

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° :/2018



DOMAINE : Sciences de la Matière
FILIERE : Physique
OPTION : physique énergétique et énergies renouvelables

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par : Mazari Abderrahmane

Intitulé

Simulation numérique de l'effet du gradient de
température sur l'écoulement d'air dans une
cheminée solaire

Soutenu le 24/06/2018 devant le jury composé de :

Dr. Hadad Zakaria	Université Mohamed Boudiaf- M'sila	Président
Dr. Boulechfar Hichem	Université Mohamed Boudiaf- M'sila	Rapporteur
Dr .Tahrour Farouk	Université Mohamed Boudiaf- M'sila	Examineur

Année universitaire : 2017/2018

DEDICACE

Au sens de l'amour et de la compassion, pour le sourire de la vie et le secret de l'existence, à celle qui a été le secret de mon succès, à la plus précieuse ma Mère **Tiouche Dhahbia**

Au grand cœur et à mon cher père

Rabeh Mazari

A mes très chers frères

... **Amine ... Mohamed ... Hiba ...**

Au cœurs purs et bons, mes amis et mes proches que j'ai dégusté avec eux les plus beaux moments, à tous mes professeurs honorés et à tous les compagnons de mon humble chemin.

Et je prie Allah d'en faire une source d'inspiration pour chaque étudiant.

REMERCIEMENTS

Avant tout, Je remercie Allah, de m'avoir éclairé le chemin de la science et du savoir et m'avoir aidé pour la réalisation de ce modeste travail.

Je tiens à remercier mon encadreur Mr. **Boulechfar Hichem** pour ses instructions, ses orientations et ses précieux conseils au cours de la réalisation de ce travail.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à Monsieur **Hadad Zakaria** qui a bien voulu présider mon jury. Je remercie Monsieur **Tahrour Farouk** qui m'a fait l'honneur d'examiner ce mémoire et de participer à mon jury de soutenance.

SOMMAIRE

DEDICACE	I
REMERCIEMENTS	II
SOMMAIRE	III
NOMENCLATURE	VI
INTRODUCTION GENERALE	01
CHAPITRE I : GENERALITES ET RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE	
I .1 Introduction	03
I .2 Historique	03
I .3 Généralité sur la cheminée solaire	03
I .3.1 Description de la cheminée solaire	03
I .3.2 Principe de fonctionnement d'une cheminée solaire	04
I .3.3 Les éléments de la cheminée solaire	05
I .3.3.1 Collecteur	05
I .3.3.2 Cheminée	06
I .3.3.3 Turbine	07
I .4 Les différentes technologies de la cheminée solaire	07
I .4.1 La cheminée	07
I .4.2 Le collecteur.....	08
I .4.3 Type de turbine	08
I .5 Les projets dans le monde	08
I .5.1 Le projet de Manzanares en Espagne.....	08
I .5.2 Le projet Enviromission en Australie	09
I .5.3 Le projet chinois	10
I .6 Les points forts et les points faibles de la cheminée solaire	10
I .7 Recherche bibliographique	11

CHAPITRE II : FORMULATION MATHEMATIQUE

I .1 Introduction	17
II .2 Description de la géométrie	17
II .3 Formulation mathématique	18
II .3.1 Les équations générales	18
II .3.2 Formulation des équations générales en coordonnées cylindrique	19
II .3.3 Hypothèses simplificatrices	19
II .3.4 Les simplifications des équations	20
II .4 La forme adimensionnelle des équations	21
II .5 Les conditions aux limites	22
II .6 Le rendement global de la cheminée solaire	24
II .6.1 Le rendement du collecteur	24
II .6.2 Le rendement de la tour	25
II .6.3 Le rendement de la turbine	26.

CHAPITRE III : SIMULATION NUMERIQUE

III .1 Introduction	27
III .2 La méthode des volumes finis	27
III .2.1 Description de la méthode	27
III .2.2 Le principe de la méthode des volumes finis	27
III .3 Présentation des logiciels (Gambit + Fluent)	28
III .3.1 Logiciel Gambit.....	28
III .3.1.1 Rôle de logiciel Gambit	28
III .3.1.2 Les étapes d'utilisation de Gambit	28
III .3.2 Logiciel	32
III .3.2.1 Le logiciel Fluent	32
III .3.2.2 Les étapes d'utilisation du logiciel Fluent	32

CHARITRE IV : RESULTATS ET DESCUSIONS

IV .1 Introduction	37
IV .2 Résultats de la simulation	37

IV .2.1 Le cas du gradient $\Delta T=2$ C	37
IV .2.2 Le cas du gradient $\Delta T=5$ C	39
IV .2.3 Le cas du gradient $\Delta T=10$ C	41
IV .2.4 Le cas du gradient $\Delta T=20$ C	43
IV .2.5 Le cas du gradient $\Delta T=30$ C	45
CONCLUSION GENERALE	48
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	50

NOMENCLATURE

Lettres latines :

ΔT	Différence de température entre l'entrée et la sortie du collecteur	[K]
a	La diffusivité thermique	[m ² /s]
A_{coll}	La surface de latoiture du collecteur	[m ²]
C_p	Capacité calorifique de l'air	[J/Kg.K]
d	Diamètre de la cheminée	[m]
D	Diamètre du collecteur	[m]
g	Accélération de la pesanteur	[m/s ²]
h	Hauteur du collecteur	[m]
H	Hauteur de la cheminée	[m]
I	Eclairement solaire	[W/m ²]
K	La tenseur de contrainte	
\dot{m}	Le débit massique de l'air chaud traversant la cheminée solaire	[Kg/s]
p	Pression	[Pa]
P	La puissance de la cheminée solaire	[W]
P_{elc}	La puissance électrique produite	[W]
$P_{Maxturb}$	La puissance maximale de la turbine	[W]
P_{tot}	La puissance totale développée par le fluide	[W]
Q	Energie solaire reçue par le collecteur de cheminée solaire	[W]
S	La section à la sortie du collecteur	[m ²]
t	Le temps	[s]
T	Température du fluide	[K]
T_0	Température ambiante à l'entrée du collecteur	[K]

T_c	Température du fluide chaud	[K]
T_f	Température du fluide froid	[K]
V_{\max}	la vitesse maximale du fluide	[m/s]
v	Vitesse du fluide	[m/s]

Symbole Grecs :

(v_r^+, v_z^+)	Composantes adimensionnelles des vitesses	
(v_r, v_θ, v_z)	Composantes des vitesses en coordonnées cylindrique	[m/s]
(r, θ, z)	Système de coordonnées cylindriques	
η_c	Le rendement de la cheminée	
η_{coll}	Le rendement du collecteur	
η_{glob}	Le rendement de la cheminée solaire	
η_{turb}	Le rendement de la turbine	
β_T	Le coefficient de dilatation à pression constante	[1/K]
λ	Conductivité thermique du fluide	[W/m.K]
ρ	La masse volumique du fluide	[Kg/m ³]
ρ_0	La masse volumique à T_0	[Kg/m ³]
Ψ_{\max}	La valeur maximale des lignes de courant	[kg/s]
μ	Viscosité dynamique	[kg/s.m]
ν	Viscosité cinématique	[m ² /s]

Nombres adimensionnels :

Gr	Nombre de Grashof
Ra	Nombre de Rayleigh
Re	Nombre de Reynolds

Indices :

c	Cheminée
C	Chaud
CCS	Centrale Cheminée Solaire
col	Collecteur
E,W,N,S	Les centres des volumes entourant le volume de contrôle du centre P
e,w,n,s	Les centres des faces entourant le volume de contrôle
Elc	Electrique
F	Froid
P	Centre du volume de contrôle
tot	Totale
Turb	Turbine

Exposant:

+ :Valeurs adimensionnelles

INTRODUCTION GENERALE

Le monde a connu un développement majeur dans le secteur industriel, ce qui a conduit à l'augmentation de la consommation d'énergie réduisant ainsi l'énergie fossile telle que le pétrole, le gaz et le charbon. Dans cette perspective l'homme a cherché des alternatives à ces combustibles, en allant vers les énergies renouvelables qui sont gratuites, propres et inépuisables, parmi ces énergies renouvelables l'énergie solaire.

L'énergie solaire est utilisée pour produire de l'électricité à partir de la lumière du soleil, les premières utilisations étaient : l'éclairage des rues, dans certains appareils électroniques tels que les montres et les calculatrices, les satellites et les stations spatiales. Une des applications de cette énergie est la cheminée solaire.

La cheminée solaire est un système qui produit de l'énergie électrique en utilisant le rayonnement solaire, ce dispositif est composé de trois éléments, la cheminée, le collecteur et la turbine, son principe de fonctionnement dépend des rayons du soleil qui chauffent l'air dans le collecteur et en raison de la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur, l'air chaud remonte vers le haut et l'air froid redescend vers le bas, c'est le phénomène de la convection naturelle, lorsque l'air chaud remonte à une certaine vitesse, la turbine tourne en transformant l'énergie cinétique de l'air en énergie mécanique puis électrique.

L'objectif du travail présenté dans ce mémoire est l'étude de l'effet du gradient de température sur l'écoulement d'air dans une cheminée solaire, en faisant des simulations numériques sur le phénomène de la convection naturelle au sein de la cheminée solaire représenté par l'équation de la continuité, l'équation de mouvement et l'équation d'énergie avec l'introduction de l'approximation de Boussinesq.

Ce mémoire se compose de quatre chapitres, dans le premier chapitre, nous avons présenté des généralités sur la convection naturelle ainsi que sur la cheminée solaire avec une recherche bibliographique, où nous avons mentionné les recherches et les études menées sur les cheminées solaires ainsi que quelques projets réalisés dans le monde.

Dans le deuxième chapitre, nous avons posé le problème et décrit la géométrie et la formulation mathématique en coordonnées cylindriques avec hypothèses simplificatrices et les conditions aux limites.

Dans le troisième chapitre, nous avons exposé les étapes d'utilisation des logiciels Gambit et Fluent utilisés pour la simulation numérique de notre problème avec un aperçu sur la méthode des volumes finis.

Le quatrième chapitre est dédié à la présentation des résultats de la simulation et leurs discussion. Enfin, nous avons terminé notre mémoire avec une conclusion générale.

CHAPITRE I :
GENERALITES ET RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 Introduction

Les développements techniques et industriels ont été accompagnés dans le monde entier par l'augmentation de la demande d'énergie, ce qui implique une augmentation de leurs coûts, et en même temps un problème de diminution des ressources d'énergie. Parmi les énergies alternatives aux énergies classiques sont les énergies renouvelables qui sont directement ou indirectement source de l'énergie solaire.

Il y a plusieurs façons d'exploiter l'énergie solaire et la convertir en énergie électrique, la cheminée solaire est un moyen très utilisé pour convertir le rayonnement solaire en électricité.

I.2 Historique

L'un des premières idées de la cheminée solaire est celle du militaire espagnol, le Colonel Isidoro Cabanyes qui a proposé un modèle de tour solaire dans la revue «La Energia eléctrica» en 1903, on peut également citer le physicien français Bernard Dubos qui en 1926 a proposé d'exploiter un vent vertical produit par un gros tube installé sur le flanc d'une montagne. La première représentation schématique d'une cheminée solaire a été rédigée en 1931 par l'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. Louis M. Michaud a publié son projet Energie Vortex power Station dans le bulletin de l'American météorologie société en 1975. La première réalisation de cheminée solaire typique est celle de Manzanares (une ville espagnole située à 150 km de Madrid) qui a été construite en 1981, sous la supervision de l'ingénieur allemand Jörg Schlaich, grâce aux fonds du ministère allemand de la recherche et de la technologie [1].

I.3 Généralité sur la cheminée solaire

I.3.1 Description de la cheminée solaire

Une centrale cheminée solaire (CCS) est une installation de production d'énergie se compose essentiellement d'un collecteur solaire appelé **Green house**, d'une tour de cheminée et d'une turbine. Les domaines d'exploitation des systèmes de cheminée solaire sont multiples on peut par exemple citer le confort thermique, séchage et production d'électricité.



Figure (I.1) : Exemple de cheminée solaire sur un toit d'immeuble [2].

I .3.2 Principe de fonctionnement d'une cheminée solaire

Le soleil rayonne sur le collecteur en chauffant l'air sous le couvercle, ce qui conduit à une diminution de la densité sous l'influence de l'effet de serre, formant un courant de charge transportant de l'air chaud à une certaine vitesse vers le haut, le courant d'air est exploité pour faire tourner les turbines des vents situées sous la tour (au niveau de la jonction), les turbines transforment l'énergie cinétique de l'air en énergie mécanique puis la convertissent en énergie électrique par un générateur.

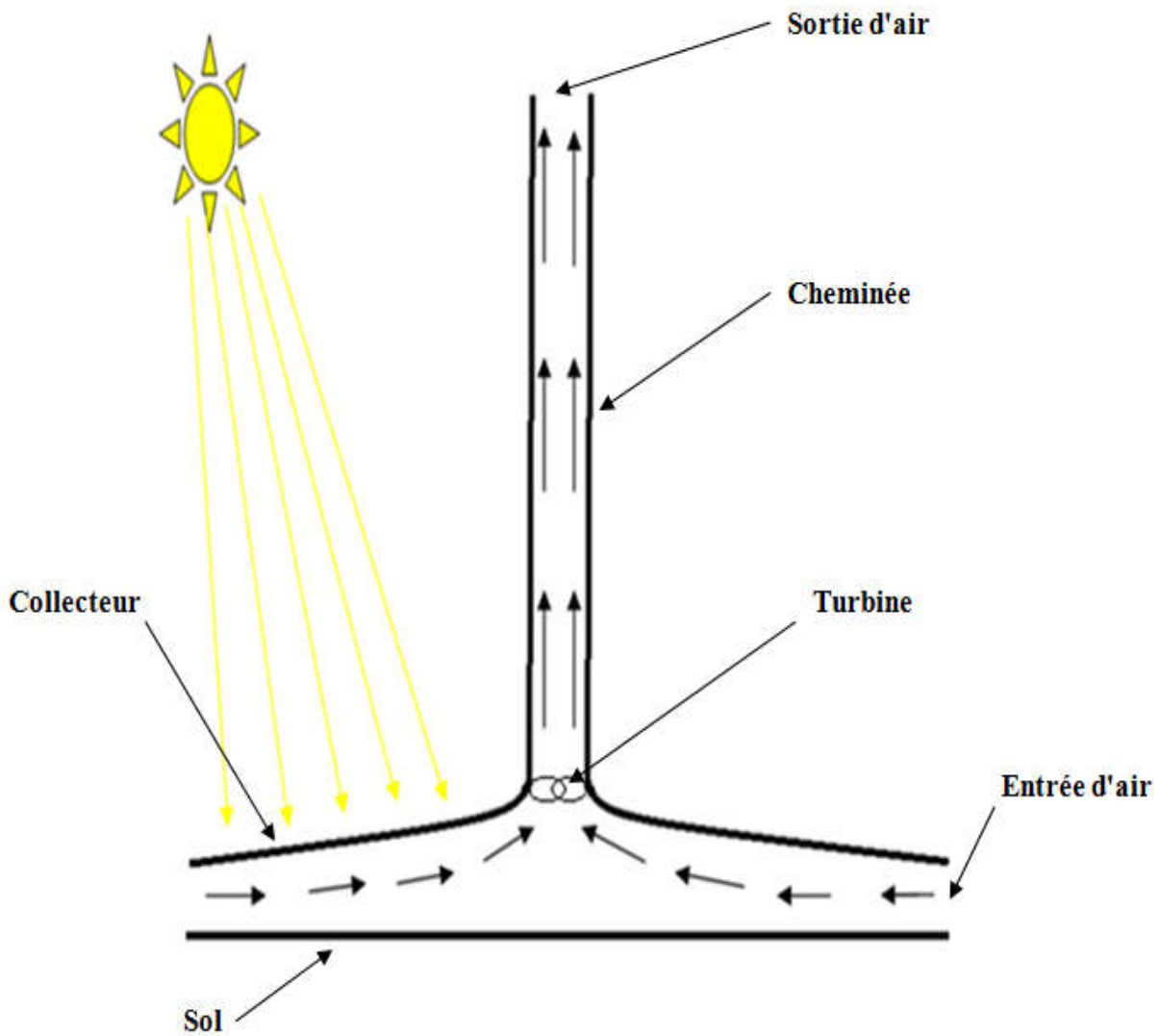


Figure (I.2) : Schéma du principe de fonctionnement d'une cheminée solaire.

I.3.3 Les éléments de la cheminée solaire

I.3.3.1 Collecteur

Le collecteur est composé d'un sol en tant que système de stockage d'énergie et une surface transparente en verre située à quelques mètres au-dessus de la surface de la terre, la zone de passage d'air est ouverte des deux côtés, l'air est chauffé en absorbant le rayonnement solaire de l'extrémité de la surface supérieure transparente du collecteur. Sa hauteur est comprise entre 2 et 6 mètres, couvrant une vaste superficie de plusieurs milliers de mètres carrés.



Figure (I.3) : Vue intérieure du collecteur [3].

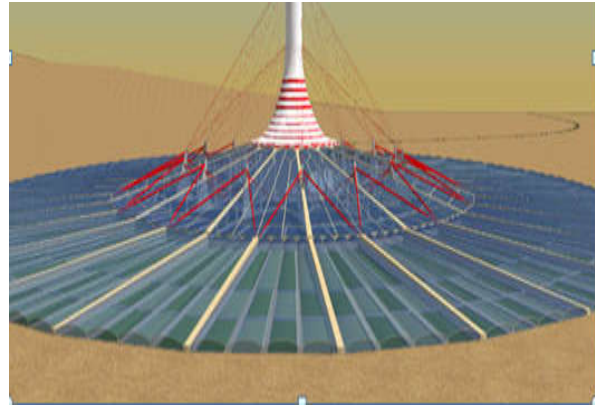


Figure (I.4) : Vue extérieure du collecteur [4].

I.3.3.2 Cheminée

La cheminée (tour) est la partie la plus importante de la cheminée solaire. Il existe deux principaux types de cheminées : celles autoportées (construit en dur : béton ou acier) et les cheminées haubanées (structures plus légères constituées de tubes), la durabilité des cheminées en béton est supérieure, 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.



Figure (I.5) : Image d'une tour d'une cheminée solaire [5].

I.3.3.3 Turbine

Les turbines sont placées sur le trajet du flux d'air en bas de la cheminée (base de la tour), convertissant l'énergie cinétique de l'air chaud en énergie mécanique, puis le générateur entraîné par la turbine transforme l'énergie mécanique en énergie électrique. Le nombre de turbines utilisées varie entre une turbine qui occupe la coupe transversale de la tour, soit de petites turbines distribuées sur toute la section de la tour.



Figure (I.6) : La disposition d'une turbine dans une cheminée solaire [6].

I.4 Les différentes technologies de la cheminée solaire

I.4.1 La cheminée

- Classique (A).
- Supportée par le relief (B).
- Intégrée en falaise, creusée (C1) ou appuyée (C2).

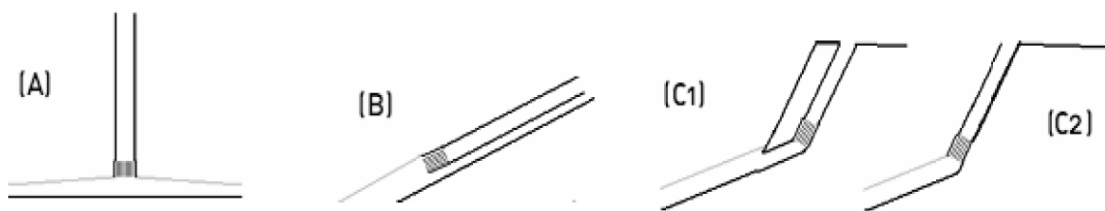


Figure (I.7) : Les différentes technologies de la cheminée [7].

I.4.2 Le collecteur

Deux types de technologies existent actuellement :

- Les collecteurs « en dur » : des plaques de vitrage plastique soutenues par une structure métallique.
- Les collecteurs gonflables : plastique souple gonflé par l'air.

	Avantages	Inconvénients
Collecteurs en dur	Résistance	Démontage difficile
Collecteurs souples	Stockage intégré « Posée » sur le sol	Faible résistance aux effets extérieurs

Tableau (I.1) : Technologies pour le collecteur.

I.4.3 Type de turbine

- Turbine unique à axe vertical.
- Turbines multiples à axe vertical.
- Turbines multiples à axe horizontal.
- Turbine à rotor unique.
- Turbine contre rotative.
- Turbine avec stator.
- Turbine sans stator.

I.5 Les projets dans le monde [8]

I.5.1 Le projet de Manzanares en Espagne

Des nombreuses recherches et expériences en soufflerie ont mis en place une installation expérimentale d'une puissance de pointe de 50 kW, sur un site situé à Manzanares 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 la Technologie, la surface de la serre au pied de la cheminée mesure près de 46.000 m². Le but de ce projet est la 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 différents composants sur la production. Le prototype a fonctionné pendant 7 ans.

Dimensions principales et données techniques du prototype de Manzanares

- 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.
- Différence de température dans le collecteur $\Delta T = 20$ °C.
- Diamètre du collecteur 244 m.

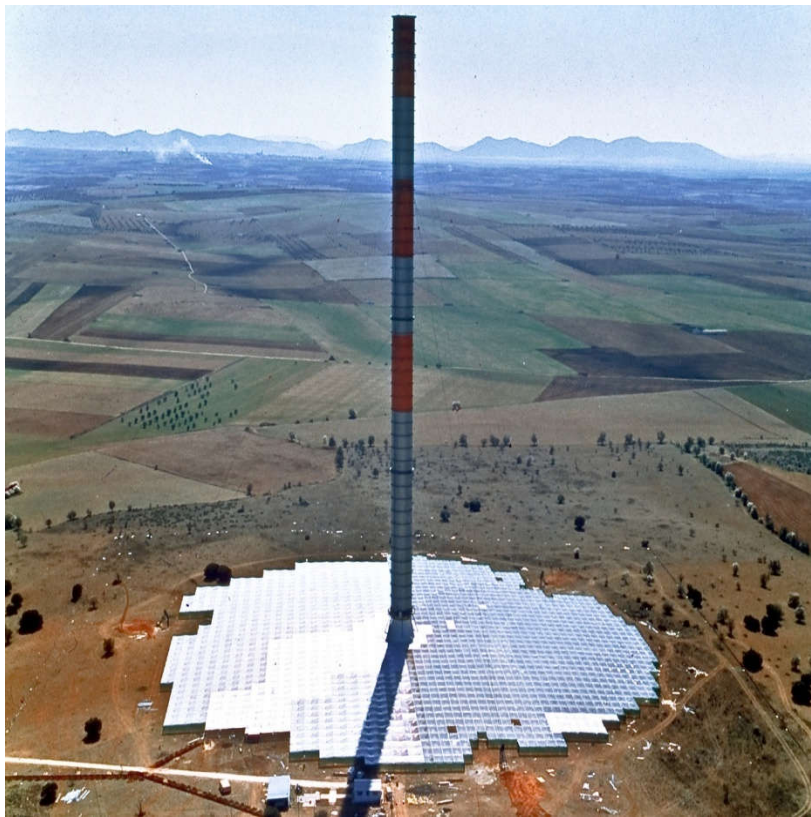


Figure (I.8) : Prototype de Manzanares en Espagne [9].

I.5.2 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 fournit 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.

Dimensions principales et données techniques du prototype d'Enviromission

- Une cheminée de 990 m de haut (3281 pieds) en matériaux composites.
- 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.
- Puissance électrique nominale 200 MW.



Figure (I.9) : Projet d'Enviromission en Australie [10].

I.5.3 Le projet chinois

Une cheminée solaire de 27.5 MW construite en Chine (à Jinshawan, Wuhai, Mongolie), financé par une entreprise locale en Mongolie. La capacité totale planifiée est de 27.5 MW, représentant un total de 2.780.000 m² de désert occupé par des serres servant de collecteur.

I.6 Les points forts et les points faibles de la cheminée solaire

- **Les points forts :**

- Les centrales électriques à cheminée solaires utilisent le rayonnement solaire.
- Le sol au-dessous du collecteur d'une cheminée solaire agit comme un mécanisme de stockage naturel d'énergie. Cela signifie qu'elle continue à produire la puissance pendant la nuit.
- Les 3 matériaux nécessaires à la construction d'une tour solaire sont le béton, le verre et l'acier, disponibles en grande quantité partout dans le monde.
- L'énergie produite est peu chère.
- Les centrales électriques de cheminée solaire n'exigent pas d'eau de rafraîchissement.
- La centrale CCS, restitue les résidus énergétiques de fonctionnement automatiquement à l'ambiance, ce qui permet le refroidissement naturel du système, sans problèmes techniques, ni frais complémentaires en comparaison avec les autres types de centrales thermiques (Conventionnelles, à concentration et nucléaire).

- **Les points faibles :**

- Investissement de départ.
- Elle ne peut pas concurrencer le nucléaire en termes de puissance.
- La construction de la cheminée demande des quantités énormes de matériels.
- Les cheminées solaires nécessitent une surface d'installation importante pour produire une puissance acceptable.
- La production n'est pas constante pendant la journée et pendant l'année, donc on parle d'une production moyenne.

I.7 Recherche bibliographique

L'étude des cheminées solaires est très importante, en raison de l'importance de la production d'énergie électrique et son rôle dans la réduction des émissions des gaz à effet de serre. Le phénomène de la convection naturelle qui est le principe de fonctionnement de la cheminée solaire a attiré l'intérêt de nombreuses recherches et études numériques, théoriques ainsi que

expérimentales, tout cela dans le but de choisir les paramètres géométriques optimales pour atteindre les meilleurs rendements.

[11] Y.J. Dai et al, ont analysé une centrale électrique à cheminée solaire. Les données ont été sélectionnées pour trois régions de Chine en tant que sites pilotes. La cheminée de la centrale solaire, dont la hauteur et le diamètre sont respectivement 200 m et 10 m, et le diamètre du collecteur est de 500 m, est capable de produire 110 à 190 kW d'énergie électrique en moyenne mensuelle toute l'année.

[12] M.A. dos et al, ont développé une analyse des cheminées solaires visant notamment un modèle analytique et numérique qui décrit leurs performances. Ce modèle a été développé pour estimer la puissance de sortie des cheminées solaires ainsi que pour examiner l'effet de différentes conditions ambiantes et dimensions structurelles sur la puissance de sortie. Les résultats du modèle mathématique ont été comparés aux résultats expérimentaux et le modèle a été utilisé pour prédire les caractéristiques de performance des cheminées solaires commerciales à grande échelle. Les résultats ont montré que la hauteur de la cheminée, le facteur de perte de charge à la turbine, le diamètre et les propriétés optiques du collecteur sont des paramètres importants dans sa conception.

[13] T.W, Von Backström et A.J. Ganno, ils ont proposé une étude pour optimiser les paramètres des turbines, ils ont comparé trois types de turbines (turbine à axe simple vertical, à axe multiple vertical et turbine à axe multiple horizontal), ils ont trouvé que la turbine à axe simple verticale présente un avantage majeur et un rendement énergétique plus élevé.

[14] M. Dennis Bonnel a apporté dans son travail, quelques modifications et améliorations techniques sur la tour d'énergie solaire, comme l'effet d'agrandir le collecteur et la cheminée pour améliorer l'efficacité globale de la conversion.

[15] Toufik chergui a étudié la modélisation des écoulements dans la tour solaire et a étudié la performance de l'énergie en fonction de certains paramètres dominants. Il a fait une modélisation d'une cheminée solaire avec le calcul énergétique des prévisions de performance de la cheminée solaire (CCS) selon certaines paramètres techniques et physiques comme par exemple l'élévation et l'irradiation du soleil.

[16] Zhou et al, a développé un modèle mathématique pour l'étude de la production d'électricité dans un prototype d'une centrale solaire où ils ont donnés la puissance de sortie

simulée pour différents rayonnement solaire, surface de capteur et hauteur de la cheminée. Les résultats de la simulation ont été vérifiés avec des mesures expérimentales.

[17] Tingzhen et al, ont effectué des simulations numériques sur la cheminée solaire couplée avec turbine. Le modèle a été validé avec les mesures du prototype espagnol, obtenant une puissance maximale supérieure à 50 kW. Par la suite, les auteurs ont présenté la conception et la simulation d'un système de centrale à cheminée solaire avec une turbine à 5 pales. Les résultats des simulations numériques montrent que la puissance et le rendement de la turbine sont de 10 MW et 50%, respectivement, ce qui présente une référence pour la conception d'une CCS à grande échelle.

[18] Mourad Gahgah a utilisé la simulation numérique pour étudier les écoulements dans une cheminée solaire en utilisant une approche basée sur les écoulements dans une cavité ouverte, constituée d'un disque et d'un cylindre pour résoudre le problème.

[19] Clever Ketlogetswe, Jerzy K. Fiszdon, Omphemetse O. Seabe ont publié dans leurs article une étude expérimentale sur un système de mini-cheminée solaire, une attention particulière a été accordée aux mesures de la vitesse de l'air, température et rayonnement solaire. Leurs résultats permettent d'établir une corrélation entre la moyenne l'insolation, la différence de température et la vitesse.

[20] Tayebi Tahar a présenté une étude numérique de la convection naturelle laminaire, dans une tour solaire, le fluide véhiculé est l'air considéré comme un fluide incompressible et newtonien, il utilise la formulation vorticité-fonction de courant et l'approximation de Boussinesq en coordonnées hyperboliques, la solution 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 libre a été examiné.

[21] Salah Larbi et al, ils ont analysés la performance d'une centrale électrique à tour solaire, qui devrait permettre aux villages éloignés situés dans la région sud-ouest algérien, à être alimentés par l'énergie électrique. L'état psychométrique de l'air et l'énergie solaire dans le sud de l'Algérie sont importants pour encourager le développement des centrales à tours solaires, ils ont choisi Adrar comme région pilote. Les résultats obtenus confirment l'estimation de produire de 140 à 200 kW d'électricité sur un site comme Adrar au cours de l'année.

[22] Akchiche Zineb, a étudié la ventilation et le rafraîchissement naturel dans une tour solaire pour les régions à climat chaud, elle a réalisé des mesures expérimentales suivies par une simulation en utilisant le code Fluent.

[23] Ismail Zabat, a étudié les paramètres affectant l'efficacité de la tour solaire qui sont: la hauteur et le diamètre de la tour, le diamètre et la surface du collecteur. Son travail est porté sur l'amélioration de la conception de cet équipement afin d'augmenter sa production d'énergie.

[24] Sylvain Leroy a développé un système de production d'eau combinant la condensation active et passive. Son principal problème est la connaissance de l'énergie électrique théorique qui pourrait fournir un tel système. Son étude visait à simuler l'écoulement d'air dans une cheminée solaire pour obtenir une énergie cinétique théorique pour l'air récupérable. Grâce au programme de simulation de dynamique des fluides CFD, il a été possible de réaliser cette simulation après avoir réalisé la structure avec le programme de construction mécanique.

[25] Soubhi A. Hassanein et al, ont étudié les effets sur les cheminées solaires avec plusieurs hauteurs de cheminée, largeurs de l'espace et différentes orientations de la cheminée. Ils ont enregistré les caractéristiques de température et de vitesse à travers la cheminée et la pièce connectée au canal sous différentes conditions de frontière, leurs résultats ont montré qu'une ventilation naturelle améliorée pouvait être obtenue en utilisant une cheminée multi-solaire, en outre, l'utilisation d'un ou deux ou trois empilements peut réduire la température centrale de 6%, 10% et 12% respectivement, l'utilisation de deux et trois cheminées au lieu d'une cheminée augmente le débit respectivement de 13% et 33% .

[26] Boualleg Salim Mekki, a mené une étude analytique des centrales électriques en utilisant différents types de modèles mathématiques et avec plusieurs méthodes pour mieux prédire la performance énergétique de ces centrales. Ses résultats ont contribué à l'amélioration des installations de cheminée solaire et à démontrer l'importance de cette technologie.

[27] Khaldi Sabrina a examiné l'effet des principaux facteurs sur l'écoulement d'air, dans une pièce avec une cheminée solaire, elle a ensuite effectué une simulation numérique. elle a constaté que l'augmentation du rayonnement solaire augmente le flux d'air, d'autre part, il y a eu une exposition et une inclinaison optimale au-delà de laquelle le flux massique d'air commence à diminuer.

[28] Olivier Farges a développé une méthode de conception optimale pour les centrales solaires avec des récepteurs centraux, c'est l'une des méthodes développées par le West Star recherche Group depuis de nombreuses années, notamment des chercheurs des laboratoires Rapsodée (Albi) et Promes (Odeillo), Laplace (Toulouse), Couplant les algorithmes haute performance de Monte Carlo et les algorithmes d'optimisation stochastique, ils ont utilisé le code de calcul de cette méthode qui permet la conception et l'optimisation des installations solaires. Ils ont mis en évidence le potentiel d'un type de station centrale de faible puissance: les installations d'onduleurs secondaires, également connues sous le nom de centrales à "Beam down".

[29] Cheloufi Djassem en mesurant les vitesses d'écoulement dans la cheminée, les températures et les rayonnements, il a mené une expérience sur le modèle de cheminée solaire selon les variables examinées (une seule, deux et quatre ouvertures), concluant que le facteur d'ouverture est important.

[30] Charles Garnier a réalisé une modélisation numérique de la convection naturelle des écoulements ouverts avec un flux constant, de flux chaud asymétrique vertical. Il a réalisé son travail dans le contexte comparatif des approches numériques et empiriques.

[31] A. Dhahri et al, ont analysé numériquement la performance d'une cheminée solaire en utilisant les équations stables de Navier-Stokes et l'équation d'énergie dans le système de coordonnées cylindrique, l'écoulement du fluide à l'intérieur de la cheminée est turbulent avec un modèle k-ε dans le programme Fluent, ils ont effectué la simulation en utilisant le modèle l'espagnol de tour solaire comme référence. Leurs résultats étaient plus cohérents avec les essais expérimentaux des mesures de la centrale de Manzanares.

[32] Samir Djimli, Abla Chaker, ont étudié et analysé numériquement les champs de vitesse et de température dans une tour solaire avec plusieurs nombres de Rayleigh, leur but est d'étudier la convection turbulente naturelle avec des conditions aux limites bien définies, les résultats obtenus, pour différents cas étudiés, sont comparés pour montrer l'effet de différents paramètres, une attention particulière a été portée aux profils de vitesse, horizontaux et verticaux dans la cheminée.

[33] Bachar Attig a développé un modèle numérique tridimensionnel de la dynamique des fluides dans une centrale à tour solaire, il a vérifié sa validité par rapport aux données

expérimentales de l'usine de Manzanares, il l'a ensuite utilisé ces résultats pour étudier la performance d'une centrale solaire thermique pour des sites en Tunisie.

[34] Penghua Guo et al, ont développé une approche en 3D qui modélise le rayonnement, un modèle de charge solaire et de turbines réelles, ils ont identifié les variations de performance de la turbine avec la vitesse de rotation pour déterminer la stratégie de contrôle de l'énergie des éoliennes à pieux solaires, comparez ensuite les résultats de la simulation avec le ventilateur du modèle et la turbine réelle, leurs résultats ont montré que le modèle d'hélice est une approche pratique pour l'étude de la turbine dans la conception de centrale a tour solaire.

[35] Bahache Hadjer, son travail consiste à étudier le phénomène de la convection naturelle à l'intérieur d'une cheminée solaire où le fluide véhiculé est l'air. elle a examiné l'effet de l'écart de température entre le sol et la température extérieure sur le transfert de chaleur à l'intérieur de la cheminée à l'aide d'une simulation numérique avec le logiciel de calcul Fluent qui est basé sur la méthode de volume finis. elle a également réalisé une comparaison qualitative avec quelques résultats de la littérature.

CHAPITRE II :
FORMULATION MATHÉMATIQUE

II.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous exprimons le problème physique avec la description de la géométrie ainsi que les équations différentielles aux dérivées partielles qui régissent l'écoulement de l'air à l'intérieur du domaine physique et qui sont les équations de continuité, de quantité de mouvement et de l'énergie. Nos équations sont représentées dans le système des coordonnées cylindriques.

II.2 Description de la géométrie

La cheminée solaire étudiée est représentée par la géométrie ci-dessous où la convection naturelle de l'air se génère et développe un écoulement ascendant dans la cheminée :

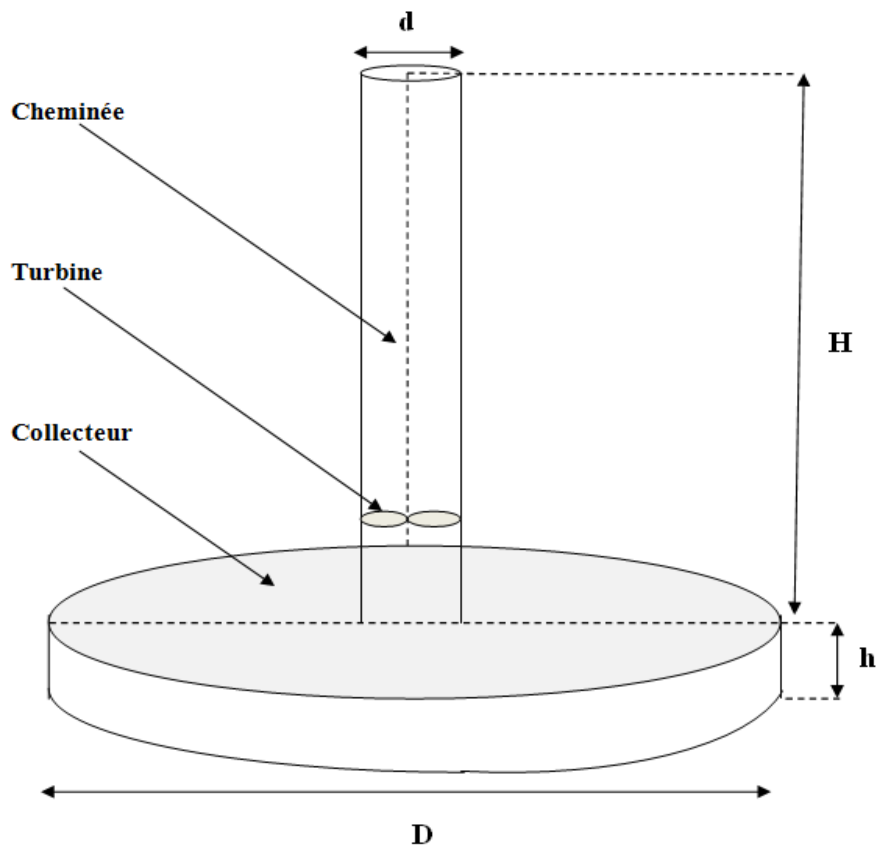


Figure (II.1) : Géométrie de la cheminée solaire.

La géométrie initiale est représentée par la superposition de deux cylindres de différents diamètres et hauteurs. Les parois extérieures de la cheminée et du collecteur 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 $T_c > T_f$.

II .3 Formulation mathématique

II .3.1 Les équations générales

Les équations qui gouvernent le phénomène de la convection naturelle sont :

➤ L'équation de continuité

C'est l'équation qui exprime la loi de la conservation de la masse sur une unité de volume :

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

Avec :

v : Vecteur de vitesse

➤ L'équation du mouvement

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

$$\rho \left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \overrightarrow{\text{grad}}) \vec{v} \right) = -\nabla p + \rho \vec{g} + \mu \Delta \vec{k} \quad (\text{II.2})$$

Avec :

g : accélération de la pesanteur.

k : Tenseur de contrainte.

v : Vecteur de vitesse .

➤ L'équation de la chaleur

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

$$\frac{\partial T}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \overrightarrow{\text{grad}}) T = \frac{\lambda}{\rho c_p} \nabla^2 T \quad (\text{II.3})$$

Avec :

T : température du fluide.

λ : Conductivité thermique du fluide.

c_p : Capacité calorifique massique à pression constante du fluide.

v : Vecteur de vitesse.

t : temps.

II .3.2 Formulation des équations en coordonnées cylindrique

Les équations ci-dessus dans les coordonnées cylindriques s'écrivent sous la forme suivante :

➤ **Equation de continuité**

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \cdot \vec{v}) = 0$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \cdot \text{div}(\vec{v}) + \overrightarrow{\text{grad}}(\rho) \cdot \vec{v} = 0$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{v}) = \frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \left(\frac{1}{r} \frac{\partial(rv_r)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) + \overrightarrow{\text{grad}}(\rho) \cdot \vec{v} = 0 \quad (\text{II.4})$$

➤ **Équation de quantité de mouvement**

✓ **Sur les coordonnées r**

$$\begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial v_r}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} - \frac{v_\theta^2}{r} + v_z \frac{\partial v_r}{\partial z} \right) = \\ - \frac{\partial p}{\partial r} + \rho g(r) + \mu \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial v_r}{\partial r} \right) - \frac{v_r}{r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_r}{\partial \theta^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} \right) \end{aligned} \quad (\text{II.5})$$

✓ **Sur les coordonnées θ**

$$\begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial v_\theta}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_\theta}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{v_r v_\theta}{r} + v_z \frac{\partial v_\theta}{\partial z} \right) = - \frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \theta} + \rho g(\theta) + \mu \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial v_\theta}{\partial r} \right) - \frac{v_\theta}{r^2} + \right. \\ \left. \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial \theta^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial z^2} \right) \end{aligned} \quad (\text{II.6})$$

✓ **Sur les coordonnées z**

$$\begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial v_z}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_z}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = \\ - \frac{\partial p}{\partial z} + \rho g(z) + \mu \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_z}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right) \end{aligned} \quad (\text{II.7})$$

➤ **Equation de la chaleur**

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \left(v_r \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial T}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \frac{\lambda}{\rho c_p} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (\text{II.8})$$

II .3.3 Hypothèses simplificatrices

Les hypothèses simplificatrices considérées dans notre travail afin de simplifier les équations du modèle mathématique sont :

- L'écoulement est laminaire.
- l'écoulement est incompressible et axisymétrique $(\frac{\partial}{\partial \theta}) = 0$
- Régime stationnaire $(\frac{\partial}{\partial t}) = 0$
- La dissipation visqueuse et le travail des forces de pression sont négligeables dans l'équation de la chaleur.
- Pas d'échange par rayonnement au sein du fluide.
- La densité du fluide dans le terme des forces de volume varie linéairement avec la température T selon l'approximation de **J. Boussinesq** [36].
- Les propriétés physiques du fluide dans les autres termes des équations sont constantes.

L'approximation de Boussinesq est donnée par la relation suivant :

$$\rho(T) = \rho_0[1 - \beta_T(T - T_0)] \quad (\text{II.9})$$

ρ : La masse volumique de fluide.

β_T : est le coefficient de dilatation à pression constante.

T_0 : est la température de référence.

ρ_0 : est la masse volumique à T_0 .

II .3.4 Les simplifications des équations

Les équations précédentes en tenant compte des hypothèses simplificatrices sont exprimées dans les coordonnées cylindriques comme suit :

➤ Equation de continuité

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(rv_r)}{\partial r} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0 \quad (\text{II.10})$$

➤ Equation de quantité de mouvement

La projection des équations (II.5), (II.7) donne les équations suivantes :

✓ Sur les coordonnées r

$$\rho \left(v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} + v_z \frac{\partial v_r}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial r} + \mu \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial v_r}{\partial r} \right) - \frac{v_r}{r^2} + \frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} \right) \quad (\text{II.11})$$

✓ Sur les coordonnées z

$$\rho \left(v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \rho g(z) + \mu \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right) \quad (\text{II.12})$$

➤ Equation de la chaleur

$$v_r \frac{\partial T}{\partial r} + v_z \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\lambda}{\rho C_P} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (\text{II.13})$$

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

II .4 La forme adimensionnelle des équations du modèle mathématique

L'étude de la convection naturelle dans une cheminée solaire est exprimée par les équations mathématiques précédentes sous la forme non-dimensionnelle.

En posant les quantités adimensionnelles suivantes :

$$r^+ = \frac{r}{D} ;$$

$$z^+ = \frac{z}{D} ;$$

$$v_r^+ = \frac{v_r}{\left(\frac{a}{D}\right)} ;$$

$$v_z^+ = \frac{v_z}{\left(\frac{a}{D}\right)} ;$$

$$P^+ = \frac{P}{\rho v_{r(0)}^2} ;$$

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

Introduisant également les nombres adimensionnels suivants :

Le nombre Prandtl :

$$P_r = \frac{\nu}{a} ;$$

Le nombre de Grashof :

$$G_r = \frac{\rho^2 g \beta_T D^3 \Delta T}{\mu^2} ;$$

Le nombre de Rayleigh :

$$Ra = Gr \cdot Pr ;$$

En portant les quantités adimensionnelles définies ci-dessus dans les équations du modèle mathématique, on obtient :

➤ **Equation de continuité**

$$\frac{1}{r^+} \frac{\partial r^+ \cdot v_r^+}{\partial r^+} + \frac{\partial v_z^+}{\partial z^+} = 0 \quad (\text{II.14})$$

➤ **Equation de quantité de mouvement**

$$v_r^+ \frac{\partial v_r^+}{\partial r^+} + v_z^+ \frac{\partial v_r^+}{\partial z^+} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P^+}{\partial r^+} + Pr \left(\frac{\partial^2 v_r^+}{\partial r^{+2}} + \frac{\partial^2 v_r^+}{\partial z^{+2}} \right) \quad (\text{II.15})$$

$$v_r^+ \frac{\partial v_z^+}{\partial r^+} + v_z^+ \frac{\partial v_z^+}{\partial z^+} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P^+}{\partial z^+} + Pr \left(\frac{\partial^2 v_z^+}{\partial r^{+2}} + \frac{\partial^2 v_z^+}{\partial z^{+2}} \right) + Ra \cdot Pr \cdot T^+ \quad (\text{II.16})$$

➤ **Equation de la chaleur**

$$v_r^+ \frac{\partial T^+}{\partial r^+} + v_z^+ \frac{\partial T^+}{\partial z^+} = a \left(\frac{\partial^2 T^+}{\partial r^{+2}} + \frac{\partial^2 T^+}{\partial z^{+2}} \right) \quad (\text{II.17})$$

II .5 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 :

$$T = T_f, v_r = 0, v_z = 0$$

➤ **Conditions de sortie**

La condition de sortie est de type Newman :

$$\frac{\partial v_r}{\partial z} = \frac{\partial v_z}{\partial z} = \frac{\partial T}{\partial z} = 0$$

➤ **Conditions à l'axe de symétrie**

A l'axe de symétrie, on pose :

$$\frac{\partial v_z}{\partial r} = \frac{\partial T}{\partial r} = 0, v_r = 0$$

➤ **Conditions aux limites au sol**

$$T = T_c, v_r = 0, v_z = 0$$

➤ **Conditions aux limites au toit du collecteur**

$$T = T_f, v_r = 0, v_z = 0$$

➤ **Conditions aux limites à la paroi de cheminée**

$$T = T_f, v_r = 0, v_z = 0$$

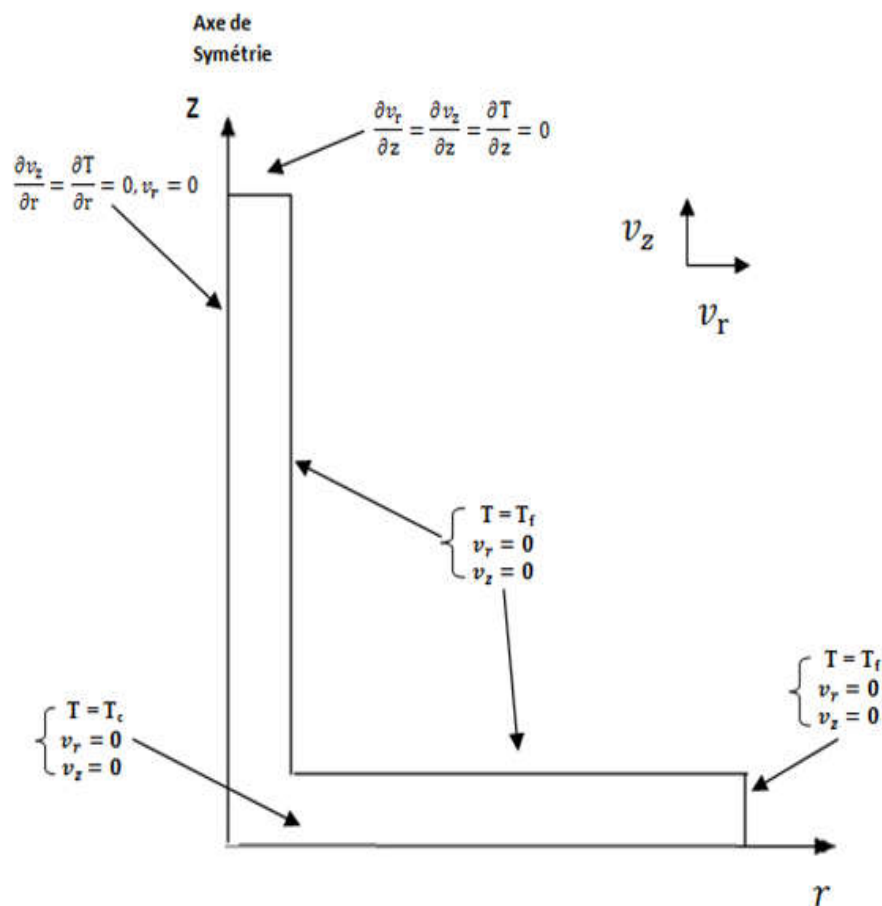


Figure (II.2) : Représentation physique du problème et les conditions aux limites.

II .6 Le rendement global de la cheminée solaire [37]

La puissance de la cheminée solaire peut être exprimée en fonction de l'énergie solaire et du rendement global.

$$P = \eta_{\text{glob}} \cdot Q \quad (\text{II.18})$$

Avec :

P : La puissance de la cheminée solaire.

η_{glob} : Le rendement global de la cheminée solaire.

Q : Energie solaire reçue par le collecteur de la cheminée solaire.

Le rendement global de la cheminée solaire s'exprime aussi comme étant le produit du rendement de chaque composant de cheminée solaire (cheminée, collecteur et turbine).

$$\eta_{\text{glob}} = \eta_{\text{coll}} \cdot \eta_{\text{c}} \cdot \eta_{\text{turb}} \quad (\text{II.19})$$

Avec :

η_{coll} : Le rendement du collecteur.

η_{c} : Le rendement de la cheminée.

η_{turb} : Le rendement de la turbine.

II .6.1 Le rendement du collecteur [37]

Le rendement énergétique du collecteur est défini comme le rapport de la quantité de chaleur reçue par le fluide sur la quantité chaleur totale reçue par la surface du collecteur, il est donné par la relation suivant.

$$\eta_{\text{coll}} = \frac{Q}{A_{\text{coll}} \cdot I} \quad (\text{II.20})$$

Avec :

I : Eclairage solaire incident [W/m^2].

A_{coll} : La surface de la toiture du collecteur [m^2].

Q : La chaleur reçue par l'air au niveau du collecteur [W].

La chaleur de fluide (l'air) dans le collecteur s'exprime par la relation suivant :

$$Q = \dot{m}C_p\Delta T \quad (\text{II.21})$$

Avec :

ΔT : Différence de température entre l'entrée et la sortie du collecteur [K].

C_p : Capacité calorifique de l'air [J/Kg.K].

\dot{m} : Le débit massique de l'air chaud traversant la cheminée solaire [Kg/s].

Avec :

$$\dot{m} = \rho \cdot v \cdot S \quad (\text{II.22})$$

\dot{m} : représente le produit de la masse volumique [Kg/m³], v : la vitesse de fluide [m/s] et S : la section à la sortie du collecteur [m²].

En combinant les équations (II.20), (II.21) et (II.22) s'exprime le rendement du collecteur par la relation suivant :

$$\eta_{\text{coll}} = \frac{\rho v S C_p \Delta T}{A_{\text{coll}} I} \quad (\text{II.23})$$

II .6.2 Le rendement de la tour

Le rendement de la tour est défini par la relation suivant [37] :

$$\eta_c = \frac{P_{\text{tot}}}{Q} \quad (\text{II.24})$$

Avec :

P_{tot} : La puissance totale développée par le fluide.

Q : Energie solaire reçue par le collecteur de cheminée solaire.

Le rendement de la cheminée (tour) en fonction de la hauteur H :

$$\eta_c = \frac{gH}{T_0 C_p} \quad (\text{II.25})$$

Avec :

H : Hauteur de la tour, g : Accélération de la pesanteur, T_0 : Température ambiante à l'entrée du collecteur, C_p : Capacité calorifique de l'air.

$$\eta_c = \frac{gH\rho v S \Delta T}{T_0} \quad (\text{II.26})$$

II .6.3 Le rendement de la turbine

Les turbines sont souvent placées à la base de la tour. L'utilisation des turbines sert à convertir l'énergie cinétique de l'air s'écoulant à l'intérieur de la cheminée en une énergie mécanique de rotation. L'utilisation du rendement mécanique des turbines sous forme d'énergie

de rotation peut être dérivée de l'écoulement de l'air dans la cheminée. Les turbines dans une cheminée solaire ne fonctionnent pas avec la vitesse étagée comme dans les convertisseurs conventionnels d'énergie éolienne, mais plutôt, à pression-étagé comme dans un turbo générateur, ou comme une centrale hydroélectrique, où la pression statique est convertie par une turbine intégrée en énergie de rotation utile [38].

Le rendement de turbine s'exprime en fonction de la puissance maximale de la turbine et la puissance électrique produite, il est donné par la relation suivant :

$$\eta_{\text{turb}} = \frac{P_{\text{elc}}}{P_{\text{Max turb}}} \quad (\text{II.27})$$

Avec :

$P_{\text{Max turb}}$: La puissance maximale de la turbine.

P_{elc} : La puissance électrique produite.

La puissance maximale de la turbine peut être exprimée en fonction du rayonnement solaire est le rendement du collecteur dans la relation suivant :

$$P_{\text{Max turb}} = \frac{2gdS}{3C_p T_0} \eta_{\text{coll}} I \quad (\text{II.28})$$

I : Eclairage solaire.

La puissance électrique en fonction du rendement de la turbine et le rendement du collecteur s'exprime :

$$P_{\text{elc}} = \frac{2gdS}{3C_p T_0} \eta_{\text{coll}} \eta_{\text{turb}} I \quad (\text{II.29})$$

La puissance mécanique maximale de la turbine est donnée par :

$$P_{\text{Max turb}} = \frac{2}{3} \nu S \Delta P_{\text{tot}} \quad (\text{II.30})$$

CHAPITRE III :
SIMULATION NUMERIQUE

III .1 Introduction

Dans ce chapitre, nous avons utilisés le logiciel Fluent pour faire la simulation numérique du phénomène de la convection naturelle de l'air au sein de la cheminée solaire. Ce logiciel utilise la méthode des volumes finis pour la discrétisation des équations du modèle mathématique qui représente le phénomène étudié.

III .2 La méthode des volumes finis

III .2.1 Description de la méthode

La méthode des volumes finis est une méthode de discrétisation qui est bien adaptée pour la simulation numérique de divers types (elliptique, parabolique, ou hyperbolique, par exemple) des lois de conservation, elle a été intensivement employée dans plusieurs domaines, tels que la mécanique des fluides, le transfert de la chaleur et de la masse.

III .2.2 Le principe de la méthode des volumes finis

La méthode des volumes finis est une méthode pour la résolution numérique d'un problème continu qui comporte une phase de maillage et un phase de discrétisation. La phase de maillage consiste à diviser le domaine d'étude en petits volumes appelés volume de contrôle. La phase de discrétisation transforme le problème continu en un problème discret, les équations ainsi que les conditions aux limites sont approchées par des équations algébriques et conditions discrètes.

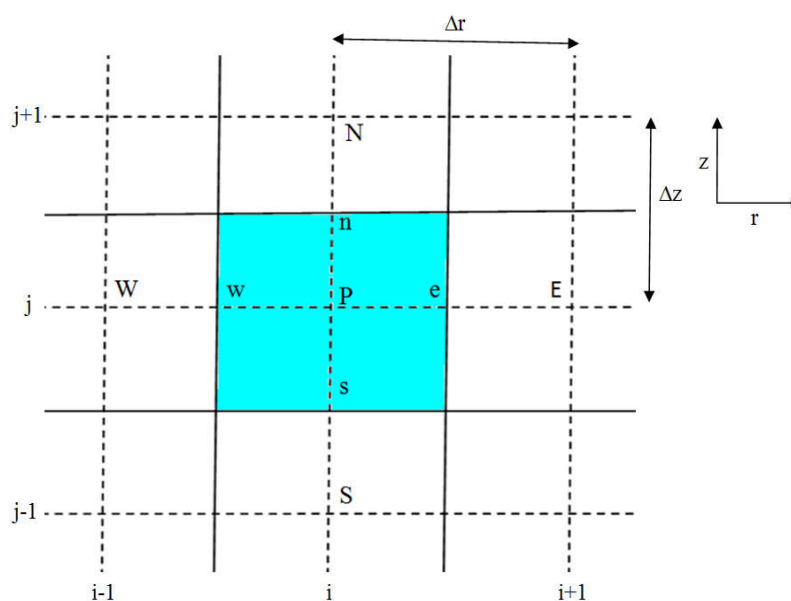


Figure (III.1) : Représentation d'un volume de contrôle dans un maillage en coordonnées cylindriques.

Où : **P** est le nœud principal, **i** l'indice de discrétisation suivant l'axe des "r", **j** l'indice de discrétisation suivant l'axe des "z".

En général, les lettres **E**, **W**, **N** et **S** représentent respectivement Est, Ouest, Nord et Sud.

Le carré coloré en bleu clair représente un volume de contrôle. Les segments **[PE]** et **[PN]** valent respectivement Δr et Δz .

III .3 Présentation des logiciels (Gambit + Fluent)

III .3.1 Logiciel Gambit

III .3.1.1 Rôle du logiciel Gambit

Le logiciel Gambit est un générateur de maillage 2D/3D qui permet de dessiner et diviser le domaine physique en petits éléments avec une prédéfinition des frontières du domaine géométrique. Le logiciel Gambit génère un fichier et l'exporte pour qu'il soit traité ensuite par le logiciel Fluent.

III .3.1.2 Les étapes d'utilisation de Gambit

Étape 1 : Lancement du logiciel

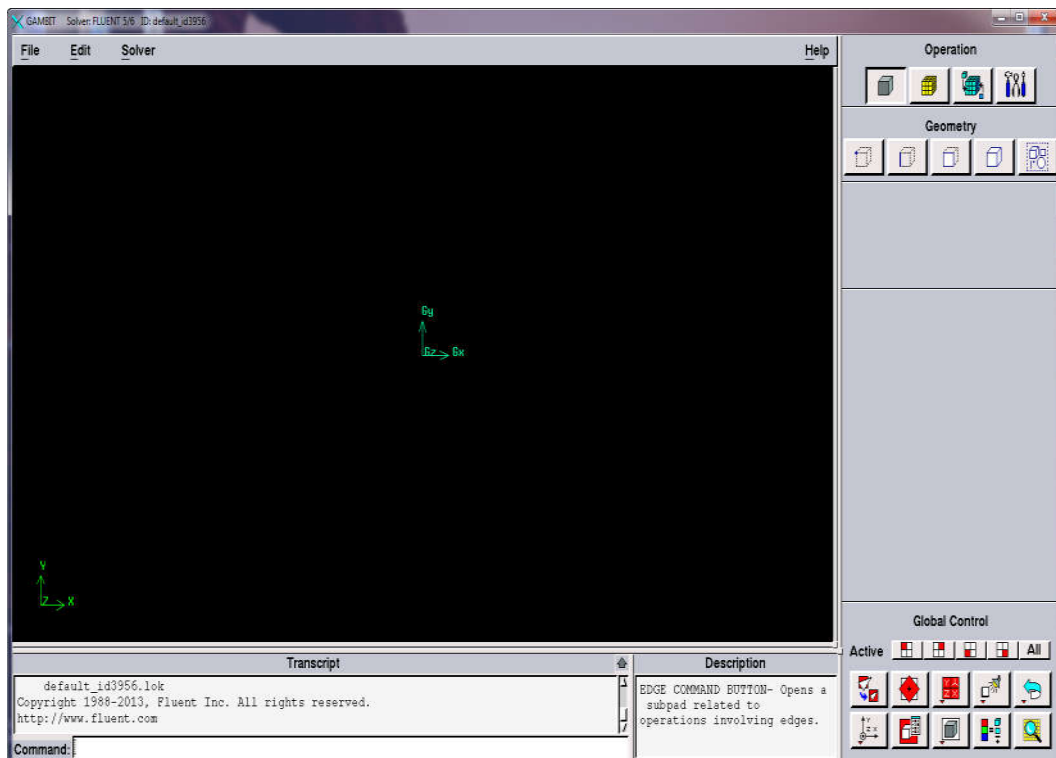


Figure (III.2) : Fenêtre principale.

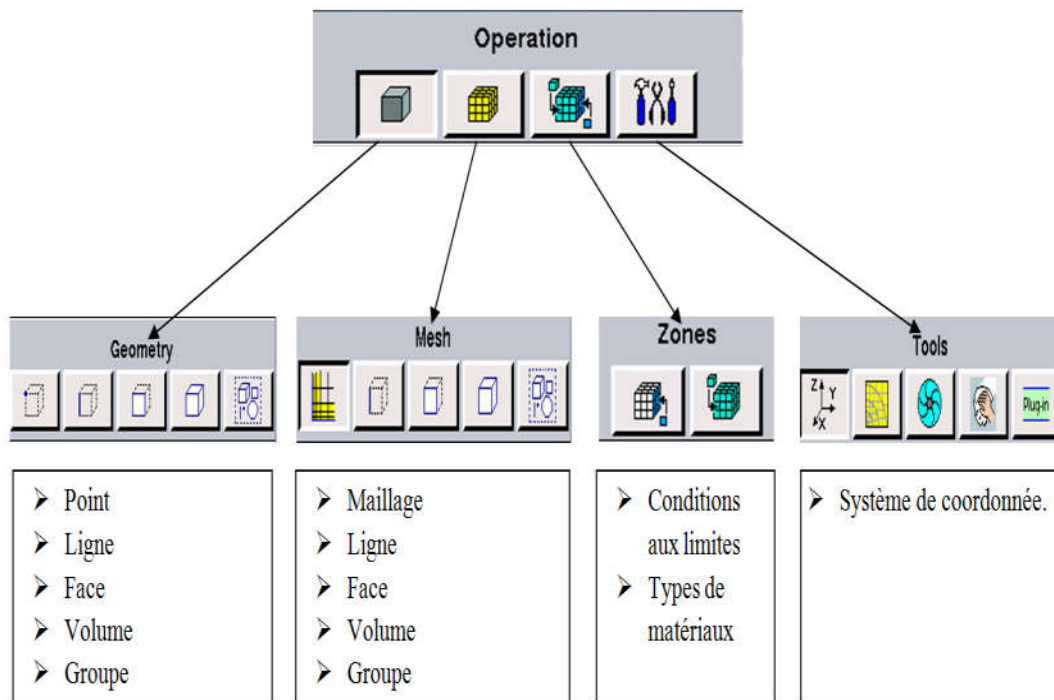


Figure (III.3) : Différentes opérations pour créer la géométrie.

Etape2 : Création de la géométrie

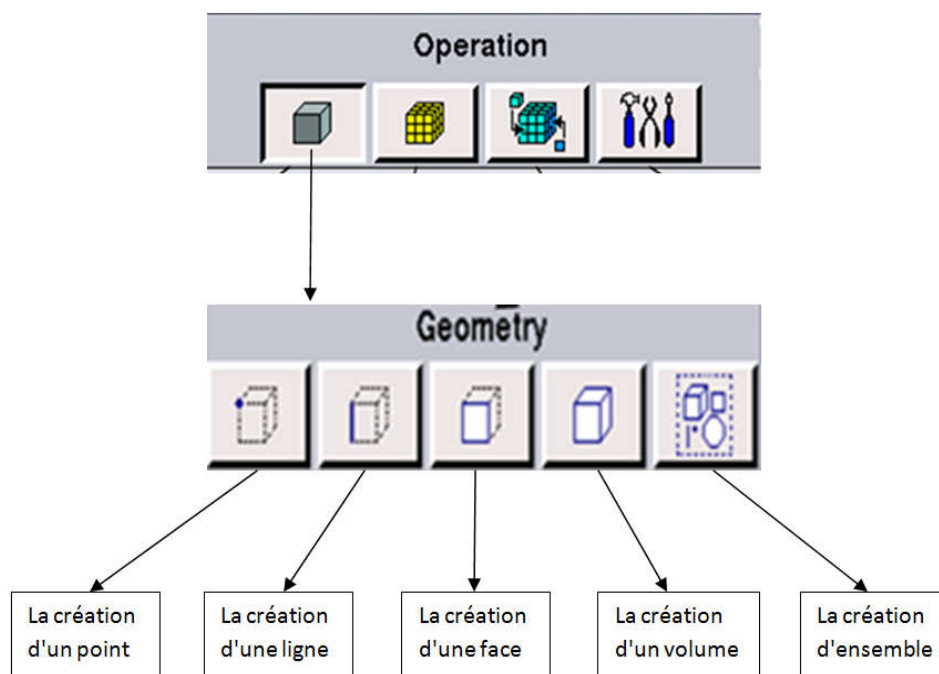


Figure (III.4) : Outils pour créer la géométrie.

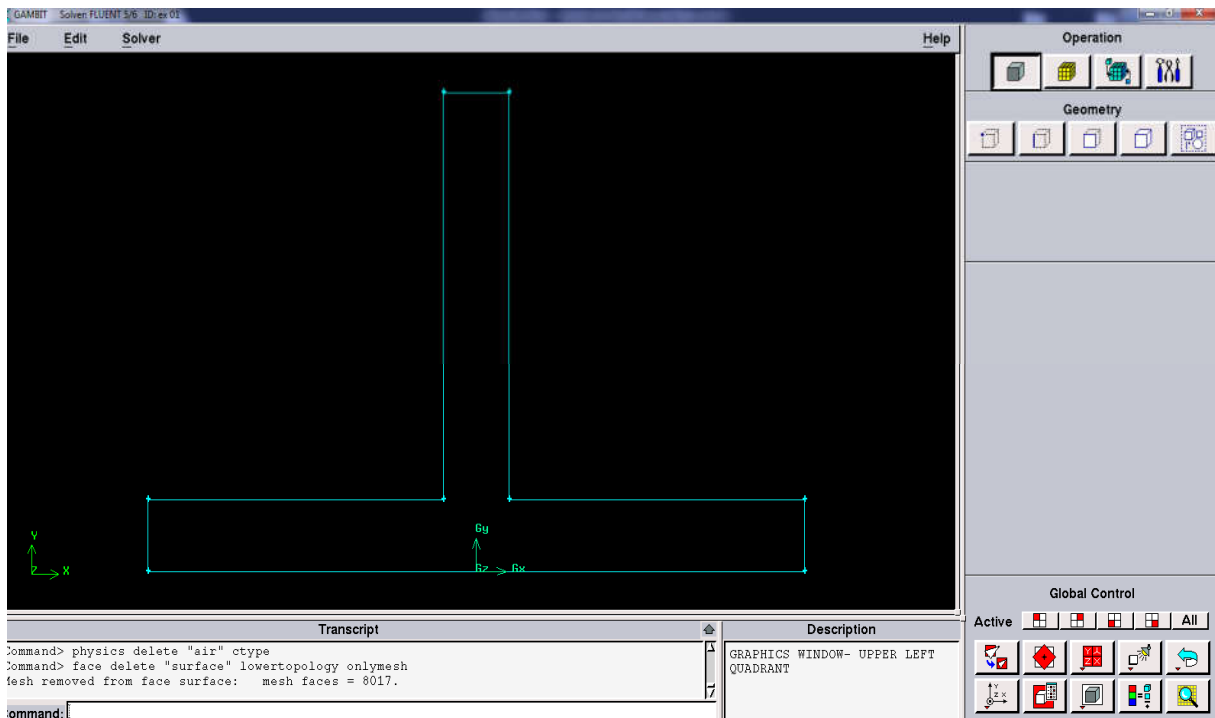


Figure (III.5) : Géométrie du domaine physique.

Etape 3 : Générer un maillage

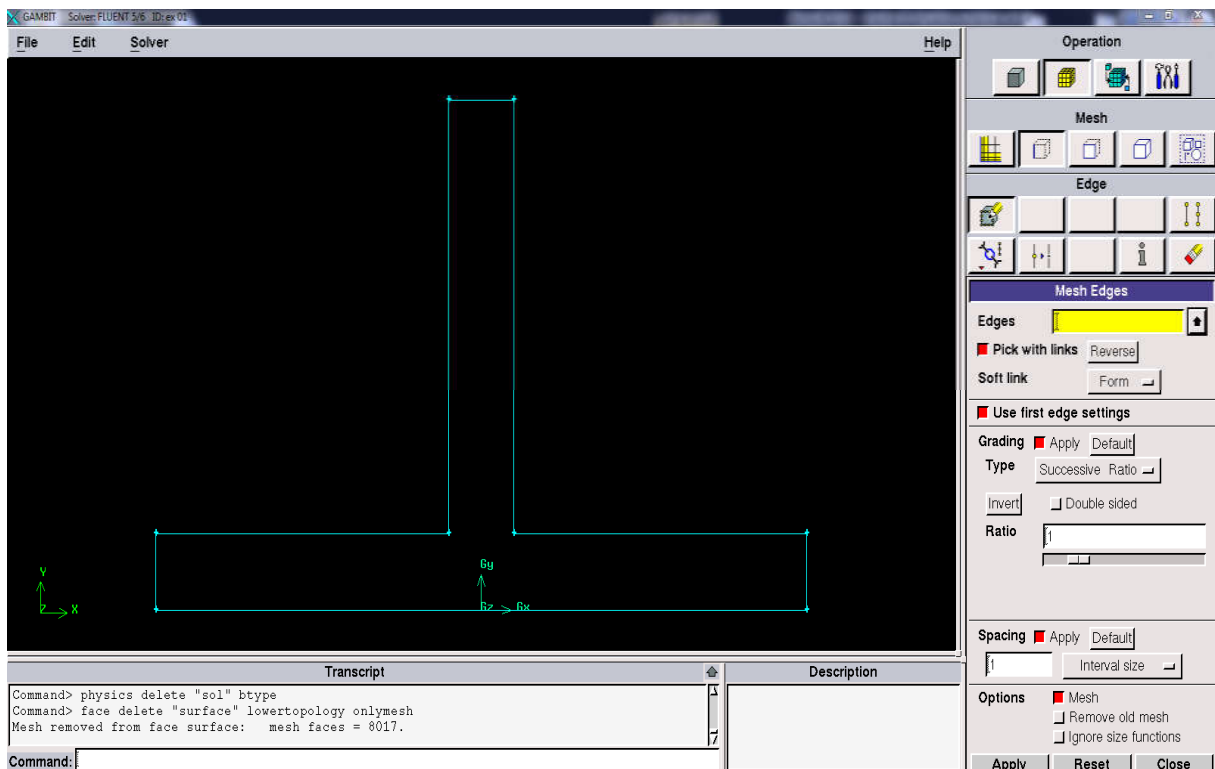


Figure (III.6) : Outils pour générer un maillage.

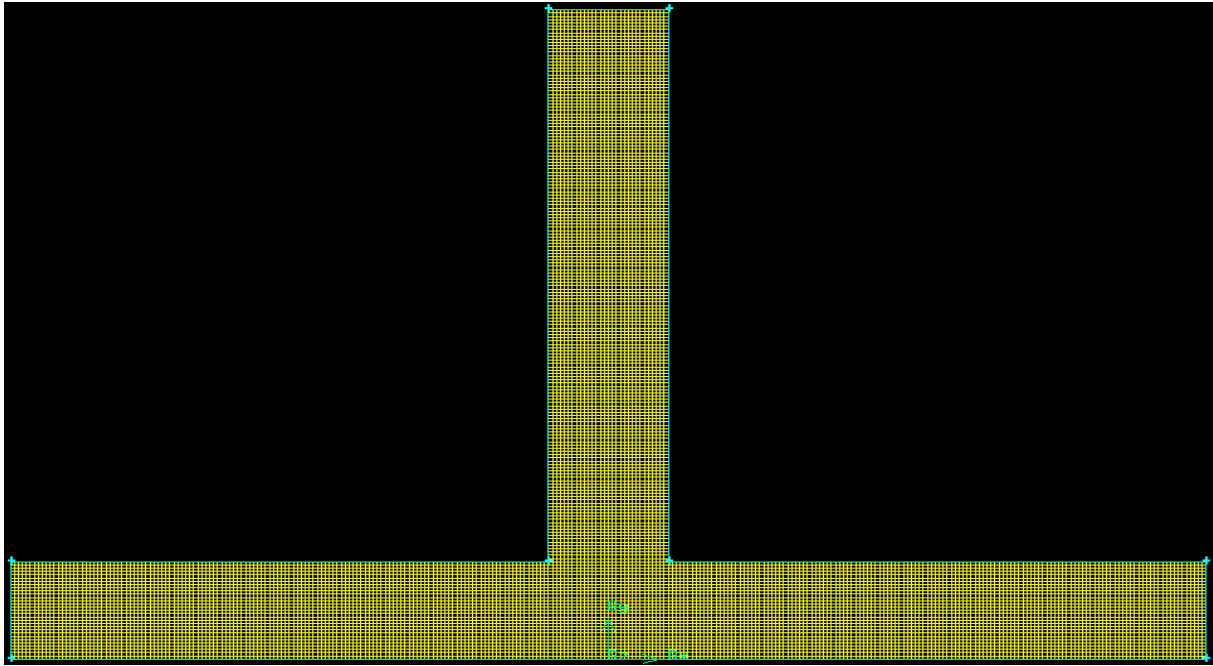


Figure (III.7) : Maillage du domaine physique.

Etape 4 : Définir les conditions aux limites

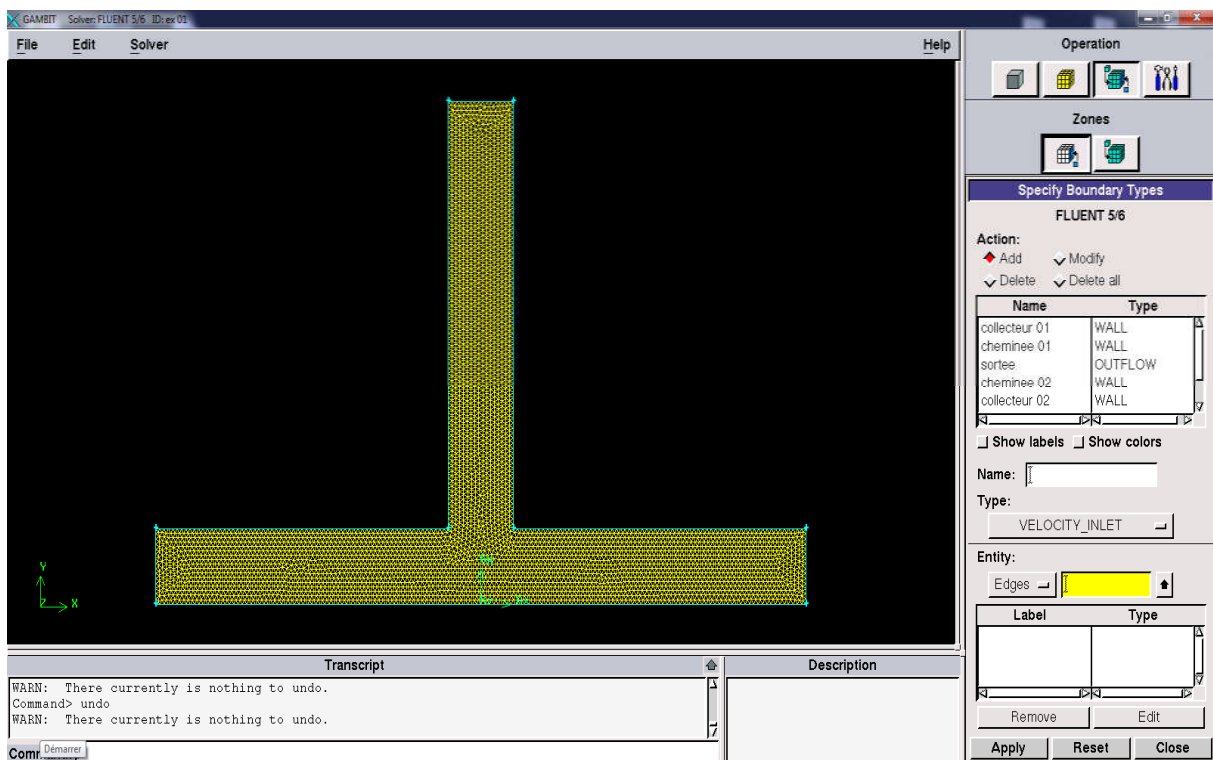


Figure (III.8) : Outils pour définir les conditions aux limites.

III .3.2 Logiciel

III .3.2.1 Le logiciel Fluent

Fluent est l'un des codes CFD commerciaux très utilisés dans l'industrie et l'un des plus célèbres. Adapté pour la simulation numérique d'écoulements des fluides et les phénomènes de transfert de chaleur ainsi que les phénomènes complexes traités par la méthode des volumes finis.

III .3.2.2 Les étapes d'utilisation du logiciel Fluent

Etape 1 : Lancement du logiciel

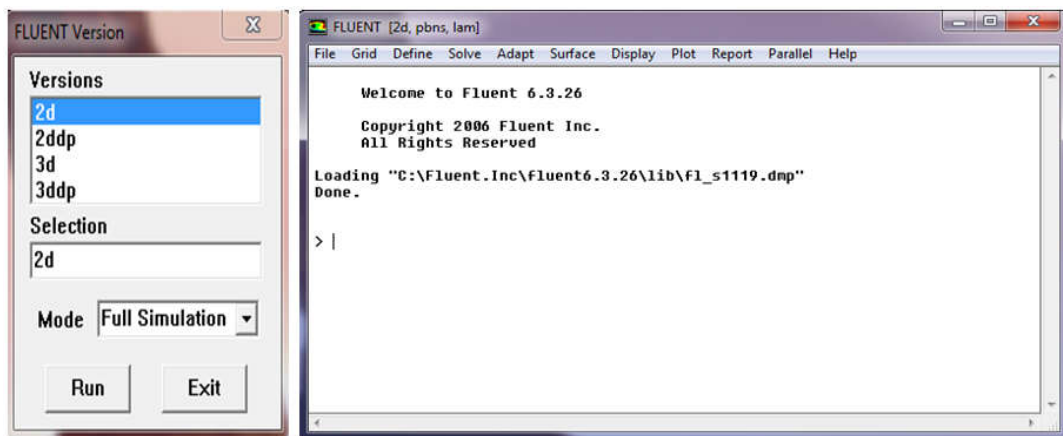


Figure (III.9) : Fenêtre principale du logiciel Fluent.

Etape 2 : Ouvrir le fichier créé par Gambit

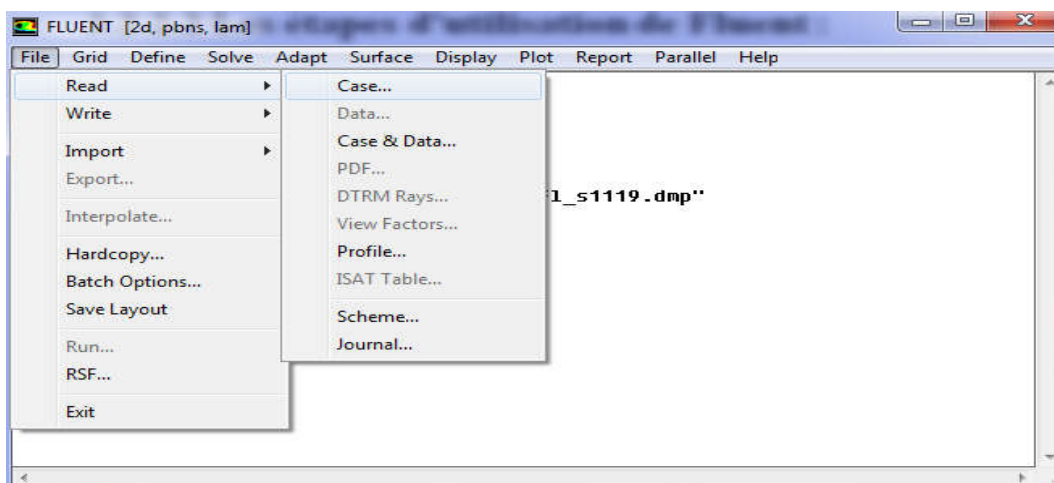


Figure (III.10) : Ouvrir le fichier (.msh).

Etape 3 : Vérification du fichier

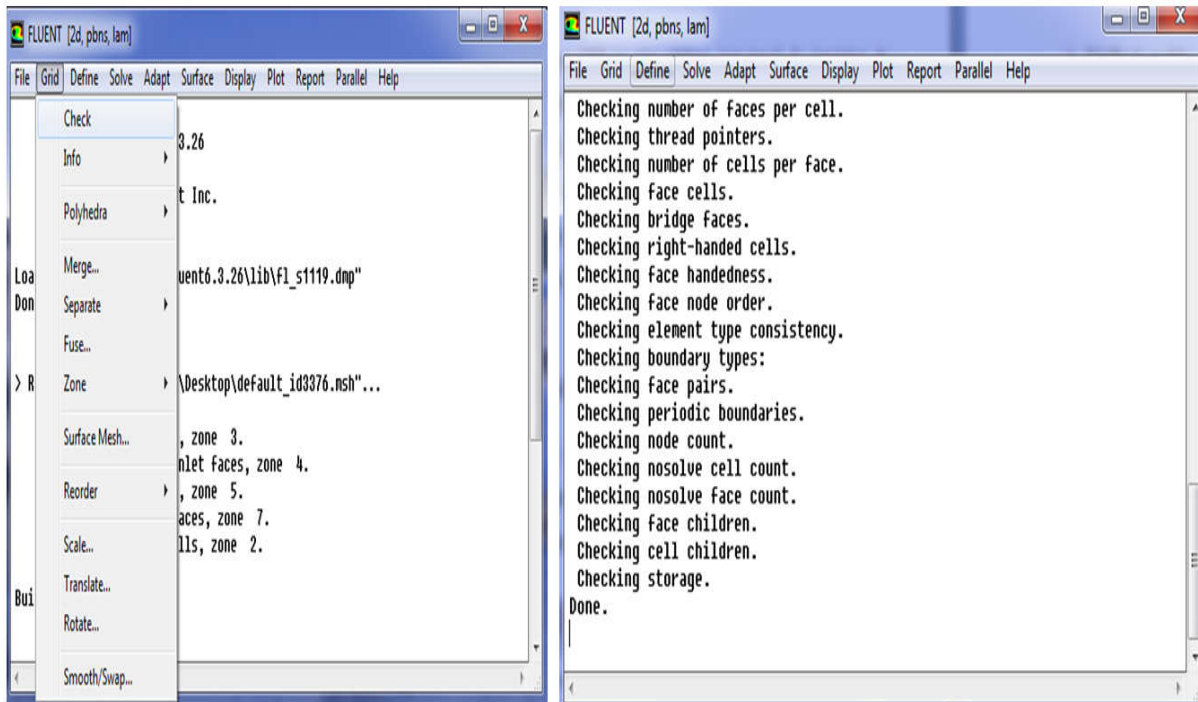


Figure (III.11) : Vérification de géométrie, maillage et conditions aux limites.

Etape 4 : Définition des dimensions du modèle

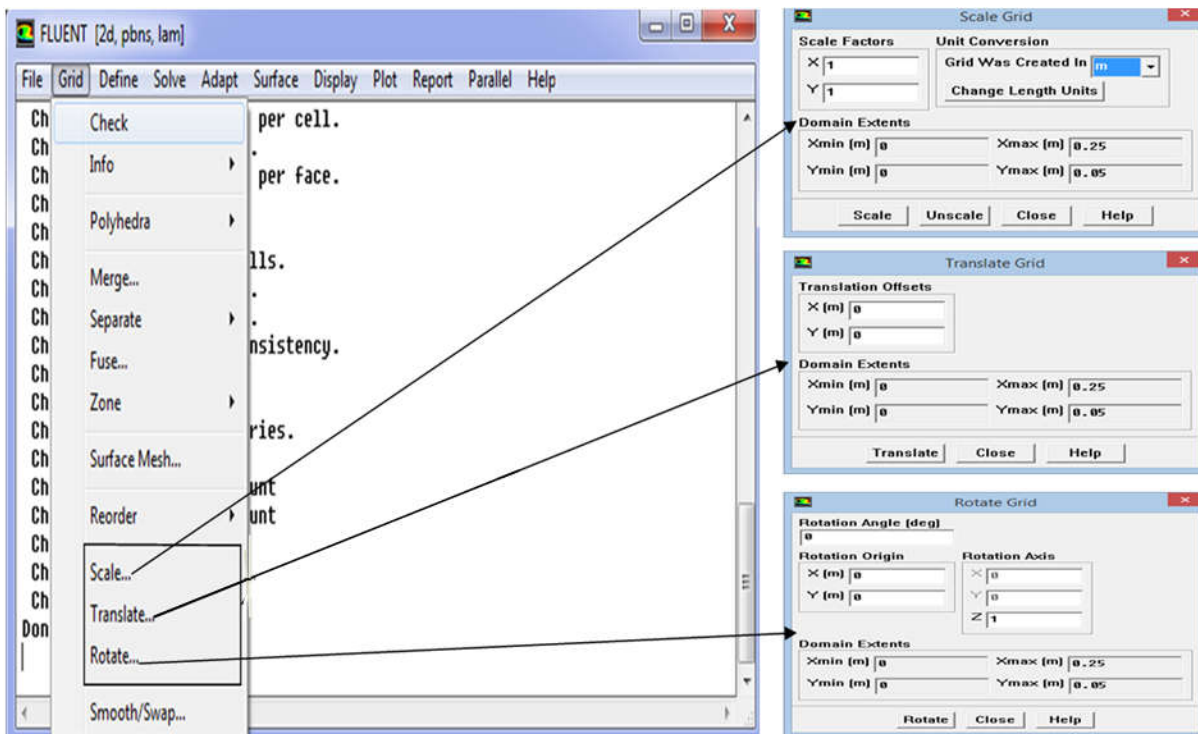
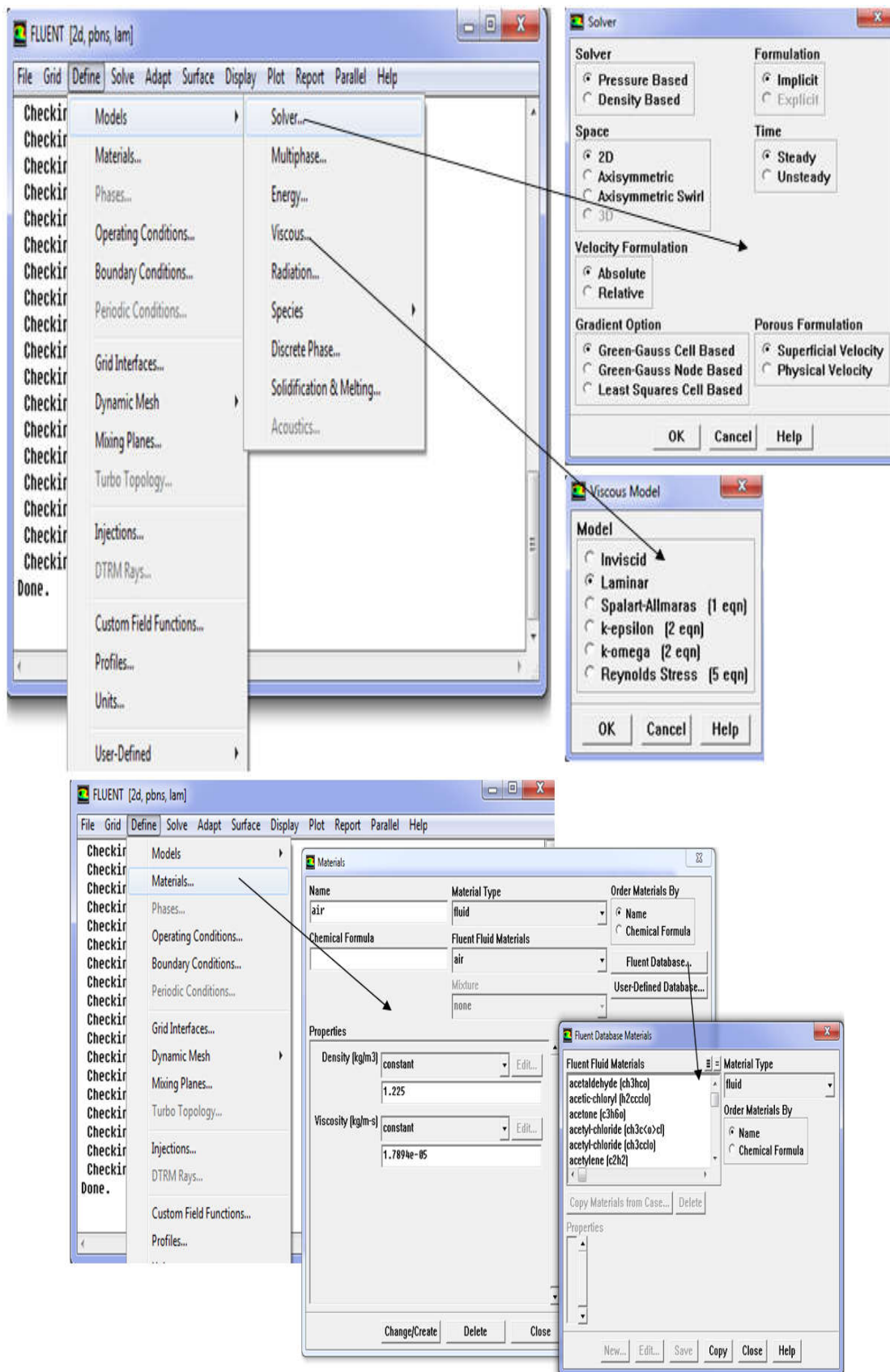


Figure (III.12) : Choix des dimensions du modèle.

Étape 5 : Définir le modèle mathématique**Figure (III.13)** : Définir le modèle mathématique, le type d'écoulement et le fluide.

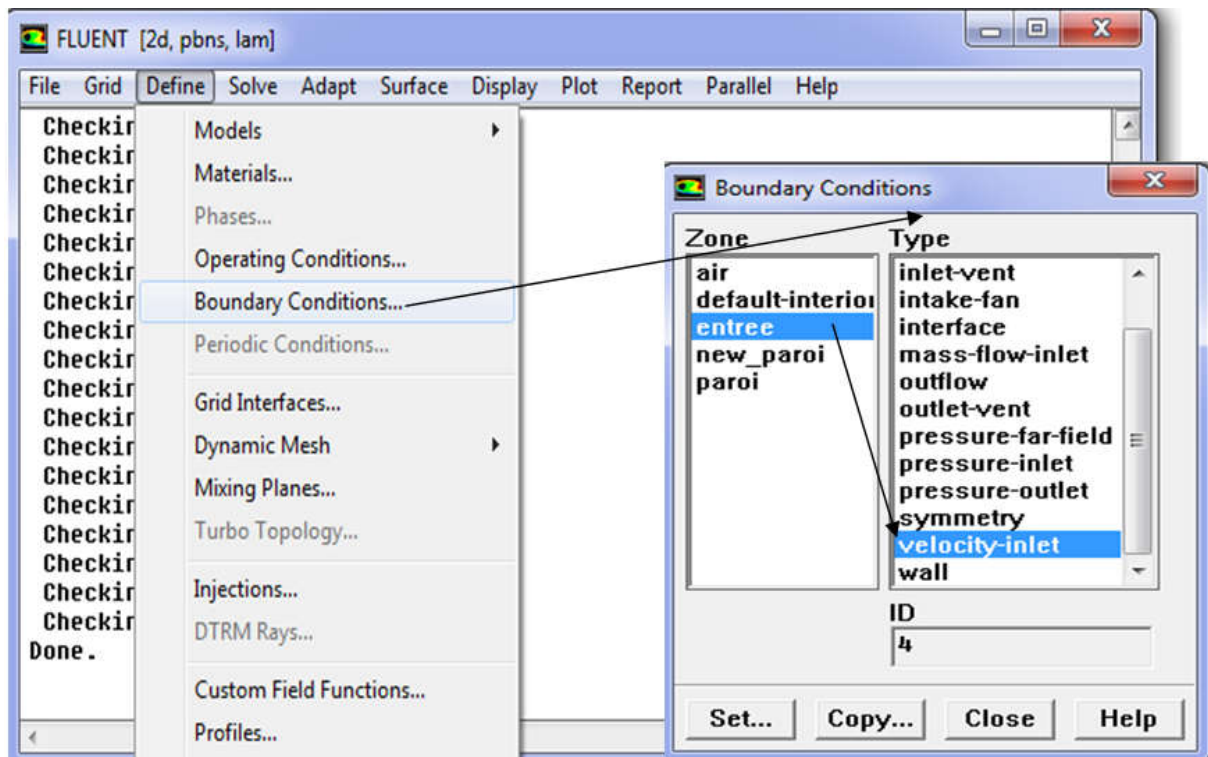
Etape 6 : Définir les conditions aux limites

Figure (III.14) : Fenêtre des conditions aux limites.

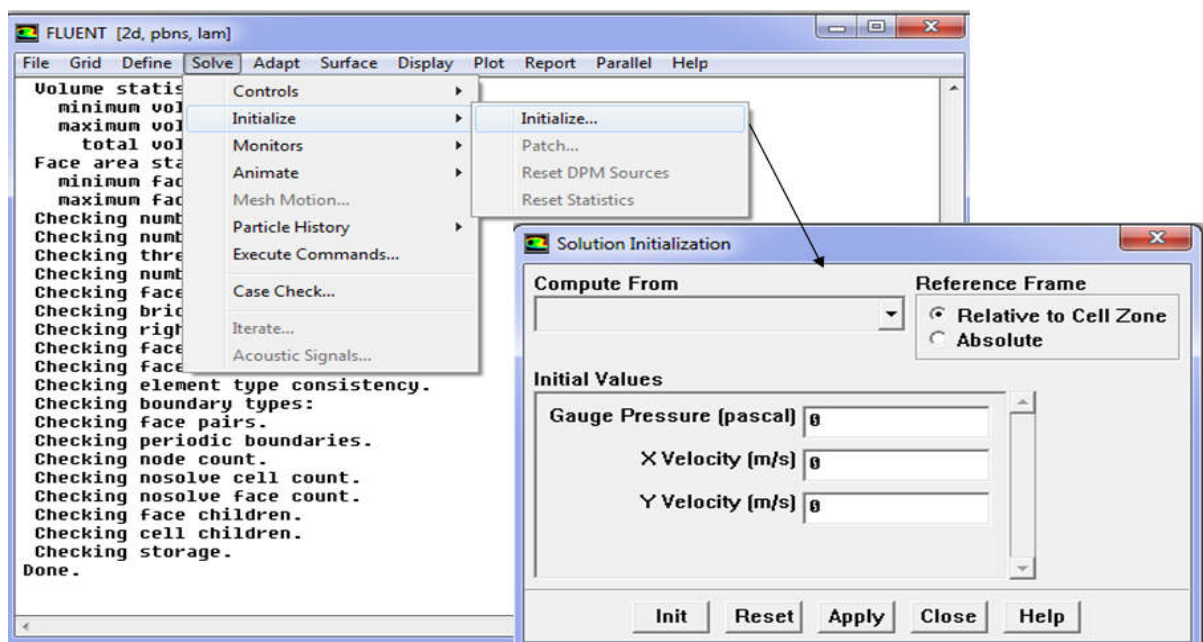
Etape 7 : Initialisation

Figure (III.15) : Initialisation des variables.

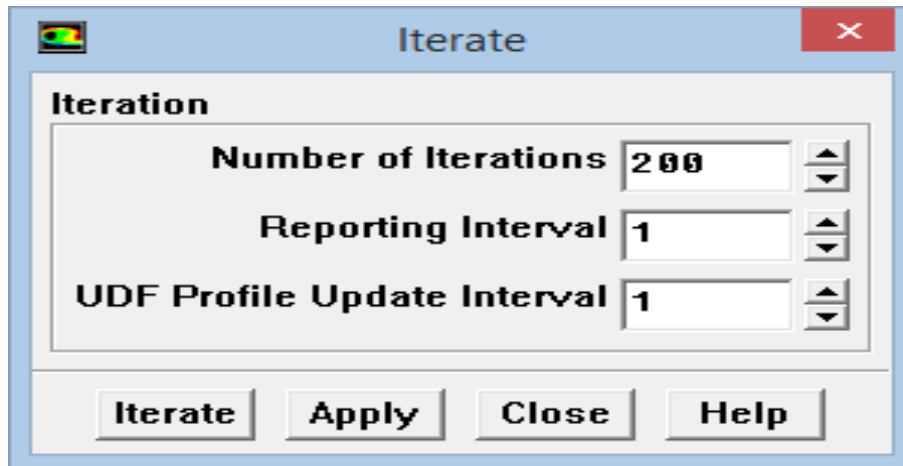
Etape 8 : Lancement du calcul

Figure (III.16) : Choisir le nombre d'itération et lancement du calcul.

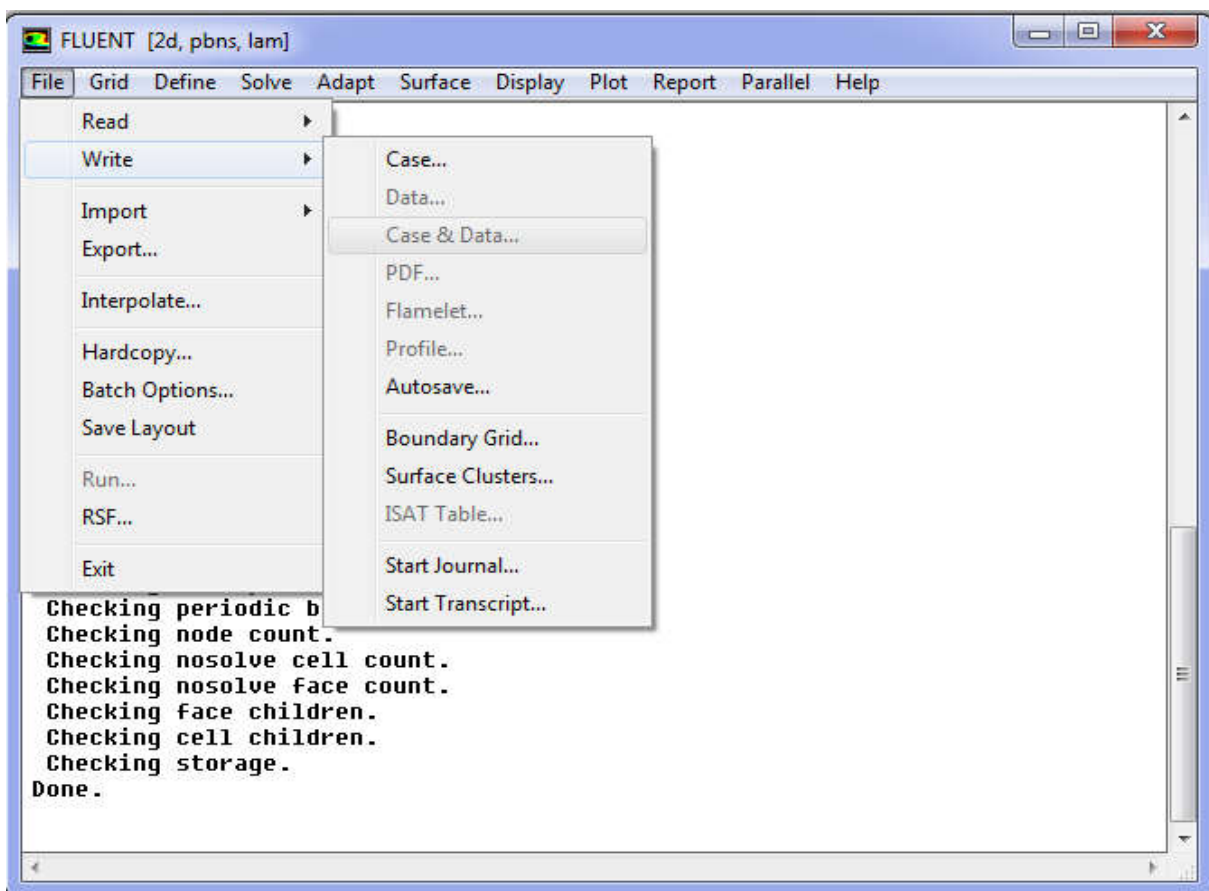
Etape finale : Enregistrement des résultats

Figure (III.17) : Sauvegarder les résultats de la simulation.

CHARITRE IV:
RESULTATS ET DESCUSSIONS

IV .1 Introduction

Nous rappelons que notre objectif est d'étudier l'effet du gradient de température sur l'écoulement d'air en régime permanent et laminaire dans une cheminée solaire. La simulation numérique est réalisée par le logiciel Fluent, le phénomène de la convection naturelle dans une cheminée solaire est représenté par les équations différentielles de la conservation de la masse, de la quantité de mouvement et l'équation d'énergie avec l'introduction de l'approximation de Boussinesq dans l'équation de quantité de mouvement.

Nous avons choisi un cheminée solaire avec les dimensions suivantes, un rayon du collecteur de $R = 1\text{m}$ et d'une hauteur de $h = 25\text{cm}$ et une cheminée de rayon $r = 10\text{cm}$ est d'une hauteur de $H = 2\text{m}$.

IV .2 Résultats de simulation

Les résultats sont présentés sous la forme des lignes de courants, champs de vitesse et les isothermes qui représentent les contours à température constantes pour cinq valeurs de l'écart de température avec $\Delta T = T_c - T_f$.

IV .2.1 Le cas de $\Delta T = 2\text{ C}^0$

Les figures (IV.1), (IV.2) et (IV.3) représentent les isothermes, les lignes de courant et le champ de vitesses respectivement pour $\Delta T = 2\text{ C}^0$.

On remarque sur la figure (IV.1) que les isothermes représentent des lignes parallèles dans la région du collecteur et commence à se déformer sous la cheminée. La température est simplement décroissante du sol vers le toit à l'intérieur du collecteur. Le transfert de chaleur dans la cheminée solaire dans ce cas se fait principalement par pseudo conduction, avec une présence d'une convection naturelle mais très faible au niveau de l'entrée de la cheminée.

Sur la figure (IV.2) on remarque la présence de trois cellules de convection, une cellule principale de grande taille située dans le centre de cheminée et deux autres situées à l'intérieur du collecteur. La figure (IV.3) représente la distribution de la vitesse de l'air dans la cheminée, la valeur de vitesse maximale de l'air est de $V_{\max} = 4,55 \cdot 10^{-3}\text{ m/s}$ ce qui représente un écoulement très faible relatif à cet écart de température de $\Delta T = 2\text{ C}^0$.

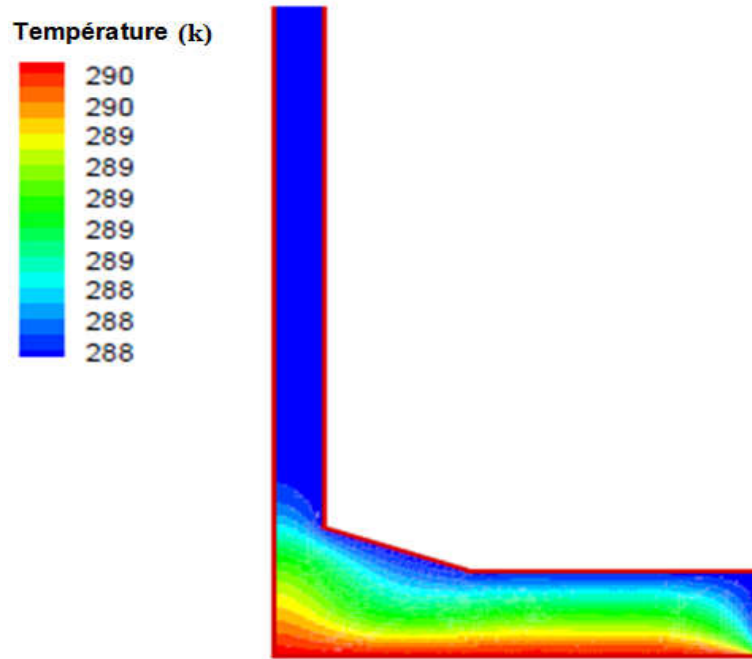


Figure (IV.1) : Les isothermes pour $\Delta T=2\text{ C}^0$.

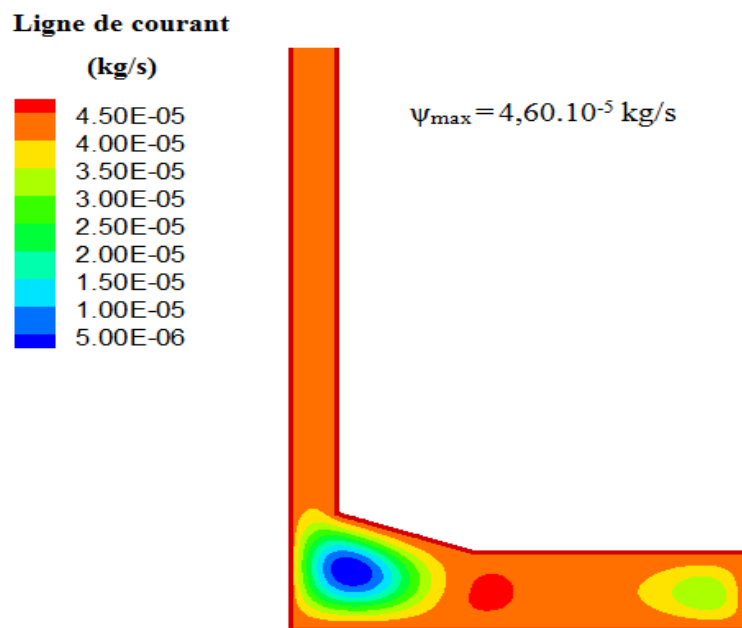


Figure (IV.2) : Les lignes de courant pour $\Delta T=2\text{ C}^0$.

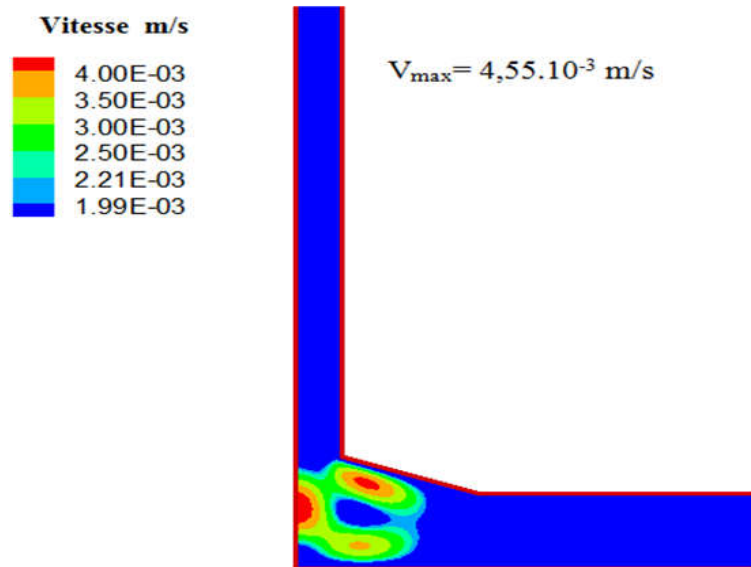


Figure (IV.3) : Contours des vitesses pour $\Delta T=2\text{ C}^0$.

IV .2.2 Le cas de $\Delta T=5\text{ C}^0$

Les figures (IV.4), (IV.5) et (IV.6) représentent respectivement les isothermes, les lignes de courant et le champ de vitesses pour $\Delta T=5\text{ C}^0$.

Sur la figure (IV.4) on remarque qu'avec l'augmentation de l'écart de la température $\Delta T=5\text{ C}^0$, les isothermes commencent à se déformer dans tout l'espace de la cheminée solaire ce qui interprète l'intensification de la convection naturelle mais qui reste relativement faible est le régime de pseudo conduction domine toujours le transfert de chaleur au sein de la cheminée.

La figure (IV.5) illustre les lignes de courant où on constate la multiplication des cellules contrarotatives avec une augmentation de leurs tailles. La cellule principale située au centre de la cheminée se déplace vers le haut. La valeur maximale de la fonction de courant a augmentée $\psi_{\max}=1,40.10^{-4}\text{ kg/s}$. la configuration de cet écoulement se distingue par la présence des cellules juxtaposées qui représentent le phénomène de Rayleigh-Bénard caractérisant la convection naturelle.

Sur la figure (IV.6) nous avons la distribution de la vitesse au sein de la cheminée solaire, où nous constatons l'augmentation des valeurs de la vitesse avec l'augmentation du gradient de température notamment dans la région centrale à la base de la cheminée qui représente une zone d'instabilités pour l'écoulement. La valeur de la vitesse maximale est de $V_{\max}=1,20.10^{-2}\text{ m/s}$, donc la vitesse a doublé pour une légère augmentation de température.

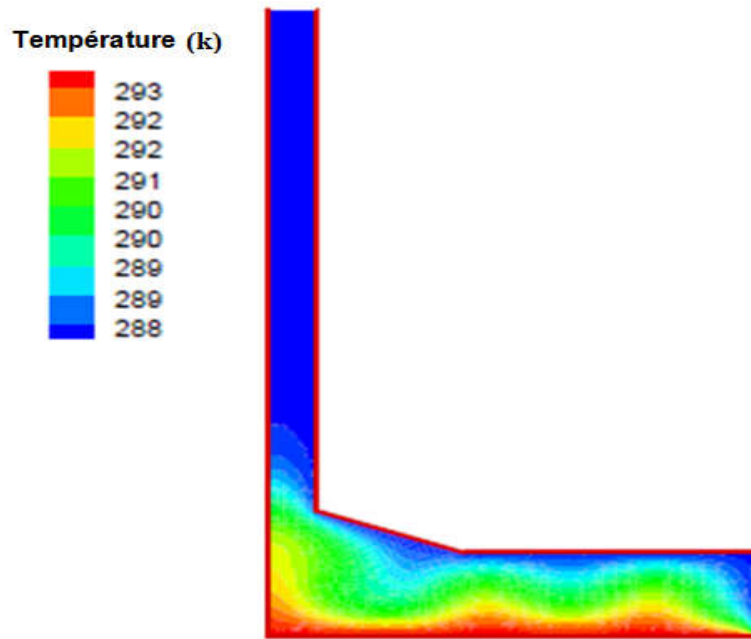


Figure (IV.4) : Les isothermes pour $\Delta T=5\text{ C}^0$.

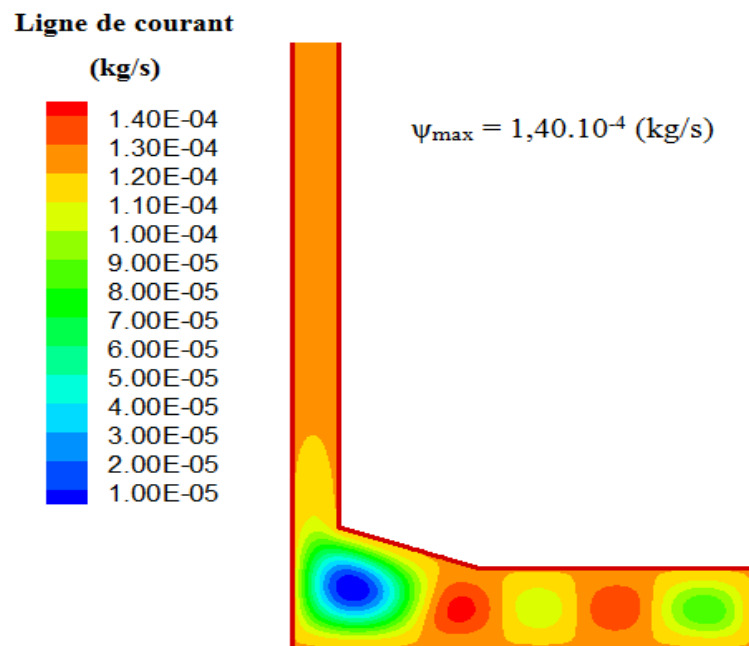


Figure (IV.5) : Les lignes de courant pour $\Delta T=5\text{ C}^0$.

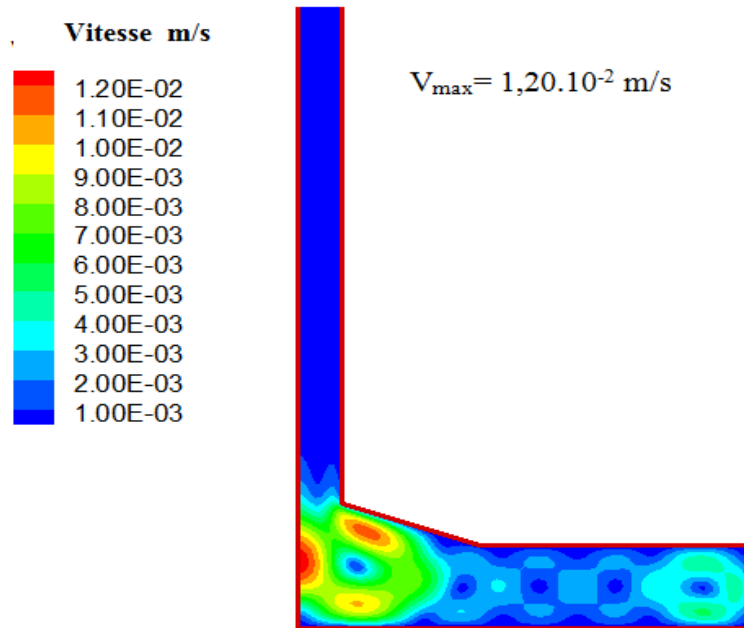


Figure (IV.6) : Contours des vitesses pour $\Delta T = 5 \text{ C}^0$.

IV .2.3 Le cas de $\Delta T = 10 \text{ C}^0$

Sur la figure (IV.7) on remarque un changement important dans la distribution de la température pour le gradient de $\Delta T = 10 \text{ C}^0$, les isothermes se déforment dans tout l'espace de la cheminée solaire ce qui traduit l'ampleur importante de la convection naturelle, on remarque également une ascension de la chaleur à travers la cheminée.

La figure (IV.8) montre les cinq cellules juxtaposées qui tournent dans des sens opposés. La valeur maximale de la fonction de courant a augmenté pour atteindre $\psi_{\max} = 5,32 \cdot 10^{-4} \text{ kg/s}$.

La distribution de la vitesse de l'air représentée sur la figure (IV.9) illustre une augmentation importante des vitesses de l'écoulement suite à l'augmentation du gradient de température. Les valeurs maximales des vitesses sont toujours situées à l'entrée de la cheminée. La valeur maximale est de $V_{\max} = 4,30 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$, donc une augmentation sensible de la vitesse.

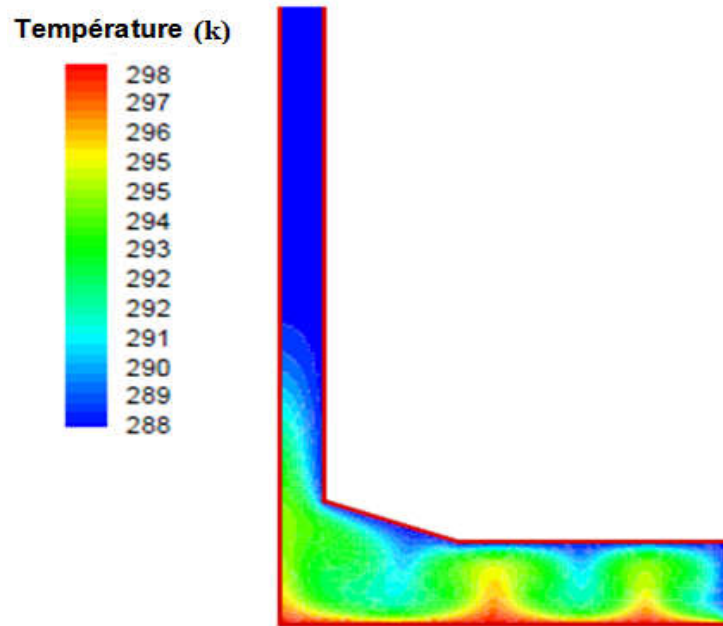


Figure (IV.7) : Les isothermes pour $\Delta T=10\text{ C}^0$.

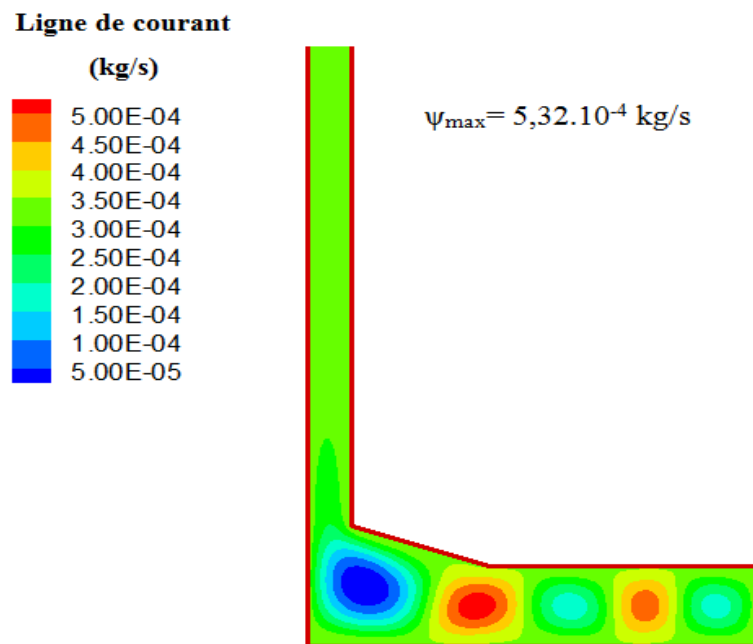


Figure (IV.8) : Les lignes de courant pour $\Delta T=10\text{ C}^0$.

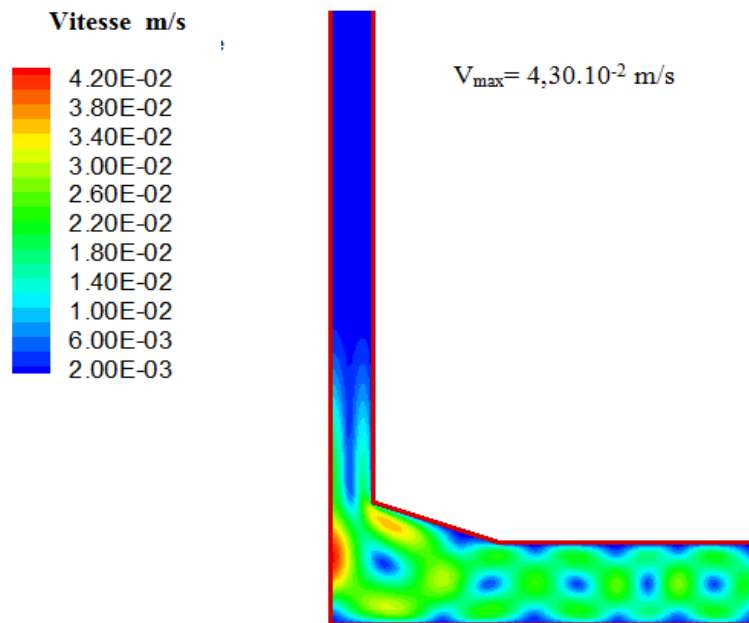


Figure (IV.9) : Contours des vitesses pour $\Delta T=10\text{ C}^0$.

IV .2.4 Le cas de $\Delta T=20\text{ C}^0$

Les figures (IV.10), (IV.11) et (IV.12) représentent respectivement les isothermes, les lignes de courant et le champ de vitesses pour $\Delta T=20\text{ C}^0$.

Sur la figure (IV.10) on constate que l'augmentation davantage de l'écart de la température entre le sol et le collecteur et a engendré une intensification de la convection naturelle interprétée par la distorsion des isothermes ainsi que l'ascension progressive de la chaleur vers le haut de la cheminée. La figure (IV.11) illustre les lignes de courant qui sont toujours représentées par la juxtaposition de cinq cellules contrarotatives avec une augmentation des valeurs de la fonction de courant ainsi qu'une déformation de la cellule centrale qui se déplace vers le haut de la cheminée sous l'effet de intensification de la convection naturelle. La figure (IV.12) représente le champ de la vitesse qui s'intensifie davantage avec l'augmentation du gradient de température la valeur de la vitesse maximale a atteint $V_{\max}=4,59.10^{-2}\text{ m/s}$.

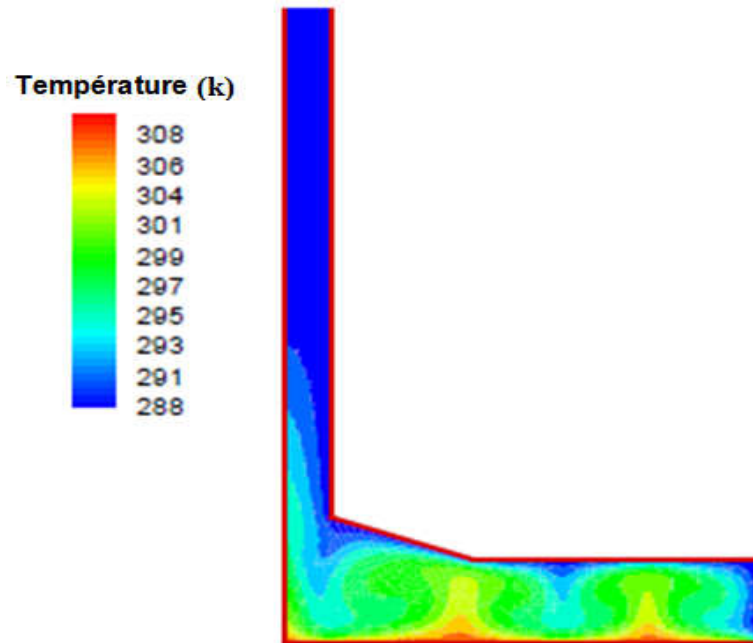


Figure (IV.10) : Les isothermes pour $\Delta T = 20\text{ C}^0$.

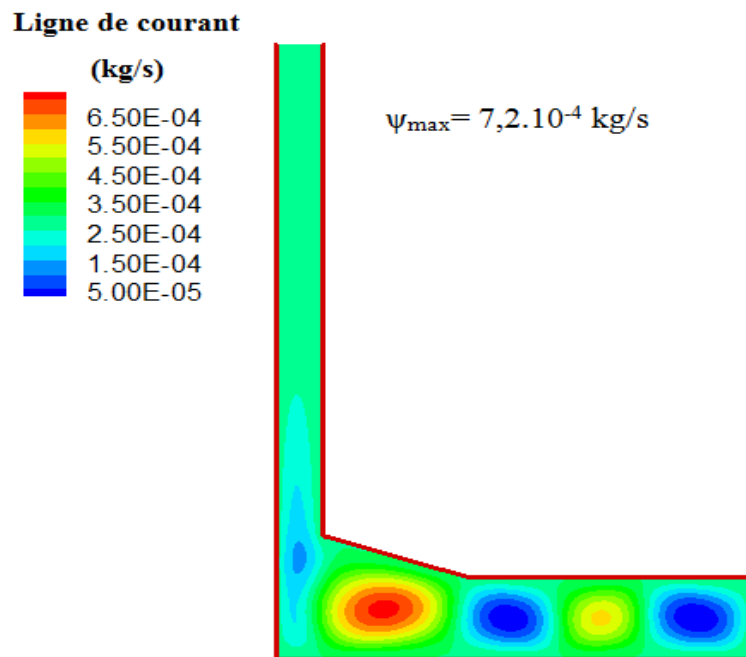


Figure (IV.11) : Les lignes de courant pour $\Delta T = 20\text{ C}^0$.

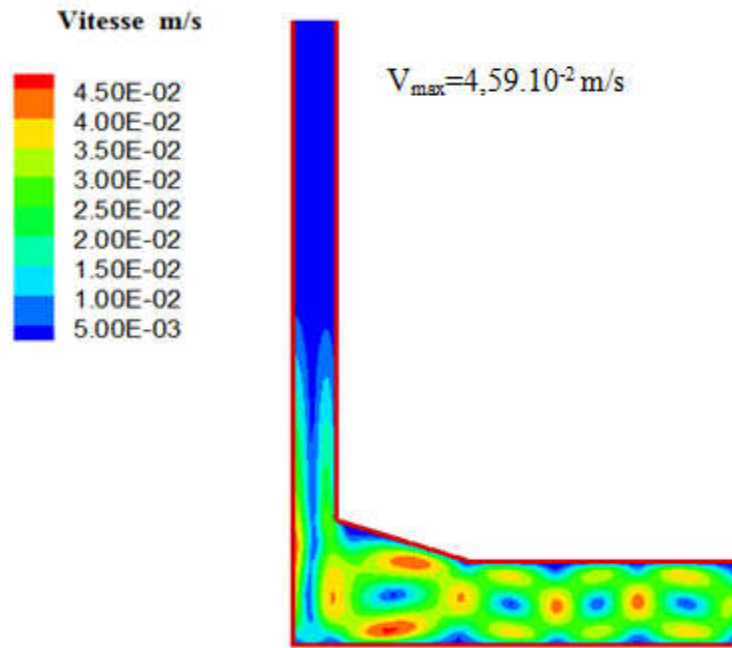


Figure (IV.12) : Contours des vitesses pour $\Delta T=20\text{ C}^0$.

IV .2.5 Le cas de $\Delta T=30\text{ C}^0$

Sur la figure (IV.13) nous remarquons que les isothermes dans cette cas se déforment davantage, cet écart de température permet l'ascension de l'air chaud a travers la cheminée et la convection naturelle dans ce cas s'intensifie davantage. La figure (IV.14) qui illustre les lignes de courant montre que les cellules se confondent et fusionnent sous l'effet de l'intensification. La configuration change de cinq cellules en trois cellules plus grandes. Nous notons que la valeur maximale de la fonction de courant a atteint $\psi_{\max} = 10^{-3}\text{ kg/s}$.

Sur la figure (IV.15) nous constatons une augmentation importante des vitesses dans tout l'espace de la cheminée solaire. La valeur maximale de vitesse est toujours située à l'entrée de la cheminée, cette valeur est de $V_{\max}=9,07.10^{-2}\text{ m/s}$, nous remarquons une multiplication de la vitesse par facteur égal à 20 par rapport au gradient de $\Delta T=2\text{ C}^0$. L'ascension de l'air chaud est plus déclarée dans ce cas car la convection naturelle a atteint un régime très développé. Les instabilités de Rayleigh-Bénard sont toujours présentes entre le sol et la surface du collecteur.

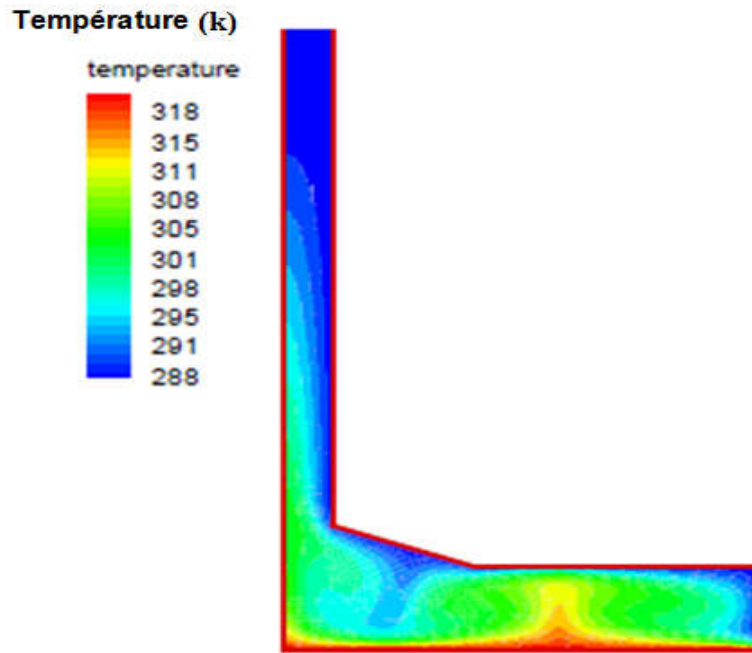


Figure (IV.13) : Les isothermes pour $\Delta T=30\text{ C}^0$.

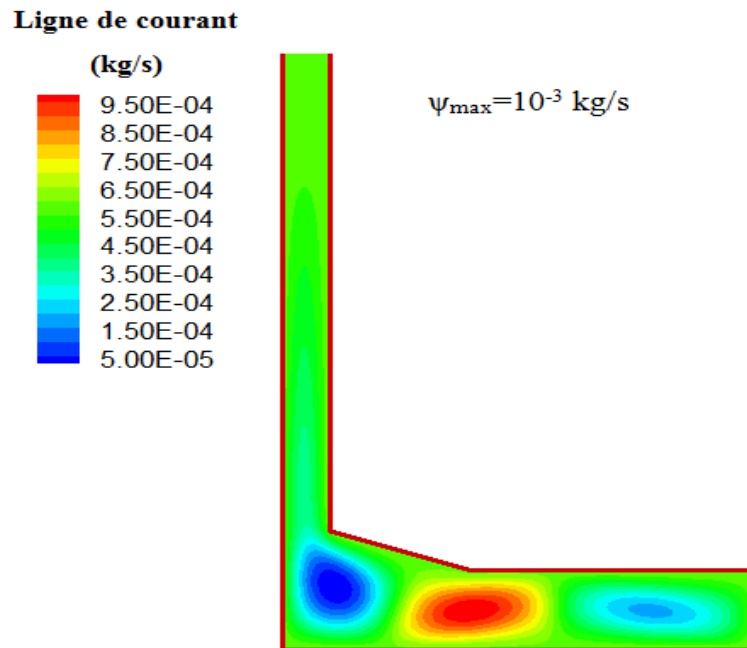


Figure (IV.14) : Les lignes de courant pour $\Delta T=30\text{ C}^0$.

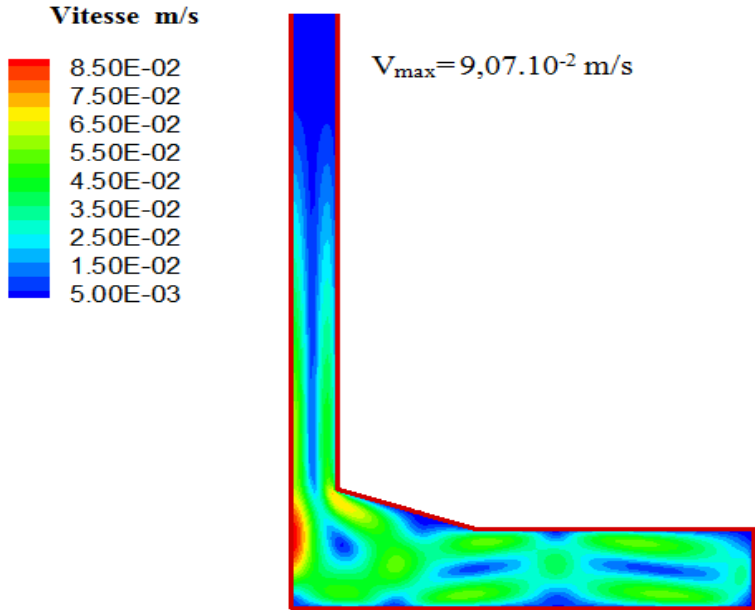


Figure (IV.15) : Contours des vitesses pour $\Delta T = 30 \text{ C}^{\circ}$.

CONCLUSION GENERALE

Nous avons étudié numériquement la convection naturelle en régime laminaire et permanent dans une cheminée solaire, les équations différentielles représentées par l'équation de la continuité, l'équation du mouvement et l'équation d'énergie en coordonnées cylindrique, avec l'approximation de Boussinesq. Le but est d'étudier l'effet du gradient de température sur l'écoulement de l'air régi la convection naturelle. La simulation numérique est réalisée en utilisant le logiciel Fluent qui traite les équations de la convection naturelle par la méthode des volumes finis.

La simulation numérique est effectuée sur une moitié de la géométrie bidimensionnelle par rapport à l'axe de symétrie. Nous avons utilisé cinq valeurs du gradient de température allant de 2° jusqu'à 30° degré Celsius. Les résultats de simulation sont présentés sous la forme d'isothermes, lignes de courant et contours des vitesses pour différentes valeurs du gradient thermique qui représente l'écart de température entre le sol et la surface du collecteur.

Les résultats de la simulation numérique nous montrent que pour un gradient de température faible de l'ordre de $\Delta T=2\text{ C}^0$ et $\Delta T=5\text{ C}^0$, les isothermes représentent des lignes parallèles et la température décroît graduellement de la surface chaude du sol vers la surface froide du collecteur, la convection naturelle dans ce cas est très faible et l'air est considéré comme stagnant, la chaleur est transférée dans ce cas par une pseudo conduction.

Pour une valeur de l'écart de température $\Delta T=10\text{ C}^0$, la convection naturelle commence à prendre de l'ampleur avec l'apparition des cellules juxtaposées où on voit un phénomène de Rayleigh-Bénard. La vitesse de l'air augmente avec l'augmentation du gradient de température mais reste faible car l'espace où se développe la convection naturelle est très petit par rapport à des cheminées solaires réelles.

Avec l'augmentation du gradient de température pour le cas de $\Delta T=20\text{ C}^0$ et de $\Delta T=30\text{ C}^0$, les isothermes se déforment davantage dans tout l'espace de la cheminée solaire et la convection naturelle s'intensifie davantage et cela est interprété par l'apparition de plusieurs cellules contrarotatives avec une augmentation importantes de la valeur de la fonction de courant ainsi que les valeurs des vitesses.

Dans ce cas l'écoulement de l'air est dominé par le mécanisme de la convection naturelle. Le phénomène de Rayleigh-Bénard représenté par les cellules contrarotatives apparaît toujours dans la région entre le sol et le collecteur.

La région sous la cheminée est caractérisée par des vitesses maximales de l'air où la pose des turbines est recommandée pour recevoir le maximum de flux d'air généré par la convection naturelle dans le but de produire le maximum d'énergie électrique.

Ce travail peut être amélioré dans le futur par une étude de l'effet des différents paramètres géométriques sur la convection naturelle, avec une considération des dimensions d'un prototype réel afin de faire une validation qualitative et quantitative avec des résultats expérimentaux.

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] <https://dept-wp.nmsu.edu/activities/sample-page/solar/>
- [3] <http://www.except.nl/en/articles/93-solar-updraft-tower-upgrade>
- [4] <https://3dwarehouse.sketchup.com/model/4c37ceace27d7e8ae88464b900e0eced/Solar-Thermal-Tower>
- [5] [http://www.wikiwand.com/fr/Tour_solaire_\(chemin%C3%A9e\)](http://www.wikiwand.com/fr/Tour_solaire_(chemin%C3%A9e))
- [6] <http://pratclif.com/sustainability/solar%20flue.htm>
- [7] **W. Haaf**, Preliminary Test Results from the Manzanares Pilot Plant, International Journal of Solar Energy, 2, No. 2, pp. 141–161, (1983).
- [8] **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.
- [9] <https://www.sbp.de/en/project/solar-chimney-pilot-plant-manzanares/>
- [10] <http://www.enviromission.com.au>
- [11] **Y.J. Dai , H.B. Huang , R.Z. Wang** : Case study of solar chimney power plants in Northwestern regions of China, Institute of Refrigeration and Cryogenics, Shanghai Jiao Tong University, 200030, Shanghai, China, Agriculture College, Ningxia University, Yinchuan, 750000, Ningxia Hui Autonomous Region, China, Renewable Energy 28 (2003) 1295–1304.
- [12] **M.A. dos S. Bernardes , A. Voß , G. Weinrebe**: Thermal and technical analyses of solar chimneys, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendungen, Universität Stuttgart, Heßbrühlstraße 49a, D-70565 Stuttgart, Germany, Schlaich Bergemann und Partner, Hohenzollernstr. 1, D-70178 Stuttgart, Germany, Solar Energy 75 (2003) 511–52.

- [13] **T. Von Backström and A. Gannon**, "Solar chimney turbine characteristics," *Solar energy*, vol. 76, pp. 235-241, 2004.
- [14] **M. Denis Bonnelle**, "tour solaire, tour à 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.
- [15] **Toufik Chergui**, "modélisation des écoulements dans les cheminées solaires", mémoire de magister E.N.P, 2007.
- [16] **X. Zhou, J. Yang, B. Xiao, and G. Hou**, "Simulation of a pilot solar chimney thermal power generating equipment," *Renewable Energy*, vol. 32, pp. 1637-1644, 2007.
- [17] **M. Tingzhen, L. Wei, X. Guoling, X. Yanbin, G. Xuhu, and P. Yuan**, "Numerical simulation of the solar chimney power plant systems coupled with turbine, "*Renewable Energy*, vol. 33, pp. 897-905, 2008.
- [18] **Mourad Gahgah** "Influence des régimes d'écoulements sur les performances énergétiques des cheminées solaires", mémoire de magister, E.N.P, 2008.
- [19] **Clever Ketlogetswe, Jerzy K. Fiszdon, Omphemetse O. Seabe**, Solar chimney power generation project - The case for Botswana, Department of Mechanical Engineering, University of Botswana, P.O. 0061, Gaborone, Botswana Minnesota State University, Mankato, MN, USA, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12 (2008) 2005–2012.
- [20] **Tayebi Tahar**, "processus de la convection naturelle laminaire dans une cheminée solaire", mémoire de magister, 2010.
- [21] **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.
- [22] **Akchiche Zineb**, "étude de comportement d'une cheminée solaire en vue de l'isolation thermique", mémoire de magister, 2011.
- [23] **Ismail Zabat**, " étude numérique de l'efficacité dimensionnelle d'une cheminée solaire", mémoire de master, 2011.

- [24] **Sylvain Leroy**, “ étude d'un nouveau système solaire hybride pour produire de l'eau en utilisant l'énergie solaire”, stage de fin d'étude, Charles Darwin university, Australia, 2011.
- [25] **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.
- [26] **Boualleg Salim Mekki**, “analyse des performances énergétiques des centrales cheminées solaires par utilisation de différents modèles mathématiques”, mémoire de magister, 2012.
- [27] **Khalidi Sabrina**, “étude numérique de la ventilation naturelle par la cheminée solaire”, Mémoire de magister (2013).
- [28] **Olivier Farges**, “conception optimale de centrales solaires a concentration : application aux centrales à tour et aux installations "beam down" ”, thèse de doctorat, 2014.
- [29] **Cheloufi Djassem**, “réalisation et expérimentation d'une cheminée solaire”, mémoire de master, 2014.
- [30] **Charles Garnier**, “ modélisation numérique des écoulements ouverts de convection naturelle au sein d'un canal vertical asymétriquement chauffe ”, thèse de doctorat, 2014.
- [31] **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.
- [32] **Samir Djimli**, Abla Chaker, “numerical analysis of the turbulent heat transfer in a solar chimney”, international journal of smart grid and clean energy, vol. 4, no. 4, October, 2015.
- [33] **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.
- [34] **Penghua Guo et al**, “numerical study on the performance of a solar chimney power plant”, energy conversion and management 105, pp.197–205, 2015.
- [35] **Bahache Hadjer**, Simulation numérique de la convection naturelle dans une cheminée solaire, mémoire de master académique, Université Mohamed Boudiaf-M'sila, 2017.

[36] **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.

[37] **Schlaich. J, And Schiel. W**, Solar Chimneys. Encyclopedia of Physical Science and Technology, pp. 99-109, 2004.

[38] **Schlaich. J**, The solar chimney: Electricity from the sun. In : Maurer C, editor. Germany: Geislingen; 1995.

ملخص :

يتعلق هذا العمل بمحاكاة عددية لتدفق الهواء الناتج عن الحمل الحراري الطبيعي في مدخنة شمسية. المعادلات التفاضلية للحمل الحراري الطبيعي هي معادلة الاستمرارية، معادلة الحركة ومعادلة الحرارة في إحداثيات أسطوانية مع إدخال تقريب Boussinesq. يتم استخدام طريقة الحجوم المحدودة من قبل برنامج Fluent لحل المعادلات. ويعتبر تدفق الهواء صفيحي، ثابتة وغير قابل للضغط، حيث افترضنا أن درجة حرارة جدران الجامع والبرج ثابتة ($T_c > T_f$ الأرضية و T_f الجدران حيث $T_f < T_c$). أظهرت نتائج المحاكاة أن تدفق الهواء في المدخنة الشمسية يعتمد بشكل أساسي على قيمة تدرج درجة الحرارة بين الأرضية و سطح المجمع.

الكلمات المفتاحية : تدفق صفيحي، المدخنة الشمسية، الحمل الحراري الطبيعي، المحاكاة العددية، طريقة الأحجام المنتهية.

Abstract :

This work concerns a numerical simulation of the airflow generated by natural convection in a solar chimney. The differential equations of natural convection are the continuity equation, the equation of motion and the equation of heat in cylindrical coordinates with the introduction of the Boussinesq approximation. The finite volume method is used by Fluent for the resolution of the equations. The flow of the air is considered laminar, stationary and incompressible. The temperature of the walls are constant ($T_c > T_f$). The results of the simulation showed that the airflow in the solar chimney depends mainly on the value of the temperature gradient.

Keywords : Laminar flow, solar chimney, natural convection, numerical simulation, finite volume method.

Résumé :

Ce travail concerne une simulation numérique de l'écoulement d'air généré par la convection naturelle dans une cheminée solaire. Les équations différentielles de la convection naturelle sont l'équation de la continuité, l'équation du mouvement et l'équation de la chaleur dans les coordonnées cylindriques avec l'introduction de l'approximation de Boussinesq. La méthode des volumes finis est employée par logiciel Fluent pour la résolution du système d'équations. L'écoulement de l'air est considéré laminaire, stationnaire et incompressible, les températures des parois sont constantes ($T_c > T_f$). Les résultats ont montré que l'écoulement de l'air dans la cheminée solaire dépend principalement de la valeur du gradient de température.

Mots Clés : Ecoulement laminaire, Cheminée solaire, convection naturelle, simulation numérique, méthode des volumes finis.