

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Génie Civil

Spécialité : Structures : Efficacité Energétique Dans Les Bâtiments de Construction

Par: SEFROU Ahmed Yacine
BETTIOUI Mohammed Riad

Sujet

SIMULATION NUMERIQUE DE LA VENTILATION D'UN LOCAL

Soutenu publiquement, le 08 / 06 / 2023, devant le jury composé de :

Mme AYAD Fatima	MCB	Université de Tlemcen	Président
M ^r SELKA Ghouti	MCB	Université de Tlemcen	Examineur
M ^r HENAOUI Mustapha	Dr	Université de Tlemcen	Encadrant
Mme BENAHMED Lamia	MCB	Université de Tlemcen	Co-Encadrant

Remerciement

Ce présent travail a été réalisé au sein de laboratoire de la thermodynamique à la faculté de technologie -Université d'Abou Bekr Belkaid- Tlemcen

Avant tous, nous remercions Dieu le tout puissant qui nous a aidé et donné la volonté et le courage d'entamer et de terminer ce mémoire.

Ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de M^r. **HENNAOUI Mustapha** et M^{me} **BENAHMED Lamia**, leur expertise dans le domaine a été déterminante dans les orientations prises dans ce travail. Nous les remercions pour la qualité de leur encadrement exceptionnel, pour leur patience, leur rigueur, leur disponibilité, leurs conseils éclairés et les encouragements durant notre préparation de ce mémoire.

Que M^{me} **AYAD Fatima**, trouve nos meilleurs remerciements d'avoir accepté de présider le jury de la soutenance.

Nos sincères remerciements vont à M^r **SELKA Ghouti**, pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'examiner ce travail.

En cette occasion spéciale de notre fin d'étude, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à nos professeurs et nos familles et à vous adresser nos sincères remerciements pour votre soutien tout au long de nos parcours académique. Votre présence et votre appui ont été essentiels pour notre succès.

Dédicace

A l'aide de Dieu tout puissant, qui trace le chemin de ma vie j'ai pu arriver à réaliser ce modeste travail que je dédie à tous ceux qui me sont chers,

*A la mémoire de mon père **MOHAMED EL AMINE***

Ce travail est dédié à mon père, décédé trop tôt, qui m'a toujours poussé et motivé dans mes études. Puisse Dieu, le tout puissant, l'avoir en sa sainte miséricorde.

*A la femme la plus chère à mon cœur, ma mère **FAIZA***

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consentie pour mon instruction et mon bien être. Je vous remercie pour tous le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours. Puisse Dieu, le tout puissant, vous accorder santé, bonheur et longue vie.

*A mes chères sœurs : **Zeyneb, Wafa et Chaïmaa ghízlène***

A ma grand-mère

A mes tantes et mes oncles A mes cousins et cousines

*A mon binôme **Riad***

S. Ahmed Yacine

Dédicace

*Je dédie ce mémoire ... A ceux qui m'ont transmis l'éducation, le sérieux
et beaucoup de valeurs humaines :*

À mes parents :

*A ma mère, pour sa gentillesse, son affection, sa douceur, sa tendresse, se
encouragements éternels et qui sans elle rien n'aurait été possible.*

*A mon père, pour son attachement, sa vive compassion à ma réussite et
surtout pour sa compréhension et sa patience.*

*A mon cher frère **Wadie** pour son soutien et sa compréhension.*

*A mes sœurs **Hidayet**, **Wissem** «Titia » et ma Fiancée **Yasmine** pour
leurs soutient, leurs patience et tendresse qui ont toujours représenté à
mes yeux des exemples à suivre.*

*A mes amis et tous ceux qui me **CHERS***

*A mon binôme **Yassine***

B. RIAD

Résumé

Ce travail présente une étude numérique bidimensionnelle des phénomènes de la convection mixte turbulente dans différentes configurations de cavités ventilées. La géométrie considérée des différentes configurations à une paroi supérieure à une température de 302.15°K, les autres parois sont à une température de 298.15°K.

Les équations du modèle mathématique considéré sont établies et discrétisées par la méthode des volumes finis sous le code de calcul numérique commercial FLUENT. Le modèle de turbulence k-ε standard est choisi pour modéliser l'écoulement turbulent et l'algorithme Simple est utilisé afin de surmonter le couplage vitesse – pression.

Nous avons analysé numériquement la dynamique et la thermique de l'écoulement à l'aide du logiciel CFD « Fluent 6.3 ». Selon les dimensions et la forme géométrie de quatre configurations considérées, l'entrée étant fixe et disposée en bas de la paroi gauche. Les résultats obtenus pour l'efficacité de la ventilation sont donnés en termes de contours de la vitesse, profils des vitesses à la sortie, valeurs moyennes de la vitesse à l'intérieur des configurations, valeurs moyenne des de l'énergie cinétique turbulente, contour de l'énergie cinétique turbulente, contour des températures, valeurs des température moyenne à l'intérieur des configurations, et de la distribution de la température à la sortie de chaque configuration.

Mots-clés : Convection mixte ; Confort thermique ; Simulation numérique.

Abstract

This work presents a two-dimensional numerical study of the phenomena of turbulent mixed convection in different configurations of ventilated cavities. The considered geometry of the different configurations has an upper wall at a temperature of 302.15°K, the other walls are at a temperature of 298.15°K.

The equations of the considered mathematical model are established and discretized by the finite volume method under the commercial numerical calculation code FLUENT. The standard k-ε turbulence model is chosen to model the turbulent flow and the Simple algorithm is used to overcome the velocity - pressure coupling.

We numerically analyzed the flow dynamics and thermal using the CFD software "Fluent 6.3". According to the dimensions and geometry shape of four configurations considered, the inlet being fixed and arranged at the bottom of the left wall. The results obtained for the efficiency of the ventilation are given in terms of velocity contours, velocity profiles at the outlet, average values of the velocity inside the configurations, average values of the turbulent kinetic energy, contour of the turbulent kinetic energy, contour of the temperatures, values of the average temperature inside the configurations, and of the temperature distribution at the outlet of each configuration.

Keywords: Mixed convection; Thermal comfort; Numerical simulation.

ملخص

يقدم هذا العمل دراسة عددية ثنائية الأبعاد لطواهر الحمل الحراري المختلط المضطرب في تكوينات مختلفة من التجاويف المتهواة. الهندسة المدروسة للتكوينات المختلفة في الجدار العلوي عند درجة حرارة 302.15 درجة مئوية، بينما الجدران الأخرى عند درجة حرارة 298.15 درجة مئوية. يتم إنشاء معادلات النموذج الرياضي المدروس وتقديرها بطريقة الحجم المحدود باستخدام رمز الكمبيوتر الرقمي التجاري FLUENT. يتم اختيار نموذج k-المضطرب القياسي لنموذج التدفق المضطرب ويتم استخدام الخوارزمية simple للتغلب على اقتران السرعة والضغط.

قمنا بتحليل ديناميكيات وخصائص التدفق عددياً باستخدام برنامج CFD "Fluent 6.3" وفقاً للأبعاد والشكل الهندسي لأربعة تكوينات، يتم تثبيت المدخل وترتيبه في أسفل الجدار الأيسر. النتائج التي تم الحصول عليها لكفاءة التهوية معطاة من حيث ملامح السرعة، وملامح سرعة الخروج، والقيم المتوسطة للسرعة داخل التكوينات، والقيم المتوسطة للطاقة الحركية المضطربة، والطاقة الحركية المضطربة الكنتورية، ومحيط درجة الحرارة، متوسط قيم درجة الحرارة داخل التكوينات، وتوزيع درجات الحرارة عند خروج كل تكوين.

الكلمات الرئيسية: الحمل الحراري المختلط، الراحة الحرارية، محاكاة رقمية.

Table des matières

Résumé	
Abstract	
ملخص	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Nomenclature	
Introduction générale.....	1
" Chapitre 01 : Généralités sur la ventilation"	
1.1 Introduction	2
1.2 Les types de la ventilation.....	2
1.2.1 La ventilation simple flux par extraction	2
1.2.1.1 La ventilation simple flux par soufflage	3
1.2.1.2 La ventilation double flux.....	4
1.2.1.3 Le traitement d'air par centrale à mélange air neuf / air repris.....	4
1.2.2 Les types de ventilation naturelle.....	4
1.2.2.1 La ventilation naturelle par ouverture des fenêtres	4
1.2.2.2 La ventilation naturelle par conduits verticaux.....	4
1.2.2.3 Ventilation naturelle assistée par l'énergie solaire	5
1.2.3 Avantages de la ventilation naturelle.....	5
1.3 Les fonctions de la ventilation	5
1.4 Le confort.....	6
1.4.1 Le confort respiratoire.....	6
1.4.2 Le confort thermique	7
1.4.3 Le confort pour la santé.....	7
1.4.4 Le confort pour le bâtiment.....	7
1.5 Comment faire la ventilation ou l'aération	7
1.6 Différentes cavités utilisé en ventilation naturelle	8
1.6.1 Le mur trombe.....	8
1.6.2 La façade à double peau	10
1.6.3 Les écopos.....	11
1.6.4 Les tours à vent.....	12
1.6.5 Les dômes	13
1.6.6 La cheminée solaire	14
1.6.6.1 Effet de cheminée.....	16
1.6.6.2 Principe d'écoulement.....	16
1.6.6.3 Critères d'évaluation de l'efficacité de ventilation	16
1.7 Efficacité du renouvellement d'air.....	16
1.7.1 Indice d'efficacité de renouvellement d'air.....	17
1.7.2 Taux de renouvellement d'air	17
1.8 Conclusion.....	18
"Chapitre 02 : Formulation du Problème"	
2.1 Introduction	19

2.2	Le But de l'étude.....	19
2.3	Modèle physique	20
2.3.1	Première cas : Local avec une hauteur normal	20
2.3.2	Deuxième cas : Local avec une hauteur élevé	20
2.3.3	Troisième cas : Local avec une coupole.....	20
2.3.4	Quatrième cas : Local avec une coupole ouverte et une Toure	21
2.4	Hypothèses simplificatrices	22
2.5	Calcul numérique	22
2.6	Les différentes méthodes numériques de discrétisation.....	22
2.6.1	Méthode des différences finis	23
2.6.2	Méthode des éléments finis	23
2.7	La méthode des volumes finis.....	23
2.7.1	Avantages et inconvénients :	24
2.8	Principe de la méthode des volumes finis	24
2.8.1	Maillage.....	24
2.8.2	Discrétisation des équations gouvernantes.....	25
2.8.3	Les équations gouvernantes.....	25
2.8.3.1	Equation de continuité	25
2.8.3.2	Equation de la conservation de la quantité de mouvement	25
2.8.3.3	Equation de la conservation de l'énergie.....	25
2.9	Approximation de Boussinesq.....	26
2.10	Le modèle de turbulence	26
2.11	Les nombres adimensionnels	26
2.11.1	Le nombre de Reynolds	26
2.11.2	Le nombre de Prandtl	27
2.11.3	Le nombre de Nusselt.....	27
2.11.4	Nombre de Rayleigh.....	27
2.12	Les conditions aux limites.....	27
2.13	Conclusion.....	28
"Chapitre 03 : Simulation numérique"		
3.1	Introduction	29
3.2	Définition CFD.....	29
3.2.1	Le rôle de CFD.....	29
3.2.2	Les domaines d'utilisation de CFD dans l'industrie	30
3.3	Lancement de Gambit.....	30
3.3.1	Création de la géométrie	32
3.3.2	Le maillage et les conditions aux limites.....	32
3.3.2.1	Maillage	32
3.3.2.2	Les conditions aux limites	33
	La figure ci-dessous présente le choix des conditions aux limites.	33
3.3.3	Exportation du maillage de Gambit	34
3.4	Définition de Fluent.....	34

3.4.1 Lancement de Fluent.....	35
3.4.2 Importation de la géométrie	36
3.4.3 Les conditions aux limites.....	37
3.4.4 Controls solution.....	39
3.4.5 Solution initialization : solve-initializ-initializ	40
3.4.6 Allures de l'évolution des résidus de calcul.....	40
3.4.7 Critère de convergence	40
3.5 Conclusion.....	41
"Chapitre 04 : Résultats et Interprétations"	
4.1 Introduction.....	42
4.2 Maillages	42
4.3 Les lignes de courant.....	42
4.4 Distribution de la Vitesse axiale	44
4.5 Distribution de l'énergie cinétique.....	47
4.6 Distribution de la Temperature totale.....	49
4.7 Conclusion.....	53
Conclusion générale	54

Liste des figures

" Chapitre 01 : Généralités sur la ventilation"

Figure 1.1 : Ventilation simple flux par extraction [11].....	3
Figure 1.2 : Ventilation simple flux par insufflation.	3
Figure 1.3 : Représentation de la VMC double flux. [11].....	4
Figure 1.4 : Illustrations de la ventilation naturelle par conduits verticaux. [15].....	5
Figure 1.5 : Diagramme schématique de trois types de cavité pour le chauffage passif et la ventilation naturelle. [7]	8
Figure 1.6 : Mur trombe [2].....	9
Figure 1.7 : Mur Trombe utilisé comme a) ventilateur, b) chauffage.[15].....	10
Figure 1.8 : Façade double peau. [2]	10
Figure 1.9: Applications principales courantes de façade à double peau pour la commande [15].....	11
Figure 1.10: Influence de l'implantation de l'écope en toiture [8].....	12
Figure 1.11: Tour à vent à YAZD, IRAN. [14].....	13
Figure 1.12: différentes configurations des coupoles [9].	13
Figure 1.13: Les différents cas de fonctionnement des Dômes. [9]	14
Figure 1.14 : la cheminée solaire. [15]	15
Figure 1.15 : Exemple de cheminée solaire intégré sur le bâtiment. [9]	15
Figure 1.16 : Modes de ventilation, (a) par piston, (b) par mélange, et (c) en court-circuit. [7].....	17

"Chapitre 02 : Formulation du Problème"

Figure 2.1 : Local avec une hauteur normale.	20
Figure 2.2 : Local avec une hauteur élevée.	20
Figure 2.3 : Local avec une coupole(D=3).....	21
Figure 2.4 : Local avec une coupole ouverte et une toure (D=3m, Ht=5).....	21
Figure 2.5 : principe de calcul numérique.....	22

"Chapitre 03 : Simulation numérique"

Figure 3.1 :Lancement de Gambit	31
Figure 3.2: Outils de Gambit.	31
Figure 3.3:Création de la géométrie.	32
Figure3.4: Choix de maillage final.....	33
Figure 3.5: choix des conditions aux limites.....	33
Figure 3.6: Exportation du maillage.....	34
Figure3.7: Enregistrement du fichier.....	34
Figure 3.8: lancement Fluent.....	35
Figure 3.9: Importation de la géométrie.	36
Figure 3.10: Importation de la géométrie.	36
Figure 3.11: Activation de k-epsilon.....	37
Figure 3.12: Définition des matériels.....	37
Figure 3.13: Température de la paroi.	38
Figure 3.14: température d'entrer.....	38
Figure 3.15: vitesse d'entrée.	39
Figure 3.16: Choix d'ordre d'équation.....	39
Figure 3.17: Initialisation de solution.	40
Figure 3.18: Nombre d'itération.....	40
Figure 3.19: Allures de l'évolution des résidus de calcul.....	41
Figure 3.20: Nombre des itérations pour la convergence.....	41

"Chapitre 04 : Résultats et Interprétations"

Figure 4.1 : Maillage des géométrie étudiées.....	42
Figure 4.2 : Contour lignes de courant pour les configurations 1 et 2.	43
Figure 4.3 : Contour lignes de courant pour les configurations 3 et 4.	44
Figure 4.4: Contour de la vitesse axiale vitesse pour les configurations 1 et 2.....	45
Figure 4.5 : Contour de la vitesse axiale vitesse pour les configurations 3 et 4.....	46

Figure 4.6: Contour la vitesse axiale vitesse pour les configurations 1 et 2.....	47
Figure 4.7: Contour la vitesse axiale vitesse pour les configurations 3 et 4.....	48
Figure 4.8: Contour température total pour les configurations 1 et 2.....	49
Figure 4.9 : Profil de la distribution de la température et la vitesse à la sortie pour les trois vitesses(configuration1).....	50
Figure 4.10 : Profil de la distribution de la température et la vitesse à la sortie pour les trois vitesses(configuration2).....	50
Figure 4.11: Contour température total pour les configurations 3 et 4.....	51
Figure 4.12 : Profil de la distribution de la température et la vitesse à la sortie pour les trois vitesses (configuration3).....	52
Figure 4.13: Profil de la distribution de la température et la vitesse à la sortie pour les trois vitesses (configuration4).....	52

Liste des tableaux

"Chapitre 02 : Formulation du Problème"

Tableau 2.1 : Propreté thermo-physique de l'air 293K.	28
--	----

"Chapitre 04 : Résultats et Interprétations"

Tableau 4.1 : Valeur moyenne de la vitesse et de la température pour les quatre configurations.....	52
Tableau 4.2 : Valeur moyenne de la vitesse et de la température « configuration1 et configuration2 »....	53
Tableau 4.3 : Valeur moyenne de la vitesse et de la température « configuration1 et configuration2 »....	53

NOMENCLATURE

Symboles Grandeurs Unités

H : Hauteur de local [m]

L : La Longueur de Local [m]

R : Le Rayon [m]

D : Le Diamètre [m]

HT : La Hauteur Total [m]

U : La Vitesse [m/s]

V : La Vitesse [m/s]

g : La Constante de la Gravité [m/s²]

ρ : La Masse Volumique [Kg/m³]

T : Température De Local [K]

λ : Conductivité Thermique [W/m.k]

P : Pression [pas]

C_p : Chaleur Spécifique [J/Kg.K]

h : Coefficient d'échange Convectif [W/m².K]

Q : Débit Volumique [m³/s]

K : Energie Cinétique Turbulente

S : Surface D'échange [m²]

ACH : Air Change Par Heur [L/h]

α : Diffusivité thermique [m²/s]

Lettres Gracques

β : Coefficient de la dilatation

ε : taux de dissipation de l'énergie cinétique

μ : viscosité dynamique [Kg/ m .s]

Nombres adimensionnels

Re: Nombre de Reynolds.

Pr : Nombre de Prandtl.

Nu : Nombre de Nusselt.

Ra : Nombre de Rayleigh.

Gr : Nombre de Grashoff.



Introduction générale

Introduction générale

L'objectif de cette étude est d'examiner le comportement thermique des espaces de vie qui sont chauffés ou refroidis, en mettant notamment l'accent sur les espaces ventilés. L'analyse vise à comprendre l'influence de la distribution des températures et des vitesses de l'air à l'intérieur de ces espaces.

L'apport d'une ventilation adéquate dans les bâtiments revêt une importance capitale pour maintenir un environnement intérieur sain et confortable tout au long de l'année, tout en permettant de réduire la consommation d'énergie.

La ventilation naturelle joue un rôle crucial dans l'architecture traditionnelle et constitue un élément essentiel de la conception climatique des bâtiments. Elle offre de nombreux avantages tels que l'élimination des odeurs et des polluants, la régulation de l'humidité excessive et la fourniture d'oxygène pour les appareils de combustion, contribuant ainsi à maintenir un environnement sain et sécurisé pour notre bien-être.

Pour analyser la circulation de l'air dans un espace donné, il existe trois méthodes principales : l'approche expérimentale, la simulation numérique et l'utilisation de formules théoriques. Ces approches permettent de déterminer les vitesses et les températures de l'air dans l'espace, deux paramètres essentiels pour évaluer le niveau de confort.

Ce mémoire est basé sur quatre chapitres :

Chapitre 01 : généralités sur la ventilation

Chapitre 02 : formulation du problème

Chapitre 03 : simulation numérique

Chapitre 04 : résultats et interprétations

Généralités sur la ventilation

1.1 Introduction

La ventilation joue un rôle crucial sur le plan hygiénique en raison de la présence de nombreux polluants dans l'air intérieur. Elle permet de maintenir une qualité d'air sain en éliminant l'air vicié et en le remplaçant par de l'air "neuf", c'est-à-dire non contaminé. Il est essentiel de prévenir l'accumulation de polluants gazeux et d'odeurs désagréables qui peuvent nuire à la santé et au confort des occupants du bâtiment. En effet, la santé et le bien-être des occupants dépendent en grande partie de la qualité de l'environnement intérieur, qui peut être affectée par la présence de moisissures, de poussières, de dioxyde de carbone et d'autres contaminants nuisibles.

1.2 Les types de la ventilation

Ventilation mécanique contrôlée (VMC) : système de ventilation qui utilise des ventilateurs pour extraire l'air vicié de la maison et y faire entrer de l'air frais.

Ventilation naturelle : système de ventilation qui utilise les courants d'air naturels pour renouveler l'air dans un bâtiment.

Ventilation assistée : système de ventilation qui utilise à la fois des ventilateurs et la circulation naturelle de l'air pour renouveler l'air dans un bâtiment.

Ventilation par insufflation : système de ventilation qui fait entrer de l'air frais dans une pièce en utilisant un ventilateur.

Ventilation par extraction : système de ventilation qui utilise un ventilateur pour extraire l'air vicié d'une pièce.

Ventilation mécanique double flux : système de ventilation qui utilise deux ventilateurs pour extraire l'air vicié et faire entrer de l'air frais de manière contrôlée et équilibrée dans une maison.[13]

1.2.1 La ventilation simple flux par extraction

a) Dans ce système de ventilation simple flux par extraction, l'air frais provenant de l'extérieur pénètre dans les pièces principales (séjour, salon, chambres, etc.) par le biais d'ouvertures situées sur les menuiseries ou dans les coffres de volets roulants. L'air vicié, quant à lui, est évacué des pièces de service (salle de bains, cuisine, WC, etc.) grâce à un groupe d'extraction équipé d'un ventilateur. Cette méthode assure une régulation indépendante du débit d'air renouvelé par rapport aux conditions climatiques extérieures. Elle est couramment utilisée dans les bâtiments résidentiels neufs. La ventilation simple flux peut être de deux types : autoréglable ou hydro-réglable

b) **Auto réglable** : Le système permet d'ajuster de façon automatique le débit d'extraction d'air dans les pièces.

c) **Hydro-réglable** : La ventilation hydro-réglable est un système de ventilation modulant les débits en fonction de l'humidité. Ce système a été conçu pour répondre à deux objectifs majeurs :

- Moduler les débits d'air en fonction du taux d'humidité en vue de réduire les déperditions énergétiques due à une ventilation excessive ou inutile.
- Eviter les risques de condensation dans le logement.

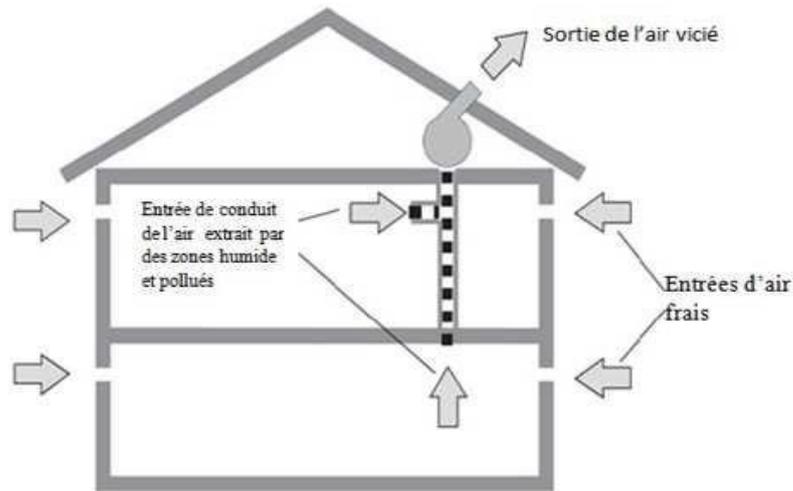


Figure 1.1 : Ventilation simple flux par extraction [11].

1.2.1.1 La ventilation simple flux par soufflage

Dans la ventilation simple flux par soufflage, un seul ventilateur est utilisé pour faire circuler l'air purifié dans différentes zones à traiter, comme illustré dans la Figure 1.2. L'air est ensuite évacué à l'extérieur par des bouches ou des volets de surpression. Cependant, cette méthode de ventilation mécanique par soufflage est généralement considérée comme peu adaptée à un usage résidentiel, et reste relativement rarement utilisée.

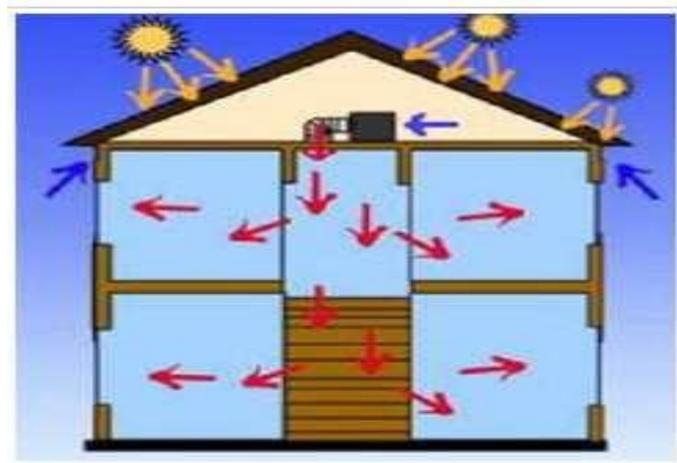


Figure 1.2 : Ventilation simple flux par insufflation.

1.2.1.2 La ventilation double flux

La ventilation double flux est une technique de ventilation mécanique contrôlée qui intègre à la fois des systèmes d'insufflation et d'extraction d'air. Cette méthode utilise deux ventilateurs indépendants avec des réseaux de conduits séparés : l'un est destiné à insuffler de l'air frais dans les pièces principales, tandis que l'autre est conçu pour extraire l'air vicié des pièces de service.

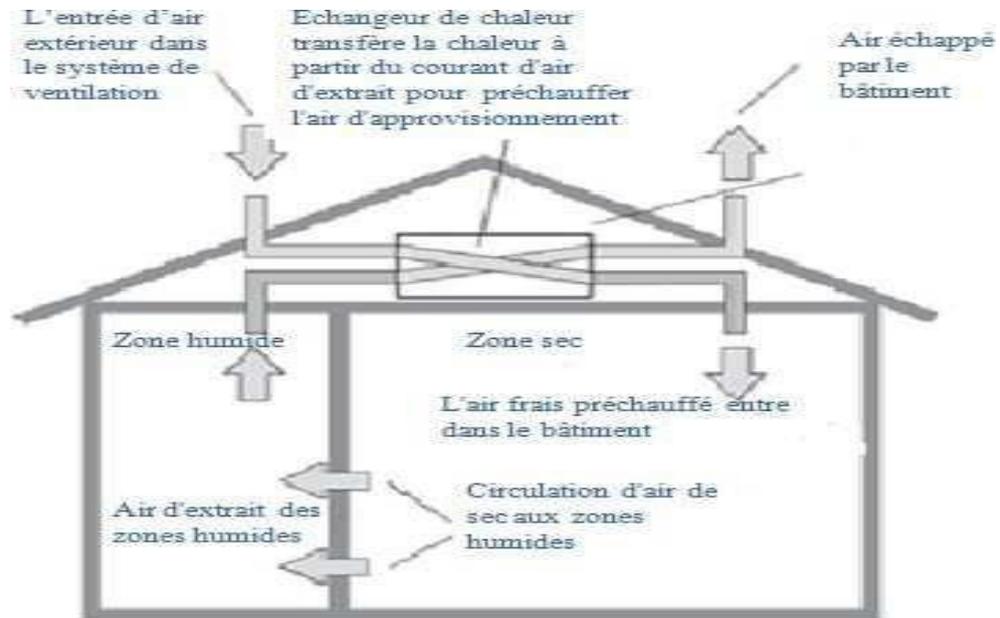


Figure 1.3 : Représentation de la VMC double flux. [11].

1.2.1.3 Le traitement d'air par centrale à mélange air neuf / air repris

Ce système convient parfaitement au chauffage, à la ventilation, voire au rafraîchissement de grands espaces tels que des salles de fêtes, des gymnases, des restaurants, des commerces, etc. Le débit d'air soufflé est généralement plus élevé que le débit d'air hygiénique, et il est déterminé en fonction des besoins thermiques et de la nécessité de diffuser confortablement l'air dans l'espace. Le débit d'air frais est ajusté en fonction des besoins en utilisant des volets de mélange. Ce système offre également un grand potentiel de rafraîchissement par ventilation en été, en ouvrant simplement les volets de mélange d'air neuf pendant les périodes favorables.

1.2.2 Les types de ventilation naturelle

1.2.2.1 La ventilation naturelle par ouverture des fenêtres

La ventilation naturelle par ouverture des fenêtres permet de réduire les infiltrations d'air par les défauts d'étanchéité de l'enveloppe et donne aux occupants la possibilité de contrôler les ouvertures des fenêtres et des entrées d'air en façade.

1.2.2.2 La ventilation naturelle par conduits verticaux

La ventilation naturelle par conduits verticaux à tirage naturel est une méthode couramment utilisée en France pour ventiler les immeubles résidentiels collectifs construits avant 1982.

Cependant, pour que le système fonctionne efficacement, il est essentiel que le bâtiment soit suffisamment étanche pour éviter des infiltrations d'air excessives qui pourraient perturber le fonctionnement de la ventilation naturelle. Une bonne étanchéité à l'air est donc importante pour garantir le bon fonctionnement de ce type de système de ventilation.

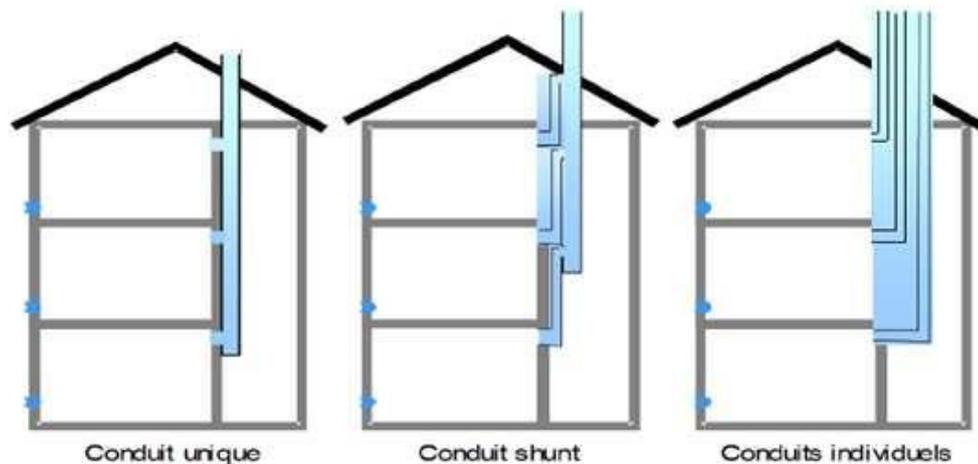


Figure 1.4 : Illustrations de la ventilation naturelle par conduits verticaux. [15]

1.2.2.3 Ventilation naturelle assistée par l'énergie solaire

Le concept fondamental consiste à renforcer l'effet de convection naturelle en utilisant l'énergie solaire pour amplifier les gradients thermiques. Dans cette étude, nous nous concentrons sur cette méthode de ventilation. [2]

1.2.3 Avantages de la ventilation naturelle

Ce système de ventilation assure la sécurité, le confort et la santé des occupants des bâtiments sans avoir besoin d'utiliser des ventilateurs. Il permet également un rafraîchissement passif, sans nécessiter l'utilisation de systèmes thermodynamiques. Lorsqu'il est conçu avec soin, ce système peut réduire considérablement les coûts de construction et d'exploitation des bâtiments. De plus, il permet de diminuer la consommation d'énergie associée aux systèmes de conditionnement d'air et aux ventilateurs, tout en éliminant les bruits de ces derniers.

1.3 Les fonctions de la ventilation

L'air intérieur peut rapidement devenir pollué par des substances nocives, telles que des produits chimiques, des moisissures, ou des allergènes. Pour améliorer la qualité de l'air intérieur, la ventilation est une solution efficace pour remplacer l'air vicié par de l'air frais et propre. Ceci est particulièrement crucial dans les espaces fermés où la circulation de l'air est limitée. En utilisant des dispositifs de ventilation, l'air intérieur est régulièrement renouvelé, ce qui contribue à la santé et au bien-être des occupants de la pièce.

Évacuations des polluants : la ventilation permet de réduire la concentration de polluants dans l'air, tels que les gaz d'échappement, la fumée de cigarette, les produits chimiques et les allergènes. Cela peut aider à réduire les risques pour la santé associés à ces polluants.

Régulation de l'humidité : La ventilation peut aider à réguler l'humidité dans un local, en évacuant l'humidité excessive ou en ajoutant de l'air frais et sec pour réduire l'humidité relative. Cela peut aider à prévenir la formation de moisissures et de champignons qui peuvent être nocifs pour la santé.

Régulation thermique : La ventilation peut également aider à réguler la température d'un local, en permettant l'évacuation de l'air chaud et humide et en introduisant de l'air frais et plus frais. Cela peut aider à maintenir un environnement confortable pour les occupants.

Économies d'énergie : La ventilation peut contribuer à économiser de l'énergie en réduisant la charge sur les systèmes de climatisation et de chauffage. En évacuant l'air chaud en été, la ventilation peut aider à maintenir la température intérieure plus basse, ce qui réduit la demande d'énergie pour la climatisation. De même, en évacuant l'air humide en hiver, la ventilation peut aider à maintenir la température intérieure plus élevée, ce qui réduit la demande d'énergie pour le chauffage. [12]

1.4 Le confort

Le confort peut être considéré comme une notion globale qui prend en compte plusieurs paramètres climatiques, esthétiques et psychologiques tels que la chaleur, le froid, la lumière, le bruit, le paysage, l'eau, la verdure et le prestige. Il s'agit également d'une sensation subjective qui ne peut être définie en tant que telle. [1]

1.4.1 Le confort respiratoire

La ventilation est un élément -clé pour assurer une bonne qualité d'air intérieur, ce qui est essentiel pour les processus métaboliques et l'hygiène de chaque individu. Une bonne ventilation, combinée à la réduction des polluants à la source, est la garantie d'une respiration saine et d'une meilleure santé. Pour évaluer la qualité de l'air intérieur, la concentration en dioxyde de carbone est souvent utilisée comme indicateur dans des études spécifiques. Une plage de concentration a été établie pour définir une qualité d'air acceptable. Comme le dioxyde de carbone est principalement produit par la respiration humaine, la seule manière de réduire sa concentration de façon significative est d'assurer une ventilation suffisante, soit naturelle soit artificielle. Un niveau de ventilation adéquat pour maintenir une faible concentration en dioxyde de carbone permet également de réduire la concentration d'autres polluants intérieurs et ainsi améliorer globalement la qualité de l'air à l'intérieur.

1.4.2 Le confort thermique

Le confort thermique est une exigence primordiale dans les bâtiments et les concepteurs doivent fournir les solutions adéquates pour y répondre. Le milieu thermique se compose de quatre grandeurs physiques (température de l'air, rayonnement solaire, humidité et vitesse de l'air), qui interagissent avec l'activité physique et les vêtements pour déterminer l'état thermique de l'individu. Ensemble, ces variables définissent les six paramètres fondamentaux des échanges thermiques entre l'homme et son environnement. [2]

1.4.3 Le confort pour la santé.

Certains aspects de l'environnement intérieur peuvent provoquer des problèmes de santé, qui peuvent différer selon l'âge, le sexe, l'état de santé et surtout la sensibilité individuelle. Ces problèmes de santé peuvent être objectifs ou subjectifs.

1.4.4 Le confort pour le bâtiment.

La plupart des problèmes liés aux bâtiments sont causés par la présence d'humidités indésirables. Celle-ci peut avoir diverses origines telles qu'une fuite de toiture, un solin mal installé, des fenêtres ou portes mal fermées, de la condensation sur les ponts thermiques, de l'humidité ascensionnelle, des fuites de canalisation, etc. L'humidité peut causer des dommages au bâtiment et engendrer des conditions malsaines, comme la détérioration des finitions telles que la peinture, le papier peint, le plafonnage, la formation de moisissures pouvant affecter la structure du bâtiment ou le bois, et la diminution du pouvoir isolant.

Cependant, l'aération par ouverture des portes ou fenêtres, ou par les interstices et les fentes, ne garantit pas un renouvellement d'air efficace. La quantité d'air nécessaire à renouveler dans une pièce dépend du nombre de personnes présentes et ces formes d'aération sont difficiles à contrôler. Elles peuvent également provoquer des courants d'air et entraîner des pertes de chaleur inutiles. En outre, l'ouverture de portes et/ou de fenêtres refroidit considérablement la pièce et la rend vulnérable à la pluie, l'effraction, les bruits environnants, le vent, les insectes, etc.

1.5 Comment faire la ventilation ou l'aération

En théorie, il est recommandé d'avoir un débit de ventilation de 3,6 m³/h par m² de surface de plancher pour assurer une qualité d'air acceptable. Toutefois, il est difficile d'atteindre ce débit en pratique, il est donc préférable d'avoir une aération ou ventilation efficace. Pour que l'aération ou la ventilation naturelle soit efficace, le débit de ventilation doit être considéré en plus des mouvements de l'air. Le débit de ventilation est influencé par les différences de température intérieur/extérieur, le vent et la taille des ouvertures. Les mouvements de l'air dépendent de la forme, de l'emplacement et du nombre des ouvertures. Dans le cas d'une ventilation unilatérale, la hauteur de l'ouverture et les différences de température jouent un rôle clé.

Plusieurs facteurs déterminent la quantité d'air nécessaire, notamment le taux d'occupation de la pièce, la nature des activités, la quantité et la nature de la pollution provenant de l'intérieur et de l'extérieur, l'environnement extérieur et l'entretien hygiénique.

1.6 Différentes cavités utilisé en ventilation naturelle

Les cavités ouvertes telles que les cheminées solaires, les façades à doubles parois et les murs trombe ont été conçues pour tirer parti de l'énergie solaire afin de fournir un chauffage passif, une ventilation naturelle et, dans le cas de la façade à double paroi, également de la lumière naturelle. La figure (1.5) illustre les trois types de cavités utilisées pour le chauffage passif et la ventilation naturelle dans les bâtiments. La circulation d'air dans ces cavités ouvertes est principalement assurée par le mécanisme de flottabilité thermique [2].

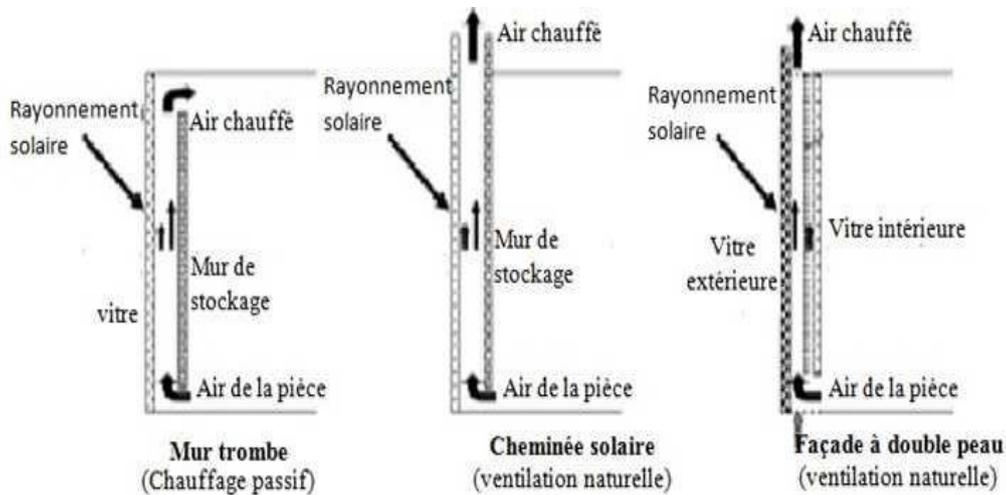


Figure 1.5 : Diagramme schématisé de trois types de cavité pour le chauffage passif et la ventilation naturelle. [7]

1.6.1 Le mur trombe

Le mur trombe est constitué d'un mur en maçonnerie dense équipé de deux ouvertures et placé derrière une vitre orientée vers le sud. Son rôle est de collecter et stocker l'énergie solaire pour offrir une source de chauffage en hiver ou favoriser la ventilation de la pièce en été.

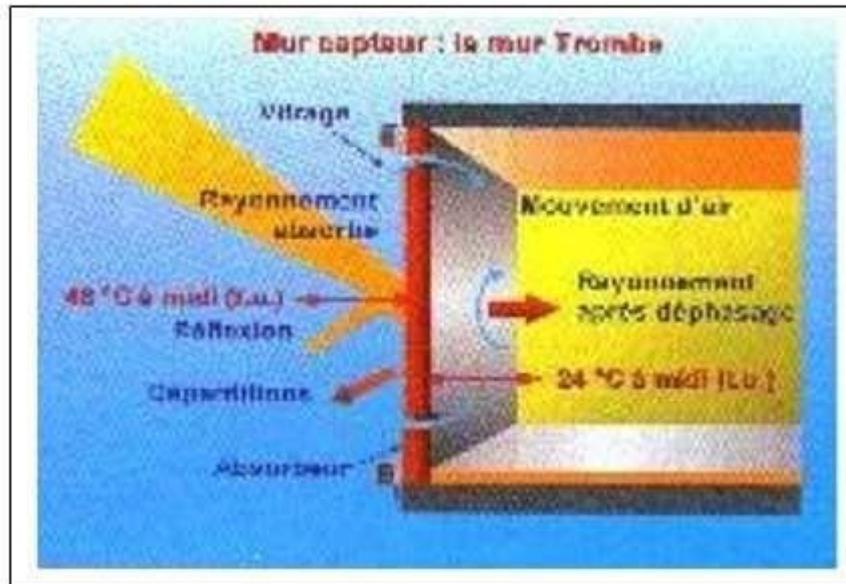


Figure 1.6 : Mur trombe [2].

Le mur Trombe-Michel, également connu sous le nom de mur trombe, repose sur le même principe physique que le mur capteur. Le rayonnement solaire chauffe une couche d'air entre une vitre à faible émissivité et un mur à forte inertie thermique. Grâce à des clapets placés en haut et en bas du mur, l'air peut circuler entre l'intérieur de la pièce et la couche d'air chauffée. Ce système peut fonctionner de deux manières différentes :

- Lorsque le rayonnement est présent dans la journée, il est possible d'ouvrir les clapets afin de permettre une convection naturelle. L'air de la pièce, relativement plus froid, vient se réchauffer au contact du mur capteur, et ainsi créer un mouvement convectif qui va permettre le réchauffement de la pièce en contact avec le mur. Il y a donc circulation aéraulique entre la lame d'air et le volume adjacent.
- En l'absence d'ensoleillement, on ferme les clapets, et la chaleur emmagasinée par le mur capteur est restituée par rayonnement à la pièce, créant ainsi une convection naturelle, mais cette fois-ci sans mouvement d'air.

Grâce à l'ouverture située en haut de la vitre, cette technique permet également d'éviter la surchauffe en été. Lorsque le clapet est ouvert, il permet à l'air chaud emmagasiné dans la couche d'air de s'échapper. Toutefois, cette opération ne peut être effectuée que si les clapets du mur capteur sont fermés.

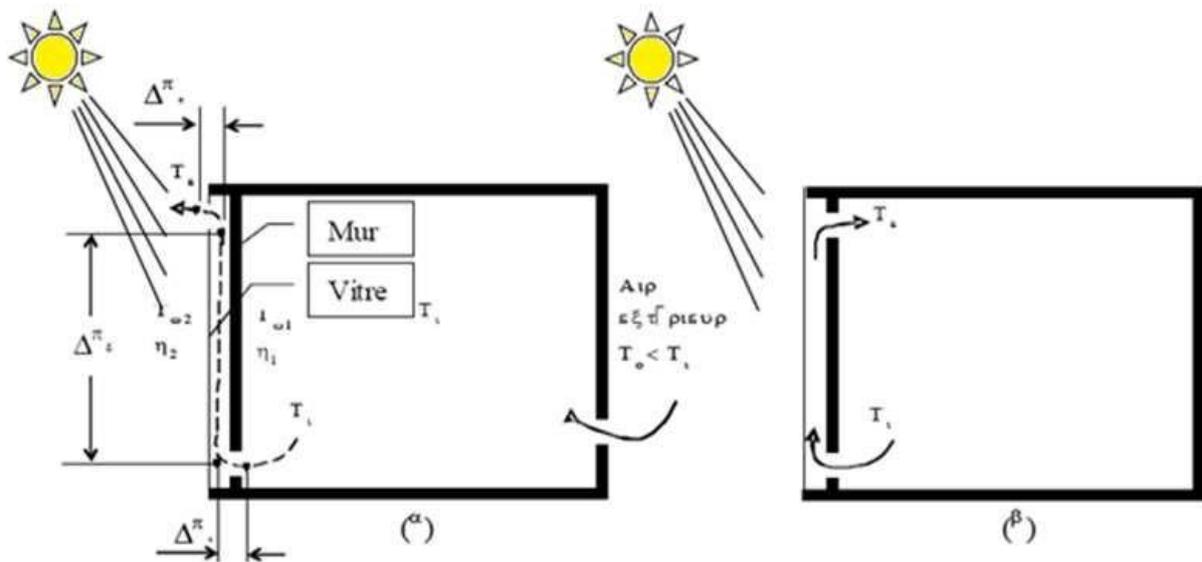


Figure 1.7 : Mur Trombe utilisé comme a) ventilateur, b) chauffage.[15]

1.6.2 La façade à double peau

Une façade à double paroi pour un bâtiment est constituée d'une paroi intérieure et d'une autre paroi extérieure, ce qui permet de fournir une isolation thermique efficace au bâtiment. Elle joue également un rôle crucial dans la régulation thermique du bâtiment.

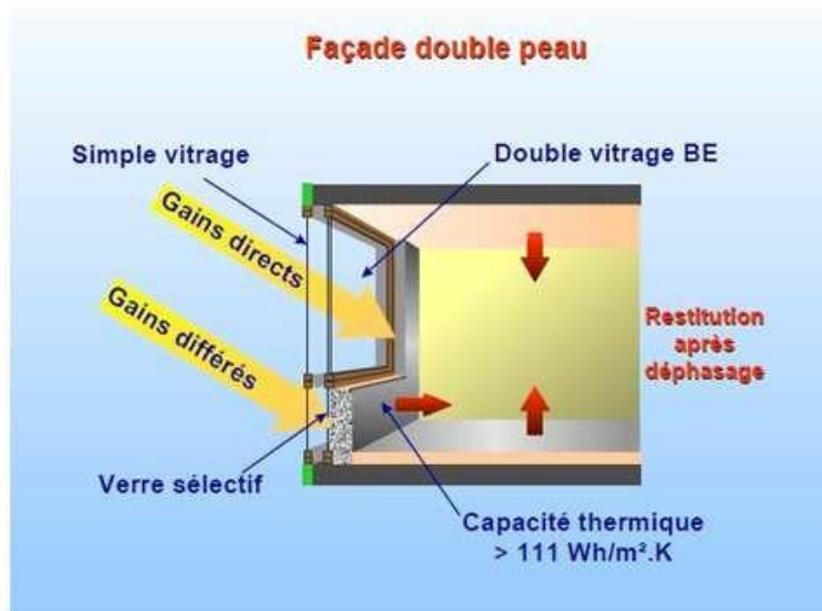


Figure 1.8 : Façade double peau. [2]

La façade à double peau offre une protection contre les conditions météorologiques extrêmes telles que les rayons directs du soleil, ce qui permet de prévenir la surchauffe pendant l'été et de limiter l'utilisation de la climatisation. Elle permet également d'éliminer l'effet de paroi froide en hiver en réduisant l'impact du vent direct, ce qui améliore le confort intérieur en offrant une température et une humidité de l'air agréables. En comparaison avec les façades

traditionnelles, la façade à double peau peut également être utilisée pour une ventilation naturelle du bâtiment, ou encore pour préchauffer l'air entrant ou ventiler la façade intérieure. Elle peut également servir de conduits d'échappement pour la ventilation mécanique, comme illustré dans la figure (1.9).

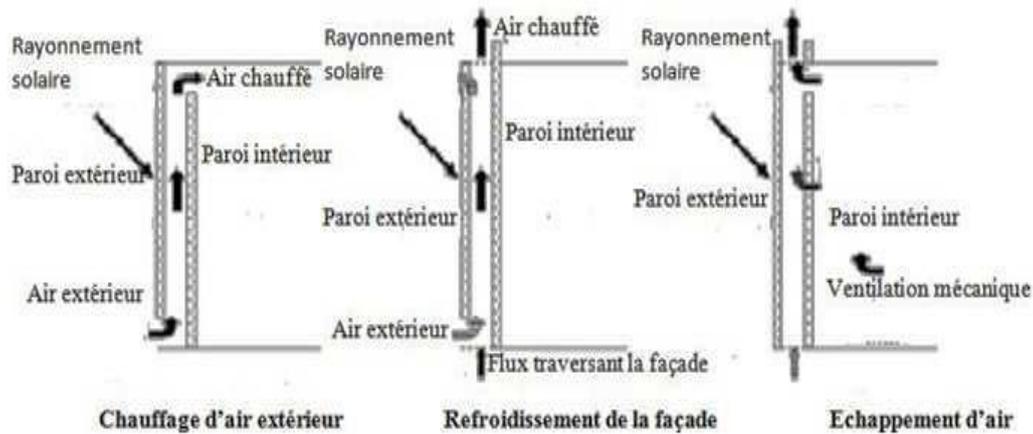


Figure 1.9 : Applications principales courantes de façade à double peau pour la commande [15]

1.6.3 Les écopés

Les écopés sont des dispositifs de ventilation naturelle intégrés à la toiture qui permettent d'augmenter la circulation d'air dans les bâtiments, en particulier dans les climats chauds. Ils sont essentiels pour ventiler les pièces centrales des bâtiments peu poreux et pour améliorer le confort intérieur. Il existe deux types d'écopés : les écopés d'extraction et les écopés d'admission. Les premières sont généralement plus efficaces car elles créent une légère dépression à l'intérieur du bâtiment. Cependant, il est important de bien les placer pour éviter une zone sous-ventilée à l'intérieur. Les écopés doivent être situés en hauteur pour capter des écoulements rapides et frais, et leur conception doit être multidirectionnelle pour tenir compte des vents dominants de différentes directions. Selon des études menées par le CSTB, la section de l'ouverture verticale d'une écope doit représenter environ 20 % de la surface verticale de l'enveloppe du bâtiment perpendiculaire au vent.

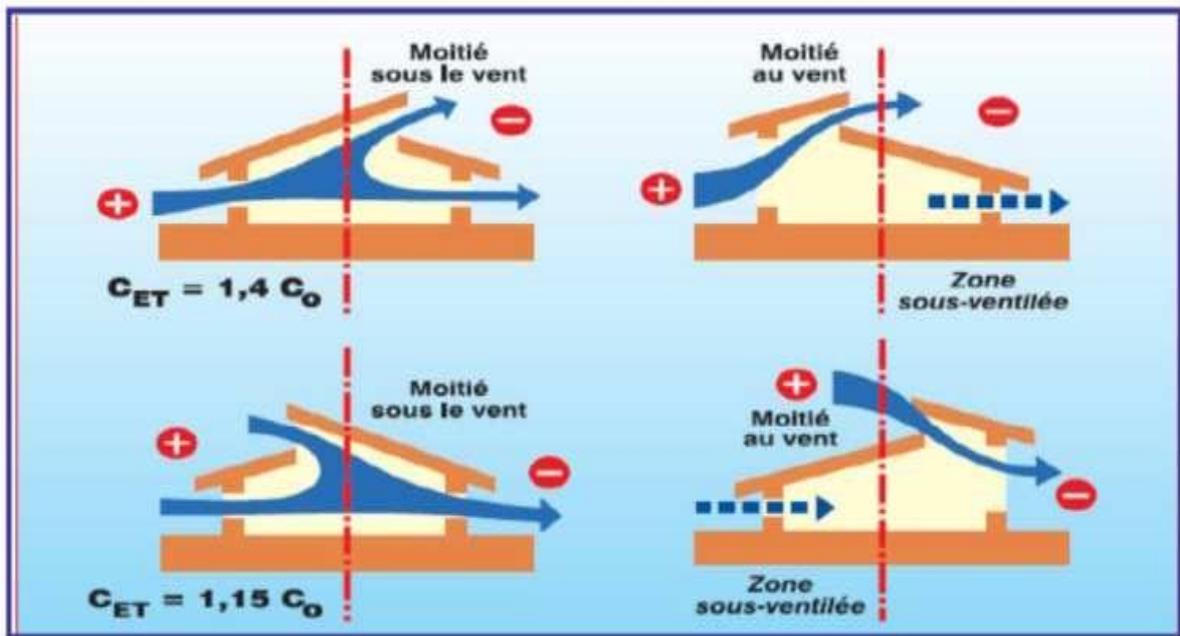


Figure 1.10 : Influence de l'implantation de l'écope en toiture [8].

1.6.4 Les tours à vent.

La tour à vent est un système de ventilation naturelle utilisé pour rafraîchir l'air dans les régions chaudes et arides, notamment en Iran, où elle est également connue sous le nom de "badgir". Ces structures existent dans tout le Moyen-Orient, d'Égypte au Pakistan, et prennent différentes formes en fonction des caractéristiques du vent et des méthodes de construction locales. Les tours à vent sont appelées "malqaf" en Égypte, "Mangh" au Pakistan et "Badgir" (ou "Barajil" ou "Barjeel", qui signifie littéralement "attrape-vent") aux Émirats arabes unis et en Iran. Bien que l'origine et la date exactes de la première tour à vent ne soient pas connues avec certitude, les historiens et les chercheurs ont identifié plusieurs exemples anciens, tels que :

Les Égyptiens antiques ont utilisé l'idée de "malqaf" ou de tour à vent dans les maisons d'Al-Amarna de Tal, comme en témoignent des peintures murales des tombeaux de Thèbes, notamment la maison pharaonique de Bout-Amun, datant de la 19^e dynastie (1300 avant J.C.). La première preuve historique de l'utilisation de tours à vent remonte au 4^{ème} siècle avant J.C. en Iran, où une expédition japonaise a découvert un exemple simple de tour à vent dans une maison près de Tappeh Chackmaq, à environ huit kilomètres au nord de Shahrood, sur les pentes méridionales des montagnes d'Alborz au nord-est de l'Iran.



Figure 1.11 : Tour à vent à YAZD, IRAN. [14]

1.6.5 Les dômes

Depuis l'Antiquité, une technique de construction est largement utilisée dans les pays du Maghreb et du Proche-Orient, tels que l'Algérie, l'Egypte, la Jordanie, la Palestine et la Tunisie. Cette méthode de construction est courante dans toutes sortes d'environnements tels que les zones urbaines, rurales, de plaines, de montagnes ou de bord de mer. Elle est utilisée pour construire en rez-de-chaussée, en étages supérieurs ou en dernier étage. Cette technique de construction se présente généralement sous la forme de coupoles qui servent de couverture. Ces coupoles sont souvent pleines et dépourvues d'ouvertures, mais parfois des percements sont réalisés dans les pans ou au sommet de la coupole pour assurer la ventilation et l'éclairage de l'espace couvert.

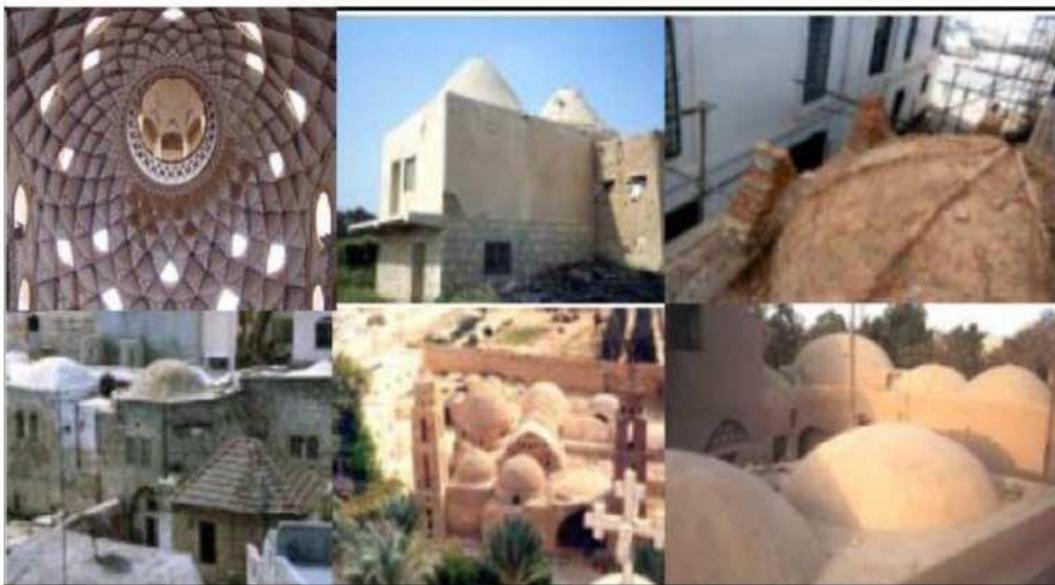


Figure 1.12 : différentes configurations des coupoles [9].

Les dômes présentent à la voûte céleste une surface de déperdition thermique très grande $2R^2$ (R le rayon du dôme) pour un maître couple moitié. Par contre dans la journée, seule une partie de ce maître couple reçoit les rayons solaires, c'est-à-dire une surface caprice inférieure à $2R^2$. Les échauffements du dôme sont ainsi limités. Ces échauffements sont responsables des mouvements convectifs de l'air à l'intérieur du dôme.

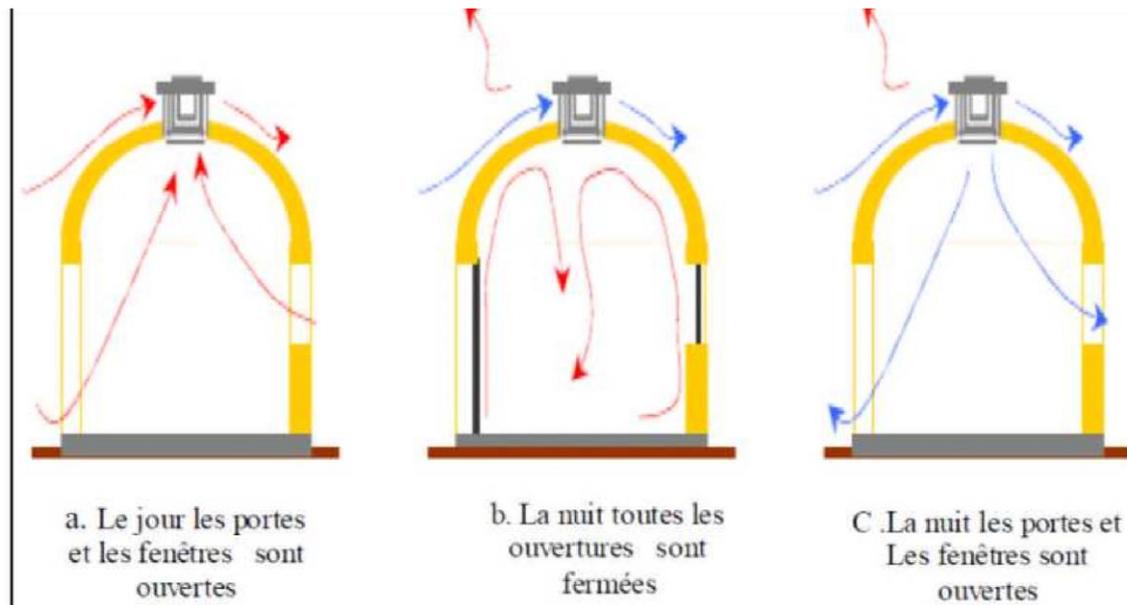


Figure 1.13: Les différents cas de fonctionnement des Dômes. [9]

1.6.6 La cheminée solaire

On peut considérer que la cheminée solaire fonctionne de manière similaire au mur trombe, bien que leur utilité soit différente. En effet, tandis que le mur trombe est conçu pour absorber l'énergie solaire et la redistribuer sous forme de chaleur à l'intérieur du bâtiment, la cheminée solaire sert principalement à ventiler le bâtiment pendant la journée sans recycler l'air dans la pièce. La cheminée solaire peut être un élément du bâtiment, qui possède un ou plusieurs murs transparents permettant à la chaleur solaire de s'accumuler à l'intérieur et de créer un effet de cheminée. Le rayonnement solaire réchauffe l'air à l'intérieur de la cheminée, créant un gradient de densité entre l'intérieur et l'extérieur qui provoque un mouvement ascendant d'air. Pour que le processus fonctionne correctement, il est important que l'épaisseur de la cheminée soit similaire à celle de la couche limite développée, afin d'éviter les recirculations d'air.

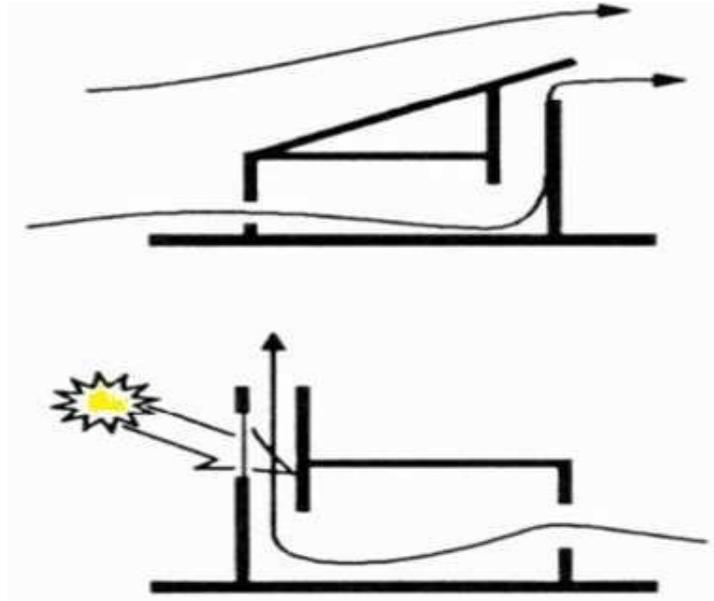


Figure 1.14 : la cheminée solaire. [15]

La cheminée solaire est un élément possible d'un bâtiment, où l'un ou plusieurs des murs d'une cheminée sont transparents, permettant ainsi au rayonnement solaire de s'accumuler suffisamment pour induire un effet de cheminée. Le rayonnement solaire chauffe l'air à l'intérieur de la cheminée, créant un gradient de densité entre l'air intérieur et l'air extérieur qui provoque un mouvement ascendant d'air. La figure 1.18 illustre un exemple d'utilisation d'une cheminée solaire dans un système de ventilation naturelle dans les bâtiments de l'université de Kita-Kyushu au Japon.



Figure 1.15 : Exemple de cheminée solaire intégré sur le bâtiment. [9]

1.6.6.1 Effet de cheminée

L'effet de cheminée est un phénomène naturel dans lequel un fluide s'élève en raison de sa diminution de densité due à l'augmentation de la température et de l'humidité. Ce processus thermique est souvent utilisé pour évacuer l'air chaud ou tiède de l'intérieur d'un bâtiment en facilitant la sortie de l'air à travers des ouvertures placées en hauteur. Cette circulation d'air chaud peut créer une pression négative à l'intérieur du bâtiment, qui peut aspirer de l'air frais de l'extérieur à travers des ouvertures placées en bas.

1.6.6.2 Principe d'écoulement

La circulation d'air naturelle à l'intérieur d'une pièce permet de maintenir une bonne qualité de l'air en éliminant les polluants et l'humidité accumulés. Elle offre également un moyen de réguler la température et de garantir un confort thermique dans l'espace, sans avoir besoin d'utiliser des systèmes de ventilation mécaniques énergivores. Pour optimiser l'effet de la circulation d'air, des éléments tels que le design et l'orientation de la cheminée solaire, ainsi que la taille des ouvertures, doivent être soigneusement pris en compte. De cette façon, une ventilation naturelle efficace peut être assurée.

1.6.6.3 Critères d'évaluation de l'efficacité de ventilation

En effet, les normes et réglementations en matière de ventilation ont pour objectif d'assurer un niveau de qualité de l'air intérieur suffisant pour protéger la santé des occupants du bâtiment. Elles proposent donc des débits d'air minimums à respecter pour assurer une ventilation adéquate en fonction de la taille et de l'usage du bâtiment.

Cependant, ces débits ne prennent pas en compte la performance réelle de la ventilation en termes de renouvellement de l'air et d'élimination des polluants. Pour mesurer cette performance, on peut utiliser des indices tels que le taux de renouvellement d'air, le coefficient de qualité de l'air intérieur, ou encore le niveau de concentration de polluants dans l'air. Ces indices permettent de mieux évaluer l'efficacité de la ventilation et de garantir une meilleure qualité de l'air intérieur pour les occupants.

1.7 Efficacité du renouvellement d'air

En effet, ces indices d'efficacité du renouvellement d'air peuvent aider à évaluer la performance de la ventilation. Par exemple, un âge de l'air élevé indique que l'air intérieur est resté longtemps dans la pièce, ce qui peut conduire à une accumulation de polluants. De même, un temps de résidence prolongé peut entraîner une concentration élevée de polluants et une mauvaise qualité de l'air intérieur. Un temps nominal élevé indique une ventilation insuffisante, ce qui peut être préjudiciable à la santé des occupants. Les indices d'efficacité du renouvellement d'air

peuvent aider à optimiser la conception des systèmes de ventilation pour garantir une bonne qualité de l'air intérieur et le bien-être des occupants.

1.7.1 Indice d'efficacité de renouvellement d'air

Le rendement de ventilation dépend en effet du type de ventilation utilisé et peut varier entre 0 et 1. Les meilleurs rendements sont obtenus pour une ventilation par piston, tandis que les rendements les plus bas sont associés à des mouvements d'air générant des zones mortes. Le rendement de ventilation est considéré comme efficace s'il est compris entre 0,5 et 1,0. L'efficacité de la ventilation peut être caractérisée à l'aide d'indices tels que l'âge de l'air, le temps résiduel et le temps de résidence, qui sont des mesures de la capacité de la ventilation à renouveler l'air et à éliminer les polluants. Cependant, il peut être difficile d'évaluer l'efficacité de la ventilation en cas de ventilation naturelle ou de bâtiments très perméables en raison de la forte variabilité du renouvellement d'air. [9]

Les meilleurs taux d'échange d'air sont obtenus avec une ventilation par piston, où l'air vicié est déplacé par de l'air frais, généralement de bas en haut (voir figure 1.16). En revanche, une ventilation par mélange vise à homogénéiser l'air frais avec l'air vicié. Si le système de ventilation crée des mouvements d'air avec des zones mortes causées par des phénomènes de recirculation ou des courts-circuits entre les bouches de soufflage et les grilles d'extraction, cela peut réduire l'efficacité de la ventilation.

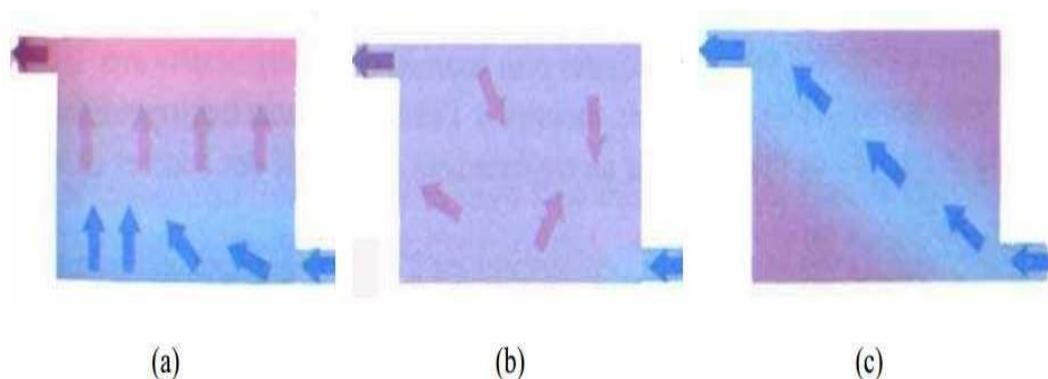


Figure 1.16 : Modes de ventilation, (a) par piston, (b) par mélange, et (c) en court-circuit. [7]

1.7.2 Taux de renouvellement d'air

L'ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) définit le taux de changement d'air (ACH) comme le nombre de fois par heure où le volume d'air total d'un espace est remplacé. Il est calculé en divisant le débit d'air (en m^3/h) par le volume de la pièce (en m^3) et est exprimé en h^{-1} . Un taux de changement d'air de 1 signifie que l'air de la pièce est entièrement remplacé une fois par heure, tandis qu'un taux de changement d'air de 0,5 signifie

que l'air de la pièce est remplacé une fois toutes les deux heures. Le taux de changement d'air est souvent utilisé pour évaluer la qualité de l'air intérieur dans les bâtiments.[8]

$$ACH = \frac{Q \cdot 3600}{\text{volume total de la pièce}}$$

Q : Débit d'air frais par heure (air d'appoint) dans la pièce.

1.8 Conclusion

C'est tout à fait juste. La ventilation naturelle peut être une option intéressante dans certains contextes, mais il est important de prendre en compte les facteurs climatiques et les particularités du bâtiment. Dans certains cas, une ventilation mécanique peut être nécessaire pour garantir une bonne qualité d'air intérieur et éviter les risques pour la santé des occupants. Le choix de la méthode de ventilation doit donc être basé sur une analyse approfondie de la situation spécifique, afin de trouver la solution la plus adaptée et la plus efficace.

Formulation du Problème

2.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différentes configurations spatiales du local qui seront simulées dans le troisième chapitre. Les dimensions du local sont exprimées en mètres, avec une longueur de 10 mètres et une hauteur de 5 mètres à partir du deuxième cas.

Nous avons également pris en compte l'infiltration d'air en appliquant un joint d'étanchéité de 0.1 mètre au-dessus de la porte sur le mur gauche, et en installant une fenêtre d'1 mètre sur le mur droit.

Pour résoudre le problème de manière continue, nous avons étudié la discrétisation des équations aux dérivées partielles afin de le convertir en un problème discret qui peut être résolu à l'aide de méthodes numériques telles que la méthode des éléments finis, la méthode des différences finies et la méthode des volumes finis. Parmi celles-ci, la méthode des volumes finis est couramment utilisée dans les codes de simulation numérique de dynamique des fluides (CFD - Computational Fluid Dynamics).

La résolution de notre problème implique la résolution d'un système d'équations mathématiques aux dérivées partielles, ce qui nécessite une approche basée sur une méthode numérique.

Dans cette étude, nous avons choisi d'utiliser le logiciel de calcul FLUENT version 6.3.16 comme solveur, ainsi que GAMBIT version 2.3.16 pour décrire la géométrie du domaine.

2.2 Le But de l'étude

L'objectif de ce mémoire est d'étudier l'influence de la hauteur sur le mouvement de l'air dans un local, en tenant compte du fait que ce paramètre, ainsi que la température de l'air, jouent un rôle crucial dans la circulation de l'air à l'intérieur des espaces. Ils sont notamment responsables de l'effet de cheminée, qui constitue la base de la ventilation naturelle. Pour cela, nous avons examiné quatre configurations de locaux en 2D (hauteur \times longueur = 2,84 m \times 10 m).

L'étude repose sur la variation de la hauteur du local et l'adaptation de sa géométrie afin de favoriser la ventilation naturelle. Il convient de noter que, en raison de contraintes de simulation en 3D dans les logiciels de dynamique des fluides computationnelle (CFD), nous avons choisi de négliger la dimension de profondeur (troisième dimension) et de réaliser une étude et une simulation en 2D. Cette approche est pertinente car elle fournit des résultats très similaires à ceux obtenus en 3D et permet de comprendre la circulation naturelle de l'air dans le local de manière satisfaisante.

2.3 Modèle physique

Les cas étudiés sont les suivants :

2.3.1 Première cas : Local avec une hauteur normale

Les dimensions du local sont la hauteur H et la longueur L ($H \times L = 2.84\text{m} \times 10\text{m}$). La longueur reste constante pour tous les autres 10m. L'air entre au-dessous de la porte (zone non étanche ou s'infiltré l'air de hauteur $0.1\text{m} = 10\text{cm}$) et sort à travers une d'aération libre sans obstacle sur le mur opposé de la porte d'entrée.

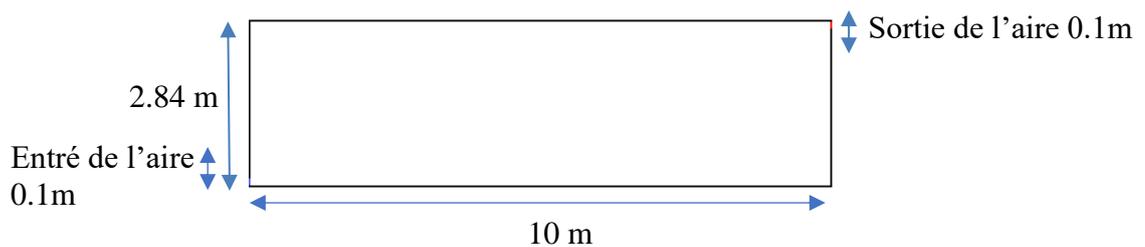


Figure 2. 1 : Local avec une hauteur normale.

2.3.2 Deuxième cas : Local avec une hauteur élevé

Afin de comparer l'influence de la hauteur sur la distribution de la température et la circulation de l'air on a augmenté seulement sa valeur jusqu'à 5m.

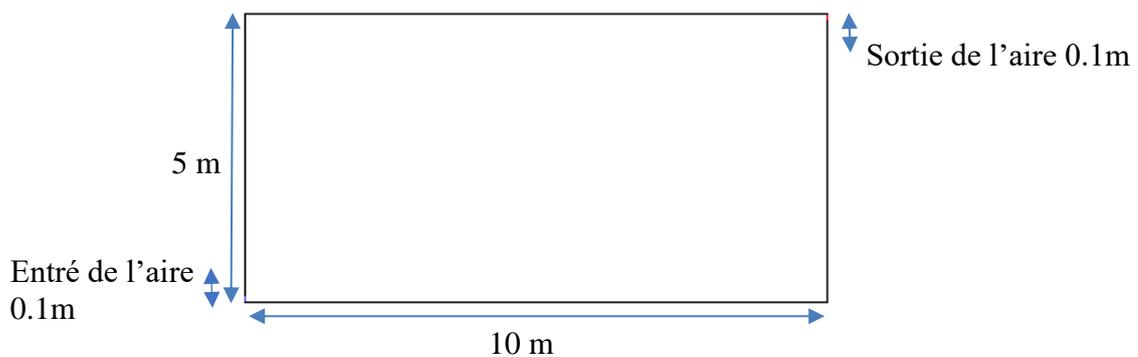
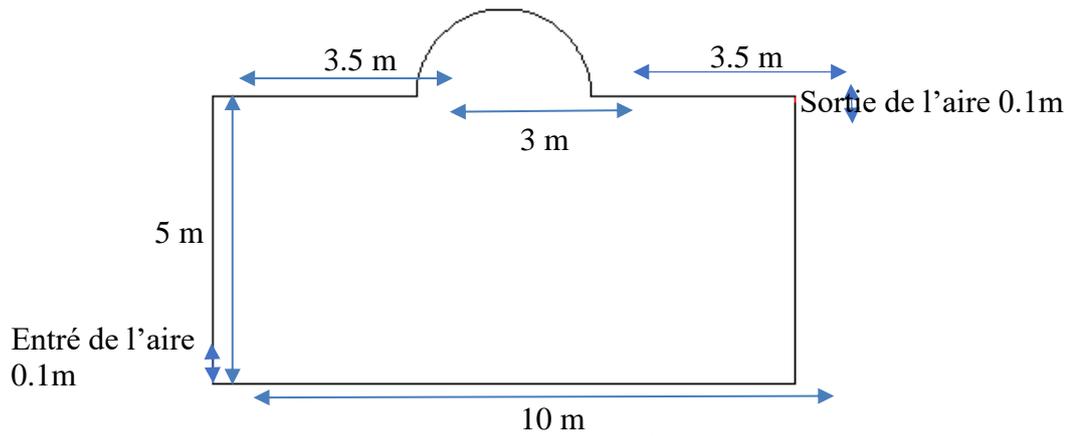


Figure 2. 2 : Local avec une hauteur élevée.

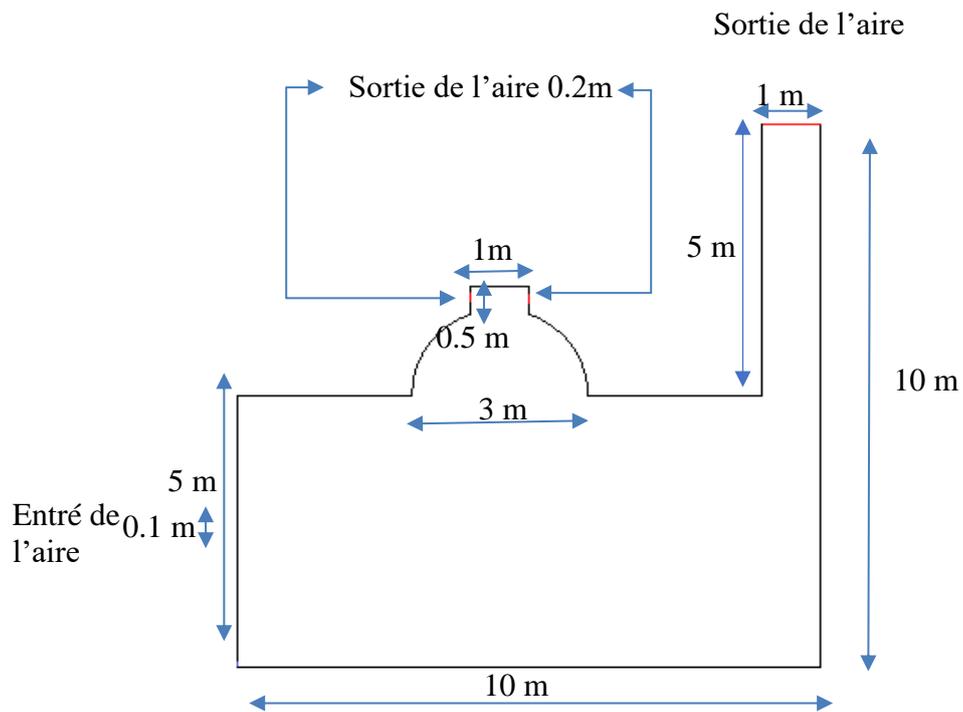
2.3.3 Troisième cas : Local avec une coupole

Dans ce cas on garde les mêmes dimensions ainsi que l'entrée et la sortie de l'air, mais on a ajouté une coupole de diamètre 3m au milieu sur le plafond du local pour but de voir l'accumulation de l'air chaud au-dessous de la coupole et voir l'influence sur la ventilation.



2.3.4 Quatrième cas : Local avec une coupole ouverte et une Toure

Dans ce dernier cas on a proposé un petit cheminé avec deux ouvertures symétriques de hauteur de 0.20m sur la coupole pour but de dégager l'air chaud cumulé et amélioré la circulation naturelle de l'air dans le local.



2.4 Hypothèses simplificatrices

La modélisation du système étudié est basée sur les hypothèses simplificatrices suivantes :

- Le fluide considéré est un fluide Newtonien.
- L'écoulement est incompressible.
- Le fluide est considéré bidimensionnel.
- L'écoulement est stationnaire.
- L'écoulement du fluide est en régime turbulent.
- L'hypothèse de boussinesq : propriétés de l'air sont considérées comme constantes, à l'exception les variations de densité du fluide dues à des variations de température.

2.5 Calcul numérique

Le modèle mathématique est formulé sous la forme d'un système d'équations aux dérivées partielles (EDP), qui est ensuite discrétisé en un système d'équations algébriques à l'aide d'une méthode appropriée. Le processus de calcul numérique est illustré dans la Figure (2.5) [17].

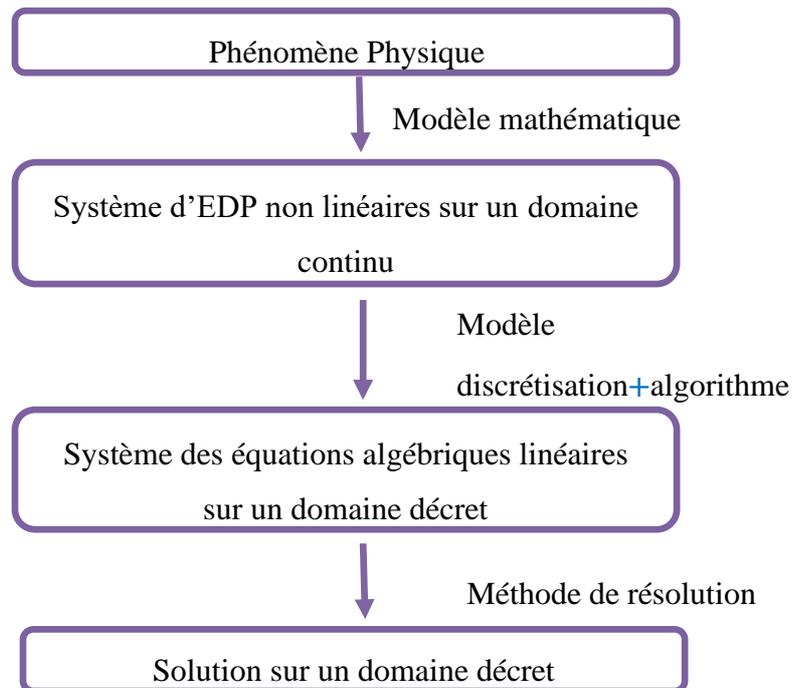


Figure 2.5 : principe de calcul numérique.

2.6 Les différentes méthodes numériques de discrétisation

Pour passer d'un problème exact (continu) à un problème approximatif (discret), il existe différentes techniques concurrentes et complémentaires parmi lesquelles les plus connues sont :

- Méthode des différences finis (MDF).
- Méthode des éléments finis (MEF).
- Méthode de volumes finis (MVF).

2.6.1 Méthode des différences finis

La méthode des différences finies est l'origine des premières simulations dans la mécanique des fluides et transfert de chaleur (1960 à 1965). Son principe à discrétiser les équations aux Nœuds de la grille en calculant chaque dérivée partielle à l'aide du développement de Taylor, pour obtenir les équations linéaires qui lient les variables inconnues en un nœud aux valeurs de ces mêmes variables aux nœuds voisins. La précision du schéma dépend du nombre de nœud de l'ensemble retenu pour approximer une dérivée donnée et du maillage effectué (en général utilisation de maillage régulier et structuré).[18]

2.6.2 Méthode des éléments finis

La méthode des éléments finis est une technique qui permet de discrétiser l'espace en utilisant des éléments géométriques simples, généralement des triangles ou des quadrangles. Cette méthode est souvent privilégiée car elle permet de modéliser des géométries complexes. Elle a été initialement utilisée dans les années 1970 pour résoudre les équations de Navier-Stokes.

Dans la méthode des éléments finis, la forme forte des équations est remplacée par la forme faible, dans laquelle les inconnues sont approximées par une combinaison linéaire de fonctions de base ayant un support élémentaire. Les variables inconnues sont calculées en utilisant cette combinaison linéaire de fonctions.

L'approche des éléments finis se décompose en deux étapes :

- L'approximation nodale des fonctions inconnues par des sous-domaines, également appelées fonctions d'interpolation.
- L'utilisation de la méthode des résidus pondérés, telle que la méthode de Galerkin, qui permet de construire une formulation intégrale à partir des équations aux dérivées partielles. Cette méthode est conservatrice sur un domaine donné.

2.7 La méthode des volumes finis

La méthode des volumes finis consiste à subdiviser le domaine physique de l'écoulement en éléments de volume, plus ou moins réguliers, appelés volumes de contrôle. Les équations qui décrivent l'écoulement, formulées de manière conservatrice, sont intégrées à l'intérieur de ces volumes de contrôle. L'objectif de cette méthode est de convertir l'équation différentielle générale en un système d'équations algébriques en reliant les valeurs de la variable considérée, telle que la pression, la vitesse ou la température, aux points adjacents du volume de contrôle.

Pour mettre en œuvre la méthode des volumes finis, les étapes suivantes sont généralement suivies :

- Le domaine de calcul est divisé en volumes de contrôle discrets à l'aide d'un maillage.
- Les équations gouvernantes sont intégrées sur chaque volume de contrôle individuel, ce qui permet de construire les équations algébriques pour les variables discrètes (inconnues) telles que les vitesses, les pressions, les températures et autres grandeurs scalaires conservées.
- Les équations discrétisées sont linéarisées, et le système d'équations linéaires résultant est résolu afin de déterminer les valeurs des variables dépendantes. De nombreux logiciels de simulation numérique en mécanique des fluides reposent sur la méthode des volumes finis, tels que Fluent, Star CD, CFX, Fine turbo.

2.7.1 Avantages et inconvénients :

- Bien adaptée aux lois de conservation.
- Permet des maillages non-structurés (géométries complexes).
- Difficulté à monter en ordre.

2.8 Principe de la méthode des volumes finis

Les étapes des résolutions de la méthode des méthodes finis sont les suivantes :

2.8.1 Maillage

C'est la subdivision du domaine d'étude en grilles longitudinales et transversales dont l'intersection représente un nœud, ou on trouve les composantes u et v de la vectrice vitesse qui se trouve au milieu de segments reliant deux nœuds adjacents. La discrétisation du domaine est obtenue par un maillage constitué d'un réseau de points.

Les grandeurs scalaires pression, température, sont stockées dans le nœud P du maillage, tandis que les grandeurs vectorielles \mathbf{u} et \mathbf{v} sont stockés aux milieux des segments reliant les nœuds. L'équation du transport est intégrée sur le volume de contrôle associé aux variables scalaires est les équations de quantités de mouvement sont intégrée sur le volume de contrôle associé aux composants de vitesse.

Le volume de contrôle de la composant longitudinale \mathbf{u} est décalé suivant la direction \mathbf{x} par rapport au volume de contrôle principale, celui de la composant transversale \mathbf{v} est décalé suivant la direction de \mathbf{y} .

Ce type de maillage est dit maillage décalé permet une bonne approximation des flux convectifs est une meilleure évaluation de des gradients de pression ainsi une stabilisation numérique de la solution.[4]

2.8.2 Discrétisation des équations gouvernantes

L'étape principale de la méthode des volumes finis consiste à intégrer les équations régissant l'écoulement pour chaque volume de contrôle. Les équations algébriques dérivées de cette intégration simplifient la résolution des équations de transport.

Chaque nœud du maillage est entouré par un ensemble de surfaces qui délimitent un volume de contrôle. Les variables du problème et les propriétés du fluide sont stockées aux nœuds de cet élément de volume. Les équations qui régissent l'écoulement sont formulées sous forme moyennée dans un repère cartésien (x, y, z).

2.8.3 Les équations gouvernantes

Le problème considéré est gouverné par les équations couplées de Navier Stokes pour un fluide incompressible, tenant compte de l'hypothèse de Boussinesq, et de l'énergie dans laquelle le terme de la dissipation visqueuse a été négligé.

2.8.3.1 Equation de continuité

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (2.1)$$

U et v étant les composantes du champ de vitesse V (u, v) dans la direction x et y respectivement.

2.8.3.2 Equation de la conservation de la quantité de mouvement

Suivant l'axe x :

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (2.2)$$

Suivant l'axe y :

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + g\beta(T - T_0) \quad (2.3)$$

2.8.3.3 Equation de la conservation de l'énergie

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (2.4)$$

Où :

u : est la composante de la vitesse suivant la direction x.

v : est la composante de la vitesse suivant la direction y.

ρ : La masse volumique.

T : Température du local.

T_0 : Température d'entrée d'air du local.

α : Diffusivité thermique.

2.9 Approximation de Boussinesq

L'approximation de Boussinesq est une simplification couramment utilisée en mécanique des fluides pour modéliser les écoulements de fluide incompressible soumis à de faibles variations de densité avec la température.

L'approximation de boussinesq pour l'air considère que la densité de l'air est constante sauf dont le terme de flottabilité qui tient en compte de la variation de la densité due à la variation de la température.

En se limitant à un développement du premier ordre :

$$\rho = \rho_0(1 - \beta(T - T_0)) \quad (2.5)$$

Le terme β est le coefficient d'expansion thermique.

Pour un gaz parfait

$$\beta_{\text{gaz parfait}} = \frac{1}{T}$$

Où T est la température absolue (température du film) $T = T_{\text{min}} + T_{\text{max}}/2$

T_0 est la température de référence

ρ_0 est la masse volumique de l'air

2.10 Le modèle de turbulence

Dans cette étude on a utilisé le modèle k- ϵ standard. Il est un modèle basé sur les équations de transport de l'énergie cinétique turbulente k et de sa dissipation ϵ . Dans le modèle k- ϵ la viscosité turbulente est exprimée en fonction de k et ϵ par la formule suivante : [18]

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\epsilon} \quad (2.6)$$

Où :

ϵ : appelé **taux de dissipation** de l'énergie cinétique turbulente.

k : énergie cinétique turbulente.

C_μ : est une constante, dont sa valeur est égale à 0.09.

2.11 Les nombres adimensionnels

2.11.1 Le nombre de Reynolds

Le nombre de Reynolds est le rapport des forces d'inertie aux forces de viscosité.

Il est défini comme suit :

$$Re = \rho VL / \mu \quad (2.7)$$

2.11.2 Le nombre de Prandtl

Le Nombre de Prandtl est le rapport de la viscosité cinématique μ/ρ et la diffusivité thermique $\alpha=\lambda/\rho C_p$.

On le définit par :

$$Pr = \frac{\mu C_p}{\lambda} \quad (2.8)$$

C_p : Capacité calorifique massique (J/bc. d)

2.11.3 Le nombre de Nusselt

Le Nombre de Nusselt Nu est le rapport du flux thermique q , transmis par convection à un flux

$$NU = \frac{hD}{\lambda} \quad (2.9)$$

2.11.4 Nombre de Rayleigh

Le nombre de Rayleigh (Ra) est un nombre adimensionnel utilisé pour caractériser les écoulements de la convection naturel.

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot L^3 \cdot Pr}{\nu^2} \quad (2.10)$$

2.12 Les conditions aux limites

➤ A L'entrée

$$u=cst ; T=298.15 \text{ K.}$$

➤ Paroi inférieure :

$$u= 0; v=0; T=298.15 \text{ K.}$$

➤ Paroi supérieure :

$$u=0; v=0; T=302.15 \text{ K.}$$

➤ Paroi droite :

$$u= 0; v=0; T=298.15 \text{ K.}$$

➤ Paroi gauche :

$$u= 0; v=0; T=298.15 \text{ K.}$$

➤ A la sortie

$$p = p_{\text{atmosphérique}}$$

Tableau 2.1 : Propreté thermo-physique de l'air 293K.

Propretés	Symbole	Unité	Valeur
Capacite thermique	C_p	J/Kg.K	1006.43
Masse volumique	ρ	Kg/m ³	1.225
Conductivité thermique du fluide	λ_f	W/m.K	0.0242
Coefficient de dilatation thermique	B	1/K	0.0033
Viscosité cinématique	V	m ² /s	1.7894×10^{-5}
Numéro de prandtl	Pr	-	0.70

2.13 Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté la formulation mathématique du model physique, par les équations de Navier Stokes et l'équation de l'énergie en tenant compte de l'hypothèse de Boussinesq.

Simulation Numérique

3.1 Introduction

Le CFD, ou Computational Fluid Dynamics, est une abréviation qui correspond à la Mécanique des Fluides Numérique (MFN) en français. La MFN consiste à étudier les mouvements des fluides et leurs effets en résolvant numériquement les équations qui les régissent. Selon les approximations choisies, qui sont souvent basées sur un compromis entre les besoins de représentation physique et les ressources de calcul ou de modélisation disponibles, les équations résolues peuvent être les équations d'Euler, les équations de Navier-Stokes, et autres.

La MFN a évolué d'un intérêt mathématique initial pour devenir un outil essentiel dans presque tous les domaines de la dynamique des fluides, allant de la propulsion aérospatiale aux prévisions météorologiques, en passant par la conception de coques de bateaux. Dans le domaine de la recherche, cette approche est fortement soutenue, car elle permet d'accéder à des informations instantanées complètes (vitesse, pression, concentration) pour chaque point de la zone étudiée, à un coût global généralement abordable par rapport aux expériences physiques équivalentes.

3.2 Définition CFD

La CFD (Computational Fluid Dynamics), ou Dynamique des Fluides Numérique en français, est une branche de l'ingénierie qui utilise des méthodes numériques pour résoudre les équations mathématiques qui décrivent le comportement des fluides. Elle permet de simuler et d'analyser les écoulements de fluides, tels que l'air et l'eau, ainsi que les transferts de chaleur et de masse qui y sont associés.

3.2.1 Le rôle de CFD

L'un des principaux objectifs des entreprises orientées produits est de commercialiser rapidement des produits à haute valeur ajoutée répondant aux attentes de leurs clients. En outre, l'un des facteurs de succès des entreprises est l'identification proactive des scénarios d'applications susceptibles d'avoir pour résultat des performances insatisfaisantes, des défaillances de produits et des clients insatisfaits.

Ces entreprises cherchent donc à développer des solutions de conception permettant d'atténuer les risques potentiels. Pour identifier les concepts les plus prometteurs dès le début du processus de conception, il est indispensable d'utiliser un logiciel de CFD dans les premières étapes du développement des produits. La qualité du produit sera améliorée au cours de la phase de conception, en réalisant des études de base des phénomènes fluides et thermiques qui influent directement sur les performances du produit. Au cours de la phase de conception

détaillée, les simulations sont menées dans des conditions similaires à ce que subira le produit réel.

En étant dès lors mieux à même de comprendre la source des problèmes qui limitent les performances et le bon fonctionnement, les ingénieurs de conception peuvent étudier des conceptions alternatives avant de passer en phase de production.

3.2.2 Les domaines d'utilisation de CFD dans l'industrie

- **Aérospatiale et défense** : écoulement subsonique et supersonique, aérodynamique des véhicules, échange thermique conjugué ;
- **Automobile** : climatisation de la cabine, bruits aéro-acoustiques, ballonnement des liquides, gaz d'échappement, aérodynamique, refroidissement du moteur, dégivrage, boîte de vitesses ;
- **Biens de consommation** : acoustique, refroidissement passif/actif, casques de vélo ;
- **Électronique** : pièces détachées, analyse thermique de circuit imprimé, refroidissement, analyse de la partie LED ;
- **Construction navale** : acoustique, conception des hélices, études de cavitation ;
- **Machinerie** : grands ventilateurs, turbines à gaz, éoliennes, turbines à vapeur, pompes, machines de lavage, turbocompresseurs.

3.3 Lancement de Gambit

Dans le coin en haut à droite, on retrouve les différentes opérations que l'on peut réaliser sur ce logiciel. La première opération est la géométrie. Ce menu permet de créer des volumes, des surfaces, des lignes et des points. On peut également modifier des géométries importées. La seconde opération est le maillage de la géométrie. Ce menu permet de mailler des volumes, des surfaces mais aussi discrétiser des lignes. La troisième opération permet de définir les conditions aux limites. La quatrième opération est un menu d'outil.

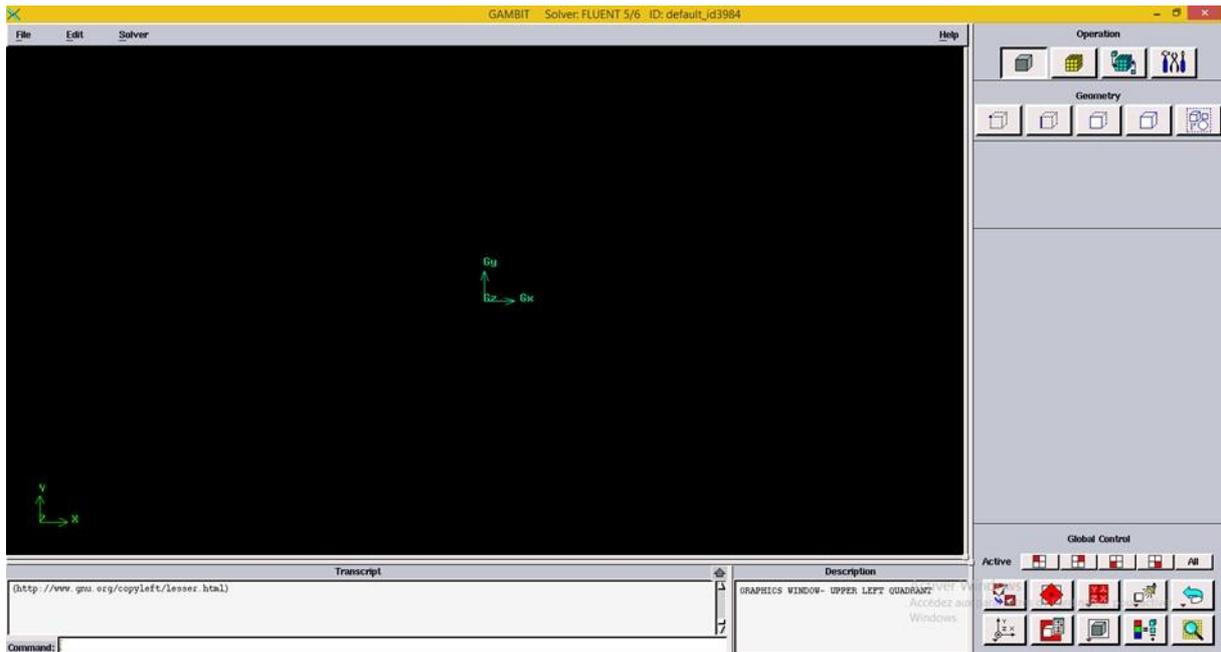


Figure 3.1 : Lancement de Gambit.

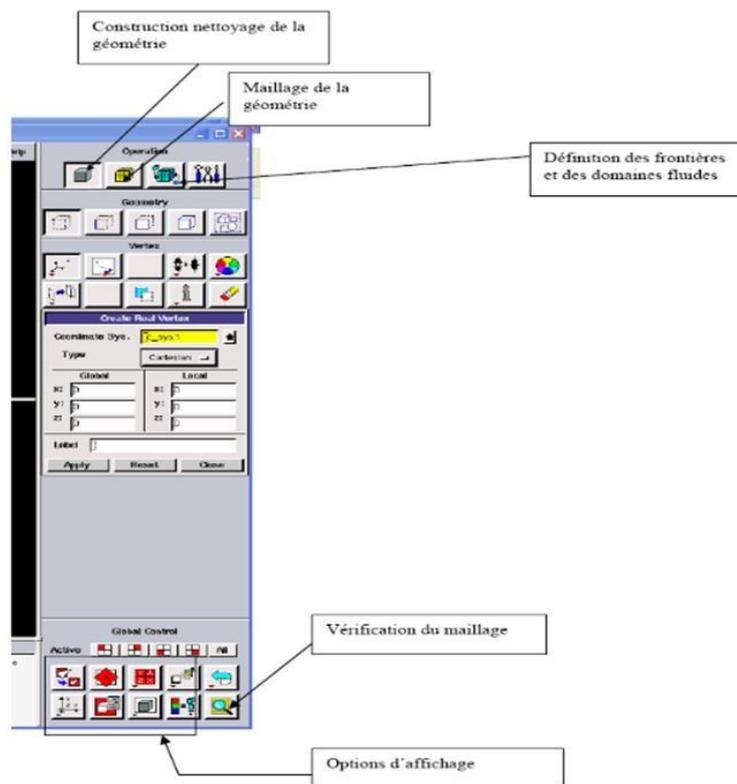


Figure 3. 2: Outils de Gambit.

3.3.1 Création de la géométrie

Notre géométrie concerne un local avec une coupole et une toure, sur la coupole un petit cheminé avec deux ouvertures symétriques de hauteur de 0.20 m et une vitesse variable et l'autre située au coin inférieur gauche du local représente l'entrée d'air de largeur de $h=0.1$ m figure (3.2).

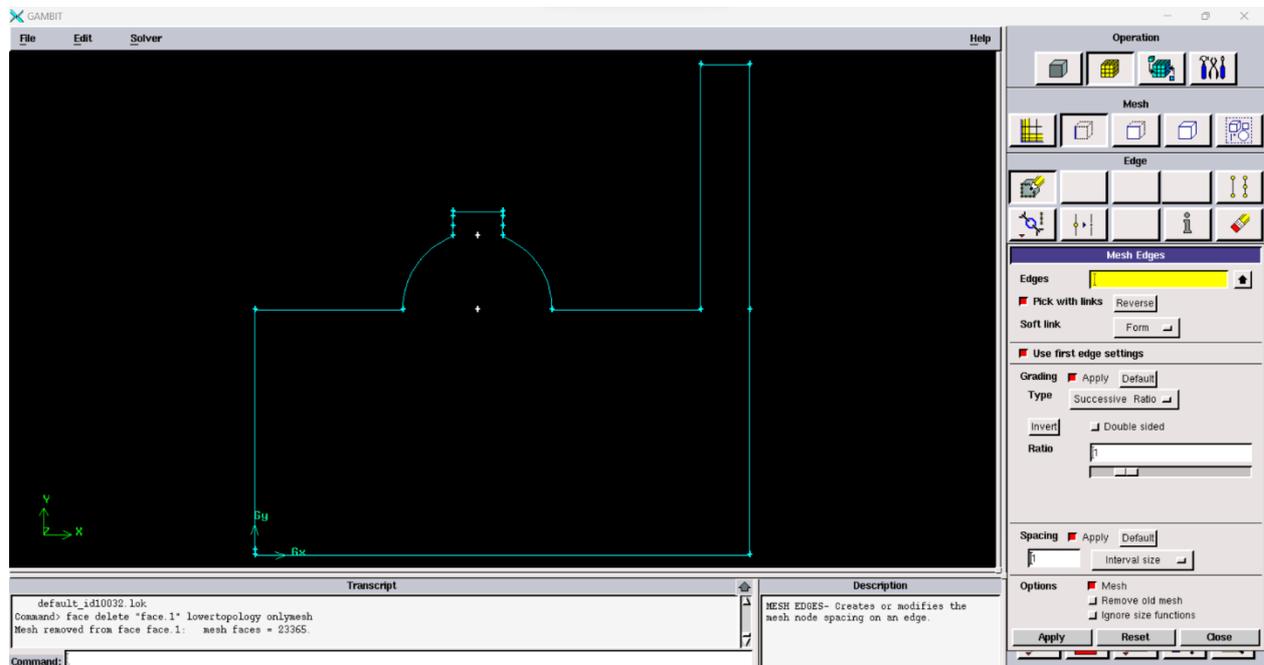


Figure 3.3:Création de la géométrie.

3.3.2 Le maillage et les conditions aux limites

3.3.2.1 Maillage

La génération du maillage 2D est une phase très importante dans une analyse CFD, vu l'influence de ses paramètres sur la solution calculée. Ce menu permet de mailler en particulier une ligne de la géométrie, à savoir disposer les nœuds avec des conditions particulières (utilisation d'un ratio pour modifier la pondération du maillage, application de formes différentes de maillage).

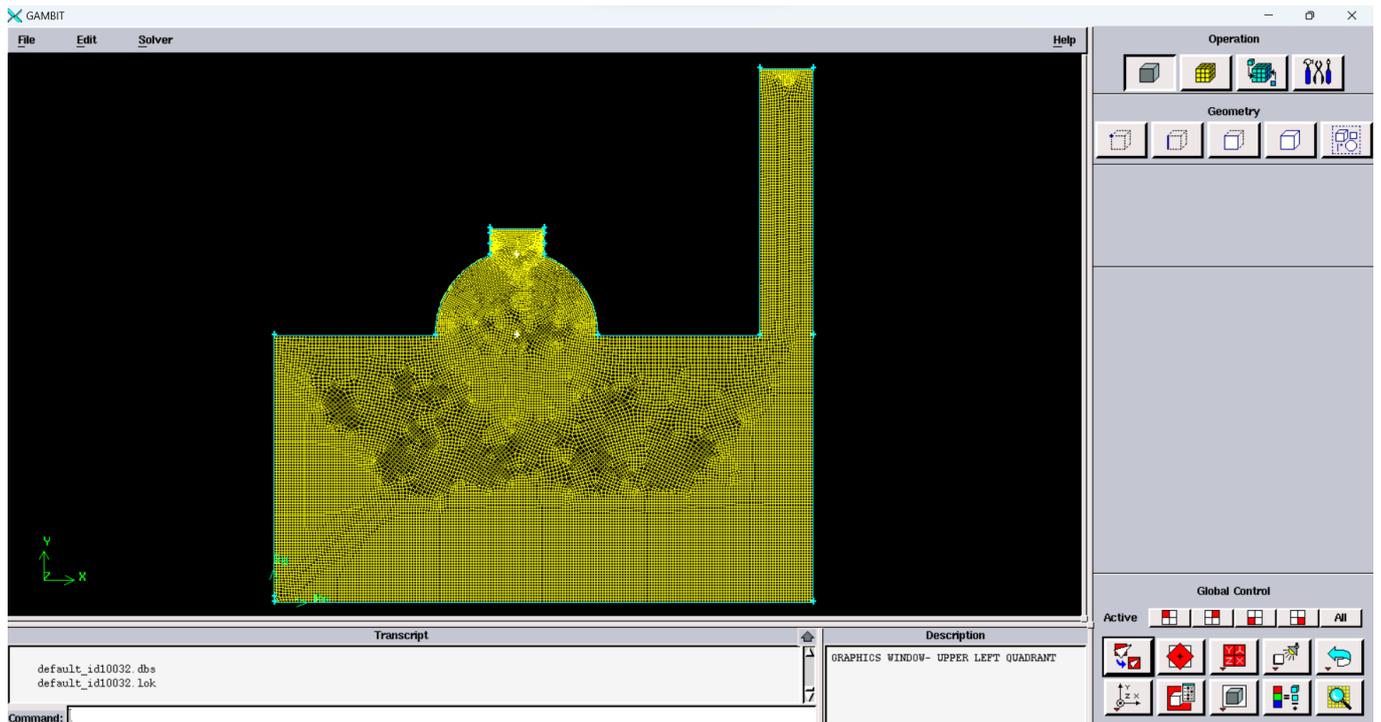


Figure3.4: Choix de maillage final.

3.3.2.2 Les conditions aux limites

La figure ci-dessous présente le choix des conditions aux limites.

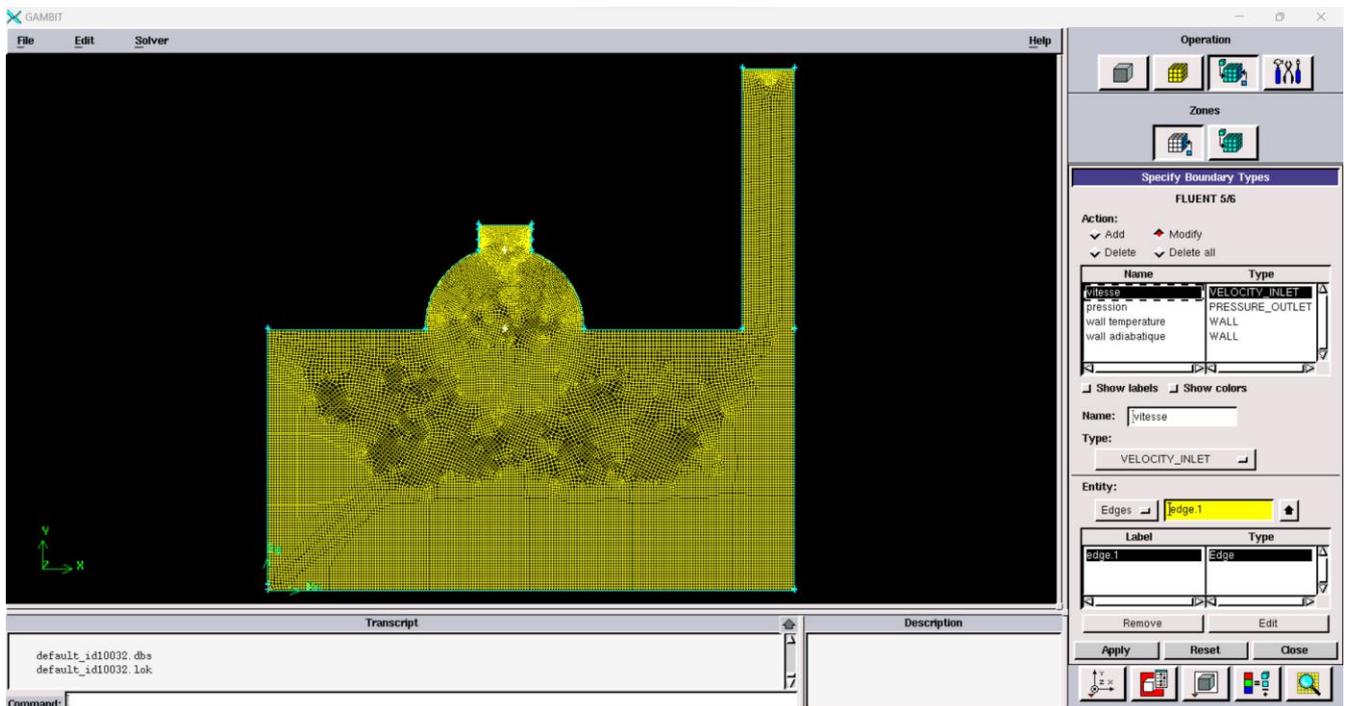


Figure 3.5: choix des conditions aux limites.

3.3.3 Exportation du maillage de Gambit

Après la création de la géométrie et les conditions aux limites, on exporte le maillage au Solveur Fluent suivant l'étape : File -export- mesh

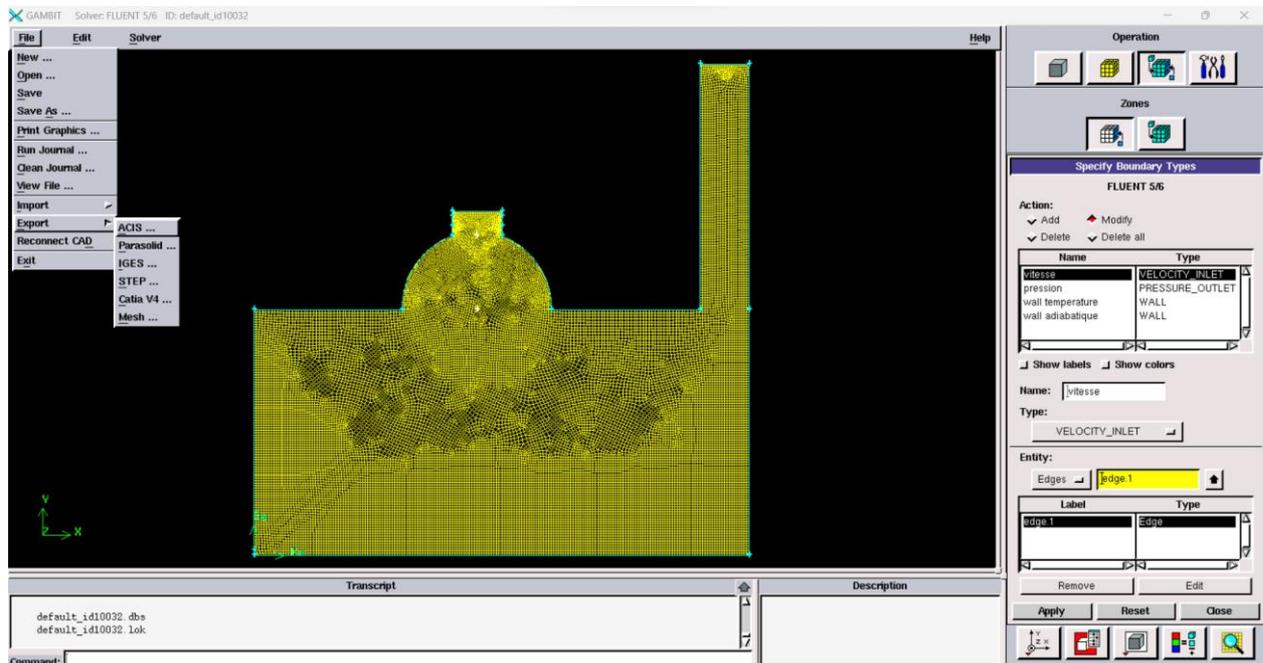


Figure 3.6: Exportation du maillage.

Il nécessite d'exporter le maillage, en format « .msh » pour que le Fluent soit compétent de le lire et de l'utiliser après enregistrement, comme suit :

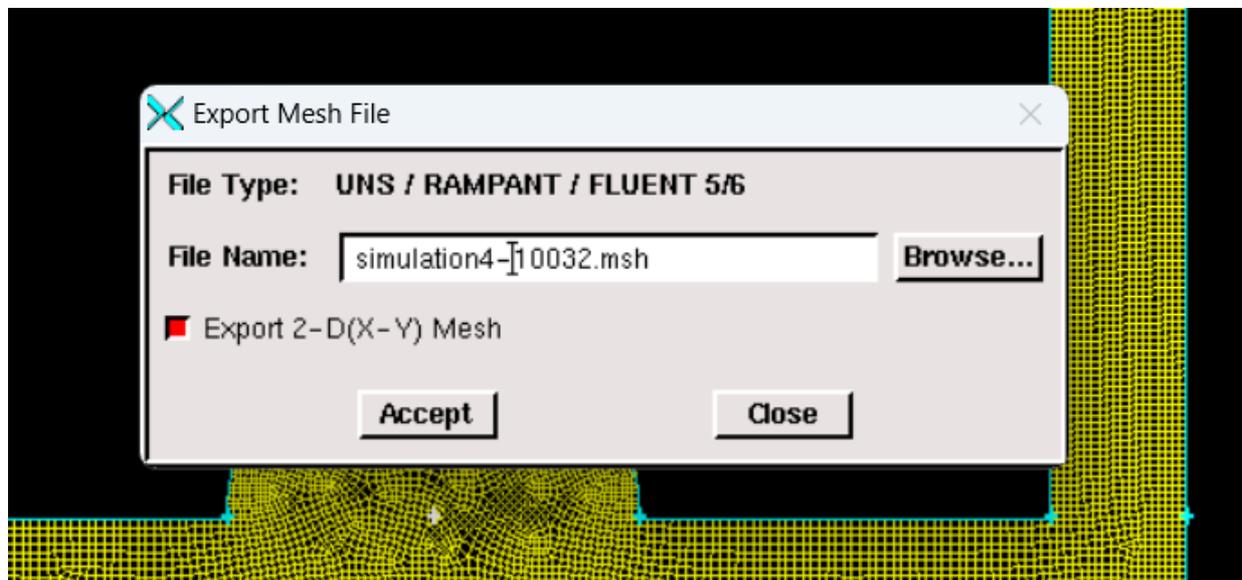


Figure3. 7: Enregistrement du fichier.

3.4 Définition de Fluent

Fluent est un code de calcul pour modéliser les écoulements des fluides dans des géométries complexes. Ce logiciel écrit en langage de programmation C et utilise pleinement la flexibilité et la puissance offerte par Ce langage (par exemple allocation

de la mémoire dynamique). Et aussi utilise une architecture qui lui permet d'exécuter plusieurs processus simultanément sur e même poste de travail ou sur des postes séparés pour une exécution plus efficace. FLUENT résoudre les problèmes d'écoulement avec des mailles non structurées, qui peuvent être produites pour des géométries complexes, avec une relative facilité. Les types de mailles supportées sont:

- ✓ Des mailles en 2D, triangulaires ou quadrilatérales.
- ✓ Des mailles en 3D tétraédriques, hexaédriques, pyramidales.
- ✓ Des mailles (hybrides) mixtes.

3.4.1 Lancement de Fluent

Puisque notre géométrie est en 2D, pour le domaine de calcul le choix du 2D double précision le plus semblable notre étude, il est donc distingué comme suit :



Figure 3. 8: lancement Fluent.

3.4.2 Importation de la géométrie

Pour commencer l'étude il faut importer le fichier (*.msh) généré sous Gambit par l'étape suivante : File – Read – Case

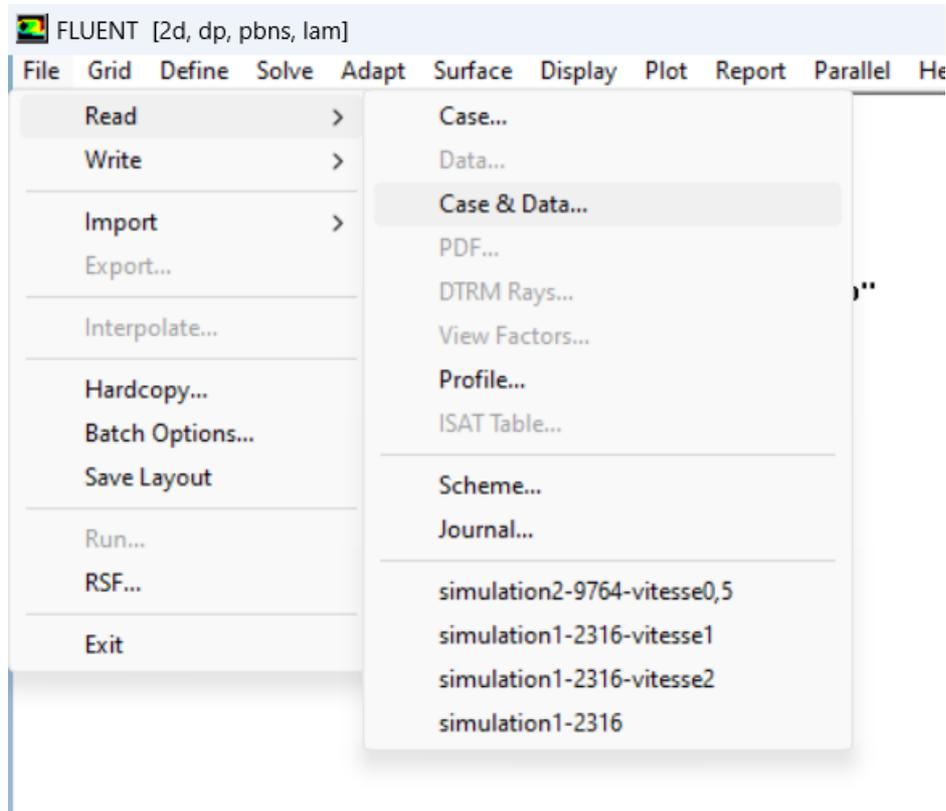


Figure 3.9: Importation de la géométrie.

Activer la fonctionnalité de l'équation de l'énergie :

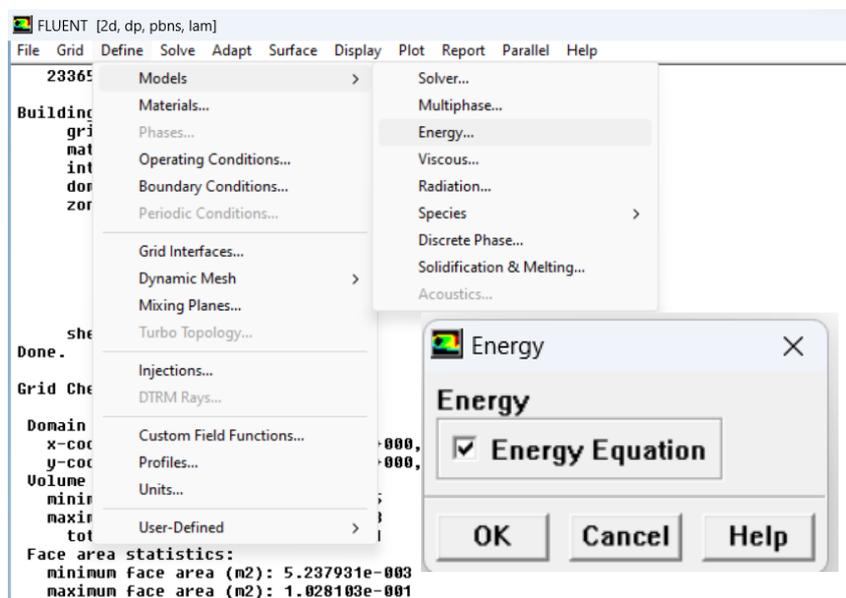


Figure 3. 10: Importation de la géométrie.

3.4.3 Les conditions aux limites

Il est nécessaire de fixer les valeurs des conditions aux limites du problème à traiter

:

i. Define -Modèles -Viscose

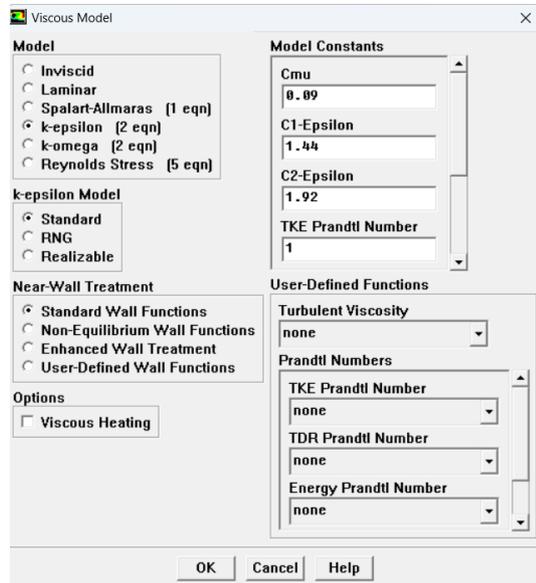


Figure 3.11: Activation de k-epsilon.

ii. Define- Matériel

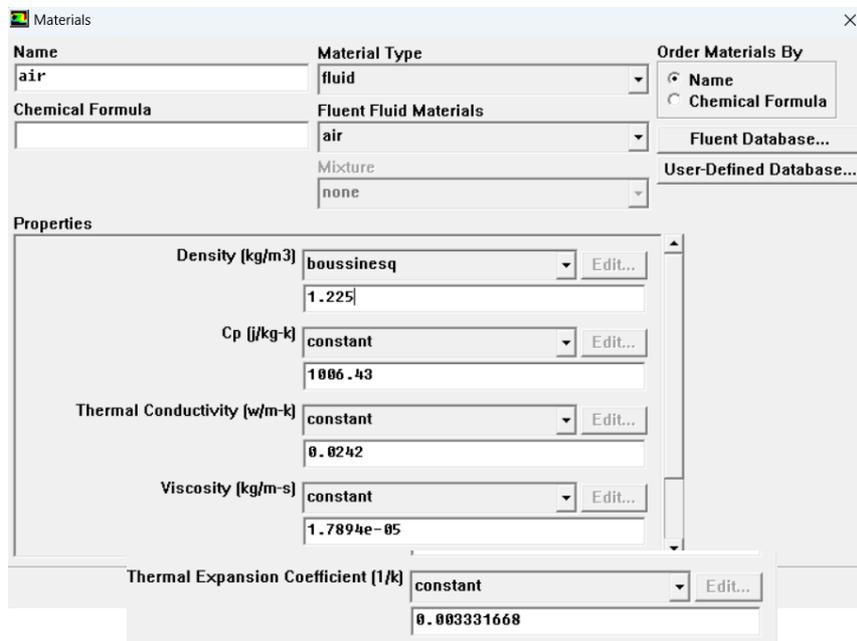


Figure 3.12: Définition des matériels.

iii. Define- Boudry conditions**➤ Température des parois**

On fixe la température des parois (sol, paroi latérale) a une valeur de 298.15° K.

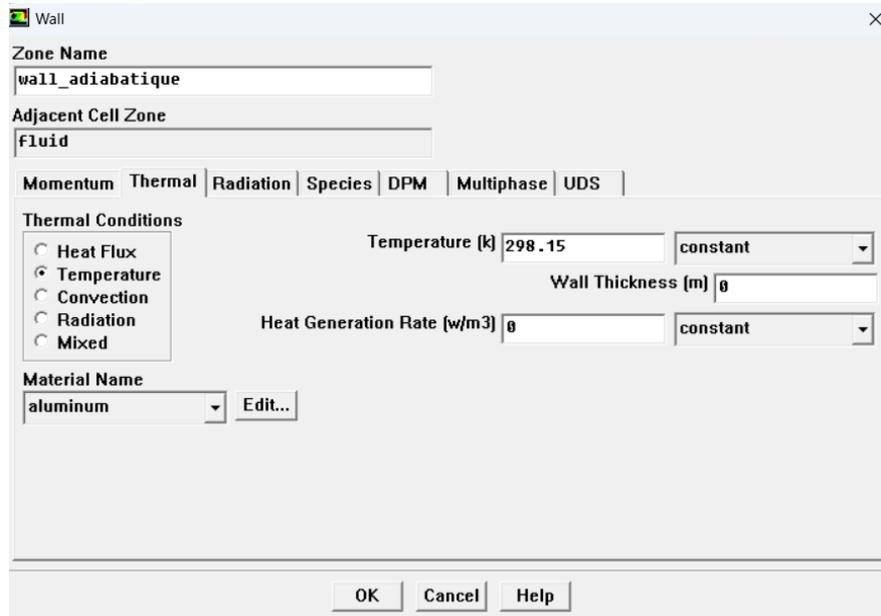


Figure 3.13: Température de la paroi.

➤ Température paroi supérieur du local

On fixe la température de la paroi supérieure de local a une valeur de 302.15° K.

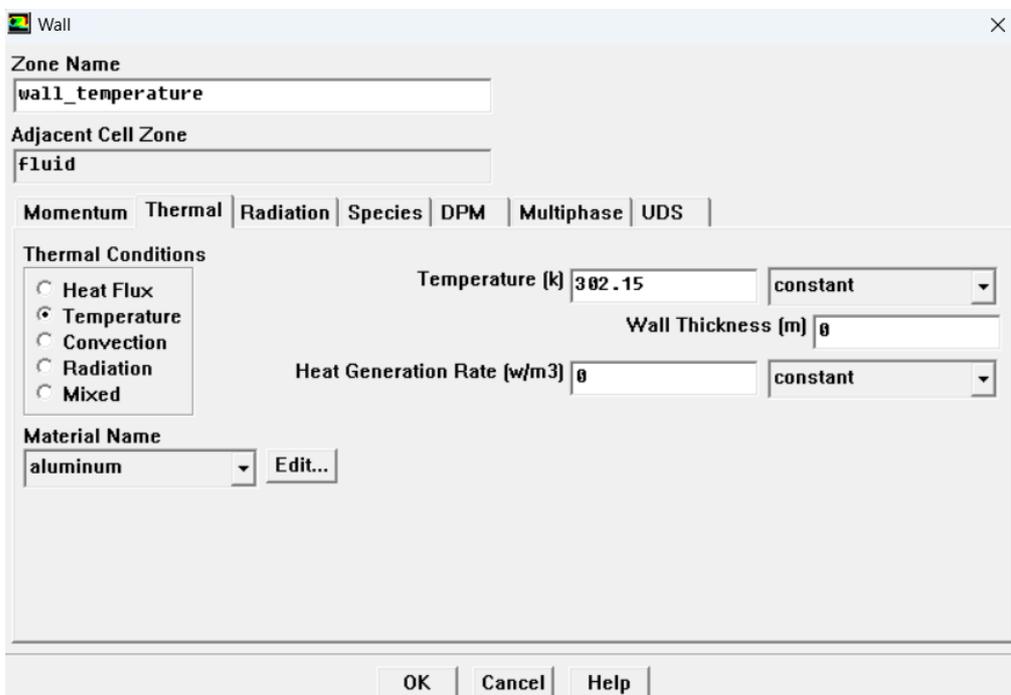


Figure 3.14: température d'entrer.

➤ Vitesse d'entrée

On fixe la vitesse d'entrer de jet d'air sur une valeur de 0.5 ,1 et 2m/s.

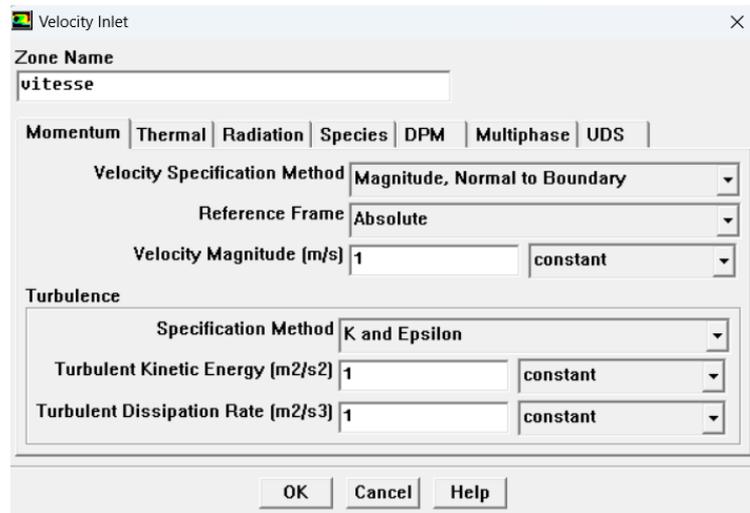


Figure 3.15: vitesse d'entrée.

3.4.4 Controls solution

Cette étape nous a permis d'estimer les schémas de discrétisations, ainsi que le choix d'ordre des équations et l'algorithme (ou choix de solution). Solve – Methods.

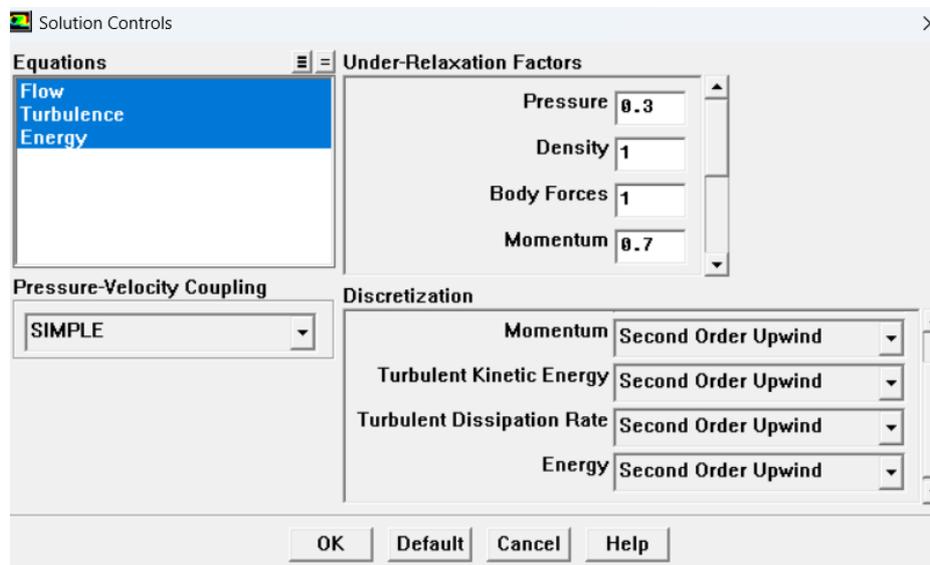


Figure 3.16: Choix d'ordre d'équation.

3.4.5 Solution initialization : solve-initializ-initializ

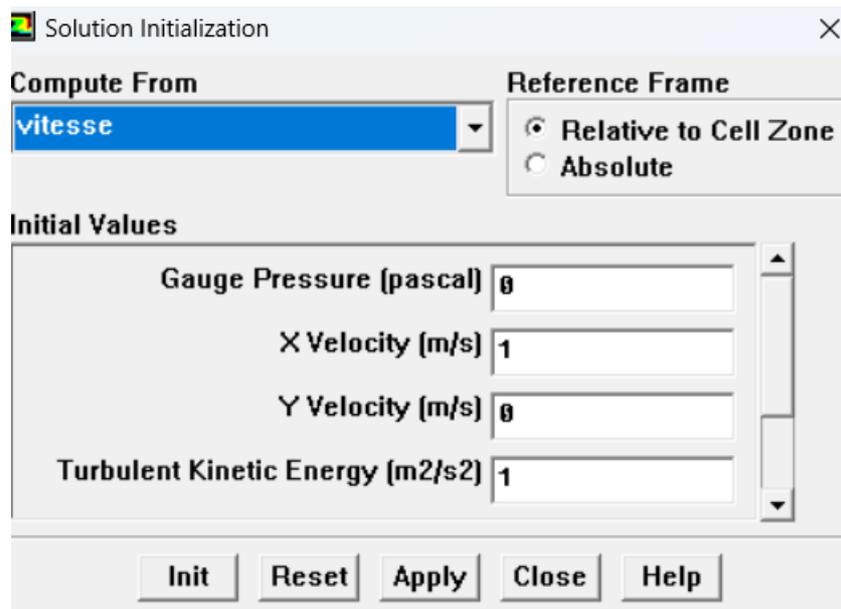


Figure 3.17: Initialization de solution.

3.4.6 Allures de l'évolution des résidus de calcul

Solve-iterate

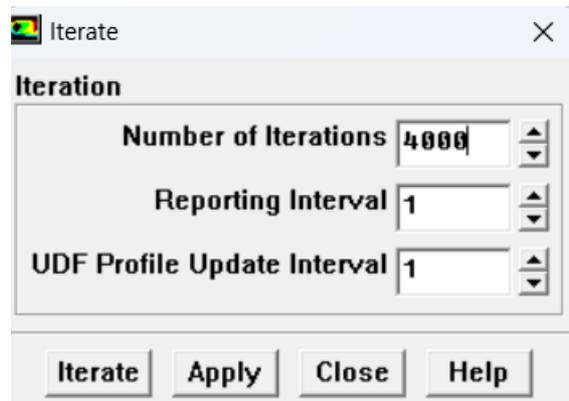


Figure 3.18: Nombre d'itération.

3.4.7 Critère de convergence

Ce critère est une contrainte spécifique sur les résidus qui définissent la convergence d'une solution itérative. La convergence a été évaluée à l'aide de trois critères. Tout d'abord, les résidus d'équation normalisés pour les équations de quantité de mouvement, de continuité, de turbulence et de fraction volumique ont été vérifiés et devraient de préférence tomber en dessous de $1e6$. Cependant, ce critère seul n'est pas suffisant pour juger de la validité de la solution. Dans certains cas, le critère résiduel peut ne jamais être satisfait même si la solution est valide, et dans d'autres cas, la solution peut être erronée même si les résidus sont faibles.

Nous essayons d'avoir une bonne convergence tout au long de la simulation et donc les critères sont rendus stricts pour obtenir un résultat précis. Des instabilités numériques peuvent se produire avec un problème mal formulé, une mauvaise qualité de maillage et/ou des

paramètres de solveur inappropriés, et peuvent être représentées comme des résidus croissants (divergents) ou "bloqués". Les résidus divergents impliquent un déséquilibre croissant dans les équations de conservation. Les principales solutions pour résoudre ces problèmes sont :

- Vérifiez si le problème est correctement spécifié ;
- Calculer une solution initiale en utilisant un schéma de discrétisation du premier ordre ;
- Rasteriser ou affiner les cellules géométriques.

Le calcul convergé quand le résidu est stable :

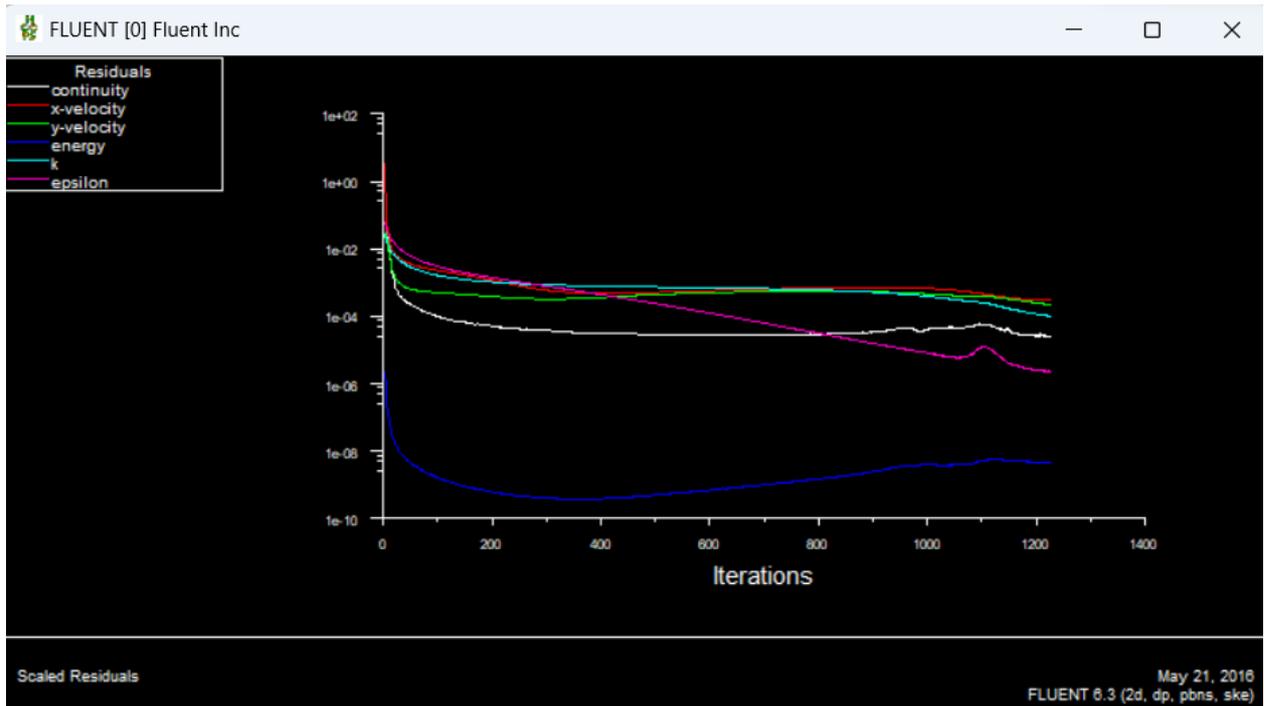


Figure 3.19: Allures de l'évolution des résidus de calcul.

```

-----
shell conduction zones,
Done.
Reading "C:\Users\yg\Desktop\simulation boussinequesse\simulation4-10032-vitesse1.dat"...
Done.

iter continuity x-velocity y-velocity energy k epsilon time/iter
? 3308 solution is converged
3308 3.2429e-06 9.4862e-05 7.0143e-05 5.7440e-10 9.9957e-05 3.3582e-05 0:00:00 4000

reversed flow in 20 faces on pressure-outlet 5.
? 3309 solution is converged
3309 3.2229e-06 9.4784e-05 7.0052e-05 6.3288e-10 9.9785e-05 3.3501e-05 0:00:00 3999

```

Figure 0.20: Nombre des itérations pour la convergence.

3.5 Conclusion

Ce chapitre expose les étapes clés pour mener à bien la simulation, en utilisant Le Gambit pour générer la géométrie étudiée et ANSYS FLUENT pour simuler les cas désirés.

Résultats et Interprétations

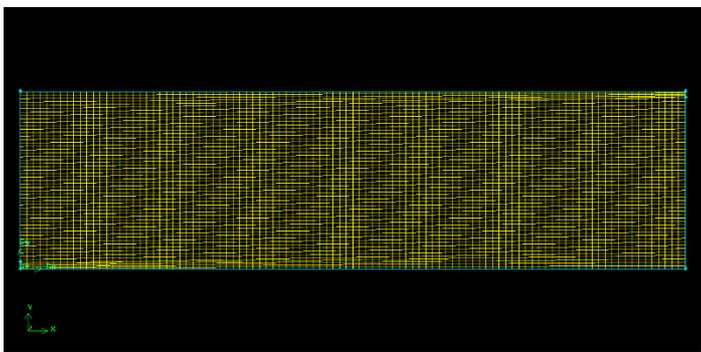
4.1 Introduction

Au cours de ce chapitre, nous procédons à une analyse détaillée des résultats de la simulation numérique avec le logiciel FLUENT 6.3 obtenus.

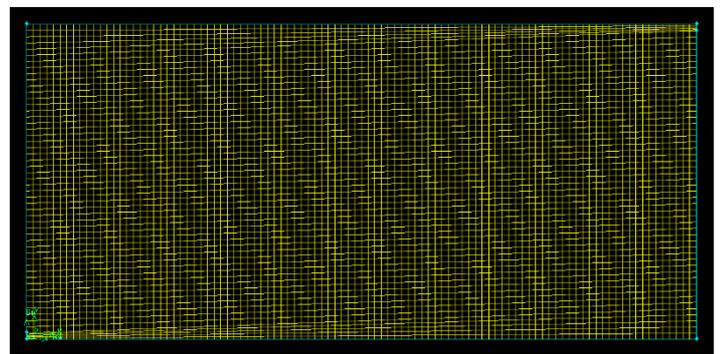
Les résultats de la simulation numérique ont été validés par des travaux antérieurs [15][20].

4.2 Maillages

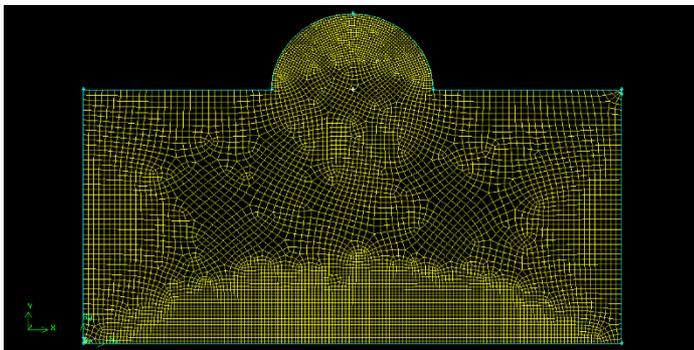
La figure suivante (Figure 4.1) présente le maillage utilisé pour les différentes configurations étudiées. Pour la configuration 1 et la configuration 2, un maillage carré avec des éléments Quad de type Map a été utilisé, tandis que pour la configuration 3 et la configuration 4, un maillage carré avec des éléments Quad de type Pave a été utilisé.



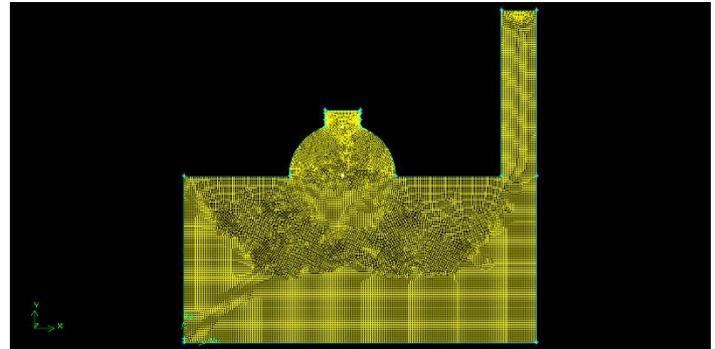
Local 1



Local 2



Local 3



Local 4

Figure 4.1 : Maillage des géométries étudiées.

4.3 Les lignes de courant

La figure suivante (Figure 4.2) illustre les contours des lignes de courant pour les configurations 1 et 2. On observe la présence de zones de recirculation au centre de local. Lorsque la vitesse est augmentée à 1 m/s, ces zones de recirculation occupent une plus grande partie de l'espace du local. Cependant, pour une vitesse de 2 m/s, ces zones sont presque au même niveau que pour la vitesse de 1 m/s.

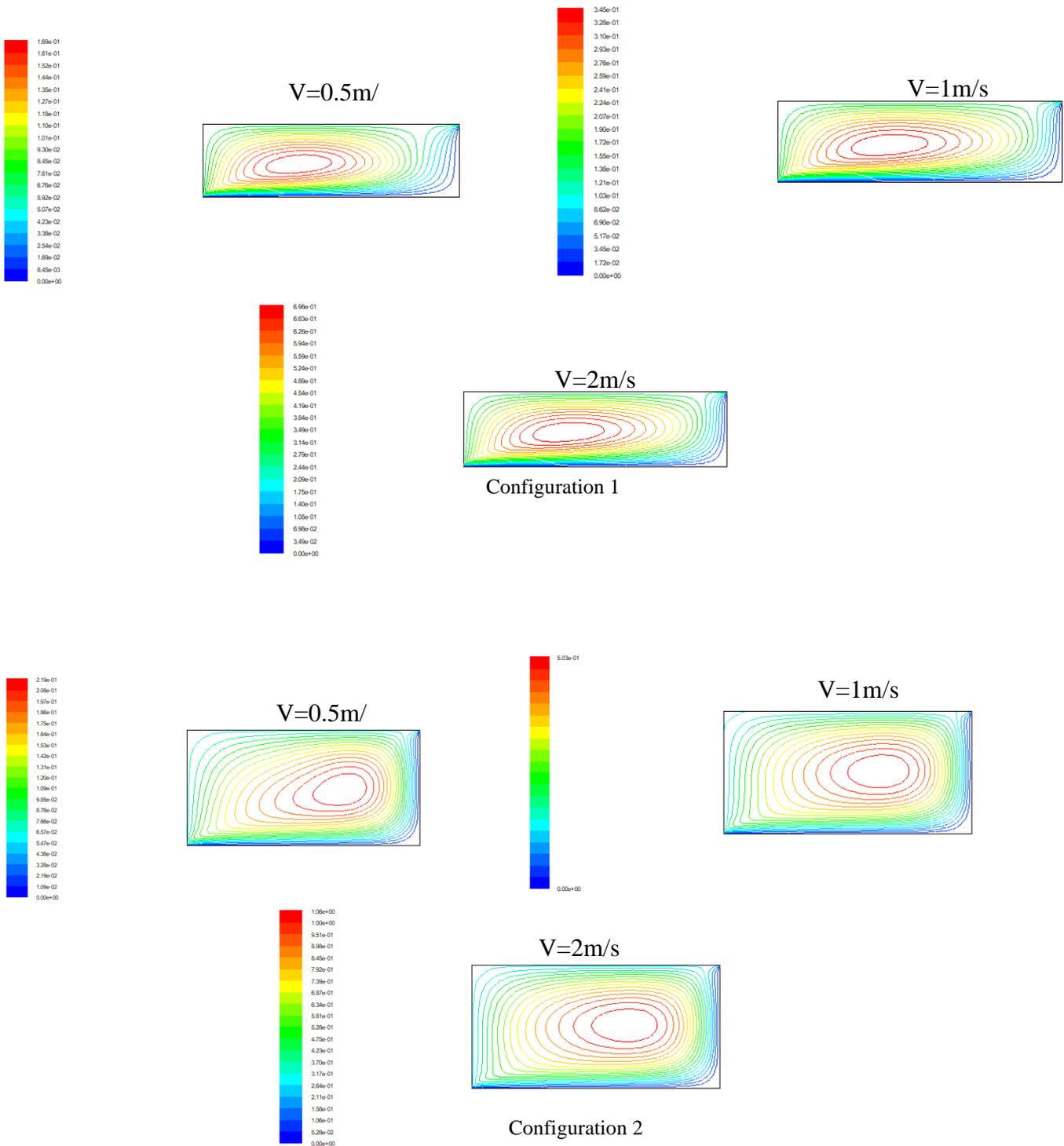


Figure 4.2 : Contour lignes de courant pour les configurations 1 et 2.

La distribution des zones de recirculation (vortex) est clairement visible dans la troisième et quatrième configuration pour les trois vitesses. On peut constater que pour les vitesses $v=1\text{m/s}$ et $v=2\text{m/s}$, les zones de recirculation sont bien réparties sur la section de la configuration.

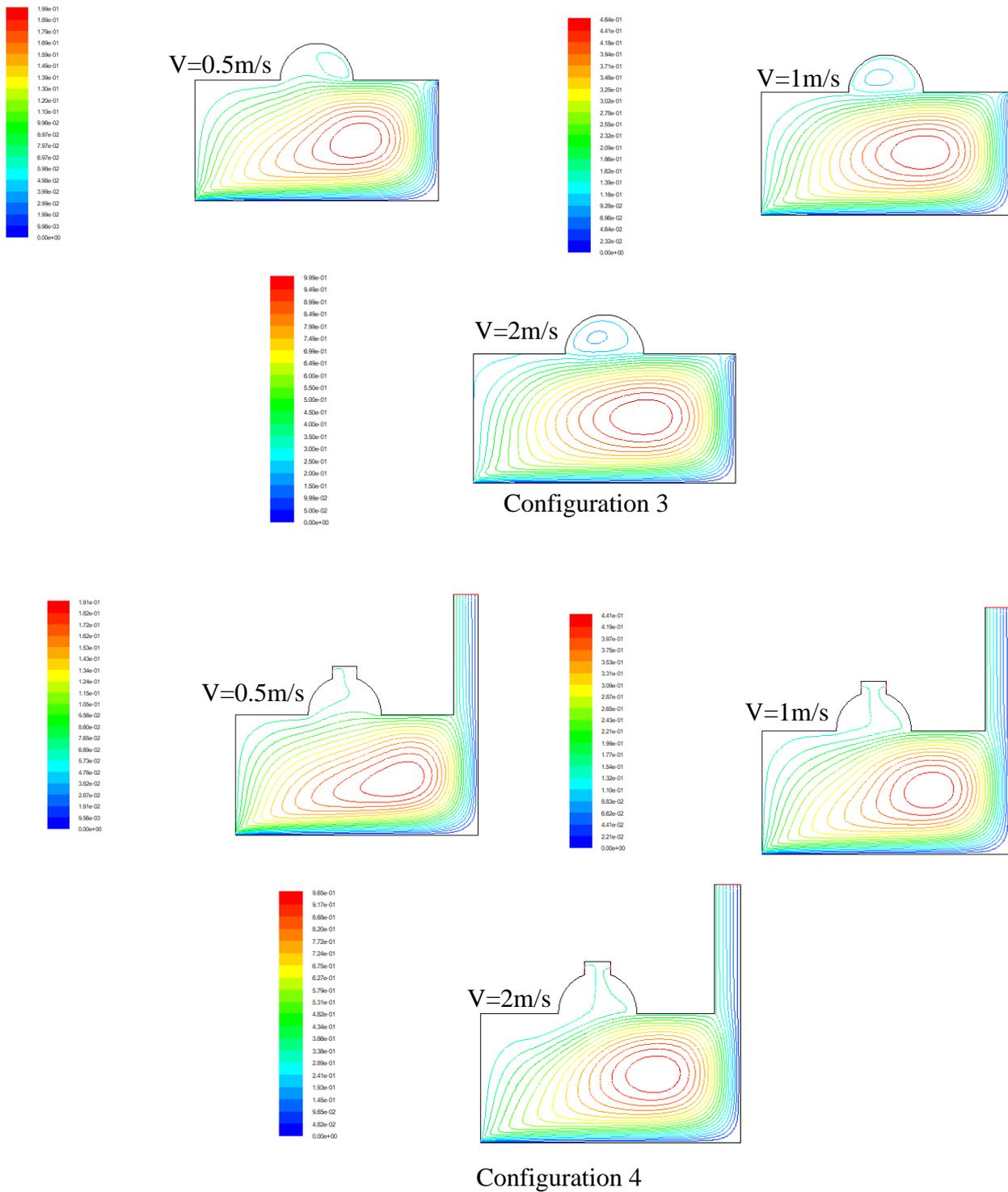


Figure 4.3 : Contour lignes de courant pour les configurations 3 et 4.

4.4 Distribution de la Vitesse axiale

La figure (4.4) présente les contours de la vitesse axiale pour différentes vitesses dans les deux configurations (configuration 1 et configuration 2). La répartition de la vitesse axiale dépend à la fois de la position et de la valeur à l'entrée d'air. Les profils de la figure 9 et de la

figure 10 illustrent l'évolution de la vitesse à la sortie des configurations 1 et 2. On peut observer que la distribution de la vitesse à la sortie dépend de la vitesse d'entrée de l'air dans la cavité. Dans les deux configurations, la vitesse la plus élevée à la sortie a été obtenue avec une vitesse d'entrée d'air de 2 m/s.

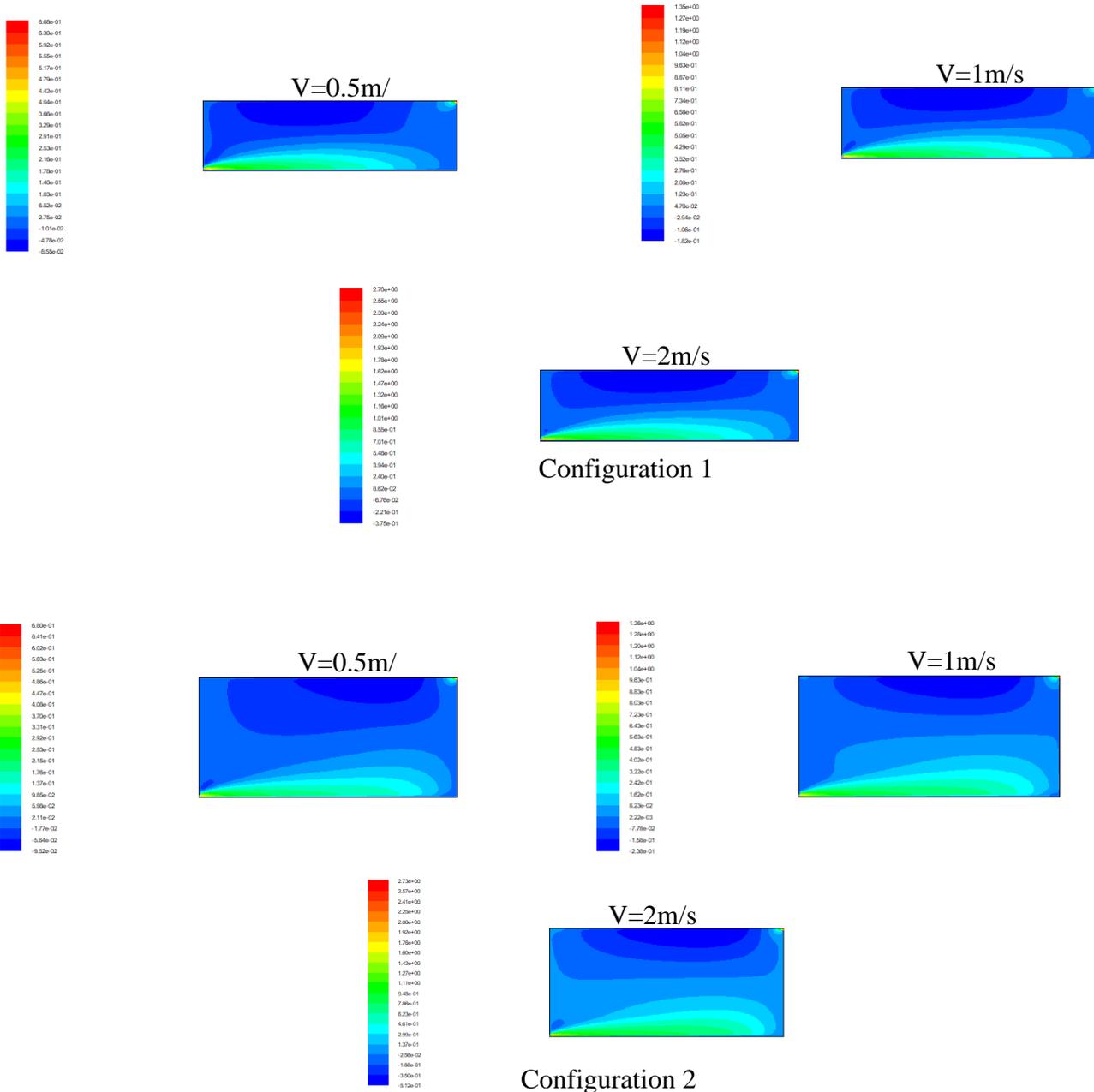


Figure 4.4 : Contour de la vitesse axiale vitesse pour les configurations 1 et 2.

La figure (4.5) illustre les contours de la vitesse axiale à différentes vitesses d'entrée d'air pour les deux configurations (configuration 3 et configuration 4). La répartition de la vitesse axiale dépend à la fois de la position et de sa valeur à l'entrée d'air. Les profils présentés dans la figure (4.12) et la figure (4.13) décrivent l'évolution de la vitesse à la sortie des configurations 3 et 4. La distribution de la vitesse à la sortie dépend de la vitesse d'entrée de

l'air. Dans ces deux configurations, la vitesse la plus élevée à la sortie a été obtenue avec une vitesse d'entrée d'air de 2 m/s.

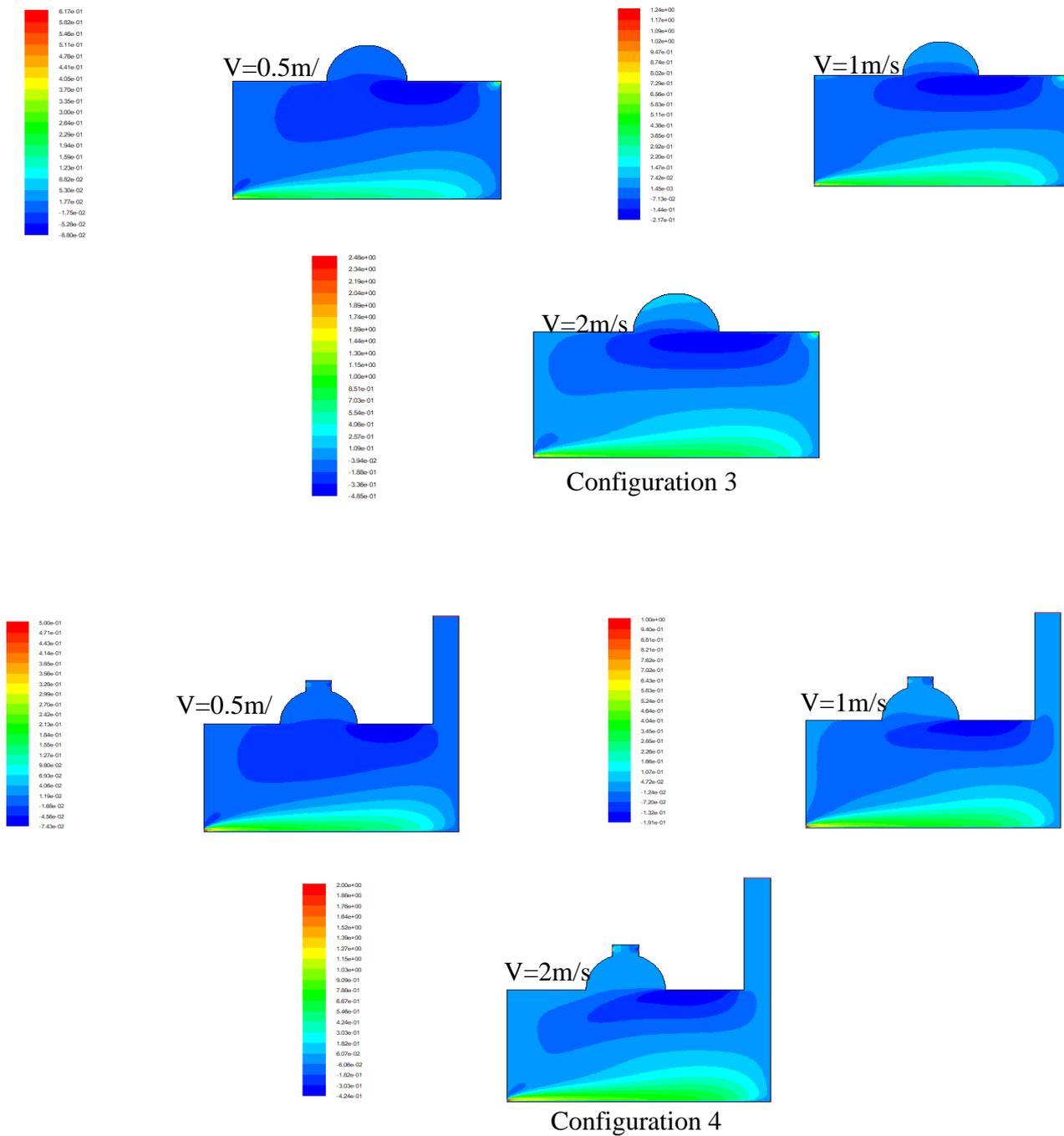


Figure 4.5 : Contour de la vitesse axiale vitesse pour les configurations 3 et 4.

4.5 Distribution de l'énergie cinétique

La figure (4.6) présente la distribution de l'énergie cinétique pour la configuration 1 et la configuration 2. On peut observer que l'énergie cinétique la plus élevée se développe à l'entrée d'air. Plus la vitesse à l'entrée de l'air augmente, plus la valeur de l'énergie cinétique développée est importante. Pour une vitesse d'entrée d'air de 2 m/s, on peut clairement visualiser le contour de l'énergie cinétique à la fois à l'entrée d'air et à la sortie.

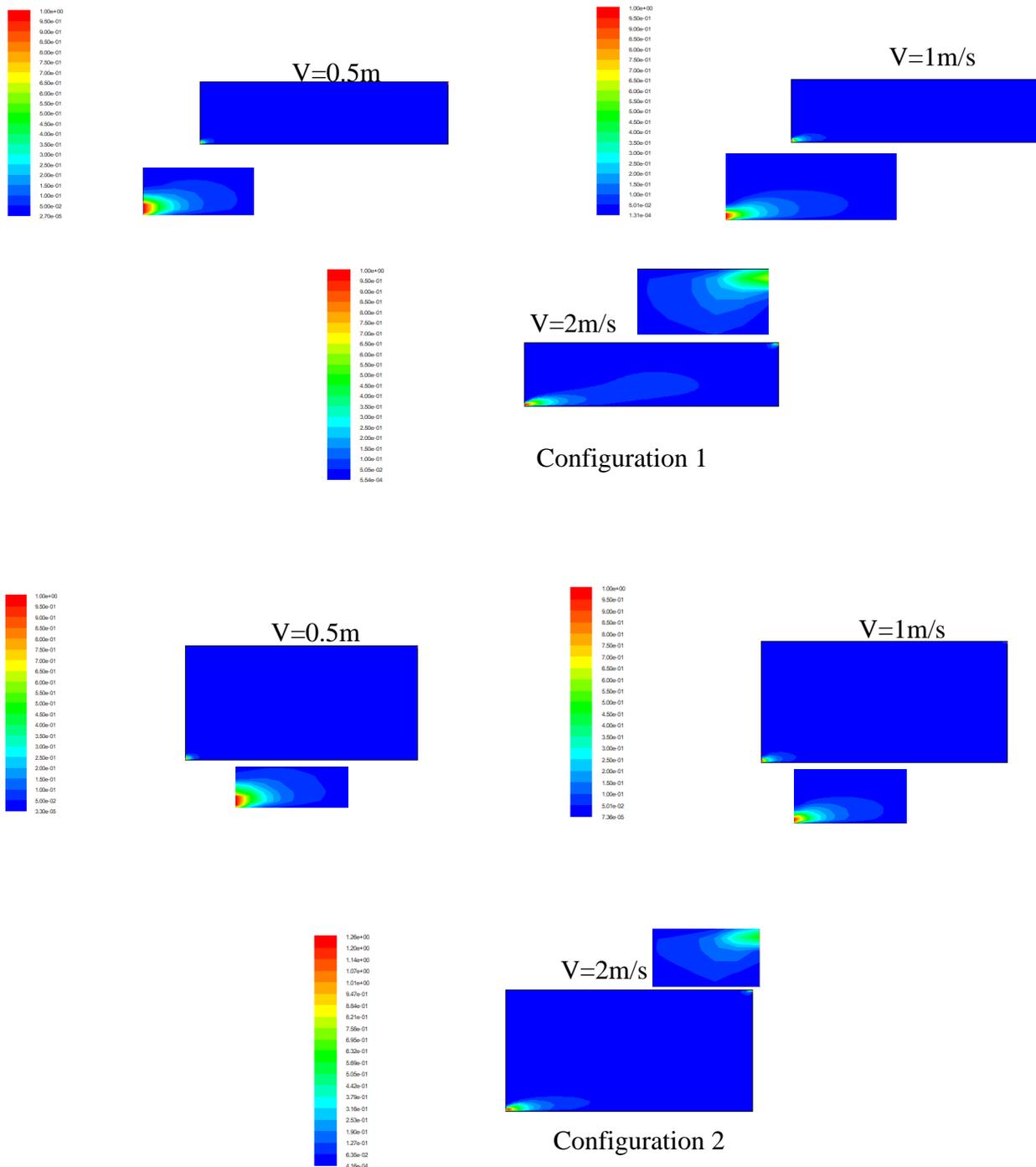


Figure 4.6: Contour de l'énergie cinétique pour les configurations 1 et 2.

La figure (4.7) présente la distribution de l'énergie cinétique pour la configuration 3 et la configuration 4. On remarque que l'énergie cinétique la plus élevée se développe à l'entrée. L'énergie cinétique est importante lorsque on augmente la vitesse d'entrée d'air. On visualise le développement de l'énergie cinétique à l'entrée et la sortie de l'air dans le local pour la vitesse de 2m/s. Dans la dernière configuration (configuration 4, figure (4.7)), on observe clairement le développement de l'énergie cinétique à l'entrée de l'air dans le local et la sortie de l'air au niveau de la coupole.

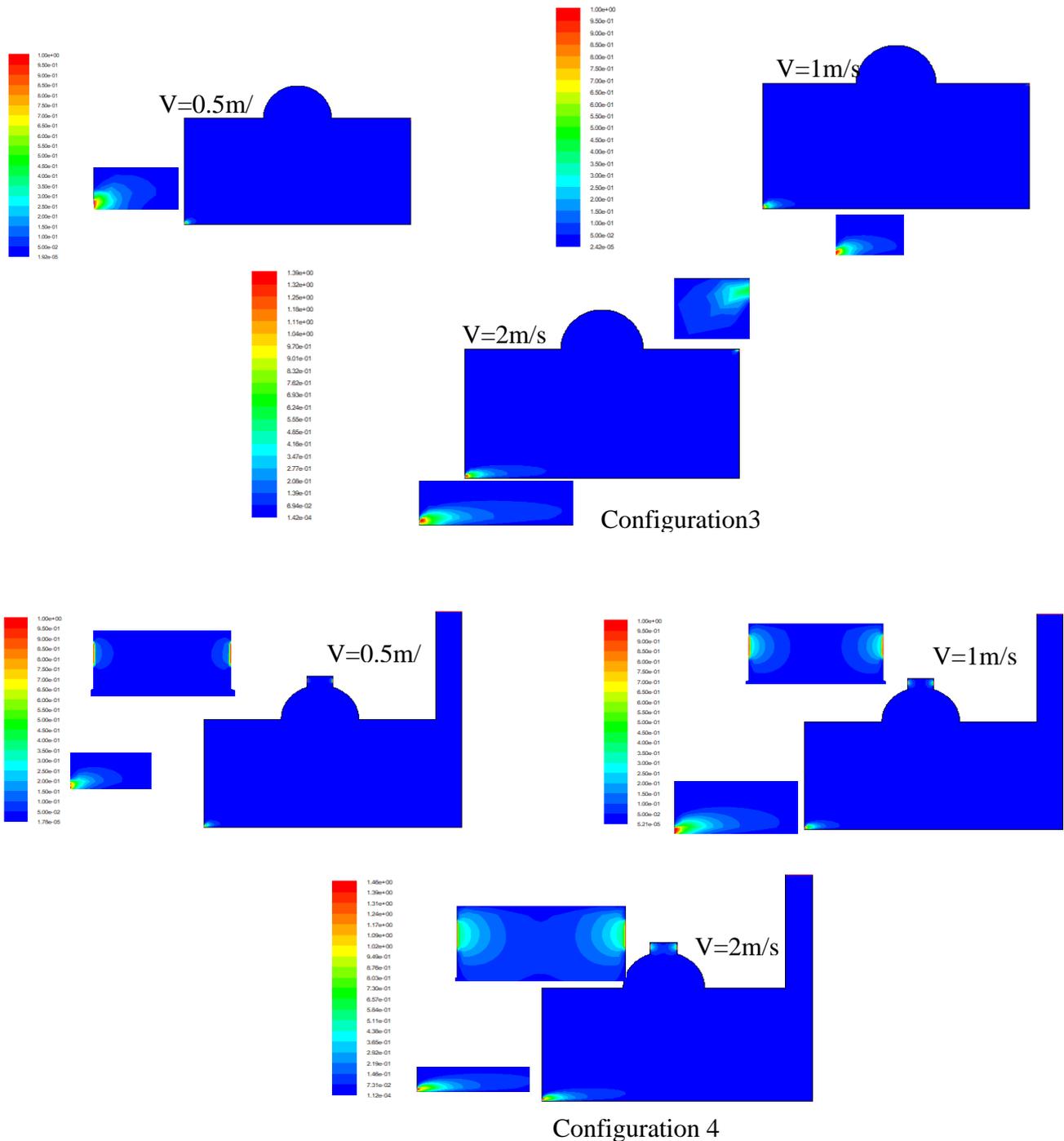


Figure 4.7: Contour de l'énergie cinétique pour les configurations 3 et 4.

4.6 Distribution de la Temperature totale

Les figures suivantes (figure 4.8) présentent l'évolution de la température pour les deux premières configurations (configuration 1 et configuration 2) avec trois vitesses d'entrée d'air différentes. Les valeurs de température les plus élevées se trouvent près de la paroi chaude. Les profils de la figure (figure 4.9 et figure 4.10) montrent l'évolution de la température à la sortie de la configuration 1 et de la configuration 2. La température moyenne la plus élevée a été observée à l'entrée pour une vitesse d'entrée d'air de 2 m/s (tableau 4.1).

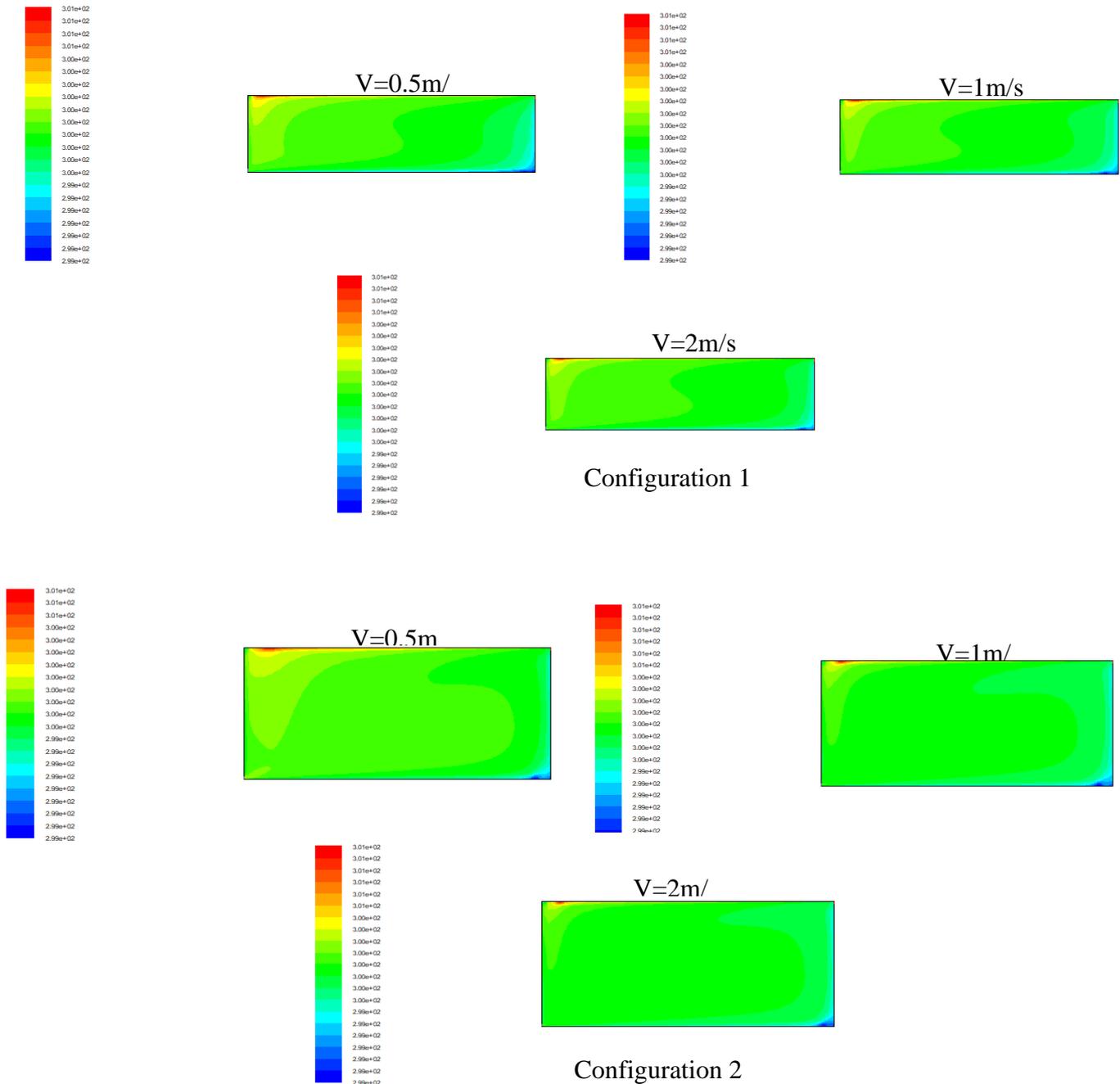


Figure 4.8 : Contour température total pour les configurations 1 et 2.

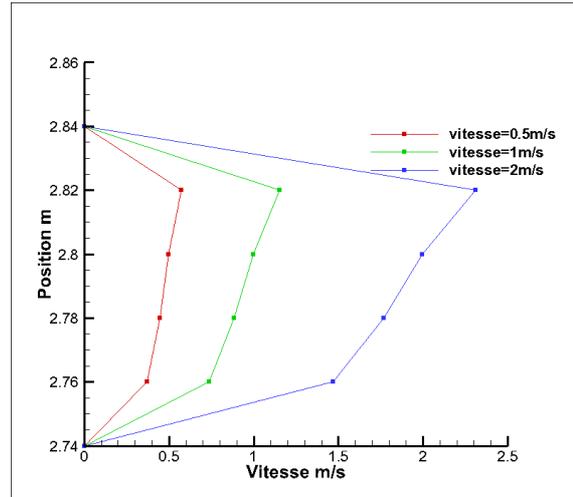
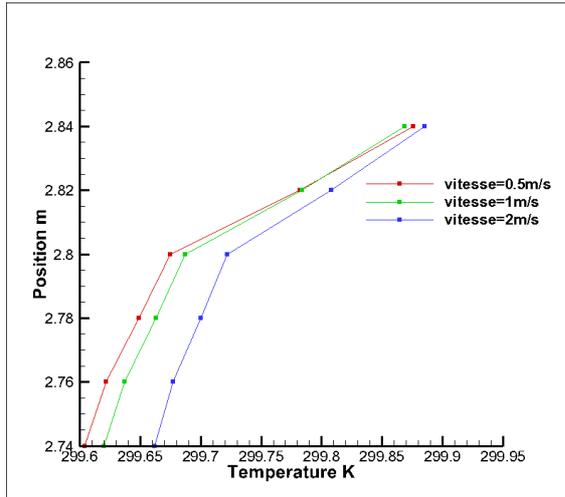


Figure 4.9 : Profil de la distribution de la température et la vitesse à la sortie pour les trois vitesses(configuration1).

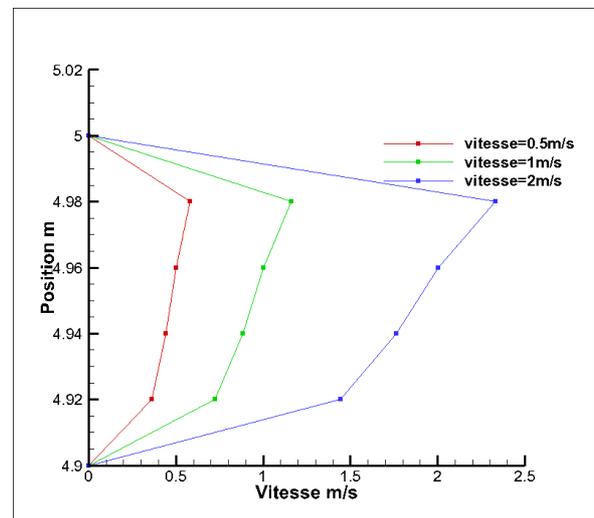
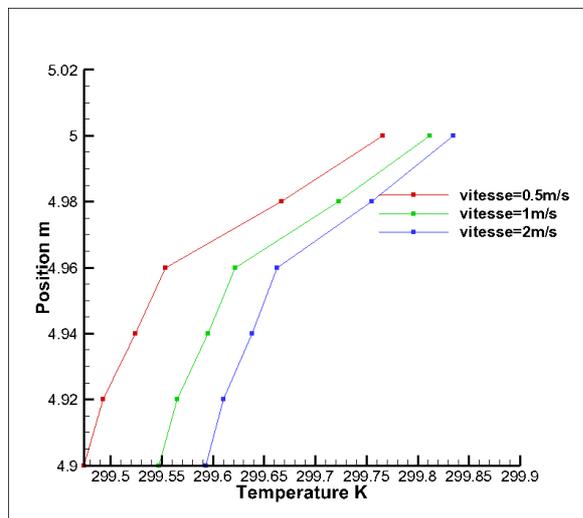


Figure 4.10 : Profil de la distribution de la température et la vitesse à la sortie pour les trois vitesses(configuration2).

Les figures suivantes (figure 4.11) illustrent l'évolution de la température pour les deux premières configurations (configuration 3 et configuration 4) avec trois vitesses d'entrée d'air différentes. Les valeurs de température les plus élevées se trouvent près de la paroi chaude. Les profils de la figure (figure 4.12 et figure 4.13) décrivent l'évolution de la température à la sortie de la configuration 3 et de la configuration 4. La température moyenne la plus élevée a été observée à l'entrée pour une vitesse d'entrée d'air de 2 m/s (tableau 4.1).

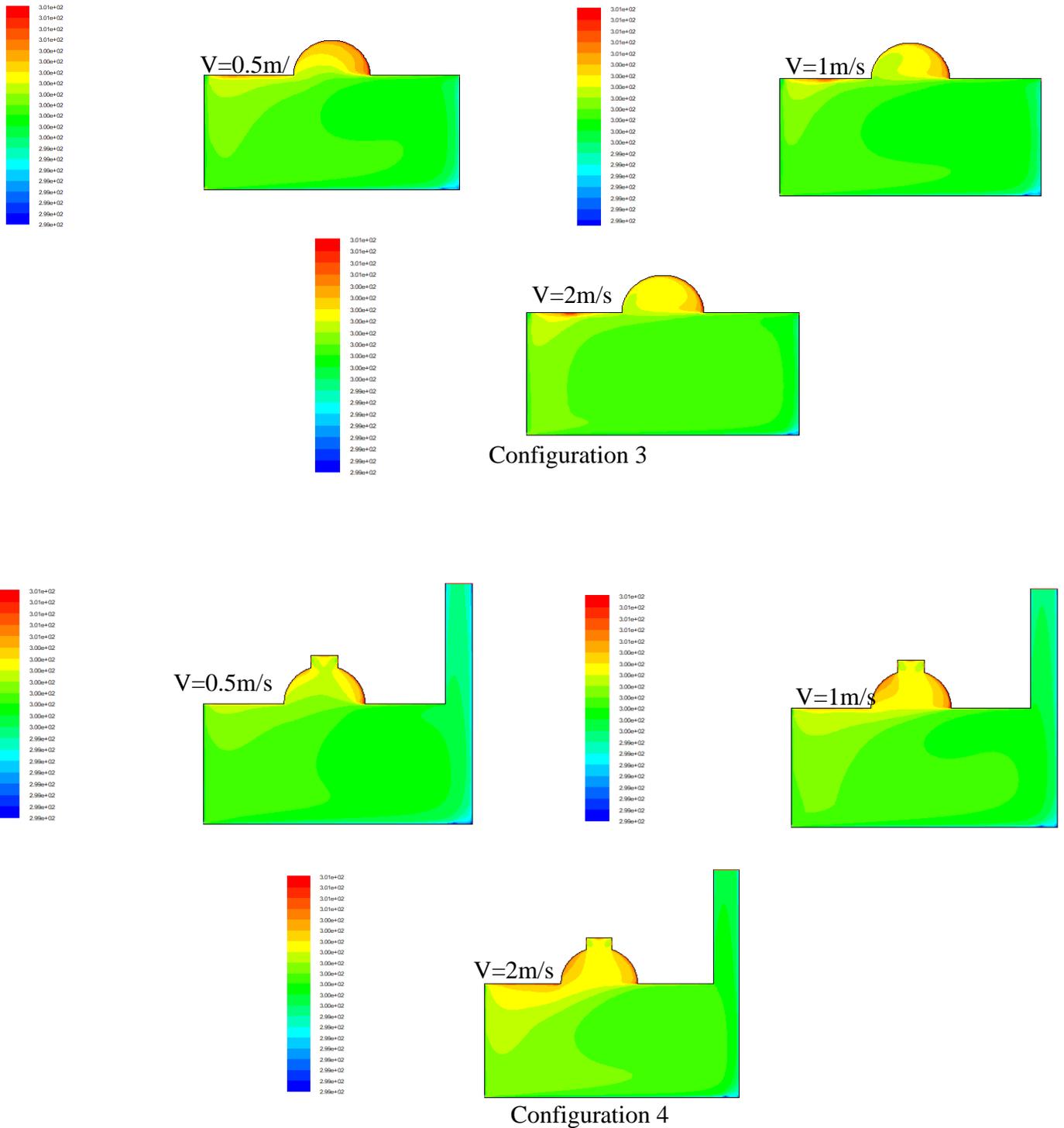


Figure 4.11: Contour température total pour les configurations 3 et 4.

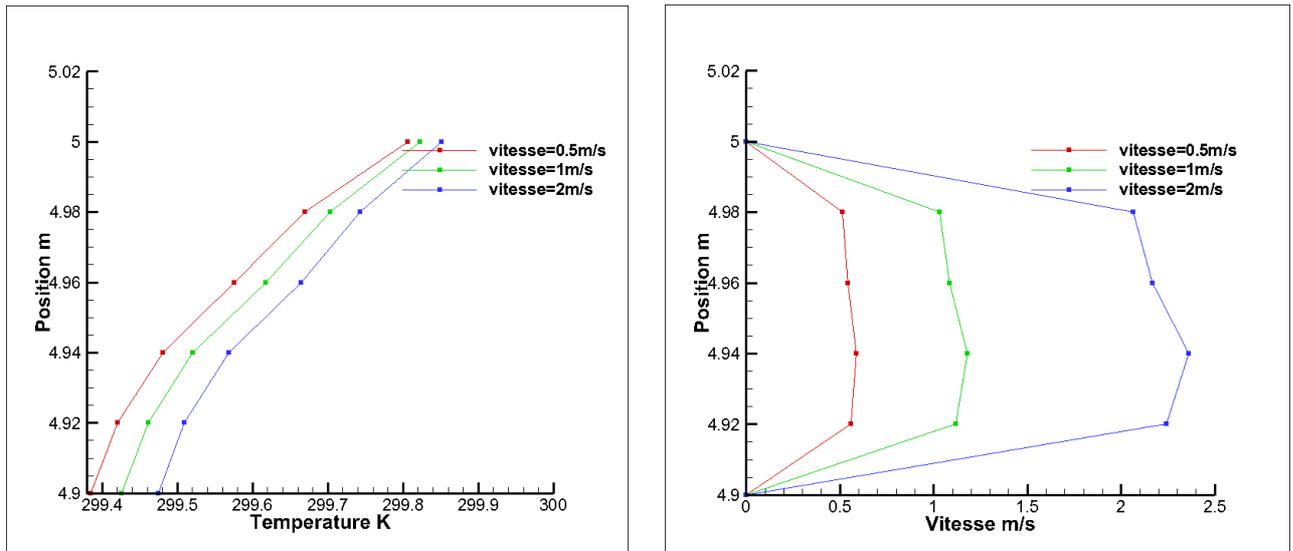


Figure 4.12 : Profil de la distribution de la température et la vitesse à la sortie pour les trois vitesses (configuration3).

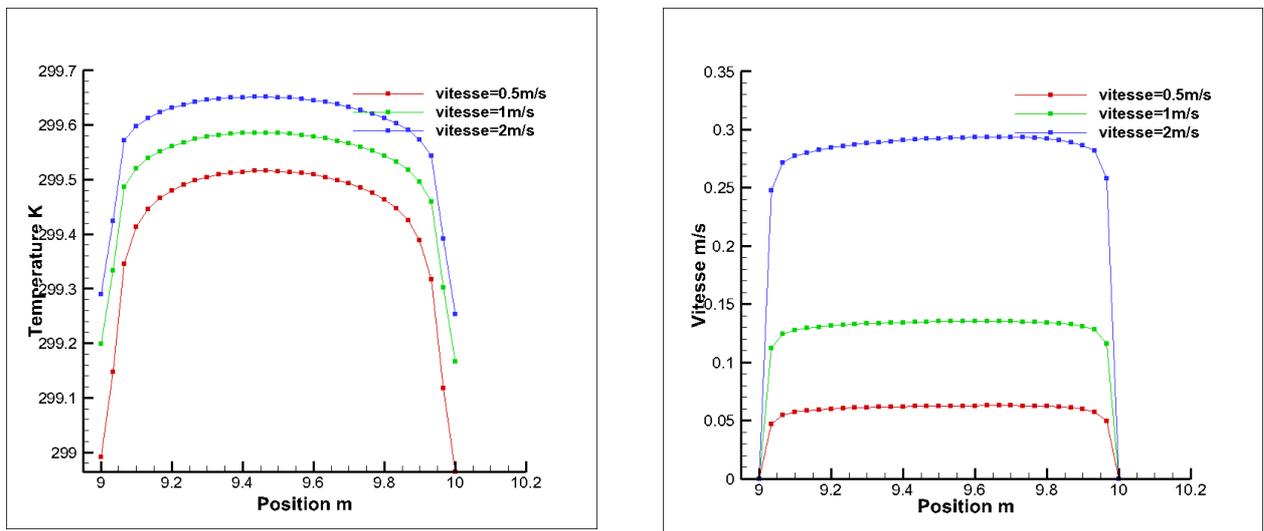


Figure 4.13: Profil de la distribution de la température et la vitesse à la sortie pour les trois vitesses (configuration4).

Tableau 4.2 : Valeur moyenne de la vitesse et de la température pour les quatre configurations.

Vitesse d'entrée de l'air (m/s)	Température moyenne (K)		
	0.5	1	2
Local 1	299.84	299.86	299.89
Local 2	299.74	299.81	299.84
Local 3	299.81	299.83	299.86
Local 4	299.83	299.87	299.90
Vitesse d'entrée de l'air (m/s)	Vitesse moyenne (m/s)		
	0.5	1	2
Local 1	0.062	0.133	0.272
Local 2	0.058	0.135	0.289
Local 3	0.048	0.115	0.254
Local 4	0.048	0.106	0.230

4.7 Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons examiné les résultats numériques de la simulation, en termes des lignes de courant, la vitesse, l'énergie cinétique turbulente et la distribution de la température pour quatre configurations distinctes.

La comparaison entre la première configuration et la deuxième configuration en valeur moyenne de la distribution de la température et la vitesse :

Tableau 4.3 : Valeur moyenne de la vitesse et de la température « configuration1 et configuration2 ».

	Température moyenne (K)		
Vitesse d'entrée de l'air (m/s)	0.5	1	2
Local 1	299.84	299.86	299.89
Local 2	299.74	299.81	299.84
	Vitesse moyenne (m/s)		
Vitesse d'entrée de l'air (m/s)	0.5	1	2
Local 1	0.062	0.133	0.272
Local 2	0.058	0.135	0.289

D'après les résultats dans le tableau si dessus, on remarque une amélioration du local 1 par rapport local 2.

La comparaison entre la troisième configuration et la quatrième configuration en valeur moyenne de la distribution de la température et la vitesse :

Tableau 4.4 : Valeur moyenne de la vitesse et de la température « configuration1 et configuration2 ».

	Température moyenne (K)		
Vitesse d'entrée de l'air (m/s)	0.5	1	2
Local 3	299.81	299.83	299.86
Local 4	299.83	299.87	299.90
	Vitesse moyenne (m/s)		
Vitesse d'entrée de l'air (m/s)	0.5	1	2
Local 3	0.048	0.115	0.254
Local 4	0.048	0.106	0.230

D'après les résultats dans le tableau si dessus, on remarque une amélioration du local 4 par rapport local 3 au niveau de la vitesse moyenne de l'air.

Donc la quatrième configuration du local offre un bon confort thermique en comparaison avec les trois autres configurations.



Conclusion Générale

Conclusion générale

Dans ce mémoire on a essayé d'étudier avec l'outil numérique CFD et le logiciel FLUENT 6.3 le comportement hydrodynamique et thermique de l'air à l'intérieure de différentes géométries de local.

Le transfert de chaleur par convection mixte turbulent à l'intérieur d'un local ventilée a été étudié. Quatre types de configurations différentes sont considérés. L'air entre dans la pièce par une entrée basse a ras avec le sol.

Dans cette étude numérique, nous avons évalué les performances de la ventilation pour différente géométries en fonction de l'emplacement de l'ouverture de sortie. Pour les quatre configurations choisis, on analysait et comparait les résultats numériques.

La configuration 4 offre la meilleure efficacité, liée à la température moyenne, vitesse moyenne et les dimensions du local.

Nos résultats montrent que les dimensions, la forme de la géométrie et l'emplacement de l'entrée et de la sortie d'air ont une influence sur le confort thermique dans un local ventilé.

Références bibliographiques

- [1] H. M'Sellem et D. Alkama, Le confort thermique entre perception et évaluation par les techniques d'analyse bioclimatique - Cas des lieux de travail dans les milieux arides à climat chaud et sec, *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 12 N°3, pp. 471 – 488 (2009).
- [2] Alain Liébard, *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques*, édition Le Moniteur. (2005).
- [3] J. Koffi, *Analyse Multicritère Des Stratégies De Ventilation En Maisons Individuelles*", Thèse De Doctorat, université de la rochelle, France, (2009).
- [4] Akchiche Zineb, étude de comportement d'une cheminée solaire en vue de l'isolation thermique, mémoire de magister, Université Kasdi Merbah Ouargla (2011).
- [5] Guohui Gan. Simulation of buoyancy-induced flow in open cavities for natural ventilation. *Energy and Buildings* 38 (2006) pp 410–420.
- [7] Adrien Dhalluin, *Etude de stratégies de ventilation pour améliorer la qualité environnementale intérieure et le confort des occupants en milieu scolaire*, thèse de doctorat, université de la Rochelle, 2013.
- [6] R. Bassiouny, N.S.A. Koura, An Analytical and Numerical Study of Solar Chimney Use for Room Natural Ventilation, *Energy and Buildings*, vol. 40, pp. 865– 873, (2008).
- [8] H. Bencheikh, *Etude et réalisation d'un système de refroidissement passif en utilisant une toiture radio évaporative dans les climats chauds et arides*, Thèse doctorat, Université Mentouri de Constantine, (2007).
- [9] *Guide pratique de ventilation*, INRS, ED 665, Paris, 2014.
- [11] Hugues Boivin, *la ventilation naturelle développement d'un outil d'évaluation du potentiel de la climatisation passive et d'aide à la conception architecturale*, maître ès sciences (M.Sc.), université Laval Québec, (2007).
- [12] ASHRAE Handbook - HVAC Applications (Chapter 9: Ventilation and Indoor Air Quality Control) - ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers).
- [13] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2019. <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standards-62-1-62-2> .

[14] http://www.albert-videt.eu/photographie/carnet-de-route/iran_10-2006/badgir_tour-du-vent_yazd_00.php.

[15] B. Saheb, N.E Larab, Etude et simulation de ventilation d'un local, (2018).

[16] André Lallemand, Dynamique des fluide réels, Techniques de l'Ingénieur, traité Génie énergétique BE 8 157.

[17] Eric Goncalves, Résolution numérique, discrétisation des EDP et EDO, septembre (2005).

[18] Jan.Halma, Tony Arts et Jaroslav Fort, numerical solution of unsteady and steady transonic flow, Elsevier 2003.

[18] Documentation FLUENT 6.1.22 united state of America 2003.

[19] André Lallemand, Dynamique des fluide réels, Techniques de l'Ingénieur, traité Génie énergétique BE 8 157.

[20] Rashadul Islam Ritu, Enamul Hasan Rozin, Sumon Saha and Sheikh Mohammad Shavik, Numerical simulation of conjugate laminar mixed convection in vented prismatic room, (2020).