République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

UNIVERSITE EL HADJ LAKHDAR- BATNA

Département des Sciences de la Matière

Faculté des Sciences

Mémoire



Présenté pour l'obtention du diplôme de



MAGISTERE

En Physique, Option : Energétique

Présenté Par l'étudiante: DJARALLAH Rachida

Thème :

ANALYSE NUMÉRIQUE ET OPTIMISATION D'UN SYSTÈME À AILETTES POUR LE CONTRÔLE THERMIQUE D'UN RÉCEPTEUR SOLAIRE COMPOSÉ (C.P.C.)

Soutenu devant le Jury :

Dr. A. SOUDANI Dr. S. DJOUIMAA Dr. S. BOUGOUL Dr. N. MOUMMI Pr. MCA Pr. Pr. Univ. Batna Univ. Batna Univ. Batna Univ. Biskra Président Rapporteur Examinateur Examinateur

Année Universitaire 2014-2015

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A mon père, école de mon enfance, qui a été mon ombre durant toutes les années des études (Allah yachfik).

À celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à ma très chère mère (Allah yarhamek ya Mama). Rien au monde ne pourrait compenser les efforts et les sacrifices que vous avez consentis pour mon bien être, et la poursuite de mes études dans de bonnes conditions.

A mon marie **Ridha** qui ma apporté son aide et qui a contribué à l'élaboration de ce mémoire, sans lui ce travail n'aurait pas pus être comme ceci.

A mes chers enfants Mohamed-Aymen et Adam.

A mes chers frères Abd Elhamid et Mohamed.

A mes chères sœurs Saliha, Farida, Salima, Abla, Djamila, Malika et Ahlam.

Aucune dédicace, ne saurait exprimer à sa juste valeur le profond amour que je vous porte.

> A tous ceux qui me sont chères. A tous ceux qui m'aiment. A tous ceux que j'aime.

Remerciement :

En préambule à ce mémoire nous remerciant "ALLAH" le tout puissant et miséricordieux, qui nous aide et nous donne la patience et le courage durant ces longues années d'étude, de me guider sur le droit chemin tout au long du travail et nous a inspiré les bons pas et les justes reflexes. Sans sa miséricorde, ce travail n'aurai pas aboutit....

Merci **ALLAH** de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur de lever mes mains vers le ciel et de dire **"Ya Alime"**

Ce travail n'aurait pas été possible sans l'intervention, consciente, d'un grand nombre de personnes...

Je tiens à remercier considérablement mon encadreur : **Dr. S. DJOUIMAA** pour sa disponibilité et précieux conseils et de m'avoir dirigée tout au long de ce travail.

Je remercie le président de jury : Dr. A. SOUDANI

Vous nous faites le très grand honneur de présider ce jury de mémoire. Je vous remercie de Vos qualités professionnelles et votre rigueur, sont pour nous des exemples à suivre.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury :

Dr. S. BOUGOUL et **Dr. N. MOUMMI**, pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Nomenclature :

а	: Vitesse du son	$m s^{-1}$
С	: Vitesse de la lumière dans le vide	$m s^{-1}$
C_p	: Chaleur massique à pression constante	$J Kg^{-1}k^{-1}$
F	: Force par unité de volume	$N m^{-2}$
g	: Accélération de pesanteur	$m s^{-2}$
h	: Constante de Plank	J s
h _c	: Coefficient d'échange par convection	$W m^{-2} k^{-1}$
\overline{h}_c	: Coefficient d'échange par convection moyen	$W m^{-2} k^{-1}$
K	: Constante de Boltzmann	$J k^{-1}$
L_j	: Longueur de l'ailette de la classe « <i>j</i> »	m
n	: Nombre de mol	mol
Р	: Pression	$N m^{-2}$
q	: Puissance volumique	$W m^{-3}$
R	: Constante des gaz parfaits	$J mol^{-1}k^{-1}$
r_j	: Rayon de l'ailette de classement « j »	m
S	: Surface	m^2
S_{ij}	: Tenseur de déformation	s ⁻¹
Т	: Température	k
u_i et u_j	: Vitesses fluctuantes suivant x et y	$m s^{-1}$
U _i et U	j: Vitesses de l'écoulement moyen suivant x et y respectivement	$m s^{-1}$
и, v, w	: Composantes de vitesses	$m s^{-1}$
V	: Volume	m^3
<i>x</i> , <i>y</i> , <i>z</i>	: Coordonnées	m

Symboles Grecs :

ρ	: Masse volumique de l'air	$Kg m^{-3}$
μ	: Viscosité dynamique moléculaire	$Kg m^{-1}s^{-1}$
μ_t	: Viscosité dynamique turbulente	$Kg m^{-1}s^{-1}$
v	: Viscosité cinématique	$m^2 s^{-1}$
β	: Coefficient de dilatation du fluide à pression constante	k^{-1}
α	: Diffusivité thermique	$m^2 s^{-1}$
φ	: Flux de chaleur	$W m^{-2}$
λ	: Conductivité thermique	$W m^{-1} k^{-1}$
ϵ	: Dissipation de l'énergie cinétique de turbulence	$m^2 s^{-3}$
σ	: Constante de Boltzmann	$W m^{-2} k^{-4}$
Y _M	: Terme de dilatation-dissipation	$Kg m^{-1} s^{-3}$

Nombres adimensionnels :

$$M_t$$
: nombre de Mach turbulent : $M_t = \sqrt{\frac{k}{a^2}}$.

$$Nu$$
 : Nombre de Nusselt : $Nu = \frac{h_c L}{\lambda}$.

Re : Nombre de Reynolds
$$Re = \frac{v D_H}{v}$$
.

$$Gr$$
 : Nombre de Grashof : $Gr = \frac{g\beta(T_P - T_f)L^3}{\nu^2}$.

Pr : Nombre de Prandtl :
$$Pr = \frac{v}{\alpha}$$
.

ε : Émissivité.

 F_{1-2} : Facteur de forme.

 $\overline{\eta_i}$: Efficacité de l'ailette de nombre « *i* ».

Abréviations :

ZnO : l'oxyde de zinc

C : Carbone

CO : monoxyde de carbone

C.P.C : Concentrateur Parabolique composé

C.A.L : condition aux limites

Indices :

- *i* : indice de direction suivant l'axe x, y ou z
- *j* : Le classement de l'ailette sur le paroi du C.P.C.

Table des matières :

Nomenclature	
Introduction Générale	01
1. intérêt	01
2. objectif	02
3. Plan de travail	03

Chapitre I

Recherche bibliographique

I.1.Définition d'une tour solaire	05
I .2. Les différents composants d'une centrale à tour	06
I.2.1- Les héliostats	06
I.2.2- La tour	07
I.2.3- Le récepteur solaire	08
I.2.3-1. Les différents types des récepteurs solaires	08
I.2.3-1.a) Récepteurs volumétriques	09
I.2.3-1.b) Récepteur solaire à cavité	10
I.2.3-1.c) récepteur solaire à particule	10
I.3. Le Concentrateurs Paraboliques Composés (C.P.C.)	
I.3.1- Quelques Applications du système C.P.C.	12
Conclusion	17
Référence bibliographique I	

Chapitre II

Formulation du problème

II.1. La géométrie	21
II.2. Les principales équations régissant le phénomène	23
II.2.1- Equations en régime laminaire	23
II.2.1-1. Equations générales	23
II.2.1-1.a) Equation de la continuité	23
II.2.1-1.b) Conservation de quantité de mouvement	23
II.2.1-1.c) Equation de conservation d'énergie	24
II.2.1-2. Pour quoi on n'a pas choisit l'approximation de Boussinesq?	24
II.2.1-3. Simplification de système d'équations	25
*Equation de continuité	25

*Equation de quantité de mouvement	26
*Equation d'énergie	26
*Equation d'états des gaz parfait	26
II.2.2- Equation en régime Turbulent	26
II.2.2.1.Description de modèle Standard k - ε	27
La vitesse du vent en Algérie	28
II.3.Les différents modes de transfert de chaleur	
II.3.1- Les échanges Conductifs	30
II.3.2- Les échanges Convectifs	30
II.3.2-1.Calcul fondamental du transfert thermique par convection	31
II.3.3- Les échanges Radiatifs	32
II.3.3-1. Rayonnement entre solide et le milieu environnent	32
II.3.3-2. Analyse des flux radiatifs sur une surface	32
II.3.3-2.a) Loi de Stefan Boltzmann	33
II.3.3-2.b) Le corps gris	33
II.3.4- Transfert thermique simultanés (ou couplé)	34
II.4. Généralité sur les ailettes	34
II.4.1- L'efficacité d'une ailette	35
II.5. Le maillage	36
II.6. Les propriétés thermo-physiques	38
II.7. Les conditions aux limites	39
Conclusion	40
Référence bibliographique II	41
Chapitre III	

Simulation numérique

III.1. Solveur FLUENT	43
 Méthode des volumes finis 	43
III.2. Mailleur Gambit	43
III.3. Choix du schéma de discrétisation	44
III.4. Critères de Convergence	45
Cas laminaire	45
Cas turbulent	46
III.5. Indépendance de maillage	46
III.6. La stabilité de schéma	47

 Nombre de courant 	47
Conclusion	48
Référence bibliographique III	49

Chapitre IV

Résultats et discussion

IV.1. Profil de la température pariétale	50
IV.1.1- Influence du nombre d'ailettes sur la température pariétale (du C.P.C.)	50
IV.1.2- Influence du nombre de Reynolds	51
IV.2. Contour de température pariétale	52
IV.2.1- Le cas laminaire	53
IV.2.2- Le cas turbulent	54
IV.3. Contours de température du fluide (air)	54
IV.3.1- Cas laminaire	54
IV.3.2- Cas turbulent	55
IV.4. Influence de l'épaisseur « E » de paroi de C.P.C.	56
VI.5. Influence de l'angle d'inclinaison (α)	57
VI.6. Influence de la présence de la lentille de <i>Quartz</i>	58
IV.7. Influence la surface d'échange (paroi C.P.Cailette) sur l'efficacité de l'ailette	59
Conclusion	60
Conclusion Générale	62
Annexes	64

Introduction Générale

Dans les systèmes de centrales solaires à concentration, les rayons solaires sont réfléchis sur des miroirs positionnés afin de concentrer l'énergie solaire sur un seul point, connu sous le nom de récepteur solaire.

Après deux années de développement, de planification et de construction, la première centrale solaire à tour doit être mise en service à Jülich, Allemagne ; l'entreprise générale Kraftanlagen München a achevé, fin 2008, la construction de la centrale solaire expérimentale à Jülich, en Rhénanie du Nord-Westphalie (Allemagne). **[1]**

L'installation a été mise en service début 2009. Elle a tout d'abord fonctionné au gaz, car le soleil ne brillait pas encore continuellement. [1]

Au printemps 2009, elle est passée en mode d'exploitation normal, c'est-à-dire au soleil. L'exploitation-test pour les six prochains mois a commencé. Le perfectionnement des différents composants et de l'ensemble du système suivra à partir de 2010. Il est prévu de commercialiser plus tard cette nouvelle technologie pour des installations de 10 à 50 mégawatts qui se trouvent dans des pays très ensoleillés. [2]

Après une quinzaine d'années sans réel projet de construction, la filière solaire thermodynamique réapparaît au début des années 2000 et devient une alternative de plus en plus envisagée pour la production d'électricité dans les pays possédant un fort ensoleillement direct et une ressource solaire annuelle élevée. La technologie la plus mature est actuellement la technologie cylindro-parabolique. Des études montrent cependant que les centrales à tour ont un potentiel plus important que les centrales cylindro-paraboliques. En effet, grâce à de fortes concentrations atteignables en haut de tour, les centrales à tour permettent de travailler à des températures et des pressions plus élevées, offrant ainsi un meilleur rendement de conversion. Malgré une majorité de centrales cylindro-paraboliques commerciales dans le monde, les centrales à tour connaissent aujourd'hui quelques réalisations à échelle industrielle comme par exemple la centrale à tour à sels fondus GEMA SOLAR (Séville). La centrale GEMA SOLAR est aujourd'hui l'une des centrales à tour les plus abouties, avec une production jour et nuit de 20 MW. La production continue est possible grâce à une capacité de stockage des sels fondus de 740 MWh. **[2]**

1. Intérêt :

Nous nous intéressons à la compréhension du mécanisme d'une centrale à tour solaire, et principalement son récepteur, qui est considéré comme l'un des piliers de cette centrale du fait qu'il fonctionne sous de hauts degrés de température.

Généralement, le récepteur solaire est associé à un concentrateur parabolique composé (C.P.C.), ce bloc (récepteur solaire et C.P.C.) est soumis à un rayonnement solaire concentré provenant du champ d'héliostats qui entourent la tour solaire.

- Le matériau du C.P.C. est de l'Aluminium, alors que celui du récepteur est en acier.
- Le rôle du bloc est de chauffer le fluide caloporteur jusqu'à atteindre une température pouvant toucher les 1200 k, ce fluide est orienté vers un échangeur de chaleur dans lequel, il fournit son énergie pour générer de la vapeur d'eau qui est utilisée pour la production de l'électricité à travers une turbine et un alternateur.

Le C.P.C. avec son matériau est très sensible à de telles concentrations il serait intéressant de proposer une solution pour le protéger et augmenter sa durée de vie.

Le fait que l'Algérie est l'un des pays intéressés aux énergies renouvelables, une étude de faisabilité pour la construction d'une tour solaire thermique (AlSo1) (Coopération Scientifique Algéro-Allemande) débutera bientôt en Algérie, à ce titre un contrat de coopération a été signé le 19 août 2013 au siège de l'institut solaire de Jûllich entre la Direction Générale de la Recherche Scientifique et du Développement Technologique et l'Institut solaire de Jülich (SIJ : Solar Institut Jülich Allemagne). L'objectif avec la construction d'une telle installation est de développer l'économie nationale afin de la rendre durable et solide en s'appuyant sur l'énergie solaire qui est une source abondante dans notre pays. La tour solaire thermique qui sera installée développera également des procédés additionnels comme la réfrigération solaire, le traitement de l'eau et le dessalement de l'eau de mer et la production de chaleur industrielle solaire à côté de la production d'électricité solaire. La recherche concernant la tour solaire thermique en Algérie devrait également avoir une autorité sur la notion d'un centre de formation professionnelle en énergies renouvelables qui doit être installé aux environs de la tour solaire thermique [**3**].

2. Objectif :

Notre objectif dans ce travail est d'étudier le comportement et le contrôle thermique du C.P.C par une analyse et une optimisation par un système d'ailettes qu'on soumet sur sa surface latérale .Ce travail se fait par une simulation numérique tridimensionnelle en utilisant le code de calcul Fluent.

Dans notre étude nous nous sommes basés sur les travaux réalisés par Andreozzi et al (2012). Dans leurs travaux le C.P.C. est liée par le récepteur à la sortie contrairement à la pluparts des études vues où le C.P.C. est placé à l'entrée du récepteur, c'est pour cela dans notre étude, nous avons choisi le cas le plus connu et répondu qui est le C.P.C. à l'entrée du récepteur et nous comparons les résultats obtenus avec ceux de Andreozzi et al. (Chapitre I. [21])

Le choix du code est fait à cause de la difficulté de la résolution des équations de la conservation qui représentent différents phénomènes simultanés qui coexistent à travers ce système, entre autre la conduction, la convection, le rayonnement et la turbulence.

Quatre configurations d'ailettes autour du C.P.C. sont étudiées (une, trois, sept et treize) afin de déterminer quel est celle qui donne la meilleure performance thermique en termes de température pariétale la plus basse possible et avec un nombre minimum d'ailettes (optimisation).

Aussi sera présentée l'influence de l'épaisseur du C.P.C. sur le contrôle thermique ainsi que le régime d'écoulement du fluide pour voir et présenter une journée calme et une journée ventée (avec différents Reynolds).

L'étude présentée dans ce mémoire est organisée de la façon suivante :

- L'introduction qui s'intéresse essentiellement à l'intérêt du travail.
- Le premier chapitre, concerne la partie bibliographique sur les tours solaires, les différents types des récepteurs solaires et C.P.C.
- Le second chapitre expose le domaine d'étude avec formulation du problème à travers les différentes équations qui décrivent les phénomènes de convectionconduction - rayonnement et les équations fondamentales de mécanique des fluides régissant l'écoulement.
- Après avoir décrit les phénomènes physiques à étudier, le troisième chapitre traite la méthode numérique à utiliser qui est basé sur la méthode des volumes finis. L'analyse numérique a été réalisée au moyen du code commercial, le solveur Fluent et le mailleur Gambit.
- Dans le quatrième chapitre, nous avons présenté les principaux résultats obtenus à l'aide du logiciel Fluent avec ces interprétations afin de choisir le meilleur cas.
- En conclusion, on a résumé les principaux résultats obtenus et en perspectives on a proposé quelques tâches qui restent à réaliser.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. http://www.alpiq.com/fr/news-articles/articles/stories.jsp?story=tcm:97-56493,Janvier 2013
- [2]. http://chercheurs.edf.com/fichiers/fckeditor/Commun/Innovation/ theses/TheseGrange.pdf.
- [3]. http://portail.cder.dz/spip.php?article768. Lundi 25 Janvier 2013.

Chapitre I

Recherche bibliographique

Introduction :

Les centrales hélio-thermodynamiques recouvrent l'ensemble des technologies visant à transformer l'énergie du rayonnement solaire en chaleur de haute température, puis à convertir cette chaleur en énergie électrique.

Le principe général d'une centrale consiste à utiliser des miroirs pour concentrer les rayons du soleil sur un fluide qui se vaporise, la vapeur ainsi obtenue actionne une turbine qui produit de l'électricité.

Nous nous intéressons en ce premier chapitre à la technologie des tours solaires qui utilisent de grands miroirs, appelés héliostats. Des centaines de miroirs sont disposées de façon à concentrer le rayonnement solaire vers un point situé au sommet d'une tour.

Une centrale à tour comprend quatre composants essentiels à son fonctionnement : Un champ d'héliostats, une tour, un récepteur solaire et un bloc de conversion thermoélectrique.

I.1. Définition d'une tour solaire :

Les tours solaires produisent de l'énergie électrique à partir du rayonnement solaire, ce dernier est concentré sur un échangeur de chaleur monté sur la tour appelé *récepteur*. Le système utilise des centaines de miroirs de poursuite solaire appelés *héliostats* pour réfléchir la lumière solaire incidente sur le récepteur centrale (*Figure I.1*). [1]



Figure I.1: (a) Principe d'une centrale à tour; (b) exemples d'une centrale solaire à tour GEMA SOLAR (Espagne). [2]

L'énergie du soleil est transférée à un fluide : de l'eau, l'air, le métal liquide et le sel fondu. Ce fluide est ensuite pompé vers un échangeur de chaleur ou directement à un générateur à turbine. [2]

Les récepteurs centraux peuvent atteindre des taux élevés de température (plus que 800 ^{o}C), donc plus élevés que celles des cylindro-paraboliques (jusqu'à 565 ^{o}C). [2]

I.2. Les différents composants d'une centrale à tour :

Une centrale à tour comprend trois composants essentiels à son fonctionnement : un champ d'héliostats (permettant de collecter et concentrer les rayons solaires), une tour associée par un récepteur solaire et un bloc de conversion thermoélectrique : [3]



Figure I.2 : Les composants d'une centrale thermoélectrique solaire en tour et le principe de fonctionnement. [14]

I.2.1- Les héliostats :

L'Héliostat : comprend deux mots grecs « hélio » et « stat » signifiant respectivement soleil et immobile, celui-ci renvoyant au caractère immobile de la tache réfléchie tout au long de la journée. Les héliostats permettent ainsi d'envoyer le flux solaire concentré sur le récepteur, placé dans la majeure partie des cas en haut de la tour. La position des héliostats dans le champ dépend aussi de la hauteur de la tour, où le récepteur est très souvent installé. [4 - 5]

Les principaux composants d'un héliostat sont une surface réfléchissante légèrement incurvée, une structure de support et un système mécanique de suivi du soleil, comprenant des systèmes moteurs et des systèmes de contrôle (*Figure I.3*). [4 - 5]





Figure I.3: (a) Arrière de l'héliostat. (b) Une photographie de la face arrière d'un héliostat. [6]

I.2.2- La tour :

La tour sert à placer le récepteur à une hauteur optimale suivant la latitude du site et la taille du champ solaire. Il faut également respecter deux critères essentiels : une bonne résistance au vent et un ombrage minimum sur le champ d'héliostats. Par ailleurs, qu'elle soit en métal ou en béton, un critère esthétique doit être pris en compte afin que les centrales à tour soient acceptées par les populations locales (*Figure I.4*). [7]



Figure I.4 : Exemples de tours de centrales solaires. [7]

Depuis peu de temps, de nouveaux concepts émergent et envisagent des *champs multitours (Figure I.5)* qui permettent de réduire les pertes optiques en densifiant le champ solaire.[7]



Figure I.5: Quelques exemples de champs multi-tours. [8]

I.2.3- Le récepteur solaire :

Le récepteur solaire central est le siège de la conversion du rayonnement solaire en chaleur sensible. C'est la chaudière, échangeur thermique dans lequel l'apport de chaleur est effectué exclusivement sous forme de rayonnement absorbé par une paroi puis diffusé par conduction dans la structure interne de l'échangeur. Le fluide de transfert, ou caloporteur, circule dans cette structure et s'échauffe par échange convectif. [9]

Le récepteur solaire central est un des composants les plus critiques du système. Ses performances conditionnent les performances globales de la centrale solaire, faisant ainsi l'objet de nombreuses recherches. Ce composant est le plus soumis à des conditions de fonctionnement très sévères : température de service élevée, gradient thermique lié au transfert conductif d'un flux de chaleur élevé, variation rapide de température sur de fortes amplitudes lors des passages nuageux. La technologie du récepteur est déterminée par la nature du fluide caloporteur, la température de service visée, la puissance nominale à transférer au fluide. Elle est liée à la concentration du rayonnement délivrée par le champ. [9]

I.2.3-1. Les différents types des récepteurs solaires :

Dans un système de récepteur centrale, le récepteur solaire est l'échangeur de chaleur où le rayonnement solaire est absorbée et transformée en énergie thermique utile dans des systèmes de conversion de puissance. Il existe différents critères de classification des récepteurs solaires, en fonction de la configuration géométrique et les matériaux absorbants utilisés pour transférer l'énergie au fluide caloporteur. [10]

Trois catégories de récepteurs solaires à hautes températures sont examinées: les récepteurs volumétriques, les récepteurs à cavité et les récepteurs à particules :

I.2.3-1.a) Récepteurs volumétriques :

• Concept de base :

Les récepteurs volumétriques (*Figure. I.6 et Figure. I.7*) sont constitués de fils poreux ou en métal ou en céramique. Un bon récepteur volumétrique produit un effet appelé l'effet volumétrique (*Figure. I.7*), ce qui signifie que la partie irradiée de l'absorbeur est à une température inférieure à celle du milieu quittant l'absorbeur. [11]

La structure poreuse agit comme échangeur de chaleur par convection où le fluide caloporteur (les particules d'air) est forcé à absorber le rayonnement solaire direct par le mode de transfert de chaleur par convection. [11]



Figure I.6 : Récepteur solaire volumétrique à air pressurisé (de type REFOS HT). [13]



I.2.3-1.b) Récepteur solaire à cavité :

Concept de base :

Dans un récepteur à cavité, le rayonnement réfléchi par les héliostats passe à travers une ouverture dans une structure en forme de boîte avant, frappant sur la surface de transfert de chaleur du récepteur (*Figure I.8*). [14]



Figure I.8: Un récepteur solaire sans cavité (a) ; un Récepteur solaire à cavité (b) et La conception de base d'un récepteur à cavité en cinq panneaux, une ouverture et une fenêtre d'air, pour la protection (c). [10], [14]

I.2.3-1.c) Récepteur solaire à particule :

Concept de base :

Les récepteurs à particules (*Figure. I.9*) sont peut-être moins connus que d'autres récepteurs solaires appliqués dans les centrales à tours, mais pas moins intéressant. [15] Le récepteur à particules, comme son nom l'indique, utilise des particules solides pour absorber le rayonnement solaire concentré directement elles servent de fluide caloporteur et support de stockage.



Figure. I.9 : Système récepteur à particules, avec réservoir de stockage et échangeur de chaleur. [16]

Ce type de récepteurs solaires peut atteindre une température élevée puisque le flux solaire est directement absorbé par le fluide caloporteur, les échangeurs de chaleur ne sont donc pas nécessaires. [15]

I.3. Les Concentrateurs Paraboliques Composés (C.P.C.) :

Le concept du C.P.C a été introduit par *Winston* en **1974**. **[17]**, qui est un type de concentrateur non-imagerie (*non-Imaging type of concentrator*).

Comme on le voit d'après la *Figure. 1.10.* Le **C.P.C.** se compose de sections de deux paraboles « A » et «B», avec leurs points focaux à « F_A » et « F_B » respectivement, Les parties en pointillés des deux courbes sont tronquées, et que les parties représentées par des lignes solides constituent le **C.P.C.**

L'angle entre les deux lignes tracées parallèlement aux axes des paraboles 'A' et 'B ' passant par les points focaux "F_B "et" F_A " respectivement est l'angle d'acceptation (**20**). [17] Les diamètres, d'entrée du **C.P.C.** à travers (20) : **d**₁ ; et de sortie du **C.P.C.** c'est l'écart entre « $F_A \gg$ et « $F_B \gg$: **d**₂ .Après une ou plusieurs réflexions, la production d'une concentration de type non- formation d'image est effectuée. [17]



Figure I.10: La géométrie de concentrateur parabolique composé (C.P.C.). [18]

La concentration géométrique du **C.P.C.** est (**d1/d2**), où **d**₁ est le diamètre de l'ouverture du **C.P.C.** et **d**₂ est le diamètre de réception solaire associé. Il ressort également de la figure que les sections des deux paraboles, formant un **C.P.C.** sont supérieurs à leurs plans focaux respectifs. [17]

En fonctionnement, le **C.P.C.** est déployé avec son récepteur linéaire, liée par le **C.P.C.**, aligné Est-Ouest et l'ouverture généralement incliné vers le sud (pour les emplacements dans l'hémisphère nord). L'*inclinaison* est telle que les rayons solaires incidents pénètrent dans le collecteur à l'intérieur de son angle de réception (2θ), et il est ajusté périodiquement lorsque les rayons incidents juste débordent au-delà de cet angle. Aussi, le **C.P.C.** est souvent tronquée au sommet dans la pratique pour limiter son hauteur, mais au prix d'une baisse de son taux de concentration. [17]

I.3.1. Quelques Applications du système C.P.C. :

Le rapport de concentration du **C.P.C.** est relativement faible, par rapport à l'antenne parabolique ou concentrateurs creux et génère des températures plus basses. Les chercheurs ont travaillé sur de nombreuses applications thermiques du **C.P.C.** où la facilité d'utilisation est importante, et des températures modérées sont suffisantes. L'utilisation du **C.P.C.** a également été signalée pour améliorer la génération de puissance des centrales photovoltaïques. [19] En raison de leur capacité à concentrer le rayonnement solaire incident à travers un grand angle d'acceptation, les **C.P.C.** ont été utilisés pour leur efficacité en tant que concentrateurs secondaires en combinaison avec les autres dispositifs de concentration. [20]

En conséquence, ils jouent un rôle bénéficiaire dans les technologies de la tour solaire, qui génèrent des températures très élevées (800 °C et plus). [20]

A. Andreozzi et al. [21] ont étudié un système qui est constitué d'un récepteur solaire en acier couplé à un C.P.C. en aluminium à ailettes. L'angle d'inclinaison de l'axe du système audessus de l'horizontale est de 11° (*Figure I.11*). Par conséquent, la convection entre les parois du système et de l'air n'est pas systématiquement axisymétrique et un modèle en trois dimensions devrait être mis en œuvre. Dans leurs travaux, ils ont étudié l'influence de l'implantation des ailettes sur le C.P.C. pour le contrôle thermique pariétal. Afin d'éviter la détérioration de matériau. [21]



Figure I.11: Le Croquis du système étudié par (Andreozzi et al). [21]

Les quatre systèmes à différents nombres d'ailettes sur C.P.C. (un, trois, sept et treize ailettes) sont présentés sur la *Figure I.12*. [21]



Figure I.12 : Le Croquis du récepteur pour quatre cas de nombre d'ailettes. [21]

La *Figure I.13* montre les résultats de (*Andreozzi et al*), la température pariétale du **C.P.C.** est réduite à chaque fois que le nombre d'ailettes augmente. [21]



Figure I.13: Les profils de la température pariétale du récepteur et C.P.C.pour différents nombres d'ailettes (Andreozzi et al). [21]

R.Tchinda. [22] a travaillé sur un C.P.C. sous forme tronquée, il l'a utilisé pour chauffer l'air. Le C.P.C. avait 0,6 *m* de hauteur, la largeur de 0,6 *m*, et 0,72 m^2 ouverture. L'assiette plate de l'absorbeur avait 0,24 m^2 de surface, et le taux de concentration était de 3.

La température maximale de l'air circulant est $72^{\circ}C$ lorsque le débit massique de l'air était de 1,3 g/s et la longueur du tube récepteur était de 2,0 m.



Figure I.14: La géométrie du C.P.C. en deux dimensions avec un absorbeur plat ;a) Coupe transversale et b) coupe latérale. [22]

L'efficacité thermique correspondant était de 10 %. Le C.P.C. est capable d'accepter le rayonnement solaire pendant de longues périodes chaque jour sans suivi toujours du soleil. Il a aussi l'avantage de concentrer le rayonnement diffus, qui n'est pas possible en utilisant un collecteur d'imagerie. Les dimensions principales pour le collecteur du C.P.C. utilisé sont marquées dans la *Figure I.14* à la fois une coupe transversale sur la *Figure I.14-a* et une vue latérale sur la *Figure I.14-b*.

Jing. D et al. [23] ont travaillé sur une photo catalytique réacteur solaire de production d'hydrogène à base de C.P.C., qu'elle a été conçue et testé. Le rapport de concentration de C.P.C. était de 4 et a augmenté la production d'hydrogène par un ordre de grandeur de 25 *ml/h* à 300 *ml/h*, les autres paramètres restant constants (*Figure I.15*).



Figure I.15 : La représentation schématique du C.P.C. avec un absorbeur circulaire. [23]

R. Adinberg et M. Epstein. [24] ont travaillé dans leur étude sur un dispositif expérimental spécialement conçu pour l'étude de carbo-réduction solaire du **ZnO** et est situé dans l'un des niveaux d'expérimentation d'une tour solaire, 36 *m* au-dessus du sol.

La réduction de l'oxyde de zinc (**ZnO**) avec du carbone pur a été étudié dans la gamme de température de 1200 à 1500 °*C* pour convertir l'énergie thermique solaire en énergie chimique sous la forme de zinc métallique, par la réaction :

$$ZnO + C \longrightarrow Zn (vapeur) + CO$$

Le système utilise une à trois héliostats permettant de suivre le soleil en plein soleil sur un miroir parabolique refroidi à l'eau (2*m* de diamètre), comme le montre la *Figure I.16*.

Ce miroir concentre les rayons du soleil vers le bas pour les optiques secondaires d'un concentrateur parabolique composé (**C.P.C.**) afin de générer un flux de rayonnement pic entre 1000 et 2000 KW/m^2 . [24]

Le rayonnement solaire concentré par le **C.P.C.** est absorbé par un récepteur solaire à cavité et transféré dans le réacteur (*Figure I.16*). Le récepteur a été fabriqué à partir de fibres céramiques à base d'Alumine et de la forme d'une boîte de 350X 205X 305 *mm* de dimensions intérieures. [24]



Figure I.16 : Schéma de l'installation expérimentale utilisée avec un réacteur tubulaire. [24]

Un réacteur tubulaire est situé horizontalement le long des grands axes de la boîte. Le réacteur est placé à 200 *mm* en arrière de l'ouverture afin de réduire l'intensité du flux solaire concentré directement frapper la surface absorbante. [24]

Ce dispositif optique peut fournir une énergie solaire nette d'environ 20 *KW* thermique pour le processus chimique. [24]

Une vue schématique du réacteur tubulaire, constitué d'un tube de diamètre externe de 38,1*mm*, est représenté sur la *Figure I.17*.



Figure I.17 : Schéma de la construction d'un réacteur solaire de type tubulaire. [24]

Conclusion :

Nous nous sommes intéressés dans ce chapitre à la définition d'une tour solaire. Les caractéristiques de ces différentes composantes sont présentées tel que: les champs d'héliostats et des tours

Enfin les différents types des récepteurs solaires et le système **C.P.C.** sont analysés et la liste des dernières recherches publiées sur les applications du **C.P.C.** montre que ce dernier joue un rôle essentiel dans les technologies émergentes pour concentrer l'énergie solaire.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES I :

- [1]. Stoddard, M.C., and Al, SOLERGY. (May 1987). «A Computer Code for Calculating the Annual Energy from Central Receiver Power Plants », Sandia National Laboratories, Livermore, CA. Report SAND 86-8060.
- [2]. Enermodal Engineering Ltd. / Marbek Resource Consultants Ltd. (5 May 1999). « Cost Reduction Study or Solar Thermal Power Plants »: 8.
- [3]. Trieb F., O'Sullivan M., Pregger T., Schillings C., Krewitt W. (2009) « Characterisation of solar electricity import corridors from MENA to Europe – Potential, Infrastructure and Cost, project REACCESS »: 172, disponible sur: http://www.dlr.de/tt/csp-resources
- [4]. Collado F. & Guallar J. (15-18 September 2009). « Design of solar tower plants heliostat by heliostat: the blocking factor, Proceedings of 15th Solar PACES International Symposium », Berlin, Germany.
- [5]. Salbidegoitia I.B., Yañez L. (21-24 September 2010). «Aspects to take into account for big size solar fields at central tower plants », Proceedings of 16th Solar PACES International Symposium, Perpignan, France.
- [6]. King, D. L. (August 1982). "Beam Quality and Tracking Accuracy Evaluation of Second Generation and Barstow Production Heliostats". Sandia National Labs Report SAND82-0181.
- [7]. Schramek P. & Mills D. (2003). « Multi-tower solar array » .Solar Energy 75(3): 249-260.
- [8]. **D. Mills. (2004).** *«Advances in solc ar thermal electricity technology »*,Department of Applied Physics, University of Sydney, Sydney, Australia, Solar Energy, 76: 25.
- [9]. Reilly, H. E., and Kolb, G. J. (2001) "An Evaluation of Molten-Salt Power Towers Including Results of the Solar Two Projects" .Report No. SAND 2001-3674.
- [10]. Clifford K.Ho n, Brian D. (2 October 2013). « Review of high-temperature central receiver designs for concentrating solar power », Iverson Sandia National Laboratories, Concentrating Solar Technologies, Department, POBox 5800, Albuquerque, NM87185-1127,USA.
- [11]. Romero-Alvarez Manuel, Zarza Eduardo. (2007). « Concentrating solar thermal power energy conversion », (19). LLC: Taylor & Francis Group;

- [12]. M. Vrinat, A. Ferrière, P. Mercier, F. Pra. « Development of a high temperature air solar receiver based on compact heat exchanger technology ». PROMES laboratory (CNRS), GRETh-LETH laboratory (CEA) ,GRETH-LETH Laboratory, CEA de Grenoble ,DRT / LITEN / DTS/LETH ,17 rue des Martyrs, 38054 Grenoble Cedex 9 -France : 3 , ou: <u>mathieu.vrinat@cea.fr</u>
- [13]. European Union. (2005). « Project Report: SOLGATE, Solar Hybrid Gas Turbine Electric Power System », available on: http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/solgate_en.pdf
- [14]. Omar Behar a,n, Abdallah Khellaf b, Kamal Mohammedia. (2013). «A review of studies on central receiver solar thermal power plants ». L.E.M.I Laboratory ,University of M'hamed Bougara ,UMBB, Boumerdes , Algeria , Centre de Developpement des Energies Renouvelables, CDER , Bouzareah ,Algeria; Renewable and Sustainable Energy Reviews 23: 12–39.
- [15]. Zanganeh G,Pedretti A,Zavattoni S,Barbato M, Steinfeld A.(2012). « Packed-bed thermal storage for concentrated solar power-pilot-scale demonstration and industrialscale design ».Solar Energy;86: 3084–98.
- [16]. Webb BW, Viskanta R. (1985). « Analysis of heat transfer and solar radiation absorption in an irradiated, thin, falling molten salt film». Journal of Solar Energy Engineering 1985; 107(2):6-113.
- [17]. Winston R. (1974). "Principles of solar concentrators of a novel design". Sol Energy;16: 89-95.
- [18]. S.P. Sukhatme and J.K. Nayak. (2012). «Solar energy principle of thermal collection and storage», Tata Mcgraw hill, Third Edition : 233-234.
- [19]. Runsheng Tang, Yamei Yu. (2010). «Feasibility and optical performance of one axis three positions sun-tracking polar-axis aligned CPCs for photovoltaic applications». Sol Energy; 84 : 75, 1666.
- [20]. Segal A, Epstein M. (2009). «Truncation of the secondary concentrator (CPC) as means to cost effective beam-down system». ASME Conf Proc 2009: 5-561.
- [21]. A. Andreozzi, Bianco, O.Manca, S.Nardini et V.Naso. (2012). «Three Dimensional Numerical Analysis and Optimisation of a Fin Heat Sink System». A termotecnica. Rinnovabili: Solar: 75-80.
- [22]. **R.Tchinda.** (2008)."*Thermal behaviour of solar air heater with compound parabolic concentrator*". Energy Convers Manage; 49: 40-529.

- [23]. Jing D, Liu H, Zhang X, Zhao L, Guo L.(2009). "Photocatalytic hydrogen production under direct solar light in a CPC based solar reactor: reactor design and preliminary results". Energy Convers Manage; 50:60-2919.
- [24]. Roman Adinberg, Michael Epstein.(2004). « *Experimental study of solar reactors for carbo-reduction of zinc oxide* ». Energy ; 29 : 757–769.

Chapitre II

Formulation du problème

Introduction :

Dans cette partie du travail on s'appui sur la présentation du domaine d'étude qui consiste en un assemblage d'un C.P.C. avec un récepteur solaire, le C.P.C.est muni d'ailettes. Les équations de conservation régissant le phénomène seront décrites ainsi que le maillage, les conditions aux limites et les propriétés thermo-physiques.

II.1. La géométrie :

La géométrie est un couplage d'un concentrateur parabolique composé « **C.P.C.** » (en Aluminium) avec un récepteur solaire qui est formé par deux cônes tronqués creux, le <u>diamètre</u> d'entrée du **C.P.C.** D_e = 0.6 m et le <u>diamètre</u> de sortie D= 0.2 m, alors que sa longueur L= 1m, les <u>diamètres</u> du **cône 1** sont D= 0.2 m, D'= 0.9 m respectivement, et L₁= 0.2 m de longueur, et les <u>diamètres</u> du **cône 2** sont D'= 0.9 m, D_s= 0.18 m et L₂= 0.45 m de longueur. L'angle d'inclinaison de l'axe du système avec l'horizontale est de 11 degrés. Une lentille de *Quartz* est située entre le *C.P.C.* et le récepteur solaire (Voir *Figure II.1*). [1]



Figure II.1 : Schéma de la Géométrie du C.P.C. et du Récepteur solaire

Quatre configurations différentes d'*ailettes circulaires trapézoïdales* situées sur la surface du *C.P.C.* sont étudiées afin de donner les meilleures performances thermiques, leurs emplacements (en mm) sur le *C.P.C.* sont présentés dans la *Figure II.2* :

Cas a : 1 ailette, à rayon externe 0.2 m et d'une épaisseur de 0. 006 m. [1]

Cas b, c et d : 3, 7 et 13 ailettes, dont le <u>rayon</u> externe est égale à 0.35m ; et d'épaisseur 0.006m. [1]



Figure II.2 : Présentation graphique des 4 cas étudiés et leurs dimensions (en mm).

II.2. Les principales équations régissant le phénomène :

En se basant sur les principes de conservations nous présentons les équations permettant de résoudre le problème :

II.2.1- Equations en régime laminaire :

On appelle ainsi des écoulements dans lesquels les lignes de courant ont un aspect régulier.

Les différentes couches du fluide glissent alors les unes sur les autres sans échanger de matière. Ce sont les plus faciles à étudier car l'exploitation des symétries permet de prévoir l'orientation du champ de vitesse. [2]

II.2.1-1. Equations générales :

Les équations exprimant les phénomènes d'écoulements sont principalement celles de dérivées des lois physiques de conservation de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie.

II.2.1-1. a) Equation de la continuité:

Le principe de conservation de la masse se traduit par une équation de continuité qui exprime ,sur le mode d'un bilan, l'égalité entre la résultante des flux entrant et sortant d'un volume de contrôle élémentaire et la variation de masse de ce volume.[3]

Si bien que l'équation de continuité peut s'écrire sous la forme générale: [3]

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + div(\rho \vec{v}) = 0 \tag{II.1}$$

Où ρ est la masse volumique et \vec{v} est le vecteur vitesse.

II.2.1-1. b) Conservation de quantité de mouvement, (Equation de mouvement):

Un fluide ne peut être mis ou maintenu en mouvement que s'il est soumis à l'action d'un certain nombre de forces motrices. [4]

Ces forces permettent de vaincre les résistances dûes à la cohésion interne, qui s'opposent au mouvement. Depuis longtemps, les scientifiques ont découvert la relation qui doit exister entre toutes ces grandeurs .Cette relation, qu'on appelle principe de conservation de quantité de mouvement ou principe fondamentale de la mécanique, s'énonce ainsi : [4]

{ vitesse de variation de quantité de mouvement à l'intérieur de l'élément } débit d'entrée de quantité de mouvement par convection } - { débit de sortie de quantité de mouvement par convection } + { somme des forces extérieures appliquées à l'élément }

$$\rho \frac{DV}{Dt} = -grad \, p + \mu \Delta \vec{v} + \frac{1}{3} \, \mu \, grad \big(div(\vec{v}) \big) + \rho F \tag{II.2}$$

Où F est une force par unité de volume et μ est la viscosité dynamique.

II.2.1-1.c) Equation de conservation d'énergie :

L'équation de conservation d'énergie est obtenue à partir du premier principe de la thermo- dynamique. Ce principe met en relation les différentes formes d'énergie, soit : [5]

$$\frac{D}{Dt}(\rho C_p T) = \Delta(\lambda T) + q + \beta T \frac{Dp}{Dt} + \mu \phi.$$
(II.3)

 $\frac{D}{Dt}(\rho C_p T)$: La variation totale d'énergie ;

 $\Delta(\lambda T)$: La variation d'énergie par conduction ;

q	: Puissance volumique dissipée ;
$\beta T \frac{Dp}{Dt}$: La variation d'énergie due à la compressibilité ;
,	

 $\mu\phi$: La dissipation d'énergie irréversible due au frottement visqueux.

Les coefficients λ , C_p et β sont respectivement : la conductivité thermique, la capacité calorifique et le coefficient de dilatation isobare du fluide.

II.2.1-2. Pour quoi l'approximation de Boussinesq n'est pas applicable pour ce cas d'étude ?

D'aprés la plage de température de notre travail qui est de 300 à 1123 K, **l'approximation de Boussinesq** n'est pas valide. En effet, dans cette plage de température, le produit du coefficient de dilatation thermique de l'air : $\beta = \frac{1}{T} = \frac{1}{300} = 0.003$ et pour la température entre la paroi de C.P.C. et l'air, β se trouve dans la plage de 0,3 à 3,075. [6] Ces valeurs sont beaucoup plus élevées que **0,1** pour que **l'approximation de Boussinesq** soit applicable. [6]

II.2.1-3. Simplification du système d'équations :

Pour construire des modèles suffisamment détaillés et précis, il faut parfois tenir compte d'un certain nombre d'hypothèses simplificatrices. Pour cela, on suppose : [5]

- Le Fluide est visqueux et Newtonien; donc les propriétés physiques de l'air confiné à l'intérieur du récepteur (λ, ρ, C_p,) sont supposées constantes.
- > On considère l'air comme un fluide incompressible ;
- > On a étudié les deux cas laminaire et turbulent.
- Dans le cas où la masse ρ et la viscosité μ peuvent être considérées comme constantes, les équations de quantité de mouvement prennent des formes vectorielles un peu plus simples appelée équations Navier- Stockes. [4].
- \blacktriangleright L'écoulement est tridimensionnel (*x*, *y*, *z*).
- > Les forces volumiques se réduisent à l'accélération de la pesanteur (g);
- La puissance volumique dissipée $(q \neq 0)$;
- Le fluide est complètement transparent (pas d'échange par rayonnement au sein du fluide).
- > Le flux de dissipation visqueuse de la chaleur est négligeable : $\Box = 0$;
- > Le terme $\beta T \frac{Dp}{Dt}$ (la variation d'énergie due à la compressibilité) est négligeable.

Après l'introduction des hypothèses données ci-dessus, on peut considérer les équations suivantes décrivant le phénomène étudié :

$$div\left(\vec{v}\right) = 0 \tag{II. 4}$$

$$\frac{D}{Dt}(\vec{v}) = -\frac{1}{\rho} grad \, p + v\Delta \vec{v} + g_i \tag{II. 5}$$

$$\frac{DT}{Dt} = \left[\frac{\partial T}{\partial t} + (\vec{v}.\nabla)T\right] = \alpha \,\Delta T + \frac{1}{\rho C_p} q \tag{II. 6}$$

Où $\alpha = \frac{\lambda}{\rho c_p}$ c'est la diffusivité thermique de fluide, et (q) c'est la puissance volumique

Dans le cas d'un écoulement stationnaire ($\frac{\partial}{\partial t} = 0$) et tridimensionnel, le système d'équations relatives à un système de coordonnées cartésiennes s'exprime par :

*Equation de continuité :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$
(II. 7)
*Equation de quantité de mouvement :

Equation de quantité de mouvement suivant x :

$$u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} + w\frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x} + v\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right) + g_x$$
(II. 8)

Equation de quantité de mouvement suivant y :

$$u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} + w\frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y} + v\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2}\right) + g_y$$
(II. 9)

Equation de quantité de mouvement suivant z :

$$u\frac{\partial w}{\partial x} + v\frac{\partial w}{\partial y} + w\frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z} + v\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2}\right) + g_z$$
(II. 10)

*Equation d'énergie :

$$u\frac{\partial T}{\partial x} + v\frac{\partial T}{\partial y} + w\frac{\partial T}{\partial z} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right) + \frac{1}{\rho c_p}q$$
(II. 11)

Les équations différentielles de la continuité, de la quantité de mouvement et de l'énergie forment le modèle mathématique de l'écoulement laminaire.

*Equation d'état des gaz parfaits :

Lorsqu'un gaz est en équilibre thermodynamique, il existe une relation simple entre ses paramètres d'état. C'est l'équation d'état des gaz parfaits : [7]

$$PV = nRT \tag{II. 12}$$

P: la pression du gaz;

V : le volume du gaz ;

n : la quantité de matière des gaz parfaits ;

T : la température absolue ;

La constante des gaz parfaits a pour valeur R=8.314 $J mol^{-1}k^{-1}$; [7]

II.2.2- Equation en régime Turbulent :

Pour voir l'influence de la vitesse du fluide sur les propriétés thermiques du **C.P.C.** et les ailettes c'est-à-dire étudier le cas de journées ventées, nous nous sommes penchés sur le traitement du cas turbulent par la variation du nombre de Reynolds à l'entrée du **C.P.C.** Une comparaison des résultats sera faite pour voir lequel des deux phénomènes laminaire ou turbulent donne un meilleur refroidissement pariétal. Il existe plusieurs modèles de turbulence dont les plus utilisés actuellement pour des calculs d'écoulement et de transfert thermique sont les modèles à viscosité turbulente à deux équations (les modèles k- ε et k- ω) pour un bas nombre de Reynolds. Ces modèles offrent souvent un bon équilibre entre la complexité et l'exactitude. [8]

Equation de continuité :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (\rho U_j)}{\partial x_j} = 0 \tag{II. 13}$$

> Equation de conservation de quantité de mouvement :

$$\frac{\partial(\rho U_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho U_i U_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \left(\frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial U_k}{\partial x_k} \right) - \rho \overline{u_i u_j} \right]$$
(II. 14)

> Equation de conservation d'énergie totale :

$$\frac{\partial(\rho E)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho U_j E)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\lambda_c \frac{\partial T}{\partial x_j} + U_i \tau_{ij} - \rho C_v \overline{u_j T'} \right]$$
(II. 15)

Fluent fournit le choix des différents modèles de turbulence :

- Le modèle à une équation Spalart-Allmaras.
- Les modèles à deux équations :
 - Modèle k- ε standard : c'est celui choisit pour notre cas d'étude.
 - → Renormalization-group (RNG) k- ε .
 - ▶ Realizable k- ε .
 - \succ Modèle *k*-ω.
 - > Modèle SST k- ω .
- Les modèles à cinq équations Reynolds stress model (RSM).

II.2.2-1. Description de modèle Standard k-ε:

Pour des nombres de Reynolds élevés, les termes des contraintes de Reynolds sont estimées par : [9]

$$\overline{-\rho u_i u_j} = 2\mu_t S_{ij} - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij}.$$
(II. 16)

 $S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_i} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right)$: est le tenseur de déformation.

 u_i et u_j : sont les vitesses fluctuantes.

U_iet U_j : sont les vitesses de l'écoulement moyen.

La viscosité turbulente est donné par :

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} . \tag{II. 17}$$

Dans lequel $k = \frac{1}{2} \overline{u_i u_i}$ et $\varepsilon = v \frac{\overline{\partial u_i}}{\partial x_j} \frac{\partial u_i}{\partial x_j}$ sont respectivement l'énergie cinétique et son taux de dissipation. Ceci satisfait les équations de transport en n'importe quel point du domaine d'écoulement. [9]

$$\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \frac{\partial (\rho U_j k)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + 2\mu_t S_{ij} S_{ij} - \rho \varepsilon + G_b - Y_M$$
(II. 18)

$$\frac{\partial \rho \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial (\rho U_j \varepsilon)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_{\varepsilon}} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + 2C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} \mu_t S_{ij} S_{ij} - C_{\varepsilon 2} \rho \frac{\varepsilon^2}{k}$$
(II. 19)

 Y_M : C'est le terme de dilatation-dissipation, il est négligeable dans notre cas (incompressible).

 G_b : Le taux de génération de l'énergie cinétique de turbulence.

Les coefficients du modèle k-ɛ Standard sont comme suit : [9]

$$C_{\mu}=0.09$$
; $C_{\varepsilon 1}=1.44$; $C_{\varepsilon 2}=1.92$; $\sigma_k=1.0$ et $\sigma_{\varepsilon}=1.3$

La vitesse du vent en Algérie :

A partir de la carte de distribution de vitesse des vents de l'Algérie (*Figure II.3*), nous avons remarqué que la vitesse moyenne du vent dans la plupart des régions de la carte est de l'ordre de 6 m/s à une altitude de 80 m (donc : $Re = 3.58 \cdot 10^5$). [10]



Figure II.3 : Carte de distribution de vitesse des vents de l'Algérie. [10]

II.3. Les différents modes de transfert de chaleur :

On distingue trois mécanismes de transfert de chaleur entre milieux matérielles solides (paroi **C.P.C.**, Ailettes et récepteur solaire) et fluide (l'air en mouvement) :

Le transfert conductif, convectif et le transfert radiatif (*Figure II.4*). Sur cette figure nous présentons les différents échanges thermiques entre le bloc (**C.P.C.**, récepteur solaire) et le fluide qui est l'air pour notre cas :

*L'échange conductif se fait au niveau des parois **C.P.C.**, ailettes et récepteur solaire. *L'échange convectif entre :

- > C.P.C. et air.
- ➢ Ailette et l'air.
- Récepteur et air.

* Puis l'échange radiatif entre **C.P.C.** et la source. La source ici est une combinaison entre le rayonnement solaire et le rayonnement concentré par le champ des héliostats.



Figure II.4 : Schéma des différents modes de transferts de chaleur (conductif, convectif et radiatif) régissant le phénomène étudié (C.P.C. + Récepteur solaire).

II.3.1- Les échanges Conductifs :

Dans les conditions naturelles, les échanges de chaleur par conduction concernent essentiellement les transferts thermiques entre la paroi **C.P.C.** et à travers les Ailettes.

Dans un milieu homogène, isotrope et de température non uniforme, l'expression reliant le gradient de température, la nature conductive du milieu et la quantité de chaleur transférée se présente sous la forme : [11], [12] (*Figure II.4*)

$$q_x = -\lambda \, S \, \frac{\partial T}{\partial x_i} \tag{II. 20}$$

L'expression vectorielle de la densité de flux de chaleur s'exprime par la *loi de Fourier* suivant: [12]

$$\vec{\varphi} = \frac{\vec{q}}{s} = -\lambda \,\overline{grad} \,T \tag{II. 21}$$

(On suppose que le matériau du C.P.C. et des ailettes (Aluminium) est isotrope donc la conductivité thermique est constante : $\lambda_x = \lambda_y = \lambda_z = \lambda$).

II.3.2- Les échanges Convectifs :

Les transferts de chaleur entre les surfaces solides (C.P.C., ailettes et récepteur solaire) et le fluide (l'air en mouvement) sont de type convectif.

Le transfert thermique convectif entre la paroi solide (Récepteur, C.P.C, Ailettes) et le fluide (air) est donné par la loi de Newton : [13] (*Figure II.4*)

$$q = h_c S(T_p - T_f) \tag{II. 22}$$

 T_f : Température de fluide.

 T_p : Température de paroi.

S : Surface de contact fluide/solide.

h_c : Coefficient d'échange thermique par convection (local).

Le flux thermique total échangé entre la paroi et le fluide se détermine par: [14]

$$\varphi = \int_{S} q dS \tag{II. 23}$$

Qui devient

$$\varphi = (T_p - T_f) \int_{S} h_c (x, y, z) dS$$
(II. 24)

On écrit le flux thermique par la formule suivante : [14]

$$\varphi = \bar{h}_c S(T_p - T_f) \tag{II. 25}$$

Où \bar{h}_c est le coefficient de convection moyen. Il caractérise le flux thermique sur l'intégralité de la surface solide et il se détermine par la formule : [14]

$$\bar{h}_c = \frac{1}{s} \int_S h_c(x, y, z) dS \tag{II. 26}$$

II.3.2-1. Calcul fondamental du transfert thermique par convection :

Le coefficient de transfert thermique « h_c » dépend des modes de convection et des types d'écoulements (laminaires ou turbulents). D'après la théorie de la couche limite laminaire, le nombre de *Nusselt* est défini par : [16]

$$Nu = \frac{h_c L}{\lambda}$$
(II. 27)

L: est la longueur caractéristique de la surface, son choix dépend de la géométrie du système considéré.

 λ : est la conductivité thermique de l'air.

En convection libre, le transfert de la chaleur à travers le mouvement fluide induit par les gradients de la température. Dans tels cas, Nusselt peut être exprimé comme une fonction des nombres de *Grashof* « Gr » et *Prandtl* « Pr » : [16]

$$Nu = C (Gr \Pr)^{n}$$
(II. 28)

Où : Gr est le nombre adimensionnel de Grashof, Soit :

$$Gr = \frac{g\beta(T_P - T_f)L^3}{\nu^2} = \left(\frac{poussée \, d'Archimède}{force \, de \, frottement}\right)^2 \tag{II. 29}$$

n et C sont des constantes qui dépendent de la géométrie et du type d'écoulement. [16]

 $n = \frac{1}{4}$ pour la convection laminaire.

 $n = \frac{1}{3}$ pour la convection turbulente.

Le coefficient « C » dépend du régime de convection et de la géométrie : [16]

> Une convection laminaire : 0.2 < C < 0.6.

> Une convection turbulente : 0.07 < C < 0.15

Pr: est le nombre de Prandtl, il caractérise l'importance relative des effets thermiques et visqueux. [16]

Soit :

$$Pr = \frac{v}{\alpha} \tag{II. 30}$$

 ν : La viscosité dynamique, soit: $\nu = \mu C_p$.

 μ : La viscosité cinématique.

 α : La diffusivité.

II.3.3- Les échanges Radiatifs :

Le transfert radiatif est entre le soleil et les héliostats comme une source et les parois du bloc (**C.P.C.** et récepteur).

Le rayonnement c'est une transmission d'énergie à distance, entre deux corps séparés ou non par un milieu matériel (transformation d'énergie thermique d'un émetteur en énergie électro -magnétique, propagation, transformation partielle en énergie thermique sur un corps récepteur). C'est le cas de l'énergie qui nous vient du soleil. [15]

L'interprétation physique est la suivante : tout corps émet des particules désignées par photons ; ceux-ci se déplacent à la vitesse de la lumière et transportent une énergie en fonction de leur longueur d'onde. [15]

II.3. 3-1. Rayonnement entre solide et le milieu environnent :

Le flux radiatifs est donné par la relation : [15]

$$\varphi_r = \sigma \varepsilon_p S \left(T_P^4 - T_f^4 \right). \tag{II. 31}$$

II.3.3-2. Analyse des flux radiatifs sur une surface :

Considérons un rayonnement atteignant la surface d'un corps opaque, on peut distinguer les flux radiatifs suivants : (*Figure II.5*), [17]



Figure II.5 : Bilan radiatif sur une surface solide (Opaque). [17]

Avec :

$$\begin{split} \varphi_i &: \text{Le flux incident} : \varphi_i = \varphi_a + \varphi_r \, . \\ \varphi_a &: \text{Le flux absorbé} ; \\ \varphi_r &: \text{Le flux réfléchi} ; \\ \varphi_e &: \text{Le flux émis} ; \end{split}$$

Le flux partant : $\varphi_p = \varphi_r + \varphi_e$;

Le flux net défini par : $\varphi_{net} = \varphi_p - \varphi_i = \varphi_e - \varphi_a$.

Le flux net ainsi défini est compté positivement lorsqu'il est partant et négativement lorsqu'il est incident. [17]

II.3.3-2.a) Loi de Stefan Boltzmann :

Cette loi donne l'émittance totale du corps noir en fonction de la température : [12]

$$M^{\circ} = \sigma T^4 \tag{II. 32}$$

Soit, dans le vide : $\sigma = 5.67 \ 10^{-8} W \ m^{-2} k^{-4}$. [11]

II.3.3-2.b) Le corps gris :

C'est un corps dont l'émissivité directionnelle monochromatique est indépendante de la longueur d'onde $\varepsilon_{\lambda}^{'} = \varepsilon'$: indépendant de λ .

Un tel corps a le même spectre d'émission que le corps noir, mais avec une luminance plus faible (facteur $\varepsilon' < 1$). [17]

Pour un corps gris à émission isotrope, l'émissivité directionnelle monochromatique est indépendante de la longueur d'onde (λ) et de la direction : $\varepsilon_{\lambda}^{'} = \varepsilon$. L'émissivité d'un tel corps est une constante. [17], [18]

II.3.4- Transfert thermique simultané (couplé):

Dans les transferts thermiques simultanés, le flux de chaleur est transmis entre solide et fluide par convection et rayonnement. [12]

II.4. Généralité sur les ailettes :

Une **ailette** est un dispositif thermique visant à augmenter la surface de contact avec un fluide extérieur pour augmenter les échanges convectifs, et donc le transfert de chaleur.

L'ailette est en contact avec le corps chaud, la chaleur se propage par conduction à travers l'ailette qui est refroidi par convection par le fluide environnant. [19] (*Figure II.6*)



Figure II.6: Principaux flux entourant une ailette. [19]

Dans notre cas à étudier la conduction dans l'ailette est *stationnaire*, *tridimensionnelle* et *avec génération de chaleur* donc on ajoute la puissance volumétrique « q » et on écrit l'équation en trois dimensions (x, y, z) :

$$\frac{d^2T}{dx_i^2} + \left(\frac{1}{S_{cd}} \frac{dS_{cd}}{dx_i}\right) \frac{dT}{dx_i} - \left(\frac{1}{S_{cd}} \frac{h}{\lambda} \frac{dS_{cv}}{dx_i}\right) \left(T(x_i) - T_f\right) + \frac{q}{\lambda} = 0$$
(II. 33)

Ou' : *i*= 1, 2, 3 ou x, y, z



Figure II.7: Quelques formes des ailettes, la forme(c) c'est la forme d'ailette qui correspond à notre cas étudié avec un convergent à la place du cylindre. [14]

II.4.1- L'efficacité d'une ailette :

Pour notre cas l'ailette est de forme circulaire (*Figure II.7, (c*)), dont l'efficacité est donnée par la relation suivante : [1]

$$\overline{\eta_i} = \frac{flux \, r\acute{e}el \, \acute{e}chang\acute{e}}{flux \, max \, imum \, \acute{e}changeagle} = \frac{\dot{Q}_{f,i}}{\overline{h} \, S_i(\overline{T_{i,s}} - T_{amb})} \tag{II. 34}$$

 $\dot{Q}_{f,i}$: Le flux de chaleur réel dissipé par l'ailette,

 \overline{h} : Le coefficient de transfert convectif moyen,

S_i: la surface de l'ailette,

 $\overline{T_{i,s}}$: La température moyenne à la base de l'ailette.

 T_{f} : La température de l'air ambiant (dans notre cas $T_f = 300 k$).

A sa longueur complète et à un angle « $d\theta$ », l'efficacité de ce type d'ailette a aussi été évalue au moyen de l'expression suivante : [1]

$$\overline{\eta_i} = \frac{\int_0^L \overline{h} dn_i R_i d\theta [T_i(n,\theta) - T_{amb}]}{\overline{h} L_i R_i d\theta [T_{i,s}(\theta) - T_{amb}]} = \frac{\overline{T_i}(\theta) - T_{amb}}{T_{i,s} - T_{amb}}$$
(II. 35)

Où :

 L_i : La longueur de l'ailette « i ».

 $n_i = x_i \text{ pour } \square = 0^\circ, 180^\circ et \ n_i = y_i \text{ pour } \square = 90^\circ,$

 $T_{i,s}$: La température de la base d'ailette.

 R_i : Le rayon de la base d'ailette.

 $\overline{T_i}(\theta)$: La température moyenne de la surface latérale extérieure de l'ailette pour chaque valeur d'angle \Box (0°,90° et 180°). [1]

II.5. Le maillage :

Pour avoir choisi le meilleur maillage on a testé une série de type de maillages (structurés de type quad et non structuré tri/tétra) et un nombre des cellules sur les résultats .La *Figure II.8* montre le type de maillage qui a été choisi, c'est un maillage *non structuré* de type *tetrahédral* (la géométrie est de type 3D), la géométrie étudiée est très complexe.



Figure II.8 : Maillage non- structuré (3D) ; (a) maillage du C.P.C. (28346 Nœuds) et du récepteur solaire (23882 Nœuds), (b) maillage avec ailettes et (c) maillage du plan transversal.

La qualité d'un maillage dépend fortement de sa capacité à représenter la physique d'un problème avec un nombre de degrés de liberté minimum. Cela nécessite un contrôle strict de la taille, de la forme et de l'orientation des mailles en fonction de leur position dans le domaine de calcul. [20]

Ce contrôle sera d'autant plus facilement atteint avec des maillages *non-structurés* utilisés par les méthodes des éléments finis et des volumes finis que ces méthodes n'imposent aucune contrainte supplémentaire sur les relations topologiques ou de voisinages entre les mailles. [20]

Ceci confère aux maillages *non-structurés* une flexibilité géométrique n'est pas symétrique par les grilles structurées utilisées par les méthodes de différences finies. [20]

Bien qu'un maillage *non-structuré* peut contenir des éléments de formes différentes, les générateurs actuels de maillages non-structurés n'utilisent généralement que des mailles simples, c'est-à-dire des triangles pour les domaines bidimensionnels ou des tétraèdres pour les domaines tridimensionnels. [20]

En plus d'offrir la plus grande flexibilité géométrique possible, seuls ces maillages possèdent un cadre théorique (triangulation de Delaunay, *Figure II.9*) pouvant faciliter la mise au point d'algorithmes efficaces, flexibles et robustes de génération de maillages. [20]



Figure II.9 : Le graphe de Delaunay. [20]

Les maillages non structuré sont caractérisés par :

*Les Avantages : [21]

- Ils nécessitent moins de points par rapport aux maillages structurés.
- Peut être généré sur une géométrie complexe tout en gardant une bonne qualité des éléments.
- Les algorithmes de génération de ce type de maillage (tri/tétra) sont très automatisés d'où un gain de calcul énorme.

*Les inconvénients : [21]

- Le temps de calcul est en général plus long et il est plus difficile de stocker les données de calcul.
- ➢ Ils augmentent les erreurs.

II.6. Les propriétés thermo-physiques :

Les propriétés thermo-physiques de chaque élément constituant le bloc *récepteur- C.P.C.* sont données dans le *Tableau II.1* :

Propriétés	Récepteur solaire (acier)	C.P.C. (Aluminium)	Lentille (Quartz)	Air à 300k
Conductivité thermique « λ » (W/m k)	16.3	202.4	8.00	0.0242
Chaleur spécifique « C _{p »} (J/kg k)	502.5	871.0	741.0	1006.4
Densité « ρ » (Kg/m ³)	8030	2719	2650	1.78
Viscosité dynamique « µ » (Pa.s)	/	/	/	1.79.10 ⁻⁵

Tableau	II.1	: Les	propriétés	thermo-physiques	.[1]
---------	------	-------	------------	------------------	------

Les valeurs de flux de chaleur absorbé de chaque élément sont données dans le Tableau II.2 :

Elément	Q_a [w]
<i>C.P.C.</i>	2700
CONE 1	3100
CONE2	23000
TOTAL	28800

Tableau II.2 : Flux de chaleur absorbé, $Q_a[w]$. [1]

- Les surfaces intérieures du récepteur et de C.P.C. ont été supposées pour être des corps gris avec 0.85 et 0.2 d'émissivité, respectivement. [1]
- ➢ Le coefficient de transfert de chaleur par convection naturelle uniforme de l'air (*C.P.C.*) est donné par h=10 W/m².k et à l'intérieur de récepteur est de 150 W/m².k. [1]
- > la température de l'air ambiant est $T_f = 300 k$.

II.7. Les conditions aux limites :

Les conditions aux limites sont très importantes pour obtenir une solution exacte avec une convergence rapide.

Les conditions aux limites (C.A.L.) spécifient l'écoulement et les variables thermiques des limites du modèle physique. Ce sont par conséquent des composantes très critiques pour les simulations par **Fluent** et il serait très important de les spécifier correctement.

Afin de réaliser, une bonne diffusion de rayonnement solaire on a dévié le système par un angle de **11**°, pour cela on met les nouveaux composantes cartésienne x, y, z comme suit :



$$x = 1.\cos(11^{\circ}) = 0.98$$

y = 1.sin(11^{\circ}) = -0.1908
z = 0

Figure II. 10: Conditions aux limites sur le C.P.C. et le récepteur solaire.

Avec :

**C.A.L 1 : MASS_FLOW_INLET :* condition d'entrée, pour définir la valeur de vitesse à l'entrée et les propriétés du fluide entrant (à cause du manque de données climatiques concernant le cas d'étude). Les paramètres caractérisant la condition à la limite sont :

La température à l'entrée $T_e = 300 k$.

**C.A.L 2 : WALL :* condition à la limite utilisée *sur les parois verticales* (la Lentille de Quartz) et *les parois horizontales* (C.P.C. et Récepteur), on a :

- ➢ Pour la température, elle est variable $(\frac{\partial T}{\partial x_i})$, les parois sont considérées non adiabatiques que ce soit pour le récepteur solaire, C.P.C., lentille de Quartz ou les ailettes, afin d'étudier leur température.
- Pour la vitesse u =v =w= 0 (conditions de non glissement entre le fluide et la paroi interne de la conduite).

**C.A.L 3* : *WALL* : condition à la limite de *sortie* utilisée, on a une paroi (non adiabatique) en *acier* d'une température de T=1123k. [1]

Conclusion :

Dans ce chapitre, la formulation du problème est présentée. La résolution d'un problème couplé (convection, conduction et rayonnement) consiste donc à résoudre les équations fondamentales de la conservation ainsi que l'équation d'état .La masse volumique et la viscosité sont considérées comme constantes (indépendantes de la T), .ainsi la résolution des équations est de façon couplée (coupled) afin de déterminer le champ de température. Ce type de résolution nécessite l'utilisation de méthodes numériques. Pour cela, nous avons opté pour un logiciel numérique spécialisé en Mécanique des Fluides et Thermique: FLUENT 6.3^{TM,}.

RÉFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES II:

- [1]. A.Andreozzi, Bianco, O.Manca, S.Nardini et V.Naso.(2012).«Three Dimensional Numerical Analysis and Optimization of a Fin Heat Sink System». A termotecnica. Rinnovabili: Solar: 75-80.
- [2]. Candel, S. (1995). « Mécanique des fluides. Deuxième édition ». Paris.
- [3]. *Marc Soutter ; André Mermoud ; André Musy.* (2007). « *Ingénierie des eaux et du sol , processus et aménagements* ».Presses polytechnique et universitaires romandes :13-14.
- [4] Jean-Pierre Couderc; Christophe Gourdon; Alain Liné.(2008). « Phénomènes de transfert en génie des procédés » :133 -137-138.
- [5]. Azil. Fatima Zohra. « Etude des parametres climatique ,sous serres chauffées en présence de la plante». Université El-Hadj Lakhda, Batna .Algérie ; Mémoire présenté à la faculté des sciences, département de physique pour obtenir le diplôme de magistère en physique ; option : physique énergétique. p.26-27 -28.
- [6]. Gray, D. D., & Giorgini, A. (1976). « The validity of the Boussinesq approximation for liquids and gases ». International Journal of Heat and Mass Transfer, 19.p. 545-551. Ou sur : http://dx.doi.org/10.1016/0017-9310(76)90168-X
- [7]. *Pierre- François Thomas.* (2006). « Précis De Physique Chimie ».première et deuxième année, sous la direction de Jean-Luc Azan, Bréal 2006 :147.
- [8]. *Vijay K.Garg et Ameri,Ali ,A .June 2001.* «*Two-Equation Turbulencde Models of heat Transfer on a Transonic Turbine Blade* », Prepared for the 2001 Turbo Expo Sponsored by the American Society of Mecanical Engineers New Orleans, Louisiana.
- [9]. *Launder,B*; *E* et Spalding,D; *E*.(1974). « *The Numerical Computation of turbulent flows* ». Computer methods in applied mechanics and energineering; Vol.3 :269-289.
- [10]. http://www.google.fr/imgres.
- [11]. Dominique Marchio ; Paul Reboux. (2008). « Introduction Aux Transferts Thermiques ».
 Ecole des mines de Paris : 6 -7.
- [12]. *M.-S*.*Radhouani*; *N.Daouas.* (2008). « *Exercices résolue de thermique, TOME1* : *Lois de base et conduction* » :13
- [13]. Ana Maria. Bianchi; Yves. Fautrelle; Jacqueline. Etay. (2004). «Transfert thermique »: 133-135.

- [14]. Professeur Fouad. KHALDI. (2008/2009). « Cours 4^{ème} année transfert thermique (PARTIE 1: Conduction) »; département de physique. Université Hadj Lakhder; Batna, Algérie.
- [15]. Dominique Marchio et Paul Reboux. (2008). « Introduction Aux Transferts Thermiques ». Ecole des mines de Paris : 6 -7.
- [16]. J. BRAU.(2006). « Convection ». Département de Génie civil et Urbanisme , ISNA Lyon :101.
- [17]. S. Chaudourne. (2002). « Rayonnement et Transferts Couplés Chapitre 2 NOTIONS DE BASE Rayonnement de corps noir ».
- [18]. Marc. Séguin; Julie. Descheneau; Benjamin. Tardif.(2010).« PHYSIQUE ;TOME
 C .ondes et physique moderne ».Edition de Renouveau Pedagogique.Inc :10.
- [19]. http://fr.wikiversity.org/wiki/Conduction_thermique/Annexe/Ailette.
- [20]. Sébastien. Legrand. (2006). « Maillages Non-Structurés En Modélisation Océanique ». Thèse d'université catholique de Louvain, Faculté des sciences, Département de Physique, En vue de l'obtention du Grade De Docteur En Sciences 2006.
- [21]. http://hmf.enseeiht.fr/travaux/projnum/content/g17-2012/avantages-des-differents-typesde-maillages

Chapitre III

Simulation numérique

Introduction :

La simulation numérique est actuellement un outil informatique indispensable dans le développement et l'étude des systèmes industriels. Sa force est de permettre la résolution de problème dans un temps relativement court [1]. Les problèmes étant principalement liés à la mécanique des fluides et à la thermique, le solveur **Fluent** fut choisi pour ses compétences reconnues en terme de simulations numériques dans ces domaines.

III.1. Solveur FLUENT :

Méthode des volumes finis:

Le mode de résolution de FLUENT est basé sur la méthode des volumes finis, bien adapté aux maillages non-structurés.Contrairement à la méthode des différences finis qui utilise des approximations de dérivées, la méthode de volumes finis utilise, comme la méthode des éléments finis, des approximations d'intégrales. [2]

FLUENT convertit les équations générales de transport en équations algébriques qui peuvent être résolues numériquement. Cela consiste à intégrer les équations de transport sur un volume de contrôle défini par une cellule, puis après généralisation, pour pouvoir étudier le transport d'une quantité scalaire. [2]

III.2. Mailleur Gambit : [3]

Gambit est un logiciel de maillage .L'intérêt de ce logiciel est de :

- Créer ; via des outils de dessin, de la géométrie du modèle étudié Gambit permet une conception en 2D et 3D du système.
- Réaliser ; un maillage propre à la géométrie, c'est-à-dire une décomposition des différents éléments du système (faces, volumes,.....etc.) en multiples facettes.

Gambit dispose d'une boite à outils complète pour la génération de maillage optimal pour la mécanique des fluides : Triangulaire, tétraédriques, hexaédriques, hybrides.

Il est à noter qu'il existe d'autre mailleurs compatibles avec FLUENT : T grid, Geo Mesh, Pre BFC.

III.3. Choix du schéma de discrétisation :

• Schéma implicite :

Le rôle du schéma intervient pour expliquer comment évaluer les flux de diffusion et de convection sur les faces du volume de contrôle après intégration. Il faut remarquer que ce schéma implicite est inconditionnellement stable, de plus il donne des résultats satisfaisants. [3] Dans notre cas, on a choisi ce schéma qui présente plusieurs avantages, à savoir : son utilisation pour n'importe quel pas de temps donne un comportement physique satisfaisant, également il simplifie la discrétisation de l'équation de transport. [3]

• Coupled :

La Sélection « Coupled » dans la liste déroulante *Pressure-Velocity Coupling* indique que nous utilisons l'algorithme *pressure-based Coupled*. Ce solveur offre certains avantages par rapport à l'algorithme *pressure-based segregated*. L'algorithme *pressure-based Coupled* obtient une mise en œuvre monophasée plus robuste et efficace pour les flux à l'état stationnaire. [4]

- L'algorithme *pressure-based Coupled* n'est pas compatible avec :
 - ✓ Le modèle poly-phasique Eulerien.
 - ✓ Le non-itérative avancement temps solveur (NITA).
 - ✓ Les conditions aux limites de débit massique périodique.
- Le solveur pression est applicable pour un large éventail de régimes d'écoulement incompressible de faible débit ou d'écoulement compressible à haute vitesse.
- Nécessite moins de mémoire (stockage).
- Permet une flexibilité dans la procédure de solution.

• Second ordre Up-Wind :

Fluent nous permet de choisir le schéma de discrétisation pour les termes convectifs de chaque équation gouvernante. Quand le « solver *coupled* » est utilisé, les équations sont résolues en utilisant par défaut le schéma du *second ordre*. Pour nos simulations, le schéma *second ordre* « upwind » a été choisi, pour lequel les quantités aux faces des cellules sont calculées en utilisant une approche de reconstruction linéaire multidimensionnelle. [5]

Ce schéma peut fournir une certaine amélioration par rapport aux systèmes standard et linéaires, mais il peut y'avoir des erreurs, si il est utilisé au début d'un calcul et / ou avec un mauvais maillage. [5]

Le schéma de *premier ordre* est facile à converger mais les résultats ne reflètent pas assez la réalité physique, le *second ordre* malgré la difficulté pour atteindre la convergence, donne de bons résultats. [5]

III.4. Critères de Convergence :

Pour s'assurer de la convergence on ne fixe pas de critère de convergence dans le panel (*Residual Monitors*). On pourra donc arrêter la simulation lorsqu'on estimera que la convergence est atteinte.

Les critères que nous allons utiliser sont :

- Tous les résidus (équation de continuité, vitesse axial, vitesse radiale) sont inférieurs à 10⁻².
- Les résidus sont atteints une valeur constante qui n'évolue plus avec l'augmentation du nombre d'itérations.

> Le graphe des résidus pour le calcul en régime laminaire (Re=600) pour le cas 7 ailettes est donné sur la *Figure III.1*, et en régime turbulent (*modèle k- ɛ standard*) est dans la *Figure III.2*.

• Cas laminaire :



Figure III.1 : Graphe des résidus pour le cas 7 ailettes (Re=600).

• Cas turbulent :

Pour le cas turbulent voici les résidus obtenus :



Figure III.2 : Graphe des résidus pour le cas 7 ailettes (Re=5000).

III.5. Indépendance du maillage:

Le maillage, le plus économique a été étudié afin de vérifier que les variations de la taille de la grille générée n'ont pas influencé les résultats :

> Maillage Cas 1:

Volume C.P.C. : 28346 nœuds.

145462 éléments.

Volume Récepteur : 23882 nœuds. 128114 éléments.

Maillage Cas 2:
 Volume C.P.C. : 120492 nœuds.
 668460 éléments.
 Volume Récepteur : 87018 nœuds.
 479609 éléments.

Tous les critères de convergence décrits dans la section précédente (critères de convergence) sont considérés pour juger de l'indépendance de maillage.



Figure III.3 : Comparaison du profil de la température pour un maillage Grossier (Cas1) et Raffiné (Cas 2) (cas 1 Ailette).

Donc, on a choisit le maillage du Cas 1 qui est moins raffiné que le maillage du cas 2, ce qui permet la convergence plus rapidement, et donne le même résultat comme le montre la *Figure III.3*.

III.6. La stabilité de schéma :

- Le schéma de discrétisation est stable quand il n'amplifie pas des messages d'erreurs au cours du processus de la solution numérique.
- Nombre de courant : (facteur de relaxation)

Est un critère de stabilité, Le nombre de courant par défaut pour le solveur (*implicit-coupled*) est de 5,0. Il est souvent possible d'augmenter le nombre à 10, 20, 100 ou même plus ou diminuer le nombre, selon la complexité du problème. [6]

Nous pouvons constater que le nombre de courant inférieur est nécessaire pendant le démarrage (lorsque des changements dans la solution sont fortement non linéaires), il peut être augmenté quand la solution progresse. [6]

Conclusion :

A travers ce chapitre, nous avons présenté brièvement la méthode de simulation et les étapes de discrétisation du modèle mathématique choisi (Fluent) pour la résolution des équations de conservation de la masse, de quantité de mouvement et de l'énergie. Cette simulation est mise en œuvre pour déterminer la température pariétale de l'ensemble récepteur_C.P.C.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES III

- [1]. Legait. U. (2007). « Réfrigération magnétique », rapport de M2R ,G2elab, Grenoble.
- [2]. http://www.scribd.com/doc/31167248/Fluent
- [3]. Fluent 6.3 user's guide .2006
- [4]. http://aerojet.ngr.ucdavis.edu/fluenthelp/html/ug/node987.htm
- [5]. http://www.engr.uconn.edu/~barbertj/CFD%20Training/Fluent/4%20 Solver % 20 Setting pdf
- [6]. http://jullio.pe.kr/fluent6.1/help/html/ug/node853.htm

Chapitre IV

Résultats et discussion

Introduction :

Le domaine de calcul est constitue par un bloc solide (C.P.C., lentille de Quartz, récepteur solaire et les ailettes) et le fluide (air). L'étude combinée de la perte de chaleur par convection (air-parois) et par conduction (ailette-paroi du C.P.C.) a été effectuée pour différents nombres d'ailettes. La comparaison entre les différents cas est effectuée par évaluation de variation des différents profils (surtout la température de la paroi du C.P.C.) et dans le récepteur solaire. Dans ce chapitre seront discutés les différents résultats obtenus avec l'utilisation du code Fluent dont nous avons interprété ses différents schémas de discrétisation dans le chapitre III.

Dans notre étude nous nous sommes basé essentiellement sur le refroidissement de la paroi du **C.P.C.**, par des ailettes soudées sur sa surface latérale, dans ce chapitre les résultats des calculs tridimensionnels comparés avec ceux obtenus par *A.Andreozzi et al*; 2012 (voir **Chapitre I,** *Figure* **I.26**) sont présentés :

IV.1. Profil de la température pariétale :

IV.1.1. Influence du nombre d'ailettes sur la température pariétale du C.P.C. :

A chaque fois, un nombre d'ailettes est rajouté sur la paroi du **C.P.C.** Une comparaison des résultats est faite pour ces différents nombres (1, 3, 7 et 13 ailettes) avec le **C.P.C.** sans ailettes pour **Re =600**, une température ambiante de **T=300k**. Les résultats obtenus sont présentés dans le graphe suivant :



Figure IV.1: Température pariétale pour les différents nombre d'ailettes.

La *Figure VI.1* présente les profils de la température pour chaque cas (1, 3,7et 13 ailettes), nous remarquons à chaque fois que le nombre des ailettes augmente la température pariétale du **C.P.C**. diminue.

En comparaison des températures pariétales des cas 0, 1, 3, 7 et 13 ailettes, la température diminue dans la région à proximité du récepteur solaire ainsi que le lieu de l'emplacement des ailettes.

Les résultats sont meilleurs pour les cas 7 et 13 ailettes, la différence de la température est remarquable prés du récepteur ainsi que dans la région où les ailettes sont arrangées.

En comparaison des cas 13 ailettes avec le cas 7 ailettes, nous remarquons que l'augmentation du nombre d'ailettes est sans effet (la diminution de température est très faible par-apport au cas 7 ailettes, une différence de l'ordre de **0.53** %.

En générale, L'effet des ailettes est de réduire la température de paroi du C.P.C. par les phénomènes de conduction et convection, initialement la température pariétale du C.P.C. est de 400 k dans le cas sans ailettes, avec l'emplacement de ces dernières, elle diminue pour atteindre 315 k (cas 13 ailettes). Une différence qui atteint environ 8 %

Le cas 7 *ailettes* c'est le meilleur résultat, Il sera choisi pour présenter la majorité des résultats qui suivent.

IV.1.2. Influence de nombre de Reynolds :

La *Figure IV.2* donne les profils de la température pariétale pour différents nombre de Reynolds (*Re*), pour le **C.P.C.** avec 7 ailettes, nous choisissons les deux cas :



Figure IV.2 : Influence du nombre de Reynolds sur la température pariétale du C.P.C. (cas 7 ailettes).

- \blacktriangleright Le cas laminaire (par exemple *Re* =600 et 1500) pour les journées non ventées.
- → Le cas turbulent (par exemple Re = 5000, 10^4 et 3.58 10^5) pour les journées ventées (on a choisit pour le cas turbulent le modèle *k*- ε standard); les résultats obtenus sont présentés sur la Figure :

Nous remarquons que dans le cas laminaire (Re = 600 et 1500) la diminution de la température pariétale du C.P.C. est faible par rapport au cas turbulent (Re = 5000, 10^4 et $3.58.10^5$).

Nous remarquons aussi qu'a chaque fois que nous augmentons la vitesse (*Re*), la température de paroi diminue. Donc la turbulence, par sa diffusivité favorise le refroidissement de la paroi du *C.P.C*.

Généralement, la vitesse moyenne du vent dans l'Algérie est de l'ordre de presque 6 *m/s* (voir *Chapitre II*, *Figure II.3*), ce qui correspond à une journée venté et un Reynolds de l'ordre de 3.58.10⁵. Les journées ventées participent également au refroidissement du C.P.C.

IV.2. Contour de la température pariétale :

Nous présentons les contours de la température statique pour le cas 7 ailettes sur la Figure

IV.3 :



Figure IV.3 : Contours de la température pariétale (paroi C.P.C. et paroi récepteur) cas 7 ailettes.

Nous avons éliminé les ailettes à partir de contours de température pariétale de la *Figure IV.3* pour bien comparer entre les deux cas laminaire et turbulent :



IV.2.1. Le cas laminaire :

Figure IV.4: Contours de la température pariétale du C.P.C. +Récepteur (a), du C.P.C (b) et des ailettes(c)pour le cas laminaire (cas 7 ailettes Re=600).

IV.2.2. Le Cas turbulent :



(c)

Figure IV.5: Contours de la température pariétale du C.P.C.+Récepteur (a), du C.P.C. (b) et des ailettes (c), cas turbulent (Re=3.58.10⁵).

D'après les *Figures IV.4, IV.5*, nous remarquons que la température pariétale dans le cas turbulent est moins importante que celle dans le cas laminaire (la zone chaude est plus large dans le cas laminaire que le cas turbulent) et ceci apparait surtout au long de la paroi du C.P.C et au voisinage de la lentille de *Quartz*.

IV.3. Contours de la température du fluide (air) :

IV.3.1. Cas laminaire :

Nous présentons les contours de la température statique d'air pour le cas 7 ailettes et pour un nombre de Reynolds (Re = 600).



Figure IV.6 : Contours de la température du fluide à l'intérieur du 'C.P.C + Récepteur' (a) et du C.P.C seul (b), coupe transversale pour le cas 7 ailettes (Re =600).

Nous remarquons à partir de la *Figure IV.6* que la température du fluide est environ de **300** k à l'entrée du **C.P.C.**, puis augmente progressivement en s'approchant de la lentille de *Quartz* pour atteindre jusqu'à **596.77**k. Au niveau du récepteur solaire la température de fluide (air) augmente progressivement à partir de la lentille de *Quartz* (**550**k) vers la sortie (paroi en acier) pour atteindre presque **1100**k.

IV.3.2. Cas turbulent :

Dans le cas turbulent, nous avons choisi le modèle *k*- ε , et un Reynolds turbulent (*Re*=3.58 10⁵) :



Figure IV.7 : Contours de la température du fluide à l'intérieur du 'C.P.C.+Récepteur '(a) et du C.P.C. seul (b), (coupe transversale) pour le cas 7 ailettes ($Re = 3.58 \ 10^5$).

Nous remarquons à partir de la *Figure IV.7* que la température du fluide à partir des contours dans le C.P.C. diminue plus que pour le cas laminaire précédent (*Figure IV.6*) surtout au niveau de la zone proche de la lentille de *Quartz*. Donc nous remarquons que la température du fluide varie de la même façon que la température des parois (À cause du phénomène de transfert de chaleur par convection entre fluide (air) et solide (paroi du C.P.C.)).

Cet objectif est de réduire la température pariétale du C.P.C. pour une longue durée de vie sans faire atteinte à la température du fluide caloporteur dans le récepteur solaire.

IV.4. Influence de l'épaisseur « E » de la paroi du C.P.C. sur le profil de sa température pariétale :

Nous modifions Chaque fois l'épaisseur de paroi du **C.P.C.** et en vue son influence sur la température de paroi du **C.P.C.** (on a choisi 3 valeurs : E = 0.001 m, 0.003 m et 0.006 m). Les résultats obtenus sont présentés sur le graphe suivant :



Figure IV.8 : Influence de l'épaisseur de la paroi du C.P.C. (E) sur sa température pariétale (Cas 7 ailettes), (le C.P.C.ayant une longueur x=1m).

Nous remarquons à partir de la courbe (*Figure IV.8*) qu'à chaque fois nous diminuons l'épaisseur de la paroi du C.P.C., sa température diminue.

Donc l'épaisseur faible bel et bien favoriser, le transfert thermique C.P.C.-Air (par Convection) et C.P.C.-Ailettes (par Conduction), ce qui permet de refroidir plus la paroi du C.P.C., dont l'écart est presque de 6 %.

VI.5. Influence de l'angle d'inclinaison (α) du récepteur solaire-C.P.C. sur le profil de la température pariétale :

Pour ce cas nous comparons les résultats entre le cas où l'angle d'inclinaison ($\alpha=0^{\circ}$) et ($\alpha=11^{\circ}$), les résultats obtenus sont présentés dans le graphe suivant :



Figure VI.9 : Influence de l'angle d'inclinaison (a) sur la température pariétale.

Nous remarquons à partir du graphe (*Figure VI.9*) que la température de paroi du C.P.C. dans le cas d'un récepteur incliné par un petit angle $\alpha = 11^{\circ}$ est moindre que le cas $\alpha = 0^{\circ}$. Un petit angle de 11° peut réaliser une diffusion de rayonnement solaire, qui est nécessaire au transfert thermique, ce qui provoque un bon refroidissement de la paroi du C.P.C. VI.6. Influence de la présence de la lentille de Quartz, sur le contour de la température du fluide (Air) et sur le profil de la température pariétale :



Figure VI.10 : Les contours de température de fluide cas sans la lentille de Quartz (coupe transversale, cas d'une ailette).



Figure VI.11: Les contours de la température du fluide cas avec la lentille de Quartz (coupe transversale, cas d'une ailette).



Figure VI.12: Influence de la lentille de Quartz sur la température pariétale C.P.C.

En comparant entre les deux cas avec et sans la lentille de *Quartz*, nous remarquons que la température de l'air dans le récepteur solaire est grande dans le cas de présence de la lentille de *Quartz* par-apport au cas de l'absence de la lentille (*Figure VI.10, Figure VI.11*), alors que la variation de la température dans le **C.P.C.** est très faible.

Donc nous concluons que la lentille de *Quartz* a un rôle d'influer sur la température du fluide caloporteur en aval du C.P.C. (dans le récepteur solaire).

IV.7. Influence de la surface d'échange (paroi du C.P.C.-ailette) sur l'efficacité de l'ailette :

La géométrie des ailettes est trapézoïdale circulaire, nous prenons pour le calcul de l'efficacité le cas 7 ailettes et nous calculons l'efficacité de sa $1^{\text{ère}}$, $3^{\text{ème}}$, $5^{\text{ème}}$ et $7^{\text{ème}}$ ailette (voir *Figure II.2*, Cas c ; *Chapitre II*) afin de constater quelle ailette doit donner le meilleur rendement.

En utilisant la relation **II.44**, Chapitre II, qui permet le calcul du rendement nous obtenons les résultats que nous présentons sur le tableau IV.I :

Nous avons essayé de calculer l'efficacité des ailettes une par une et est que plus en augmente la surface du contact *paroi C.P.C. –Ailettes* plus en augmente l'efficacité ou le contraire ?
Numéro de l'ailette	Température moyenne de la fraction analysée de l'ailette « \overline{T}_{z} »	Température moyenne de la base de l'ailette « T _{E,S} »	Efficacité « η _i »	
1 ^{ère} ailette	325.34	325.43	<u>0.99</u>	
3 ^{ème} ailette	324.10	324.39	<u>0.98</u>	
5 ^{ème} ailette	323.25	323.80	<u>0.97</u>	
7 ^{ème} ailette	331.83	334.70	<u>0.91</u>	

Tableau I	V.I:	Efficacité	des	ailettes i=	1.3	. 5 et 7	. nour	le cas	7	ailettes
I uvicuu I		Ljjicaciic	ucs	uncincs i-	1, 5	,	, pour	ic cus		ununus

A partir du tableau nous constatons que les efficacités des ailettes sont très proches, la différence entre la I^{ere} et la 3^{eme} ailette est de **0.85 %**, entre la 3^{eme} et la 5^{eme} est de **1.15 %**, alors que entre la 5^{ere} et la 7^{eme} ailette est de **6.5 %** et entre la I^{ere} et la 7^{eme} ailette est de **8.5 %**.

Malgré la différence du rendement des ailettes qui apparait faible est sans effet, mais pour un calcul du rendement ces petites valeurs sont assez importantes et elles peuvent créer la différence. Nous remarquons qu'à chaque fois que l'interface « *paroi du C.P.C.- base de l'ailette* » augmente, l'efficacité de l'ailette augmente.

Conclusion :

D'après notre étude on a choisi le cas 7 ailettes comme le meilleur cas pour le refroidissement de la paroi du C.P.C.

Le cas 13 ailettes n'a pas été choisi car la différence de température entre ce cas et 7 ailettes est très faible ceci va nous permettre d'optimiser les coûts de l'installation et l'encombrement du système sur le terrain.

Nous remarquons que la température de paroi du récepteur solaire ne varie pas dans les différents cas d'ailettes (0, 1, 3, 7 et 13 ailettes).

Le rôle de la lentille de **Quartz** est de concentrer en plus le rayonnement solaire afin d'augmenter la température de l'air en aval du **C.P.C.** (dans le récepteur solaire) ce qui permet de produire une puissance électrique plus que le cas sans **Quartz**.

Nous concluons aussi que le cas turbulent donne de bons résultats en comparaison avec le cas laminaire (chaque fois qu'on augmente Re, (v), la température de la paroi du **C.P.C.** est réduite.

Une épaisseur faible de la paroi du C.P.C. permet plus le refroidissement.

Lorsque l'interface « paroi du C.P.C.-base de l'ailette » augmente, l'efficacité de l'ailette augmente.

En tournant le volume de (C.P.C._Récepteur solaire) d'un angle de $a = 11^{\circ}$ comme le montre les différentes figures nous nous approchons plus au réalité, parce que réellement le phénomène n'est pas axisymétrique, et aussi pour réaliser une diffusion symétrique de rayonnement solaire, qui est nécessaire au transfert thermique.

Conclusion Générale :

Nous avons abordé au cours de ce travail l'étude thermique d'un système couplé avec un récepteur solaire à la tête d'une tour solaire, le concentrateur parabolique composé (**C.P.C.**), il est utilisé comme un récepteur primaire. Afin de réduire la température pariétale de ce dernier qui peut atteindre les 1200k, cette température peut affecter le matériau (C.P.C. en Aluminium) et peut causer de sérieuses détériorations, l'idée était de proposer d'ajouter des ailettes à la paroi, puis optimiser leur nombre.

Les ailettes ont pour rôle de participer au transfert thermique, elles amplifient les échanges de chaleur entre un élément solide et un fluide extérieur ce qui réduit sa température. Le transfert entre l'ailette et la paroi du "**C.P.C.**" se fait par conduction, alors que les échanges avec le fluide extérieur (air) ont lieu par convection.

Dans notre étude, Nous avons un **C.P.C.** sous forme d'un cône tronqué et des ailettes circulaire de forme trapézoïdale soudés sur sa surface latérale. Le nombre d'ailettes est fixé pour être (une, trois, sept et treize), pour pouvoir valider nos résultats, notre travail a été comparé avec celui de *Andreozzi et al.* (2012).

L'écoulement de l'air à l'intérieur du conduit est permanent tridimensionnel et visqueux, le processus est non adiabatique, le système est soumis au rayonnement solaire et les échanges thermiques s'effectuent selon les lois de conservations.

Il fallait aussi voir l'effet de quelques caractéristiques sur la température de la paroi, pour cela une étude a été réalisée en variant :

- ✓ Le nombre d'ailettes : à partir des résultats obtenus, nous avons remarqué que la plus faible température est atteinte pour le cas sept et treize ailettes, mais nous avons choisi le cas sept ailettes comme étant le cas donnant la meilleure performance et coût. La différence entre les deux cas (sept et treize ailettes) est très faible.
- ✓ le nombre de Reynolds à l'entrée : nous avons remarqué que plus le nombre de Reynolds est grand plus le résultat vis-à-vis de la température à la paroi est meilleur, c'est-à-dire l'écoulement turbulent à un effet favorable sur le refroidissement pariétal, car la diffusion turbulente participe généralement dans l'échange thermique.
- ✓ L'épaisseur de la paroi du C.P.C. : l'épaisseur la plus faible de la paroi donne le meilleur résultat, car une épaisseur faible, ne maintient pas beaucoup la température.
- L'angle d'inclinaison α du bloc (C.P.C. Récepteur) : nous avons remarqués que la déviation du bloc par un petit angle 11° donne le meilleur résultat que le cas 0°, l'inclinaison de l'ensemble nous permet d'obtenir un phénomène proche de la réalité

(parce que réellement le phénomène n'est pas axisymétrique) aussi réaliser une diffusion du rayonnement solaire, qui est nécessaire au transfert thermique.

- ✓ La lentille de *Quartz* : la présence de *Quartz* n'influe pas sur la température pariétale du C.P.C., le rôle du *Quartz* est de concentrer en plus le rayonnement solaire incident afin d'augmenter la température de l'air dans le récepteur secondaire (le récepteur solaire), ce qui augmente le rendement de la tour solaire.
- L'efficacité des ailettes : Nous avons remarqués que chaque à fois l'interface « paroi du C.P.C.-base de l'ailette » augmente, l'efficacité de l'ailette augmente.

La comparaison avec les travaux réalisés par (*Andreozzi et al*) a rendu les résultats très satisfaisants. Cette étude sur ce système nous a permis d'appliquer et de mieux comprendre les lois rencontrées au cours de notre formation en qualité physique spécialité énergétique.

La simulation numérique est faite par l'utilisation du code *Fluent*, qui nous a permis de déterminer les paramètres thermiques et les caractéristiques de l'écoulement.

Pour un travail en perspective, nous proposons une étude tridimensionnelle avec d'autres configurations dont on peut varier plusieurs paramètres (par exemple, les dimensions, la nature du matériau, le type et la forme des ailettes etc....) afin de perfectionner notre travail et de rendre meilleurs nos résultats.

ANNEXES:

I-Contours de la température de la paroi du C.P.C et des ailettes :



I-1) Cas 1 ailettes : Re=600

(c)

Figure 1 : Contours de la température pariétale du C.P.C.+ ailette (a), de la paroi du C.P.C (b) et de l'ailettes (c), pour le cas 1 ailette Re=600.

I-2) Cas 3 ailettes : Re=600



(c)

Figure 2: Contours de la température pariétale du C.P.C. (b) et des ailettes (c), cas 3 ailettes.

3.80e+02 3.80e+02 3.76+12 3.76+12 3.72+12 3.72+12 3.68e+82 3.68e+82 3.64e+02 3.64e+02 3.60e+02 3.60e+02 3.56e+02 3.56e+02 3.52e+02 3.52e+02 3.48e+02 3.48e+02 3.44e+02 3.44e+02 3.40+02 3.4 le+02 3.36e+82 3.36e+02 3.32e+02 3.32e+02 3.28+12 3.28e+02 3.24+#2 3.24e+02 3.20e+02 3.20e+02 3.16e+82 3.16e+02 3.12e+02 3.12e+02 3.08+02 3.08e+02 3.040+02 3.04e+02 2-X 2-1 3.00e+02 3.00e+02 **(b) (a)** 3.80e+02 3.76e+82 3.72e+02 3.68e+82 3.64e+82 3.60e+02 3.56e+02 3.52e+02 3.48e+02 3.44e+02 3.40e+02 3.36e+82 3.32e+02 3.28e+82 3.24e+82 3.20e+02 3.16e+02 3.12e+02 3.08e+02 3.04e+02 7

I-3) Cas 7 ailettes : pour un écoulement turbulent Re= 10000.

(c)

3.00e+02

Figure 3: Contours de la température pariétale du C.P.C. (b) et des ailettes (c), cas 7 ailettes (Re=10000).

<u>I-4) Cas 13 ailettes</u> : *Re*=600



Figure 4: Contours de la température pariétale du C.P.C. avec ailettes (a), paroi du C.P.C (b) et des ailettes (c), cas 13 ailettes.

II-Contours de la vitesse :

II-1) Cas 7 ailettes : pour un écoulement laminaire Re= 600



Figure 5: Contours de la vitesse du fluide à l'intérieur du C.P.C., cas 7 ailettes Re=600.

II-2) Cas 7 ailettes : pour un écoulement turbulent Re=10⁴.



Figure 6: Contours de la vitesse du fluide à l'intérieur du C.P.C., cas 7 ailettes Re=10⁴.

II-3) Cas 7 ailettes : pour un écoulement turbulent *Re*=3.58 .10⁵.



Figure 7: Contours de la vitesse du fluide à l'intérieur du C.P.C., cas 7 ailettes Re=3.58.10⁵.

III-Vecteurs vitesse :

III-1) Cas 7 ailettes : pour un écoulement laminaire Re=600.



Figure 8: Vecteurs de la vitesse du fluide à l'intérieur du C.P.C., cas 7 ailettes (Re=600).

<u>III-2) Cas 7 ailettes : Re=3.58.10⁵.</u>



Figure 9: Vecteurs de la vitesse du fluide à l'intérieur du C.P.C., cas 7 ailettes (Re=3.58.10⁵).

Résumé:

Le travail présenté consiste à étudier l'écoulement d'un fluide dans un concentrateur parabolique composé (C.P.C.) couplé avec un récepteur solaire à la tête d'une centrale solaire à tour en régime laminaire et turbulent sous l'effet de la convection naturelle, conduction et rayonnement. Ce travail a pour but de trouver des solutions pour réduire les températures de la paroi du C.P.C. afin d'éviter la détérioration de son matériau. Cette étude, nous a conduit à proposer des configurations à ailettes dont il y'a eu question de choisir la configuration qui donne la plus basse température pariétale.

L'étude est effectuée sur un C.P.C. sous forme d'un cône tronqué couplé par un récepteur solaire composé de deux cônes tronqués collés. L'écoulement de l'air à l'intérieur est permanent tridimensionnel et visqueux, le processus est non adiabatique, le système est soumis au rayonnement solaire, les échanges thermiques s'effectuent selon les lois de conservations.

Pour avoir une meilleure approche sur le comportement thermique d'un fluide en écoulement dans le système composé et pour faire l'étude en trois dimensions, on a eu recours au logiciel de simulation «FLUENT » qui a fait ses preuves dans la dynamique des fluides et les transferts thermiques, cette simulation nous a permet de déterminer les paramètres thermiques spécialement la température pariétale et les caractéristiques de l'écoulement. Enfin, les résultats obtenus sont très satisfaisants en comparant notre étude avec d'autres travaux.

Mots clés: Centrale à tour, C.P.C., Récepteur solaire, Ailettes, Ecoulement laminaire et turbulent, Ecoulement tridimensionnel.

Abstract:

The present work is study the flow of a fluid in a compound parabolic concentrator (C.P.C.) coupled with a solar receiver at the top of a solar tower in laminar and turbulent flow under the effect of natural convection, conduction and radiation. This work aims to find solutions to reduce the temperature of the wall of the C.P.C. to avoid deterioration of their materials. This study has led us to propose configurations with fins, there's been a question of choosing the one that gives the lowest wall temperature.

The study is conducted on a C.P.C. in the form of a truncated cone coupled by a solar receiver comprising two truncated cones attached. The flow of air inside is permanent three-dimensional viscous, the process is non-adiabatic, the system is subjected to solar radiation, heat exchange takes place according to the conservation laws.

To have a better approach to the behavior of the temperature and fluid flow in the composed system and for study the three-dimensional case, we used the simulation software "FLUENT". This Code has given proofs in fluid dynamics, and heat transfer, this simulation was used to determine the thermal parameters especially the wall temperature and flow characteristics. Finally, the results obtained are very satisfactory by comparing this study with other works.

Keywords: Central Tower., C.P.C., Solar Receiver, Fins, Laminar and Turbulent flow, Tridimensional flow.