



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE de TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT de GENIE MECANIQUE

Présenté par: ALI GHEZZAOUI, SOKHALE MOHAMED MAHDI

Thème

**Analyse des performances d'un concentrateur
solaire cylindro-parabolique en ajoutant des
nanoparticules au fluide de base**

Devant le jury composé de :

Encadreur : BOUALI Belkacem

Président : Belahcen Lahcen

Examineur : MECHIKEL Mohamed

Année Universitaire : 2023/2024

DÉDICACE

Je dédie cette œuvre à celui qui m'a quitté et laissé un vide indescriptible dans mon cœur, et dont le souvenir ne me quittera jamais, mon cher père, que « ALLAH » ait pitié de lui.

À ma mère qui a tant sacrifié pour me voir ici aujourd'hui en tant que diplômé

À mes frères et sœurs qui ont été mon meilleur soutien, qui se sont réjouis de ma réussite et ont pleuré mon échec.

À mes frères d'esprit.

Je dis aujourd'hui que j'approche de la fin d'un chemin et du début d'un autre, et que tout mon espoir est de rester car ma lumière est obscurité.

ملخص

الهدف الرئيسي لهذا العمل هو تحليل اداء مركز اسطوانى مكافئ باضافة الجزيئات النانوية الى السائل الاساسى. تم اعتماد مركز اسطوانى مكافئ بعاكس ثانوي والماء كسائل اساسى, اعتمدنا برنامج pv syst لتوفير قيم التدفق الشمسى الحرارى في منطقة الاغواط ليوم 2023/06/21 (الجزائر), ثم تطبيقها في برنامج sol trace بناء على طريقة تتبع مونت كارلو لتحديد توزيع التدفق الحرارى على انبوب الامتصاص, تم حل المعادلات الموافقة لنقل الحرارة وتدفق السوائل في انبوب الامتصاص باستخدام برنامج ANSYS-FLUENT ثم مقارنة النتائج لاربع حالات حالة باستخدام الماء فقط و3 حالات باضافة 3 تركيزات مختلفة من الجزيئات النانوية الى الماء, بالاعتماد على جزيئات النحاس. Cu في هذه الدراسة

تبين ان كمية الحرارة الممتصة من طرف السائل تكون اكبر فالمائع النانوي منها فالماء فقط, وتزداد بازداد تركيز الجزيئات النانوية.

Résumé

L'objectif principal de ce travail est d'analyser la performance d'un centre cylindrique équivalent en ajoutant des nanoparticules au liquide de base. Un centre cylindrique secondaire réfléchissant et équivalent en eau a été adopté comme liquide de base, nous avons adopté le pv syst pour fournir des valeurs de flux solaire thermique dans la région de Laghouat pour le 21/06/2023 (Algérie), puis appliqué en sol trace sur la base de la méthode de suivi Monte Carlo pour déterminer la distribution du flux thermique sur le tube d'absorption, Les équations approuvées pour le transfert de chaleur et le flux de fluide dans le tube d'absorption ont été résolues en utilisant ANSYS-Ensuite, comparez les résultats à quatre cas utilisant uniquement de l'eau et à trois cas en ajoutant 3 concentrations différentes de nanoparticules à l'eau, en s'appuyant sur des molécules de cuivre cu dans cette étude.

Il s'avère que la quantité de chaleur absorbée par l'extrémité du nano fluide est plus grande que et seule l'eau, augmente à mesure que la concentration de nan molécules augmente.

Abstract

The main objective of this work is to analyze the performance of an equivalent cylindrical center by adding nanoparticles to the base liquid. A secondary reflective and water equivalent cylindrical center was adopted as a basic liquid, we adopted the pv syst program to provide thermal solar flow values in the Laghouat region for 21/06/2023 (Algeria), then applied in sol trace based on the Monte Carlo tracking method to determine the distribution of thermal flow on the absorption tube, The approved equations for heat transfer and fluid flow in the absorption tube have been resolved using ANSYS-FLUENT software, Then compare the results to four cases using water only and three cases by adding 3 different concentrations of nanoparticles to water, relying on cu copper molecules in this study.

The amount of heat absorbed by nanoscale liquid is found to be greater than only absorbed by water, and increases as the concentration of nanoparticles increases.

Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Nomenclature

Résumé

Introduction générale.....1

CHAPITRE 1: généralités sur les concentrateur cylindro-paraboliques (PTC) et nanofluids

1-1- Introduction.....5

1-2- DEVELOPPEMENT DES SYSTEMES SOLAIRES A COCENTRATION

(BREF HISTORIQUE)5

1-3- Les concentrateurs solaires9

1-3-1 - Le concentrateur parabolique.....10

 1-3-2-La tour solaire.....12

 1-3-3-Les miroirs de Fresnel.....13

 1-3-4- Le concentrateur cylindro-parabolique.....13

 1-3-4-1-Description du concentrateur.....15

 1-3-4-2- Le réflecteur cylindro-parabolique.....16

 1-3-4-3- Le tube absorbeur17

 1-3-4-4- Le système de poursuite solaire18

 1-3-4-5-Les fluides caloporteurs et thermodynamiques.....19

 1-3-4-6- L'exploitation de la technologie des CCP en Algérie.....22

1-4- La distillation solaire23

1-5- La climatisation solaire25

1-6- nanofluids.....27

 1-6-1- Préparation of Nanofluids.....28

 1-6-1-1- Stabilité des nanofluides.....30

 1-6-1-1-1 analyse du potentiel zêta.....30

1-6-1-1-2Analyse de l'absorbance spectrale.....	30
1-6-1-2-Les façons d'améliorer la stabilité des nanofluides.....	30
1-6-1-2-1- Tensioactifs utilisés dans les nanofluides.....	30
1-6-1-2-2- Mécanismes de stabilité des nanofluides.....	31
1-6-2- Caractérisation des nanofluides.....	31
1-6-2-1- Propriétés physiques.....	32
1-6-2-1-1- Density.....	32
1-6-2-1-2- Viscosity μ	32
1-6-3- Propriétés thermiques.....	32
1-6-3-1- Capacité calorifique spécifique C_p	32
1-6-3-2- Conductivité thermique (k)	33
1-6-4- caractéristiques de transfert thermique	33
1-6-4-1- Coefficient de transfert de chaleur et nombre de Nusselt.....	33
1-7- Conclusion	34
<u>CHAPITRE 2: modélisation optiques et numériques</u>	
2-1-INTRODUCTION	37
2-2- Estimation du rayonnement solaire et température ambiante	38
2-2-1- Introduction.....	38
2-2-2- Rayonnement solaire avec le logiciel PVSYST	39
2-2-2-1- Logiciel PVsyst	39
2-2-2-2- Données météorologiques	40
2-3- Développement d'un modèle mathématique du CCP	41
2-3-1- La surface du miroir et la surface d'ouverture	41
2-3-2- La concentration	42
2-3-3- Les paramètres géométriques	43
2-3-4- Les L'angle d'ouverture (ψ)	44
2-3-5- Tube absorbeur	45
2-4- Le bilan thermique	45
2-4-1- Entre l'absorbeur et l'enveloppe en verre	49
2-4-2- Entre l'enveloppe du verre et l'environnement	49

2-5- Conclusion	49
-----------------------	----

CHAPITRE 3 : étude analytique et numérique

3-1- Introduction.....	51
3-2- Collecteur à cylindro-parabolique contrôlé avec réflecteur secondaire.....	51
3-2-1- Matériels et méthodes	51
3-2-2- Représentation schématique.....	52
3-3- Etude Optique	53
3-3-1- Présentation de Logiciel SolTrace	53
3-3-2- La méthode de Monte Carlo (MMC)	55
3-3-3- Tracé laser.....	55
3-4- Méthode des volumes finis	56
3-5- ANSYS CFD	57
3-5-1- Création de la géométrie	57
3-5-2- Création du maillage	58
3-6- Conditions aux limites	60
3-7- Les équations gouvernantes	61
3-8- Présentation du logiciel ANSYS Fluent.....	62
3-8-1- Créer un système d'analyse fluide Flow 3D.....	62
3-9- Conclusion.....	66

CHAPITRE 4 : Résultats et discussions

4-1- Introduction.....	68
4-2- Organigramme de l'étude.....	68
4-3- Radiations solaires.....	68
4-4- Analyse optique.....	69
4-5- Analyse CFD.....	71
4-5-1- Propriétés du nanofluide étudié.....	72
4-5-2- Flux de chaleur concentré sur le tube absorbeur.....	73
4-6- Résultats.....	74
4-6-1- Température du fluide caloporteur à la sortie du tube absorbeur.....	74
4-6-2- Gain d'énergie (Energie utile).....	76

4-6-3- Efficacité du système.....	77
4-7- Conclusion.....	78
Conclusion Générale.....	80

Liste des Figures

Introduction générale

Figure.1. Utilisation directe de l'énergie solaire

CHAPITRE 1

Généralités sur les concentrateur cylindro-paraboliques (PTC) et nanofluids

Figure 1.1. Illustration de la légende de la destruction de la flotte romaine à Syracuse par Archimède.

Figure 1.2. Le four solaire de Lavoisier

Figure 1.3. L'imprimerie Solaire d'Augustin Mouchet au jardin des Tuileries en 1880

Figure 1.4. Vue montrant une partie de la centrale SEGS en Californie

Figure1.5. Bloc de puissance d'une centrale SEGS

Figure.1.6. Schéma d'un concentrateur solaire parabolique

Figure.1.7. Schéma d'une centrale à tour

Figure.1.8. Schéma d'un concentrateur solaire de Fresnel

Figure.1.9. Schéma simplifié de la centrale INDITEP

Figure.1.10. Schéma d'un concentrateur cylindro-parabolique

Figure 1.11. Réflexion des rayons solaires sur le tube absorbeur

Figure.1.12. Dimensionnement du réflecteur

Figure 1.13. Structure de l'absorbeur

Figure.1.14. Les modes de poursuite solaire d'un CCP

Figure 1.15. Centrales solaires de type cylindro-parabolique. (À gauche) avec l'huile synthétique, (À droite) avec le sel fondu

Figure.1.16. La centrale électrique hybride de Hassi Rmel

Figure.1.17. Distillateur solaire à effet de serre

Figure.1.18. Schéma représentatif des dispositifs expérimentaux de Sodha

Figure.1.19. Distillateur à étages multiples

Figure.1.20. Schéma simplifié d'une installation du froid solaire

Figure.1.21. Structure d'une machine frigorifique à absorption H₂O/LiBr

CHAPITRE 2

Modélisations optiques et numériques

Figure 2.1. Méthodologie d'une simulation

Figure 2.2. Carte de l'Algérie

Figure 2.3. Etapes du fichier de données météorologiques dans PVsyst.

Figure 2.4. Surface d'ouverture du collecteur et Surface d'ouverture du récepteur

Figure 2.5. Les paramètres géométriques d'un cylindro parabolique.

Figure 2.6. Chemin des rayons parallèles dans un miroir parabolique

Figure 2.7. Relation entre l'angle d'ouverture et la valeur a/f .

Figure 2.8. Relation entre la focale et l'angle d'ouverture pour une ouverture constante

Figure 2.9. Les flux de chaleur échangés dans le CCP

Figure 2.10. Bilan thermique d'un élément de surface du concentrateur cylindro parabolique.

Figure 2.11. Parcours d'un rayon lors de transmissions et de réflexions successives

CHAPITRE 3

ÉTUDE ANALYTIQUE ET NUMÉRIQUE

Figure 3.1. Module CCP avec réflecteur secondaire

Figure 3.2. Schéma d'un tube absorbeur

Figure 3.3. Schéma d'un CCP avec réflecteur secondaire

Figure 3.4. Interface de Sol trace

Figure 3.5. Distribution moyenne du flux thermique au niveau de l'absorbeur avec $IND=1000 [W/m^2]$ en 3D

Figure 3.6. Rayons incidents sur l'absorbeur sur l'absorbeur pour avec réflecteur secondaire

Figure 3.7. Géométries réalisées par le logiciel ANSYS Design Modeler

Figure 3.8. Génération des blocs

Figure 3.9. Géométrie et maillages réalisés par le logiciel ANSYS-Fluent

Figure 3.10. Géométrie et maillages réalisés par le logiciel ANSYS Meshing

Figure 3.11. Interface Design Modeler (workbench)

Figure 3.12. Interface ANSYS Meshing

Figure 3.13. Interface ANSYS Fluent

Figure 3.14. Interface Fluent exécution

Figure 3.15. Interface graphique du module CFX Post.

CHAPITRE4

Résultats et discussions

Figure 4.1. Plan de l'étude

Figure 4.2. Flux solaire en fonction du temps.

Figure 4.3. Rayonnement incident sur le tub absorbeur.

Figure 4.4. Distribution du flux de chaleur dans le tube absorbeur.

Figure 4.5. Illustration des conditions aux limites.

Figure 4.6. Format du fichier texte à introduire dans le solveur Fluent.

Figure 4.7. Commandes pour implémenter un tableau transitoire dans le solveur Fluent.

Figure 4.8. Distribution de la température sur la surface latérale du tube absorbeur.

Figure 4.9. Distribution de la température dans la section de sortie du tube absorbeur à différents instants.

Figure 4.10. Variations de la température du nanofluide à la sortie du tube absorbeur en fonction du temps pour différentes valeurs de la fraction volumique des nanoparticules.

Figure 4.11. Variations de l'énergie thermique utile en fonction du temps pour différentes valeurs de la fraction volumique des nanoparticules.

Figure 4.12. Variations de l'efficacité du système en fonction du temps pour différentes valeurs de la fraction volumique des nanoparticules.

Liste des tableaux

CHAPITRE 1

Généralités sur les concentrateur cylindro-paraboliques (PTC) et nanofluids

Tableau 1.1. Caractéristiques des neuf centrales thermiques solaires SEGS

Tableau 1.2. Caractéristiques des collecteurs solaires

Tableau 1.3. Caractéristiques des centrales solaires à concentration

Tableau 1.4. Les différents fluides de transfert ou de stockage envisageables, leurs avantages (en vert) et leurs inconvénients (en rouge)

Tableau 1.5. Les nouveaux projets CSP en Algérie

CHAPITRE 2

Modélisations optiques et numériques

Tableau 2.1. Situation géographique de Laghouat (ALGERIE)

Tableau 2.2. Données météo horaires des valeurs de densité de flux solaire pour une journée 21 juin 2023

CHAPITRE 3

Étude analytique et numérique

Tableau 3.1. Les paramètres géométriques du collecteur

Tableau 3.2. Etapes nécessaires pour une simulation dans ANSYS (Workbench)

Tableau 3.3. Mise en données en Fluent

CHAPITRE 4

Résultats et discussions

Tableau 4.1. Propriétés thermo-physiques de l'eau et du cuivre.

Tableau 4.2. Propriétés thermo-physiques du nano fluide Eau-cuivre $\phi=1\%$.

Tableau 4.3. Propriétés thermo-physiques du nano fluide Eau-cuivre $\phi =1.5 \%$.

Tableau 4.4. Propriétés thermo-physiques du nano fluide Eau-cuivre $\phi =2 \%$.

Tableau 4.5. Efficacité moyenne du système pour différentes fraction volumiques des nanoparticules.

Introduction général

Introduction générale

L'énergie solaire est à l'origine du cycle de l'eau et du cycle des saisons. A l'exception de l'énergie nucléaire, de la géothermie et de l'énergie marémotrice (mouvement de l'eau créé par les marées), cette énergie est à l'origine de toutes les énergies sur terre et de richesses énergétiques telles que le charbon, le pétrole et le gaz. L'énergie solaire est utilisée depuis de nombreux siècles, de façon plus ou moins indirecte pour plusieurs utilisations. L'augmentation brutale du prix du pétrole en 1973, conduit l'homme à s'intéresser à des sources d'énergie renouvelable au premier rang desquelles l'énergie solaire. Les principales caractéristiques de l'énergie solaire ayant suscité l'intérêt qu'on lui a porté à l'époque étaient sa gratuité, sa disponibilité sur une grande partie du globe terrestre et l'absence de risque d'épuisement connu par les sources d'énergie fossile (**charbon, gaz, pétrole**).

D'autre part, le réchauffement climatique causé par l'émission des gaz à effet de serre et les effets polluants associés (principalement causés par la combustion des énergies d'origine fossiles), en plus la croissance de la consommation d'énergie sous toutes ses formes, conduit beaucoup de pays à s'intéresser aux énergies renouvelables. Le secteur de la génération électrique est le premier consommateur d'énergie primaire et les deux tiers de ses sources sont des carburants fossiles. De ce fait, il est devenu urgent de réduire les atteintes de l'activité humaine sur le climat et l'environnement. Une des possibilités est d'accroître le taux de production d'électricité à partir de ressources de type non-fossiles et renouvelables. Dans ce contexte, le développement de la production d'électricité à partir de l'énergie solaire concentrée par voie thermodynamique est une solution prometteuse. Les énergies renouvelables possèdent généralement une limitation due à leur caractère intermittent à leur difficulté de stockage. Si la limitation due au stockage est importante pour des énergies comme l'énergie éolienne ou photovoltaïque, elle l'est moins pour la concentration solaire qui utilise généralement des systèmes de stockage de la chaleur ou qui peut être hybridée avec d'autres sources énergétiques (gaz naturel, biomasse, etc.). Pour travailler à température élevée, il faut accroître le flux optique incident qui pourrait être réalisé par concentration de rayonnement solaire. Cette opération est réalisée à l'aide de capteurs appelés concentrateurs solaires.

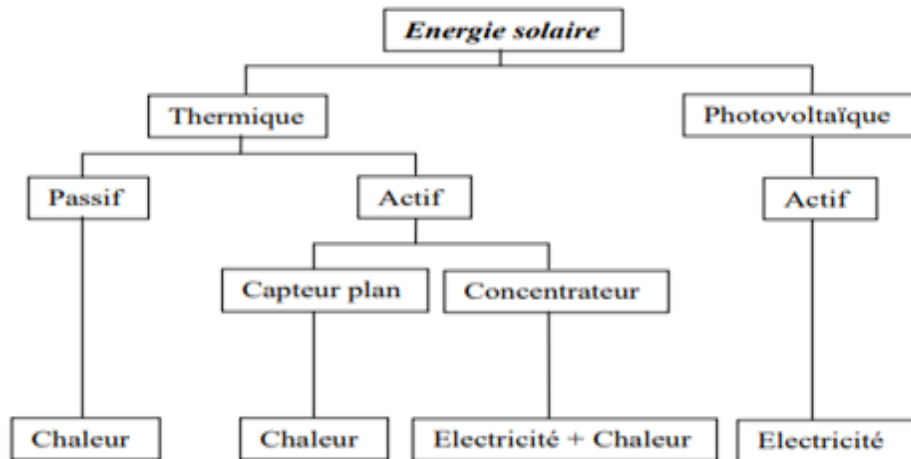


Figure.1. Utilisation directe de l'énergie solaire

Le présent travail est de présenter des investigations numériques pour étudier les performances thermiques d'un capteur solaire cylindro-parabolique (PTC) muni un second réflecteur et ça pour une valeur constante de débit massique d'eau, d'abord pour la partie optique on utilise la méthode de Monte Carlo(MCM) dans Logiciel Sol Trace pour calculer la distribution de flux sur le tube absorbeur et le code de calcul fluent pour la partie thermique , Où cette étude a été réalisée dans la région de Laghouat .La simulation a été réaliser avec un réflecteur secondaire

Pour une meilleure compréhension du lecteur sur le sujet traité nous avons quarts chapitres comme le suivant :

- ❖ **Chapitre 1 :** Ce chapitre donne ma définition du concentrateur cylindro-parabolique (CCP) et son histoire et sa familiarité avec et l'utilisation des centrales solaires thermiques est également connu sous le nom de nanofluides
- ❖ **Chapitre 2 :** Nous présentons les équations de la base de l'optiques et les équations principales de la mécanique des fluides
- ❖ **Chapitre3 :** Nous présentons les modélisations numériques. Nous

Commençons par le Calcul de la distribution du flux de chaleur solaire par le logiciel solTrace, avec le logiciel ANSYS-CFX, qui permet de déterminer la répartition de la température et par conséquent l'énergie absorbée par le tube

❖ **Chapitre 4 :** resultants et discussions

Ce travail se termine par une conclusion générale présentant les résultats de simulation obtenus en finalisant les considérations sur le développement du travail, et en sélectionnant les meilleurs résultats possibles.

CHAPITRE 1

Généralités sur les concentrateur cylindro- paraboliques (PTC) et nanofluids

1.1 Introduction :

Les concentrateurs cylindro-paraboliques sont la technologie la plus utilisée dans les grandes centrales solaires thermodynamiques pour la production d'électricité. Le miroir concentrateur est un cylindre de section parabolique et ne comporte qu'une seule direction de courbure. La concentration a lieu sur la ligne où est placé le récepteur tubulaire dans lequel circule le fluide caloporteur (eau ou huile) qui peut être chauffé jusqu'à 450°C. L'analyse optique et thermique de ces collecteurs est très importante pour le calcul des pertes optiques et thermiques et permet aussi d'évaluer les effets de la dégradation du collecteur.

1.2. DEVELOPPEMENT DES SYSTEMES SOLAIRES A COCENTRATION (BREF HISTORIQUE)

L'homme utilise l'énergie solaire depuis l'antiquité. Archimède aurait fait brûler les navires romains assiégeant Syracuse en focalisant les rayons du Soleil sur leurs voiles à l'aide de 70 miroirs [1]. Les propriétés optiques de miroirs en paraboles, cercles et ellipses sont clairement mises en évidence sur la Figure 1.1.

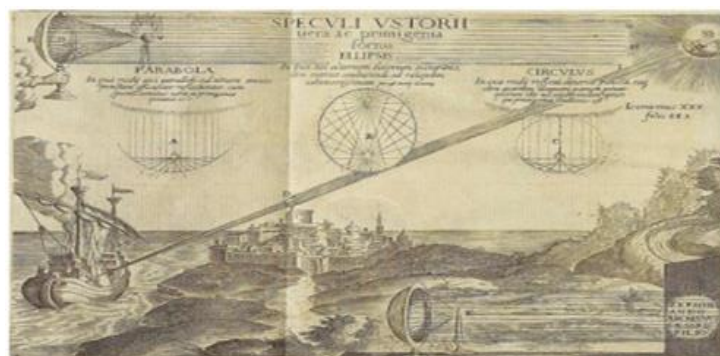


Figure 1.1. Illustration de la légende de la destruction de la flotte romaine à Syracuse par Archimède.[2]

Les premières traces de miroir parabolique remontent à l'antiquité, époque à laquelle les Grecs allumaient la flamme olympique grâce aux seuls rayons du soleil et à un tel miroir. En 1615, Salomon de Caus construit une pompe solaire, utilisant de l'air chauffé avec le rayonnement solaire. [3]

En 1747, M. de Buffon fit construire un miroir composé de 168 glaces planes orientables pour concentrer la lumière du soleil vers le même point. Il arrive ainsi à faire fondre un morceau d'argent (dont la température de fusion est de 1044°C) [4].

CHAPITRE 1 : Généralités sur les concentrateur cylindro-paraboliques (PTC) et nanofluids

Au XVIIIème siècle, le chimiste français Antoine Laurent de Lavoisier crée un four solaire (Figure 1.2) permettant d'atteindre une température de 1755°C (La réussite de la fusion du Platine) [5.]. En 1872, un distillateur solaire de 5000 m^2 est construit au Chili pour produire 20 000 litres d'eau douce par jour.

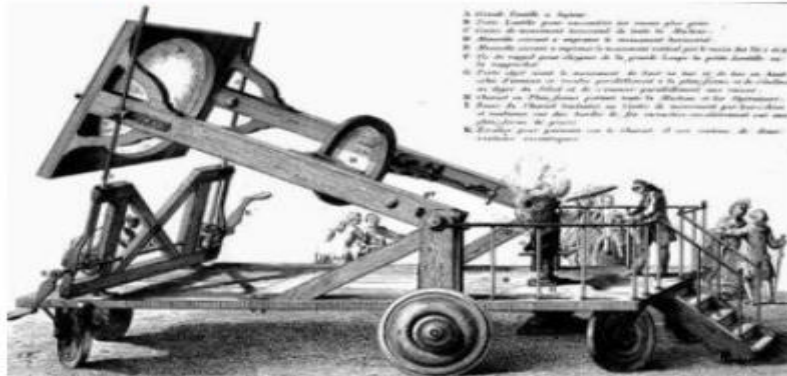


Figure 1.2. Le four solaire de Lavoisier [5.].

Entre 1868 et 1875, John Ericsson annonçait l'étude de l'alimentation solaire des machines et fabriqua sept prototypes (Exemple du premier moteur Dish-Stirling). Il a également réalisé le premier couplage d'une machine à vapeur avec un capteur cylindro-parabolique. En 1878, le professeur de mathématiques Augustin Mouchot crée un réflecteur associé à une machine solaire à vapeur qui sert à actionner l'imprimerie de l'Exposition Universelle (Figure 1.3) ([1.] et [6.]

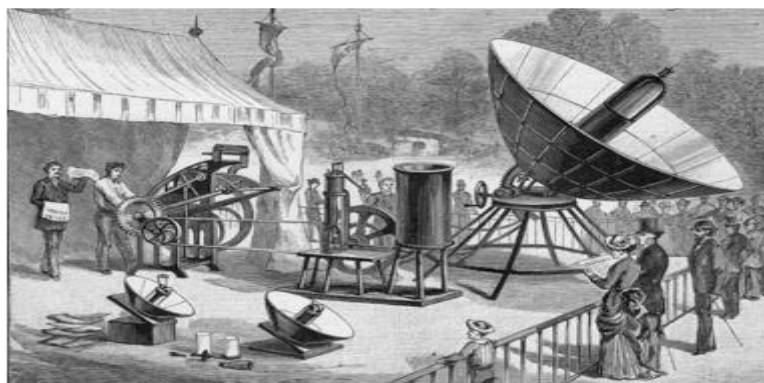


Figure 1.3. L'imprimerie Solaire d'Augustin Mouchot au jardin des Tuileries en 1880 [7]

En 1912, l'américain Franck Schuman a achevé la construction d'une centrale thermo-solaire parabolique de 45 MW à taille industrielle en Egypte [8]. En 1949, Félix Trombe construit à Mont Louis (Pyrénées Orientales, France) un immense miroir parabolique qui permet d'atteindre 3000°C à son point de concentration [8]. A cette époque, l'énergie solaire n'est pas développée car elle n'est pas assez rentable par

CHAPITRE 1 : Généralités sur les concentrateur cylindro-paraboliques (PTC) et nanofluids

rapport aux énergies fossiles. Il faut attendre 1954 et la conquête spatiale pour voir les laboratoires de Bell Téléphone (États-Unis) apparaître les premières cellules photovoltaïques de rendement acceptable (environ 6%), ce rendement sera par la suite (au début des années 1960) augmenté à 15%. D'abord construites pour alimenter les satellites, elles ne seront utilisées dans le civil que plus tard [1.] et [9.]. En 1973, suite à l'augmentation du prix du pétrole, l'énergie solaire subit un essor considérable, c'est à partir de cette période que se développe le recours aux capteurs solaires à concentration. En 1976, la première centrale solaire française voit le jour; c'est la centrale Thémis, construite sur le site de Targassonne en Cerdagne (Pyrénées-Orientales). Elle fut inaugurée en 1983. Thémis comportait un champ de 200 héliostats (miroirs plans orientables) installés sur 5 ha orientant leurs rayons vers le sommet d'une tour.

Au début des années 80, dans l'inquiétude générale des pays industrialisés de manquer de pétrole à bon marché, plusieurs projets de centrales électro-solaires voient le jour, lancés par des Etats ou par des Organismes internationaux [10.]. Dans ce qui suit, nous présentons quelques exemples des centrales solaires à concentration : – La centrale à tour Solar One de 10 MW a été développée en Californie du Sud en 1981. A la même époque, la société, Luz, entame la construction de neuf centrales thermiques solaires Solar Energy Generating Systèmes (SEGS). La centrale fait appel à la technologie cylindro-parabolique, qui a été mise en service en 1984 (Figure 1.4). L'installation SEGS de 354 MW reste aujourd'hui la plus grande centrale d'énergie solaire au monde (Figure 1.5) [8.]



Figure 1.4. Vue montrant une partie de la centrale SEGS en Californie [11]

CHAPITRE 1 : Généralités sur les concentrateur cylindro-paraboliques (PTC) et nanofluids



Figure1.5. Bloc de puissance d'une centrale SEGS [11].

Le Tableau 1.1. Montre les caractéristiques de chaque centrale thermique.

Tableau 1.1. Caractéristiques des neuf centrales thermiques solaires SEGS [11]

Centrale SEGS	1ere année en opération	Puissance de sortie (MW_e)	Température de sortie (K)
I	1985	13,8	580
II	1986	30	589
III & IV	1987	30	622
V	1988	30	622
VI	1989	30	663
VII	1989	30	663
VIII	1990	80	663
IX	1991	80	663

Le Tableau 1.2 montre les caractéristiques de chaque type de collecteur solaire de la centrale thermique.

CHAPITRE 1 : Généralités sur les concentrateur cylindro-paraboliques (PTC) et nanofluids

Tableau 1.2. Caractéristiques des collecteurs solaires ([11] et [12])

collecteur	Luz (LS-1)	Luz (LS-2)		Luz (LS-3)
Année	1984	1985	1988	1989
Surface (m ²)	128	235		545
Longueur d'ouverture (m)	2,5	5		5,7
Longueur (m)	50	48		99
Diamètre de récepteur (m)	0,042	0,07		0,07
Taux de concentration	61 : 1	71 : 1		82 : 1
Efficacité optique	0,734	0,737	0,764	0,8
Absorptivité du récepteur	0,94	0,94	0,99	0,96
Réfectivité du miroir	0,94	0,94	0,94	0,94
Emissivité du récepteur @ 400°C	0,3	0,24	0,19	0,19
Température (°C/K)	300/573	300/573	350/623	350/623
Température d'opération (°C/K)	307/580	349/622	390/663	390/663

Avec (LS : Luz System)

1-3- Les concentrateurs solaires :

Les concentrateurs solaires focalisent les rayons du soleil dans un point comme la tour solaire et le concentrateur parabolique, ou dans une ligne comme le concentrateur cylindro- parabolique et les miroirs de Fresnel. Les concentrateurs en lignes possèdent généralement un facteur de concentration inférieur à ceux des concentrateurs ponctuels, ce facteur caractérise la géométrie générale d'un concentrateur. Il représente le rapport entre la surface de captation et la surface d'absorption. Les systèmes utilisant les concentrateurs solaires sont capables de générer des températures au voisinage de 1000°C, ces systèmes ont été initialement développés pour la production d'électricité. Les caractéristiques techniques principales de ces centrales solaires à concentration (CSP) sont présentées dans le tableau ci-dessous

CHAPITRE 1 : Généralités sur les concentrateur cylindro-paraboliques (PTC) et nanofluids

Tableau 1.3. Caractéristiques des centrales solaires à concentration [13]

Type de champ solaire	Facteur de concentration	Capacité d'unité (MW)	Prix du champ solaire (€/m ²)	Température d'opération (°C)
Miroirs de Fresnel	25-100	10-200	150-200	270-550
Cylindro-parabolique	70-80	10-200	200-250	390-550
Parabolique	1000 -3000	0.01-0.04	> 350	800-900
Tour solaire	300-1000	10-150	250-300	550-1000

Les centrales solaires à concentration souffrent cependant de deux contraintes majeures. La première tient à la disponibilité de la ressource. En effet, la concentration ne peut se faire que pour le rayonnement solaire direct à la différence du photovoltaïque. Le deuxième inconvénient est comme pour la plupart des énergies renouvelables, d'ordre économique. Le coût d'investissement est supérieur aux centrales conventionnelles. D'autres problèmes doivent également être examinés. Une ressource en eau est nécessaire pour le lavage des concentrateurs et la connexion au réseau de distribution électrique doit également être étudiée avec attention tout comme le coût du terrain.

1-3-1- Le concentrateur parabolique :

Le concentrateur parabolique représenté schématiquement sur la figure 1.3, est composé d'une surface réfléchissante qui concentre le rayonnement solaire incident à son foyer. La contrainte majeure est la nécessité de mobiliser la parabole selon deux axes de rotation pour assurer la poursuite du soleil. Ceci entraîne une limitation de la dimension unitaire de ce concentrateur. Trois types des surfaces réfléchissantes ont été utilisés, la première possibilité consiste en un dépôt d'argent ou d'aluminium à l'arrière d'une plaque de verre, la deuxième est basée sur le même principe mais on remplace la plaque de verre par un film plastique et la troisième possibilité consiste en

CHAPITRE 1 : Généralités sur les concentrateur cylindro-paraboliques (PTC) et nanofluids

des feuilles d'aluminium polies. Ces feuilles sont peu chères mais ont une faible réflectivité et une faible longévité [14].

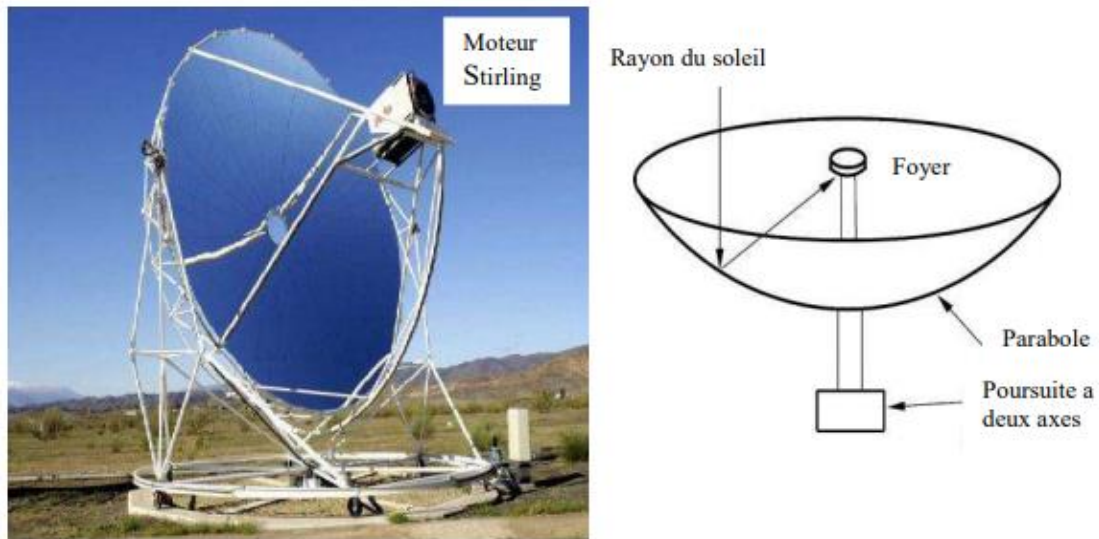


Figure.1.6. Schéma d'un concentrateur solaire parabolique [15]

Dans les systèmes de production d'électricité, un moteur thermique de type Stirling, est installé au foyer du concentrateur afin de produire de l'électricité. En 1818 Robert Stirling (1790- 1878) a imaginé un moteur utilisant un gaz (air, hélium, hydrogène) contenu dans une enceinte fermée, chauffée par une source de chaleur extérieure. Le moteur présente un "point chaud" et un "point froid", la source chaude est assurée par le foyer du concentrateur parabolique et la source froide est assurée par l'air ambiant brassé par un ventilateur à l'arrière du moteur. Le gaz circule entre ces deux points et subit ainsi alternativement une compression et une dilatation, cette pulsation du gaz est utilisée pour entraîner un piston qui permet de récupérer l'énergie mécanique. Les principaux avantages de ces systèmes est la modularité, ils peuvent en effet être installés dans des endroits isolés non raccordés au réseau électrique. Ils possèdent donc également un important potentiel de développement, particulièrement dans des régions peu peuplées de certains pays du sud. Mais les systèmes Parabole/Stirling souffrent principalement d'un coût d'investissement important supérieur à 350 €/m². De plus, le manque de retour d'expérience de ces systèmes en centrales pré-commerciales rend difficile l'évaluation des coûts associés à la maintenance.

1-3-2-La tour solaire: Pour échapper aux limitations des tailles rencontrées avec le concentrateur parabolique, une tour en béton ou en poutres métalliques entourer par un champ de nombreux miroirs appelés " héliostats" (en grec: qui fixe le soleil) est développé (figure 1.7). Les héliostats actuels ont une surface située entre 50 m² et 120 m² et chaque héliostat poursuite le soleil individuellement sur deux axes pour concentrer le rayonnement solaire direct vers un receveur au sommet de la tour solaire, ce qui permet d'atteindre des températures importantes, mais l'ombre portée de la tour sur le champ d'héliostats influe directement sur l'efficacité du système. A ce jour, la seule application de la tour solaire est la production d'énergie électrique dans un système dénommé centrale à tour. Les trois fluides caloporteurs les plus utilisés dans ces centrales sont la vapeur d'eau, l'air et les sels fondus. La production de la vapeur d'eau par centrale à tour a fait l'objet de plusieurs projets de recherche, cette technologie a été abandonnée à cause des problèmes critiques dus à la surchauffe de la vapeur. La vapeur d'eau a ensuite été remplacée par des sels fondus, qui ont l'avantage d'être également un moyen de stockage de l'énergie calorifique. Un nouveau concept de récepteur à air a alors été mis au point, l'air atmosphérique aspiré au travers d'un récepteur volumétrique, ce récepteur utilise un maillage de fils métalliques directement exposé à la radiation solaire incidente. Seulement quelques projets de recherche ont été réalisés et ont surtout porté sur l'amélioration du rendement des récepteurs volumétriques [14]

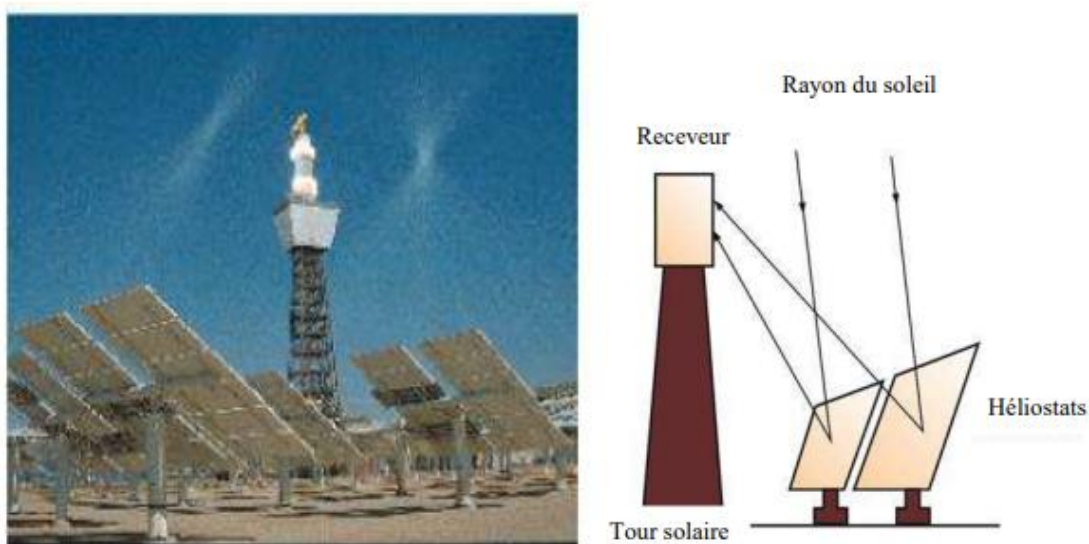


Figure.1.7. Schéma d'une centrale à tour [15]

1-3-3-Les miroirs de Fresnel

Miroirs Ce système est composé par des miroirs plans, ou faiblement paraboliques, disposées en lames parallèles qui s'inclinent sur un axe de façon à réfléchir les rayons du soleil vers le foyer. Les restent près du sol, cette position lui permettre d'éviter le vent. Un deuxième étage de réflecteurs redirige le rayonnement vers un récepteur tubulaire fixé au-dessus des miroirs dans le centre du champ solaire (figure 1.8). Malgré la chute des performances optiques de cette technologie (2/3 de celle d'un CCP), une baisse des coûts de maintenance et d'investissement de 50% dans une centrale solaire basée sur cette technologie par rapport aux autres technologies (concentrateur parabolique et tour solaire) [14]. Cette technologie a été récemment mis au point par plusieurs sociétés les premiers prototypes réalisé jusqu'à maintenant sont prometteurs, mais elle souffre encore d'un manque de maturité

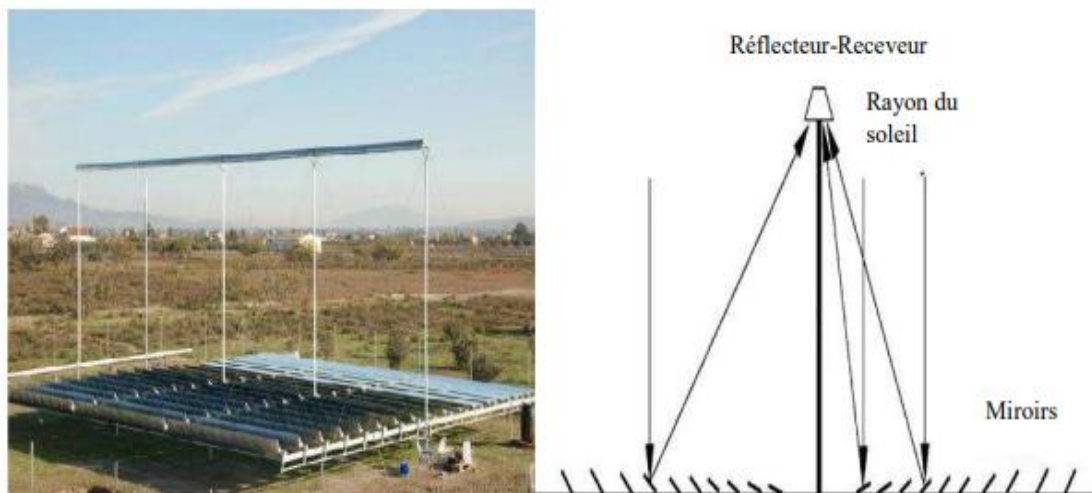


Figure.1.8. Schéma d'un concentrateur solaire de Fresnel [15]

1-3-4- Le concentrateur cylindro-parabolique :

La technologie des concentrateurs solaires cylindro-paraboliques est actuellement la plus répandue, l'application la plus importante de cette technologie est la production de l'électricité. En 1984, la première centrale solaire commerciale, SEGS I était installée en Californie par la société Luz International Limited [14]. La centrale thermique solaire à CCP est constituée de trois éléments 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).

CHAPITRE 1 : Généralités sur les concentrateur cylindro-paraboliques (PTC) et nanofluids

Les huiles synthétiques sont les fluides caloporteurs les plus couramment employés dans les centrales à capteurs cylindro-paraboliques. Des réservoirs de chaleur (réservoirs de sels fondus) peuvent être utilisés pour stocker la chaleur durant la journée afin d'actionner la turbine pendant la nuit. La possibilité d'hybridation de ces installations avec des systèmes conventionnels de production de chaleur permet de garantir la stabilité de la production d'électricité. Il est possible aussi d'effectuer la vaporisation d'eau directement dans le collecteur solaire [16], cette technologie permet de diminuer le coût de l'installation de 15% (Fernandez-García et al., 2010). La faisabilité d'un tel système a été démontrée sur un prototype de la plateforme solaire d'Almeria (PSA), au sud de l'Espagne [17], ces tests ont encouragé les industriels espagnols à développer un projet d'une première centrale pré-commerciale DSG, INDITEP, d'une puissance de 4.7 MW (figure 1.9)

Il existe d'autres applications de cette technologie telles que la chaleur industrielle, la chimie solaire, l'eau chaude, le dessalement d'eau, la climatisation des locaux et la réfrigération solaire

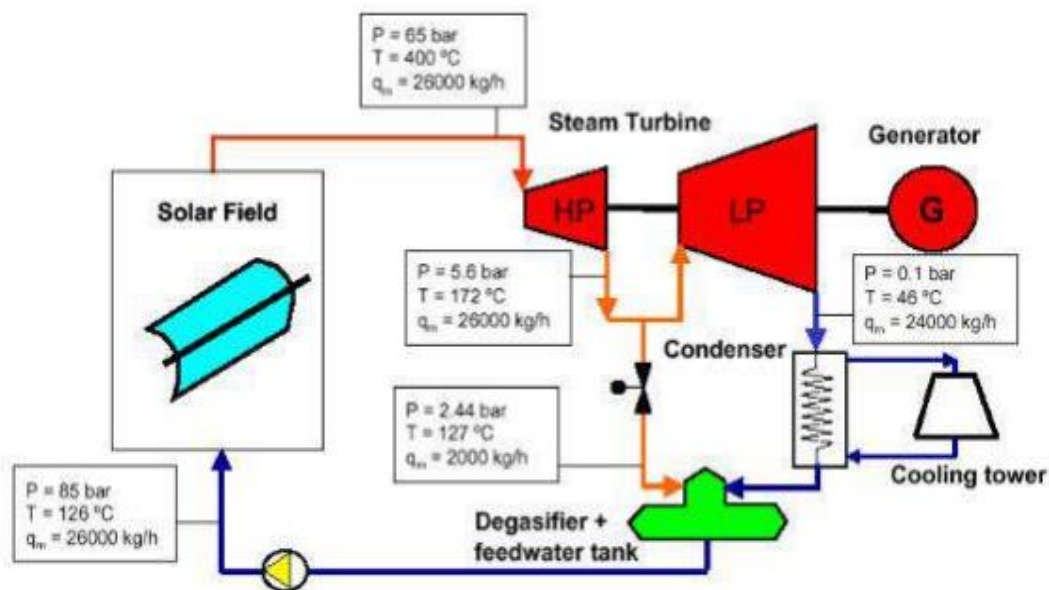


Figure.1.9. Schéma simplifié de la centrale INDITEP [18]

1-3-4-1-Description du concentrateur :

Le concentrateur cylindro-parabolique se distingue par sa simplicité, il se présente comme un module ayant un réflecteur de forme parabolique disposé cylindriquement.

Cette géométrie lui permet de focaliser l'énergie solaire incidente selon une génératrice linéaire où est placé un tube absorbeur dans lequel circule un fluide caloporteur. Le CCP est généralement doté d'une poursuite solaire pour adapter l'inclinaison du concentrateur de manière à ce que la radiation solaire incidente soit toujours perpendiculaire au plan d'ouverture du concentrateur [19]

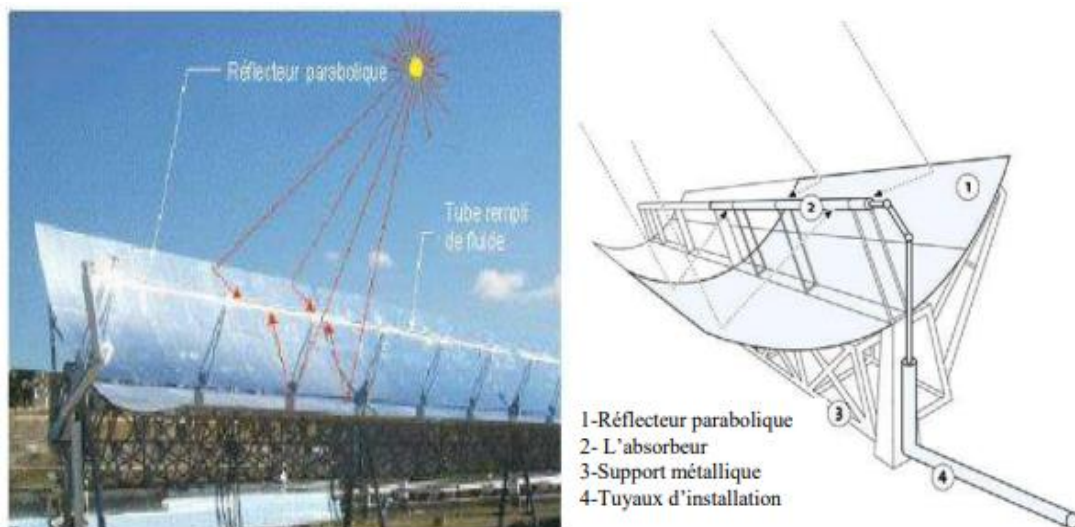


Figure.1.10. Schéma d'un concentrateur cylindro-parabolique [15]

Le concentrateur cylindro-parabolique est caractérisé par trois facteurs principaux. Le facteur de concentration, le facteur d'interception et le facteur de l'angle d'incidence modifié : • Le facteur de concentration (C_0) : qui représente le rapport entre la surface de captation ou la surface d'ouverture du concentrateur (A_0) à la surface latérale de l'absorbeur (A_{ab}). Il définit la géométrie générale d'un CCP, on peut exprimer ce facteur par l'équation suivant [20]

$$C_0 = \frac{W - D_{ab,ext}}{\pi \cdot D_{ab,ext}} \quad (1.1)$$

Le facteur d'interception (γ) : qui représente le rapport entre l'énergie interceptée par l'absorbeur et celle réfléchiée par les surfaces réfléchissantes. Les principaux facteurs qui affectent sur le facteur d'interception sont [21] :

- L'erreur de suivi solaire.
- La précision géométrique du réflecteur.
- La réflectivité propre du réflecteur.
- La poussière sur l'absorbeur et le réflecteur. •

Le facteur de l'angle incidence modifié (K) : qui décrit comment l'efficacité optique du concentrateur change pendant que l'angle d'incident change. La valeur de ce facteur est toujours inférieure à l'unité et diminue avec l'augmentation de l'angle d'incidence.

1-3-4-2- Le réflecteur cylindro-parabolique :

Les réflecteurs d'un CCP étaient généralement en miroir ou autre métal réfléchissant.

Les miroirs sont composés de verre pauvre en fer, ce verre est recouvert d'une pellicule d'argent en sa partie inférieure et d'un enduit spécial de protection [14] Le matériau réfléchissant le mieux indiqué est l'aluminium pur, l'acier inoxydable a été expérimenté mais il n'est pas conseillé parce que son pouvoir de réflexion est insuffisant.



Figure 1.11. Réflexion des rayons solaires sur le tube absorbeur

Pour pouvoir choisir un réflecteur cylindro-parabolique. On aura toujours intérêt à adopter la géométrie idéale pour obtenir une bonne concentration géométrique (figure 1.12). Un réflecteur de bonne qualité peut réfléchir 97% du rayonnement incident

$$y = \frac{x^2}{4F} \tag{1.2}$$

$$r = \frac{F}{\cos^2 \left(\frac{\theta}{2}\right)} \tag{1.3}$$

Avec

$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{8 \frac{F}{W}}{16 \left(\frac{F}{W}\right)^2 - 1} \right] \tag{1.4}$$

[14]. L'équation générale du réflecteur en coordonnées cartésiennes et polaires respectivement, s'écrit :

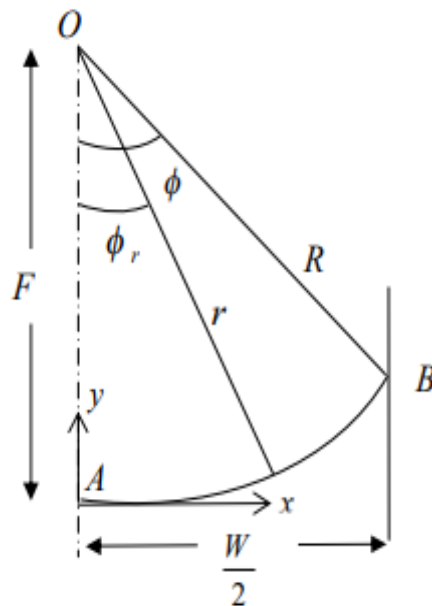


Figure.1.12. Dimensionnement du réflecteur

La structure métallique du réflecteur doit être suffisamment solide pour résister aux importantes contraintes mécaniques liées au vent. Elle doit de plus être munie d'extrémités assurant la compatibilité entre les dilatations thermiques inégales de l'acier

1-3-4-3- Le tube absorbeur :

L'absorbeur est le principal composant dans le concentrateur cylindro-parabolique voir la figure 1.8, il représente généralement 30% du coût de la construction [22] Les pertes par échanges convectifs et radiatifs à l'extérieur sont très importantes, afin de les limiter, une enveloppe en verre recouvre l'absorbeur et permet en faisant le vide dans l'espace annulaire d'éliminer les pertes thermiques par convection entre le tube absorbeur et l'enveloppe du verre. Les pertes de chaleur peuvent être réduites aussi en réduisant l'émissivité dans l'infrarouge du tube absorbeur (cuivre ou aluminium) à l'aide des surfaces dite sélectives. Ces surfaces sont de couleur foncée afin d'absorber le maximum de rayonnement solaire en émettant très peu d'infrarouges, de nos jours les fabricants emploient des revêtements utilisent des oxydes de chrome, de nickel ou de titane réalisé par plusieurs méthodes (projection sous vide, électrolyse, action chimique...) [14].

CHAPITRE 1 : Généralités sur les concentrateur cylindro-paraboliques (PTC) et nanofluids

Le diamètre extérieur minimum d'un tube absorbeur en fonction des dimensions du réflecteur est donné par l'Eq.(1.5) [23]:

$$D_{ab(min)} = \frac{W \sin(0.267)}{\sin(\theta)} \quad (1.5)$$

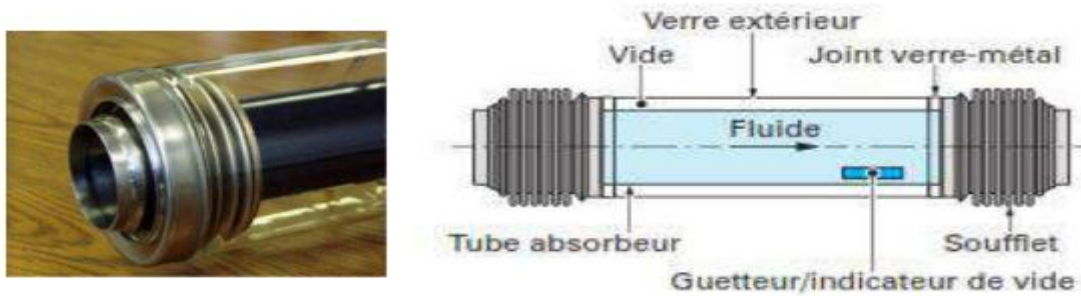


Figure 1.13. Structure de l'absorbeur [14]

1-3-4-4- Le système de poursuite solaire :

Le rôle du mécanisme de poursuite est d'adapter l'inclinaison du concentrateur de manière à ce que la radiation solaire incidente soit toujours perpendiculaire au plan d'ouverture du concentrateur (angle d'incidence nulle). Le pilotage de la poursuite du soleil est effectué par une régulation en boucle ouverte ou fermée :

- La régulation en boucle ouverte utilise un algorithme qui positionne en chaque instant l'axe du concentrateur dans la direction du soleil en s'appuyant sur les coordonnées calculées du soleil.
- La régulation en boucle fermée corrige une première position grossière en fonction d'une mesure faite par un capteur thermique (thermocouple) ou optique (pyrhéliomètre).

La poursuite solaire peut être sur un seul axe ou autour de deux axes. Dans le premier cas le mouvement peut être de trois manières :

- Est-Ouest horizontal, le tube récepteur du concentrateur est parallèle à l'axe Nord-Sud.
- Nord-Sud horizontal, le tube récepteur du concentrateur est parallèle à l'axe Est-Ouest.

CHAPITRE 1 : Généralités sur les concentrateur cylindro-paraboliques (PTC) et nanofluids

- Est-Ouest polaire, le mouvement doit être suivant l'axe de la terre avec une inclinaison égale à la latitude du lieu.

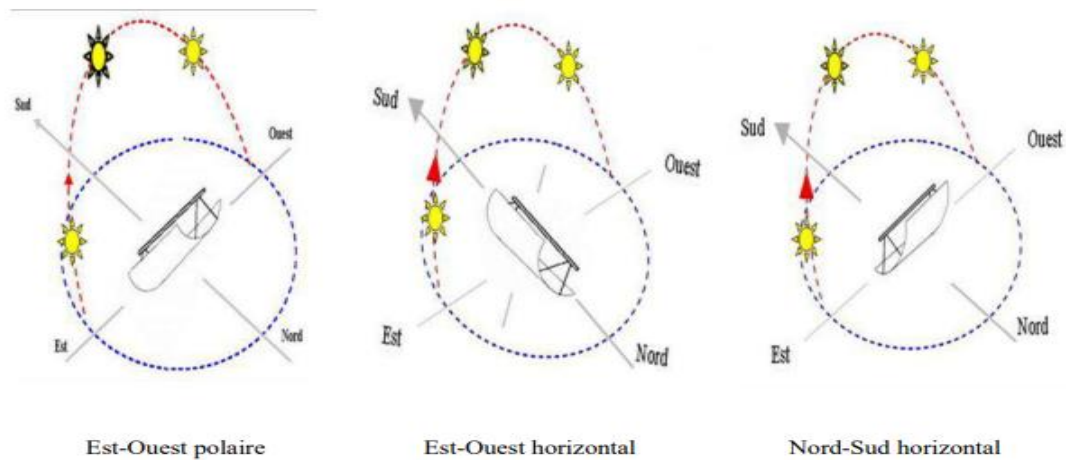


Figure.1.14. Les modes de poursuite solaire d'un CCP [19]

1-3-4-5- Les fluides caloporteurs et thermodynamiques

L'énergie thermique provenant du rayonnement solaire collecté est convertie grâce à un fluide caloporteur puis un fluide thermodynamique. Dans certains cas, le fluide caloporteur est utilisé directement comme fluide thermodynamique. Le choix du fluide caloporteur détermine la température maximale admissible, oriente le choix des matériaux du récepteur et conditionne la possibilité et la commodité du stockage. Le Tableau 1.4 regroupe les différents fluides de transfert ou de stockage envisageables, leurs avantages et leurs inconvénients [24].

Tableau 1.4. Les différents fluides de transfert ou de stockage envisageables, leurs avantages (en vert) et leurs inconvénients (en rouge) [24]

Fluide	CVS (MJ.m ⁻³ .K ⁻¹)	k_f (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	μ_f (Pa.s)	$T_{min,f}$ (°C)	$T_{max,f}$ (°C)	ζ_f (€K.kWh ⁻¹)
Huiles synthétiques	1,8-2,4	0,1-0,2	$2 \cdot 10^{-4}$	13	400	3200-9000
Sels fondus	2,7-3,2	0,55	$3-6 \cdot 10^{-3}$	> 130	< 600	1800-3000
Air (100 bars, 600 °C)	0,04	0,06	$3 \cdot 10^{-5}$	/	/	≈ 0
Eau liquide (1 bar)	4,2	0,6	$5 \cdot 10^{-4}$	0	100	≈ 0
Vapeur d'eau (100 bars, 600 °C)	0,134	0,08	$1 \cdot 10^{-3}$	100	/	≈ 0
Métaux fondus	1-1,3	26-46	$2 \cdot 10^{-4}$	100	900	4800-6900

CHAPITRE 1 : Généralités sur les concentrateur cylindro-paraboliques (PTC) et nanofluids

a) Les huiles : sont des fluides monophasiques qui présentent un bon coefficient d'échange. Leur gamme de température est limitée à environ 400 °C et possèdent une viscosité faible. Elles posent moins de problème de solidifications ($T_{\min} = 13 \text{ °C}$) et peuvent donc être refroidies jusqu'à la température ambiante si nécessaire. Elles sont cependant relativement onéreuses, et sont inflammables. Les utiliser comme fluide de stockage induit l'utilisation d'une énorme masse de produit combustible, centralisée dans une cuve, ce qui ne paraît pas judicieux. C'est le fluide le plus couramment employé dans les centrales à collecteurs cylindro-paraboliques.

b) Les sels fondus : à base de nitrates de sodium et de potassium, les sels fondus offrent un bon coefficient d'échange et possèdent une densité élevée. Ils sont donc également de très bons fluides de stockage. Leur température de sortie peut atteindre 650 °C. Ils sont également moins onéreux que les huiles synthétiques, et ne sont pas inflammables. De plus, ils possèdent un point de solidification fortement supérieur à la température ambiante (entre 130 °C et 220 °C selon les sels) et nécessitent donc un système adapté pour éviter leur solidification. Enfin, puisqu'ils sont corrosifs, le risque de détérioration de la tuyauterie d'une centrale est accru. Les contraintes liées aux sels fondus sont trop importantes pour une centrale ayant plusieurs kilomètres de conduite (corrosion, coût de fonctionnement du système de circulation en raison de la viscosité élevée des sels). Les sels fondus sont préférés pour les applications de stockage car ils permettent de diminuer la taille du réservoir et les coûts pour une énergie stockée équivalente (capacité de stockage volumique plus importante), mais aussi parce qu'ils ne présentent pas de risques d'incendie (contrairement aux huiles). Leur association avec un concentrateur à tour et un cycle de Rankine constitue une combinaison déjà éprouvée.

A titre d'exemple, la Figure 1.15 montre une brève comparaison entre deux centrales solaires de type cylindro-parabolique, celle du gauche de la figure utilise une huile synthétique comme HTF, alors que celle de la droite utilise le sel fondu.

CHAPITRE 1 : Généralités sur les concentrateur cylindro-paraboliques (PTC) et nanofluids

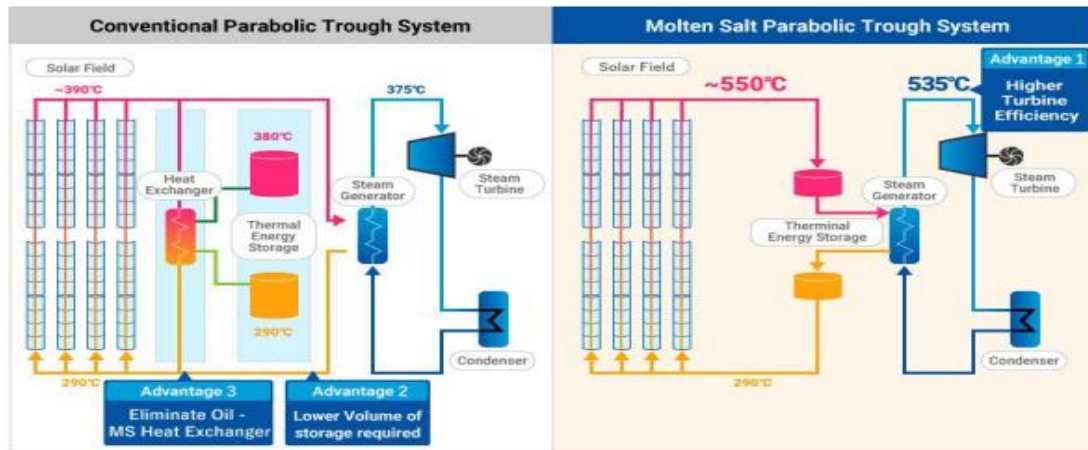


Figure 1.15. Centrales solaires de type cylindro-parabolique. (À gauche) avec l'huile synthétique, (À droite) avec le sel fondu [25.].

- c) Les gaz : tels que l'hydrogène ou l'hélium qui peuvent être utilisés comme fluides thermodynamiques pour entraîner les moteurs Stirling. Ce type de moteur est installé au foyer d'un collecteur parabolique produisant de l'électricité.
- d) L'eau liquide : est, a priori, un fluide de transfert idéal. Elle offre un excellent coefficient d'échange et possède une forte capacité thermique et un coût faible. Elle ne peut toutefois pas dépasser 100°C à pression atmosphérique, seuil au-delà duquel elle se transforme en vapeur. En outre, elle peut être utilisée directement comme fluide thermodynamique dans un cycle de Rankine. Cependant son utilisation implique de travailler à des pressions très élevées en raison des hautes températures atteintes, ainsi qu'avec des durées de stockage ne dépassant pas l'heure, ce qui pose problème pour les technologies cylindro-paraboliques.
- e) Les fluides organiques : (butane, propane, etc.) possèdent une température d'évaporation relativement basse et sont utilisés comme fluide thermodynamique dans un cycle de Rankine.
- f) Les métaux fondus : (généralement du sodium) sont utilisés dans certaines centrales nucléaires car ils possèdent une conductivité thermique très élevée, une viscosité faible et une température maximale d'utilisation allant jusqu'à 800 °C. Ils possèdent une capacité de stockage moyenne et un prix relativement élevé, mais ils sont surtout très réactifs et présentent donc de forts risques d'explosion.
- g) L'air : peut être utilisé comme fluide caloporteur ou comme fluide thermodynamique dans les turbines à gaz. L'air a pour avantage d'être disponible facilement et à un coût minimal, avec une température maximale de fonctionnement

supérieure à 1000 °C. Il sera donc préféré dans les systèmes désirant atteindre de hautes températures, comme les centrales à tour. Toutefois, ne possédant pas une capacité volumique de stockage élevée, il doit être associé à un matériau ayant cette propriété si l'on désire stocker de l'énergie. Il est également nécessaire de le circuler avec de forts débits, ce qui présente des surcoûts au niveau du système de circulation et de compression.

1-3-4-6- L'exploitation de la technologie des CCP en Algérie :

L'Algérie voit des occasions idéales de combiner le gaz naturel à l'énergie solaire en intégrant l'énergie solaire concentrée à bas des concentrateurs cylindro-paraboliques. Dans une première étape une centrale électrique hybride (gaz /solaire) est actuellement en service au soude l'Algérie (Hassi Rmel) avec 224 concentrateurs d'une surface de 180000 m² des réflecteurs paraboliques et d'une puissance électrique solaire moyenne de 25MW[26].

Ce choix stratégique est motivé par l'immense potentiel de l'Algérie en énergie solaire, l'énergie moyenne reçue sur une surface horizontale soit près de 1700 KWh/m² annuellement aux régions côtières, 1900 KWh/m²/an aux hauts plateaux et 2650 KWh/m²/an aux régions Sahariennes. Cette énergie constitue l'axe majeur du programme qui consacre au solaire thermique et au solaire photovoltaïque. Le solaire devrait atteindre d'ici à 2030 plus de 37% de la production nationale d'électricité selon le décret 04-92, publié au journal officiel de l'Algérie en Mars 2004. Le tableau 1.2 présente les nouveaux projets de production d'énergie électrique dans le plan d'investissement Algérien au titre du programme Moyen-Orient et Afrique du nord CSP (Middle East and North African. MENA), avec une capacité prévue de 210 MW [27]



Figure.1.16. La centrale électrique hybride de Hassi Rmel [26]

Tableau 1.5. Les nouveaux projets CSP en Algérie

Endroit de l'installation	Capacité de l'installation	L'année
Meghaier	70 MW	2014
Naama	70 MW	2016
Hassi Rmel	70 MW	2018

1-4- La distillation solaire :

Le dessalement des eaux par distillation solaire est une opération très utilisée dans les régions arides, à l'échelle d'un petit village ou même d'une famille. Plusieurs types des distillateurs solaires ont été réalisés, le plus répandu est celui à effet de serre. Le principe est fondé sur une observation faite par les jardiniers. Dans un châssis de jardin, fermé et exposé au soleil, la face intérieure du vitrage incliné se garnit de gouttes d'eau provenant de la condensation. C'est en 1872 que Ch. Wilson imagine un dispositif appliqué à grande échelle (distillateur solaire à effet de serre) pour alimenter en eau potable la localité de Salinas dans le désert d'Atacama au Chili, avec une surface de verre de 4400 m² et une production de 23 m³ d'eau douce par jour [28].

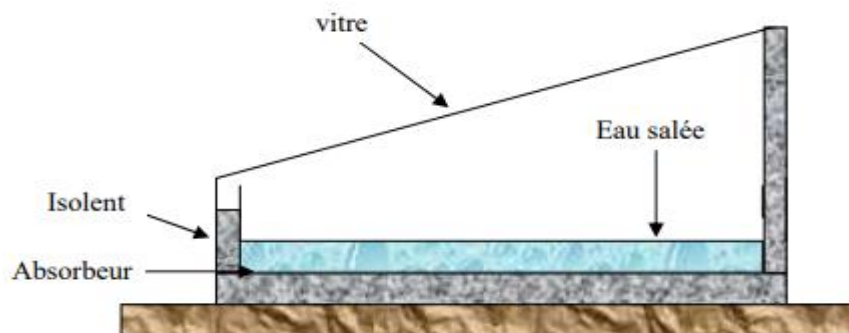


Figure.1.17. Distillateur solaire à effet de serre [28]

Le rendement de ce type de distillateur est faible, il est inacceptable aux principales raisons suivantes :

- 1) Il existe des zones d'ombre sur le plan d'eau à distiller, particulièrement pour la faible hauteur du soleil.
- 2) La surface évaporant est horizontale qu'elle conviendrait de l'orienter environ perpendiculairement au rayonnement solaire.

3) C'est le fond noir qui absorbe généralement le rayonnement solaire et réchauffe l'eau indirectement, il doit donc être bien calorifugé pour éviter les pertes thermiques par le sol.

4) La condensation de la vapeur d'eau se fait sur la paroi transparente, même à travers laquelle passe le rayonnement solaire incident, pour assurer une condensation efficace cette paroi doit être aussi froide que possible.

5) L'énergie thermique n'est utilisée qu'une seule fois.

Pour pallier les inconvénients des distillateurs solaires conventionnels, de nombreuses variantes ont été proposées (figure 1.18). Parmi ces variantes le distillateur à étages multiples avec récupération de la chaleur. Ce dernier est basé sur la construction d'un bâti constitué de plusieurs bassins superposés les uns sur les autres. Lorsque l'eau du bassin inférieur est réchauffée par une résistance électrique [29] ou par un capteur plan [30], il s'évapore et se condense à la surface inférieure du bassin situé au-dessus. La chaleur dégagée par la condensation de la vapeur réchauffe l'eau contenue dans l'étage supérieur qui s'évapore à son tour et se condense à la surface inférieure de l'étage suivant et ainsi de suite.

De cette manière, l'énergie prévue pour réchauffer l'eau du bassin inférieur, est récupérée du moins en grande partie pour être plusieurs fois utilisée.

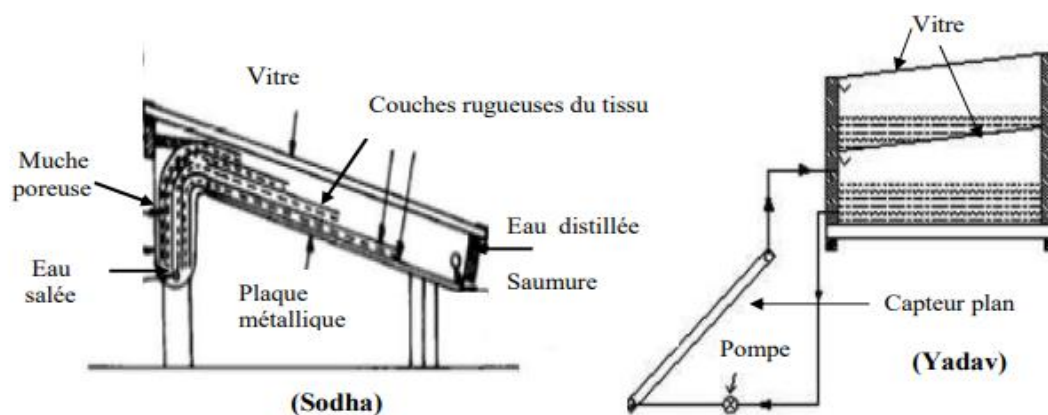


Figure.1.18. Schéma représentatif des dispositifs expérimentaux de Sodha [28] et [31]

Beaucoup de chercheurs ont analysés ce type de distillateur. Les résultats montrent que : un distillateur à deux étages donne toujours une grande productivité, un système à circulation forcée est meilleur que le mode de thermosiphon, l'efficacité d'un système avec échangeur de chaleur est inférieure à un système sans échangeur, la température de l'étage inférieur peut atteindre une valeur de 95°C et l'utilisation d'un concentrateur solaire cylindro-parabolique comme source de chaleur peut élever le rendement davantage [31]

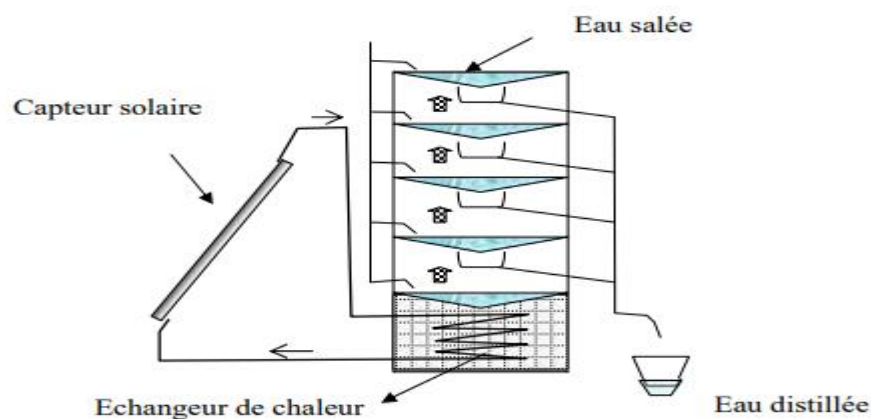


Figure.1.19. Distillateur à étages multiples [28]

1-5- La climatisation solaire :

Afin de limiter la demande en énergie électrique pour les applications de climatisation, il est nécessaire de développer des techniques alternatives. L'utilisation de la chaleur produite par des capteurs solaires est une option intéressante pour les procédés de climatisation actionnés par la chaleur. Les technologies du froid solaire (l'absorption, l'adsorption) sont actuellement disponibles pour des applications commerciales. Pour les petites puissances, les fabricants des machines à absorption restent plus nombreux que leurs homologues des machines à adsorption.

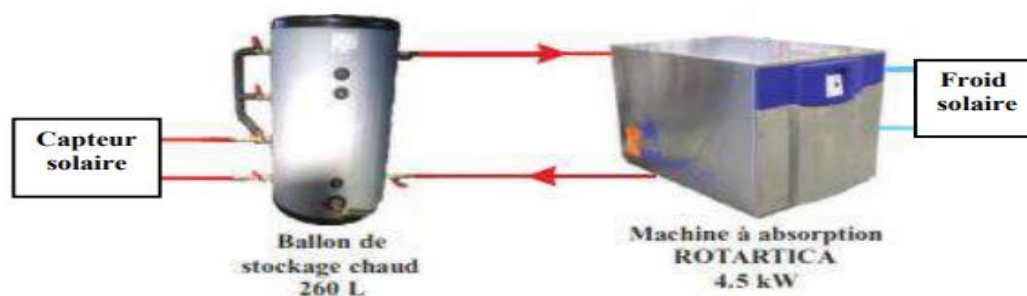


Figure.1.20. Schéma simplifié d'une installation du froid solaire [18]

CHAPITRE 1 : Généralités sur les concentrateur cylindro-paraboliques (PTC) et nanofluids

Beaucoup de recherches sont enregistrées dans la littérature sur l'utilisation des systèmes de climatisations solaires à absorption ($H_2O/LiBr$) à base d'un concentrateur cylindro- parabolique. Par exemple, un système de climatisation solaire à absorption avec une surface de $63.18m^2$ des concentrateurs ont été installés sur le toit des bâtiments au Koweït afin de fournir une charge de refroidissement de $10.55KW$ [32]. [33] simulent un système de refroidissement à absorption simple effet avec une charge de refroidissement de $17.5KW$ pour une maison typique en Iran, il a été conclu que la surface de captation minimum nécessaire est de $57.6m^2$. [34] ont développés un système de refroidissement et de réfrigération par adsorption solaire en Arabie Saoudite, une méthode d'optimisation statistique a démontré que la surface requis de CCP est entre $3.5-5m^2$ dans le cas d'une température ambiante de $27\text{ }^\circ C$. Une installation de refroidissement solaire est utilisée pour fournir de l'eau froide à un laboratoire de recherche situé à Borj Cédrie au Tunisie, il se compose d'une surface de $39m^2$ des concentrateur cylindro-paraboliques couplés à un système de refroidissement à absorption double effet de 16 kW [35]

Les machines de climatisations solaires à absorption ($H_2O/LiBr$), utilisent comme fluide de travail des mélanges binaires, l'eau+Bromure de Lithium (l'eau étant le fluide frigorigène) est le couple le plus utilisé dans le cas de rafraichissement des bâtiments. La figure 1.21 représente une installation à absorption simple effet $H_2O/LiBr$ et ses différents éléments.

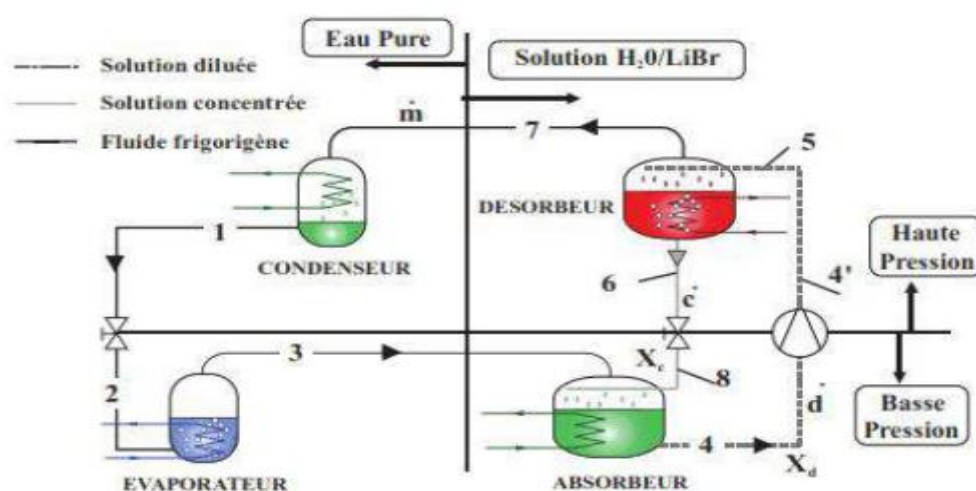


Figure.1.21. Structure d'une machine frigorifique à absorption $H_2O/LiBr$ [18]

Le désorbeur de la machine est chauffé à température élevée relativement pour provoquer la désorption d'une partie du fluide frigorigène dissous dans la solution, le désorbeur produit alors de la vapeur d'eau (7) et une solution concentrée en bromure de lithium (6). La vapeur d'eau sortante va se condenser dans le condensateur, rejetant la chaleur de la condensation à l'atmosphère. A la sortie du condenseur (1), le fluide frigorigène liquide (l'eau) subit un laminage à travers le détendeur (1-2). Puis, le fluide s'évapore à la basse pression grâce à la chaleur du milieu à refroidir produisant ainsi une puissance frigorifique au niveau de l'évaporateur. La vapeur d'eau issue de l'évaporateur (3) rencontre au sein de celui-ci la solution concentrée (dite pauvre en frigorigène) provenant du désorbeur (8). Cette solution absorbe la vapeur et en sortie d'absorbeur (4), on obtient une solution riche en frigorigène. Cette solution est alors pompée aux désorbeur et ainsi le cycle est accompli.

1-6- nanofluids

Tout liquide hôte, organique ou inorganique, qui contient des nanoparticules dans un état en suspension, est connu comme nanofluid. Les nanofluids sont des fluides biphasés de mélanges solides-liquides et sont considérés comme des FHT de nouvelle génération. Récemment, dans un passé proche, les nanofluids se sont développés comme fluides thermiques prometteurs pour des applications de transfert de chaleur. En outre, la conductivité thermique des nanofluids devrait être supérieure à celle des liquides de base.

Lorsque des suspensions biphasées de microparticules ont été testées, il a été signalé qu'elles produisaient une sédimentation et des obstructions à l'écoulement fluide en raison du colmatage du canal et de l'érosion des matériaux du tube. Cependant, les nanofluids offrent de nombreux avantages par rapport aux fluides purs monophasés et aux suspensions avec microparticules. Les problèmes de sédimentation particulière, d'obstruction des passages de micro anaux, et d'érosion du matériel de tube sont atténués en grande partie avec des nanofluids. En outre, les nanofluids forment des suspensions stables avec une dispersion uniforme des nanoparticules dans le fluide hôte.

Les propriétés thermo physiques des fluides de transfert de chaleur traditionnels tels que les huiles, les glycols et l'eau sont bien établies et sont disponibles dans la littérature et les manuels. Cependant, les propriétés semblables des nanofluids

biphasés n'ont pas encore été explorées intensivement. Une mesure précise et précise des propriétés est essentielle pour la détermination des coefficients de transfert thermique des nanofluids. L'aptitude d'un nanofluide particulier dans une application de transfert de chaleur est alors analysée sur la base de sa performance de transfert de chaleur et de l'exigence d'application. Les nanofluids sont considérés comme une nouvelle alternative, des liquides de nouvelle génération, pour le transport de l'énergie thermique et peuvent être utilisés comme HTFs dans les échangeurs de chaleur, remplaçant ainsi les fluides traditionnels purs. Les applications des nanofluids pour le transfert de chaleur comprennent les radiateurs dans les automobiles, les composants dans l'ingénierie chimique et les industries de processus, le chauffe-eau solaires, les unités de réfrigération et le refroidissement des appareils électroniques. L'objectif principal d'obtenir l'amélioration de transfert de chaleur en utilisant des nanofluids est d'accueillir des flux de chaleur élevés et, par conséquent, de réduire le coût et la taille des échangeurs de chaleur qui, à leur tour, entraîne la conservation de l'énergie et des matériaux.

1-6-1- Préparation of Nanofluids

La préparation des nanofluids est la première étape clé pour synthétiser des fluides avec une conductivité thermique améliorée. Ces nanofluids sont obtenus en suspendant des nanoparticules de l'ordre de 1 à 100 nm dans des fluides réguliers conventionnels dans des fractions volumiques appropriées. Théoriquement, lorsque des particules solides à conductivité thermique élevée sont ajoutées aux fluides, la conductivité thermique globale est améliorée en raison du changement des caractéristiques d'écoulement, de chaleur, de transport et de transfert de chaleur du liquide [36]. Certaines des exigences vitales que le nanofluide doit remplir sont une durabilité adéquate, une suspension uniforme et stable des particules, aucun changement chimique des particules ou du fluide, et une agglomération négligeable des particules. Plusieurs types de particules ont été rapportés dans la littérature pour préparer des nanofluids, qui comprennent particules non métalliques (SiO_2 , SiC , TiO_2 , Al_2O_3 , ZnO , CuO , Fe_3O_4 , et AlN), () particules métalliques (Cu , Ag , et Au), et différentes formes de particules telles que les nanotubes de carbone [37], les nano gouttelettes, les nanofibres, et les nano tiges. Les fluides de base couramment utilisés sont l'eau, l'huile, l'acétone, le décène, l'éthylène glycol et l'huile minérale.

CHAPITRE 1 : Généralités sur les concentrateur cylindro-paraboliques (PTC) et nanofluids

Deux méthodes ont été utilisées pour produire des nanofluids qui peuvent être classés comme des méthodes en une et deux étapes.

La méthode en une étape implique la préparation de nanoparticules et leur dispersion dans le fluide hôte ou de base simultanément. Les nanoparticules peuvent être directement préparées par la technique physique de dépôt en phase vapeur ou la méthode chimique liquide. Par conséquent, le processus de séchage, de stockage, de dispersion et de transport est évité, de sorte que l'agglomération est minimisée et, par conséquent, la dispersion des nanoparticules dans le fluide hôte est améliorée [38]. Le principal inconvénient de ce processus est que le résidu de réactifs est laissé dans le nanofluide en raison de la réaction incomplète ou de la stabilisation qui diminue la pureté du nanofluide [39]. Une autre lacune dans ce processus est que seuls des fluides à basse pression de vapeur peuvent être utilisés, ce qui limite l'application de la méthode.

Dans la méthode en deux étapes, qui est la méthode la plus largement utilisée pour préparer des nanofluids, les nanoparticules, les nanotubes, les nanofibres ou les nano bâtonnets sont d'abord produits par dépôt chimique en vapeur, condensation de gaz inerte, ou toute autre technique sous forme de poudre sèche. La deuxième étape consiste à disperser cette nanopoudre dans le fluide de base à l'aide d'une agitation de force magnétique intensive, d'une agitation par ultrasons, d'un mélange à cisaillement élevé, d'une homogénéisation et d'un fraisage à billes. La méthode en deux étapes est plus économique que la méthode en une étape pour produire commercialement des nanofluids. Le principal inconvénient de cette méthode est que, en raison de la surface élevée et de la surface attrayante, les nanoparticules ont tendance à s'agglomérer. L'agglomération des nanoparticules dans le fluide entraîne une diminution de la conductivité thermique et une augmentation du tassement et du colmatage des micro anaux. Par conséquent, les tensioactifs sont largement utilisés pour stabiliser les nanoparticules dans les fluides. Néanmoins, cette méthode convient à une large gamme de particules telles que les particules d'oxyde et les nanotubes de carbone et elle est attrayante pour l'industrie car elle est simple pour la préparation de nanofluide.[40]

1-6-1-1-Stabilité des nanofluides

L'agglomération des nanoparticules a des ramifications sévères allant du colmatage des micro anaux à la réduction de la conductivité thermique des nanofluides. Diverses méthodes ont été développées pour évaluer la stabilité des nanofluides et la plus simple est la méthode de sédimentation. On dit que les nanofluides sont stables lorsque leur concentration reste constante. L'inspection physique par les yeux nus est également habituellement considérée une des méthodes pour observer la stabilité des nanofluides. Ci-dessous, quelques méthodes sont décrites pour analyser la stabilité des nanofluides.

1-6-1-1-1- analyse du potentiel zêta

La différence de potentiel électrique entre le milieu de dispersion et la couche stationnaire de fluide est appelée potentiel zêta. Ce potentiel est crucial pour représenter la stabilité des suspensions colloïdales. Plus le potentiel de zêta est élevé, plus la suspension colloïdale sera stable et vice versa.

.1-6-1-1-2-Analyse de l'absorbance spectrale

L'analyse d'absorption spectrale (SAA) est un autre moyen efficace en plus de l'analyse du potentiel zêta afin d'évaluer la stabilité des nanofluides. Généralement, il existe une relation linéaire entre la concentration de nanoparticules dans le fluide et l'intensité d'absorption. Si les nanomatériaux, qui sont dispersés dans les fluides de base, possèdent des bandes d'absorption caractéristiques dans la gamme de longueurs d'onde de 190 à 1100 nm, alors la stabilité des nanofluides peut être évaluée en utilisant la spectroscopie UV-vis de manière fiable.

.1-6-1-2-Les façons d'améliorer la stabilité des nanofluides

1-6-1-2-1- Tensioactifs utilisés dans les nanofluides

Les tensioactifs ou les dispersants sont utilisés pour augmenter la stabilité des nanofluides. Normalement, des tensioactifs sont nécessaires pour stabiliser les suspensions nanofluides produites par la méthode biphasée. Les tensioactifs stabilisent les nanofluides en réduisant la tension superficielle des fluides et sont donc essentiels pour augmenter la stabilité ou empêcher l'agglomération des nanoparticules dans les fluides de base. La méthode biphasée est normalement employée

commerciallement, puisqu'elle est une méthode facile et économiquement viable pour la production de nanofluid à grande échelle. Les tensioactifs sont composés d'une partie hydrophobe de la queue (hydrocarbure à longue chaîne) et d'un groupe hydrophile de la tête polaire. Les tensioactifs aident à atteindre une mouillabilité plus élevée, c'est-à-dire un contact accru entre deux matériaux. Les tensioactifs hydrosolubles sont sélectionnés lorsque le fluide de base est un solvant polaire ; sinon, les solvants solubles dans l'huile sont choisis. D'autre part, il existe plusieurs problèmes associés aux tensioactifs tels que le fait que les dispersants peuvent contaminer le fluide caloporteur en produisant des mousses pendant le chauffage. En outre, l'addition des tensioactifs peut mener à l'élargissement des nanoparticules, qui atténue à son tour la conductivité thermique efficace du nanofluid. Par conséquent, le système (addition de tensioactif au nanofluid) doit être optimisé.

1-6-1-2-2- Mécanismes de stabilité des nanofluides

Les particules alors que dans le milieu de dispersion peuvent s'empiler et agglomérer donnant la taille gonflée des particules, qui peuvent trouver leur destin en s'installant dans la solution due à la gravité. La stabilité des nanofluides signifie que les particules ne s'agrègent pas et ne se déposent pas à un taux remarquable. Le taux d'agrégation est défini par la récurrence des impacts et la probabilité d'union pendant la collision. L'hypothèse de Derjaguin et de ses groupes de recherche propose que la stabilité d'une particule en solution est dictée par les forces répulsives attrayantes et électriques à double couche qui existent entre les particules lorsqu'elles s'approchent les unes des autres en raison du mouvement brownien ils subissent. Si la force d'attraction est supérieure à la force de répulsion, les particules entreront en collision et la suspension ne sera pas stable, tandis que si l'inverse était le cas, les suspensions colloïdales resteront stable.

1-6-2- Caractérisation des nanofluides

Au cours de la dernière décennie, les chercheurs ont essayé d'améliorer les propriétés de transfert de chaleur des nanofluides en optimisant les propriétés physiques et thermiques du nanofluid. Des études expérimentales ont porté sur un large éventail de nanoparticules et certaines corrélations ont été établies. Cependant, ils ont obtenu des résultats divers, ce qui rend ces corrélations incohérentes et parfois contradictoires. Dans cette section, les propriétés physiques et thermiques des

nanofluides et leur effet variable sur le comportement de transfert de chaleur sont étudiés en passant en revue plusieurs recherches dans la littérature.

1-6-2-1- Propriétés physiques

1-6-2-1-1- Density

La densité est un facteur qui affecte les propriétés de transfert de chaleur. Cependant, les rapports sur l'effet de la densité sont rares. Étant donné que la densité de la nanoparticule est plus élevée que celle des liquides, elle a conduit à croire qu'une augmentation de la concentration volumique des nanoparticules entraînerait une augmentation des valeurs de densité du nanofluide. La plupart des chercheurs obtiennent les valeurs théoriques de densité de l'équation de mélange introduite par Pak et Cho [41]

$$\rho_{nf} = \phi \rho_s + (1 - \phi) \rho_f, \quad 1.6$$

1-6-2-1-2- Viscosity μ

Les chercheurs ont trouvé que la viscosité est un paramètre clé dans la détermination du coefficient de transfert de chaleur convectif. Cependant, cette propriété est gênante en raison du manque de compréhension des mécanismes de viscosité et de l'absence d'un modèle mathématique général qui prédit le comportement de la viscosité dans les nanofluides.

1-6-3- Propriétés thermiques

1-6-3-1- Capacité calorifique spécifique C_p

La capacité calorifique spécifique mesure la capacité d'un matériau à stocker l'énergie sous forme de chaleur et à l'échanger si une différence de température existe. Il est important d'acquérir des valeurs précises de la chaleur spécifique car la chaleur spécifique est utilisée pour calculer des propriétés importantes, qui comprennent la conductivité thermique, la diffusivité thermique et la température spatiale de l'écoulement. Les chercheurs utilisent principalement un calorimètre à balayage différentiel (DSC) et un double fil chaud pour mesurer C_p les nanofluides.

Plusieurs modèles prédisent les valeurs thermiques spécifiques des nanofluides à différentes conditions. Un modèle était basé sur un mélange de liquide et de particules et a été introduit par Pak et Cho [41]

$$C_{nf} = (1 - \varphi_v) C_{bf} + \varphi_v C_p, \quad 1.7$$

Où «*c*» est pour la chaleur spécifique, «*nf*» est le nanofluid, φ_v est la fraction volumique de la nanoparticule, et «*bf*» et «*p*» représentent respectivement le fluide de base et la nanoparticule. Certains chercheurs ont proposé une corrélation qui était une modification du modèle précédent et était basée sur l'équilibre thermique des nanoparticules et du fluide de base [42]

$$\begin{aligned} (\rho C)_{nf} &= (1 - \varphi_v) (\rho C)_f + \varphi_v (\rho C)_p, \\ \rho_{nf} &= (1 - \varphi_v) \rho_f + \varphi_v (\rho_p), \end{aligned} \quad 1.8$$

1-6-3-2- Conductivité thermique (*k*)

La conductivité thermique «*k*» est la vitesse à laquelle un matériau passe la chaleur. Il est un facteur majeur en augmentant l'efficacité de nanofluid dans le transfert de chaleur et les chercheurs l'ont étudié intensivement. Le taux de transfert de chaleur à travers les solides est beaucoup plus élevé que celui à travers les liquides et les gaz ; c'est pour cette raison que les nanofluids ont des valeurs «*k*» plus élevées par rapport à leurs fluides de base. Il existe plusieurs méthodes pour mesurer la conductivité thermique d'un matériau, mais la méthode la plus courante est la méthode de fil chaud transitoire.

1-6-4- caractéristiques de transfert thermique

Toutes les propriétés précédentes affectent et déterminent le taux de transfert de chaleur du nanofluid. Cependant, il est important de noter que la concentration en volume et la température sont des facteurs majeurs dans toutes ces propriétés ainsi que les caractéristiques de transfert de chaleur.

1-6-4-1- Coefficient de transfert de chaleur et nombre de Nusselt

L'objectif principal de l'utilisation de nanofluids est d'augmenter le taux de transfert de chaleur afin qu'il puisse être appliqué dans des applications de transfert de chaleur. Des études ont démontré que l'ajout de nanoparticules aux fluides de base entraînerait un nanofluid avec un coefficient de transfert thermique plus élevé par rapport au fluide de base. Une étude a comparé le nanofluid Al₂O₃ à base d'eau avec de l'eau pure ; le coefficient de transfert de chaleur et le nombre de Nusselt ont tous deux augmenté de 399,15 W/m² K et 367,8 à 700 W/m² K et 587, respectivement [43].

CuO à base d'huile a également montré une augmentation de 12,7% du coefficient de transfert de chaleur par rapport à l'huile à une concentration volumique de 0,2% lorsqu'il est utilisé dans un échangeur de chaleur à plaques. De même, une autre étude dans un échangeur de chaleur à plaques a rapporté des améliorations de 42% et 50% des coefficients de transfert de chaleur pour les nanofluids d'oxyde d'aluminium et de nanotubes de carbone, respectivement [44]. Plusieurs corrélations ont été faites afin de calculer le nombre de Nusselt et le coefficient de transfert de chaleur,

1-7- Conclusion

La technologie de réflecteurs cylindro-paraboliques est la plus fréquente. Actuellement, elle est utilisée par les plus puissantes centrales solaires au monde. L'utilisation des concentrateurs cylindro-parabolique est particulièrement intéressante, puisque ces concentrateurs qui sont très développées dans les dernières années, notamment pour la production de la vapeur surchauffée pour alimenter des turbines à vapeur qui peuvent servir à assurer l'énergie nécessaire au fonctionnement des installations. L'amélioration du transfert de chaleur est l'objet principal de plusieurs travaux scientifiques, un grand nombre de chercheurs ont mené une multitude d'essais numériques et expérimentaux portant sur la description des phénomènes gérant le transfert thermique dans le tube absorbeur, l'effet de la nature des systèmes dans lesquels elle a lieu (géométrie spécialement), et les propriétés des fluides caloporteurs impliqués (propriétés physico-chimiques).

Moyens d'améliorer le transport thermique tels que l'ingénierie modifiée

Pour tube d'absorption par insertion d'ailettes, tuyau concentrique, ou par suspension

Additifs dans le liquide de refroidissement tels que les particules solides ou les lampes à gaz.

Autres techniques utilisant des forces externes, des jets artificiels et de la puissance

Électrique, vibrations. Les scientifiques solaires travaillent actuellement sur la deuxième génération de centrales solaires avec des universités cylindriques équivalentes

CHAPITRE 1 : Généralités sur les concentrateur cylindro-paraboliques (PTC) et nanofluids

En utilisant la technique d'intégration des nanoparticules avec les moyens qui sont notre sujet

Étudier, cibler et atteindre des températures plus élevées, permettant une augmentation

Centrales solaires concentrées efficaces

CHAPITRE 2

Modélisation optiques et numériques

2-1-INTRODUCTION

Les concentrateurs à cylindro parabolique sont la technologie la plus utilisée dans les grandes centrales solaires thermodynamiques pour la production d'électricité. Le miroir concentrateur est un cylindre à section parabolique et n'a qu'une seule direction de courbure. La concentration s'effectue sur la ligne où est placé le récepteur tubulaire dans lequel circule le fluide caloporteur (eau ou huile) qui peut être chauffé jusqu'à 450 °C. L'analyse optique et thermique de ces collecteurs est très importante pour le calcul des pertes optiques et thermiques, Ce chapitre débute par une description de la Caractéristique géométrie réflexion lumineuse de CCP, et avoir aussi une modélisation mathématique sur sa tube absorbeur qui positionnée au le linge focal du CCP.

La simulation numérique des systèmes thermiques présents de nombreux avantages dont les plus importants sont les suivants :

1. Éliminer la charge de la construction des prototypes.
2. Fournir une compréhension approfondie du fonctionnement du système.
3. La possibilité d'optimiser les composants du système.
4. Estimer le montant de la prestation de l'énergie du système.
5. Calculer la variation de la température des composants du système.
6. Estimer la performance d'un système dans des conditions météorologiques quelconques.

La première étape de la simulation numérique d'un système physique est la modélisation mathématique. La modélisation est l'art ou la science de représenter une réalité physique en des modèles abstraites accessibles à l'analyse et au calcul. Le modèle n'est qu'une approximation du système, il est conditionné par l'objectif de l'étude. La simulation numérique est le processus qui permet de calculer sur ordinateur les solutions de ces modèles, et donc de simuler la réalité physique. On distingue classiquement cinq phases différentes dans la simulation d'un système physique :

1. Recherche d'un modèle mathématique représentant la physique (mise en équation).
2. Elaboration d'un maillage (discrétisation des équations de la physique).

CHAPITRE 2 : Modélisation optique et numériques

3. Résolution des équations discrètes.
4. Traduction informatique et programmation des relations discrètes.
5. Simulation numérique et exploitation des résultats.

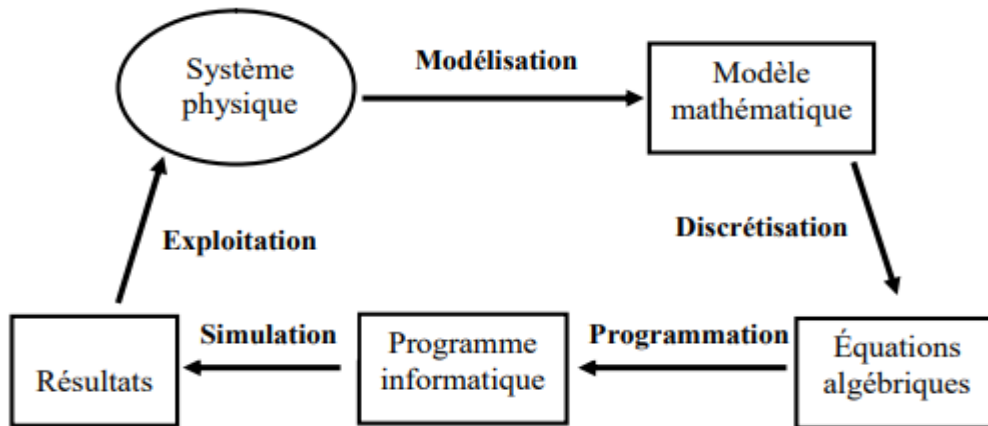


Figure.2.1. Méthodologie d'une simulation

La simulation généralement n'est pas une technique d'optimisation au sens propre. Elle ne peut qu'établir les performances d'une solution conçue et imaginée par l'utilisateur. C'est une technique qui ne propose pas de solution finale mais qui permet seulement à l'utilisateur d'envisager des choix possibles. En tout état de cause, c'est lui qui devra décider de ce qui répond le mieux aux problèmes posés.

2-2- Estimation du rayonnement solaire et température ambiante :

2-2-1- Introduction :

L'Algérie est un pays situé au nord de l'Afrique sur la côte méditerranéenne avec une superficie totale de 2 381 741 kilomètres carrés. L'Algérie est le dixième plus grand pays du monde et le plus grand d'Afrique et de la Méditerranée. Le pays est bordé au nord-est par la Tunisie, à l'est par la Libye, à l'ouest par le Maroc, au sud-ouest par le Sahara occidental, la Mauritanie et le Mali, au sud-est par le Niger et au nord par la mer Méditerranée, comme indiqué. L'Algérie est divisée topographiquement en trois régions principales qui s'étendent généralement d'est en ouest. Le premier est le Tell, qui est la région côtière méditerranéenne. La seconde est constituée des Hauts

CHAPITRE 2 : Modélisation optique et numériques

Plateaux, plus à l'intérieur des terres et assez homogènes, jusqu'à la troisième région, le Sahara, qui couvre près de 80 % du territoire algérien. Voir la figure (2.2).



Figure 2.2. Carte de l'Algérie

2-2-2- Rayonnement solaire avec le logiciel PVSYSY :

2-2-2-1- Logiciel PVsyst :

PVsyst a été sélectionné comme logiciel de simulation, car il s'agit d'un outil puissant pour étudier, dimensionner et analyser les données d'un système PV. Il contient des bases de données de données météorologiques et de composants de systèmes photovoltaïques de plusieurs fabricants. Pour cette étude, la version 6.77 est utilisée. La figure (II.2) montre un aperçu des différentes étapes du fichier de données météorologiques et de la simulation dans PVsyst.

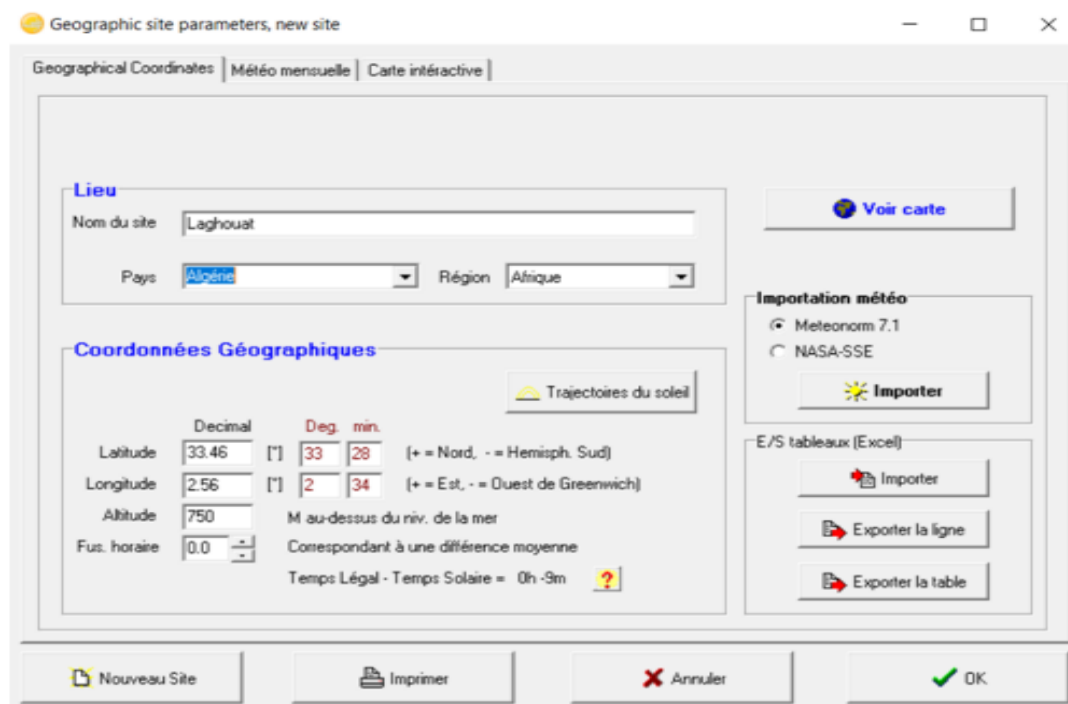


Figure 2.3. Etapes du fichier de données météorologiques dans PVsyst.

CHAPITRE 2 : Modélisation optique et numériques

La situation géographique est indiquée dans le tableau (2.1). Ces coordonnées ont été utilisées pour toutes les données météorologiques et les données spécifiques au site tout au long de l'étude.

Tableau 2.1. Situation géographique de Laghouat (ALGERIE)

Ville	Latitude	Longitude	Altitude
Laghouat	33°46	2° 56	750m

2-2-2-2- Données météorologiques :

Valeurs de densité de flux solaire pour le 21/06/2023 Le tableau ci-dessous Les

Tableau 2.2. Données météo horaires des valeurs de densité de flux solaire pour une journée 21 juin 2023

Temps (h)	Flux(W/m ²)
5	0
6	25
7	226
8	442
9	643
10	813
11	941
12	1013
13	1039
14	1001
15	909
16	767
17	586
18	380

CHAPITRE 2 : Modélisation optique et numériques

19	163
20	0

2-3- Développement d'un modèle mathématique du CCP :

2-3-1- La surface du miroir et la surface d'ouverture :

Pour un DNI (rayonnement normal direct) et position solaire données ; la surface d'ouverture de miroir est calculée comme le produit de la largeur de l'ouverture α et de la longueur du collecteur. Figure (2.4)

$$A_{\alpha} = \alpha \cdot l$$

2.1

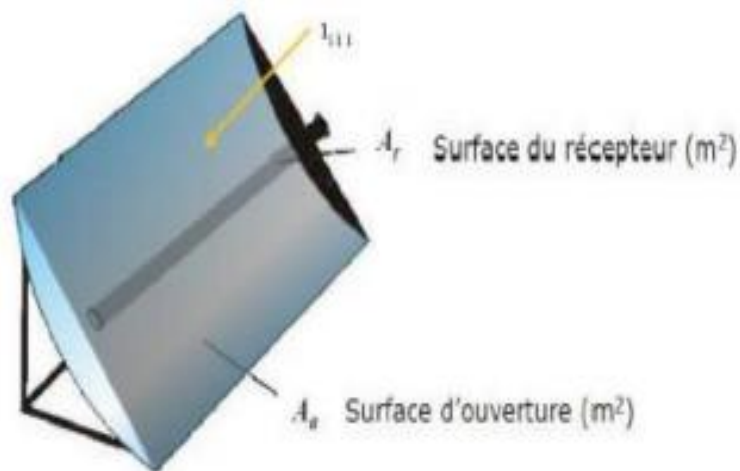


Figure 2.4. Surface d'ouverture du collecteur et Surface d'ouverture du récepteur

La surface d'un cylindro-parabolique peut être importante pour déterminer le besoin de matière pour la fabrication. La surface est calculée comme suite

$$A = \left(\frac{\alpha}{2} \sqrt{1 + \frac{\alpha^2}{16f^2}} + 2 \cdot f \cdot \ln \left(\frac{\alpha}{4f} + \sqrt{1 + \frac{\alpha^2}{16f^2}} \right) \right) \cdot l$$

2.2

CHAPITRE 2 : Modélisation optique et numériques

2-3-2- La concentration :

Le taux de concentration est l'un des paramètres principaux du collecteur, il est décisif pour les températures de fonctionnement possible de la centrale cylindro parabolique. Le rapport de concentration C est défini comme le rapport de la densité de flux radiant à la ligne focale G_{lm} , à l'éclairement direct à l'ouverture du collecteur, G_a

$$C = \frac{G_{lm}}{G_a}$$

Aussi, Il existe un moyen simple de spécifier le taux de concentration sans le mesurer qui est la concentration géométrique. Elle est définie comme le rapport de la surface de collecteur sur la surface du récepteur :

$$C_G = \frac{A_a}{A_r} \quad 2.4$$

Comme il est illustré sur la figure précédente, concernant la surface du collecteur, elle est plus claire à compter que la surface du récepteur. Dans de nombreux cas, la surface projetée du tube absorbeur est choisie. Dans ce cas, la surface d'ouverture du récepteur est un rectangle avec de surface $d \cdot l$.

Alors, la concentration géométrique est donné par :

$$C_G = \frac{a \cdot l}{d \cdot l} = \frac{a}{d} \quad 2.5$$

Dans les concertateurs cylindro paraboliques réels ; on prend la surface d'ouverture de récepteur c'est la surface du tube absorbeur :

$$C_G = \frac{a \cdot l}{\pi \cdot d \cdot l} = \frac{a}{\pi \cdot d} \quad 2.6$$

Cette définition mène à un taux de concentration géométrique faible. Donc, le taux de concentration selon la surface projetée du tube absorbeur est pratiquement le plus utilisé.

CHAPITRE 2 : Modélisation optique et numériques

2-3-3- Les paramètres géométriques :

Les quatre paramètres suivants sont utilisés pour caractériser la forme et la taille d'un cylindro-parabolique : la longueur de cylindro-parabolique, la distance focale, la largeur de l'ouverture et l'angle d'ouverture. Figure [2.5].

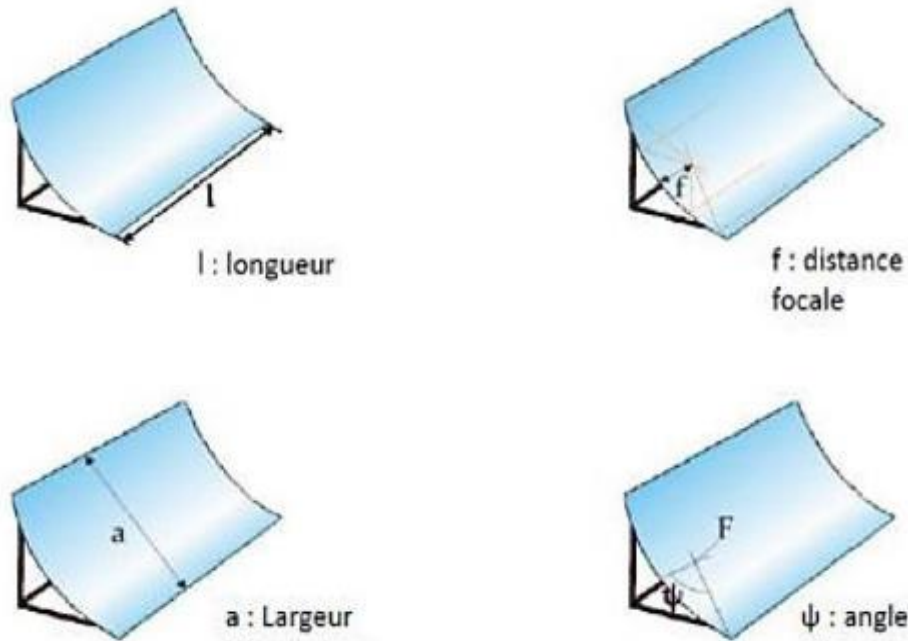


Figure 2.5. Les paramètres géométriques d'un cylindro parabolique.

La longueur de cylindro parabolique : c'est la longueur du miroir, elle peut atteindre les La **distance focale :** C'est la distance entre le point focale et la courbe de la parabole. La focale de la parabole (f ou F) est le paramètre qui décrit la forme de la parabole. Figure (2.6). L'équation de parabole est :

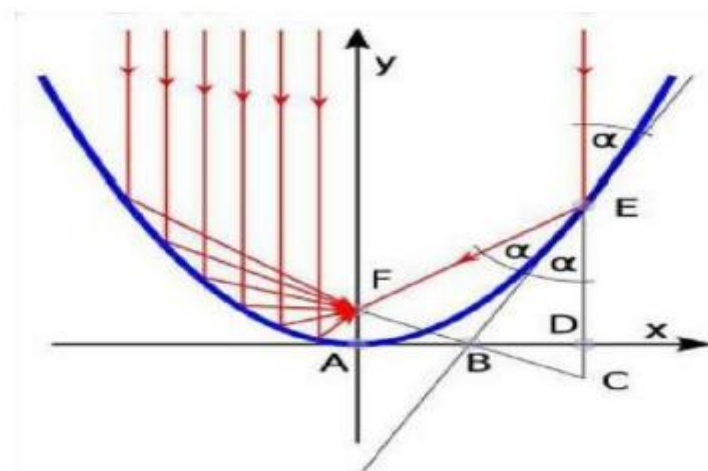


Figure. 2.6. Chemin des rayons parallèles dans un miroir parabolique

CHAPITRE 2 : Modélisation optique et numériques

Une preuve de l'existence d'un point focal est présentée en Figure (2.6) Une représentation analytique appropriée d'une parabole est :

Où f est la distance focale, c'est-à-dire la distance entre le sommet de la parabole et le point focal.

2-3-4- Les L'angle d'ouverture (ψ) :

C'est l'angle au point focal entre l'axe optique (Y) et le segment reliant le point focal au bord du miroir. Deux des trois paramètres de l'angle d'ouverture, de la largeur d'ouverture et de la distance focale sont suffisants pour déterminer complètement la section transversale d'un cylindre-parabolique, c'est-à-dire la forme et la taille. Cela signifie également que deux d'entre eux sont suffisants pour calculer le troisième. ψ Peut être exprimée en fonction du rapport entre la largeur d'ouverture et la distance focale :

$$\tan \psi = \frac{a}{f} \quad 2.7$$

Aussi le rapport de la largeur de l'ouverture à la focale peut être exprimé en fonction de l'angle d'ouverture :

$$\frac{a}{f} = -\frac{4}{\tan \psi} + \sqrt{\frac{16}{\tan^2 \psi} + 16} \quad 2.8$$

Le diagramme suivant représente le rapport a/f en fonction de l'angle d'ouverture :

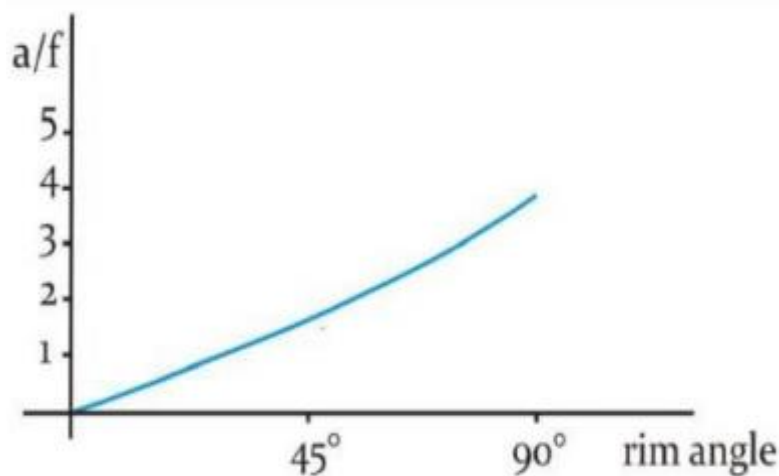


Figure 2.7. Relation entre l'angle d'ouverture et la valeur a/f .

L'angle d'ouverture est lié à la distance entre les différentes parties des miroirs et la ligne focale. En prenant une largeur d'ouverture fixe, la Figure (2.71) représente cette relation.

Il existe un angle d'ouverture optimal qui prend en compte aussi le prix du miroir proportionnel à sa surface. L'angle d'ouverture des cylindro-paraboliques réelles est d'environ 80°.

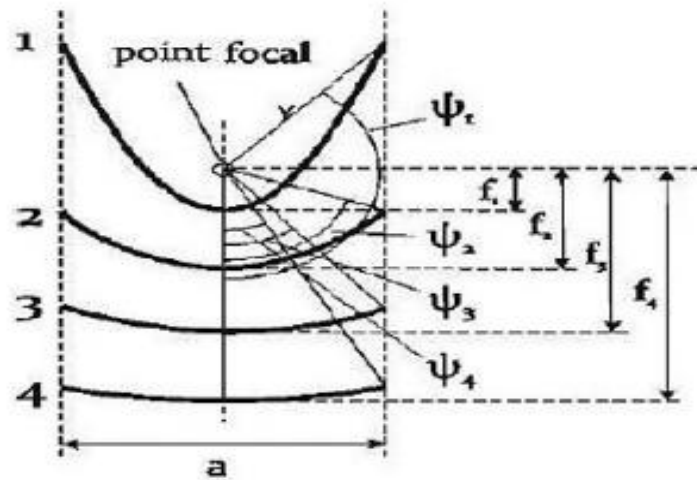


Figure 2.8. Relation entre la focale et l'angle d'ouverture pour une ouverture constante

2-3-5- Tube absorbeur :

Le tube collecteur doit avoir les caractéristiques suivantes : Bonne absorption du rayonnement : son coefficient d'absorption doit être aussi élevé que possible afin d'éviter toute réflexion du rayonnement incident

2-4- Le bilan thermique :

La modélisation est basée sur un bilan énergétique entre les composantes de l'absorbeur. La figure 2.9 et à la figure (2.10). représente les flux de chaleur échangés entre ces composantes dans une section transversale. Le bilan énergétique pour l'enveloppe du verre, le tube absorbeur et le fluide sont considérés indépendamment. Par conséquent, les différents coefficients de transfert de chaleur doivent être connus, et afin de simplifier le modèle, les hypothèses suivantes sont considérées.

CHAPITRE 2 : Modélisation optique et numériques

1. La conduction transversale dans l'absorbeur et l'enveloppe du verre est négligeables.
2. Les pertes par conduction dans les extrémités du tube sont négligeables.
3. La conductivité thermique du tube absorbeur et l'enveloppe de verre sont constants.
4. Fluide incompressible avec un écoulement unidimensionnel.
5. Pression dans le vide entre le tube absorbeur et l'enveloppe du verre.
6. Répartition uniforme du rayonnement solaire dans l'absorbeur

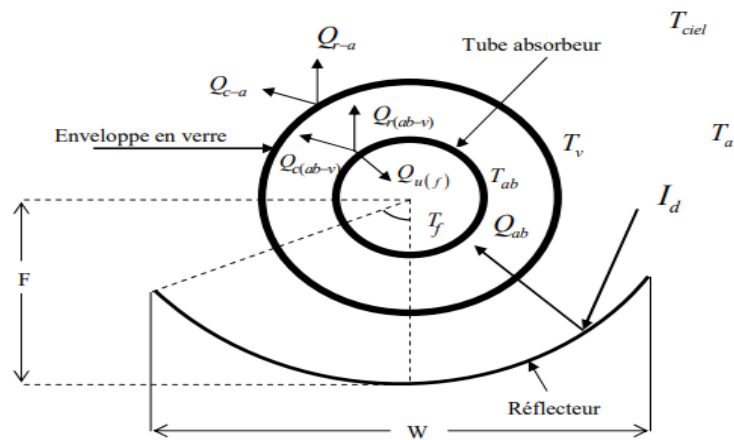


Figure 2.9. Les flux de chaleur échangés dans le CCP

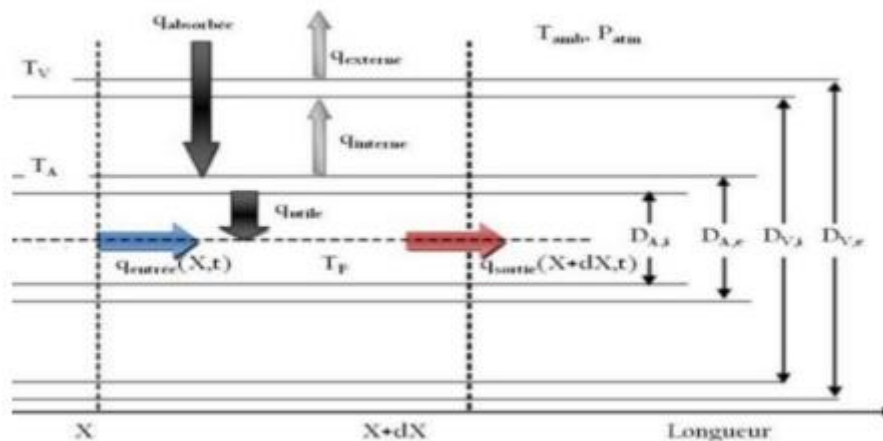


Figure 2.10. Bilan thermique d'un élément de surface du concentrateur cylindro parabolique.

Le bilan thermique de l'enveloppe du verre peut être écrit comme suit :

Augmentation de l'énergie interne = l'énergie solaire absorbée + diffusion thermique + perte interne - perte externe

CHAPITRE 2 : Modélisation optique et numériques

$$m_v C_p \frac{\partial T_v}{\partial t} = Q_v + Q_{v(diff)} + Q_{int} - Q_{ext} \quad 2.9$$

$$(A_v \rho_v C_v) \frac{\partial T_v}{\partial t} = W I_d \rho_0 \alpha_v \gamma K + A_v k_v \frac{\partial^2 T_v}{\partial x^2} + \pi D_{ab(ext)} h_{(int)} (T_{ab} - T_v) - \pi D_{v(ext)} [h_{c(ext)} (T_v - T_a) + h_{r(ext)} (T_v - T_{ciel})] \quad 2.10$$

Avec :
$$A_v = \frac{\pi (L_{v(ext)}^2 - D_{v(int)}^2)}{4}$$

» Pour le tube absorbeur le bilan thermique s'écrit :

Augmentation de l'énergie interne = l'énergie solaire absorbée + diffusion thermique - perte interne - l'énergie utile

$$m_{ab} C_{ab} \frac{\partial T_{ab}}{\partial t} = Q_{ab} + Q_{ab(diff)} - Q_{int} - Q_u \quad 2.11$$

$$(A_{ab} \rho_{ab} C_{ab}) \frac{\partial T_{ab}}{\partial t} = W I_d \rho_0 \alpha_v \gamma K + A_{ab} k_{ab} \frac{\partial^2 T_{ab}}{\partial x^2} - \pi D_{ab(ext)} h_{(int)} (T_{ab} - T_v) - \pi D_{ab(int)} h_u (T_{ab} - T_f) \quad 2.12$$

Avec :
$$A_{ab} = \frac{\pi (L_{ab(ext)}^2 - D_{ab(int)}^2)}{4}$$

» Et le bilan thermique sur le fluide est représenté par l'équation suivante :

Augmentation de l'énergie interne + la chaleur convertie par le mouvement du fluide = diffusion thermique + l'énergie utile.

$$m_f C_f \frac{\partial T_f}{\partial t} + Q_f = Q_{f(diff)} + Q_u \quad 2.13$$

$$(A_f \rho_f C_f) \frac{\partial T_f}{\partial t} + \dot{m}_f C_p \frac{\partial T_f}{\partial x} = A_f k_f \frac{\partial^2 T_f}{\partial x^2} + \pi D_{ab(int)} h_u (T_{ab} - T_f) \quad 2.14$$

Avec :
$$A_f = \frac{\pi D_{ab(int)}^2}{4}$$

$$\dot{m}_f = A_f \rho_f U_f$$

CHAPITRE 2 : Modélisation optique et numériques

Les quantités d'énergies absorbées par l'enveloppe du verre et le tube absorbeur est Calculer par les relations suivantes

$$Q_{\text{absorbée}} = A_0 I_0 \cdot \rho_0 \cdot \alpha_0 \cdot \gamma \cdot K \quad , \quad A_0 = w \cdot L \quad 2.15$$

$$Q_{\text{absorbée (v)}} = A_0 I_0 \cdot \rho_0 \cdot \alpha_v \cdot \gamma \cdot K \quad 2.16$$

α_0 est le coefficient de transmission-absorption, la quantité d'énergie absorbée par le tube absorbeur et transmise au fluide caloporteur dépend de deux coefficients, la transmittance de l'enveloppe du verre et l'absorption de tube absorbeur. La figure 2.11 montre les quantités d'énergies perdues et transmises à chaque transmission-réflexion par un rayon incident sur l'absorbeur d'un concentrateur cylindro-parabolique

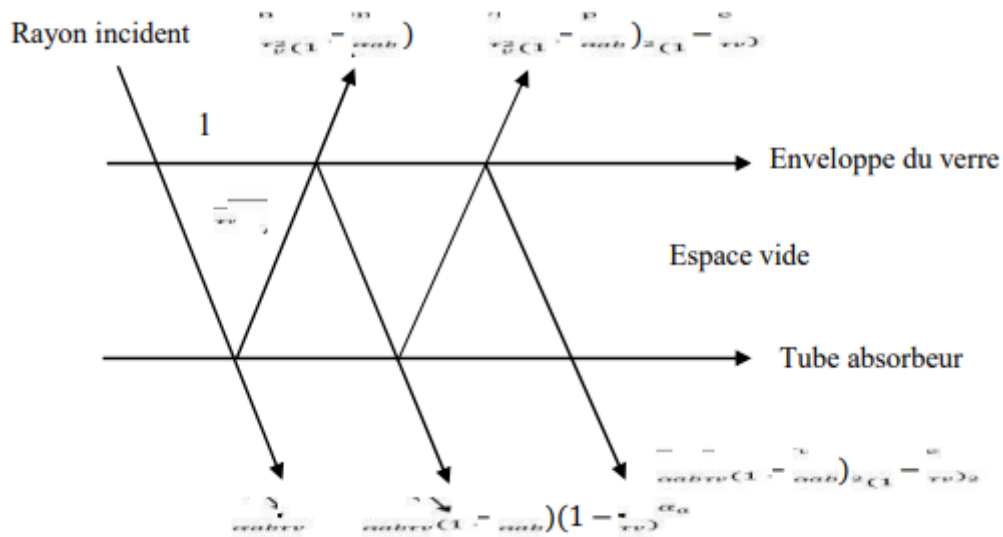


Figure.2.11. Parcours d'un rayon lors de transmissions et de réflexions successives

La quantité finale de l'énergie transmise au tube absorbeur est une série géométrique infinie de raison $(1-\alpha_{ab}) \cdot (1-\tau_v)$, le coefficient de transmission-absorption égale à :

$$\alpha_0 = (\alpha_{ab} \tau_v) \sum_{i=0}^{i=\infty} (1 - \alpha_{ab})^i (1 - \tau_v)^i = \frac{(\alpha_{ab} \tau_v)}{1 - (1 - \alpha_{ab})(1 - \tau_v)} \quad 2.17$$

K représente l'angle d'incidence modifié d'après

$$K = 1 - 0.00384(\theta) - 0.000143(\theta)^2 \quad 2.18$$

CHAPITRE 2 : Modélisation optique et numériques

2-4-1- Entre l'absorbteur et l'enveloppe en verre :

Augmentation de l'énergie interne = l'énergie solaire absorbée + diffusion thermique
perte interne – l'énergie utile.

$$m_a C_a \frac{\partial T_a(x,t)}{\partial t} = Q_{\text{absorbée}} + Q_{\text{diffus}} + Q_{\text{interieur}} - Q_{\text{utile}}$$
$$Q_{\text{diffus}} = A_{\text{abs}} K_{\text{abs}} \frac{\partial^2 T_{\text{abs}}}{\partial x^2}$$
$$A_{\text{abs}} = \frac{\pi(D_{\text{abs}}^2(\text{ext}) - D_{\text{abs}}^2(\text{int}))}{4}$$
2.19

2-4-2- Entre l'enveloppe du verre et l'environnement :

Augmentation de l'énergie interne = l'énergie solaire absorbée + diffusion thermique +
Perte interne - perte externe

$$m_v C_v \frac{\partial T_v(x,t)}{\partial t} = Q_{\text{absorbée}(v)} + Q_{\text{diffus}} + Q_{\text{interieur}} - Q_{\text{extérieur}}$$
$$Q_{\text{diffus}} = A_v K_v \frac{\partial^2 T_v}{\partial x^2}$$
$$A_v = \frac{\pi(D_v^2(\text{ext}) - D_v^2(\text{int}))}{4}$$
2.20

2-5- Conclusion :

On a présenté dans ce chapitre un aperçu général sur les concentrateurs solaires cylindro-parabolique, en mettant l'accent sur leurs paramètres optiques, thermiques et géométriques. Des concepts tels que l'ouverture angulaire, l'ouverture relative, la précision de la focalisation et l'efficacité optique ont été discutés, mettant en évidence l'importance de la conception précise des réflecteurs paraboliques pour maximiser la collecte de l'énergie solaire. Les paramètres thermiques ont également été abordés, notamment la capacité du tube absorbant à absorber et à transférer la chaleur générée par le rayonnement solaire concentré. Les caractéristiques thermiques telles que la conductivité thermique, la capacité thermique et les pertes thermiques ont été analysées, soulignant l'importance du choix des matériaux et de la conception des tubes absorbants pour optimiser l'efficacité thermique du système.

CHAPITRE 3

Étude analytique et numérique

3-1- Introduction

Ce chapitre est une simulation du transfert de chaleur et de l'écoulement de liquide couplé dans le tube absorbant d'un prototype de CCP. Test des modes de machette de CCP (Algérie). L'étude a été menée en utilisant un onduleur secondaire pour augmenter le ratio de concentration en ingénierie. L'onduleur aide le secondaire à répartir le flux d'énergie de manière uniforme autour du tube. C'est tout.

Une distribution uniforme peut aider à réduire les pertes de réflexion et de rayonnement. Analyse des récepteurs CCP en utilisant des distributions uniformes sur la surface du tube absorbant. La méthode Monte Carlo est utilisée dans Sol Trace pour calculer la distribution du flux dans chaque cas. Équations de flux de fluide et résolution du problème de transfert de chaleur dans le système en utilisant le logiciel CFD ANSYS-CFX en utilisant l'eau comme base en ajoutant 3 concentrations différentes de nanoparticules

3-2- Collecteur à cylindro-parabolique contrôlé avec réflecteur secondaire

3-2-1- Matériels et méthodes :

Matériels et méthodes : Le CCP est un système focalisé en ligne qui utilise un réflecteur parabolique pour focaliser le rayonnement solaire sur un récepteur linéaire. Le réflecteur est l'une des parties vitales du CCP car il décide quelle partie du rayonnement solaire sera collectée par le tube absorbeur. Le système considéré dans ce travail est un prototype de longueur 1m et une superficie de 1 m²

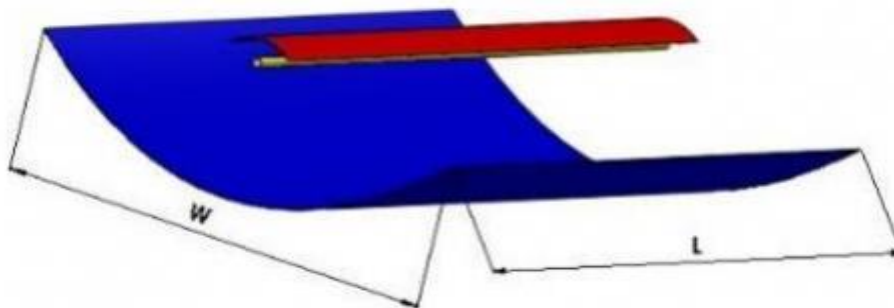


Figure 3.1. Module CCP avec réflecteur secondaire

Nous avons introduit un réflecteur secondaire, qui a une forme cylindrique parabolique, qui a été réalisé en suivant les mêmes étapes que le réflecteur principal

CHAPITRE 3 : Etude analytique et numérique

avec une différence de hauteur (voir Figure 3.1). Le CCP dispose d'un système de suivi à axe unique, d'est en ouest et est positionné dans une direction sud-nord

La concentration d'énergie est mesurée par un coefficient dit de concentration géométrique défini par le rapport de l'ouverture du collecteur A_a et de la surface du récepteur A_{abs} :

$$C = \frac{A_a}{A_{abs}} \quad 3.1$$

3-2-2-Représentation schématique

La Figure (3.2.2) montre le modèle thermique proposé d'un condenseur solaire parabolique cylindrique avec un réflecteur secondaire. Les paramètres géométriques du collecteur cylindro-parabolique et du tube absorbeur pour cette étude sont présentés dans la figure (3.2). La figure (3.3) représente le schéma d'un tube absorbeur

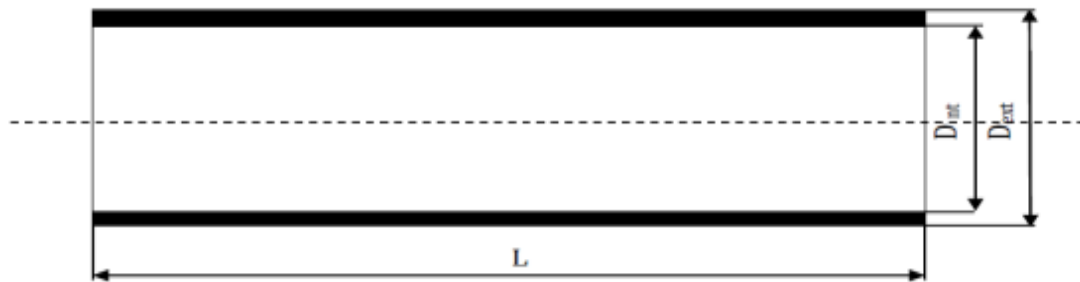


Figure 3.2. Schéma d'un tube absorbeur

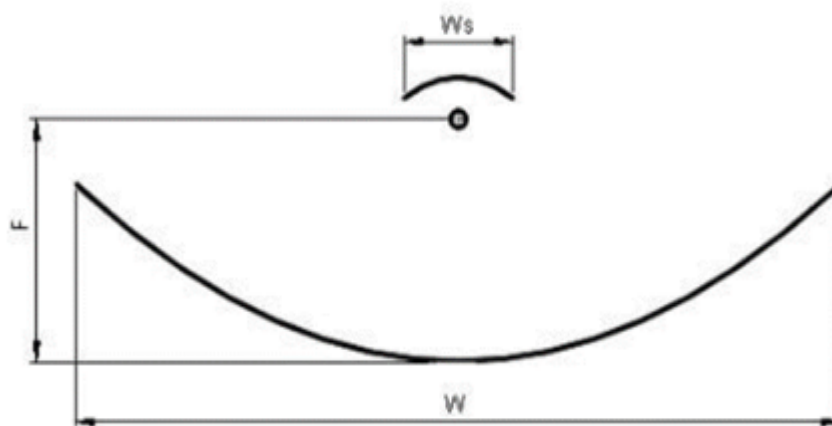


Figure 3.3. Schéma d'un CCP avec réflecteur secondaire

CHAPITRE 3 : Etude analytique et numérique

3-3- Etude Optique:

La modélisation optique a été effectuée à l'aide du logiciel Sol Trace. Le système optique du concentrateur, considéré dans notre étude est composé de la surface réfléchissante du concentrateur et de l'absorbeur et réflecteur secondaire. Le tableau (3 .1) présente les paramètres géométriques du collecteur.

Tableau 3.1. Les paramètres géométriques du collecteur.

Caractéristique géométrique	Valeur
Diamètre extérieur de l'absorbeur	10 mm
Diamètre intérieur de l'absorbeur	8 mm
Longueur de réflecteur	1 m
Largeur de réflecteur	1 m
Longueur de réflecteur secondaire	1 m
Largeur de réflecteur secondaire	1 m
Hauteur de l'absorbeur	21.33 cm
Hauteur de réflecteur secondaire	28.64 cm

3-3-1- Présentation de Logiciel Sol Trace:

Sol Trace est un logiciel développé au Sein National Renewable Energy Laboratory (NREL) pour modéliser les systèmes d'énergie solaire (CSP) et analyser leurs performances optiques, Ce logiciel utilise la méthode dite de Monte Carlo.

L'utilisateur choisit le nombre de rayons qu'il souhaite lancer depuis le soleil. Le logiciel produit alors de manière aléatoire une série de rayons.

Le principe de base est ensuite de calculer la trajectoire de chaque rayon pour voir comment il interagit avec les différents éléments du système et de pouvoir ainsi déterminer le nombre de rayons qui impactent chaque surface. À toutes les étapes, le logiciel détermine l'angle de réflexion de chaque rayon en fonction de son point d'impact, de son angle d'incidence et de la géométrie de la surface. Cette méthode de calcul reproduit le parcours réel des photons. En utilisant un grand nombre de rayons, elle permet d'avoir des résultats précis même avec des systèmes optiques complexes. Voir la Figure (3.4).

CHAPITRE 3 : Etude analytique et numérique

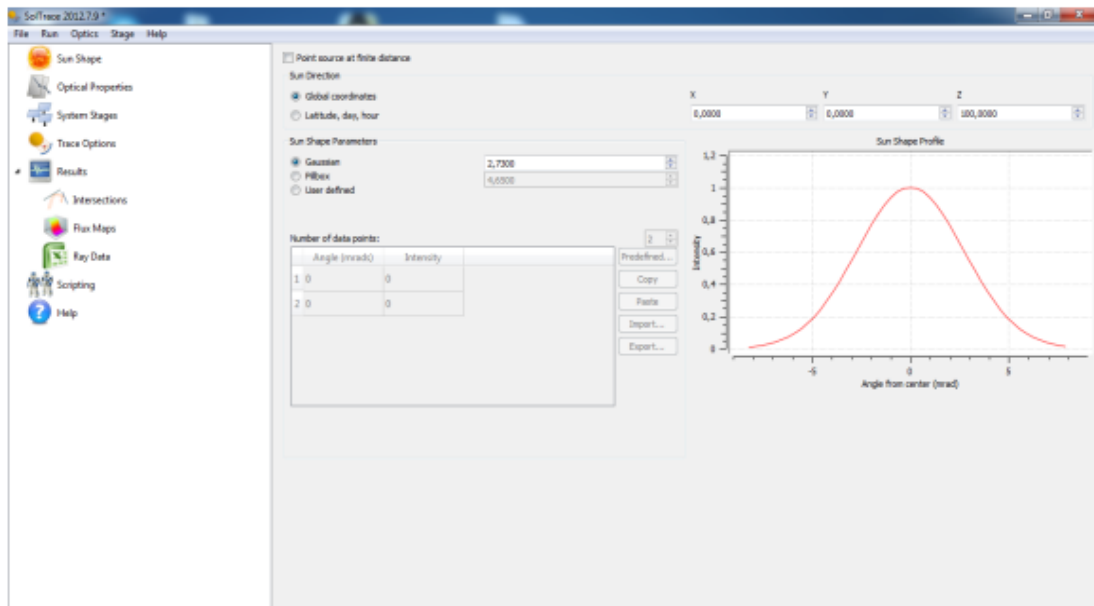


Figure 3.4. Interface de sol trace

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

- Définition de la forme du soleil
- Propriétés optiques du matériel
- Options Ray-trace
- Résultats

Les résultats qui nous avons obtenus sont :

- Le flux solaire collecté par les deux différents composants ; réflecteur et récepteur et réflecteur secondaire
- Intersection des rayons avec le récepteur et réflecteur secondaire, en 3-D Figure (3.5).
- La distribution du flux solaire le long de la paroi extérieure du tube absorbeur en 3D Figure (3.5).
- Le contour de l'intensité de flux le long de la paroi extérieure du tube absorbeur en 2-D.

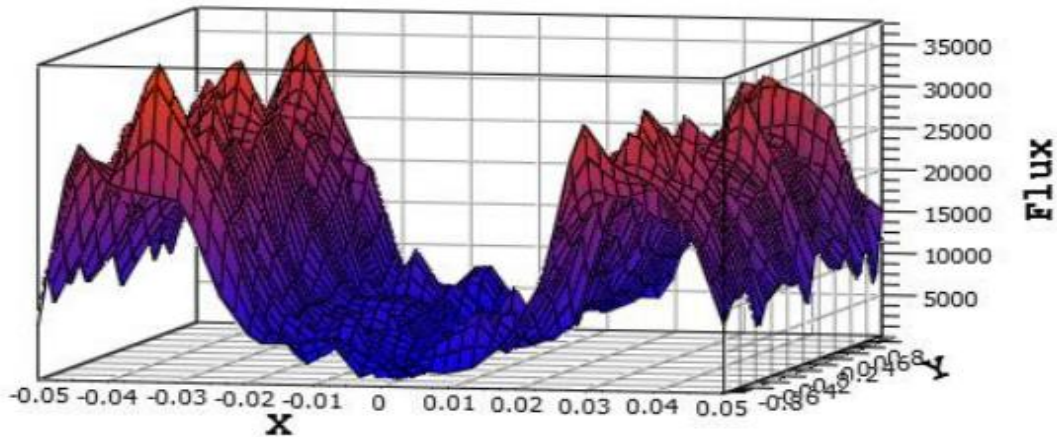


Figure 3.5. Distribution moyenne du flux thermique au niveau de l'absorbeur avec $IND=1000 [W/m^2]$ en 3D

3-3-2- La méthode de Monte Carlo (MMC):

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

3-3-3- Tracé laser:

La répartition du flux de chaleur sur le tube absorbeur est essentielle pour l'analyse du transfert de chaleur. Certaines études ont montré que la répartition du flux de chaleur sur l'absorbeur affecte de manière significative les performances thermiques du récepteur CCP. Dans le présent travail, le programme Sol Trace, qui utilise la méthode Monte Carlo, est utilisé pour calculer la distribution du flux solaire sur le tube absorbeur. Le soleil a été modélisé comme une distribution gaussienne avec un angle conique de 2,73 mrad. Un système de suivi CCP idéal a été supposé où le

CHAPITRE 3 : Etude analytique et numérique

rayonnement naturel direct a été pris comme $1000\text{W}/\text{m}^2$ pour toutes les simulations de lancer de rayons. L'erreur de régression et le reflet dans le miroir ont été considérés comme 3 mrad. Un échantillon de lancer de rayons dans Sol Trace est illustré à la Figure (3.6). La distribution du flux solaire obtenue à partir du lancer de rayons est présentée comme une condition paramétrique dans l'analyse thermique discutée dans la section suivante.

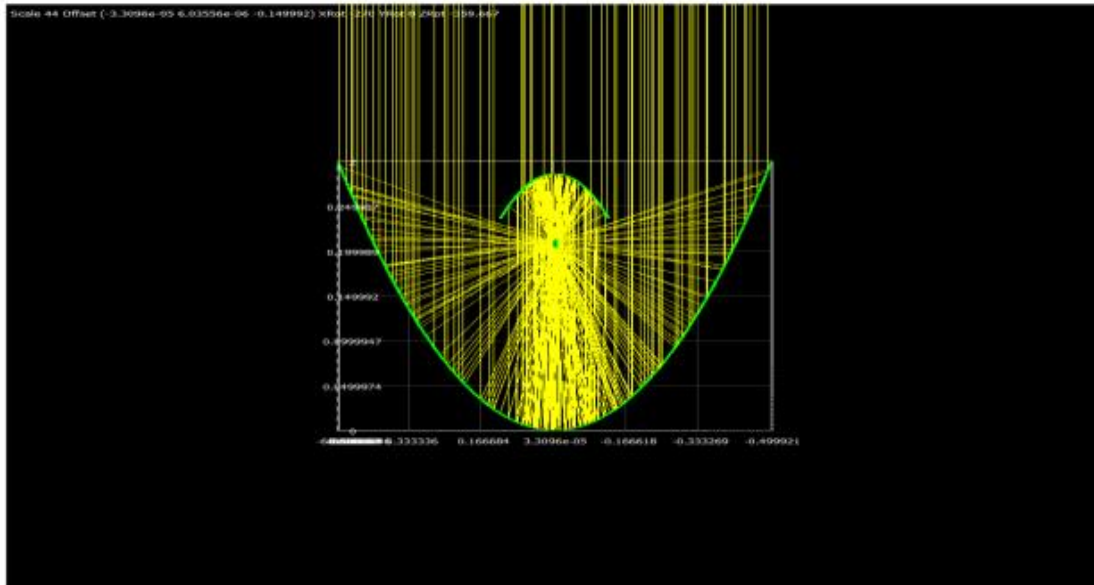


Figure 3.6. Rayons incidents sur l'absorbeur sur l'absorbeur pour avec réflecteur secondaire

Les conditions de simulation sont les suivantes : le matériau de la plaque réfléchissante du collecteur est de l'aluminium avec une réflectivité de 1 ; l'erreur de forme est de 3 mrad ; L'erreur de réflexion spéculaire est de 0,5 mrad. Pour le réflecteur secondaire, la réflectivité du tube collecteur métallique est de 0,05 ; l'erreur de forme est de 0,0001 mrad ; et l'erreur de réflexion spéculaire est de 0,0001 mrad.

3-4- Méthode des volumes finis :

La méthode des Volumes Finis consiste à intégrer, sur des volumes élémentaires, les équations écrites sous forme intégrale. C'est une méthode particulièrement bien adaptée à la discrétisation spatiale des lois de conservation, contrairement aux Eléments Finis, et est ainsi très utilisée en mécanique des fluides. Sa mise en œuvre est simple si les volumes élémentaires ou "volumes de contrôle" sont des rectangles en 2D ou des parallélépipèdes en 3D. Cependant, la méthode des Volumes Finis

CHAPITRE 3 : Etude analytique et numérique

permet d'utiliser des volumes de forme quelconque et donc de traiter des géométries complexes, contrairement aux Différences Finies.

Comme la plupart des codes commercialisés tels que : PHOENICS, STAR-CD, ...etc. Le code ANSYS utilise la méthode des volumes finis pour la modélisation numérique. La technique comprend deux étapes importantes : - Le maillage : il consiste à diviser le domaine en plusieurs intervalles réguliers appelés volumes de contrôle. - La discrétisation : lors de cette étape les équations sont intégrées dans les volumes de contrôle.

3-5- ANSYS CFX :

Ansys Fluent est le logiciel de simulation de fluides leader dans l'industrie, connu pour ses capacités de modélisation physique avancées et sa précision inégalée. Dans un espace de travail personnalisable et intuitif d'Ansys Fluent, nous pouvons utiliser des modèles de physique avancés et analyser une variété de phénomènes de fluides comme la turbulence, le transfert de chaleur, etc. L'objectif de ce cours est d'introduire la dynamique des fluides computationnelle (CFX) et l'interface utilisateur du mode de solution d'Ansys Fluent. Dans la première leçon, nous discuterons de ce qu'est la CFX et de ses applications. Ensuite, nous discuterons du flux de travail et des étapes clés impliquées dans toute simulation CFX. En allant plus loin, nous en apprendrons plus sur le Ansys Fluent Launcher et la personnalisation de la fenêtre Fluent. Plus tard, dans une leçon en deux parties, nous explorerons l'interface utilisateur du mode de solution du logiciel Ansys Fluent. Enfin, nous aurons une courte démonstration présentant le flux de travail à guichet unique d'Ansys Fluent pour effectuer une simulation CFX.

3-5-1- Création de la géométrie :

- Création des points délimitant le domaine.
- Création des cotés en connectant les sommets pour former le domaine.

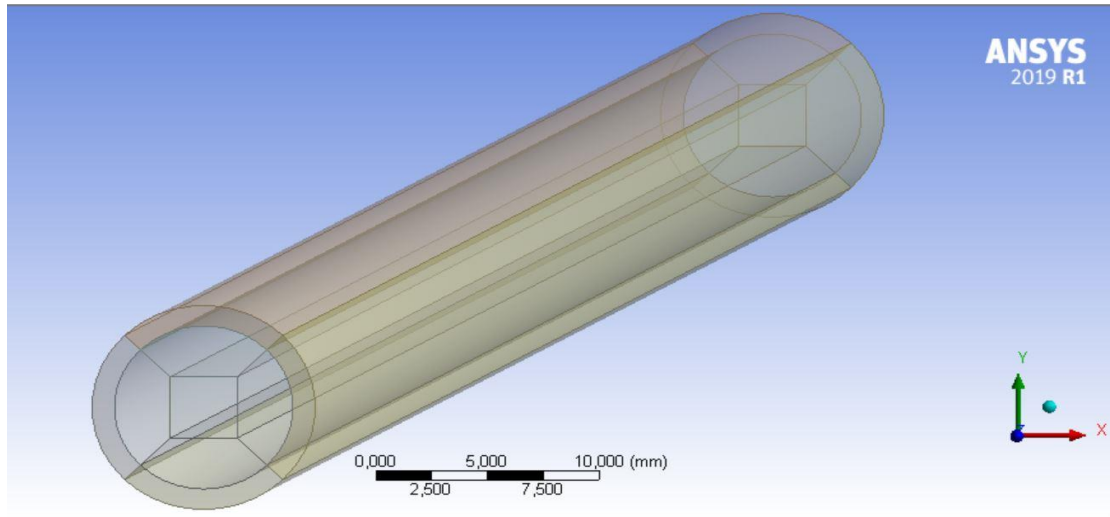


Figure 3.7. Géométrie réalisés par le logiciel ANSYS Design Modeler

La conception d'une géométrie commence par la création des points délimitant le domaine. Les côtés reliant les sommets sont ensuite dessinés pour former le domaine.

3-5-2- Création du maillage:

Le maillage Pour des maillages structurés, on peut faire la liaison entre la géométrie et le maillage, Aussi, avant de réaliser le maillage, il faut spécifier par écrit d'une part la géométrie adoptée pour définir la zone à mailler, d'autre part les numéros des mailles correspondant aux points caractéristiques de la géométrie. Un nœud pourra alors être repéré par ces coordonnées physiques x et y ou indices I et J . Le maillage subdivise le domaine physique en petites cellules qui est en relation entre eux. Chaque cellule est définie par un nœud qui stocke les paramètres des inconnues en fo L'utilisateur doit être définir les limites de la géométrie. Inlet est l'entrée du fluide, Outlet est la sortie, ainsi en définissant, les parois de l'objet.ction des conditions aux limites.

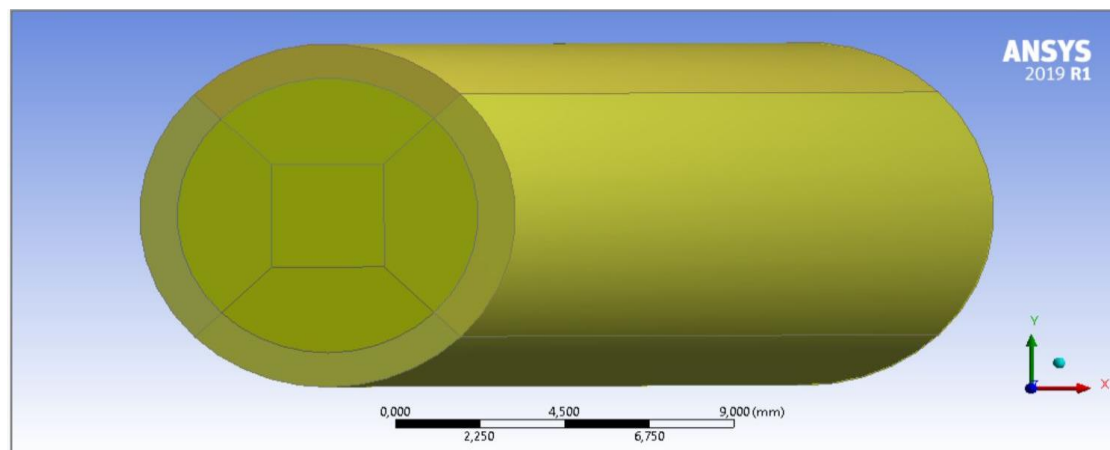


Figure 3.8. Génération des blocs

CHAPITRE 3 : Etude analytique et numérique

Le domaine physique est composé de deux sous-domaines solide et fluide. Pour analyser numériquement cet assemblage, nous utilisons la méthode de la stratégie des blocks dans le générateur de maillage ANSYS-Fluent. Cette technique permet de définir chaque domaine (fluide et solide) dans le solveur. Comme le montre la figure 3.9, deux blocs sont fusionnés. Le bloc structuré représente le domaine solide (tube) et le bloc grid représente le domaine fluide.

» Maillage final :

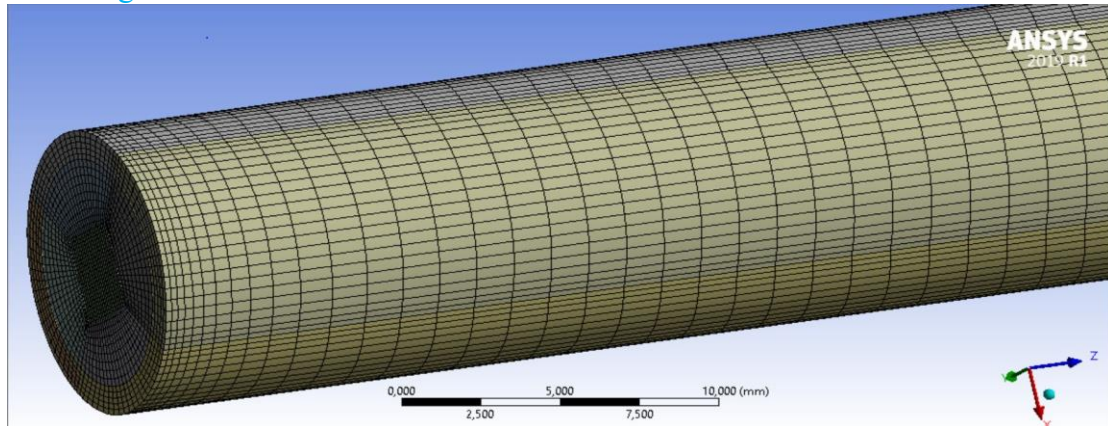


Figure 3.9. Géométrie et maillages réalisés par le logiciel ANSYS-Fluent

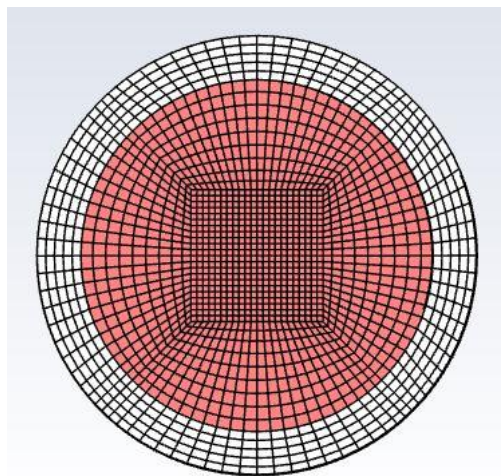


Figure 3.10. Géométrie et maillages réalisés par le logiciel ANSYS Meshing

Une fois toutes les conditions aux limites créées, le maillage va être sauvegardé et exporté pour pouvoir être utilisé par un solveur. Comme on travaille en 3D, il faut bien choisir le maillage 3D et donner un nom au maillage pour pouvoir le retrouver facilement.

3-6- Conditions aux limites :

Pour résoudre un problème transitoire nous devons introduire la solution à l'instant initial ($t = 0$) pour pouvoir démarrer le processus de résolution en temps. Dans notre cas, le domaine solide-fluide est initialisé comme suit : Au temps $t=0s$, on considère que le fluide et le solide sont à la $m^3 T_0$; la vitesse et la pression du fluide sont mises à zéro. Pour résoudre le problème dans l'espace, les conditions aux limites doivent être spécifiées. La figure 3.10 illustre les conditions aux limites appliquées au tube absorbant.

- A l'entrée du tube, un débit massique est imposé.
- A la sortie du tube, un débit massique est imposé.

Le débit massique est choisi afin d'assurer un écoulement laminaire à l'intérieur du tube. Un flux laminaire est déterminé par la condition ($Re < 2000$), où Re est le nombre de Reynolds, donné par l'expression suivante :

$$R_e = \frac{\rho V d_{in}}{\mu} \quad 3.2$$

Où, V est la vitesse moyenne d'écoulement à travers le tube ; μ est la viscosité dynamique du fluide ; et d_{in} est le diamètre interne du tube absorbant.

- Sur la surface latérale du tube, un flux thermique transitoire est imposé en permanence. Cette quantité variant dans le temps, nous avons utilisé des fonctions d'interpolation temporelle (fonctions gaussiennes). Ces fonctions sont implémentées dans le solveur sous forme d'expressions en utilisant le langage CEL.
- Une interface de domaine doit être spécifiée à l'interface solide-fluide.

En plus des conditions initiales et des conditions aux limites, certaines configurations du solveur sont nécessaires. Le modèle laminaire est sélectionné pour résoudre l'écoulement de fluide et le modèle d'énergie thermique est sélectionné pour résoudre le transfert de chaleur conjugué. Le pas de temps choisi est de 15 min, tandis que le temps total de simulation est de 16 heures. La précision du calcul est définie sur 10^{-4}

En termes d'erreur quadratique moyenne (RMSE) pour toutes les variables. Le schéma d'advection est défini sur Haute résolution et la méthode d'Euler

CHAPITRE 3 : Etude analytique et numérique

Vers l'arrière du second ordre est sélectionné pour le schéma transitoire.

Dans ces conditions, le solveur Fluent résout le système d'équations (3) -(5). Le résultat visé est bien entendu la température de l'eau, à la sortie du tube récepteur, en fonction du temps. Les conditions aux limites du flux de chaleur sont implémentées dans le solveur Fluent en utilisant le langage d'expression CFX (CEL).

3-7- Les équations gouvernantes:

L'énergie utile gagnée par le tube absorbeur s'exprime comme suit :

$$\dot{Q}_u = \dot{m}C_p(T_{out} - T_{in}) \quad 3.3$$

Le rendement instantané de CCP est défini comme suit :

$$\eta = \frac{\dot{Q}_u}{IA_s} = \frac{C_p \dot{m}(T_{out} - T_{in})}{IA_s} \quad 3.4$$

Aa est l'aire d'ouverture du miroir parabolique ; I_b (gras)mal organise est l'intensité du rayonnement solaire, m est le débit massique de fluide à travers le tube, et Tin et Tout sont les températures successivement à l'entrée et à la sortie du tube.

Les équations régissant l'écoulement du fluide et le transfert de chaleur conjugué dans le tube absorbant sont donnés comme suit

» L'équation Continuité

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho U) = 0 \quad 3.5$$

» L'équation quantité de mouvement

L'équation de continuité : est simplement une expression mathématique du principe de conservation de la masse. Une équation de continuité générale peut également être écrite sous une forme différentielle. Génie thermique

$$\frac{\partial(\rho U)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U \otimes U) = -\nabla p + \mu \nabla \cdot \nabla U \quad 3.6$$

» L'équation d'énergie

$$\frac{\partial(\rho h)}{\partial t} + \nabla(\rho U h) = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) \quad 3.7$$

CHAPITRE 3 : Etude analytique et numérique

Où, U est le vecteur vitesse, p est la pression du fluide, T est la température et h est l'enthalpie. Notez que l'équation (7) est appliquée pour les deux domaines fluides et solide

Dans la présente étude, nous considérons le cuivre comme matériau du tube absorbeur et l'eau comme fluide de travail. Les propriétés physiques du cuivre et de l'eau sont prédéfinies dans le solveur Fluent.











3-8- Présentation du logiciel ANSYS Fluent

ANSYS Workbench est un outil de gestion de projet. Il peut être considéré comme l'interface de haut niveau reliant tous nos outils logiciels. Le Workbench permet de gérer les fichiers et le lancement des différents logiciels à partir d'une fenêtre unique. Il gère le transfert de données entre Ansys Géométrie / Mesh / Outils de solveur / post traitement, voir Figure 3.11

3-8-1-Créer un système d'analyse fluide Flow 3D

Pour créer un système d'analyse, c'est-à-dire une chaîne de calcul pour une simulation fluide dans un domaine géométrique, les étapes suivantes sont nécessaires voir tableau 3.2 et figure 3.12.

Tableau 3.2. Etapes nécessaires pour une simulation dans ANSYS (Workbench)

2	 Geometry 	CAO – création de la géométrie	ANSYS DesignModeler
3	 Mesh 	Maillage	ANSYS Meshing
4	 Setup 	Mise en données et simulation	ANSYS Fluent
5	 Solution 	Résultats CFD	
6	 Results 	Post-traitement	CFDPost

CHAPITRE 3 : Etude analytique et numérique

♣ **Géométrie/CAO** consiste à dessiner la géométrie du problème

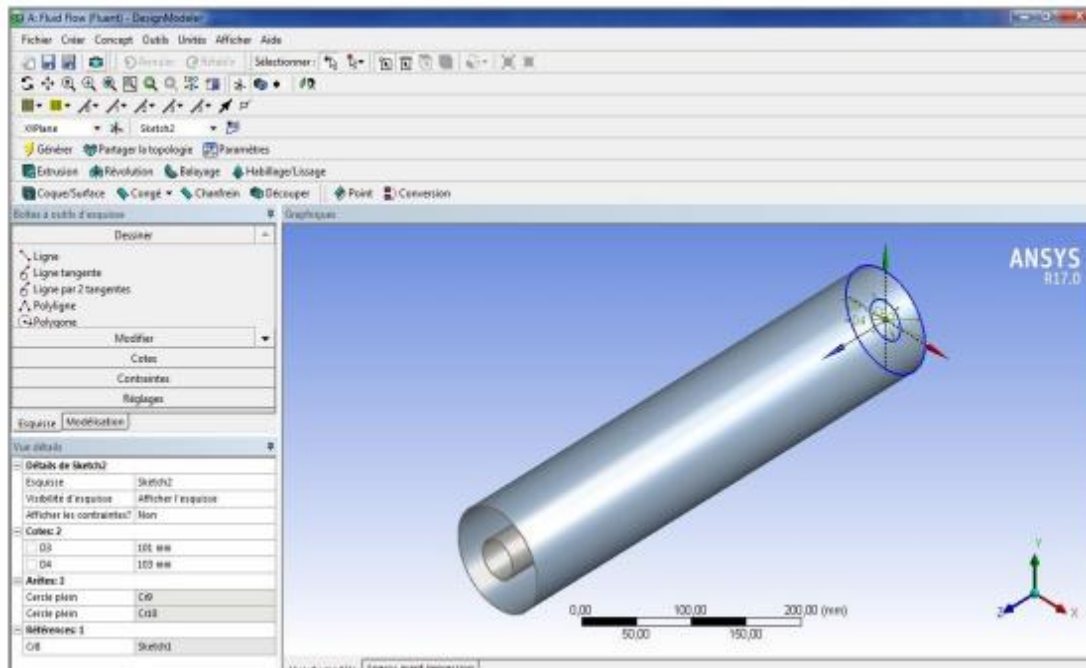


Figure 3.11. Interface Design Modeler (workbench)

- ♣ Maillage discrétisé le domaine, c'est-à-dire le découpé en mailles de calcul.
- ♣ Mise en données et choisir les modèles physiques et les hypothèses adaptées au problème.
- ♣ Résolution numérique, les équations aux dérivées partielles sont résolues par le solveur CFD après avoir discrétisées et mise sous forme algébrique. Cette résolution se fait par un algorithme itératif jusqu'à la convergence.
- ♣ Post-traitement pour visualiser et analyser les résultats.
- ♣ Choix du maillage : Pour une meilleure précision et une meilleure stabilité, nous avons adopté un maillage quadrilatéral structuré à multi blocs, formé de lignes continues à travers le domaine qui suivent au mieux le contour des surfaces définissant la géométrie. Après des tests de précision, un maillage de 84000 cellules a été adopté, voir Figure 3.12

CHAPITRE 3 : Etude analytique et numérique

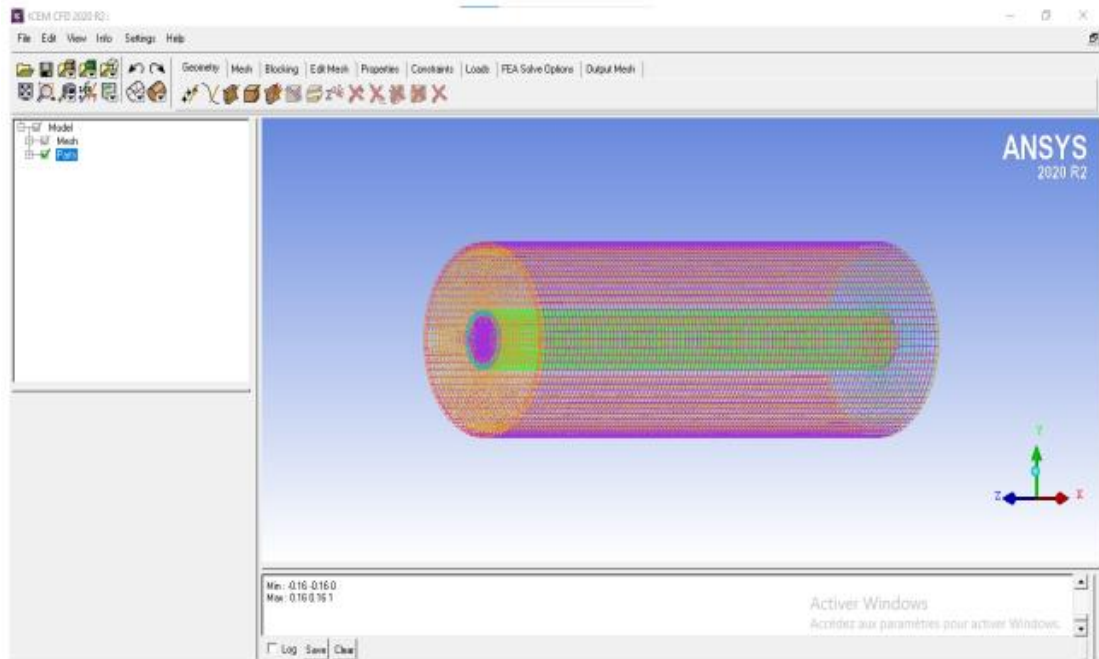


Figure 3.12. Interface ANSYS Meshing

Mise en données : Choisir les modèles physiques et les hypothèses adaptés au problème. Pour effectuer la simulation par ce logiciel, il faut décrire les paramètres de solution comme Tableau 3.3 et Figure 3.13

Tableau 3.3. Mise en données en Fluent

Choix de solveur	<ul style="list-style-type: none"> ♣ Space 3D ♣ Time Transient ♣ Energy (on) ♣ Viscous Laminar
Choix de matériau	Le choix des matériaux utilisés dans notre modèle à partir des listes existantes ; sinon il faut les introduire selon nos besoins
Solver control	Les paramètres de calcul (pour le régime instationnaire : <ul style="list-style-type: none"> ♣ Pas de temps :15 min ♣ Number of Time Steps :60 ♣ Energie: 1 Couplage pression-Vitesse: ♣ Coupled Schéma de discrétisation : ♣ Mouvement (second order-Upwind) ♣ Energie (Second order- Upwind)

CHAPITRE 3 : Etude analytique et numérique

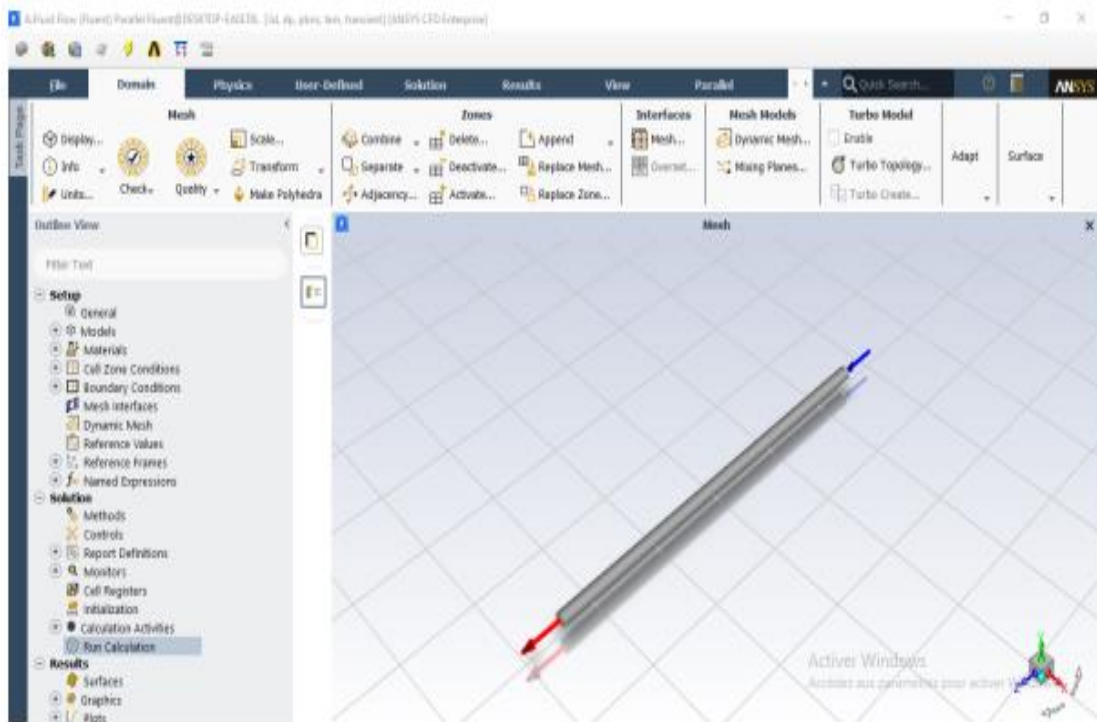


Figure 3.13. Interface ANSYS Fluent

♣ Résolution numérique : Les équations aux dérivées partielles sont résolues

Par le Fluent après avoir discrétisée et mise sous forme algébrique. Cette résolution se fait par un algorithme itératif jusqu'à la convergence, voir Figure 3.14

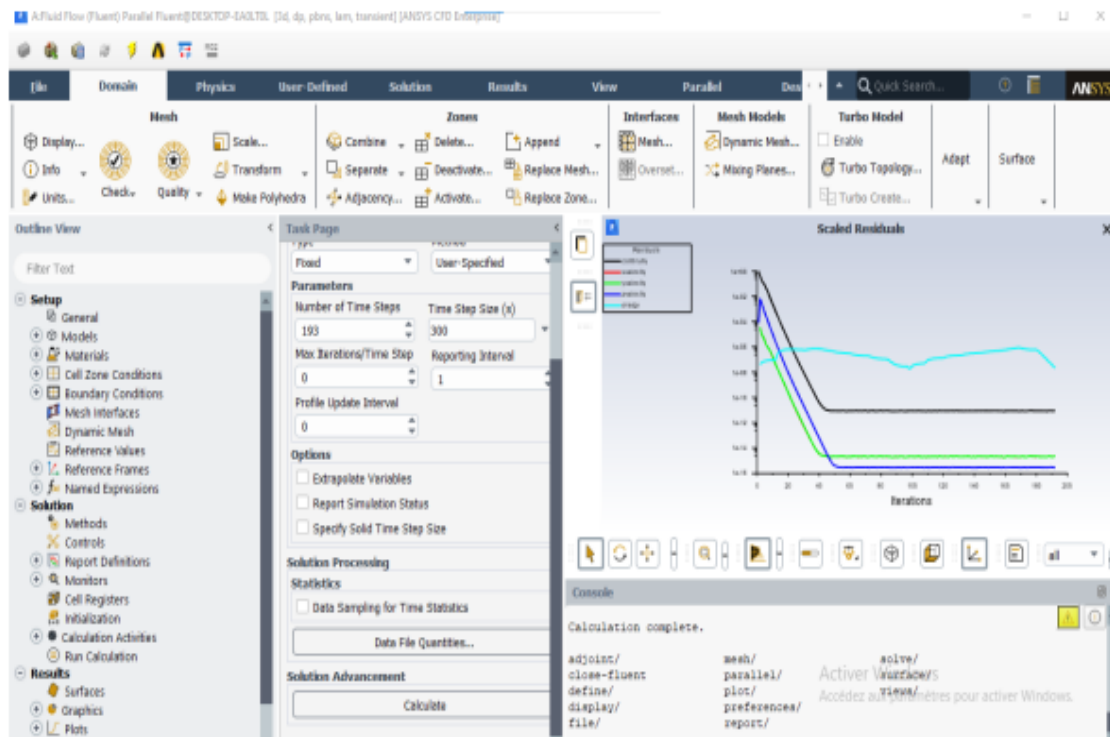


Figure 3.14. Interface Fluent exécution

♣ Post-traitement : Visualiser et analyser les résultats, voir Figure 3.15

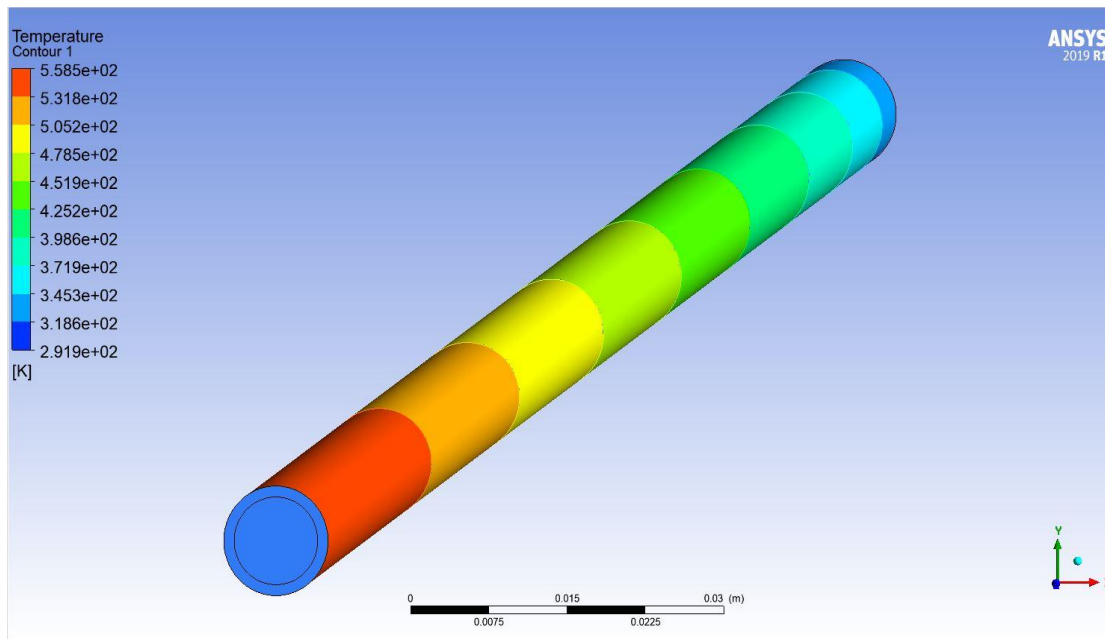


Figure 3.15. Interface graphique du module CFX Post.

3-9- Conclusion

A la fin de ce chapitre, il nous semble utile de rappeler les principales étapes de développement de la modélisation numérique du CCP. Elle s'effectue en deux étapes principales : La répartition du flux de chaleur autour du tube absorbeur, Ceci est établi par la méthode de Monte-Carlo traçage des rayons, qui est une méthode mathématique basée sur des probabilités et qui permet de quantifier le flux solaire concentré reçu à l'absorbeur. Cette méthode est implémentée dans le code Sol Trace. Les valeurs temporelles numériques obtenues du flux de chaleur résultant du rayonnement servent de conditions aux limites pour le Fluent. Afin d'introduire ces valeurs dans le Fluent., elles ont été interpolées par des fonctions gaussiennes. Cela permet d'implémenter la condition aux limites de flux thermique transitoire dans le Fluent en utilisant le langage FEL spécifique à ANSYS-Fluent.

La modélisation numérique du transfert de chaleur conjugué et de l'écoulement du fluide à l'intérieur du tube absorbeur est discrétisée par ce que l'on appelle les « éléments basés sur des volumes finis ».

La principale variable à résoudre est la répartition de la température sur le tube absorbeur et dans le fluide caloporteur à chaque instant.

CHAPITRE4

Résultats et discussions

4-1- Introduction

Dans ce chapitre, nous détaillons les résultats de notre étude sur l'impact des nanoparticules dans le fluide caloporteur sur les performances d'un système PTC équipé d'un réflecteur secondaire. Pour atteindre ces objectifs, nous avons mené une étude de simulation pour évaluer la température du fluide caloporteur à la sortie du tube absorbeur, la quantité d'énergie récupérée et l'efficacité thermique du système. Pour obtenir ces résultats, nous avons d'abord étudié optiquement le système pour déterminer la distribution du flux thermique concentré sur la surface latérale du tube absorbeur. Cette distribution a ensuite été intégrée dans le logiciel ANSYS-Fluent pour déterminer la distribution de température dans le tube. Ces résultats permettent de calculer les performances du système.

4-2- Organigramme de l'étude

L'étude que nous avons réalisée est composée des étapes illustrées dans l'organigramme de la figure 1.

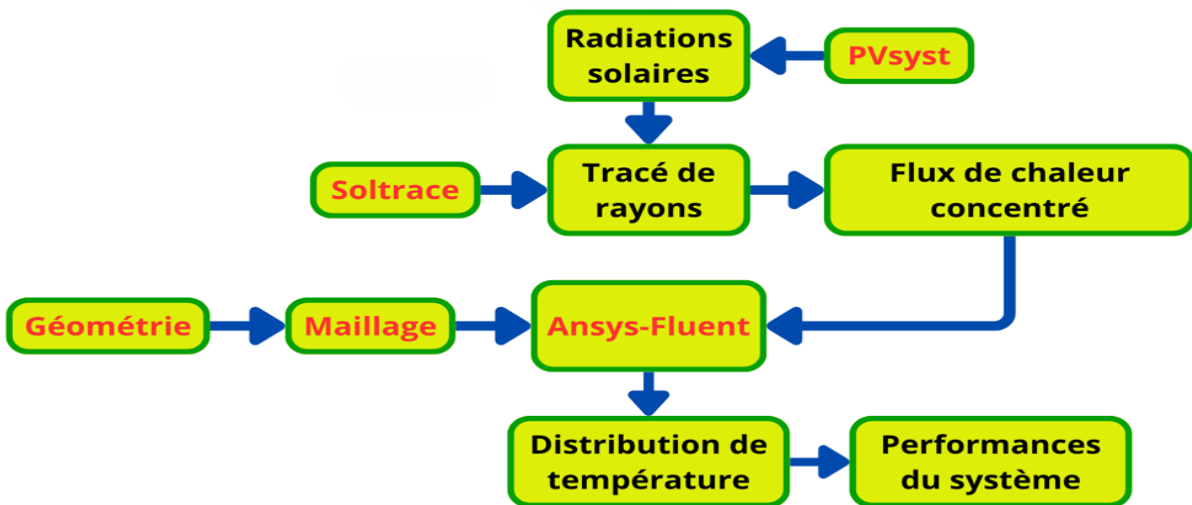


Figure 4.1. Plan de l'étude

4-3- Radiations solaires

Le logiciel PVsyst. Est utilisé pour déterminer l'intensité du rayonnement solaire à différents intervalles de temps pour la journée du 01 Juin 2023. Ces données (voir figure 2) sont spécifiquement obtenues pour la ville de Laghouat, située dans le sud de l'Algérie, avec les coordonnées de 2°56 de longitude, 33°46 de latitude, et une altitude de 700m.

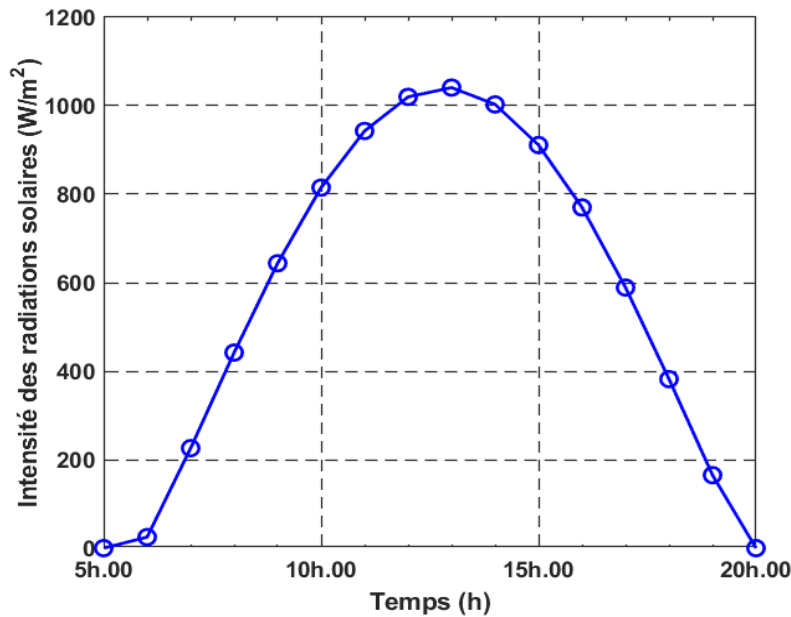


Figure 4.2. Flux solaire en fonction du temps.

4-4- Analyse optique

La distribution du flux de chaleur sur le tube absorbeur est essentielle pour l'analyse du transfert de chaleur. Plusieurs études ont montré que la distribution du flux de chaleur sur l'absorbeur affecte de manière significative la performance thermique du récepteur PTC. Dans le présent travail, le logiciel Sol Trace, qui utilise la méthode de Monte Carlo pour le Ray Tracing, est utilisé pour calculer la distribution du flux solaire sur le tube absorbeur.

Les conditions de simulation du ray tracing sont les suivantes : Le soleil a été modélisé comme une distribution gaussienne avec un angle de cône de 2,73 mrad. L'aluminium est choisi comme matériau de la plaque réfléchissante avec une réflectivité de 1, une erreur de forme de 3 mrad et une erreur de réflexion spéculaire de 0,5 mrad. Pour le réflecteur secondaire, la réflectivité du tube collecteur métallique est de 0,05, l'erreur de forme est de 0,0001mrad et l'erreur de réflexion spéculaire est de 0,0001mrad. Un exemple de tracé de rayons dans Sol Trace est illustré dans la figure 3.

L'intensité solaire au début de chaque heure (fournie par le logiciel PVSYST) est introduite dans le code sol trace et les sorties (flux concentré) implémentées dans le solveur Ansys-Fluent sous forme de tableau de valeurs (transitoires). Ce tableau est ensuite spécifié comme condition aux limites sur la surface latérale du tube récepteur.

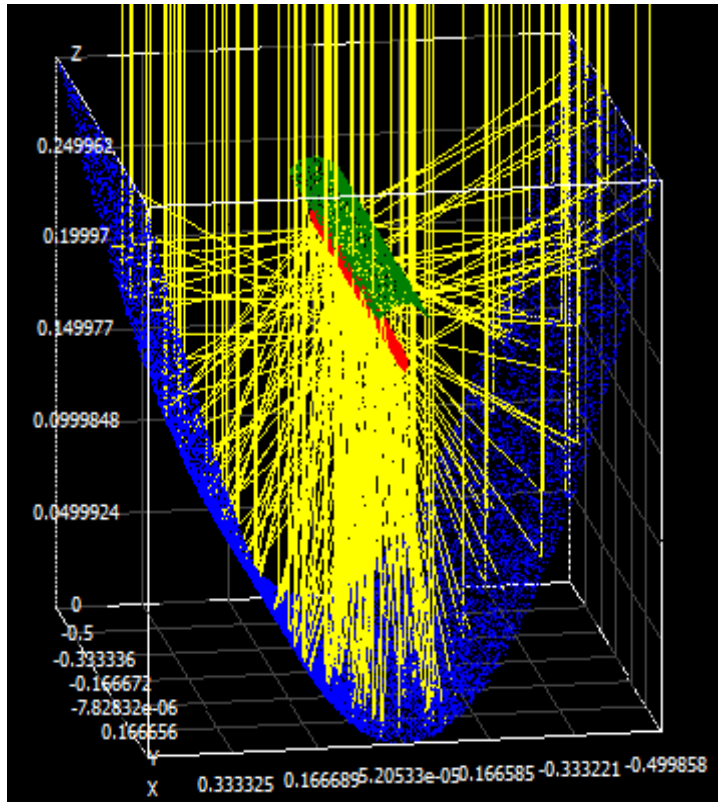


Figure 4.3. Rayonnement incident sur le tub absorbeur.

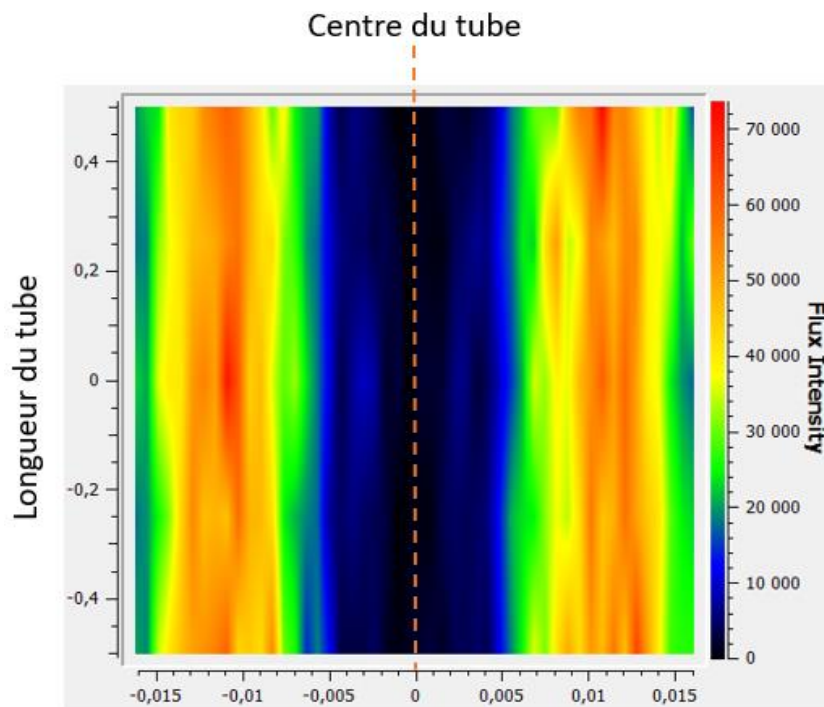


Figure 4.4. Distribution du flux de chaleur dans le tube absorbeur.

4-5- Analyse CFD

Le but de l'analyse CFD est de résoudre les équations du transfert de chaleur conjugué et de l'écoulement du fluide caloporteur dans le tube absorbeur.

La première étape de la résolution du problème consiste à implémenter le flux de chaleur (obtenu par l'analyse optique) et les propriétés thermo-physiques du nanofluide dans le solveur ANSYS-Fluent. La deuxième étape consiste à initialiser le solveur et à spécifier les conditions aux limites. Le domaine est initialisé comme suit : Au temps $t=0s$, nous considérons que le fluide et le solide sont à la même température T_0 ; la vitesse et la pression du fluide sont fixées à zéro. Les conditions limites sont illustrées à la figure 5. Le débit massique du fluide caloporteur dans le tube est fixé à 0.0015 kg/s .

Outre les conditions initiales et les conditions aux limites, certaines configurations du solveur sont nécessaires. Le modèle laminaire est sélectionné pour résoudre l'écoulement du fluide et le modèle d'énergie thermique est sélectionné pour résoudre le transfert de chaleur conjugué. Le pas de temps choisi est de 15 minutes, le temps total de la simulation est de 16 heures et la précision des calculs est fixée à 10^{-6} .

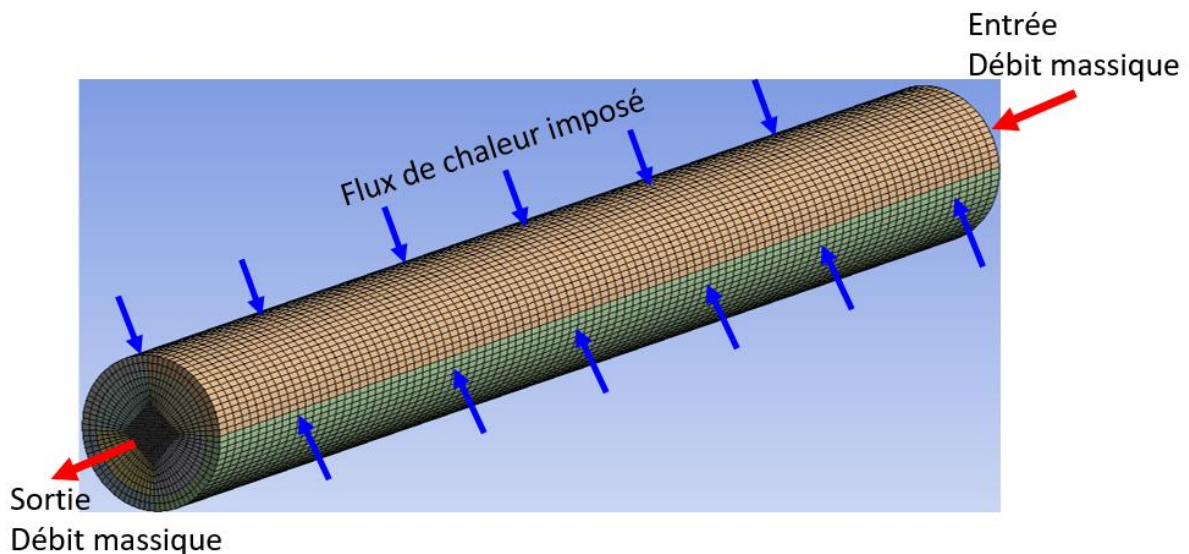


Figure 4.5. Illustration des conditions aux limites.

CHAPITRE 4 : Résultats et discussions

4-5-1- Propriétés du nanofluide étudié

On considère dans cette étude l'eau comme fluide de base dont on ajoute des particules de cuivre Cu. Plusieurs fractions volumiques de ces nanoparticules sont considérées. Les tableaux 1, 2, 3 et 4 résument tous les cas envisagés dans cette étude.

Tableau 4.1. Propriétés thermo-physiques de l'eau et du cuivre.

Propriété	ρ (kg/m ³)	C_p (J/kg. K)	k (W/m.K)	$\beta \times 10^5$ (1/K)	μ (kg/m ³ .s)
Eau	997.1	4179	0.613	21	0.001003
Cuivre (Cu)	8933	385	401	1.67	

Tableau 4.2. Propriétés thermo-physiques du nano fluide Eau-cuivre $\phi = 1\%$.

Propriété	ρ (kg/m ³)	C_p (J/kg. K)	k (W/m.K)	$\beta \times 10^5$ (1/K)	μ (kg/m ³ .s)
Nano-fluide (Eau-Cu)	1076.459	3864.1547	0.63149	0.00019396	0.0010285

Tableau 4.3. Propriétés thermo-physiques du nano fluide Eau-cuivre $\phi = 1.5 \%$.

Propriété	ρ (kg/m ³)	C_p (J/kg. K)	k (W/m.K)	$\beta \times 10^5$ (1/K)	μ (kg/m ³ .s)
Nano-fluide (Eau-Cu)	1116.1385	3723.5216	0.64088	0.00018679	0.0010416

Tableau 4.4. Propriétés thermo-physiques du nano fluide Eau-cuivre $\phi = 2 \%$.

Propriété	ρ (kg/m ³)	C_p (J/kg. K)	k (W/m.K)	$\beta \times 10^5$ (1/K)	μ (kg/m ³ .s)
Nano-fluide (Eau-Cu)	1155.818	3592.5443	0.65036	0.00018012	0.001055

CHAPITRE 4 : Résultats et discussions

4-5-2- Flux de chaleur concentré sur le tube absorbeur

Les valeurs horaires du flux de chaleur concentré sur le tube absorbeur, obtenues à l'aide de l'analyse optique, ainsi que le format du fichier texte contenant ces valeurs sont illustrés dans la figure 4.6. Les commandes Fluent utilisées pour implémenter ces valeurs dans le solveur sont représentées dans la figure 4.7.

time	Heat
0	0
3600	685
7200	6193
10800	12111
14400	17646
18000	22331
21600	25839
25200	27949
28800	28524
32400	27483
36000	24962
39600	21098
43200	16139
46800	10467
50400	4521
54000	0

Figure 4.6. Format du fichier texte à introduire dans le solveur Fluent.

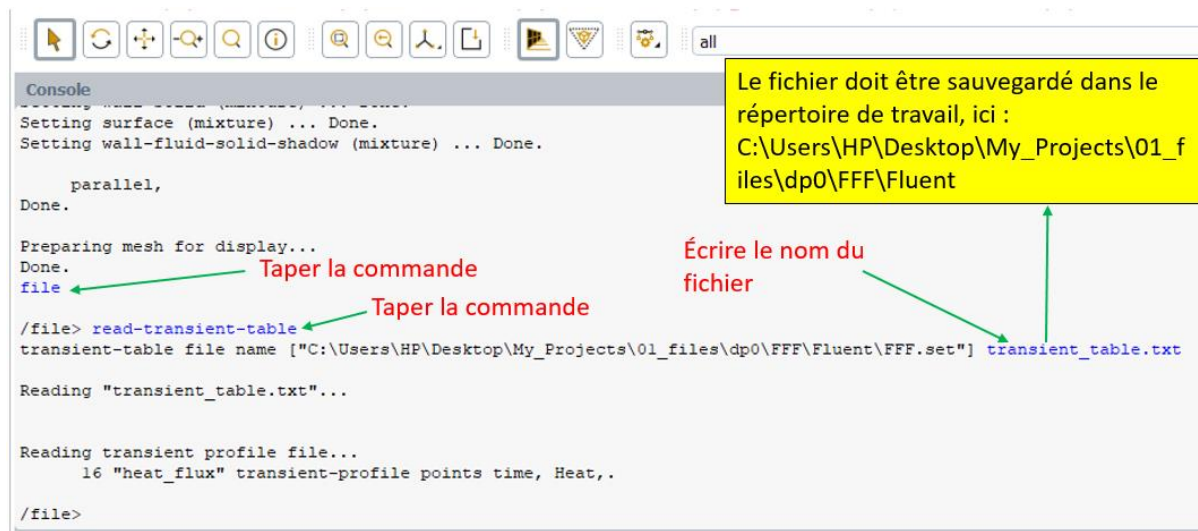


Figure 4.7. Commandes pour implémenter un tableau transitoire dans le solveur Fluent.

Remarque :

Dans la section **boundary conditions** (dans le solveur Fluent) il faut choisir, pour condition aux limites thermique sur la surface latérale du tube, le tableau **Heat** qui représente la variable considérée (flux thermique).

4-6- Résultats

4-6-1- Température du fluide caloporteur à la sortie du tube absorbeur

La figure 8 représente la distribution de la température le long du tube à 13h.00 dans le cas où le fluide de travail est de l'eau pure. Nous remarquons que la température de la surface du tube augmente progressivement de 300 K à l'entrée à 546 environ à la sortie du tube.

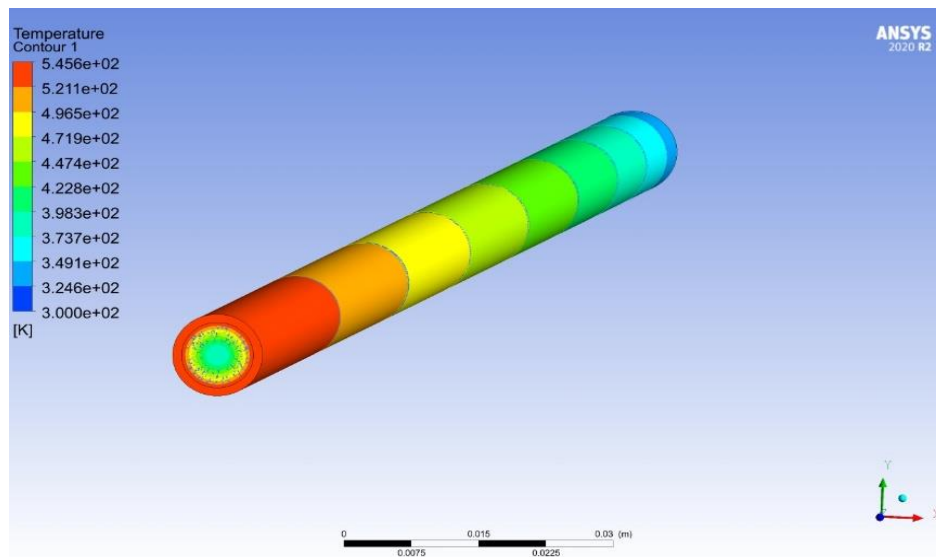


Figure 4.8. Distribution de la température sur la surface latérale du tube absorbeur.

La figure 9 représente la distribution de la température dans la section de sortie du tube absorbeur à différents instants. Nous remarquons que la température maximale est atteinte entre midi et 14.00 h. La température du fluide au centre du tube est d'environ 374 K.

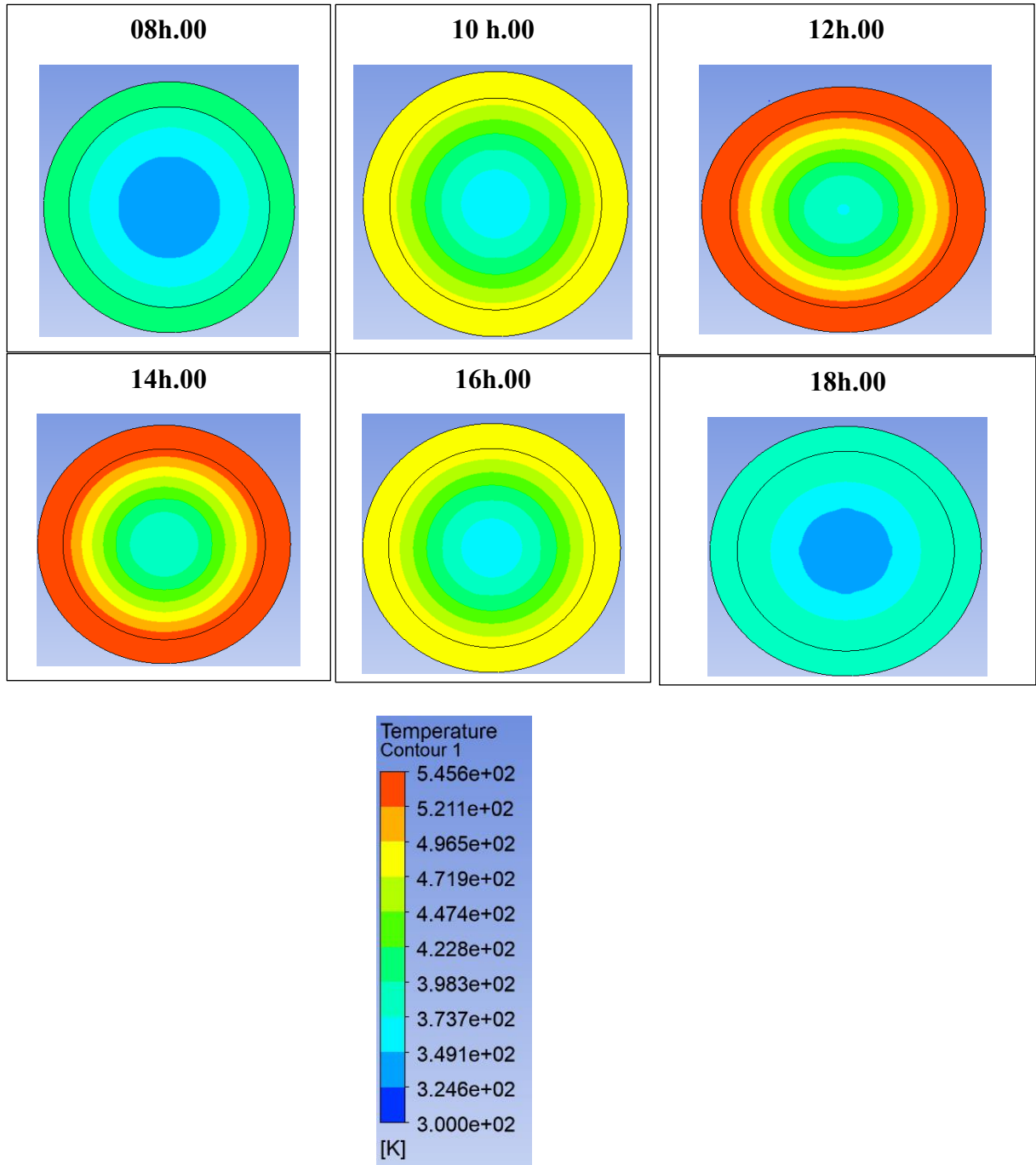


Figure 4.9. Distribution de la température dans la section de sortie du tube absorbeur à différents instants.

La figure 4.9. montre le profil de contour de température à la sortie de tube absorbeur avec la présence les variations de la température du fluide caloporteur pour différentes fractions volumiques des nanoparticules ajoutées au liquide de base

CHAPITRE 4 : Résultats et discussions

(l'eau). Pour (8h,10h,12h,14h,16h,18h) . Comme on peut le voir, le meilleur résultat est obtenu dans 12h et 14h.

Dans la figure 10, nous avons représenté les variations de la température du fluide caloporteur pour différentes fractions volumiques ϕ des nanoparticules ajoutées au liquide de base (l'eau). Comme on peut le remarquer, à fur et à mesure que la fraction volumique des nanoparticules augmente, la température du nanofluide augmente de sorte que le gain de température maximale peut atteindre 28 degrés pour une fraction volumique des nanoparticules de 2%. Cependant, pour des faibles valeurs du flux solaire la présence des nanoparticules n'a pas d'influence significative sur la température de sortie du fluide caloporteur.

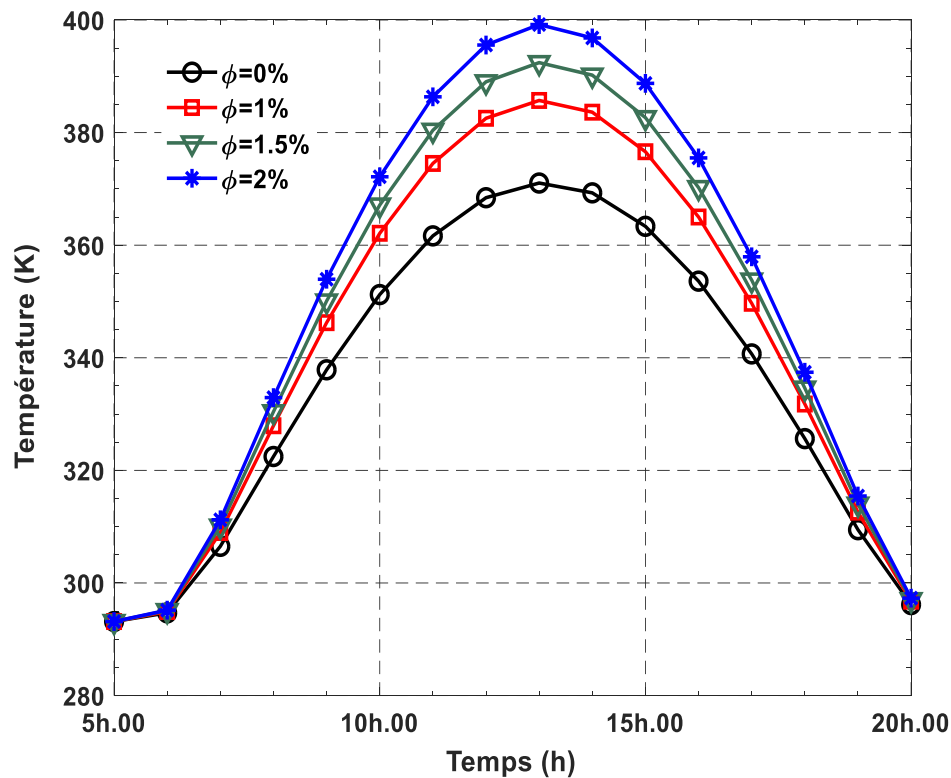


Figure 4.10. Variations de la température du nanofluide à la sortie du tube absorbeur en fonction du temps pour différentes valeurs de la fraction volumique des nanoparticules.

La courbe représente température en fonction du temps. Nous voyons donc que plus le rapport des nanoparticules est élevé, plus l'énergie est élevée, comme le montre la figure 4.11.

4-6-2- Gain d'énergie (Energie utile)

L'énergie thermique utile transférée au fluide caloporteur est déterminée par l'équation (3.1). La figure 11 représente les variations, au cours de la journée, de cette énergie en fonction de la fraction volumique des nanoparticules. Nous constatons que le gain d'énergie thermique croît avec la fraction volumique des nanoparticules. Le maximum (665 W) correspond à la fraction volumique de 2%. Un gain maximal de 176 W (26.5%) est enregistré par rapport au cas où le fluide de travail est de l'eau pure. Le gain moyen correspondant à la moyenne de la journée est d'environ 95W (26.5%).

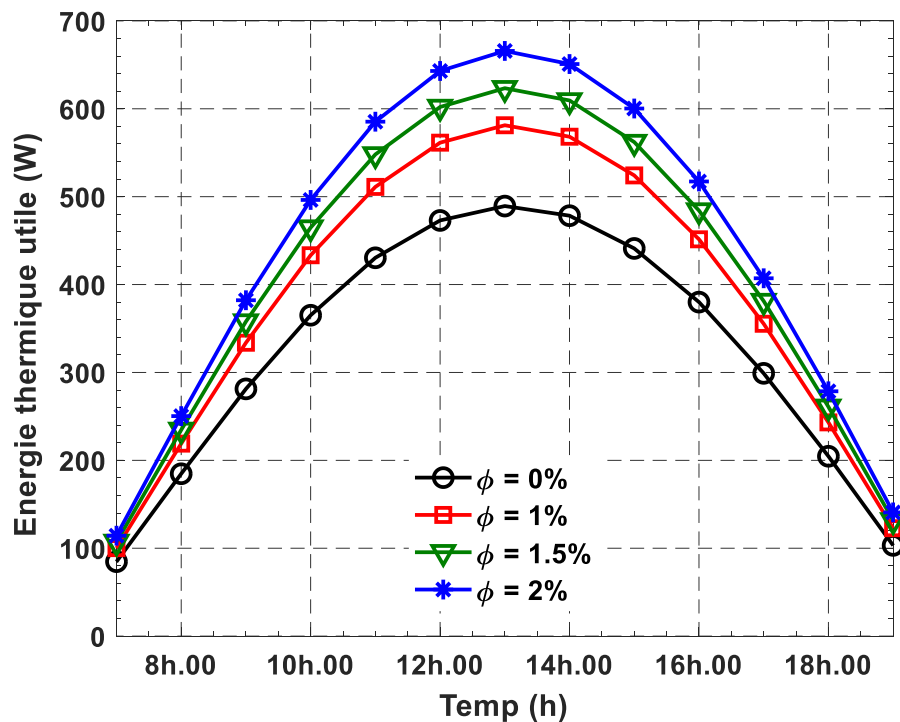


Figure 4.11. Variations de l'énergie thermique utile en fonction du temps pour différentes valeurs de la fraction volumique des nanoparticules.

La courbe représente l'énergie thermique en fonction du temps. Nous voyons donc que plus le rapport des nanoparticules est élevé, plus l'énergie est élevée, comme le montre la figure 4.11.

4-6-3- Efficacité du système

L'efficacité thermique du système est calculée par l'équation (3.2). La figure 12 représente la variation de l'efficacité du système au cours de la journée pour différentes valeurs de la fraction volumiques des nanoparticules ajoutées au liquide de

CHAPITRE 4 : Résultats et discussions

base. Les valeurs moyennes de l'efficacité sont représentées dans le tableau 5. Comme on peut le remarquer, l'efficacité du système augmente à fur et à mesure que la fraction volumique des nanoparticules augmente. Un gain en efficacité moyenne d'environ 14% peut être obtenu en utilisant une fraction volumique de 2% de nanoparticules.

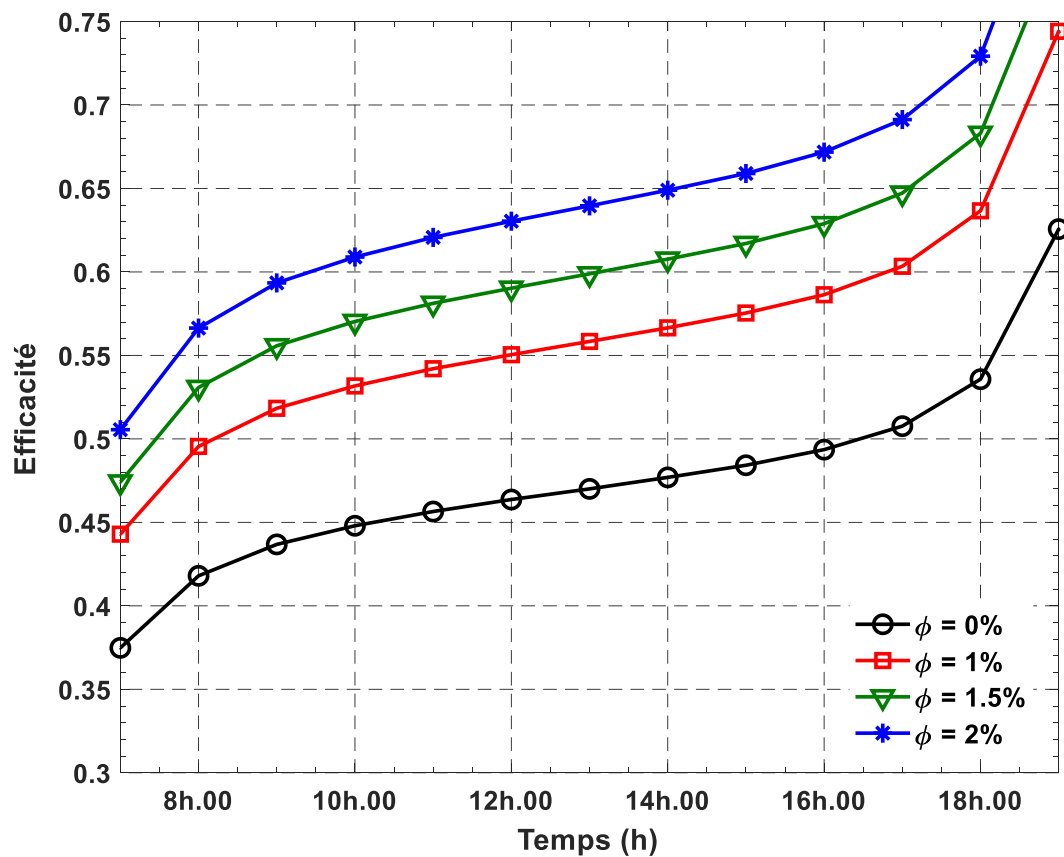


Figure 4.12. Variations de l'efficacité du système en fonction du temps pour différentes valeurs de la fraction volumique des nanoparticules.

Tableau 4.5. Efficacité moyenne du système pour différentes fractions volumiques des nanoparticules.

Fraction volumique ϕ (%)	0	1	1.5	2
Efficacité moyenne η (%)	41.36	48.97	52.55	56.02

4-7- Conclusion

Dans ce chapitre nous avons appliqué le modèle de simulation, composé de l'analyse optique et de la simulation CFD, à un système de concentration solaire cylindro-parabolique avec second réflecteur. Nous avons testé plusieurs concentrations de nanoparticules dans le liquide caloporteur de base (eau) à commencer par l'eau pure. Les résultats obtenus montrent que les performances du système augmentent à fur et à mesure que la fraction volumique des nanoparticules dans le liquide de base augmente.

Conclusion général

Conclusion générale

L'étude initiale visait à évaluer les performances d'un concentrateur solaire cylindro-parabolique équipé d'un réflecteur secondaire et d'un nanofluide comme fluide de travail. Pour atteindre cet objectif, l'étude est divisée en deux parties distinctes : l'analyse optique et la simulation CFD. Dans la partie optique, le logiciel Sol Trace est utilisé pour déterminer la distribution moyenne du flux de chaleur concentré sur la surface latérale du tube absorbeur. Cette distribution est ensuite intégrée dans le solveur Ansys-Fluent pour être utilisée comme condition aux limites thermique sur la surface du tube. La résolution CFD permet ensuite de déterminer la distribution de la température dans le tube, ce qui permet de calculer les performances thermiques du système, notamment le gain d'énergie et l'efficacité thermique.

Les conditions météorologiques considérées concernent la ville de Laghouat durant la journée du 21 juin 2023. Plusieurs fractions volumiques de nanoparticules de cuivre (Cu) ajoutées à l'eau ont été testées. Les résultats obtenus fournissent les conclusions suivantes :

- La température du fluide caloporteur à la sortie du tube absorbeur montre une augmentation significative avec l'ajout de nanoparticules au liquide de base. En effet, une augmentation de 28 °C est observée à 13h00 avec une fraction volumique de nanoparticules de 2%. Cependant, pour des faibles valeurs du flux solaire, l'effet de la concentration des nanoparticules sur la température est peu significatif.
- Le gain en énergie thermique utile suit les mêmes variations que celle de la température du nanofluide. En particulier, une augmentation de 26,5% de l'énergie thermique utile est observée lorsque 2% de nanoparticules sont ajoutées au liquide de base.
- L'efficacité thermique du système augmente à fur et à mesure que la fraction volumique des nanoparticules augmente. Un gain en efficacité moyenne d'environ 14% peut être obtenu en utilisant une fraction volumique de 2% de nanoparticules.

Enfin, comme perspective de ce travail, nous proposons d'explorer d'autres matériaux de nanoparticules et de comparer les performances du système pour élargir ses applications et améliorer sa fiabilité.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] KALOGIROU, Soteris. Solar energy engineering: processes and systems. 1st éd. USA : Elsevier, 2009. 756 p. ISBN 978-0-12-374501-9
- [2] KIRCHER, A. Ars magna Lucius et umbrae (1646) : fac-similé de l'éd. 1671. Univ Santiago de Compostela : Servicio de Publicaciones e Intercambio Científico, 2000. ISBN 8481218421
- [3] De CAUS, S. Les raisons des forces mouvantes, avec diverses machines tant utiles que plaisantes, auxquelles sont adjoints plusieurs dessins de grottes & fontaine. J. Norton, Francfort, reprod. CNAM F Da 1. Paris. 1615. ISBN
- [4] DE BUFFON, L. C. Invention de miroirs ardents, pour bruler à une grande distance. Registres de l'Académie Royale des Sciences / CNRS-CRHST, 1747. ISBN
- [5] A.L. De LAVOISIER. Détail des expériences au moyen du grand verre ardent dans Mémoires de Lavoisier. Tome 3. CNRS-CRHST. ISBN
- [6] KREITH, Frank and YOGI GOSWAMI, D. Handbook of energy efficiency and renewable energy. London: CRC Press, 2007. 1624 p. ISBN 9781138749115
- [7] QUINNEZ, B and MOUCHOT, Augustin-Bernard. (1825-1912), un missionnaire de l'énergie solaire. Conférence de l'assemblée générale 2011 de l'Association des Membres de l'Ordre des Palmes Académiques (AMOPA)
- [8] RICHER, Christoph. Concentrated solar thermal power report. SolarPaces/IEA. Septembre 2008. 90 p
- [9] QUINNEZ, B and MOUCHOT, Augustin-Bernard. (1825-1912), un missionnaire de l'énergie solaire. Conférence de l'assemblée générale 2011 de l'Association des Membres de l'Ordre des Palmes Académiques (AMOPA)
- [10] RIVOIRE, Bruno. Le solaire thermodynamique. France, 2002. 23 p
- [11] [BRAKMANN, Georg. Solar thermal power report. ESTIA/SolarPaces. 2015. 52 p. ISBN : 90-73361-82-6
- [12] ANDRIEUX, Stéphane. Le solaire thermodynamique à concentration, une technologie dévoilée. Paris : EDF R&D, juin 2012. 4 p
- [13](German Aerospace Center, 2007) (MARIF Yacine, Caractérisation d'un concentrateur cylindro- parabolique de dimensions réelles au sud de l'Algérie: Région d'Ouargla, 2014/2015,)
- [14] (Quoilin, 2007))(MARIF Yacine, Caractérisation d'un concentrateur cylindro-parabolique de dimensions réelles au sud de l'Algérie: Région d'Ouargla, 2014/2015,)
- [15] (Soteris, 2004))(MARIF Yacine, Caractérisation d'un concentrateur cylindro-parabolique de dimensions réelles au sud de l'Algérie: Région d'Ouargla, 2014/2015,)
- [16] (Direct Steam Génération-DSG-) (Martinez et Almanza, 2007 ; Valenzuela et al., 2005)
- [17] (Garcia-Rodriguez et Gmez-Camacho, 2001)

- [18] (Guillaume, 2011))(MARIF Yacine, Caractérisation d'un concentrateur cylindro- parabolique de dimensions réelles au sud de l'Algérie: Région d'Ouargla, 2014/2015,)
- [19] (Marif et al., 2011).)(MARIF Yacine, Caractérisation d'un concentrateur cylindro- parabolique de dimensions réelles au sud de l'Algérie: Région d'Ouargla, 2014/2015,)
- [20] (Garcia-Valladares et Velazquez, 2009) :)(MARIF Yacine, Caractérisation d'un concentrateur cylindro- parabolique de dimensions réelles au sud de l'Algérie: Région d'Ouargla, 2014/2015,)
- [21] (Padilla Ricardo, 2011):)(MARIF Yacine, Caractérisation d'un concentrateur cylindro- parabolique de dimensions réelles au sud de l'Algérie: Région d'Ouargla, 2014/2015,)
- [22] (Zhiyong et al., 2014).)(MARIF Yacine, Caractérisation d'un concentrateur cylindro- parabolique de dimensions réelles au sud de l'Algérie: Région d'Ouargla, 2014/2015,)
- [23] (Duffie et Beckman, 1991))(MARIF Yacine, Caractérisation d'un concentrateur cylindro- parabolique de dimensions réelles au sud de l'Algérie: Région d'Ouargla, 2014/2015,)
- [24] VIGNAROUBAN, K. Heat Transfer Fluids for Concentrating Solar Power Systems – A Review. Applied Energy, 2015, vol. 146, p. 383-396
- [25] Technology Roadmap: Concentrating Solar Power. Paris: Report of IEA, 2015.46
- [26] (El Gharbi et al., 2011))(MARIF Yacine, Caractérisation d'un concentrateur cylindro- parabolique de dimensions réelles au sud de l'Algérie: Région d'Ouargla, 2014/2015,)
- [27] (Boukelia et Mecibah, 2013).)(MARIF Yacine, Caractérisation d'un concentrateur cylindro- parabolique de dimensions réelles au sud de l'Algérie: Région d'Ouargla, 2014/2015,)
- [28] (Marif, 2008))(MARIF Yacine, Caractérisation d'un concentrateur cylindro- parabolique de dimensions réelles au sud de l'Algérie: Région d'Ouargla, 2014/2015,)
- [29] (Zheng et al., 2002))(MARIF Yacine, Caractérisation d'un concentrateur cylindro- parabolique de dimensions réelles au sud de l'Algérie: Région d'Ouargla, 2014/2015,)
- [30] (Khedim et al., 2004))(MARIF Yacine, Caractérisation d'un concentrateur cylindro- parabolique de dimensions réelles au sud de l'Algérie: Région d'Ouargla, 2014/2015,)
- [31] (Rajaseenivasan et al., 2013))(MARIF Yacine, Caractérisation d'un concentrateur cylindro- parabolique de dimensions réelles au sud de l'Algérie: Région d'Ouargla, 2014/2015,)
- [32] (Osman, 1985))(MARIF Yacine, Caractérisation d'un concentrateur cylindro- parabolique de dimensions réelles au sud de l'Algérie: Région d'Ouargla, 2014/2015,)

- [33] (Mazloumi et al., 2008))(MARIF Yacine, Caractérisation d'un concentrateur cylindro- parabolique de dimensions réelles au sud de l'Algérie: Région d'Ouargla, 2014/2015,)
- [34] (Nidal H et al., 2013))(MARIF Yacine, Caractérisation d'un concentrateur cylindro- parabolique de dimensions réelles au sud de l'Algérie: Région d'Ouargla, 2014/2015,)
- [35] (Balgouthi et al.,2014).)(MARIF Yacine, Caractérisation d'un concentrateur cylindro- parabolique de dimensions réelles au sud de l'Algérie: Région d'Ouargla, 2014/2015,)
- [36] Y. Li, J. Zhou, S. Tung, E. Schneider, and S. Xi, "A review on development of nanofluid preparation and characterization," *Powder Technology*, vol. 196, no. 2, pp. 89–101, 2009.
- [37] H. Xie, H. Lee, W. Youn, and M. Choi, "Nanofluids containing multiwalled carbon nanotubes and their enhanced thermal conductivities," *Journal of Applied Physics*, vol. 94, no. 8, pp. 4967–4971, 2003.
- [38] Y. Lv, Y. Zhou, C. Li, Q. Wang, and B. Qi, "Recent progress in nanofluids based on transformer oil: preparation and electrical insulation properties," *IEEE Electrical Insulation Magazine*, vol. 30, no. 5, pp. 23–32, 2014.
- [39] W. Yu and H. Xie, "A review on nanofluids: preparation, stability mechanisms, and applications," *Journal of Nanomaterials*, vol. 2012, Article ID 435873, 17 pages, 2012.
- [40] A. Ghadimi, R. Saidur, and H. S. C. Metselaar, "A review of nanofluid stability properties and characterization in stationary conditions," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 54, no. 17-18, pp. 4051–4068, 2011.
- [41] B. C. Pak and Y. I. Cho, "Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles," *Experimental Heat Transfer*, vol. 11, no. 2, pp. 151–170, 1998.
- [42] Y. Xuan and W. Roetzel, "Conceptions for heat transfer correlation of nanofluids," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 43, no. 19, pp. 3701–3707, 2000.
- [43] J. Albadr, S. Tayal, and M. Alasadi, "Heat transfer through heat exchanger using Al₂O₃ nanofluid at different concentrations," *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 1, no. 1, pp. 38–44, 2013.
- [44] T. Maré, S. Halelfadl, O. Sow, P. Estellé, S. Duret, and F. Bazantay, "Comparison of the thermal performances of two nanofluids at low temperature in a plate heat exchanger," *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 35, no. 8, pp. 1535–1543, 2011.