

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT : Physique

N° :



DOMAINE : Sciences de la Matière

FILIERE : Physique

OPTION : Énergie Solaire

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par: Bahache Hadjer

Intitulé

**Simulation Numérique de la Convection
Naturelle dans une Cheminée Solaire**

Soutenu le / /2017 devant le jury composé de:

Dr. Salmi Mohamed	Université Mohamed Boudiaf- M'sila	Président
Dr. Boulechfar Hichem	Université Mohamed Boudiaf- M'sila	Rapporteur
Dr. Benmansour Nadia	Université Mohamed Boudiaf- M'sila	Examineur

Année universitaire : 2016/2017

بسم الله الرحمن الرحيم
رب أوزعني أن أشكر نعمتك التي أنعمت
عليّ وعلى والديّ و أن أعمل صلحا ترضاه
و أدخلني برحمتك في عبادك الصالحين

سورة النمل الآية 19

أهدي هذا العمل المتواضع
إلى الذين كانا السبب في وجودي و سندا لجهودتي
والديّ العزيزين حفظهما الله وأطال في عمرهما
إلى إخوتي و زوجي
إلى جميع أهلي وزملائي في الدراسة
إلى كل من نسيه قلبي ولم ينسه قلبي

Remerciements

Tout d'abord, Je remercie Dieu, de m'avoir donné le courage, la volonté et la patience pour la réalisation de ce modeste travail.

Je tiens à remercier vivement mon encadreur Mr. **Boulechfar Hichem** pour son suivi, ses orientations pratiques ainsi que ses conseils précieux et ses encouragements durant la réalisation de ce travail et la présentation de ce mémoire dans sa forme finale.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à Monsieur **Salmi Mohamed** qui a bien voulu présider mon jury. Je remercie Mademoiselle **Benmansour Nadia** qui m'a fait l'honneur d'examiner ce mémoire et de participer à mon jury de soutenance.

Nomenclature

Lettres latines :

a	Diffusivité thermique	m^2/s
C_p	Chaleur massique à pression constante	$J/kg.K$
g	Accélération de la pesanteur	m/s^2
Gr	Nombre de Grashof	
Pr	Nombre de Prandtl	
Ra	Nombre de Rayleigh, [=Gr. Pr]	
t	Temps	s
T	Température du fluide	K
T_0	Température de référence	K
T_f	Température froide	K
T_c	Température chaude	K
u	Composante de la vitesse suivant x	m/s
v	Composante de la vitesse suivant y	m/s
\vec{v}	Vecteur vitesse	m/s
x, y	Coordonnées cartésiennes	m
h	Longueur du toit du collecteur	m
H	Hauteur de la cheminée	m
K	Tenseur des contraintes.	

Lettres grecques :

λ	Conductivité thermique	$W/m.K$
ν	Viscosité cinématique	m^2/s
ρ	Masse volumique du fluide	kg/m^3
ρ_0	Masse volumique du fluide à la température de référence	kg/m^3
β_T	Coefficient d'expansion volumique thermique	

Exposants:

+	Paramètres adimensionnels
---	---------------------------

Liste des figures

Figure 1.1 : Transfert de chaleur par convection.....	06
Figure 1.2 : Le principe de fonctionnement d'une cheminée solaire.....	07
<i>(Source : http://www.ecosources.info/dossiers/Centrale_solaire_tour_effet_cheminee)</i>	
Figure 1.3 : Vue intérieure du collecteur solaire.....	08
<i>(Source : http://www.ecosources.info/images/energie_industrie)</i>	
Figure 1.4 : Exemple de cheminée.....	09
<i>(Source : http://www.ecosources.info/dossiers/Centrale_solaire_tour_effet_cheminee)</i>	
Figure 1.5 : La turbine.....	09
<i>(Source : http://outilssolaires.com/developpement-durable/energie-solaire)</i>	
Figure 1.6 : Tour solaire implantée à Manzanares.....	10
<i>(Source : http://www.ecosources.info/dossiers/Centrale_solaire_tour_effet_cheminee)</i>	
Figure 1.7 : Projet de Buronga en Australie.....	11
<i>(Source : http://www.enviromission.com.au)</i>	
Figure 2.1 : Géométrie d'une cheminée solaire simple.....	18
Figure 2.2 : Les conditions aux limites.....	23
Figure 3.1 : Le domaine de calcul dans la cheminée solaire.....	26
Figure 3.2 : Représentation d'un volume-fini typique	27
Figure 3.3 : Domaine de calcul avec maillage	28
Figure 4.1 : Isothermes pour un gradient $\Delta T = 2K$	37
Figure 4.2 : Isothermes pour un gradient de $\Delta T = 5K$	38
Figure 4.3 : Isothermes pour un gradient de $\Delta T = 10K$	39
Figure 4.4 : Isothermes pour un gradient de $\Delta T = 20K$	39
Figure 4.5 : Isothermes pour deux valeurs du nombre de Rayleigh correspondant à un écart de température $\Delta T = 10K$ de la référence [4].....	40
Figure 4.6 : Isothermes pour deux valeurs du nombre de Rayleigh correspondant à un écart de température $\Delta T = 20K$ de la référence [6].....	40

TABLE DES MATIERES

DEDICACES

REMERCIEMENTS

NOMENCLATURE

LISTE DES FIGURES

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE.....01

CHAPITRE I:GENERALITES ET REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1 Généralités sur la cheminée solaire.....	05
1.1.1 Introduction	05
1.1.2 Historique.....	05
1.2 Généralité sur la convection naturelle	06
1.3 Principe de fonctionnement d'une cheminée solaire.....	07
1.4 Principaux éléments de la cheminée solaire.....	07
1.5 Quelques projets dans la monde.....	10
1.6 Revue bibliographique.....	12

CHAPITRE II: MODELES MATHEMATIQUE

2.1 Introduction.....	18
2.2 Description du problème.....	18
2.3 Les hypothèses simplificatrices.....	19
2.4 Modélisation mathématique.....	20
2.4.1 Formulation vectorielle.....	20
2.4.2 Formulation des équations en coordonnées cartésiennes.....	21
2.4.3 La forme adimensionnelle des équations du modèle mathématique.....	21
2.4.4 Les conditions aux limites.....	23

CHAPITRE III: RESOLUTION NUMERIQUE

3.1 Introduction	26
3.2 La méthode des volumes finis.....	26
3.2.1 Représentation d'un volume de contrôle.....	27
3.3 Le maillage.....	28
3.4 GAMBIT.....	28
3.5 FLUENT.....	29
3.5.1 Choix des paramètres de fluent pour notre cas.....	29
3.5.2 Les étapes de simulation numérique par fluent.....	33

CHAPITRE IV: RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1 Introduction.....	35
4.2 Les propriétés physiques de l'air utilisées par Fluent	35
4.3 Le maillage.....	36
4.4 Effet du l'écart de température $\Delta T = T_c - T_f$ sur champ de thermique.....	37
4.5 Validation qualitative pour deux différentes géométries	40
Conclusion générale	41
Références bibliographiques.....	42

Résumé

INTRODUCTION GENERALE

Personne ne conteste l'importance de l'énergie dans la vie humaine notamment les énergies fossiles comme le pétrole et le gaz dont l'homme est toujours dépendant. L'accroissement de la consommation de ces derniers à engendrer une augmentation des prix ce qui pèse de plus en plus sur l'économie mondiale ainsi que sur l'environnement car ces énergies sont des sources de pollution qui cause le réchauffement climatique. Dans ce contexte, il est devenu nécessaire de rechercher des énergies alternatives qui ne polluent pas l'environnement et qui sont économiquement rentables. Les énergies renouvelables représentent une meilleure solution, y compris l'énergie solaire. Les moyens et les méthodes d'exploitation du rayonnement solaire sont multiples, entre autre on peut citer la cheminée solaire dont le principe est de transformer l'énergie solaire en énergie électrique.

La cheminée solaire est un générateur naturel de puissance qui utilise la radiation solaire pour créer un gradient de température qui engendre une énergie cinétique de l'air circulant dans le système. Ce mécanisme est connu par la convection naturelle qui est particulièrement important pour les échanges de l'énergie et de la masse, entre l'air circulant dans la cheminée et l'extérieur.

La cheminée solaire permet de transformer le gain utile du collecteur solaire en énergie cinétique d'écoulement qui est ensuite transformée en énergie électrique au moyen d'une turbine placée à l'intérieur de la cheminée. L'étude de l'influence de la géométrie des différentes parties de la cheminée solaire sur les performances de la turbine s'avère donc très intéressante car elle permet de comprendre les mécanismes qui régissent les phénomènes naturels et d'améliorer les performances de la cheminée solaires.

Dans ce travail, nous examinons la convection naturelle dans une cheminée solaire à géométrie simple en utilisant le logiciel Fluent qui est un outil de simulation numérique basé sur la méthode des volumes finis. Nous examinons en particulier l'effet du gradient thermique sur le transfert de chaleur.

Le travail présenté dans ce mémoire comporte quatre chapitres. Dans le premier chapitre, nous avons présenté des généralités sur la cheminée solaire ainsi qu'une revue bibliographique.

Dans le deuxième chapitre nous formulons le problème physique en coordonnées cartésiennes avec la description de la géométrie et l'ensemble des équations différentielles aux dérivées partielles ainsi que les conditions aux limites.

Le troisième chapitre, traite la résolution des équations différentielles de notre modèle mathématique par le logiciel Fluent avec leurs conditions aux limites associées.

Dans le quatrième chapitre, nous avons exposé les résultats de la simulation et leurs discussions.

Nous terminons ce travail par une conclusion générale qui synthétise les principaux résultats.

CHAPITRE I:
GENERALITES ET REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1 Généralités sur la cheminée solaire

1.1.1 Introduction:

Depuis plus d'un demi-siècle, la consommation énergétique au niveau mondiale n'a cessé d'augmenter. Cette énergie est d'origine fossile avec dégagement croissant de dioxyde de carbone, il en résulte une augmentation globale de la température terrestre. Donc, il est devenu urgent de réduire les émissions de gaz à effet de serre pour stopper le changement climatique. Dans ce contexte, le développement de la production d'électricité à partir d'énergie solaire concentrée dans une centrale solaire à cheminée représente une alternative prometteuse. La cheminée solaire est un dispositif conçu pour transformer l'énergie des rayons solaires à une énergie cinétique et qui est transformée en ensuite en énergie électrique.

Une tour dite également (cheminée) solaire est une centrale à énergie renouvelable, basée sur le principe de la convection naturelle de l'air chauffée par le soleil qui fait tourner des turbines pour produire de l'électricité. Le concept a été inventé par l'ingénieur allemand Jörg Schlaich.

La cheminée solaire est déjà mise en application et a montré un succès dans le domaine du développement d'exploitation des énergies renouvelables. Mais toujours l'augmentation de l'efficacité de production de la cheminée solaire fait l'objet de plusieurs études, et parmi les paramètres affectant l'efficacité de la cheminée solaire sont les paramètres liés à la géométrie tel que: La hauteur et le diamètre de cheminée, le rayon de collecteur et la hauteur de toit de collecteur ainsi que la géométrie de la jonction entre la cheminée et le collecteur.

1.1.2 Historique :

L'un des premiers projets de la tour solaire est celui du militaire espagnol, le Colonel Isidoro Cabanyes, qui en 1903 a proposé un modèle de tour solaire dans la revue « La Energia eléctrica ». On peut également citer le physicien français Bernard Dubos qui en 1926 propose d'exploiter un vent vertical produit par un gros tube installé sur le flanc d'une montagne. L'une des premières représentations d'une tour solaire a été rédigée en 1931 par un auteur Allemand: Hans Günther. Entre 1940 et 1960, le français Edgard Nazaire, après avoir observé plusieurs tourbillons de sable dans le sud saharien, et en avoir mesuré les caractéristiques grâce à son déclinomètre de poche, a imaginé un dispositif totalement révolutionnaire qui est la tour à dépression, aujourd'hui appelée tour à vortex, c'est en 1956 qu'il déposa son premier brevet à Alger.

En 1975 l'ingénieur canadien Louis M. Michaud a publié son projet Vortex Power Station dans le bulletin de la Société américaine de météorologie. Il s'agissait également de générer une ascendance atmosphérique tourbillonnaire, mais dans une tour cylindrique.

Mais ce n'est qu'en 1981 qu'un premier prototype de cheminée solaire fut effectivement construit à Manzanares (ville espagnole à 150 kilomètres de Madrid) sous la direction de l'ingénieur allemand Jörg Schlaich, et grâce aux fonds du Ministère allemand de la recherche et de la technologie. [1]

1.2 Généralités sur la convection naturelle :

Convection naturelle thermique :

La convection naturelle dans laquelle le mouvement du fluide est produit par les différences de densité entre les particules chaudes et celles froides existant dans un fluide, cette différence de densité qui est provoquée par un gradient de température sous l'effet de la force de gravité, crée une force de flottabilité, qui par conséquent crée une différence de quantité de mouvement.

Plusieurs applications industrielles ainsi que domestiques où la convection naturelle joue un rôle très important et la compréhension de ce phénomène augmente le nombre d'applications et mène à un certain nombre de conceptions industrielles améliorées.

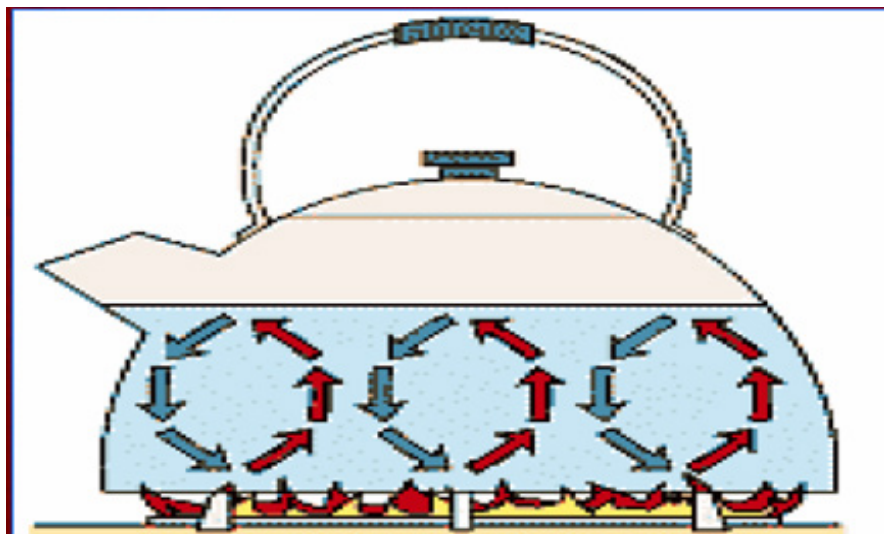


Figure 1.1 : Transfert de chaleur par convection

1.3 Principe de fonctionnement d'une cheminée solaire :

La cheminée solaire est un moyen de production électrique à partir du rayonnement solaire. Le principe de fonctionnement est basé sur le chauffage d'une couche d'air, sous une surface horizontale à effet de serre qui est de grande taille autour d'une cheminée qui, sous l'effet de la convection naturelle donne un courant ascendant canalisé par la cheminée verticale. Des turbines placées, soit à la base de la tour, soit dans la tour elle-même, seront actionnées par le flux d'air et produiront de l'électricité (**Figure1.2**). Le concept de base peut être amélioré en utilisant plusieurs techniques pour emmagasiner de la chaleur sous la serre pendant le jour et la restituer pendant la nuit.

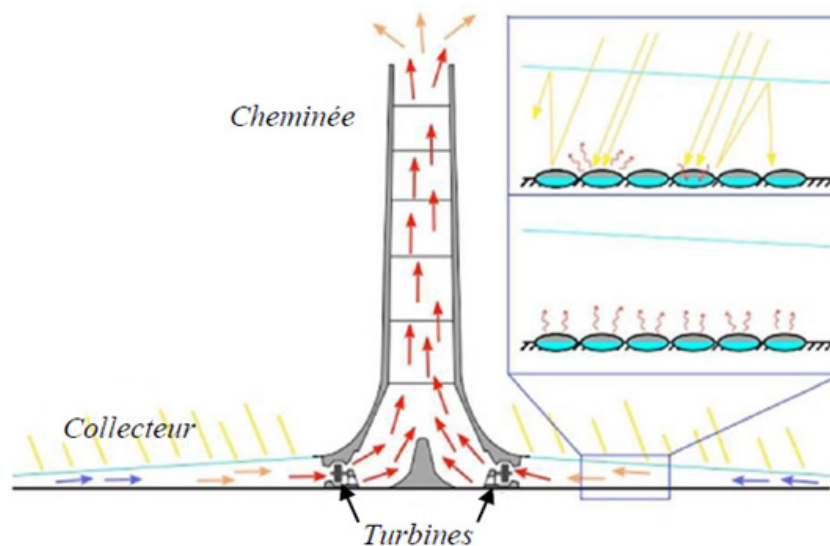


Figure 1.2 : Le principe de fonctionnement d'une cheminée solaire

1.4 Principaux éléments de la cheminée solaire:

Le Collecteur :

Le collecteur est la partie employée pour produire l'air chaud par effet de serre. Sa hauteur va généralement de 2 à 6 mètres et recouvre une vaste surface de plusieurs milliers de mètres carrés. Comme le poids du verre augmente la masse du toit, les collecteurs sont supportés par une structure en tiges résistantes (**Figure1.3**).

Il n'y a aucune limitation pour la superficie du collecteur, plus grande est la surface, plus grande est la quantité d'énergie produite par la tour solaire. La hauteur sous la serre doit progressivement augmenter de l'extérieur vers le centre afin de diminuer les pertes par frottement. Divers matériaux peuvent constituer le couvercle de la serre comme du verre ou films plastiques.

Le plus efficace est le collecteur en verre, compte tenu de son rendement de conversion d'énergie solaire en chaleur qui pourra aller jusqu'à 70%. En outre, avec un entretien et une maintenance appropriés, sa durée de vie peut facilement atteindre 60 ans ou plus.



Figure 1.3 : Vue intérieure du collecteur solaire

Cheminée :

La partie la plus importante de la tour solaire est la cheminée, elle agit comme une machine thermique. Les pertes par frottements étant minimales dans la cheminée, celle-ci agira comme un tube de pression. Plus haute est la cheminée, plus importante est la quantité d'énergie produite par la tour solaire. L'efficacité de la cheminée ne dépend pas tellement de la température de l'air entrant, mais de la différence de température avec l'air extérieur en haut de la cheminée. Cependant, bien que

L'efficacité soit proportionnelle à la hauteur de la cheminée, dans la pratique il y a une limitation. Deux principaux types de cheminées sont possibles : celles autoportées (construites en dur : béton ou acier) et les cheminées haubanées (structures plus légères constituées de tubes).

La durée de vie des cheminées en béton est bien supérieure à celle des cheminées en membranes, une centaine d'années contre quelques années à peine.

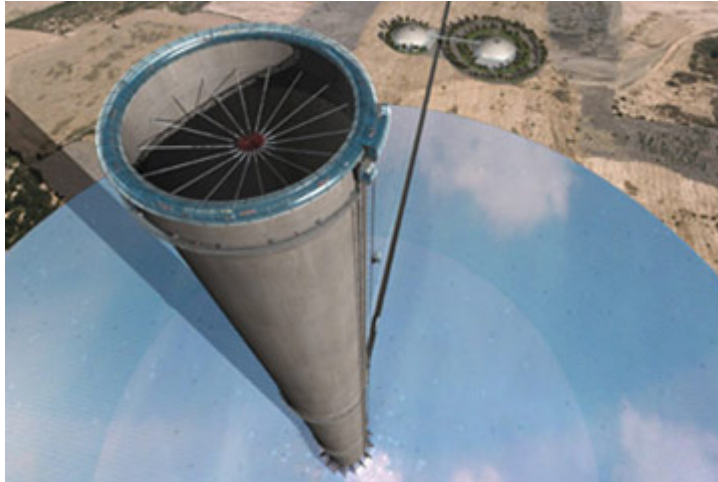


Figure 1.4 : Exemple de cheminée

Turbine éolienne :

Les turbines sont toujours placées à la base de la cheminée où la vitesse d'écoulement d'air est plus élevée, pour transformer le maximum d'énergie cinétique en énergie mécanique. Le générateur entraîné par la turbine transforme l'énergie mécanique en énergie électrique.

Le nombre de turbines utilisées est soit une turbine dont les pales couvrent la coupe transversale de la cheminée, soit de petites turbines distribuées sur toute la section de la cheminée.

Mais il est aussi possible d'arranger entre la verrière et la base de la cheminée un grand nombre de petites turbines avec des axes horizontaux à la périphérie de la section du passage.



Figure 1.5 : La turbine

1.5 Quelques projets dans le monde [2]:

- Le projet de Manzanares en Espagne :

Des recherches détaillées et de nombreuses expériences en soufflerie ont mis en place une installation expérimentale d'une puissance de pointe de 50 kW sur un site mis à Manzanares à environ 150 km au sud de Madrid, ce prototype est inventée par l'ingénieur allemand Jörg Schlaich, cette première tour solaire de 195 m de haut a été construite en 1982.

Avec des fonds fournis par le ministère allemand de la Recherche et de la Technologie. La surface de la serre au pied de la cheminée mesure près de 46.000 m². Le but de Ce projet de recherche visait à vérifier, par des mesures sur le terrain, la performance projetée à partir des calculs basés sur la théorie et d'examiner l'influence de composants individuels sur la production, ces résultats montrent que les composants sont fiables, le prototype a fonctionné pendant 7 ans.

Spécifications du projet :

- Puissance maximum 50 kW
- Hauteur de la cheminée en acier 195 m
- Diamètre de la cheminée 5 m
- Surface de la serre 6.000 m² de couverture en verre et 40.000 m² de couverture transparente en plastique.



Figure 1.6 : Tour solaire implantée à Manzanares

-Le projet Enviromission en Australie :

Un projet de tour solaire, appelé Projet de Buronga, conçu en 2011, est développé en Australie par la société « Enviromission ». La cheminée mesure 990 mètres de hauteur, 70 mètres de diamètre. La centrale fournirait 200 MW de puissance électrique, de quoi approvisionner en électricité environ 200000 logements. Il s'agit d'un des projets les plus ambitieux de la planète pour la production d'énergie renouvelable sûre et propre.

Le coût d'investissement est d'environ 400 millions d'euros, ce qui implique un coût d'investissement de 2 €/W. Par comparaison, un système photovoltaïque de 2008 coute environ le triple, tandis que la récente centrale solaire thermodynamique (11 MW) a couté 3,2 €/W, soit 1,6 fois plus. Le kWh fourni resterait néanmoins toujours cinq fois, plus cher que l'électricité de charbon, qui représente 95% de la production en Australie.

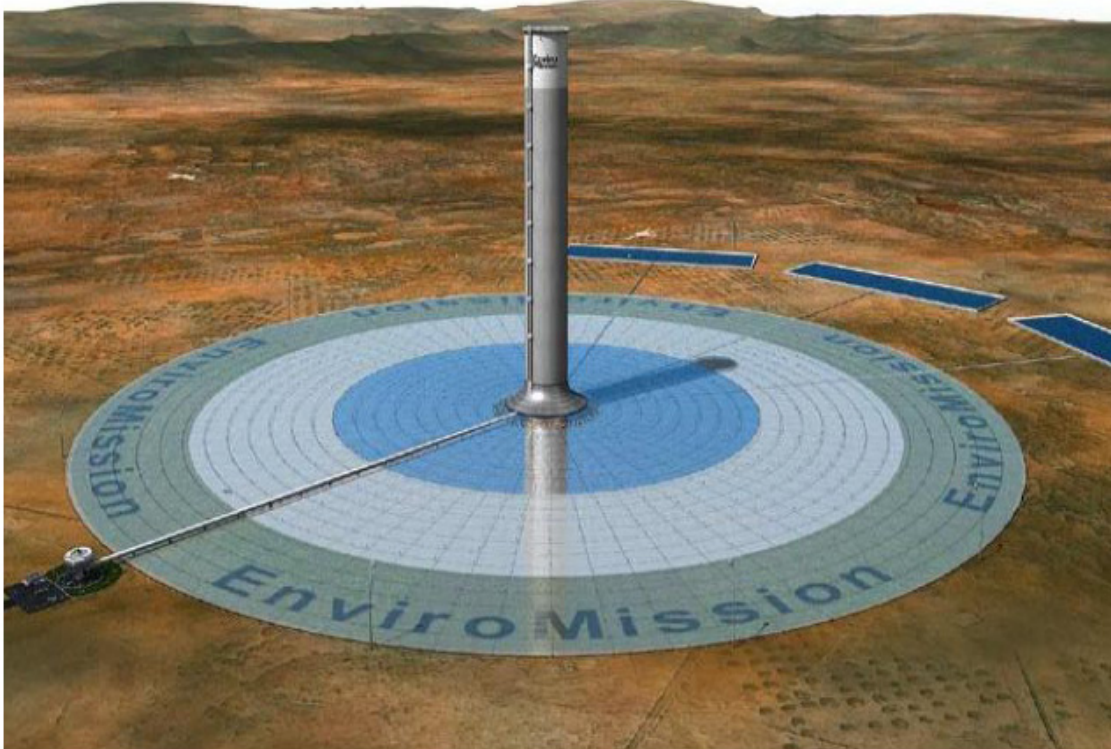


Figure 1.7 : Projet de Buronga en Australie

Spécifications du projet :

- Une cheminée de 990 m de haut (3281 pieds) matériaux composite
- Un collecteur de 7 km de diamètre, soit 38,5 km² de verre et de plastique.
- Température de l'air chauffé dans la cheminée : 70 °C.
- Vitesse de l'air dans la cheminée : 15 m/s (54 km/h).
- 32 turbines.

1.6 Revue bibliographique :

Les recherches menées sur le concept de la cheminée solaire s'étendent sur un peu plus d'un siècle, des études ont été également réalisées sur le phénomène de la convection naturelle au sein de la cheminée solaire afin de choisir les paramètres géométriques pour un rendement optimal.

M. Denis Bonnelle [3] a proposée quelques améliorations techniques de la tour solaire, en particulier pour pouvoir agrandir le collecteur solaire et la tour et améliorer le rendement global.

Toufik Chergui [4] a étudié dans la modélisation des écoulements dans les cheminées solaires avec l'étude de leurs performances énergétiques selon certains paramètres dominants. L'analyse du problème est structurée en deux parties: la première, relative au calcul de l'énergie pour la prédiction des performances telles que la sortie et la puissance délivrée par une cheminée de la centrale solaire (CCS) selon certains paramètres géométriques et physiques tels que La hauteur et l'irradiation solaire. La deuxième est relative à la modélisation bidimensionnelle d'un écoulement dans un état transitoire avec transfert de chaleur convectif naturel en géométrie similaire à celle d'une cheminée solaire.

Mourad Gahgah [5] a présenté une étude d'écoulements dans une cheminée solaire par voie de simulation numérique. La modélisation du problème a été établie moyennant l'utilisation d'une approche basée sur l'étude des écoulements dans une cavité ouverte constituée d'un disque et d'un cylindre. Ce dispositif constitue une plateforme d'analyse des performances énergétiques des cheminées solaires, avec prise en compte de l'aspect thermo-fluide ayant lieu dans les centrales de production d'énergie de type cheminée solaire en régime permanent.

Tayebi Tahar [6] a proposé une étude numérique de la convection naturelle laminaire dans une cheminée solaire. Le fluide véhiculé est l'air considéré comme un fluide newtonien et incompressible, en utilisant l'approximation de Boussinesq et la formulation vorticité-fonction

de courant en coordonnées hyperboliques. La résolution de ces équations est basée sur un schéma de discrétisation aux volumes finis. L'effet de la géométrie du système sur le phénomène de la convection naturelle dans la cheminée a été examiné.

Salah Larbi et al [7] a analysé de la performance d'une centrale électrique à cheminée solaire qui devrait permettre aux villages éloignés situés dans la région sud-ouest algérien avec une énergie électrique. L'énergie solaire et l'état psychométrique de l'air dans le sud de l'Algérie sont importants pour encourager le développement complet d'une centrale à cheminée solaire pour la production thermique et électrique. Adrar a été choisi comme site où le rayonnement solaire est meilleur que d'autres régions d'Algérie. Les résultats obtenus montrent que la centrale de cheminée solaire peut produire de 140 à 200 kW d'électricité sur un site comme Adrar au cours de l'année, selon une estimation faite sur la moyenne mensuelle de la prise de soleil.

Akchiche Zineb [8] a utilisé dans son travail une technique permettant la ventilation et le rafraîchissement naturel pour les régions à climat chaud. Son étude expérimentale a été suivie par une simulation utilisant le code Fluent pour une cheminée solaire introduisant un échangeur air-sol.

Ismail Zabat [9] a étudié les paramètres affectant l'efficacité de la cheminée solaire qui sont la hauteur de la cheminée, le diamètre du collecteur, le diamètre de la cheminée et la hauteur du toit du collecteur. Son travail est porter plus sur l'amélioration de la conception de cet équipement afin d'augmenter sa production d'énergie.

Sylvain Leroy [10] a proposé un système pour produire en priorité de l'eau en combinant à la fois condensation active et passive. La problématique principale étant de connaître la puissance électrique théorique que peut fournir un tel système l'étude a donc été orientée vers la simulation de l'écoulement d'air dans une cheminée solaire pour obtenir la puissance cinétique théorique de l'air récupérable dans celle-ci. Grâce à un logiciel de simulation de dynamique des fluides il a été possible d'effectuer cette simulation après avoir réalisé la structure avec un logiciel de construction mécanique.

Soubhi A. Hassanein et al. [11] a présenté un travail expérimental pour étudier les effets sur la cheminées solaires, de la hauteur de la cheminée, de la largeur de l'entrefer et de l'orientation de la cheminée sur la ventilation naturelle. Les profils de températures et de vitesses ont été enregistrés à travers le canal de la cheminée et la pièce connectée au canal dans différentes conditions paramétriques. Les résultats montrent que l'amélioration de la ventilation naturelle

pourrait être réalisée en utilisant une cheminée multi-solaire. En outre, l'utilisation d'une, deux ou trois cheminées pourrait réduire la température du centre de 6%, 10% et 12% respectivement, et l'utilisation de deux et trois cheminées au lieu d'une cheminée a augmenté le débit de ventilation à 13% et 33% respectivement.

Khaldi Sabrina [12] a étudié l'impact des facteurs clés sur l'écoulement d'air dans une pièce équipée d'une cheminée solaire. Une simulation numérique est réalisée en utilisant le code de calcul Fluent et validée en comparant les résultats calculés avec ceux disponibles dans la littérature. Il est constaté que le flux d'air augmente avec le rayonnement solaire. En revanche, il y avait une largeur et une inclinaison optimales au-delà desquelles le débit massique d'air commencerait à diminuer.

Olivier Farges [13] a élaboré une méthode de conception optimale pour les centrales solaires à récepteur central. Elle fait partie des méthodes développées depuis de nombreuses années par le groupe de recherche Star West, regroupant notamment des chercheurs des laboratoires RAPSODEE (Albi), LAPLACE (Toulouse) et PROMES (Odeillo). Couplant des algorithmes de Monte Carlo à hautes performances et des algorithmes stochastiques d'optimisation, le code de calcul de cette méthode permet la conception et l'optimisation d'installations solaires. Il est utilisé pour mettre en évidence les potentialités d'un type de centrales à récepteur central peu répandu : les centrales à réflecteur secondaire, également appelées centrales de type « beam down ».

Cheloufi Djassem [14] a réalisé une expérience sur le modèle de la cheminée solaire en mesurant les vitesses d'écoulement dans la cheminée, les températures et le rayonnement en fonction des variantes considérées (une, deux et quatre ouvertures), ce qui démontre que le facteur ouverture a toute son importance.

Charles Garnier [15] a présenté dans sa thèse, la modélisation numérique des écoulements ouverts de convection naturelle au sein d'un canal vertical asymétriquement chauffé à flux constant. Ce travail s'inscrit dans un contexte national de comparaison associant approches numériques et expérimentales. (La Société Française de Thermique SFT)

A. Dhahri et al. [16] a analysé numériquement la performance d'une centrale à cheminée solaire utilisant les équations de Navier-Stokes en régime permanent et l'équation d'énergie dans un système de coordonnées cylindriques. L'écoulement du fluide à l'intérieur de la cheminée est supposé être turbulent et simulé avec le modèle k- ϵ en utilisant le logiciel FLUENT. Des

simulations numériques ont été effectuées en utilisant le prototype espagnol comme référence. Les résultats calculés étaient en accord avec les mesures expérimentales de la centrale de Manzanares.

Le modèle théorique a été proposé en tenant compte de la différence d'énergie cinétique dans le collecteur solaire. Les effets des principaux paramètres géométriques du collecteur et l'intensité du rayonnement solaire sur le débit massique de l'air et l'accroissement de la température dans le collecteur ont été étudiés. Les distributions de la température du fluide et du sol ont également été présentées et analysées.

Samir Djimli, Abla Chaker [17] a étudié et analysé numériquement les champs de vitesse et de la température dans une cheminée solaire avec différents nombres de Rayleigh. Le problème est d'étudier la convection turbulente naturelle avec des conditions limites bien définies. Les résultats obtenus, pour les différents cas étudiés, sont comparés pour montrer l'influence de divers paramètres. Une attention particulière a été accordée aux profils de vitesse et à la température horizontale et verticale à l'intérieur de la cheminée. Le logiciel Fluent a été utilisé pour la simulation numérique de l'écoulement du fluide ainsi que le transfert de chaleur au sein de la cheminée solaire.

BacharAttig [18] a développé un modèle numérique en 3D de dynamique des fluides dans centrale à cheminée solaire (SCPP) et validé par comparaison avec les données expérimentales de l'usine de Manzanares. Ensuite, il a été employé pour étudier les performances d'une centrale thermique à cheminée solaire pour des emplacements dans toute la Tunisie.

Penghua Guo et al. [19] a étudié une approche numérique en 3D qui intègre le modèle de rayonnement, le modèle de charge solaire et une véritable turbine. Les variations de la performance de la turbine avec la vitesse de rotation ont été étudiées afin de définir une stratégie de régulation de puissance pour les turbines à cheminée solaire. Les résultats des simulations avec un modèle de ventilateur et une véritable turbine ont été comparés. Les résultats indiquent que le modèle de ventilateur est une approche pratique pour étudier la chute de pression de la turbine et la vitesse de courant ascendant dans la conception de la centrale à cheminée solaire (SCPP) sans tenir compte de l'efficacité de la turbine. En outre, les influences de l'angle d'incidence de la lumière du soleil sur la performance de la cheminée solaire ont été étudiées.

Boualleg Salim Mekki [20] a exposé une étude analytique des centrales cheminées solaires par utilisation des différents modèles mathématiques et à comparer les résultats obtenus avec des

différents modèles théorique permettant de mieux prédire la performance énergétique de ces centrales.

A l'issue de cette revue bibliographique sur les travaux de recherche qui ont contribué à l'amélioration des installations des cheminées solaires, ceci illustre bien l'importance de cette technologie qui continue à susciter une attention croissante et des applications diverses notamment dans la conjoncture actuelle où les sources d'énergie renouvelables sont d'une importance majeure.

CHAPITRE II :
MODELE MATHEMATIQUE

2.1 Introduction

Dans ce chapitre nous formulons le problème physique avec la description de la géométrie et l'ensemble des équations différentielles aux dérivées partielles qui sont les équations de continuité, de quantité de mouvement et de l'énergie. Nos équations sont présentées dans le système des coordonnées cartésiennes.

2.2 Description du problème

Considérons le transfert de chaleur par convection naturelle dans une cheminée solaire de géométrie illustrée sur la **Figure 2.1**.

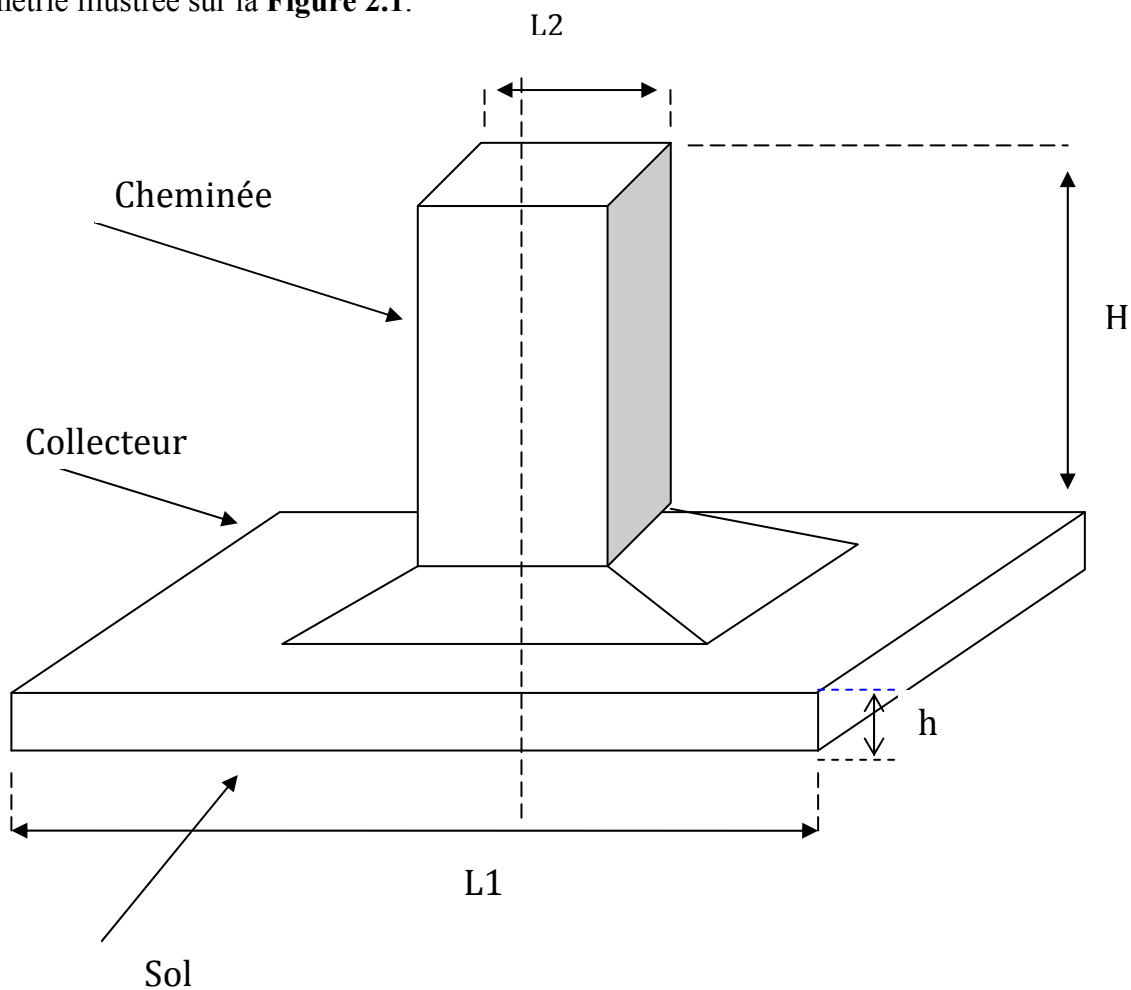


Figure 2.1 : Géométrie de la cheminée solaire étudiée

Les parois extérieures sont considérées isothermes et maintenues à une température ambiante constante T_f , le sol est également considéré comme une paroi isotherme à une température constante T_c , avec $T_c > T_f$.

2.3 Les hypothèses simplificatrices

Afin de simplifier notre problème, nous avons retenues quelques hypothèses simplificatrices qui sont les suivantes :

- Le fluide (air) est newtonien et incompressible.
- Nous admettons que l'écoulement est bidimensionnel, permanent et laminaire.
- La dissipation visqueuse et le travail des forces de pression sont négligeables dans l'équation de la chaleur.
- La densité du fluide dans le terme des forces de volume varie linéairement avec la température T selon l'approximation de **J. Boussinesq [21]**.
- Les propriétés physiques du fluide dans les autres termes des équations sont constantes et déterminées à partir de la température et de la concentration de référence T_0 et C_0 respectivement.
- Pas d'échange par rayonnement au sein du fluide.

L'approximation de Boussinesq dans notre cas est donnée par la relation suivante :

$$\rho(T) = \rho_0(1 - \beta_T(T - T_0))$$

Où ρ_0 est la densité à la température T_0 de référence, β_T est le coefficient d'expansion volumique thermique exprimé ci-dessous :

$$\beta_T = -\frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_{P,C}$$

2.4 Modélisation mathématique

Les équations dimensionnelles qui modélisent le problème posé sont exprimées dans un premier lieu sous leur forme vectorielle, puis elles sont écrites dans les coordonnées cartésiennes avec la

considération des hypothèses. Les Equations générales qui gouvernent le phénomène de la convection naturelle :

2.4.1-Formulation vectorielle:

-Equation de continuité:

C'est l'équation qui exprime la loi de la conservation de la masse pour un volume de control matériel :

$$\text{div}(\vec{v}) = 0 \quad (2.1)$$

-Equation du mouvement :

Le principe de conservation de la quantité de mouvement permet d'écrire l'équation du mouvement sous la forme suivante:

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \overrightarrow{\text{grad}}) \vec{v} = \frac{\rho}{\rho_0} \vec{g} + \frac{\Delta k}{\rho_0} \quad (2.2)$$

\vec{g} : Accélération de la pesanteur.

K: Tenseur des contraintes.

\vec{V} : Vitesse du fluide.

-Equation de la chaleur :

L'équation de conservation d'énergie est obtenue à partir du premier principe de la thermodynamique :

$$\frac{\partial T}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \overrightarrow{\text{grad}}) T = \frac{\lambda}{\rho c_p} \nabla^2 T \quad (2.3)$$

Avec :

T: température du fluide.

λ : conductivité thermique du fluide.

C_p : capacité calorifique massique à pression constante du fluide.

t: temps.

2.4.2-Formulation des équations en coordonnées cartésiennes :

Introduisons les coordonnées cartésiennes en tenant compte des hypothèses simplificatrices, les équations (2.1), (2.2), (2.3) s'écrivent de la manière suivante :

- **Equation de continuité :**

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (2.4)$$

- **Equations de quantité de mouvement:**

La projection de l'équation (2.2) sur les deux axes (x) et (y) avec l'introduction de l'approximation de Boussinesq nous donne les deux équations suivantes :

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (2.5)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} + g\beta(T - T_0) + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (2.6)$$

Equation de la chaleur :

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{\lambda}{\rho c_p} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (2.7)$$

Avec :

$$a = \frac{\lambda}{\rho c_p} : \text{La diffusivité thermique}$$

2.4.3-La forme adimensionnelle des équations du modèle mathématique :

Pour simplifier le problème, nous procédons à rendre les équations de notre modèle mathématique adimensionnelles en regroupant les termes prépondérants par rapport aux paramètres caractéristiques choisis comme paramètres de référence. La dimension L qui représente la longueur du collecteur a été choisie comme longueur de référence. Les différentes grandeurs sans dimension sont données par les expressions suivantes:

$$x^+ = \frac{x}{L} ;$$

$$y^+ = \frac{y}{L} ;$$

$$U^+ = \frac{U}{(a/L)} ;$$

$$V^+ = \frac{V}{(a/L)} ;$$

$$P^+ = \frac{P}{\rho U_0^2} ;$$

$$T^+ = \frac{T - T_f}{T_c - T_f} ;$$

Introduisant également les nombres adimensionnels suivants :

Le nombre Prandtl :

$$Pr = \frac{\nu}{a}$$

Le nombre de Grashof :

$$Gr = \frac{g\beta_T c^3 \Delta T}{\nu^2} ;$$

Le nombre de Rayleigh :

$$Ra = Gr \cdot Pr ;$$

En portant les quantités adimensionnelles définies ci-dessus dans les équations du modèle mathématique (2.4), (2.5), (2.6) et (2.7), on obtient :

- **Equation de continuité :**

$$\frac{\partial U^+}{\partial x} + \frac{\partial V^+}{\partial x} = 0 \quad (2.8)$$

- **Equation de quantité de mouvement :**

-selon l'axe des abscisses x:

$$u^+ \frac{\partial u^+}{\partial x^+} + v^+ \frac{\partial u^+}{\partial y^+} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p^+}{\partial x^+} + Pr \left(\frac{\partial^2 u^+}{\partial x^{+2}} + \frac{\partial^2 u^+}{\partial y^{+2}} \right) \quad (2.9)$$

-selon l'axe des abscisses y:

$$u^+ \frac{\partial v^+}{\partial x^+} + v^+ \frac{\partial v^+}{\partial y^+} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p^+}{\partial x^+} + p_r \left(\frac{\partial^2 v^+}{\partial x^{+2}} + \frac{\partial^2 v^+}{\partial y^{+2}} \right) + R_a \cdot P_r \cdot T^+ \quad (2.10)$$

- Equation de la chaleur :

$$U^+ \frac{\partial T^+}{\partial x^+} + V^+ \frac{\partial T^+}{\partial y^+} = a \left[\frac{\partial^2 T^+}{\partial x^{+2}} + \frac{\partial^2 T^+}{\partial y^{+2}} \right] \quad (2.11)$$

2.4.4- Les conditions aux limites :

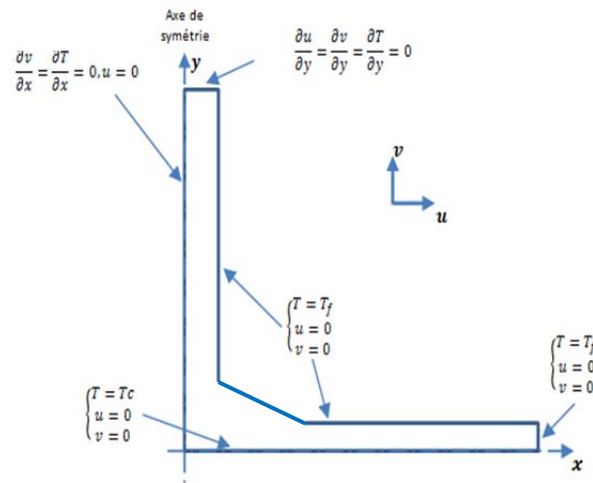


Figure2.2 : Les conditions aux limites

Conditions d'entrée :

A l'entrée de la cheminée solaire, les conditions aux limites des vitesses et de température sont celles de Dirichlet, où:

$$T = T_f, u = 0, v = 0$$

Conditions de sortie:

La condition de sortie est de type Newman :

$$\frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\partial v}{\partial y} = \frac{\partial T}{\partial y} = 0$$

Conditions à l'axe de symétrie :

A l'axe de symétrie, on pose :

$$\frac{\partial v}{\partial x} = \frac{\partial T}{\partial x} = 0, u = 0$$

Conditions aux limites au sol :

$$T = T_c, u = 0, v = 0$$

Conditions aux limites au toit du collecteur :

$$T = T_f, u = 0, v = 0$$

Conditions aux limites à la paroi de cheminée :

$$T = T_f, u = 0, v = 0$$

**CHAPITRE III:
RESOLUTION NUMERIQUE**

3.1 Introduction

Les équations régissant la convection naturelle dans une cheminée solaire que nous avons exposées dans le chapitre précédent, constituent un système d'équations différentielles aux dérivées partielles non linéaires et couplées qui ne peuvent être résolues analytiquement, on les résout donc numériquement. Dans ce chapitre, et pour résoudre ces équations avec leurs conditions aux limites associées, nous considérons une solution à l'aide d'un code de simulation numérique. Le moyen numérique utilisé dans notre cas est le code FLUENT basé sur la méthode des volumes finis.

3.2 La méthode des volumes finis

La méthode des volumes finis consiste à discrétiser le domaine physique étudié en un domaine de calcul montré dans la figure 3.1 qui se compose d'un nombre fini de volumes. Les bilans des grandeurs étudiées seront exprimés sur ces volumes de contrôle. Cette méthode est fréquemment utilisée dans la solution numérique des problèmes d'écoulement de fluide ainsi que des transferts, les détails de la méthode sont exposés par S.V.PATANKAR [22]

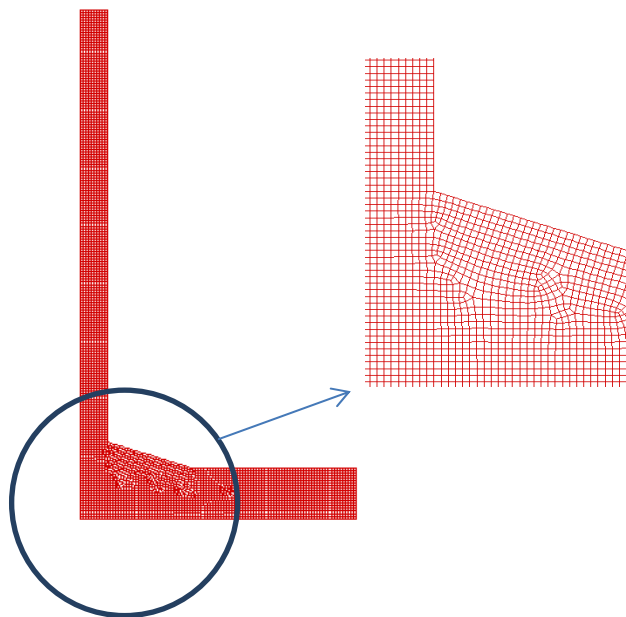


Figure 3.1 : Le domaine de calcul dans la cheminée solaire

3.2.1 Représentation d'un volume de contrôle :

Le maillage de l'espace d'écoulement selon les directions des coordonnées cartésiennes x et y en un ensemble de volumes égaux nous donne des volumes de contrôles, ces volumes sont appelées également volumes élémentaires d'intégration. Chacun de ces volumes est égal à la quantité « $\Delta x.\Delta y.1$ ». Parce que nous avons considéré le problème bidimensionnel, on prend l'unité dans la direction z comme épaisseur du volume de contrôle. La figure 3.2 ci-dessous représente un volume fini typique entouré par les volumes finis de son voisinage.

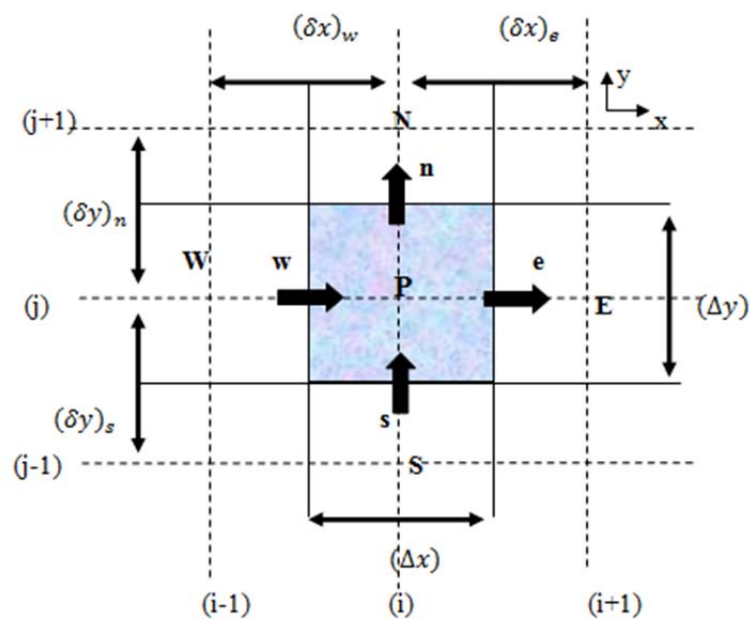


Figure 3.2 : Représentation d'un volume-fini typique

3.3 Le maillage:

Le découpage de notre domaine physique en un nombre fini de volumes s'effectue à l'aide du logiciel GAMBIT qui est un logiciel industriel permettant de créer des géométries avec le maillage voulu pour obtenir un domaine de calcul qui sera par la suite utilisé par Fluent pour définir le modèle mathématique du phénomène physique étudié.

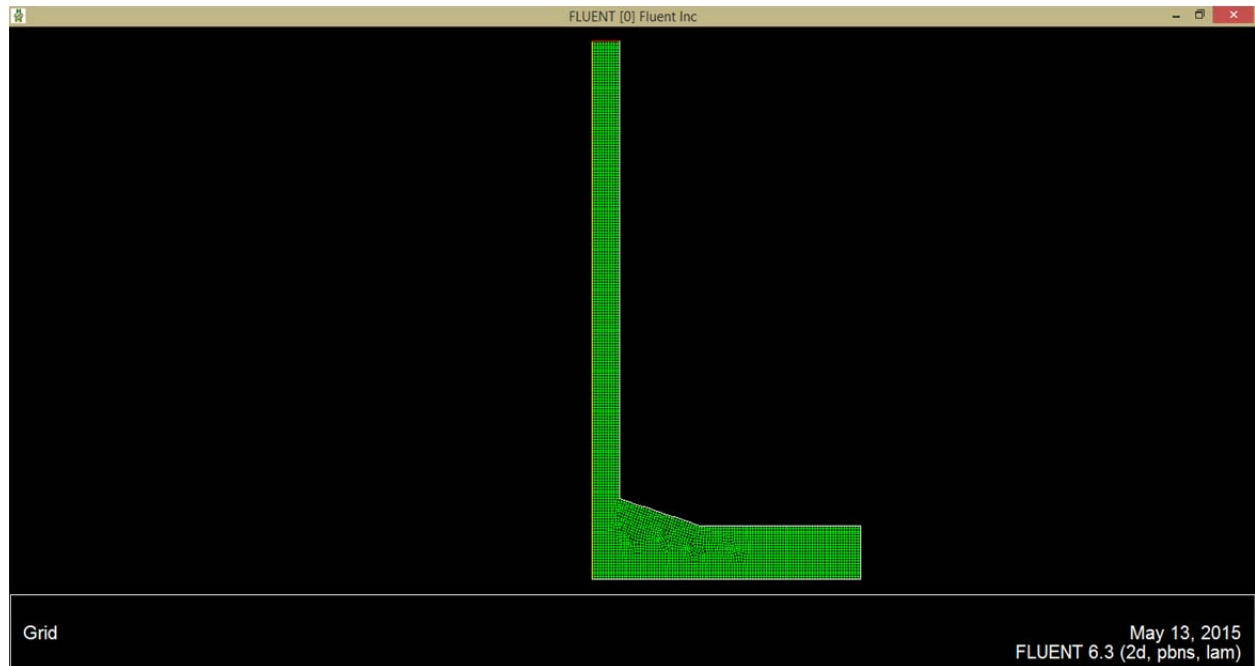


Figure 3.3 : Domaine de calcul avec maillage

3.4 GAMBIT est un logiciel de Dessin Assisté par Ordinateur et de génération de maillage et qui permet de réaliser des géométries en 2D et 3D et de construire le maillage. Il permet aussi de réaliser tout type de géométries complexes (fixes ou mobiles) associées à des maillages fixes ou adaptatifs.

Le choix du maillage est un facteur essentiel dans la convergence du calcul et l'exactitude des résultats numériques. Les paramètres du maillage sont plusieurs, le nombre et la taille de mailles, la forme de la maille sont les plus importants.

Donc, ce logiciel nous permet de dessiner la géométrie, réaliser le maillage et définir les différents paramètres qui sont par exemple les conditions aux limites et les domaines de calcul. Une fois que la géométrie a été créée, que les conditions aux limites ont été définies, on peut exporter le maillage pour Fluent.

3.5 FLUENT:

FLUENT est un code CFD commercial très utilisé dans l'industrie. Il est écrit en langage de programmation C et Il permet de résoudre les écoulements fluides et les phénomènes de transferts (champs de vitesses, de température...), c'est la raison pour laquelle on la choisi pour réaliser notre simulation.

3.5.1 Choix des paramètres de FLUENT pour notre cas :

L'interface de FLUENT :



```
FLUENT [2d, pbns, iam]
File Grid Define Solve Adapt Surface Display Plot Report Parallel Help

Welcome to Fluent 6.3.26

Copyright 2006 Fluent Inc.
All Rights Reserved

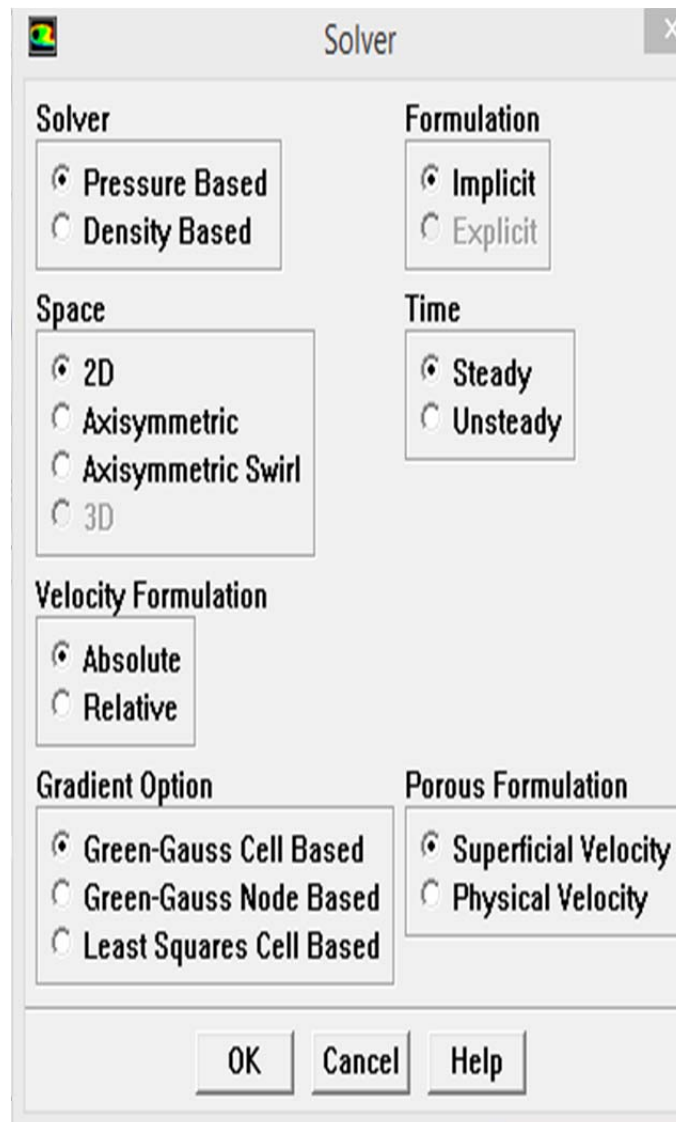
Loading "C:\Fluent.Inc\Fluent6.3.26\lib\fl_s1119.dmp"
Done.

Loading "C:\Users\Hichen/.cxlAYOUT"
Done.

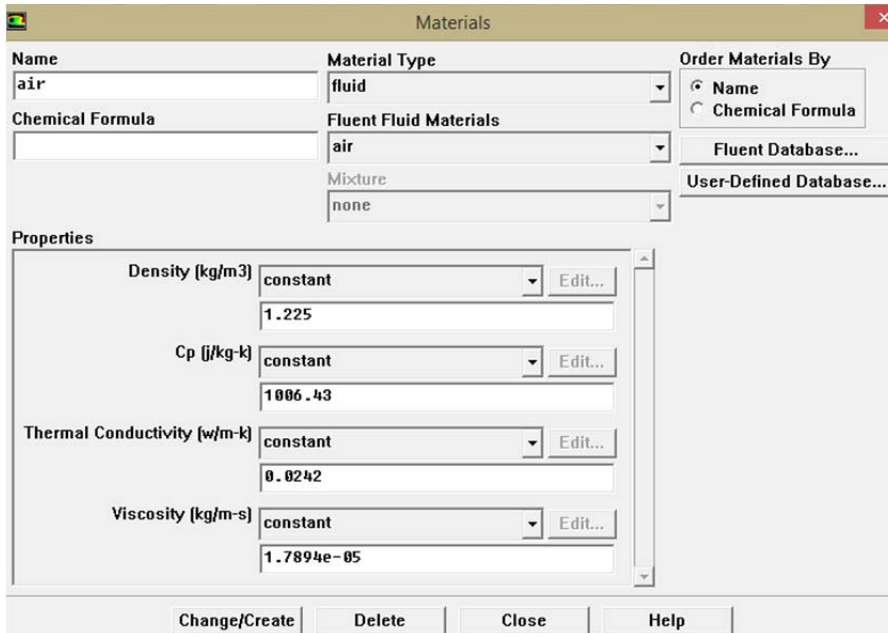
> Reading "C:\Users\Hichen\Desktop\Resultats Fluent\attempt01.cas"...
3973 quadrilateral cells, zone 2, binary.
262 2D wall faces, zone 3, binary.
20 2D wall faces, zone 4, binary.
10 2D outflow faces, zone 5, binary.
100 2D wall faces, zone 6, binary.
200 2D symmetry faces, zone 7, binary.
7650 2D interior faces, zone 9, binary.
4270 nodes, binary.
4270 node flags, binary.

Building...
grid,
materials,
interface,
domains,
mixture
zones,
default-interior
axe_syn
sol
sortie
lateral_d
surface
chinney_0.1
shell conduction zones,
Done.
Reading "C:\Users\Hichen\Desktop\Resultats Fluent\attempt01.dat"...
Done.
```

Le modèle :

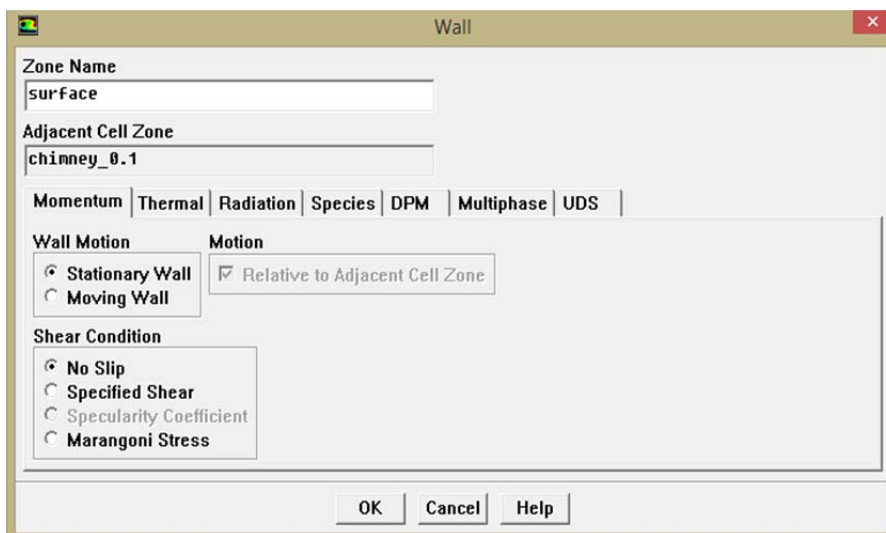


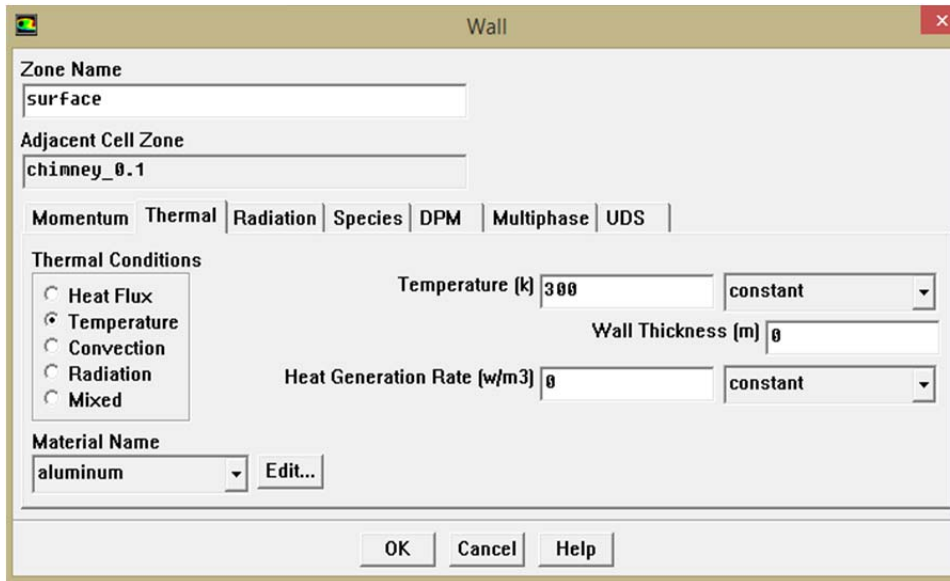
Le fluide :



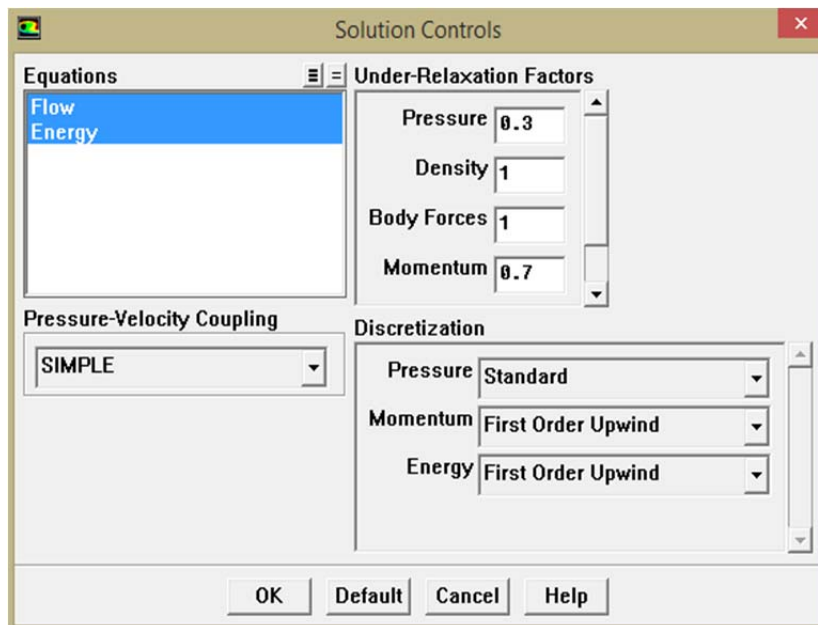
Les conditions aux limites :

Exemple : Surface du collecteur





La discrétisation des équations :



3.5.2 Les étapes de simulation numérique par FLUENT:

Première étape : GAMBIT

- 1) Le choix de systèmes de coordonnées ;
- 2) La création de la géométrie;
- 3) Le maillage ;
- 4) Choix des conditions aux limites;
- 5) Exportation du fichier de GAMBIT (.msh)

Deuxième étape : FLUENT

- 1) Définition de l'échelle
- 2) Choix du modèle
- 3) Choix du fluide
- 4) Définition des paramètres de référence
- 5) Définition des conditions aux limites
- 6) Initialisation
- 7) Lancement des itérations;
- 8) Affichage et analyse des résultats obtenus.

CHAPITRE IV:
RESULTATS ET DISCUSSIONS

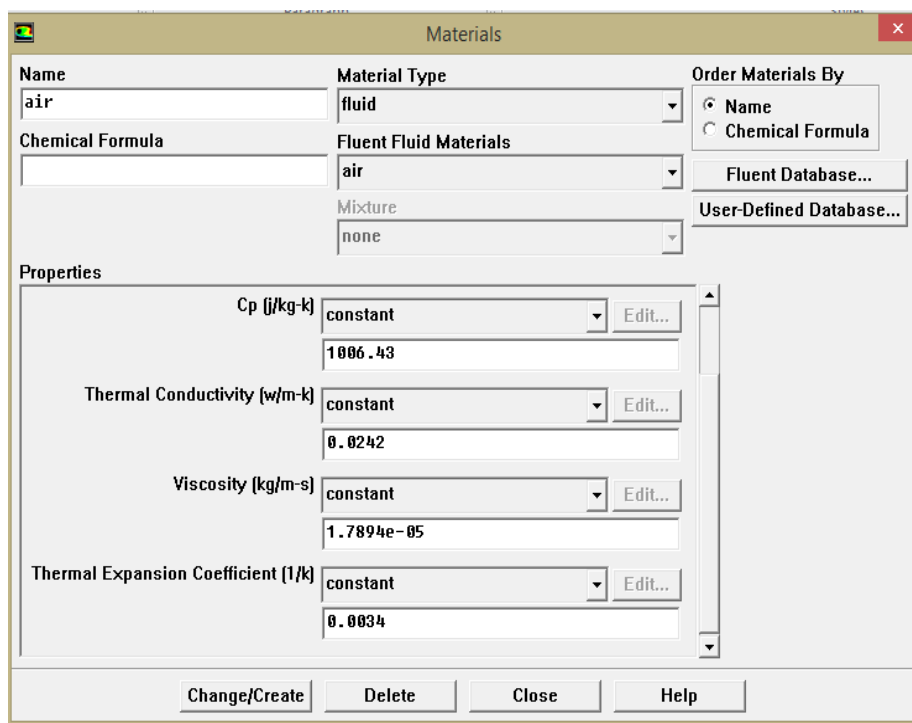
4.1 Introduction

Avant d'entamer cette dernière partie dans cette étude qui traite les résultats de la simulation numérique, nous rappelons l'objectif que nous avons défini au début de ce travail. Donc, nous avons exposé les équations différentielles qui décrivent le phénomène de la convection naturelle en régime permanent et laminaire dans une géométrie en deux dimensions d'une cheminée solaire dans le but de réaliser une simulation numérique à l'aide de Fluent pour le cas de la convection thermique avec l'approximation de Boussinesq.

Dans ce chapitre, nous allons présenter nos résultats avec leurs discussions, Il s'agit de l'effet de l'écart de température entre le sol qui accumule la chaleur et la température extérieure $\Delta T = T_c - T_f$. Cet écart est le paramètre principal dans la convection naturelle car il définit la valeur du nombre de Rayleigh qui est le nombre adimensionnel caractérisant le phénomène.

D'après les études expérimentales et les réalisations des prototypes de la cheminée solaire dans la référence [14], nous avons choisi une cheminée avec les dimensions suivantes dans le but de faire une validation dans une suite future de cette étude. La surface du collecteur de $(2 \times 2) \text{ m}^2$ et sa hauteur de 0.25 m et une cheminée de 2m de hauteur avec une ouverture de $(0.25 \times 0.25) \text{ m}^2$.

4.2 Les propriétés physiques de l'air utilisées par Fluent :



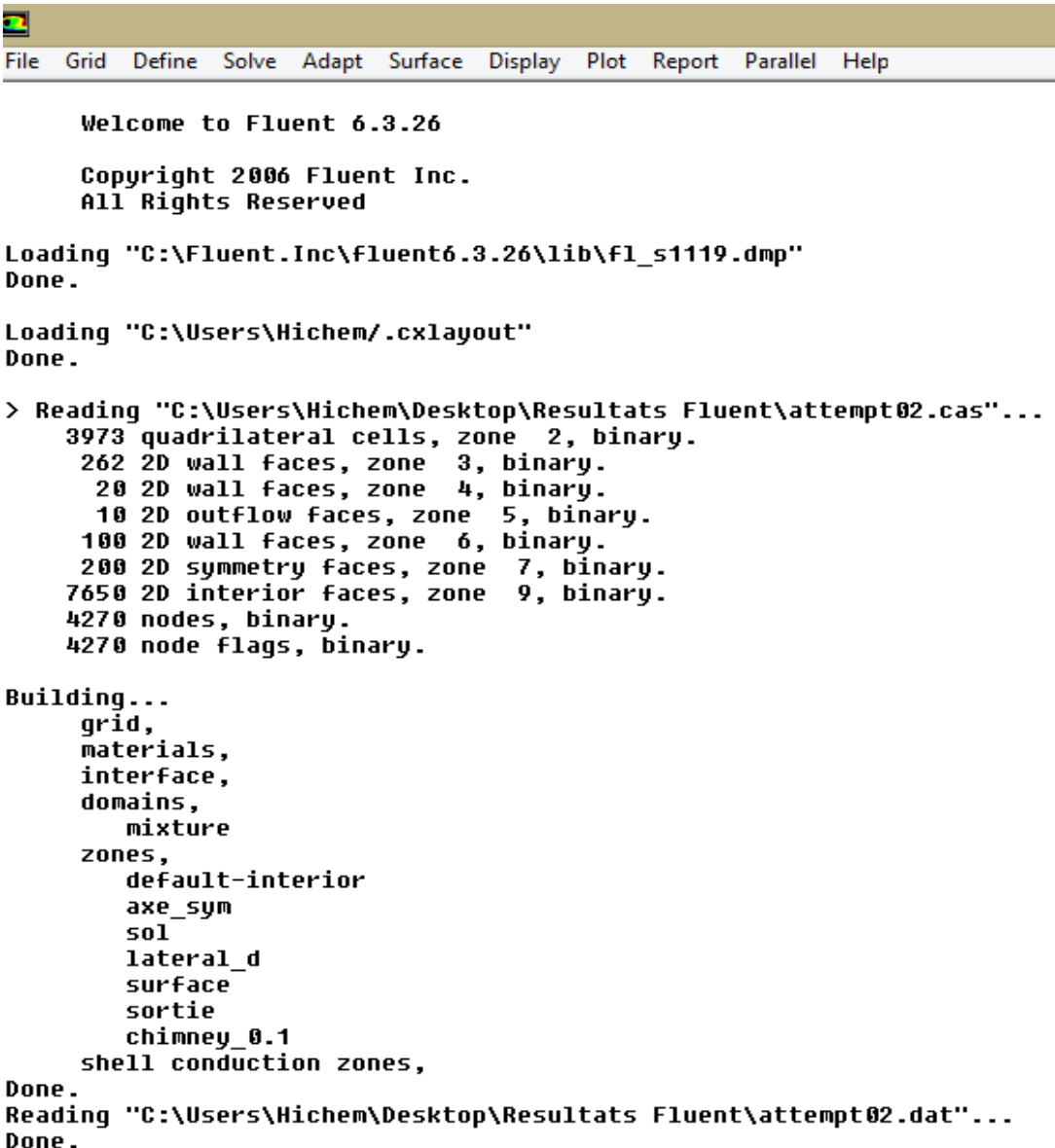
The screenshot shows the 'Materials' dialog box in ANSYS Fluent. The material name is 'air'. The material type is 'fluid'. The chemical formula is empty. The material is selected from the 'Fluent Fluid Materials' database. The properties are set to constant values:

Property	Value
Cp [J/kg-K]	1006.43
Thermal Conductivity [W/m-K]	0.0242
Viscosity [kg/m-s]	1.7894e-05
Thermal Expansion Coefficient [1/K]	0.0034

Buttons at the bottom: Change/Create, Delete, Close, Help.

4.3 Le maillage

Nous avons choisi de faire le calcul sur la moitié de la géométrie par rapport au plan de symétrie dans le but de minimiser le temps de calcul. Le pas de 0.01 m est choisi pour la génération d'un maillage uniforme par le logiciel Gambit. La forme des volumes finis est choisie de type quadrilatéral avec quatre nœuds. Donc dans tout le domaine de calcul nous avons $\Delta x = \Delta y = 0.01$. Notre géométrie est donc divisée en 3973 volumes finis comme illustré sur la page de compilation de Fluent du fichier contenant la géométrie avec le maillage et les conditions aux limites.



```
File  Grid  Define  Solve  Adapt  Surface  Display  Plot  Report  Parallel  Help

Welcome to Fluent 6.3.26

Copyright 2006 Fluent Inc.
All Rights Reserved

Loading "C:\Fluent.Inc\Fluent6.3.26\lib\fl_s1119.dmp"
Done.

Loading "C:\Users\Hichem/.cxl原因out"
Done.

> Reading "C:\Users\Hichem\Desktop\Resultats Fluent\attempt02.cas"...
  3973 quadrilateral cells, zone 2, binary.
   262 2D wall faces, zone 3, binary.
    20 2D wall faces, zone 4, binary.
    10 2D outflow faces, zone 5, binary.
   100 2D wall faces, zone 6, binary.
   200 2D symmetry faces, zone 7, binary.
  7650 2D interior faces, zone 9, binary.
  4270 nodes, binary.
  4270 node flags, binary.

Building...
  grid,
  materials,
  interface,
  domains,
  mixture
  zones,
  default-interior
  axe_sym
  sol
  lateral_d
  surface
  sortie
  chimney_0.1
  shell conduction zones,
Done.
Reading "C:\Users\Hichem\Desktop\Resultats Fluent\attempt02.dat"...
Done.
```

4.4 Effet du l'écart de température $\Delta T = T_c - T_f$ sur le transfert thermique :

Nous présentons les isothermes pour différentes valeurs de l'écart de température ce qui correspond à différentes valeurs du nombre de Rayleigh qui est le nombre adimensionnel caractérisant la convection naturelle.

Nous constatons sur la figure 4.1 qui correspond à $\Delta T = 2K$ que les isothermes sont des lignes parallèles et qui suivent le profil des parois, la température est simplement décroissante du sol qui a la température chaude vers la paroi froide qui est celle du toit du collecteur. Dans ce cas, le transfert de chaleur au sein de la cheminée solaire se fait principalement par pseudo conduction.

Au niveau de l'entrée de la cheminée, nous remarquons que les isothermes se déforment légèrement annonçant une présence d'une convection naturelle très faible.

La figure 4.2 correspondant à $\Delta T = 5K$ montre qu'avec l'augmentation du gradient thermique, les isothermes se déforment encore au niveau de l'entrée de la cheminée ce qui signifie que la convection naturelle s'intensifie dans cette région. Les isothermes dans la partie droite du collecteur restent toujours parallèles ce qui traduit que le transfert de chaleur dans cette partie de l'enceinte reste toujours dominé par pseudo conduction.

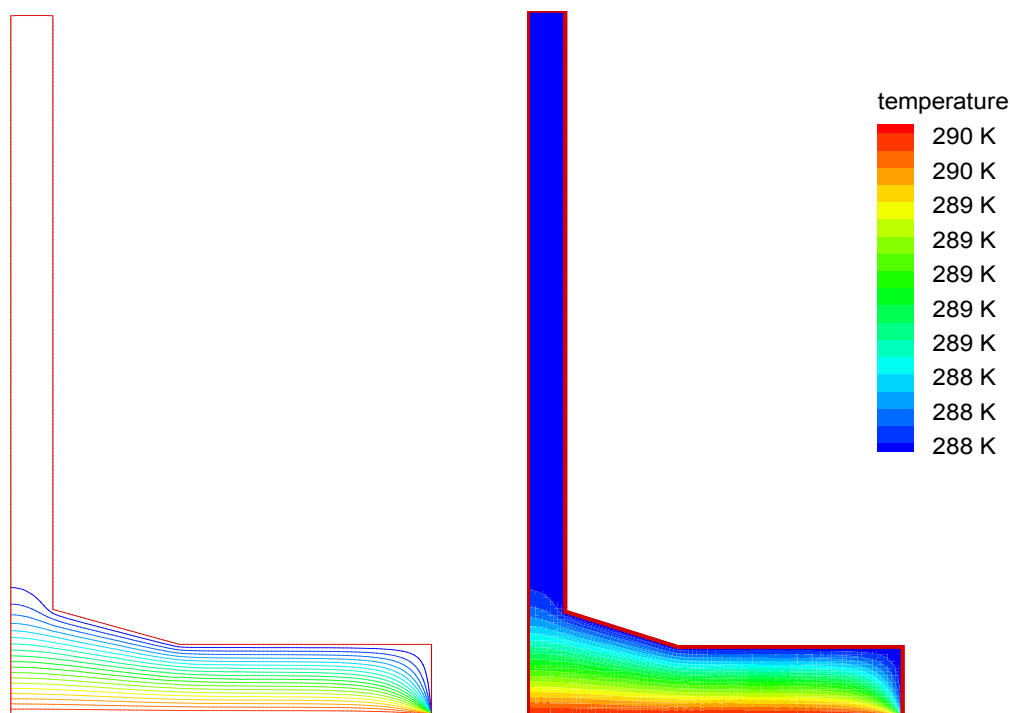


Figure 4.1 : Isothermes pour un gradient de $\Delta T = 2K$

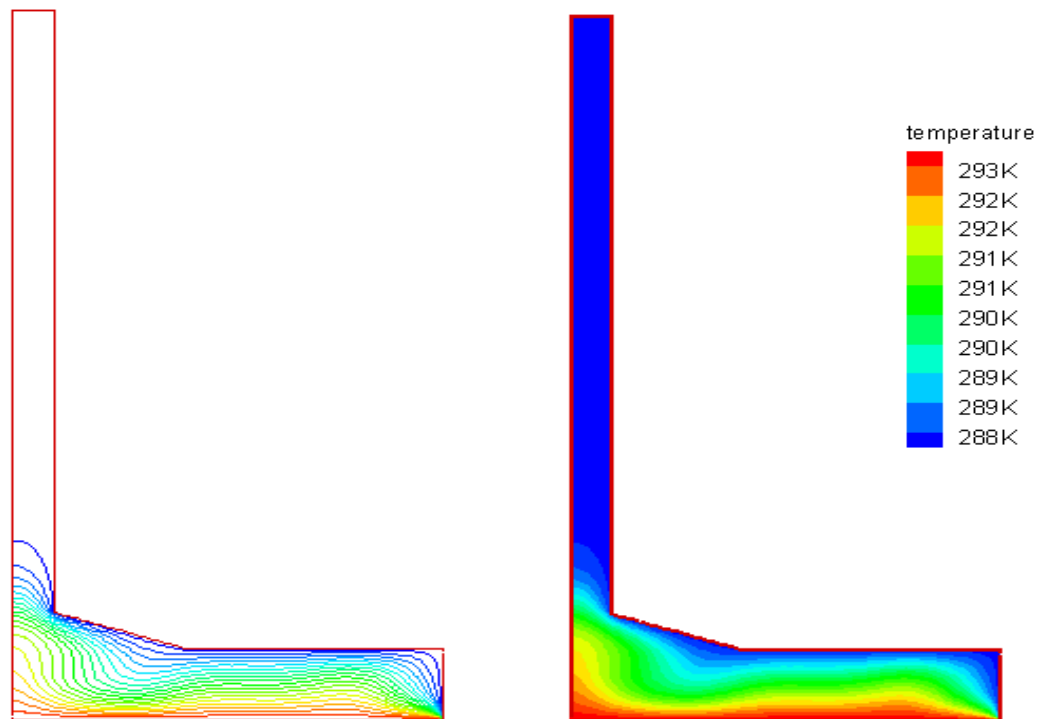


Figure 4.2 : Isothermes pour un gradient de $\Delta T = 5K$

Sur la figure 4.3 pour $\Delta T = 10K$ l'augmentation du gradient thermique engendre une intensification de la convection naturelle ce qui est traduit par la distorsion des isothermes dans tout l'espace de la cheminée solaire notamment dans la partie droite du collecteur où on constate un phénomène de Rayleigh-Bénard qui se passe entre le sol chaud et le toit du collecteur froid. Cette région est devenue une zone d'instabilité due à l'ampleur de la convection naturelle qui s'intensifie avec l'augmentation du gradient de température entre le sol et les parois de la cheminée solaire.

En augmentant davantage la valeur du gradient thermique pour attendre $\Delta T = 20K$ la convection naturelle s'intensifie sensiblement sur la figure 4.4 qui illustre bien l'ascension de l'air chaud dans la cheminée. Les isothermes sur cette figure se déforment davantage dans tout l'espace de la cheminée solaire et le transfert de chaleur se faire uniquement par mode de convection naturelle.

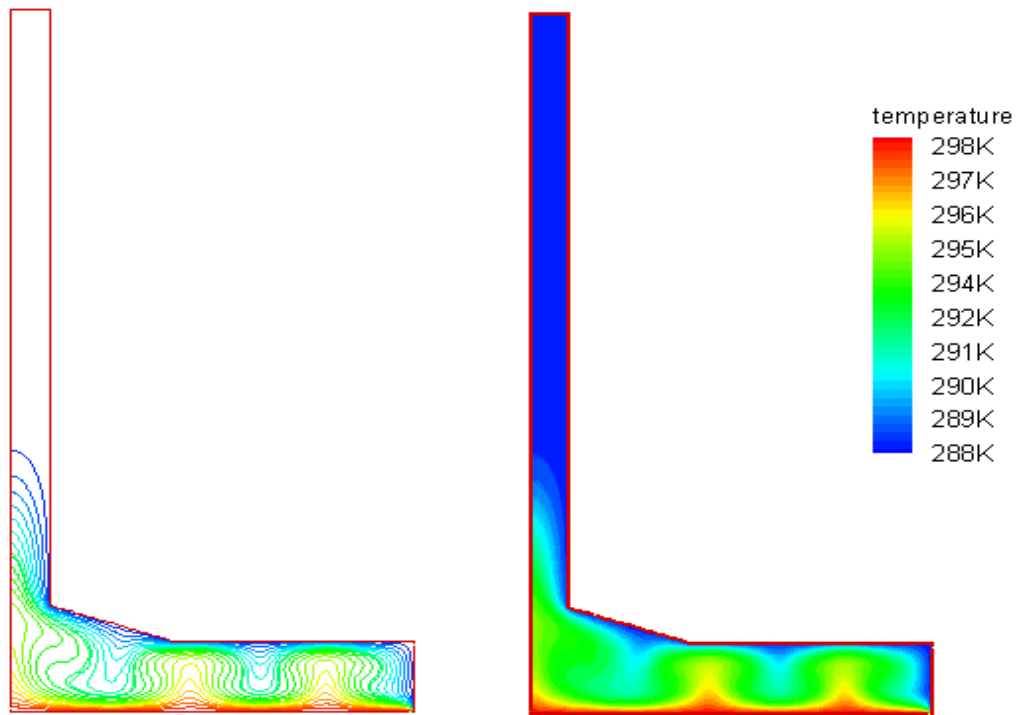


Figure 4.3 : Isothermes pour un gradient de $\Delta T = 10K$

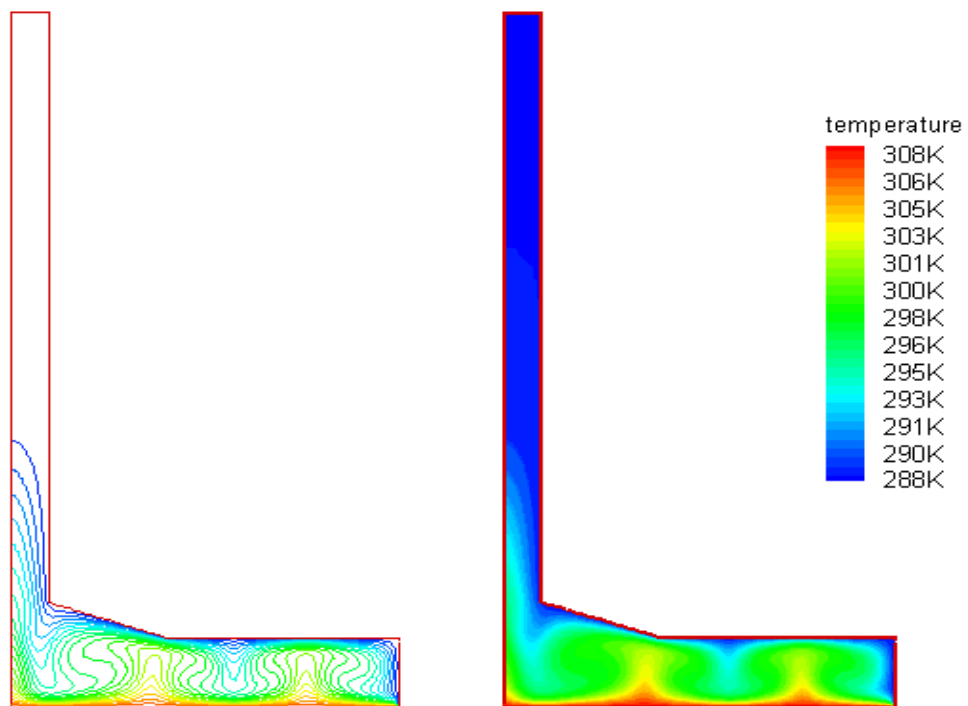


Figure 4.4 : Isothermes pour un gradient de $\Delta T = 20K$

4.5 Validation qualitative pour deux différentes géométries :

Les études réalisées par les auteurs des références [4] et [6] sont très similaires à notre étude mais avec des géométries différentes. Dans les deux cas, les auteurs ont utilisé la méthode des volumes finis avec la programmation directe à l'aide du langage Fortran. Leurs résultats numériques sont présentes respectivement sur les figures (4.5) et (4.6) où on constate que les variations des isothermes sont en parfaite similitude par rapport à nos résultats pour les deux géométries. Donc, qualitativement nos résultats sont en très bon accord avec les résultats de la littérature.

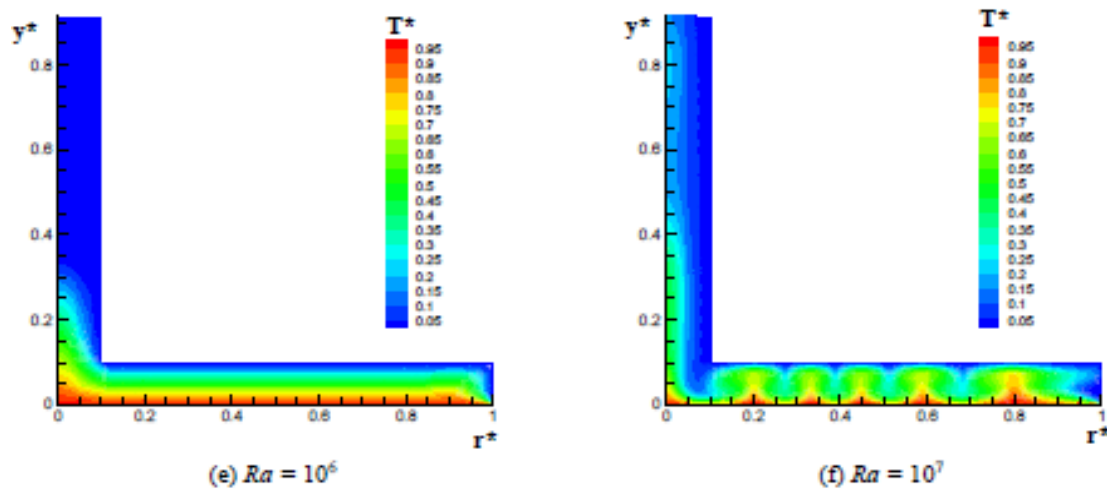


Figure 4.5 : Isothermes pour deux valeurs du nombre de Rayleigh $Ra=10^6$ et $Ra=10^7$ de la référence [4] correspondant à un écart de température $\Delta T = 10K$.

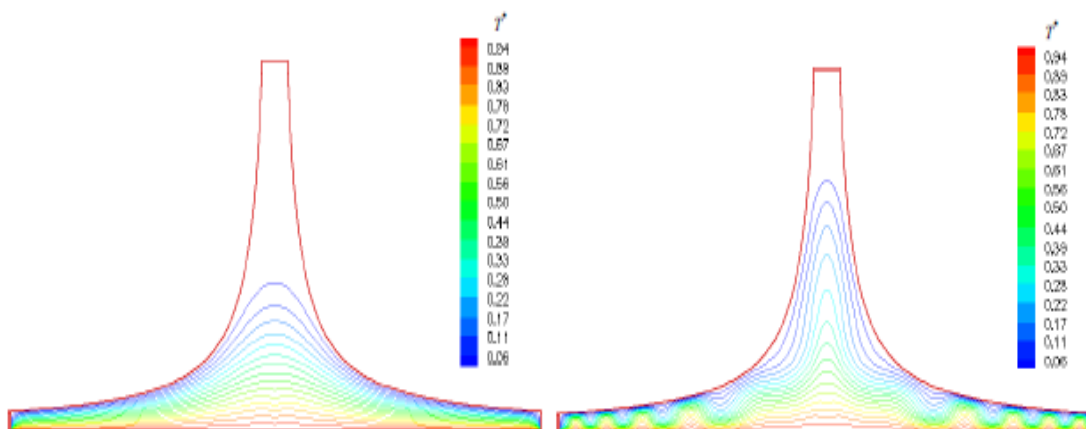


Figure 4.6 : Isothermes pour deux valeurs du nombre de Rayleigh $Ra=10^3$ et $Ra=10^4$ de la référence [6] correspondant à un écart de température $\Delta T = 10K$.

Conclusion générale

La convection naturelle thermique bidimensionnelle laminaire et permanente dans une cheminée solaire a été étudiée numériquement à l'aide du code de calcul Fluent. L'effet du nombre de Rayleigh qui est caractérisée par un gradient de température sur le transfert de chaleur au sein de la cheminée solaire a été analysé.

Pour cela, nous avons un fluide véhiculé à l'intérieur qui est Newtonien et l'écoulement est bidimensionnel, laminaire et permanent. On a choisi l'approximation de Boussinesq pour la variation de la masse volumique du fluide. Le modèle mathématique est représenté par les équations de continuité, de quantité de mouvement et l'équation de la chaleur. La méthode des volumes finis a été utilisée pour la discrétisation des équations effectuée par le l'outil de simulation.

Les résultats de la simulation montrent que pour des écarts de températures faibles qui sont inférieurs $\Delta T \leq 5K$ ce qui correspond à des valeurs du nombre de Rayleigh faible, les isothermes représentent des lignes parallèles et la température est simplement décroissante du sol vers le toit du collecteur où le transfert de chaleur au sein de la cheminée solaire se fait principalement par pseudo conduction.

Pour un gradient de température $5K < \Delta T < 10K$, les résultats montrent la présence simultanée de deux modes de transfert de chaleur. Dans la partie droite du collecteur le transfert de chaleur est dominé par pseudo conduction. Par contre, au niveau de l'entrée de la cheminée verticale, la convection naturelle s'intensifie mais reste relativement faible.

Quand le gradient de température augmente davantage $\Delta T > 10K$, la convection naturelle s'intensifie sensiblement et l'ascension de l'air chaud dans la cheminée devient plus claire, les isothermes se déforment davantage dans tout l'espace de la cheminée solaire et le transfert de chaleur se faire uniquement par mode de convection naturelle qui s'intensifie et devient prépondérante.

La validation qualitative de nos résultats nous a permis de trouver un bon accord avec les résultats de la littérature en ce qui concerne la convection naturelle thermique au sein d'une cheminée solaire pour un écoulement bidimensionnel laminaire et permanent.

Comme suite futures à notre travail, nous pouvons à étudier l'effet des paramètres géométriques sur la convection naturelle, comme par exemple la forme de la jonction, la hauteur de la cheminée ainsi que la surface du collecteur sur le champ thermique et sur le champ de vitesse.

Nous pensons également à étudier plusieurs configurations géométriques et faire une comparaison entre leurs performances. Etudier également le choix de l'emplacement de la turbine à l'intérieur de la cheminée.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **W. Haaf, K. Friedrich et al.**, Solar Chimneys: Part I: Principle and Construction of the Pilot Plant in Manzanares, International Journal of Solar Energy, 2, No. 1, pp.3–20, (1984).
- [2] **Sherif, S.A, L.B. Padki** , Solar chimney for power generation in rural areas, Seminar on Energy Conservation and Generation Through Renewable Resources, Ranchi, India, pp. 91–96, 1989.
- [3] **M. Denis Bonnelle**,“tour solaire, tour a vaporisation d’eau, et modes de conversion d’énergie renouvelable apparentes : présentation, critiques et suggestions”, thèse de doctorat, université Claude Bernard - Lyon 1 – France ,2004.
- [4] **Toufik Chergui**, “modélisation des écoulements dans les cheminées solaires”, mémoire de magister E.N.P, 2007.
- [5] **Mourad Gahgah** "Influence des régimes d’écoulements sur les performances énergétiques des cheminées solaires" mémoire de magister E.N.P, 2008.
- [6] **Tayebi Tahar**, “processus de la convection naturelle laminaire dans une cheminée solaire”, mémoire de magister, 2010.
- [7] **Salah Larbi et al.**, “performance analysis of a solar chimney power plant in the southwestern region of Algeria”, renewable and sustainable energy reviews 14, pp.470–477, 2010.
- [8] **Akchiche Zineb**, “étude de comportement d’une cheminée solaire en vue de l’isolation thermique”, mémoire de magister, 2011.
- [9] **Ismail Zabat**, “ étude numérique de l’efficacité dimensionnelle d’une cheminée solaire”, mémoire de master, 2011.
- [10] **Sylvain Leroy**, “ étude d'un nouveau système solaire hybride produire de l'eau en utilisant l'énergie solaire”, stage de fin d’étude, Charles Darwin university , Australia, 2011.
- [11] **Soubhi A. Hassanein et al.**, “improvement of natural ventilation in building using multi solar chimneys at different directions”, journal of engineering sciences, Assiut university,vol. 40 no 6 pp.1661-1677 - November 2012.
- [12] **Khaldi Sabrina**, “étude numérique de la ventilation naturelle par la cheminée solaire”, Mémoire de magister (2013).
- [13] **Olivier Farges**, “conception optimale de centrales solaires _a concentration : application aux centrales a tour et aux installations "beam down" ”, thèse de doctorat, 2014

- [14] **Cheloufi Djassem**, “réalisation et expérimentation d’une cheminée solaire”, mémoire de master, 2014.
- [15] **Charles Garnier**. “ modélisation numérique des écoulements ouverts de convection naturelle au sein d'un canal vertical asymétriquement chauffé ”. thèse de doctorat, 2014.
- [16] **A. Dhahri et al.**, “numerical study of a solar chimney power plant”, research journal of applied sciences, engineering and technology 8(18): pp.1953-1965, 2014.
- [17] **Samir Djimli, Abla Chaker**, “numerical analysis of the turbulent heat transfer at 2d in a solar chimney”, international journal of smart grid and clean energy, vol. 4, no. 4, October, 2015.
- [18] **BacharAttig**, “a numerical study of solar chimney power plants in Tunisia”, Tunisia Japan symposium: r&d of energy and material sciences, journal of physics: conference series 596, 2015.
- [19] **Penghua Guo et al.**, “numerical study on the performance of a solar chimney power plant”, energy conversion and management 105, pp.197–205, 2015.
- [20] **Boualleg Salim Mekki**, “analyse des performances énergétiques des centrales cheminées solaires par utilisation de différents modèles mathématiques”, mémoire de magister, 2012.
- [21] **J. Boussinesq**, théorie analytique de la chaleur mise en harmonie avec la thermodynamique et avec la théorie mécanique de la lumière, tome 2, Gauthier-Villars, paris, 1903.
- [22] **S.V. Patankar**, Numerical Heat Transfer and fluid flow, McGraw-Hill book company, New York, 1980.

Sites web :

http://www.ecosources.info/dossiers/Centrale_solaire_tour_effet_cheminee

http://www.ecosources.info/images/energie_industrie

http://www.ecosources.info/dossiers/Centrale_solaire_tour_effet_cheminee

<http://outilssolaires.com/developpement-durable/energie-solaire>

http://www.ecosources.info/dossiers/Centrale_solaire_tour_effet_cheminee

<http://www.enviromission.com.au>

<http://www.fotovoltaica.com/chimenea.pdf>

ملخص

عملنا يتعلق بدراسة ظاهرة الحمل الطبيعي الحراري داخل مدخنة شمسية حيث المائع المحمول هو الهواء. فحصنا تأثير الفارق في درجة الحرارة بين أرضية المدخنة الشمسية و درجة الحرارة الخارجية على الإنتقال الحراري داخل المدخنة. و أنجزنا محاكاة عددية للإنتقال الحراري و ذلك باستعمالنا للبرنامج "فلوانت" الذي هو مبني بطريقة الأحجام المنتهية. وكذلك أنجزنا مقارنة نوعية مع بعض الأعمال المنجزة سابقا حيث كانت نتائجنا مقاربة جدا للنتائج المتوفرة في المراجع التي نوهنا إليها في هذا العمل.

الكلمات المفتاحية : محاكاة عددية, المدخنة الشمسية, الحمل الطبيعي, طريقة الأحجام المنتهية.

Abstract

Our work concerns the study of the phenomenon of natural convection inside a solar chimney where the fluid conveyed is the air. We have examined the effect of the temperature difference between the soil inside and the outside temperature on the heat transfer inside the chimney. We performed a numerical simulation using Fluent which is computing software based on the finite volumes method. A qualitative comparison with some results of the literature was also carried out, which confirmed the perfect similarity of our results with those of the references cited.

Keywords: Numerical simulation, solar chimney, natural convection, finite volumes method

Résumé

Notre travail concerne l'étude du phénomène de convection naturelle à l'intérieur d'une cheminée solaire où le fluide véhiculé est l'air. Nous avons examiné l'effet de l'écart de température entre le sol et la température sur le transfert de la chaleur à l'intérieur de la cheminée. Nous avons réalisé une simulation numérique en utilisant le logiciel de calcul Fluent qui est basé sur la méthode de volume finis. Une comparaison qualitative avec quelques résultats de la littérature a été également réalisée, ce qui nous a confirmé la similitude parfaites de nos résultats avec ceux des référencés citées dans ce travail.

Mots-clés: Simulation numérique, cheminée solaire, convection naturelle, méthode des volumes finis.