmente pas, comme la combustion de combustibles fossiles ou les déchets nucléaires nocifs des réacteurs nucléaires. L'énergie renouvelable est produite à partir du vent, de l'eau et du soleil. Il peut résulter du mouvement des vagues, des marées ou de l'énergie géothermique [8].

Actuellement, la plupart des sources d'énergie renouvelables sont produites dans des centrales hydroélectriques par des barrages en eau. Les méthodes éoliennes et solaires sont largement utilisées dans les pays développés et dans certains pays en développement. Les énergies renouvelables couvriront 20% des besoins en énergie d'ici 2020. À la Conférence de Kyoto au Japon, Signé le 11 décembre 1997, il est entré en vigueur le 16 février 2005, La plupart des chefs d'État ont décidé de réduire la production de dioxyde de carbone au cours des prochaines années afin d'éviter les menaces majeures pesant sur le changement climatique, notamment Pollution et épuisement des combustibles fossiles et Risques sociaux et politiques liés aux combustibles fossiles et à l'énergie nucléaire [7, 9].

Le plus gros avantage du solaire est qu'elles sont propres et peuvent être fournies sans aucune pollution de l'environnement. L'énergie solaire est connue comme la lumière et la chaleur du soleil utilisées par les humains à leur avantage depuis l'Antiquité et par l'utilisation de techniques en constante évolution. Les techniques solaires incluent l'utilisation de l'énergie thermique solaire pour le chauffage direct, le déplacement mécanique ou l'énergie électrique, ou pour produire de l'électricité en

utilisant simultanément des phénomènes photovoltaïques. Utilisation de panneaux photovoltaïques.

Dans ce travail, nous abordons le concentrateur cylindro-parabolique avec une superficie de 18,54 mètres carrés couverts de 618 petits miroirs. L'objectif de cette étude est de voir la distribution de la température sur le long du tube absorbeur par l'utilisation de plusieurs matériaux (cuivre et aluminium) et deux fluides différents (eau et air) pour différents débits (0,001 Kg/s, 0,004 Kg/s, 0,008 Kg/s et 0,01 Kg/s) pour produire la plus grande quantité d'énergie possible à exploiter.

Pour atteindre les objectifs énoncés ci-dessus, nous avons divisé ce mémoire en trois chapitres :

Le chapitre 1 contient une vue générale sur les concentrateurs cylindro-paraboliques puis nous avons évoqué les travaux antérieurs dans ce thème de certains chercheurs pour mieux comprendre le sujet.

Le chapitre 2 Etude théorique du Concentrateur Cylindro-Parabolique et Modélisation Numérique de tube absorbeur avec logiciel ANSYS 17.1.

Le chapitre 3 contient les principaux résultats obtenus et leurs discussions.



# Chapitre 1

## Généralités

### 1.1 Introduction

Dans ce premier chapitre notre objectif est de donner une vue générale sur le Thème (le concentrateur solaire cylindro-parabolique), en faisant exposer des définitions sur ce type de concentrateur solaire d'une part, et d'une autre sur les avantages et les inconvénients de ce dernier et le principe de fonctionnement, après nous exposons la synthèse bibliographique établie sur le sujet, par la présentation de quelques travaux menés dans le domaine des concentrateurs solaire cylindro-parabolique.

### 1.2 Généralités sur Les concentrateurs Cylindroparabolique

#### 1.2.1 Définition

Les concentrateurs Cylindro-parabolique sont connus pour leur simplicité : ils sont disposés de manière cylindrique sous forme de modules avec réflecteurs paraboliques [10]. Il se compose d'un long miroir (généralement recouvert d'un placage en argent ou en aluminium poli), de forme rectangulaire, parabolique, et complété par un tube à enveloppe à vide (tube Dewar) s'étendant sur toute sa longueur. Doubler. Les rayons du soleil sont réfléchis par le miroir et convergent vers le ballon Dewar [11]. La structure métallique doit être suffisamment solide pour résister aux énormes

contraintes mécaniques liées au vent. Il doit également avoir des extrémités qui assurent la compatibilité entre la dilatation thermique inégale de l'acier et du verre [10]. La centrale solaire thermique CCP comprend trois composants principaux : - Le champ solaire, qui utilise une série de longs concentrateurs cylindro-paraboliques. - Le système de transfert de la chaleur. - Le système de génération électrique (Turbine + Générateur) [12]. Les panneaux sont généralement alignés statiquement le long de l'axe principal nord-sud et pivotent dans le plan vertical correspondant pour suivre le plan elliptique du soleil pendant la journée. Le fluide caloporteur qui accumule l'énergie capturée dans le Dewar est généralement diverses huiles. La température optimale est d'environ 400 ° C. En traversant le circuit de transmission externe, la chaleur du fluide chauffe la vapeur produite par un turbo-alternateur standard [13].

## 1.2.2 Les Avantages et les inconvénients de CCP

### Avantages

- Les systèmes à miroirs cylindro-paraboliques représentent les technologies solaires à concentration les plus développées, et par conséquent les plus accessibles, commercialement parlant.
- Le rendement net de 15 % d'une telle centrale a été éprouvé sur le plan commercial.
- Les coûts d'investissement et de fonctionnement ont fait leur preuve.
- Les systèmes sont modulaires.
- Les systèmes présentent un bon coefficient d'utilisation des sols.
- Les besoins en matériaux sont peu élevés.

### Inconvénients

- La dissipation de chaleur est importante au niveau du champ de miroirs cylindro- paraboliques.
- On n'a pas encore trouvé de fluide caloporteur idéal pouvant être employé dans le champ de miroirs cylindro-paraboliques. Ceci est un problème potentiel, en raison de la longueur des canalisations traversant le champ en

direction de l'usine productrice de vapeur [14].

### 1.3 Principe de fonctionnement

Le fonctionnement du concentrateur Cylindro-Parabolique est très simple. Il est basé sur le phénomène «effet de serre». Tout d'abord, l'enceinte en verre reçoit deux types de rayonnement solaire : la lumière directe du soleil, qui est réfléchiée par un miroir, puis elle est focalisée sur le tube récepteur. Une partie de ce rayonnement est absorbée par la gaine, le reste est émis dans l'atmosphère et la majeure partie du rayonnement passe à travers la gaine vers le tube Absorbeur. De même, le tube d'absorption absorbe et réfléchit une grande quantité de rayonnement de la coque, qui sera emprisonnée entre la coque et le tube d'absorption, ce que l'on appelle l'effet de serre. L'énergie générée sous forme de chaleur est transférée au fluide caloporteur circulant à l'intérieur du tube absorbeur. Afin d'obtenir de meilleures performances, les capteurs Cylindro-Parabolique (CCP) sont équipés d'un mécanisme de suivi [15].

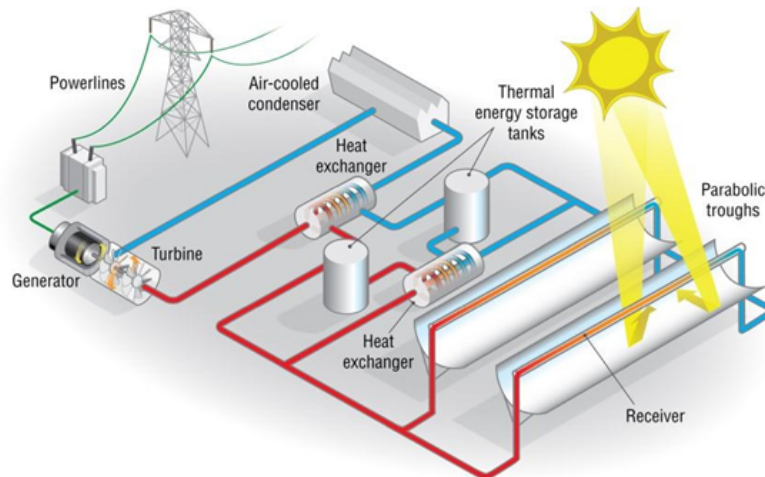


FIGURE 1.1 – Le capteur cylindro-parabolique fournissant de l'énergie électrique à partir d'énergie thermique.

### 1.4 Recherche bibliographique

Plus de 90 % de l'énergie utilisée aujourd'hui sur terre provient des combustibles fossiles, mais ces derniers posent de plus en plus de problèmes sur terre. La ques-

tion de leur remplacement se pose et est inévitable. Mais comment les remplacer ? L'homme cherche aujourd'hui à remplacer les sources d'énergies à cause des multiples pollutions occasionnées et de leurs impacts sur l'environnement, mais aussi (et surtout) à cause du coût de plus en plus important pour l'achat, l'extraction et l'utilisation de ces sources d'énergies.

L'alimentation en énergie future passe certainement par les énergies renouvelables qui sont encore pour certains au stade expérimental et pour d'autres qui connaissent un essor actuellement (comme l'énergie solaire) grâce aux économies engendrées et à leur absence d'impact sur l'environnement.

Ces énergies sont l'énergie solaire, l'énergie éolienne, l'énergie hydraulique, l'énergie des marées, les biogaz, les biocarburants et la géothermie.

Les systèmes de conversion thermique les plus utilisés pour la production de l'électricité sont les concentrateurs cylindro-paraboliques et l'amélioration du rendement de ces concentrateurs est la préoccupation de plusieurs chercheurs. Pour cela, on cite quelques travaux réalisés dans ce domaine :

**A.C. Razel et al** et al. (1979) ont fait des travaux analytiques et expérimentaux pour analyser les pertes d'énergie thermique par conduction et par convection naturelle. Ils ont utilisé des gaz différents dans l'espace annulaire. Les résultats obtenus montrent que la réduction des pertes est entre 10% et 50%. En outre. Ils ont étudié l'effet de la distribution non uniforme de la température et les cylindres excentriques. Les résultats ont montré que la distribution non uniforme de la température est nécessaire pour affecter sensiblement le processus de convection naturelle [16].

**S.D. Odeh et al.** (1998) ont étudié l'efficacité d'un CCP en utilisant une nouvelle équation développée pour calculer la température des parois d'absorbeur. Les paramètres d'efficacité du collecteur sont validés avec les données de test Sandie pour le collecteur LS. Ils ont conclu que l'efficacité est liée au diamètre de tube absorbeur et à la température de saturation [17].

**K. Ravi Kumar et al** (2009) ont étudié l'amélioration du transfert de chaleur à travers un tube absorbeur avec un disque poreux dans le concentrateur cylindro parabolique, L'étude a révélé que l'utilisation du milieu poreux dans un tube absorbeur améliore le transfert de chaleur dans tous les récepteurs en raison de l'augmentation de la surface d'échange thermique, de la conductivité thermique et de la turbulence

[18].

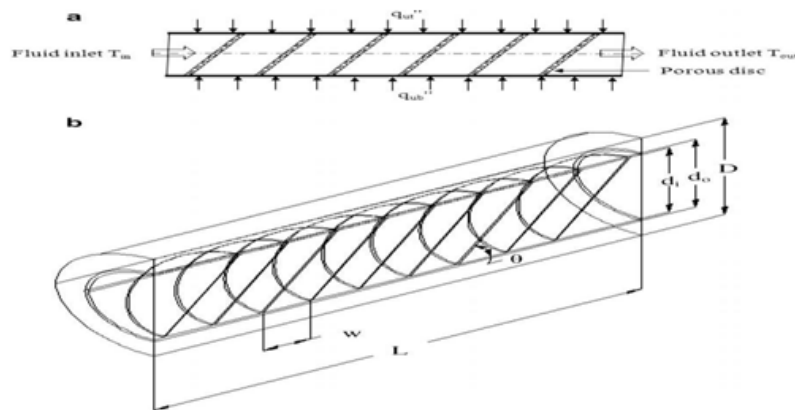


FIGURE 1.2 – Récepteur poreux solaire : (a) avec conditions aux limites et (b) avec des paramètres géométriques.

**A. Fernandez-Garcia et al.** (2010) ont présenté un aperçu sur les applications du CCP inventées au cours du dernier siècle. Dont ils ont montré que les applications CCP peuvent être divisées en deux groupes principaux, le premier à haute température comprise entre 300 et 400 °C et l'autre à basse température comprises entre 100 et 250 °C [19].

**Z.D. Cheng et al.** (2010) à définir une simulation numérique en combinant la méthode MCRT et le logiciel Fluent qui permet de calculer la distribution du flux d'énergie solaire sur la paroi externe de tube absorbeur d'un CCP. Trois modèles (modèle sans paroi, modèle sans rayonnement et modèle non abrégé) sont également simulés pour donner une explication plus détaillée du mécanisme de transfert de chaleur couplé dans le tube récepteur à travers l'étude des effets de ; l'éclairement énergétique normal direct, nombre de Reynolds et l'émissivité de la paroi de tube interne sur les caractéristiques de transfert de chaleur. Leurs résultats montrent que les pertes de rayonnement dans le troisième modèle atteint  $153,70 W/m^2$ . Ainsi, afin d'améliorer l'efficacité du capteur, il faut réduire autant que possible les pertes du rayonnement [20].

**G. Gong et al.** (2010) pour étudier les facteurs d'influence de perte de chaleur du récepteur dans différentes conditions de vide pour évaluer les performances thermiques globales du récepteur. En outre, un modèle supplémentaire de CFD de transfert de chaleur en 3-D est effectué pour analyser la distribution de la tempéra-

ture et le transfert de chaleur à l'extrémité complexe du récepteur. Leurs résultats indiquent que les conditions d'émission et de vide ont un impact significatif sur les pertes de chaleur du récepteur, tandis que, les influences des conditions d'environnement sont négligeables. D'autre part, en 3-D les résultats indiquent que le support et le soufflet en l'absence de vide entraînent une perte de chaleur par conduction élevée, responsable du grand écart initial [21].

**Z.D.Cheng et al** (2010) ont travaillé sur l'identification de la distribution de la température à la surface externe du tube absorbeur d'un CCP, cette distribution est en fonction de la distribution du flux de rayonnement à la surface, et déterminée à son tour en exploitant la technique de Monte Carlo MCRT (Monte Carlo Ray Tracing). Combinant la méthode MCRT et la méthode des volumes finis via le code de calcul Fluent, ils élaborèrent une multitude de simulations. Prenant le fait de la dépendance des propriétés physique du fluide caloporteur (huile Syltherm800) avec la température, la validation du modèle mathématique et de la modélisation, par comparaison avec les données des études expérimentales antérieures de Dudley et al [22], fut poussée jusqu'à une différence de 2% sur la température du fluide caloporteur à la sortie de l'absorbeur [23].

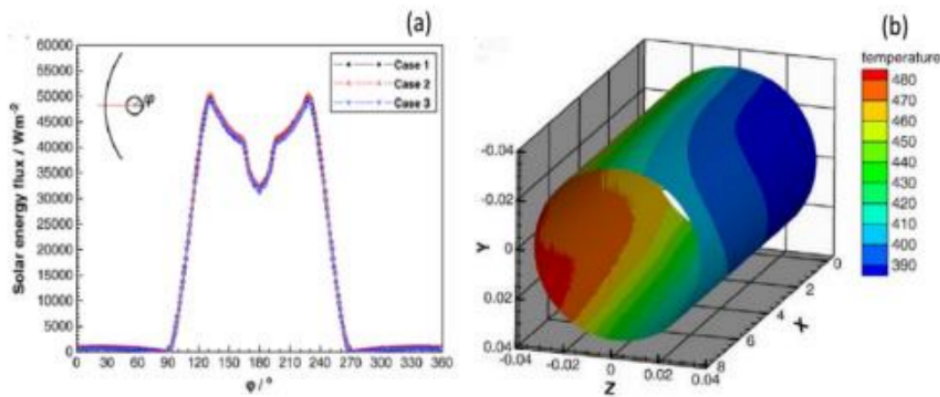


FIGURE 1.3 – (a) Distribution de flux sur le tube , (b) Distribution de température sur le tube

**R.V. Padilla et al.** (2011) ont effectué une analyse numérique de transfert de chaleur 1-D d'un collecteur parabolique. Dans ces analyses ils ont utilisées le bilan de masse et d'énergie. Les résultats obtenus ont montré un bon accord avec les données

expérimentales (Laboratoire Nationale de Sandie) et par rapport à d'autres modèles de transfert de chaleur. Dans le cas de tube nu (absence de l'enveloppe de verre), il a été constaté qu'une réduction de 41,8% des pertes de chaleur par convection entraînait une amélioration des performances du modèle de transfert de chaleur. Sur la base des résultats obtenus, il est conclu que ce modèle est adapté au calcul des pertes de chaleur et d'efficacité du capteur dans différentes conditions de débit [24].

**Y.L. He et al.** (2011) ont modélisé une simulation couplée basée sur la méthode MCRT et la méthode de volume finie sur différents paramètres d'un CCP pour comprendre l'influence des paramètres sur l'efficacité thermique de CCP [25].

**Z.D. Cheng et al.** (2012) ont travaillé sur un modèle 3-D plus détaillé basé sur la simulation numérique correspondante d'un CCP en combinant la méthode MVF et méthode de MCRT. Ce modèle permet de simuler et analyser le processus de conversion photo- thermique involutive total d'un CCP. Les résultats numériques ont été comparés aux données expérimentales et un bon accord a été obtenu [26].

**Q. Liu et al.** (2012) ont fait des simulations numériques pour évaluer la faisabilité et l'efficacité de la méthode LSSVM, où les échantillons de données dérivent de l'expérience et les résultats de simulation de deux systèmes de capteurs solaires avec Champs solaires de 30 et 600 m<sup>2</sup>. Les résultats indiquent que la méthode LSSVM a réussi à modéliser le système de capteur solaire, et peut éventuellement être développé pour modéliser et optimiser le système solaire thermique total [27].

**A. Kalogirou** (2012) a présenté une étude thermique d'un CCP où il a pris en compte tous les modes de transfert de chaleur pour établir un modèle thermique détaillé. La validation du modèle été effectués et testés par SNL et ses performances sont très satisfaisantes [28].

**Seyed Ebrahim Ghasemi et al** (2013) ont porté leur étude sur l'amélioration des performances d'un CCP par l'insertion de trois couches annulaires de différentes porosités dans le tube récepteur. Cette nouvelle configuration occasionnée certes des pertes de charge considérables, mais le transfert de chaleur a augmenté en raison de l'accroissement de la surface d'échange à l'intérieur du tube, ainsi que la turbulence [29].

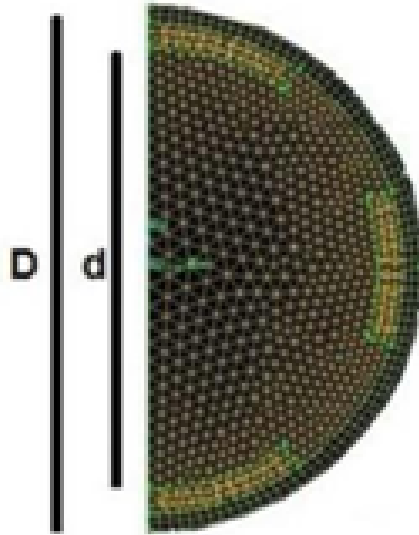


FIGURE 1.4 – Disposition des trois anneaux poreux.

**A.A. Hachicha et al.** (2013) ont investigué un modèle numérique détaillé de transfert de chaleur basé sur la méthode de volume finie avec un module optique. L'effet du rayonnement solaire incident non uniforme sur le tube absorbeur et l'enveloppe de verre a été examiné. Les résultats obtenus de la simulation numérique sont en accords avec celle des expériences, bien que certaines différences soient observées à des températures plus élevées. Ils ont montré que le modèle actuel est capable d'estimer assez bien les pertes de chaleur et la température dans le HCE [30].

**O. Malika et al.** (2013) ont mesuré les radiations solaires à plusieurs régions en Algérie à des différences inclinaisons et comparer le potentiel solaire entre eux pour choisi le système le plus efficace pour le capteur de gouttière parabolique. Ensuite, ils ont fait un modèle numérique pour prédire les performances thermiques de collecteur sous les conditions algériennes. Les résultats montrent que l'augmentation du HTF et de la température de l'absorbeur génère une augmentation de la perte de chaleur ainsi une diminution du gain de chaleur [31].

**J. Lu et al.** (2013) ont étudié les caractéristiques de transfert de chaleur non uniforme. Ils ont fait des calculs avec deux modèles, un uniforme et l'autre non uniforme les résultats obtenus sont comparés avec des résultats expérimentaux. Ils obtiennent que le modèle non uniforme soit plus proche aux données expérimentales mais sous des conditions de soleil [32].





absorbeur loin de la ligne focale du concentrateur cylindro parabolique vers le HR ajouté.

Dans les conditions étudiées, l'efficacité du collecteur diminue d'environ 4%, tandis que la température maximale de la paroi du tube absorbeur est réduite de 667 à 661 K et la différence de température circumférentielle à l'emplacement de l'axe de  $z = 3$  m est réduite de 25,7 à 2,3 K. Par conséquent, bien que l'efficacité du collecteur ait tendance à diminuer légèrement, la température maximale et la différence de température circumférentielle de la paroi du tube absorbeur peuvent être considérablement réduites et donc la fiabilité du concentrateur cylindro parabolique peut être améliorée [34].

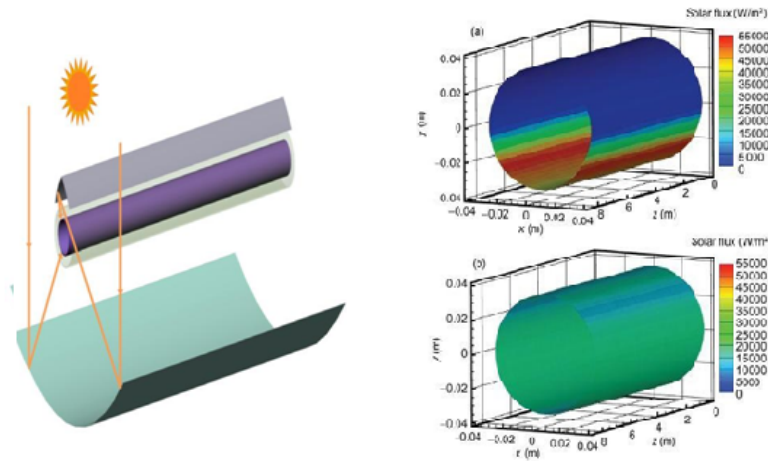


FIGURE 1.6 – Schéma du nouveau type de Cylindro parabolique avec un HR et la distribution de flux solaire sur la surface extérieure du tube absorbeur (A) avant l'amélioration (B)

Dans l'étude de **Z. Wu et al.** (2014), un modèle optique tridimensionnel de conversion de la chaleur et de transfert de PTR a été développé. Ce modèle utilise un code MCRT avec un logiciel CFD FLUENT, dont ils ont obtenu avec succès la distribution détaillée de la température du PTR. Les résultats ont montré que la différence de température dans le tube métallique évolue inversement avec la vitesse de HTF. En outre, les résultats de la simulation montrent que la température de stagnation du récepteur CCP augmente de façon linéaire avec le temps et peut atteindre 700 K en environ 130 s [35].

**E. Kaloudiset al** (2016). Ils ont fait une analyse numérique sur le collecteur

d'un système de Concentrateur cylindro-parabolique avec le nanofluide caloporteur (HTF), afin de simuler le collecteur de type SEGS LS2. Ses performances thermiques et ses pertes en chaleur sont obtenus du travail expérimental de « Dudley et al » [4]. Quatre cas de conditions aux limites ont été utilisés pour la simulation numérique en impliquant tous les modes de transfert thermique aux niveaux des différentes interfaces, comme illustré sur la figure (1.7) [36].

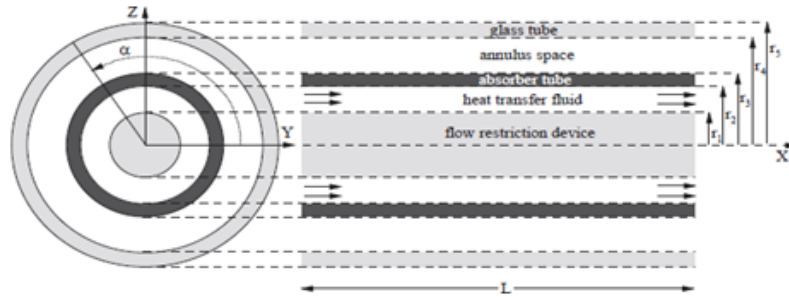


FIGURE 1.7 – Schéma du model numérique du collecteur du CCP de type LS-2

**Jinglian Zhao et al** en (2021) Dans cet article, un nouveau distillateur solaire flottant sur l'océan avec un concentrateur à surface cylindrique et un évaporateur à espace vertical est proposé pour résoudre le problème du manque d'eau douce dans les îles. Lorsque le distillateur flotte sur l'océan, l'espace vertical se remplit automatiquement d'eau de mer grâce à l'effet de siphon du matériau hydrophile. Ensuite, l'eau de mer est chauffée pour générer de la vapeur lorsque la lumière solaire incidente est concentrée dans l'espace par le concentrateur cylindrique. Une simulation optique du distillateur solaire est effectuée pour trouver le rayon optimal du concentrateur cylindrique et la hauteur de l'espace vertical.

Les résultats indiquent que lorsque le rayon et la hauteur sont respectivement de 6 cm et 5 cm, 80 % du nombre de rayons solaires dans l'angle d'incidence de 45° peuvent être capturés par l'eau de mer dans l'espace vertical [37].

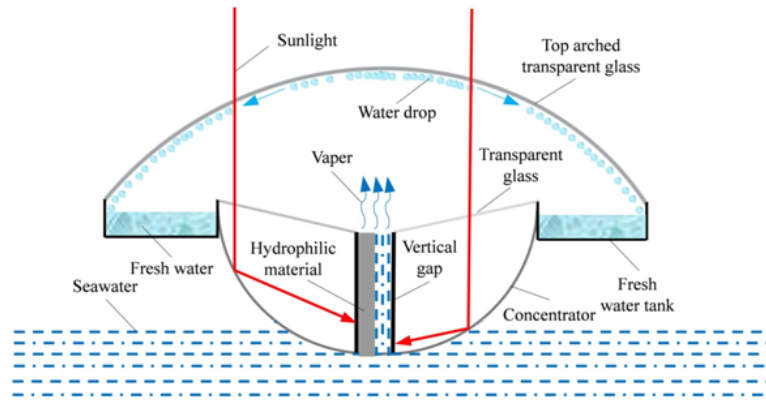


FIGURE 1.8 – Le schéma de principe du système [28].

## 1.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté des généralités sur le concentrateur solaire cylindro-parabolique, ainsi que les avantages et les inconvénients de ce dernier et nous avons également abordé le principe de fonctionnement, puis nous avons évoqué les travaux de certains chercheurs sur la méthode de synthèse bibliographique.

# Chapitre 2

## Etude théorique du Concentrateur Cylindro-Parabolique et Modélisation Numérique de l’Absorbeur

### 2.1 Introduction

Pour une compréhension profonde de l’idée du concentrateur cylindro-parabolique et pour une conception claire de ce type de technique solaire, dans ce chapitre, nous aborderons la description théorique et géométrique du concentrateur cylindro-parabolique. Nous expliquerons ses composants de base, le système optique ainsi que l’énergie reçue et l’énergie perdue à cause des pertes thermiques, puis en fait Modélisation Numérique de tube absorbeur avec logiciel ANSYS 17.1.

### 2.2 La géométrie parabolique

La parabole est une forme à deux dimensions, définie géométriquement comme des points se trouvent à un niveau éloigné du point focal (F), à une distance égale à la distance du guide (D). La ligne verticale du guide (D) passe par le point focal (F), appelé axe de symétrie, appelé jonction parabole avec l’axe de symétrie de la tête (V).

Le sommet de la parabole (V) est un point où il y a un changement de direction de l'appariement (c'est-à-dire des périodes d'augmentation et de diminution) et où l'inclinaison tangente est nulle [38].

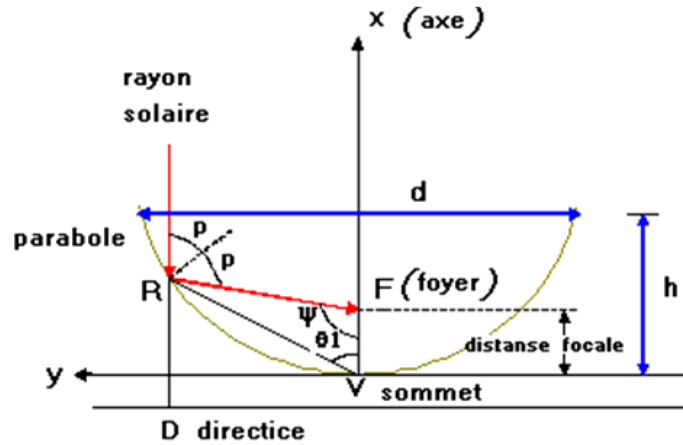


FIGURE 2.1 – Description géométriques de la parabole [9,38].

L'équation de la parabole est [9, 38] :

$$Y^2 = 4.f.x \quad (2.1)$$

f : la distance focal FV.

$$P = \frac{2f}{1 + \cos \Psi} \quad (2.2)$$

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

Ψ : Angle mesuré à partir de la ligne (VF) et le rayon parabolique (P).

L'angle d'ouverture ' d'une parabole est exprimé par la relation suivante [7, 9] :

$$\tan \Psi = \frac{(f/d)}{2(f/d)^{2-\frac{1}{8}}} \quad (2.3)$$

f : distance focale.

d : diamètre de l'ouverture de la parabole.

On peut voir qu'une parabole avec un petit angle d'ouverture est relativement plate. L'augmentation de l'angle d'ouverture de la parabole fait diminuer la distance focale.

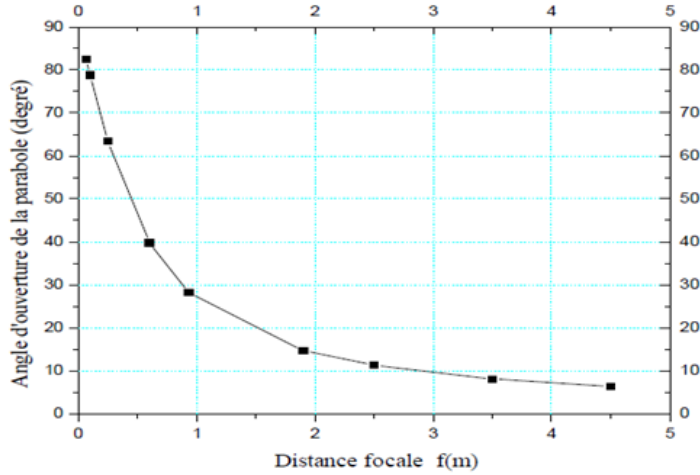


FIGURE 2.2 – Distance focale en fonction de l’angle d’ouverture d’une parabole  $d = 1\text{m}$  [8,9].

La profondeur ( $h$ ) de la parabole, le diamètre d’ouverture ( $d$ ) ainsi que sa distance focale ( $f$ ) sont reliés par l’expression analytique suivante [7, 9] :

$$h = \frac{d^2}{16f} \quad (2.4)$$

A travers les deux expressions 2.3 et 2.4, l’angle d’ouverture peut être exprimé en fonction des deux dimensions de la parabole en prenant la forme suivante [9] :

$$\tan \Psi = \frac{1}{(d/8h) - (2h/d)} \quad (2.5)$$

La longueur d’arc d’une parabole peut être trouvée en intégrant une surface différentielle de cette courbe 2.1, en appliquant les limites  $X = h$  et  $Y = d/2$  comme décrit sur la figure (2.1), on trouve [9, 38] :

$$S = \left[ \frac{d}{2} \sqrt{\left(\frac{4h}{d}\right)^2 + 2} \right] + 2f \ln \left[ \frac{4h}{d} \sqrt{\left(\frac{4h}{d}\right)^2 + 1} \right] \quad (2.6)$$

La surface primaire d’un concentrateur cylindro-parabolique est déterminée à travers le produit de son contour par sa longueur  $L$  comme indiqué sur la figure (2.3), tandis que sa surface d’ouverture ( $A_0$ ) est définie comme étant le produit de son diamètre d’ouverture ( $d$ ) par longueur ( $L$ ) représenté par la relation suivante [7, 9] :

$$A_0 = Ld \quad (2.7)$$

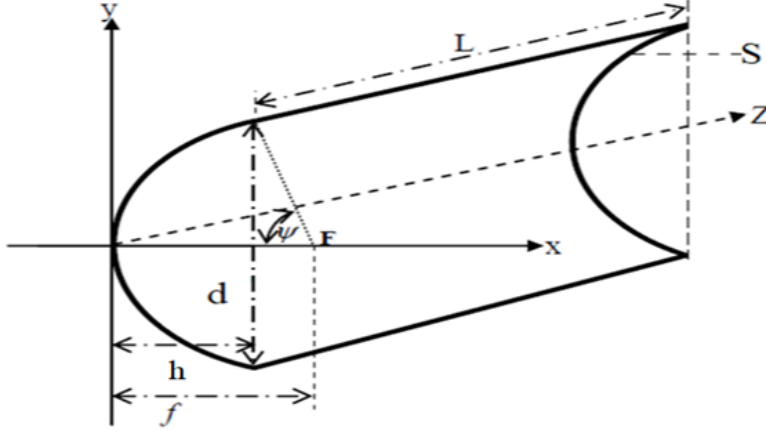


FIGURE 2.3 – Description géométrique d'un cylindro- parabolique [8].

La surface d'une cylindro-parabolique ( $A_x$ ) représente la longueur de l'arc (S) multipliée par la longueur (L), elle est représentée par la relation suivante [7, 9] :

$$A_x = LS \quad (2.8)$$

## 2.3 Description optique

Le paramètre optique dans les concentrateurs solaires est le coefficient de concentration solaire (C). Il est défini comme étant le rapport entre le flux solaire concentré au plan focal et le flux solaire réfléchi à travers la surface d'ouverture du concentrateur comme illustré sur la figure (2.4). Rapport entre les deux flux surfaciques fait ressortir l'expression suivante [7] :

$$C = \frac{A_0}{A_t} \quad (2.9)$$

$A_0$  Est la surface d'ouverture du concentrateur.

$A_t$  Est la surface de la tache solaire focalisée le long de ligne focale [7, 9].



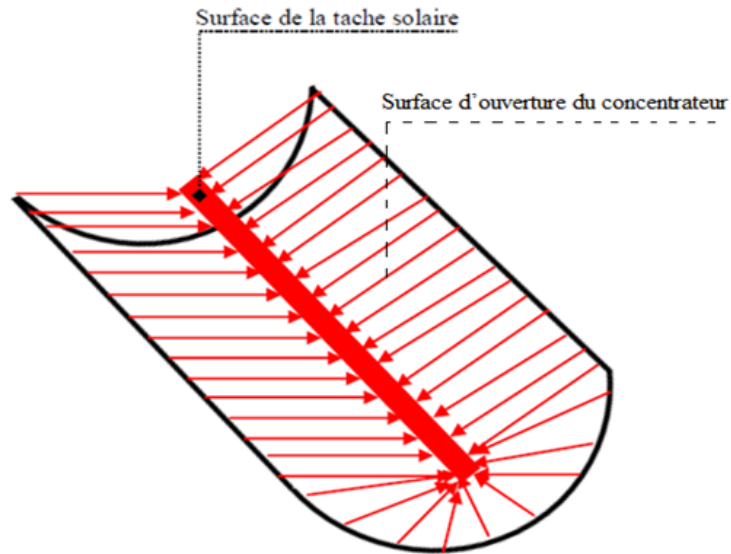


FIGURE 2.4 – Description optique d’un cylindro- parabolique [8].

## 2.4 Système optique d’une surface cylindro-parabolique

Selon les lois de la réflexion, tous les rayons verticaux sur la surface de réflexion (Surface d’une cylindro-parabolique) sont reflétés dans le foyer linéaire s’étendant le long de la surface cylindrique parabolique (Le focus linéaire). Le foyer linéaire est ainsi appelé car il combine tout le rayonnement réfléchi, une partie qui absorbe la chaleur induite par le rayonnement comme dans la figure (2.5) [8].

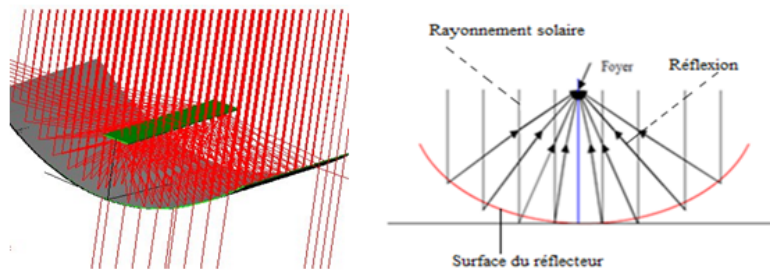


FIGURE 2.5 – Système optique d’une surface cylindro-parabolique [8].

## 2.5 Les composants d'un concentrateur solaire cylindro-parabolique

Ce type de centrale se compose en un grand ensemble de miroirs parallèles, qui tournent autour d'un axe horizontal pour suivre la course du soleil. Les rayons solaires sont concentrés sur un tube horizontal, où circule un fluide caloporteur qui servira à transporter la chaleur vers la centrale elle-même. La température du fluide peut monter jusqu'à 500° C. Cette énergie est transférée à un circuit d'eau, la vapeur alors produite actionne une turbine qui produit de l'électricité [39]. Le concentrateur solaire cylindro-parabolique est composé des éléments suivants :

### 2.5.1 Réflecteur (miroirs)

Le réflecteur Fabriqué en verre dont la transmittivité atteint 98%. Ce verre est recouvert d'une couche d'argent en dessous et d'une couche protectrice spéciale. Un réflecteur de haute qualité peut refléter 97% du rayonnement incident [8].



FIGURE 2.6 – Miroirs de concentrateur [8].

### 2.5.2 Récepteur (Le tube absorbeur)

L'élément le plus important est le tube d'absorption. Le tube d'absorption en cuivre est souvent recouvert d'une peinture noire pour augmenter l'efficacité de l'absorption, il est entouré d'une enveloppe en verre transparente et d'une zone d'air

entre le tube absorbant et le couvercle en verre, comme indiqué dans la figure (2.7) [8].

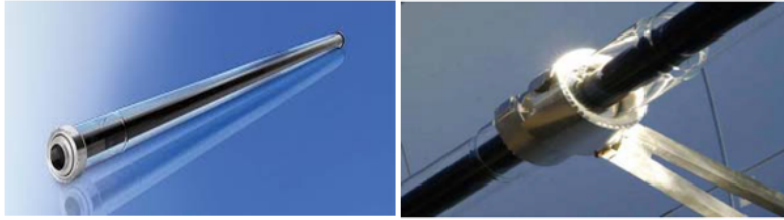


FIGURE 2.7 – Le tube absorbeur [8].

Le tube absorbant doit avoir les caractéristiques suivantes :

1. Bonne absorption du rayonnement : son coefficient d'absorption doit être aussi élevé que possible afin d'éviter toute réflexion du rayonnement collecté sur le tube.
2. Pertes thermiques limitées : La température du tube dépassant généralement  $400^{\circ}\text{C}$ , les pertes par échanges convectifs et radiatifs sont très importantes. Afin de les limiter, le tube est entouré d'une enveloppe de verre sous vide [8].
3. Une bonne résistance chimique vis à vis du fluide utilisée.

Il est important que le récepteur soit métallique car seuls les métaux ont de bons coefficients de conduction de la chaleur (cuivre :  $360\text{ W/m.k}$ , aluminium :  $200\text{ W/m.k}$ , acier  $60\text{ W/m.k}$ ). Plus le coefficient de conduction est faible et plus l'absorbeur doit être épais, ce qui augmente le prix et l'inertie de l'absorbeur [40].

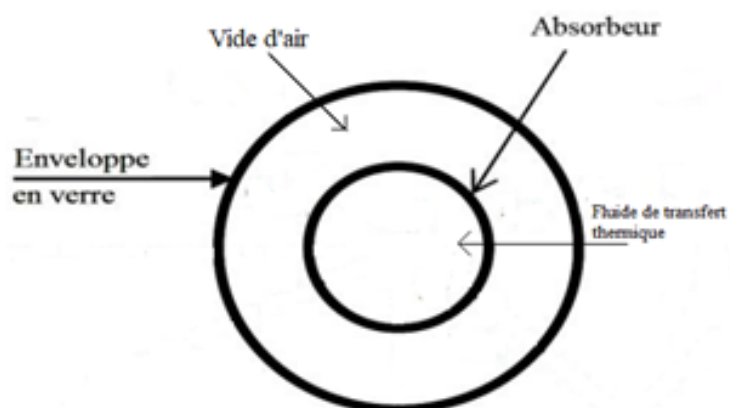


FIGURE 2.8 – Description du tube absorbeur [40].

### 2.5.3 Mécanisme de suivi du soleil

Puisque la position apparente du soleil est variable par rapport à un point de captation au cours d'une journée, nous serons donc obligés de modifier constamment la position du concentrateur afin de suivre celle du soleil [1]. C'est un système qui se déplace sur un axe de sorte que le rayonnement solaire reste verticalement sur le réflecteur. De cette manière, le rayonnement se reflète dans le foyer et se concentre sur le tube récepteur contenant le fluide [39] .

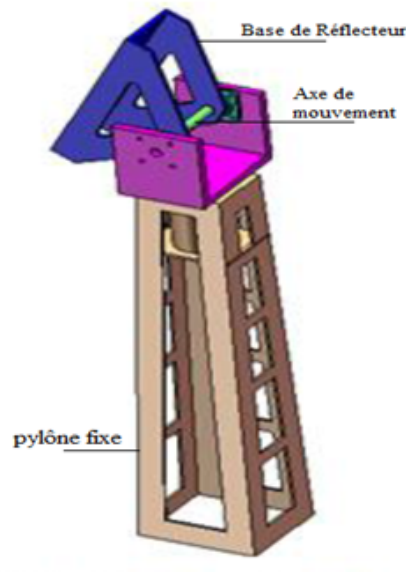


FIGURE 2.9 – Exemple de système de mouvement [1].

## 2.6 La concentration

Ce paramètre indique la quantité de concentration légère d'énergie réalisée par un capteur donné, Les deux définitions normales de la concentration solaire sont la concentration géométrique (surface) et la concentration système optique (flux).

### 2.6.1 Concentration géométrique

C'est le rapport de la surface de l'ouverture du capteur  $A_0$  à celle du récepteur  $A_t$  [7, 9].

$$C_g = \frac{A_0}{A_t} \quad (2.10)$$

## 2.6.2 Concentration optique

La concentration optique est égale au rapport de l'éclairement moyen sur la surface de l'absorbeur à l'éclairement de l'ouverture [9].

$$C_0 = \frac{I_r}{I_c} \quad (2.11)$$

$I_r$  : L'énergie reçue à l'ouverture du récepteur.

$I_c$  : L'énergie reçue à l'ouverture d'un cylindro-parabolique [8].

On remarque que l'optique peut délivrer des concentrations théoriques supérieures à 100000, ce qui est énorme. Dans la pratique on réalise des concentrateurs cylindro-parabolique dont les rapports réalisables de la concentration sont beaucoup plus petits, en tenant compte de la contribution des erreurs sur la qualité géométrique des surfaces, de l'erreur de poursuite du soleil et l'erreur de focalisation du récepteur, on peut obtenir des concentrations de l'ordre de 40000 [8, 41].

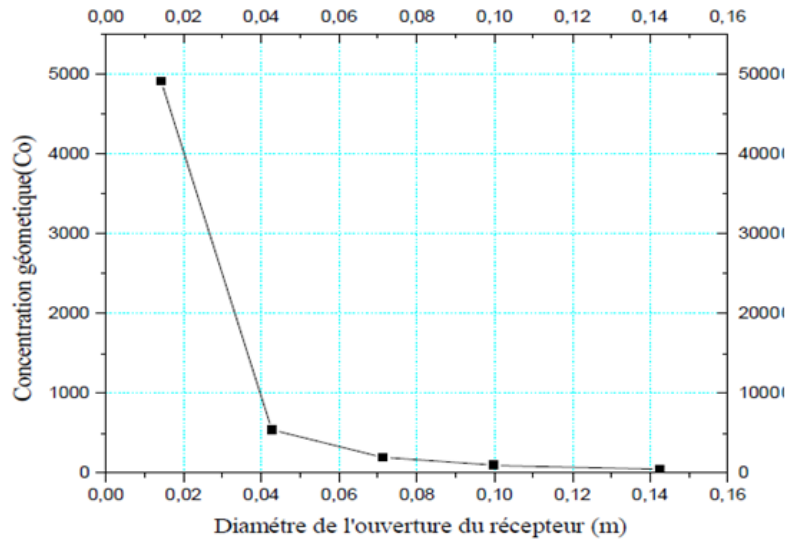


FIGURE 2.10 – Concentration géométrique à différentes valeurs du diamètre du récepteur [8, 9].

## 2.7 Température de l'ouverture du récepteur

Température de l'ouverture du récepteur Pour calculer la température de l'ouverture du récepteur, nous supposons les hypothèses Suivantes :

- Le récepteur sous forme cylindrique plein d'eau
- La température du ciel égale à la température ambiante
- La température est uniforme sur l'ouverture du récepteur

Le bilan énergétique de la surface d'ouverture du récepteur est donné par la formule Suivante [9] :

$$(M_{eau}.C_{eau} + M_r.C_r)\frac{dT}{dt} = Q_u \quad (2.12)$$

$M_{eau}$  : Masse de l'eau.

$C_{eau}$  : Chaleur massique de l'eau.

$M_r$  : Masse du récepteur.

$C_r$  : Chaleur massique du récepteur.

$Q_u$  : Puissance utile.

Où d'après [42] :

$$Q_u = Q_a - Q_p \quad (2.13)$$

$Q_a$  : Puissance solaire absorbée par le récepteur.

$Q_p$  : Puissance correspondant aux pertes thermiques.

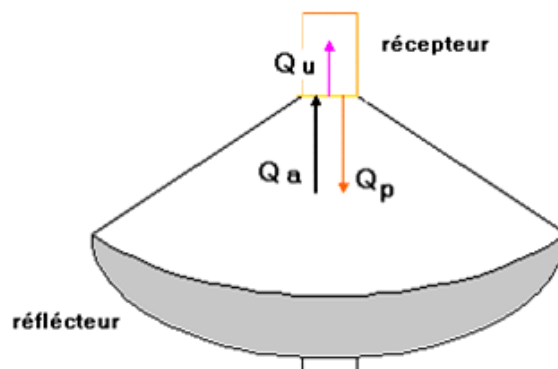


FIGURE 2.11 – Bilan énergétique [42].

### 2.7.1 L'énergie reçue au niveau d'un concentrateur

Supposons qu'un rayon solaire incident avec l'intensité  $I_b$  parallèle à l'axe de la parabole, ce rayon sera reflète au foyer  $f$ . Puisque nous voudrions calculer toute la quantité des rayons reflétés par la surface entière de la parabole, il est commode que nous considérons un secteur différentiel qui peut être intégré au-dessus de la surface entière de la parabole. La surface différentielle est définie comme [1, 9] :

$$dA_s = I ds \quad (2.14)$$

$ds$  : La longueur différentielle de l'arc de la parabole représentée sur la figure (2.12).

$I$  : La longueur d'une bande différentielle sur la surface d'une cuvette parabolique.

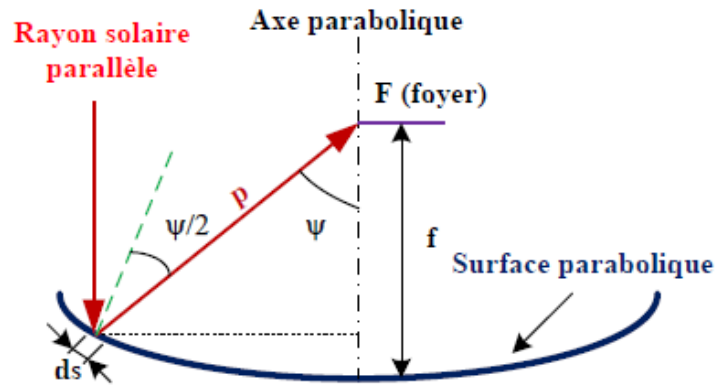


FIGURE 2.12 – Réflexion d'un rayon parallèle [1,9].

$$ds = \frac{p \sin(d\Psi)}{\cos(\cos(\Psi/2))} \quad (2.15)$$

L'angle  $d\Psi$  est petit,  $\sin d\Psi = d\Psi$  donc l'équation 2.15 réduite.

$$ds = \frac{p(d\Psi)}{\cos(\cos(\Psi/2))} \quad (2.16)$$

$$dA_s = \frac{I.p.(d\Psi)}{\cos(\cos(\Psi/2))} \quad (2.17)$$

L'énergie reçue au niveau d'un concentrateur cylindro-parabolique est [1, 9] :

$$I_a = \int \frac{8\pi I_b \cdot f^2 \cdot \sin(\sin \Psi) \cdot d\Psi}{(1 + \cos(\cos \Psi))^2} \quad (2.18)$$

### 2.7.2 Puissance solaire absorbée par l'ouverture du récepteur

L'énergie reçue à l'ouverture d'un paraboloïde, en arrivant sur l'ouverture du récepteur, est réduite à cause des pertes. La puissance absorbée est donnée par la formule suivante [9, 43] :

$$Q_a = I_b \cdot A_a \cdot \tau \alpha \rho \quad (2.19)$$

Où :  $\eta_{op} = \tau \alpha \rho$

L'équation 2.19 devient :

$$Q_a = \eta_{op} I_a \cdot A_a \quad (2.20)$$

$I_a$  : Puissance reçue à l'ouverture de collecteur parabolique.

$\eta_{op}$  : Rendement optique du concentrateur [9, 43].

$\tau$  : Coefficient de transmission du récepteur.

$\alpha$  : Coefficient d'absorption du récepteur [1, 9].

### 2.7.3 Puissance correspondant aux pertes thermiques

Le récepteur qui reçoit le rayonnement solaire concentré est le siège des échanges de chaleur avec le milieu ambiant dont une partie est considérée comme pertes de chaleur. Ces pertes sont par convection, par rayonnement et par conduction. Les pertes thermiques peuvent être données par l'expression suivante [9] :

$$Q_p = Q_{p.cv} + Q_{p.r} + Q_{p.cd} \quad (2.21)$$

$Q_p$  : Puissance correspondant à la perte thermique.

$Q_{p.cv}$  : pertes par convection.

$Q_{p.r}$  : pertes par rayonnement.

$Q_{p.cd}$  : pertes par conduction [41].



## 2.8 Rendement du concentrateur

La mesure des performances d'un capteur solaire est une étape importante et nécessaire pour la compréhension du fonctionnement du système. Ce rendement se définit comme le rapport de l'énergie thermique absorbée par le récepteur à l'énergie reçue à l'ouverture du concentrateur [9].

$$\eta = \frac{Q_u}{I_a \cdot A_a} \quad (2.22)$$

$$\eta = \frac{\eta_{op} \cdot I_a \cdot A_a - A_r K_{vr} (T_r - T_a)}{I_a \cdot A_a} \quad (2.23)$$

En fonction de la concentration géométrique [9] :

$$\eta = \eta_{op} - \frac{A_r K_{vr} (T_r - T_a)}{I_a \cdot A_a} \quad (2.24)$$

Le rendement atteint par le concentrateur dépend de l'intensité du rayonnement et de la différence de température entre l'absorbeur et l'air ambiant [9].

## 2.9 Introduction au CFD

L'analyse des phénomènes complexes tels que le transfert de chaleur, les écoulements d'eau et d'air nécessitent une bonne compréhension du système analytique des mécaniques des fluides, et les champs d'application de ces systèmes, voire les différentes étapes de traitement du code CFD afin d'obtenir les résultats qui expliquent notre phénomène en question. Le choix du logiciel de simulation dépend de nos données d'entrée (inputs) et de la nature de notre expérience et les conditions dans lesquelles elle est inscrite [44].

### 2.9.1 Définition du CFD

La dynamique des fluides computationnelle ou CFD (Computational Fluid Dynamics) est l'analyse des systèmes d'écoulement des fluides, le transfert de la chaleur et tous les phénomènes associés tels que les réactions chimiques en utilisant la simulation par ordinateur. La technique est très puissante et couvre un large

champ d'applications industrielles et non industrielles tels que : l'aérodynamique, hydrodynamique, centrale électrique, turbomachines, de l'ingénierie de processus chimique, génie maritime, génie de l'environnement, de la métrologie, de l'ingénierie biomédicale, l'hydrologie et l'océanographie voire l'environnement externe et interne des bâtiments [45].

## 2.9.2 Fonctionnement d'un code CFD

Selon Versteeg et Malalasekera, les codes CFD sont structurés, autour des algorithmes numériques qui peuvent résoudre les problèmes d'écoulement des fluides. Afin de résoudre cette complexité des algorithmes les packages commerciaux CFD proposent des interfaces utilisateur sophistiquées aux paramètres du problème d'entrée (les inputs) afin d'examiner les résultats. Ces codes comme l'illustre la figure 2.13 passent par trois étapes essentielles le prétraitement, le calcul et finalement le post-traitement et la visualisation des résultats.

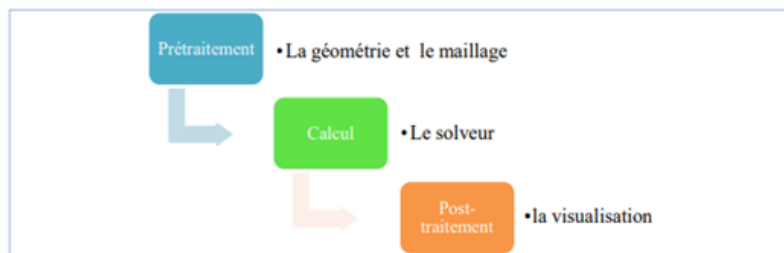


FIGURE 2.13 – Processus du fonctionnement d'un code CFD

### 2.9.2.1 Prétraitement

Le prétraitement permet de transformer les entrées (inputs) en forme appropriée pour une utilisation ultérieure par le solveur, et cela se réalise en plusieurs étapes, comme le montre le diagramme suivant :

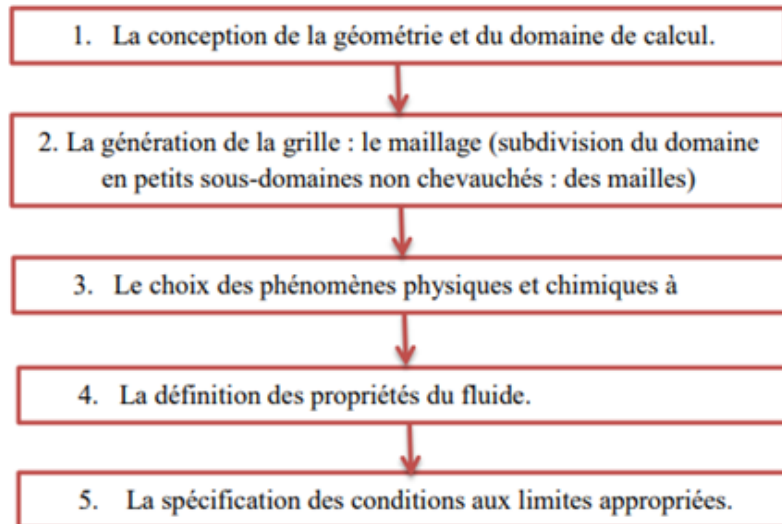


FIGURE 2.14 – Les étapes du prétraitement d'un code CFD.

### 2.9.2.2 Calcul

Le solveur utilise trois techniques numériques distinctes : les différences finies, les éléments finis et les méthodes spectrales. Généralement les méthodes numériques qui forment la base du solveur effectué les étapes suivantes :

- Approximation des variables inconnues découlement à travers des fonctions simples.
- La discrétisation par la substitution des approximations dans les équations d'écoulement avec des manipulations mathématiques
- Résolution des équations algébriques

### 2.9.2.3 Post-traitement

Le post traitement c'est l'étape de la visualisation de données en utilisant des outils et des extensions intégrées aux logiciels de simulation CFD. Ceux-ci comprennent :

- L'affichage de la géométrie de domaine et la grille de maillage
- Les tracés de vecteurs
- Les lignes et les tracés de contours ombrés
- Le trajet des particules [45].

## 2.10 Présentation du logiciel de simulation « ANSYS Fluent »

ANSYS FLUENT est un logiciel de simulation CFD qui permet de modéliser l'écoulement du fluide, le transfert de chaleur, et les réactions chimiques dans des géométries complexes. Ce programme est écrit dans le langage C de programmation et permet d'utiliser pleinement la flexibilité et la puissance offerte par cette langue. ANSYS FLUENT utilise une architecture client- serveur, ce qui lui permet d'exécuter des processus simultanés distinctes sur plusieurs postes de travail client et serveurs de calcul puissants. Cette architecture est essentielle pour une exécution efficace, un contrôle interactif, et une flexibilité totale entre les différents types de machines ou de systèmes d'exploitation.



FIGURE 2.15 – ANSYS Fluent.

## 2.11 La modélisation de notre cas d'étude (le tube absorbeur du concentrateur cylindro-parabolique)

Dans cette partie, nous allons faire une modélisation numérique via l'utilisation du logiciel ANSYS 17.1 pour faire une étude sur le tube absorbeur. Les dimensions de notre tube absorbeur :

- La longueur 6 m.
- Diamètre 0,028 m.
- Epaisseur 0,002 m.

## 2.11.1 La partie Géométrie



FIGURE 2.16 – la géométrie

## 2.11.2 La partie maillage



FIGURE 2.17 – Le maillage

### 2.11.2.1 Les surfaces nommées :

- Inlet (1)
- Outlet (2)
- Wall imposed to temperature (3)
- Wall (4)
- Fluid (5)

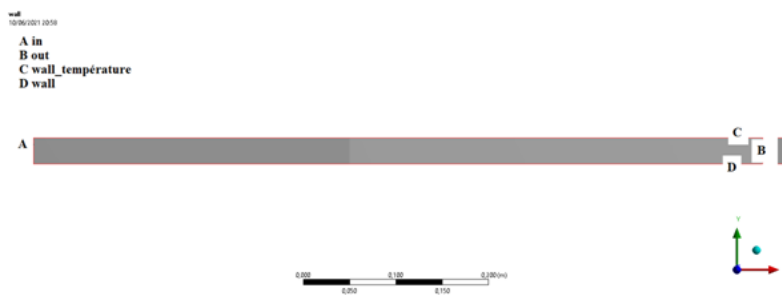


FIGURE 2.18 – le maillage (surface nommé)

### 2.11.3 Les statistiques du maillage

- Nombre d'élément : 7200
- Taille d'élément : 0,005 m
- Nombre de noeud : 8407

### 2.11.4 Équations générales de l'outil Fluent (ANSYS) (Équations gouvernantes du problème étudié)

La modélisation mathématique d'un écoulement de fluide ; est fondée sur les lois de la conservation de masse, de la quantité de mouvement et d'énergie. Dans les coordonnées 3D cartésiennes et dans un écoulement incompressible et stationnaire ; les équations de transfert de la chaleur et de la masse sont données comme suit :

**Équation de continuité :**

**Forme intégrale :**

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_v \rho dv + \int_s \rho(\vec{q} \cdot \vec{n}) ds = 0 \quad (2.25)$$

**Forme différentielle :**

$$u \frac{\partial \rho}{\partial x} + v \frac{\partial \rho}{\partial y} + \rho \left( \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = 0 \quad (2.26)$$

**Équations de quantité de mouvement :**

**Forme intégrale :**

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_v \rho dv + \int_s \rho(\vec{q} \cdot \vec{n}) ds = - \int_s P \vec{n} ds + \int_v \rho \vec{f} dv \quad (2.27)$$

### Forme différentielle :

$\vec{o}x$  :

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + f_x \quad (2.28)$$

$\vec{o}y$  :

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + f_y \quad (2.29)$$

### Équation d'énergie :

S'écrit comme suit :

$$\rho c_p \frac{DT}{Dt} = \lambda \nabla^2 T + \Phi_s \quad (2.30)$$

Donc :

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \nabla^2 T + \Phi_s \quad (2.31)$$

Avec :  $\alpha = \frac{\lambda}{\rho c_p}$

## 2.11.5 Les conditions initiales et les conditions aux limites

— Température de la parois.

$$T_p = cst = 672K$$

— Température de entrée du fluide.

$$T_e = cst = 293K$$

— Pression de l'entrée est 1 bar.

$$P_e = cst = 1bar$$

## 2.12 Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté une explication théorique du concepts de base des concentrateurs cylindro-parabolique, tels que la forme géométrique et optique, les composants de base et les propriétés en plus de l'énergie reçue et de l'énergie perdue en raison de la perte thermique, etc. Nous avons également clarifié la plupart des relations mathématiques liées à ces concepts, puis nous avons fait une modélisation Numérique de tube absorbeur avec logiciel ANSYS 17.1.

# Chapitre 3

## Résultats de la simulation du tube absorbeur

### 3.1 Introduction

Dans ce dernier chapitre, on va exposer, présenter et discuter les résultats issus de la simulation de notre problème via ANSYS 17.1 Fluent. A travers une recherche bibliographique approfondie et une modélisation de notre tube absorbeur du Concentrateur Cylindro-Parabolique, nous avons pu mettre en évidence les choix et l'étude des effets des paramètres thermo-hydrauliques, nature des matériaux de construction et les propriétés du fluide caloporteur.

Les paramètres thermo-hydrauliques se traduisent par le choix de quatre différents débits (0,001 kg/s, 0,004 kg/s, 0,008 kg/s, 0,01 kg/s) qui représentent la plage de fonctionnement de notre Concentrateur Cylindro-Parabolique dans la plupart de ces applications. Deux types de matériaux (Aluminium, Cuivre), les plus courants, choisis pour la construction des tubes de notre absorbeur. Deux fluide différents (Eau et Air).



Diamètre d'ouverture	$d = 4 \text{ m}$
La Taille	$h = 0.58 \text{ m}$
L'angle d'ouverture	$\Psi = 49.4^\circ$
La Distance focale	$f = 2.37\text{m}$
La Surface d'ouverture	$A_0 = 24.16\text{m}^2$
La Longueur	$L = 6.04 \text{ m}$

TABLE 3.1 – Configuration de concentrateur CCP

## 3.2 Description de la configuration de concentrateur CCP et le tube absorbeur

Le concentrateur solaire cylindro-parabolique étudié se compose de quatre parties :

1. Le réflecteur.
2. Le foyer.
3. Système de poursuite du soleil.
4. Assise de fixation du CCP au sol.

Le réflecteur est une structure métallique en forme de treillis supportée par trois poutres ; les deux poutres des extrémités sont identiques et une poutre différente au centre. Cette structure est composée de six sections identiques assemblées en deux parties (3 sections pour chaque partie) ; ces deux parties sont supportées par un axe de rotation. Ce dernier est supporté sur les trois poutres. Chaque section est divisée en trois groupes de miroirs formant un angle de  $163^\circ$  entre le groupe du centre et ceux des deux côtés (forme semi-hexagonale). Cette forme (semi-hexagonale) ressemble beaucoup à la forme cylindro-parabolique. Les concepts de concentration parabolique et de concentration des miroirs de Fresnel ont également été intégrés dans l'idée de la conception, qui signifie qu'au lieu de placer des miroirs paraboliques, nous les avons remplacés par de petits miroirs. Est-il possible que la forme soit une bonne alternative ?

Chaque section contient des ensembles de petits miroirs rectangulaires (d'une longueur de 1 mètre et une largeur de 0,03 mètre) disposés parallèlement au sol les

uns sur les autres, qui se caractérise par la mobilité autour de leurs axes horizontaux (plus de précision de réglage de la réflexion). Chaque section se compose de 103 miroirs divisés en trois groupes. La collection centrale contient 28 miroirs, alors que les deux autres groupes ont 39 miroirs par groupe. L'ensemble des miroirs du CCP sont au nombre de 618 miroirs.

Il convient de noter que ces miroirs, malgré les avantages de leur utilisation, mais sont difficiles à orienter en raison du nombre et du fait que chacun est séparé l'un de l'autre, se qui conduira à la recherche de moyens afin d'assurer une bonne orientation.

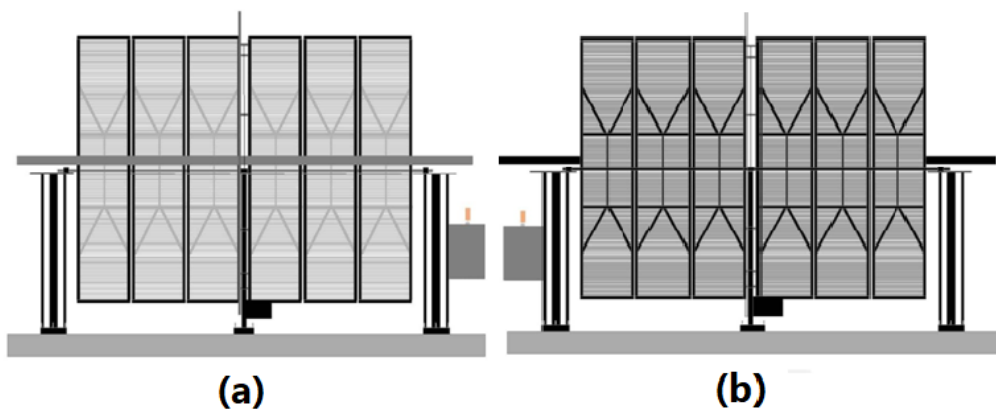


FIGURE 3.1 – (a) Interface arrière du CCP,(b) Interface arrière du CCP

Nous allons faire une étude sur le concentrateur cylindro-parabolique qui se situe à la région de Biskra. Cette étude représente la suite du travail lancé durant l'année universitaire 2018-2019 par Mr. Qussay Omar Mohammed HROUB sous la direction du Dr. Kamel AOUES. Donc le but de cette étude est de faire une modélisation numérique sur le tube absorbeur via le logiciel ANSYS 17.1, afin de déterminer les performances énergétiques du CCP.

D'après les études antérieures et les résultats expérimentaux obtenus de la part de Mr. HROUB, la température atteinte au sein du foyer et de l'ordre de  $400^{\circ}\text{C}$ , et sur la base de ces résultats qui vont être les conditions d'entrée de notre étude numérique.

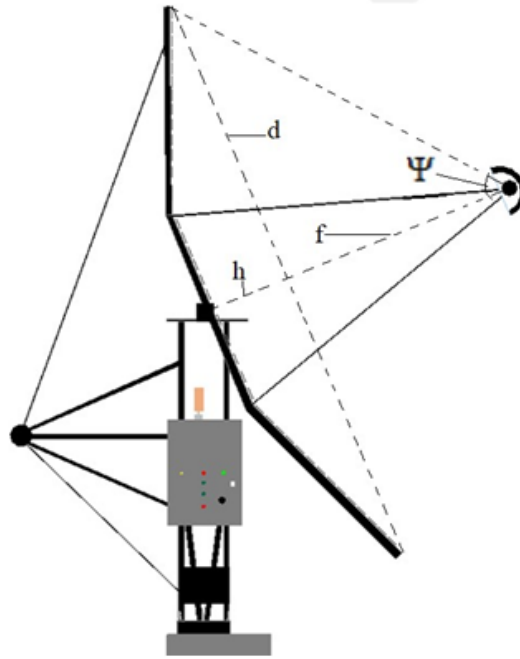


FIGURE 3.2 – Dimensions du réflecteur.

### 3.2.1 Le foyer

Le foyer représente le coeur du CCP. Son rôle est de collecter l'ensemble des rayons solaire réfléchis par la surface réflectrice. Généralement, il se constitue : 1. Un tube en cuivre peint en noir mat qui représente l'absorbeur dont le fluide caloporteur s'écoule à l'intérieur, 2. Un tube transparent au spectre lumineux qui enveloppe l'absorbeur ; afin de réduire les pertes par convection dû au vent, Figure 3.3.

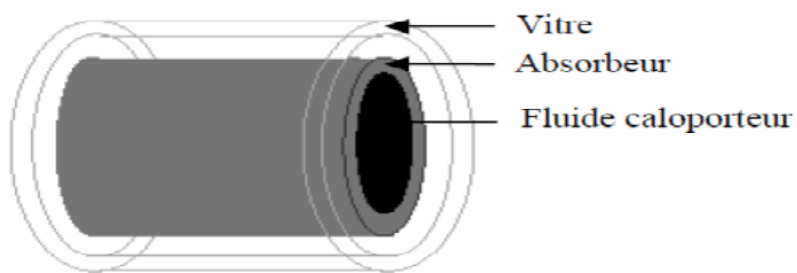


FIGURE 3.3 – Description de la configuration de foyer

### 3.2.2 Dimensions de l'absorbeur

- Un tube de longueur 6 m.
- Un diamètre de 0,028 m.

— Epaisseur de tube 0,002 m.

### 3.3 Les cas étudiés

Débits (kg/s)	Matériaux de construction de l'absorbeur	Fluide caloporteur
0,001	Cuivre	Air
		eau
	Aluminium	Air
		eau
0,004	Cuivre	Air
		eau
	Aluminium	Air
		eau
0,008	Cuivre	Air
		eau
	Aluminium	Air
		eau
0,01	Cuivre	Air
		eau
	Aluminium	Air
		eau

TABLE 3.2 – Les cas étudiés.

Matériaux	Propriétés		
	$\lambda$ (W/m.K)	$C_p$ (J/kg.K)	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )
Cuivre	387.6	381	8978
Aluminium	202.4	871	2719

TABLE 3.3 – les Propriétés des matériaux

Propriétés Fluide	$\lambda$ (W/m.K)	$C_p$ (J/kg.K)	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	$T_{saturation}$ (K)
Eau	0.6	4182	998.2	623
Air	0.0242	1006.43	1.225	

TABLE 3.4 – les Propriétés des fluides

## 3.4 Résultats et discussions

### 3.4.1 Effet du débit

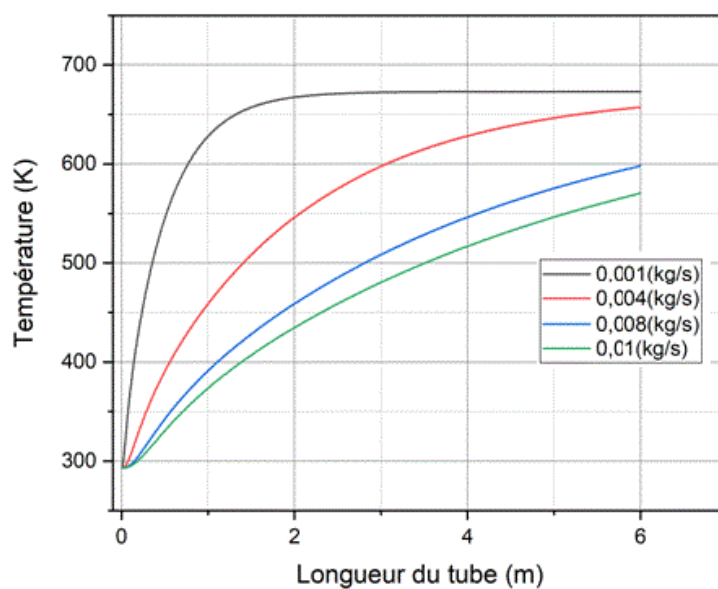


FIGURE 3.4 – La distribution de la température de l'air en fonction de la longueur de tube absorbeur en cuivre pour les débits (0,001 Kg/s, 0,004 Kg/s, 0,008 Kg/s et 0,01 Kg/s).

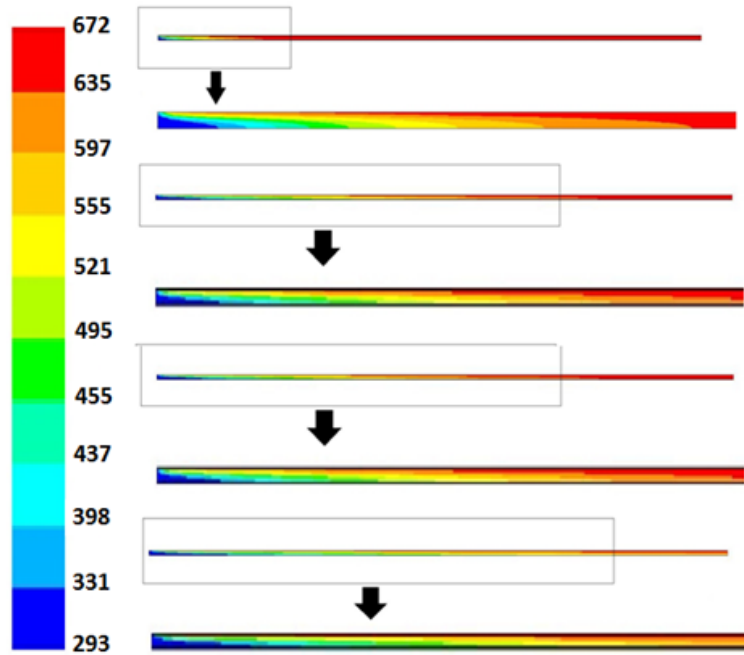


FIGURE 3.5 – Contour de la distribution de la température de l’air dans un tube de cuivre pour les quatre débits.

Les figures 3.4 et 3.5 représentent la distribution de la température de l’air en fonction de la longueur du tube absorbeur en cuivre du C.C.P. En remarque à chaque fois quand on augmente le débit la température de sortie diminue et la vitesse d’échauffement diminue, c.-à-d. le transfert de chaleur diminue.

- Pour le débit 0,001 Kg/s la température de sortie de l’air atteint 672 K à 3 m de l’entrée du fluide.
- Pour le débit 0,004 Kg/s la température de sortie de l’air atteint 655 K à 6 m de l’entrée du fluide.
- Pour le débit 0,008 Kg/s la température de sortie de l’air atteint 600 K à 6 m de l’entrée du fluide.
- Pour le débit 0,01 Kg/s la température de sortie de l’air atteint 574 K à 6 m de l’entrée du fluide.

Fluide	Matériaux	Débits (Kg/s)	Température de sortie (K)	Longueur (m)
Air	Cuivre	0,001	672	3
		0,004	655	6
		0,008	600	6
		0,01	574	6

TABLE 3.5 – La température de sortie de l’air en fonction du débit dans un tube en cuivre.

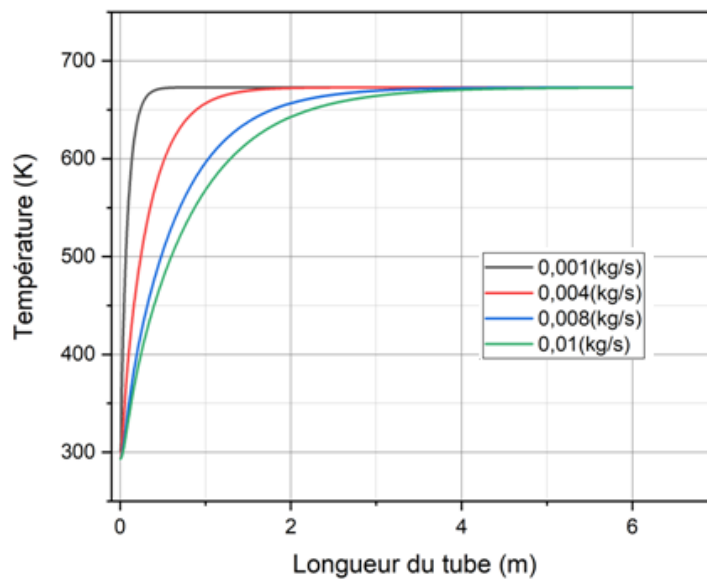


FIGURE 3.6 – La distribution de la température de l’eau en fonction de la longueur de tube absorbeur en cuivre pour les débits (0,001 Kg/s, 0,004 Kg/s, 0,008 Kg/s et 0,01 Kg/s).

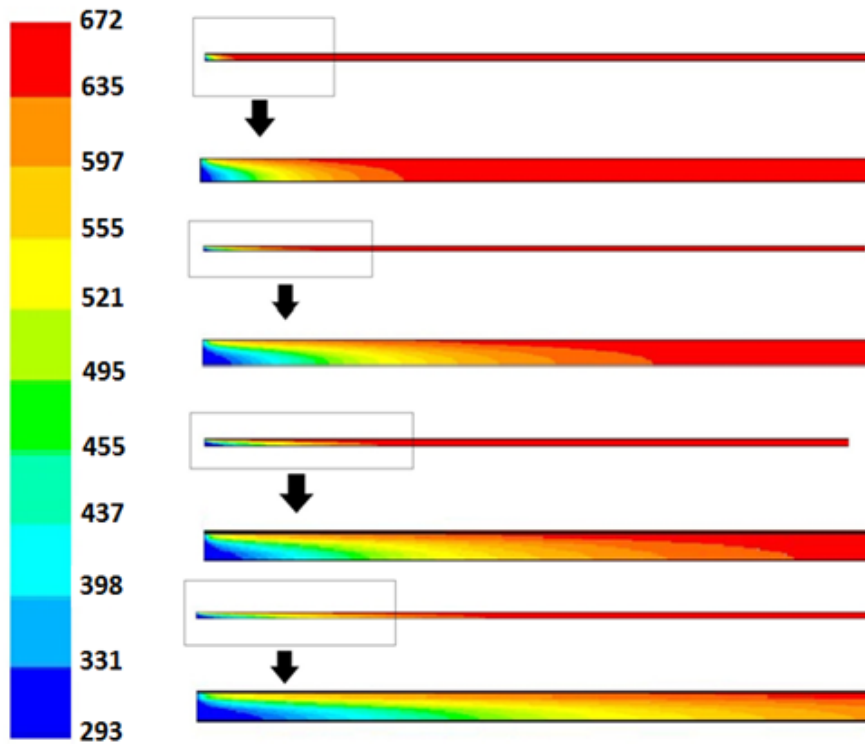


FIGURE 3.7 – Contour de la distribution de la température de l'eau dans un tube de cuivre pour les quatre débits

Les figures 3.6 et 3.7 représentent la distribution de la température de l'eau en fonction de la longueur du tube absorbeur en cuivre du CCP. En remarque à chaque fois quand on augmente le débit la température de sortie diminue et la vitesse d'échauffement diminue, c.-à-d. le transfert de chaleur diminue.

- Pour le débit 0,001 Kg/s la température de sortie de l'air atteint 672 K à 1 m de l'entrée du fluide.
- Pour le débit 0,004 Kg/s la température de sortie de l'air atteint 672 K à 2 m de l'entrée du fluide.
- Pour le débit 0,008 Kg/s la température de sortie de l'air atteint 672 K à 4 m de l'entrée du fluide.
- Pour le débit 0,01 Kg/s la température de sortie de l'air atteint 672 K à 5 m de l'entrée du fluide.



Fluide	Matériaux	Débits (Kg/s)	Température de sortie (K)	Longueur (m)
Eau	Cuivre	0,001	672	1
		0,004	672	2
		0,008	672	4
		0,01	672	5

TABLE 3.6 – La température de sortie de l’air en fonction du débit dans un tube en cuivre.

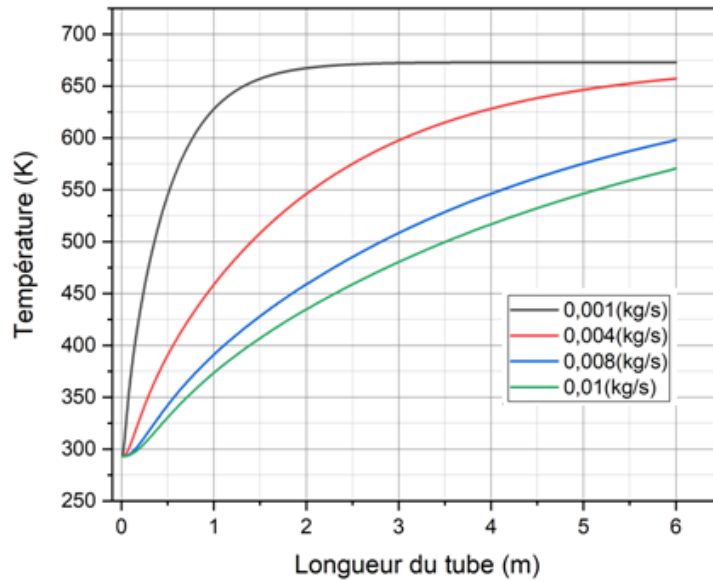


FIGURE 3.8 – La distribution de la température de l’air en fonction de la longueur de tube absorbant en aluminium pour les débits (0,001 Kg/s, 0,004 Kg/s, 0,008 Kg/s et 0,01 Kg/s).

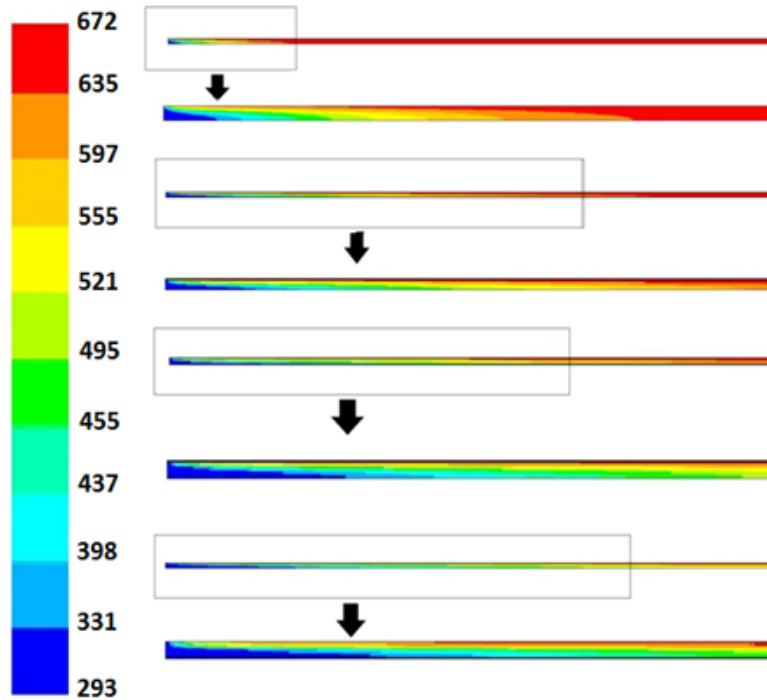


FIGURE 3.9 – Contour de la distribution de la température de l’air dans un tube d’aluminium pour les quatre débits

Les figures 3.8 et 3.9 représentent la distribution de la température de l’air en fonction de la longueur du tube absorbeur en aluminium du CCP. En remarque à chaque fois quand on augmente le débit la température de sortie diminue et la vitesse d’échauffement diminue, c.-à-d. le transfert de chaleur diminue.

- Pour le débit 0,001 Kg/s la température de sortie de l’air atteint 672 K à 3 m de l’entrée du fluide.
- Pour le débit 0,004 Kg/s la température de sortie de l’air atteint 654 K à 6 m de l’entrée du fluide.
- Pour le débit 0,008 Kg/s la température de sortie de l’air atteint 600 K à 6 m de l’entrée du fluide.
- Pour le débit 0,01 Kg/s la température de sortie de l’air atteint 571 K à 6 m de l’entrée du fluide

Fluide	Matériaux	Débits (Kg/s)	Température de sortie (K)	Longueur (m)
Air	Cuivre	0,001	672	3
		0,004	655	6
		0,008	600	6
		0,01	574	6

TABLE 3.7 – La température de sortie de l’air en fonction du débit dans un tube en cuivre.

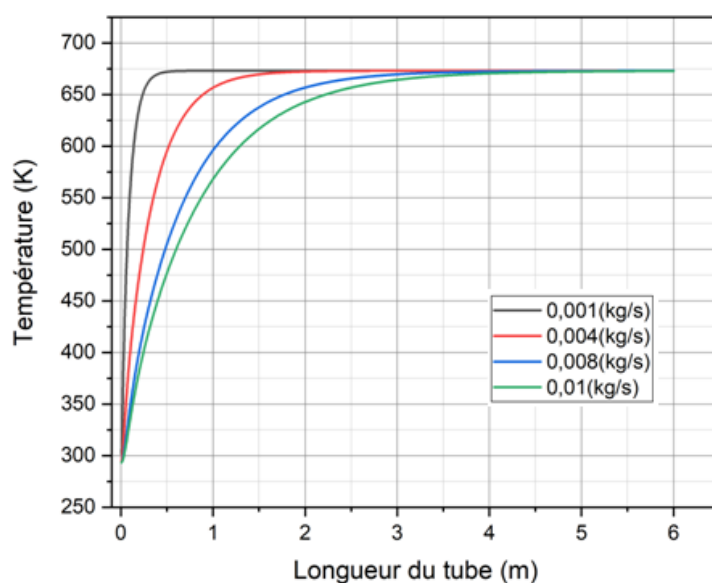


FIGURE 3.10 – La distribution de la température de l’eau en fonction de la longueur de tube absorbant en aluminium pour les débits (0,001 Kg/s, 0,004 Kg/s, 0,008 Kg/s et 0,01 Kg/s).

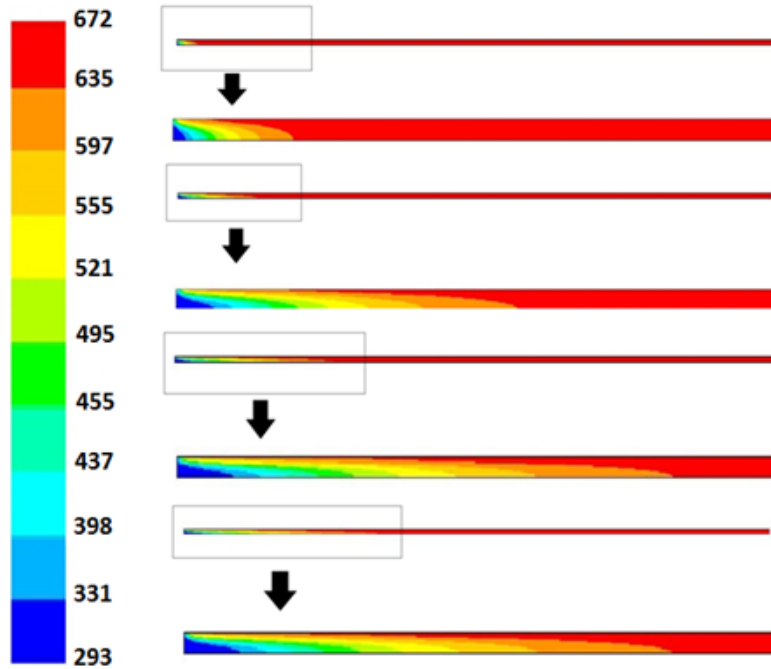


FIGURE 3.11 – Contour de la distribution de la température de l'eau dans un tube d'aluminium pour les quatre débits

Les figures 3.10 et 3.11 représentent la distribution de la température de l'eau en fonction de la longueur du tube absorbeur en aluminium du CCP. En remarque à chaque fois quand on augmente le débit la température de sortie diminue et la vitesse d'échauffement diminue, c.-à-d. le transfert de chaleur diminue.

- Pour le débit 0,001 Kg/s la température de sortie de l'eau atteint 672 K à 1 m de l'entrée du fluide.
- Pour le débit 0,004 Kg/s la température de sortie de l'eau atteint 672 K à 2 m de l'entrée du fluide.
- Pour le débit 0,008 Kg/s la température de sortie de l'eau atteint 672 K à 4 m de l'entrée du fluide.
- Pour le débit 0,01 Kg/s la température de sortie de l'eau atteint 672 K à 5 m de l'entrée du fluide.

Fluide	Matériaux	Débits (Kg/s)	Température de sortie (K)	Longueur (m)
Air	Cuivre	0,001	672	3
		0,004	655	6
		0,008	600	6
		0,01	574	6

TABLE 3.8 – La température de sortie de l’air en fonction du débit dans un tube en cuivre.

## Effet du débit

Dans cette section, nous allons voir l’un des paramètres les plus influents sur l’écoulement du fluide et celui de la chaleur. Quatre débits d’écoulement d’eau (0,001Kg/s, 0,004 Kg/s, 0,008 Kg/s et 0,01 Kg/s) sont considérés pour l’analyse de l’effet du débits. Après, l’observation des figures de 3.4 à 3.11 on remarque que l’effet du changement du débit influe directement sur le taux de transfert de chaleur.

L’augmentation du débit implique la hausse de la vitesse d’écoulement du fluide et par conséquent, une réduction du temps de séjour de l’eau à l’intérieur du tube. D’une part, cet abaissement du temps de maintien implique directement une diminution dans l’écart de température (entre celle de la sortie et de l’entrée de l’absorbeur), d’autre part, il engendre une extension dans la longueur du tube pour pouvoir atteindre la température du fluide maximal (c.-à-d. la température imposé dans la paroi de l’absorbeur). Autrement dit, le fluide n’aura pas suffisamment de temps pour échanger sa chaleur avec l’extérieur du tube absorbeur.

### 3.4.2 Effet du fluide

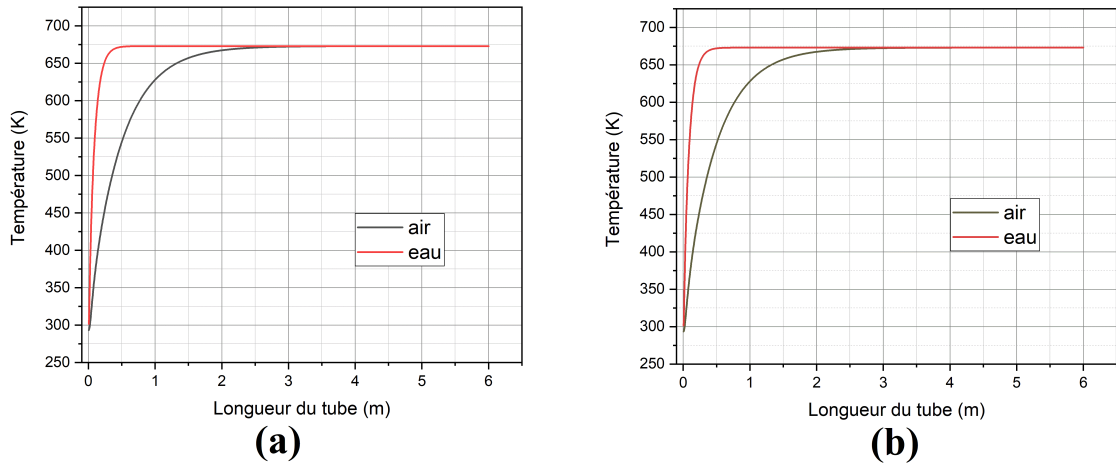


FIGURE 3.12 – La distribution de la température des fluides (air et eau) en fonction de la longueur de tube absorbeur ( (a) en aluminium et (b) en cuivre ) pour un débit (0,001 Kg/s).

Cette figure 3.12 représente la distribution de la température de l'air et l'eau en fonction de la longueur du tube absorbeur en cuivre et en aluminium pour le débit 0,001 Kg/s. En remarque à chaque fois que l'eau atteint s'échauffe avant l'air.

- Pour l'eau la température de sortie atteint 672 K a 1 m de l'entré du fluide.
- Pour l'air la température de sortie atteint 673 K a 3 m de l'entré du fluide.

Débit (Kg/s)	Matériaux	Fluide	Température de sortie (K)	Longueur (m)
0,001	Al-Cu	Eau	672	1
		Air	673	3

TABLE 3.9 – La température de sortie pour les deux fluides pour un débits 0,001 Kg/s.

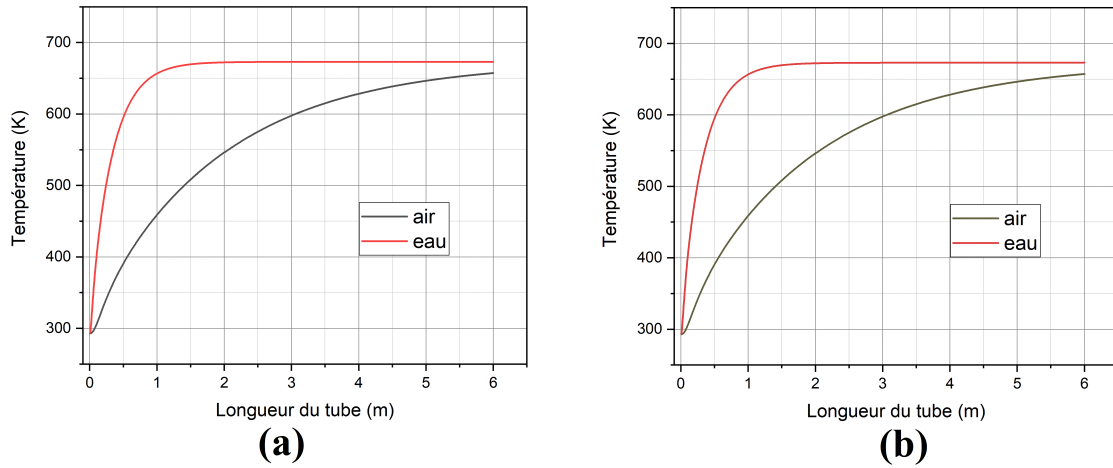


FIGURE 3.13 – La distribution de la température des fluides (air et eau) en fonction de la longueur de tube absorbeur ( (a) en aluminium et (b) en cuivre ) pour un débit (0,004 Kg/s)

Cette figure 3.13 représente la distribution de la température de l'air et l'eau en fonction de la longueur du tube absorbeur en cuivre et en aluminium pour le débit 0.004 Kg/s. En remarque à chaque fois que l'eau atteint s'échauffe avant l'air.

- Pour l'eau la température de sortie atteint 672 K a 2 m de l'entré du fluide.
- Pour l'air la température de sortie atteint 650 K a 6 m de l'entré du fluide.

Débit (Kg/s)	Matériaux	Fluide	Température de sortie (K)	Longueur (m)
0,004	Al-Cu	Eau	672	2
		Air	650	6

TABLE 3.10 – La température de sortie pour les deux fluides pour un débits 0,004 Kg/s.

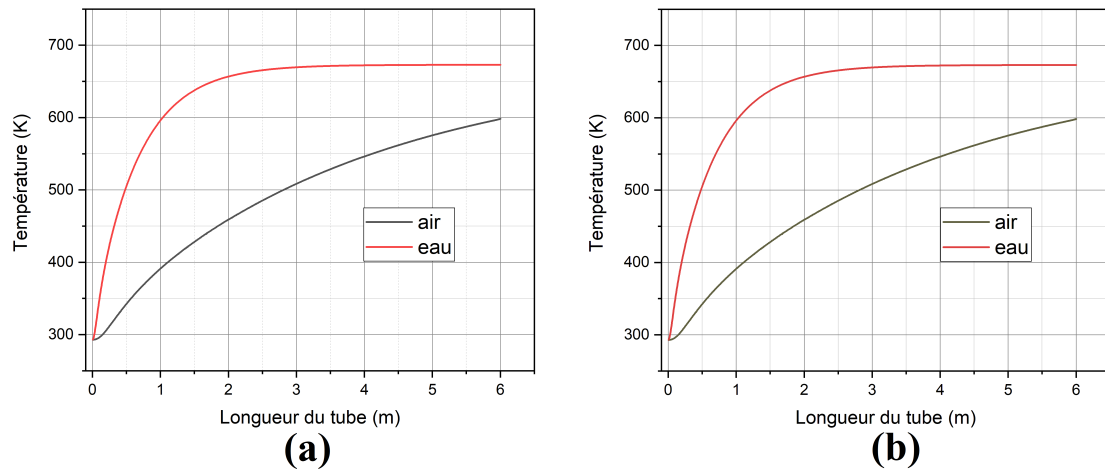


FIGURE 3.14 – La distribution de la température des fluides (air et eau) en fonction de la longueur de tube absorbeur ( (a) en aluminium et (b) en cuivre ) pour un débit (0,008 Kg/s)

Cette figure 3.14 représente la distribution de la température de l'air et l'eau en fonction de la longueur du tube absorbeur en cuivre et en aluminium pour le débit 0.008 Kg/s. En remarque à chaque fois que l'eau atteint s'échauffe avant l'air.

- Pour l'eau la température de sortie atteint 672 K a 3 m de l'entrée du fluide.
- Pour l'air la température de sortie atteint 600 K a 6 m de l'entrée du fluide.

Débit (Kg/s)	Matériaux	Fluide	Température de sortie (K)	Longueur (m)
0,008	Al-Cu	Eau	672	3
		Air	600	6

TABLE 3.11 – La température de sortie pour les deux fluides pour un débits 0,004 Kg/s.



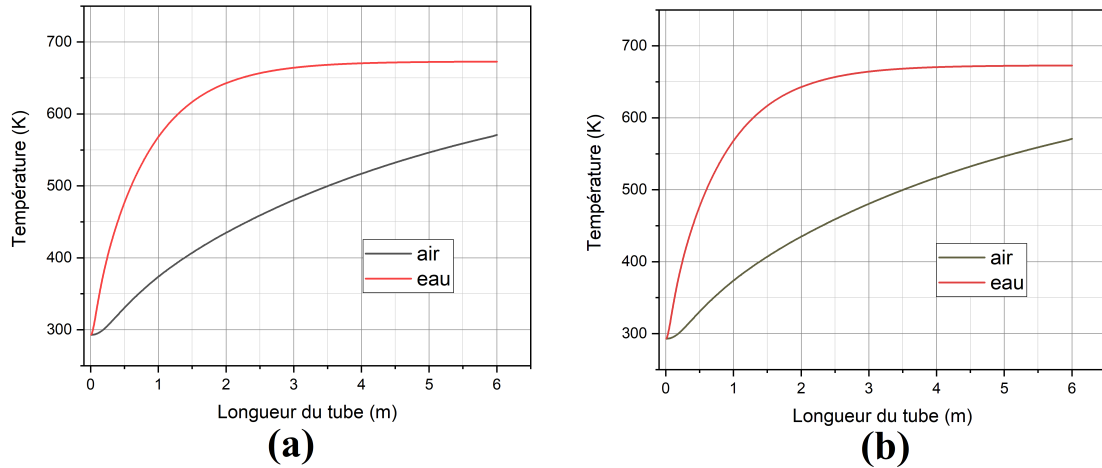


FIGURE 3.15 – La distribution de la température des fluides (air et eau) en fonction de la longueur de tube absorbeur ( (a) en aluminium et (b) en cuivre ) pour un débit (0,01Kg/s)

Cette figure 3.15 représente la distribution de la température de l'air et l'eau en fonction de la longueur du tube absorbeur en cuivre et en aluminium pour le débit 0.01 Kg/s. En remarque à chaque fois que l'eau s'échauffe avant l'air.

- Pour l'eau la température de sortie atteint 672 K a 4 m de l'entrée du fluide.
- Pour l'air la température de sortie atteint 571 K a 6 m de l'entrée du fluide.

Débit (Kg/s)	Matériaux	Fluide	Température de sortie (K)	Longueur (m)
0,01	Al-Cu	Eau	672	4
		Air	571	6

TABLE 3.12 – La température de sortie pour les deux fluides pour un débits 0,004 Kg/s.

## Effet du fluide

Dans cette section, nous allons voir l'un des paramètres les plus influents sur l'écoulement du fluide et celui de la chaleur. Après, l'observation des figures de 3.12 à 3.15 on remarque que le changement du fluide entre (eau et air) influe sur le taux de transfert de chaleur.

On remarque que l'eau atteint la température de saturation avant l'air (l'eau est

plus rapide que l'air dans l'échauffement); cette différence due à la conductivité de l'eau qu'est de l'ordre de 0,6 (W/m.K) et de l'air 0,0242 (W/m.K).

### 3.4.3 Effet de la conductivité thermique du matériau

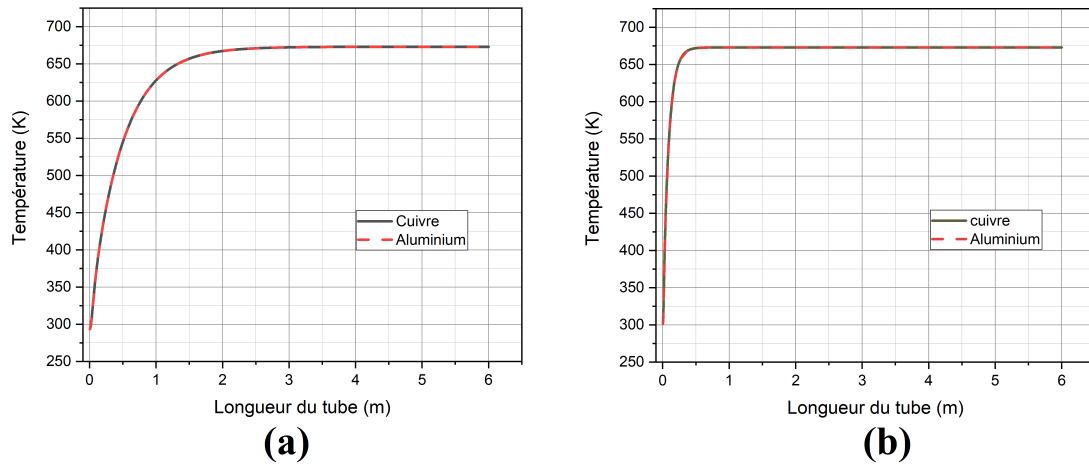


FIGURE 3.16 – La distribution de la température de ( a) l'air , (b) l'eau) en fonction de la longueur de deux tubes différentes (cuivre- aluminium) absorbeur en pour un débit (0,001 Kg/s)

Cette figure 3.16 représente la distribution de la température de l'eau et de l'air en fonction de la longueur du tube absorbeur avec un débit de 0,001 Kg/s avec deux matériaux différents cuivre et aluminium. En remarque lorsqu'en changeant de matériaux de tube la distribution reste la même pour le cuivre et l'aluminium.

- Pour la figure 3.21 température de sortie atteint 672 K a 3 m de l'entrée du fluide pour un débit de 0.001 Kg/s.
- Pour la figure 3.22 température de sortie atteint 672 K a 1 m de l'entrée du fluide pour un débit de 0.001 Kg/s.

Débit (Kg/s)	Fluide	Matériaux	Température de sortie (K)	Longueur (m)
0,001	Air	Aluminium	672	3
		Cuivre		
	Eau	Aluminium	672	1
		Cuivre		

TABLE 3.13 – La température de sortie de deux fluides (eau et air) en fonction de la longueur de deux différentes tube (cuivre et aluminium) pour un débit de 0,001 Kg/s.

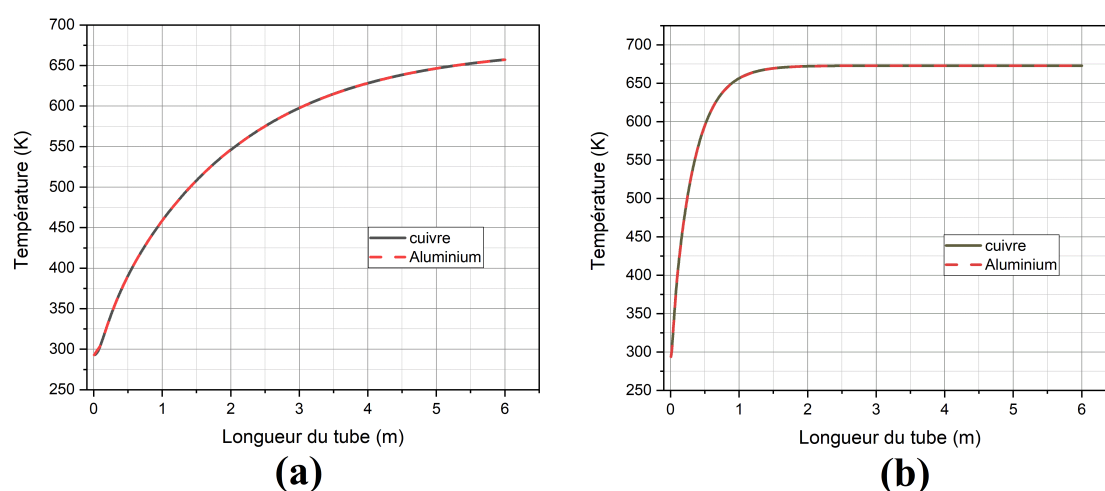


FIGURE 3.17 – La distribution de la température de( (a) l'air , (b) l'eau) en fonction de la longueur de deux tubes différentes (cuivre- aluminium) absorbeur en pour un débit (0,004 Kg/s)

Cette figure 3.17 représente la distribution de la température de l'eau et de l'air en fonction de la longueur du tube absorbeur avec un débit de 0,004 Kg/s avec deux matériaux différents cuivre et aluminium. En remarque lorsqu'en changeant de matériaux de tube la distribution reste la même pour le cuivre et l'aluminium.

- Pour la figure (a) température de sortie atteint 660 K a 6 m de l'entré du fluide pour un débit de 0.004 Kg/s.
- Pour la figure (b) température de sortie atteint 672 K a 2 m de l'entré du fluide pour un débit de 0.004 Kg/s.

Débit (Kg/s)	Fluide	Matériaux	Température de sortie (K)	Longueur (m)
0,004	Air	Aluminium	660	6
		Cuivre		
	Eau	Aluminium	672	2
		Cuivre		

TABLE 3.14 – La température de sortie de deux fluides (eau et air) en fonction de la longueur de deux différentes tube (cuivre et aluminium) pour un débit de 0,004 Kg/s.

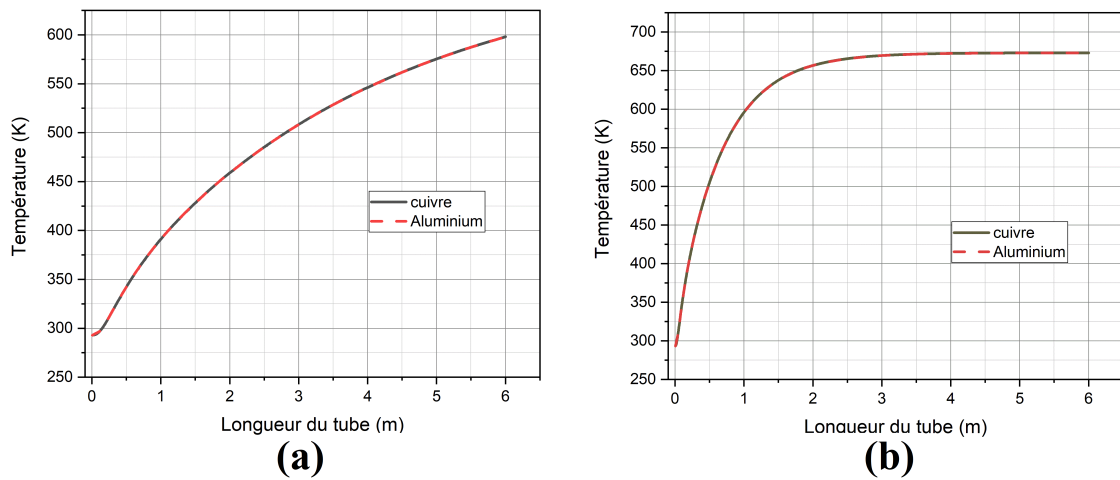


FIGURE 3.18 – La distribution de la température de( (a) l'air , (b) l'eau) en fonction de la longueur de deux tubes différentes (cuivre- aluminium) absorber en pour un débit (0,008 Kg/s)

Cette figure 3.18 représente la distribution de la température de l'eau et de l'air en fonction de la longueur du tube absorber avec un débit de 0,008 Kg/s avec deux matériaux différents cuivre et aluminium. En remarque lorsqu'en changeant de matériaux de tube la distribution reste la même pour le cuivre et l'aluminium.

- Pour la figure (a) température de sortie atteint 600 K a 6 m de l'entrée du fluide pour un débit de 0.008 Kg/s
- Pour la figure (b) température de sortie atteint 672 K a 4 m de l'entrée du fluide pour un débit de 0.008 Kg/s.

Débit (Kg/s)	Fluide	Matériaux	Température de sortie (K)	Longueur (m)
0,008	Air	Aluminium	575	6
		Cuivre		
	Eau	Aluminium	675	5
		Cuivre		

TABLE 3.15 – La température de sortie de deux fluides (eau et air) en fonction de la longueur de deux différentes tube (cuivre et aluminium) pour un débit de 0,008 Kg/s.

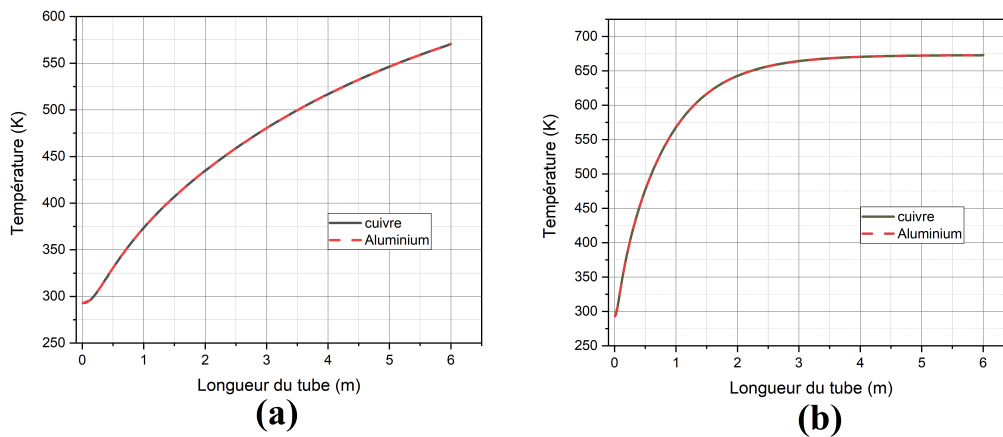


FIGURE 3.19 – La distribution de la température de( (a) l’air , (b) l’eau) en fonction de la longueur de deux tubes différentes (cuivre- aluminium) absorbeur en pour un débit (0,01 Kg/s)

Cette figure 3.19 représente la distribution de la température de l’eau et de l’air en fonction de la longueur du tube absorbeur avec un débit de 0,01 Kg/s avec deux matériaux différents cuivre et aluminium. En remarque lorsqu’en changeant de matériaux de tube la distribution reste la même pour le cuivre et l’aluminium.

- température de sortie atteint 575 K a 6 m de l’entré du fluide pour un débit de 0.01 Kg/s
- température de sortie atteint 675 K a 5 m de l’entré du fluide pour un débit de 0.01 Kg/s.

Débit (Kg/s)	Fluide	Matériaux	Température de sortie (K)	Longueur (m)
0,01	Air	Aluminium	575	6
		Cuivre		
	Eau	Aluminium	675	5
		Cuivre		

TABLE 3.16 – La température de sortie de deux fluides (eau et air) en fonction de la longueur de deux différentes tube (cuivre et aluminium) pour un débit de 0,01 Kg/s.

### Effet de la conductivité thermique du matériau

Dans cette section, nous pu déterminer l'effet de la conductivité thermique du tube sur l'évolution de la température du fluide le long du tube pour différents débits. On obtient des températures différentes à la sortie de tube de l'absorbeur pour des conductivités des tubes égale à 387,6 et 202,4 W/m.K pour le cuivre et le aluminium, respectivement.

Nous ne constatons aucun effet remarquable de la conductivité thermique du tube sur la température du fluide à la sortie du tube absorbeur sur les figures de 3.16 à 3.19. La nature des matériaux de construction des tubes utilisés n'influe pas sur la performance thermique du tube absorbeur. Par conséquent, un matériau moins coûteux et disponible sur le marché peut être utilisé pour la fabrication du tube absorbeur.

## 3.5 Comparaisons générales

Dans la partie discussions, nous avons exposé les résultats obtenus lors des calculs pour trois variantes à savoir ; les débits d'écoulement (0,001, 0,004, 0,008 et 0,01 kg/s), le matériau de construction des tubes (Cuivre et Aluminium) et la nature du fluide caloporteur (Eau et air).

A fin de déterminer la meilleure configuration de du tube absorbeur satisfaisant la relation quantité du fluide / énergie fournie en fonction des conditions de travail, nous avons établis une comparaison entre les différentes variantes étudiées :

### 1. Comparaison en fonction du débit :

Pour les faibles débits ( $\geq 0,001$  kg/s), on obtient des résultats fiables et satisfaisantes pour toutes les configurations.

Au-delà de ( $\leq 0,001$  kg/s), on obtient des résultats fiables et satisfaisantes pour toutes les configurations construites avec différents matériaux (cuivre et aluminium) mais que pour l'eau.

### 2. Comparaison en fonction de la nature du fluide :

On remarque que l'eau atteint la température de saturation avant l'air (l'eau est plus rapide que l'air dans l'échauffement) ; cette différence due à la conductivité de l'eau qui est de l'ordre de 0,6 (W/m.K) et de l'air 0,0242 (W/m.K).

### 3. Comparaison en fonction du matériau :

On ne remarquons aucun effet remarquable de la conductivité thermique du tube sur la température du fluide à la sortie du tube absorbeur.

La nature des matériaux de construction des tubes utilisés n'influe pas sur la performance thermique du tube absorbeur. Par conséquent, un matériau moins coûteux et disponible sur le marché peut être utilisé pour la fabrication du tube absorbeur.

En s'appuyant sur les points de comparaisons cité ci-dessus, la configuration en tube aluminium qui contient l'eau comme un fluide caloporteur avec un débits 0,01 Kg/s, s'avère la mieux adapté pour satisfaire le compromis (quantité du fluide / énergie fournie) destiné à la production de l'énergie.

# Conclusion générale

On a entamé une étude numérique sur le tube absorbeur du concentrateur cylindro-parabolique à base de miroir de Fresnel réalisé au niveau du hall technologique du département de Génie Mécanique. Ce qui nous a permis de connaître distribution de la température sur le long du tube absorbeur.

Dans ce travail, nous abordons le concentrateur cylindro-parabolique avec une superficie de 18,54 mètres carrés couverts de 618 petits miroirs. L'objectif de cette étude est de voir la distribution de la température sur le long du tube absorbeur par l'utilisation de plusieurs matériau (cuivre et aluminium) et deux fluides différentes (eau et air) pour différents débits (0,001 Kg/s, 0,004 Kg/s, 0,008 Kg/s et 0,01 Kg/s) pour produire la plus grande quantité d'énergie possible à exploiter.

Pour atteindre les objectifs énoncés ci-dessus, nous avons divisé ce mémoire en trois chapitres :

Le chapitre 1 contient une vue générale sur les concentrateurs cylindro-paraboliques puis nous avons évoqué les travaux antérieur dans ce thème de certains chercheur pour mieux comprendre le sujet.

Le chapitre 2 Etude théorique du Concentrateur Cylindro-Parabolique et Modélisation Numérique de tube absorbeur avec logiciel ANSYS 17.1.

Le chapitre 3 contient les principaux résultats obtenus et leurs discussions.

Nous avons pu constater que la configuration en tube aluminium qui contient l'eau comme un fluide caloporteur avec un débits 0,01 Kg/s, s'avère la mieux adapté pour satisfaire le compromis (quantité du fluide / énergie fournie) destiné à la production de l'énergie.



# Bibliographie

- [1] Abid, S. H., & Zorgani, Y. A. (2017). Concentrateur cylindro-parabolique avec un suiveur sans capteur de position.
- [2] Gama, A., Haddadi, M., & Malek, A. (2008). Etude et réalisation d'un concentrateur cylindro parabolique avec poursuite solaire aveugle. *Revue des énergies renouvelables*, 11(3), 437-451.
- [3] Tripanagnostopoulos, Y., Souliotis, M., & Nousia, T. H. (2000). Solar collectors with colored absorbers. *Solar energy*, 68(4), 343-356.
- [4] Marif, Y. (2015). Caractérisation d'un concentrateur cylindro-parabolique de dimensions réelles au sud de l'Algérie : Région d'Ouargla.
- [5] Sylvain, Q. (2007). Les centrales solaires a concentration. Faculté des sciences appliquées, Université de Liège.
- [6] Skouri, S. (2016). Contribution à l'Étude des Concentrateurs Solaires.
- [7] Adel, L. E., & Mohammed, D. D. (2017). Mise au point et analyse thermique d'un récepteur solaire linéaire équipant un concentrateur cylindro-parabolique.
- [8] Moussaoui, A., & Derbal, S. (2016). Réalisation et étude d'un concentrateur solaire cylindro-parabolique. Utilisation de matériaux récupères.
- [9] Zeghib, I. (2005). Etude et réalisation d'un concentrateur solaire parabolique.
- [10] Pierre Pardo, « Développement d'un procédé de stockage d'énergie thermique haute température par voie thermochimique », thèse doctorat en Génie des procédés et de l'Environnement, Université de Toulouse, décembre 2013
- [11] M. Souliotis, S. Kalogirou, Y. Tripanagnostopoulos, Modelling of an ICS solar water heater using artificial neural networks and TRNSYS, *Renewable Energy* 34 (2009) 1333 - 1339.

- [12] Martinez. I, Almanza. R, 2007. Experimental and theoretical analysis of annular two-phase flow regimen in direct steam generation for a low-power system. *Solar Energy* 81, 16'226
- [13] H. P. Garg, *Advances in solar energy technologie*, Kluwer academic publishers, 1987.
- [14] Jodice, R. & Tomasinsig, E., *Energia dalle biomasse : la technologie, vantaggiper*
- [15] Harats Y. and Kearney D. (1989) 'Advances in Parabolic-Trough Technology at the SEGS Plants'. *Proceedings of the 1989 ASME International Solar Energy Conference, San Diego, April*, 471'476.
- [16] A.C. Razel et al. 'Techniques for Reducing Thermal Conduction and Natural Convection Heat Losses in Annular Receiver Geometries', *Vol 101*, pp.108-113, 1979.
- [17] S.D. Odeh et al.'Modelling of parabolic through direct steam generation solar collectors', *Solar Energy. Vol. 62*, pp. 395'406, 1998
- [18] K. Ravi Kumar et al.'Thermal analysis of solar parabolic trough with porous disc receiver'. *Applied Energy* 86 (2009) 1804'1812.
- [19] A. Fernandez Garcia et al.'Parabolic trough solar collectors and their applications', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, No. 14, pp.1695'1721, 2010
- [20] Z.D. Cheng et al.'Three-dimensional numerical study of heat transfer characteristics in the receiver tube of parabolic trough solar collector ',*International commination in heat and mass transfer* ,No. 37,pp,782-787, 2010
- [21] R.V. Padilla et al. 'Heat transfer analysis of parabolic trough solar receiver', *Applied Energy*, No. 88, pp, 5097-5110, 2011
- [22] Dudley et al (1994). ' Test results : SEGS LS-2 solar collector. Sandia National Laboratories, Albuquerque'.
- [23] Z.D.Cheng et al. 'Three-dimensional numerical study of heat transfer characteristics in the receiver tube of parabolic trough solar collector'. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 37 (2010) 782'787.

- [24] G. Gong et al. 'An optimized model and test of the China's 'rst high temperature parabolic trough solar receiver', *Solar Energy*, No. 84, pp, 2230-2245, 2010
- [25] Y.L. He et al. 'A MCRT and FVM coupled simulation method for energy conversion process in parabolic trough solar collector', *Renewable Energy*, No. 36, pp, 976-985, 2011
- [26] Z.D. Cheng et al. 'Numerical simulation of a parabolic trough solar collector with no uniform solar 'ux conditions by coupling FVM and MCRT method ', *Solar Energy*, No. 88, pp, 1771-1784, 2012
- [27] Q. Liu et al. 'Modeling and optimizing parabolic trough solar collector systems using the least squares support vector machine method ', *solar Energy*, No. 86, pp, 1973-1980, 2012
- [28] A. Kalogirou. 'A detailed thermal model of a parabolic trough collector receiver', *Energy*, No. 48, pp, 298-306, 2012
- [29] Z. Wu et al. 'Three-dimensional numerical study of heat transfer characteristics of parabolic trough receiver', *Applied Energy*, No. 113, pp, 902-911, 2014
- [30] A.A. Hachicha et al. 'Heat transfer analysis and numerical simulation of a parabolic trough solar collector', *Applied Energy*, No. 111, pp, 581-592, 2013.
- [31] O. Malika et al. 'Estimation of the temperature, heat gain and heat loss by solar parabolic trough collector under Algerian climate using different thermal oils', *Energy Conversion and Management*, No. 75, pp, 191-201, 2013
- [32] J. Lu et al. 'No uniform heat transfer model and performance of parabolic trough Solar receiver', *Energy*, No. 59, pp, 666-676, 2013
- [33] Zhiyong Wua et al. 'Structural reliability analysis of parabolic trough receivers'. *Applied Energy* 123 (2014) 232'241
- [34] WANG Kun et al. 'A design method and numerical study for a new type parabolic trough solar collector with uniform solar flux distribution'. *SCIENCE CHINA Technological Sciences*. March 2014 Vol.57 No.3 : 531'540.
- [35] Seyed Ebrahim Ghasemi et al. ' Numerical Study on Thermal Performance of Solar Parabolic Trough Collector'. *Journal of mathematics and computer Science* 7 (2013)

- [36] E. Kaloudis et al. 'Numerical simulations of a parabolic trough solar collector with nanofluid using a two-phase model'. *Renewable Energy* 97 (2016) 218e229
- [37] Optical Analysis of a New Solar Distiller with Cylindrical Surface Concentrator and Vertical Gap Evaporator. Publié par solarlits.com. Ceci est un article en libre accès sous la licence CC BY ( <https://solarlits.com/jd/8-100f12>)
- [38] Stine, W. B., & Geyer, M. (2001). *Power from the Sun*. Power from the sun.net.
- [39] Benidir A. (2013). Calcul énergétique de l'installation hybride thermique pour la production d'électricité.
- [40] Rachidiou, L., Hamroun, A., & Mebarki, Y. (2017). «Etude et réalisation d'un concentrateur parabolique avec une poursuite automatique (Doctoral dissertation, Université de bejaia).
- [41] Steinfeld, A., & Palumbo, R. (2001). Solar thermochemical process technology. *Encyclopedia of physical science and technology*, 15(1), 237-56.
- [42] Jørgensen, O. C. (1982). Collector heat capacity effect on solar system performance. *Solar Energy*, 29, 175-176.
- [43] Bonnet, S, Alaphilippe, M, & Stouffs, P. (2003). Conversion thermodynamique de l'énergie solaire dans des installations de faible ou de Moyenne Puissance : réflexions sur le Choix du Meilleur Degré de concentration. *Rev. Energ. Ren.* : presented at, 11, 73-80.
- [44] Khabbaz, M. (2016). Contribution à l'étude d'un échangeur de chaleur air sol (puits canadien) pour le rafraîchissement de l'air sous le climat chaud et semi-aride de Marrakech (Doctoral dissertation, Université de La Rochelle).
- [45] Ben Ameer, O. K. B. A. (2016). ETUDE DE L'IMPACT DU RAFRAICHISSEMENT DES FONTAINES D'EAU DANS LES MAISONS A PATIO, CAS DES ZONES SAHARIENNES (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider Biskra).