

Faculty of Sciences and Technology  
Department of Mechanical Engineering

كلية العلوم والتكنولوجيا  
قسم المهندسة

N° d'ordre : M...../GM/2022

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Energétique

### *Thème*

***ETUDE NUMERIQUE DE L'EFFET DE LA POSITION D'UN JET  
D'AIR CHAUD SUR LA DISTRIBUTION DE LA TEMPERATURE  
D'UN LOCAL***

Présenté par :

- ❖ CHIBANE Messaoud
- ❖ BELBACHIR Bahaa eddine elmansour

***Soutenu le .. / .. / 2022 devant le jury composé de :***

Président	Dr. OULD SAID Belkacem	Université de Mostaganem UMAB
Examineur	Dr. SAHRAOUI Nassim	Université de Mostaganem UMAB
Encadreur	Pr. RETIEL Nouredine	Université de Mostaganem UMAB

**Année Universitaire : 2021 / 2022**

## **Remerciement**

*A l'occasion de notre soutenance, nous tenons à remercier vivement ALLAH, le tout puissant qui a éclairé nos chemins, et pour la patience et la force qu'il nous a donné afin de réaliser ce travail.*

*Ce travail a été effectué dans la faculté des sciences et technologies sous la direction du Pr. RETIEL Noureddine. Nous lui exprimons particulièrement toute notre reconnaissance pour nous avoir fait bénéficier de ces compétences scientifiques, ses qualités humaines et sa constante disponibilité.*

*Sans oublier de remercier Dr. SAHRAOUI Nassim pour ses multiples conseils et pour toutes les heures qu'il a consacrées pour nous aider à diriger notre travail et d'avoir accepté d'examiner notre travail.*

*Nos chaleureux remerciement vont également au Dr. OULD SAID Belkacem d'avoir accepté de présider le jury de ce mémoire.*

*Enfin, nous adressons nos vives reconnaissances à tous ceux qui ont contribué de près ou de Loin à l'élaboration de ce mémoire*

*M.CHIBANE & BELBACHIR*



## *Dédicaces*

*Nous dédions ce modeste travail, à nos parents, à notre source de  
générosité et de patience tout au long de notre carrière scolaire.  
Qu'Allah le tout puissant les protèges, les prête bonnes santés et longue  
vie.*

*M.CHIBANE & BELBACHIR*

## Résumé

Notre travail s'intéresse à la simulation numérique de l'effet de la position d'un jet de soufflage d'air chaud sur la distribution de la température d'un local avec toit incliné dans lequel l'air chaud provient d'un capteur solaire à air. Les résultats obtenus à partir d'un code numérique CFD ont permis d'analyser la distribution de la température et les lignes de courant pour différents nombres de Reynolds dans trois positions du jet de soufflage (entrée d'air horizontal par le haut, entrée d'air incliné par le haut, entrée d'air horizontal par le bas)

L'influence des paramètres caractéristiques d'écoulement ( $7 \cdot 10^3 \leq Re \leq 8,4 \cdot 10^4$ ) sur le comportement thermique et dynamique en régime stationnaire est analysée et discutée.

## Abstract

Our work focuses on the numerical simulation of the effect of the position of a jet of hot air on the temperature distribution of a room with inclined roof in which the hot air comes from a solar air collector. The results obtained from a CFD numeric code made it possible to analyse the temperature distribution and the current lines for different Reynolds numbers in three jet positions (upper left horizontal air inlet, upper left inclined air inlet, lower left horizontal air inlet)

The influence of flow characteristics ( $7 \cdot 10^3 \leq Re \leq 8,4 \cdot 10^4$ ) on the thermal and dynamic behaviour in steady state is analysed and discussed.

## ملخص

يركز عملنا على المحاكاة العددية لتأثير موقع نفثة من الهواء الساخن على توزيع درجة حرارة غرفة ذات سقف مائل حيث يأتي الهواء الساخن من جامع هواء شمسي. أتاحت النتائج التي تم الحصول عليها من رمز رقمي CFD تحليل توزيع درجة الحرارة والخطوط الحالية لأرقام رينولدز المختلفة في ثلاثة مواقع نفثة (مدخل الهواء الأفقي الأيسر العلوي، مدخل الهواء المائل العلوي الأيسر، مدخل الهواء الأفقي الأيسر السفلي). يتم تحليل ومناقشة تأثير خصائص التدفق

على السلوك الحراري والديناميكي في حالة ثابتة. ( $7 \cdot 10^3 \leq Re \leq 8,4 \cdot 10^4$ )

## Nomenclature :

### Symboles latins

Pr Nombre de Prandtl [-]

Re Nombre de Reynolds [-]

S Section de la paroi [m<sup>2</sup>]

T Température [K]

t Temps [s]

T<sub>0</sub> Température de référence [K]

T<sub>c</sub> Température de la paroi chaude [K]

T<sub>f</sub> Température de la paroi froide [K]

T<sub>sat</sub> Température de saturation [K]

u La vitesse adimensionnée suivant ox [-]

U La vitesse suivant OX [m/s]

u<sub>0</sub> vitesse de soufflage

v La vitesse adimensionnée suivant oy [-]

V La vitesse suivant OY [m/s]

X,Y Coordonnées adimensionnelles [-]

x,y Coordonnées dimensionnelles [m]

ΔT Différence de Température [K]

### Symboles grecs

β Coefficient de dilatation thermique [1/K]

θ Température adimensionnelle

μ Viscosité dynamique [kg/m.s]

ρ Masse volumique [kg/m<sup>3</sup>]

ν Viscosité cinématique [m<sup>2</sup>/s]

α Diffusivité thermique [m<sup>2</sup>/s]

# Table Des Matières

Remerciement.....	ii
Résumé.....	iii
Nomenclature.....	iv
Table Des Matières .....	v
Liste des Figures.....	viii
Introduction générale.....	1
<b>Chapitre I : Etudes Bibliographiques</b>	
I.1 Généralités.....	4
I.2 Taux de brassage.....	4
I.3 Vitesse d'air maîtrisée.....	4
I.4 Qualité de l'air intérieur.....	4
I.5 Condition de confort.....	5
I.6 Grandeurs caractéristiques conditionnant le confort.....	5
I.7 La portée.....	5
I.8 Ventilation.....	7
I.9 Ventilation naturelle.....	7
I.10 Température de pulsion.....	8
I.11 Combinaison entrée et sortie d'air.....	8
I.12 Soufflage en partie haute.....	9
I.13 La vitesse résiduelle en zone d'occupation.....	10
I.14 Bouches d'extraction.....	11
I.15 Transfert de chaleur par convection.....	12
I.16 Les différents types de Convection.....	12
I.17 La convection forcée.....	13
I.18 Conclusion.....	13

## Chapitre II : Formulation du problème

II.1- Introduction.....	15
II.2 Modèle physique.....	15
II.3 Hypothèses simplificatrice.....	17
II.4 Equations général.....	17
II.5 Équation de continuité.....	17
II.6 Equation de conservation de quantité de mouvement.....	17
II.7 Equation de conservation de la température.....	17
II.8 Les conditions aux limites.....	18
II.9 A dimensionnement des équations générales de conservation.....	19
II.10 Les équations précédentes deviennent respectivement.....	19
II.11 Résolution numérique par la méthode des volumes finis.....	20
II.12 Conclusion.....	20

## Chapitre III : Simulation Numérique

III.1 Introduction .....	22
III.2 Définition CFD.....	22
III.3 Le rôle de CFD.....	23
III.4 Les domaines d'utilisation de CFD dans l'industrie.....	23
III.5Description de Gambit.....	24
III.5.1 Lancement de Gambit.....	24
III.5.2Création de la géométrie.....	25
III.5.3Les conditions aux limites.....	26
III.5.4Choix de maillage.....	28
III.5.5 Exportation du maillage de Gambit.....	30
III.6 Définition de Fluent.....	31
III.6.1 Lancement de Fluent.....	31
III.6.2 Importation de la géométrie.....	32
III.6.3 Les conditions aux limites.....	33

III.7 Contrôles solution.....	34
III.8 Solution initialisation.....	34
III.9 Allures de l'évolution des résidus de calcul.....	35
III.10 Critère de convergence.....	36
III.11 Conclusion.....	37
Chapitre IV : Résultats & Discussions	
IV.1. Introduction.....	39
IV.2. Etude Paramétrique.....	39
IV.2.1 Effet de la vitesse de soufflage.....	39
IV.2.2 Effet de l'orientation du jet de soufflage.....	42
IV.2.3 Effet de la position du jet de soufflage.....	46
IV.3 Conclusion.....	50
Conclusion générale .....	51
Références bibliographiques.....	52

## Liste des figures:

**Figure I.1** : Portée inférieure à 80 % de la zone à traiter la surchauffe persiste en bout de zone.

**Figure I.2** : Portée supérieure à 80 % de la zone à traiter toute la zone est refroidie.

**Figure I.3** : Portée supérieure à la zone à traiter le jet froid risque de gêner les occupants avant son mélange à l'air ambiant.

**Figure I.4** : Soufflage chaud provoquant une stratification en partie haute.

**Figure I.5** : Soufflage chaud vertical détruisant la stratification.

**Figure I.6** : soufflage horizontal en haut à grande vitesse, reprise en bas sur le même mur.

**Figure I.7**: soufflage horizontal en haut à faible vitesse et faible portée, reprise en bas sur le même mur (création d'une zone morte).

**Figure I.8** : La vitesse résiduelle en zone d'occupation.

**Figure I.9** : Bouches de pulsion et d'extraction.

**Figure I.10** : bouches d'extraction.

**Figure I.11** : Problème d'efficacité de la pulsion dans un local en dépression : la bouche d'extraction "aspire" directement l'air pulsé.

**Figure II.1** : Configuration Géométrique de premier cas.

**Figure II.2** : Configuration Géométrique de deuxième cas.

**Figure II.3** : Configuration Géométrique du Troisième cas.

**Figure II.4** : régime laminaire.

**Figure II.5**: Schéma représentant les paramètres bidimensionnels de la pièce.

**Figure II.6** : schéma de méthode de volume finis.

**Figure III.1** : Lancement de Gambit.

**Figure III.2** : Outils de Gambit.

**Figure III.3** : Création de la géométrie.

**Figure III.4** : Les conditions aux limites des Parois froides.

**Figure III.5** : Les conditions aux limites des Parois adiabatiques.

**Figure III.6** : condition aux limites d'entre.

**Figure III.7** : condition aux limites de sortie.

**Figure III.8**: Maillage dans l'entrée et dans la sortie.

**Figure III.9**: Maillage des parois froides.

**Figure III.10**: Maillage des parois adiabatique.

**Figure III.11** : Choix de maillage final.

**Figure III.12**: Exportation du maillage.

**Figure III.13**: Enregistrement du fichier.

**Figure III.14** lancement Fluent.

**Figure III.15** Importation de la géométrie.

**Figure III.16** : Importation de la géométrie.

**Figure III.17** : Température de la paroi froide.

**Figure III.18** : température d'entrée.

**Figure III.19**: Choix d'ordre d'équation.

**Figure III.20**: Initialisation de solution.

**Figure III.21**: Nombre d'itération.

**Figure III.22**: Allures de l'évolution des résidus de calcul.

**Figure IV.1**: Champ de vitesses : cas de soufflage horizontal par le haut.

**Figure IV.2**: Les lignes de courant pour différents nombres de Reynolds: cas de soufflage horizontal par le haut.

**Figure IV.3**: La distribution de température pour différents nombre de Reynolds: cas de soufflage horizontal par le haut.

**Figure IV.4**: Champ de vitesses des deux positions de jet horizontal et incliné.

**Figure IV.5**: les lignes de courant pour différents nombre de Reynolds: cas de soufflage incliné par le haut.

**Figure IV.6**: La distribution de température pour différents nombre de Reynolds: cas de soufflage incliné par le haut.

**Figure IV.7**: les lignes de courant et distribution de température pour  $Re=8,4 \cdot 10^4$

a) soufflage horizontal par le haut    b) soufflage incliné par le haut

**Figure IV.8:** les lignes de courant pour différents nombres de Reynolds: cas de soufflage horizontal par le bas.

**Figure IV.9:** la distribution de température pour différents nombres de Reynolds: cas de soufflage horizontal par le bas.

**Figure IV.10:** Champ de vecteurs vitesses  $Re=8,4 \cdot 10^4$

(a) cas de soufflage horizontal par le haut, (b) cas de soufflage horizontal par le bas.

**Figure IV.11:** Profile de vitesse verticale à  $y=2$  m pour  $Re=4,2 \cdot 10^4$

(a) cas de soufflage horizontal par le haut, (b) cas de soufflage horizontal par le bas

(b)

**Figure IV.11:** Profile de vitesse verticale à  $y=2$  m pour  $Re=4,2 \cdot 10^4$

(a) cas de soufflage horizontal par le haut, (b) cas de soufflage horizontal par le bas

## Introduction générale

Jusqu'à un passé récent, la puissance était pratiquement le seul critère technique pour le choix et l'installation de l'appareil devant réaliser l'apport de chaleur ou de froid pour le chauffage ou la climatisation des locaux.

Avec les exigences croissantes de la réglementation thermique et l'usage de plus en plus répandu d'appareils à circulation forcée, on ne peut plus se contenter d'envoyer dans le local cet air chauffé ou refroidi à la température et au débit convenable, mais il faut aussi se préoccuper de la manière dont il circule dans l'espace occupé. Faute de quoi on risque d'y créer des zones inconfortables dues à de trop grandes hétérogénéités de température ou à des vitesses locales de l'air excessives.

Or le cheminement de l'air dans un local est très difficile à appréhender. Il existe trois approches du problème : l'expérience, la simulation numérique et l'utilisation de formules simplifiées permettant de déterminer les vitesses et températures d'air dans le local, sachant que ces deux paramètres sont déterminants pour l'évaluation du confort.

C'est pour cette dernière approche rapide et simple que étude académique apporte une aide très précieuse, avec des formules pour la plupart des procédés de diffusion d'air permettant de déterminer la portée d'un jet ainsi que la température et la vitesse de l'air diffusé à son arrivée dans la zone d'occupation du local.

Le confort thermique constitue une demande reconnue et justifiée dans les bâtiments du fait de son impact sur la qualité des ambiances intérieures, la santé et la productivité de l'occupant passant les trois quarts de son temps à l'intérieur. Cette demande est soutenue par des normes et des réglementations qui permettent d'assurer la conformité des ambiances intérieures aux exigences du confort thermique.

Cependant l'étude qui a été accomplis dans ce mémoire à permis de développer une méthodologie, qui caractérise le confort thermique à travers les interactions thermique dans la zone occupée, tels que la convection forcée.

La convection est un mode de transport d'énergie par l'action combinée de la conduction, de l'accumulation de l'énergie et de mouvement de milieu, elle est considérée comme le mécanisme le plus important de transport de l'énergie entre une surface solide et un liquide ou gaz.

La convection forcée dans laquelle le mouvement est provoqué par un procédé mécanique indépendant des phénomènes thermiques, c'est donc un gradient de pression extérieur qui provoque les déplacements des particules du fluide. L'étude de la transmission de chaleur par convection est donc étroitement liée à celle de l'écoulement des fluides. La convection est dite forcée quand il existe une cause du mouvement autre que les variations de températures du fluide, cette cause étant la seule à prendre en compte en raison de son importance relative.

Ce travail se compose à quatre chapitres organisé comme suivant, Au début de cette recherche bibliographique, nous présenterons et donnerons un aperçu du contenu, car nous avons présenté certains des travaux antérieurs de chercheurs qui sont similaires à notre travail, et nous avons également défini les caractéristiques liées à cette étude.

Dans le deuxième chapitre, nous avons discuté de toutes les relations et équations physiques et mathématiques qui contrôlent les différents phénomènes qui se produisent dans ce travail.

Dans le Troisième chapitre nous avons donné les étapes de simulation numérique pour les logiciels gambit et fluent.

Dans le Quatrième chapitre nous avons discuté notre résultat obtenu de fluent.

**CHAPITRE I**  
**ETUDE**  
**BIBLIOGRAPHIQUE**

## **I.1-Généralités :**

Introduire de l'air (chauffer ou climatiser) en mouvement dans une enceinte fermée occupée par des personnes n'est pas toujours très facile. La diffusion de l'air doit respecter certains passages obligés, car si cette diffusion est mal maîtrisée cela engendrera à coup sûr un inconfort et l'insatisfaction des personnes occupant cette enceinte.

Les critères principaux pour assurer un confort optimal sont :

Un taux de brassage convenable

Vitesse d'air maîtrisée

Une bonne qualité de l'air

## **I.2-Taux de brassage :**

Etant donné qu'une certaine quantité d'air frais (air hygiénique) est souvent amenée avec l'air extrait du local à traiter, l'air frais provenant de l'extérieur doit être mélangé de manière homogène avec l'air du local. Si l'air n'est pas suffisamment brassé, des couches d'air (couches) se forment les unes après les autres à des températures différentes, c'est ce qu'on appelle la stratification. [1]

## **I.3-Vitesse d'air maîtrisé :**

La vitesse du flux d'air au niveau des bouches d'aération est d'une grande importance pour la sensation générale et le confort. Le confort thermique d'une personne est une question d'équilibre car, en général, la chaleur dégagée par notre métabolisme doit être égale à la chaleur dégagée vers l'environnement. Si la vitesse de l'air est trop élevée, les échanges métabolisme/environnement se déséquilibrent et les occupants peuvent ressentir une sensation de froid plus ou moins forte.[2]

## **I.4-Qualité de l'air intérieur :**

Les voies respiratoires sont quotidiennement exposées aux agresseurs biologiques et chimiques de l'air ambiant, dont certains ont un potentiel allergisant. La pathogénèse de ces différents pathogènes est liée non seulement à l'intensité de l'exposition mais aussi à la résistance de l'hôte. Les maladies respiratoires arrivent logiquement en tête de liste des problèmes de santé associés à une mauvaise qualité de l'air [3].

La qualité de l'air peut être analysée sous deux angles différents, l'air intérieur et l'air extérieur. Bien que les effets des niveaux actuels de polluants dans l'air extérieur demeurent préoccupants, on s'inquiète de plus en plus des effets sur la santé des perturbations de l'air intérieur [22].

### **I.5-Condition de confort :**

Pour obtenir un confort thermique satisfaisant, il faut paramétrer une température de consigne suffisante. On a l'habitude de dire que la température ambiante de confort se situe entre 19°C et 20°C. Attention à ne pas surchauffer car passer de 20°C à 21°C entraîne une surconsommation d'énergie d'environ 7%. La nuit et en période d'inoccupation, cette température pourra être abaissée de 2 à 3°C grâce à la régulation du chauffage. [4]

### **I.6-Grandeurs caractéristiques conditionnant le confort :**

On peut résumer la qualité d'une installation de diffusion d'air en 3 phrases :

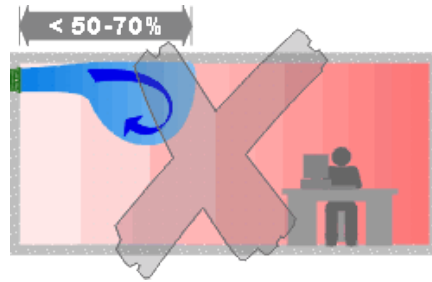
1. on se sent bien (qualité d'air et confort thermique),
2. on n'entend rien (confort acoustique),
3. on ne voit rien (intégration architecturale).

Cela se traduit par une série de critères à respecter tant pour diffusion d'air traité (systèmes de climatisation tout air) que pour la diffusion d'air hygiénique. . [5]

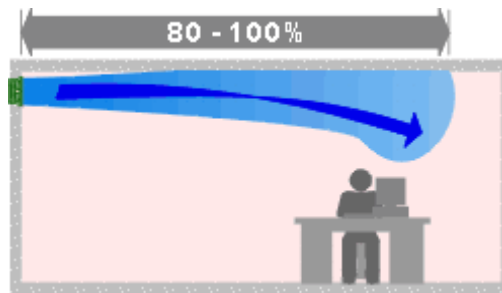
### **I.7-La portée :**

La portée est la longueur du jet pour laquelle on obtient une vitesse résiduelle donnée (généralement de l'ordre de 0,2 à 0,25 m/s).

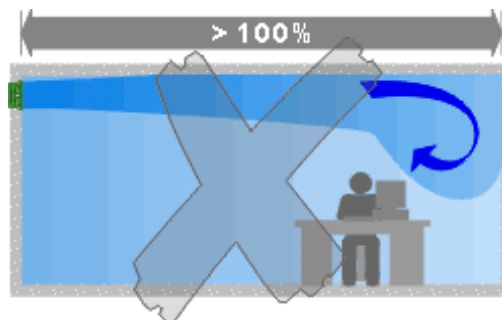
Lorsque l'on pulse de l'air froid le long du plafond au moyen de grilles murales ou de diffuseurs plafonniers, il faut que la portée couvre au moins 80 % de la zone à traiter tout en ne dépassant pas cette dernière. [6]



**Figure I.1 :** Portée inférieure à 80 % de la zone à traiter la surchauffe persiste en bout de zone.



**Figure I.2 :** Portée supérieure à 80 % de la zone à traiter toute la zone est refroidie.

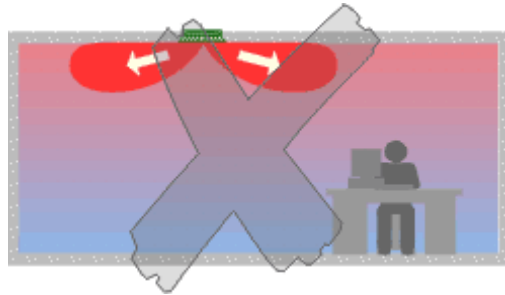


**Figure I.3 :** Portée supérieure à la zone à traiter le jet froid risque de gêner les occupants avant son mélange à l'air ambiant.

Attention, avec un système VARIABLE AIR VOLUME, il faut vérifier qu'au débit minimum, la portée ne descende pas en dessous de 50 à 70 % de la zone à traiter.

Lorsque l'on pulse de l'air chaud sous le plafond, celui-ci aura tendance à stagner en partie supérieure du local, créant une stratification des températures et un manque de chaleur en zone d'occupation. Au-delà d'une hauteur sous plafond de 3 m, il faut dès lors utiliser des diffuseurs détruisant cette stratification : soufflage vertical, à forte induction, diffuseurs

hélicoïdaux. Ceci montre la difficulté de choisir une bouche fonctionnant soit en refroidissement, soit en chauffage :



**Figure I.4 :** Soufflage chaud provoquant une stratification en partie haute.



**Figure I.5 :** Soufflage chaud vertical détruisant la stratification.

### **I.8-Ventilation :**

C'est le renouvellement général d'air dans un local par entrée d'air neuf extérieur et sortie d'air intérieur vicié, grâce à un dispositif naturel ou mécanique, lequel assure en permanence des débits d'air minimaux. Une ventilation insuffisante est l'une des causes principales de la mauvaise qualité de l'air intérieur. [8]

### **I.9-Ventilation naturelle :**

La ventilation naturelle est un élément clé d'une architecture traditionnelle, Elle permet également d'évacuer les odeurs et les polluants qui s'y accumulent, d'éliminer l'excès d'humidité et de fournir aux appareils à combustion l'oxygène dont ils ont besoin pour fonctionner sans danger pour notre santé.

Il existe plusieurs façons de renouveler l'air : au moyen d'équipements spéciaux (ventilation), par l'ouverture de portes ou fenêtres et par les interstices et les fentes (infiltration/exfiltration).

Les moyens de mettre « naturellement » l'air en mouvement sont connus depuis longtemps, ces moteurs sont :

- Le tirage thermique (gradient des masses volumiques en fonction de la température et de l'altitude). - La pression éolienne (effet du vent).

### **I.10-Température de pulsion :**

Idéalement, pour ne pas créer d'inconfort, l'air neuf de ventilation doit être pulsé à une température neutre. Par exemple : 20°C. Il doit donc être préchauffé durant une bonne partie de l'année.

Cependant, les besoins en refroidissement des locaux apparaissent bien avant que la température extérieure n'atteigne les 20°C. Dans les bâtiments modernes, le point d'équilibre entre les besoins en chauffage et en refroidissement se situe bien souvent aux environs des 12°C.

Dans ce cas, dans un local refroidi avec un système indépendant du système de ventilation (ventilo-convecteurs, plafonds froids, ...), il y a de fortes chances, en mi- saison, que l'on détruise de l'énergie : en chauffant l'air neuf jusqu'à 20°C et ensuite en refroidissant l'ambiance avec l'unité terminale de climatisation.

Pour éviter ce gaspillage, il faut pouvoir pulser l'air neuf, en mi- saison, à la température la plus fraîche possible, sans créer d'inconfort. Une température de pulsion inférieure à 16°C semble être un seuil à ne pas dépasser dans ce type de local. [9]

### **I.11-Combinaison entrée et sortie d'air :**

L'emplacement des bouches de pulsion et d'extraction joue un rôle important sur la qualité du brassage de l'air d'un local. Il faut éviter :

Que l'air pulsé soit directement aspiré par la reprise avant d'avoir pu céder ces calories ou frigories;

Que des zones mortes occupées ne soient pas traitées.

À titre indicatif, voici une série de configurations et les résultats auxquels elles conduisent a priori. Attention, les mouvements d'air décrits ne sont qu'illustratifs. Les conditions de diffusion peuvent varier en fonction de la vitesse et de la portée de l'air pulsé et du degré de surpression dans le local. Rappelons cependant que si le local est en dépression (débit extrait supérieur au débit pulsé), il y a de fortes chances pour que l'air pulsé soit court-circuité par la bouche d'extraction, créant des zones mortes importantes.[10]

### I.12-Soufflage en partie haute :

Bonne diffusion de l'air :



**Figure I.6 :** soufflage horizontal en haut à grande vitesse, reprise en bas sur le même mur.

Diffusion de l'air médiocre :

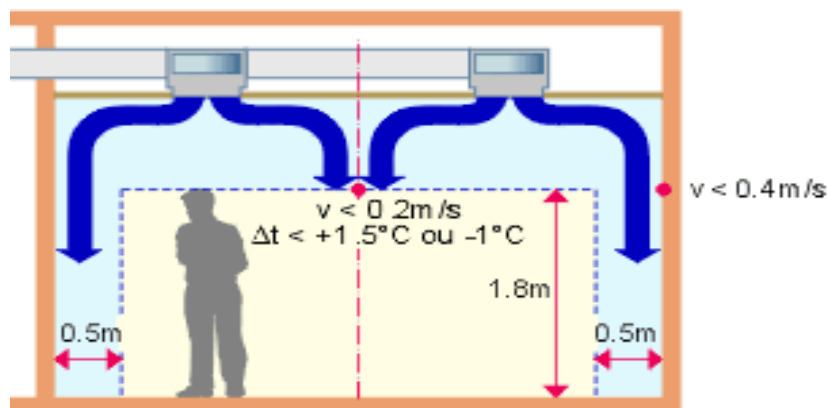


**Figure I.7:** soufflage horizontal en haut à faible vitesse et faible portée, reprise en bas sur le même mur (création d'une zone morte).

### I.13-La vitesse résiduelle en zone d'occupation :

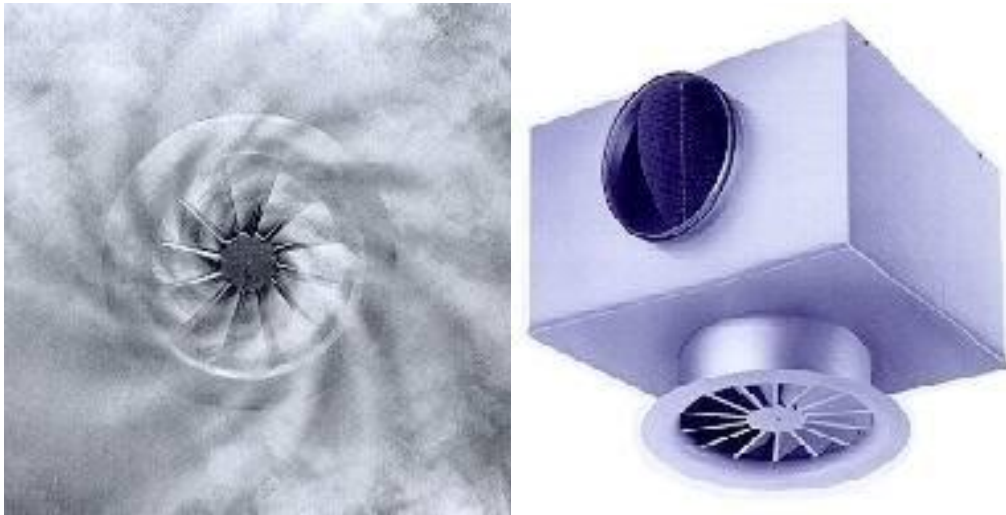
La zone d'occupation est souvent représentée par la surface du local de laquelle on a soustrait une bande de 50 cm le long des murs intérieurs et de 1 m le long des murs extérieurs, ce sur une hauteur de 1,8 m. Cette hauteur peut être plus faible si de toute façon les occupants sont toujours assis (dans un auditoire, ...). [11]

Dans cette zone, la vitesse de l'air ne peut dépasser 0,2 m/s (0,28 dans les locaux de passage) et le long des murs, à 1,8 m, elle ne peut dépasser 0,4 m/s :



**Figure I.8** : La vitesse résiduelle en zone d'occupation.

Lorsque le taux de renouvellement d'air nécessaire dans un local est important ou lorsque la hauteur sous plafond est faible ( $< 2,5 \text{ m}$ ), il n'est plus possible de trouver des diffuseurs plafonniers à distribution radiale dont la vitesse d'air dans la zone d'occupation soit inférieure à 0,2 m/s. Dans ce cas, il faudra se tourner vers des diffuseurs à jet hélicoïdal qui favorisent pour un même débit, un brassage plus rapide entre l'air ambiant et l'air pulsé.



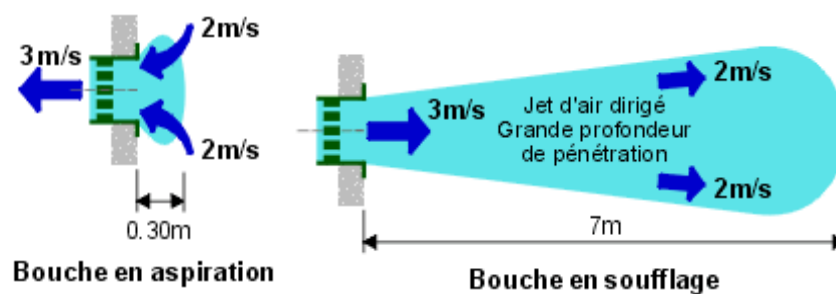
**Figure I.9** : Bouches de pulsion et d'extraction.

Notons que le cahier des charges type 105 pour les bâtiments de l'état définit des valeurs de vitesse d'air nettement plus sévères (vitesse d'air à 19°C maximum de 0,1 m/s dans une zone d'occupation de 2 m de haut) qui s'avèrent souvent difficiles à réaliser.

#### **I.14-Bouches d'extraction :**

Une bouche d'extraction est choisie en fonction de son débit et de sa production acoustique, suivant des abaques semblables à celles des bouches de pulsion.

En extraction la vitesse de l'air dans le local n'est pas un critère important. En effet, la vitesse décroît très vite dès que l'on s'éloigne de la bouche.



**Figure I.10** : bouches d'extraction.



**Figure I.11** : Problème d'efficacité de la pulsion dans un local en dépression : la bouche d'extraction "aspire" directement l'air pulsé.

### I.15-Transfert de chaleur par convection :

La convection est un moyen de transmission d'énergie entre une paroi solide et un fluide (liquide ou gazeux). Le transfert d'énergie est plus important. Le transfert d'énergie par convection de surface à une température supérieure à la température du fluide environnant s'effectue en plusieurs étapes. Premièrement, la chaleur s'écoule par conduction de la surface vers les particules de fluide adjacentes. L'énergie ainsi transférée est utilisée pour augmenter la température et l'énergie interne de ces particules. Celles-ci vont alors se mélanger avec d'autres particules situées dans la région des basses températures et transférer une partie de leur énergie, qui est désormais stockée dans les particules fluides et transmise sous leur mouvement. [12]

### I.16-Les différents types de Convection :

Le transfert de chaleur par convection dépend du mode d'écoulement du fluide, soit par convection naturel ou convection forcée.

- **La convection forcée** : Quand une action externe provoque le mouvement du fluide, telle qu'une pompe ou un ventilateur, on appelle ce type de transfert une convection forcée.
- **La convection naturelle** :

On dit que la convection est naturelle ou libre. Lorsqu'il se produit des courants dus simplement aux différences de densité qui se résultent des gradients de température, au sein du fluide.

**I.17-La convection forcée :**

La convection forcée est une méthode de transfert de chaleur dans laquelle des moyens externes influencent le mouvement du fluide. Là, les sources externes telles que le pompage, les ventilateurs, les dispositifs d'aspiration, etc. sont utiles pour générer le mouvement du fluide. Cette méthode est très utile car elle peut efficacement transférer la chaleur d'un objet chauffé. Certains exemples courants de ce mécanisme incluent la climatisation, les turbines à vapeur, etc...

Quand on considère le mécanisme de convection forcée, il est plus compliqué que le mécanisme naturel. En effet, dans cette méthode, nous devons réguler deux facteurs; mouvement fluide et conduction thermique. Ces deux facteurs sont étroitement liés car le mouvement du fluide peut améliorer le transfert de chaleur. Ex: plus le taux de mouvement du fluide, plus le transfert de chaleur est important. [13]

**I.18-Conclusion :**

Ce chapitre a été consacré pour donner les informations basiques pour faciliter la compréhension des certains passages obligés pour la diffusion de l'air pour un confort thermique d'une pièce ou d'un locale.

Et en donne des informations pour une meilleure distribution de température dans un local .

Finalement une généralité sur la Transfer de chaleur par convection surtout notre cas la convection forcée.

# **CHAPITRE II**

## **Formulation du problème**

## II.1- Introduction:

Le domaine physique considéré dans cette étude concerne un soufflage d'air dans un local carrée avec toit inclinée équipée par deux bouches, une pour le soufflage et l'autre pour l'extraction. La bouche de soufflage est située en haut sur la paroi verticale gauche d'une largeur de  $h=0,1\text{m}$  et une vitesse de soufflage variable et la bouche d'extraction est située en bas de la même paroi de soufflage d'une largeur de  $h=0,1\text{m}$ . La paroi verticale droite et le toit qui sont en contact avec le milieu extérieur sont supposés être à une température de  $16^\circ\text{C}$ . Les autres parois, le plancher et la paroi verticale gauche, sont supposés être adiabatiques.

Ce local qui est situé au dernier étage d'une maison individuelle ne bénéficie pas du réseau du chauffage central. Pour chauffer ce local, il existe une possibilité économique en utilisant un soufflage d'air chaud provenant d'un capteur solaire à air. Pour assurer un confort thermique, il faut étudier l'écoulement de l'air chaud dans le local et la distribution de température. Pour cela nous avons considéré trois configurations. Dans le premier cas (figure 4.1) le soufflage d'air est horizontal situé en haut du local, dans le deuxième cas (figure 4.2) le soufflage est incliné parallèlement au toit en haut du local et dans le troisième cas (figure 4.3) le soufflage s'effectue horizontalement en bas du local.

## II.2-Modèle physique :

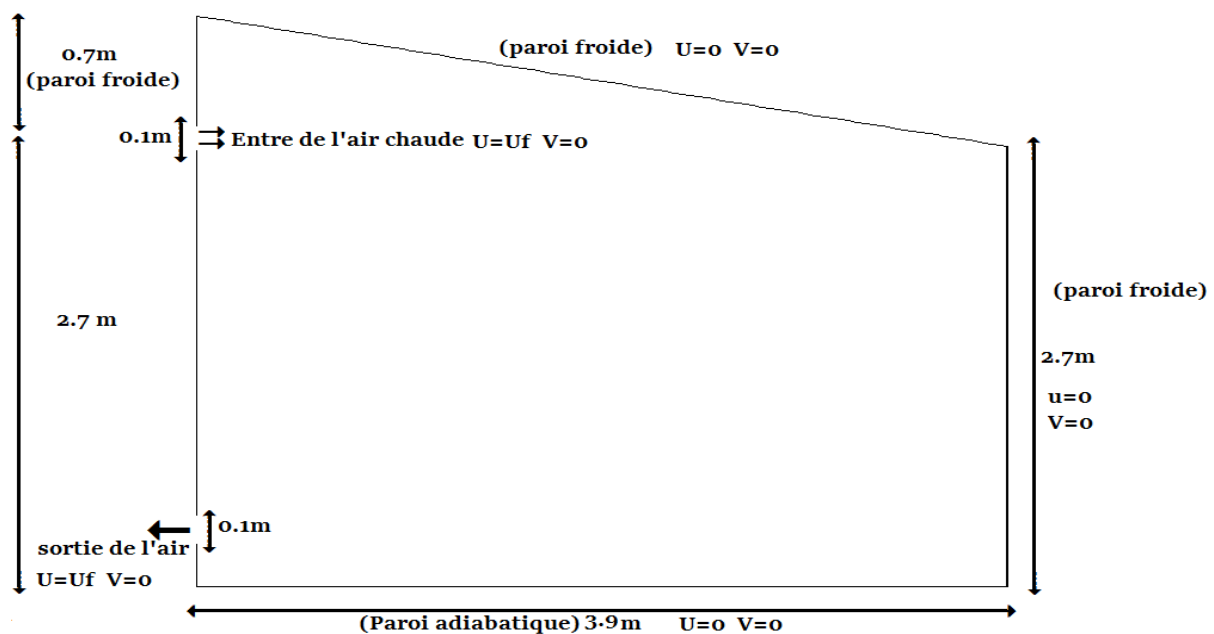


Figure 4.5: Schéma représentant les paramètres bidimensionnels de la pièce.

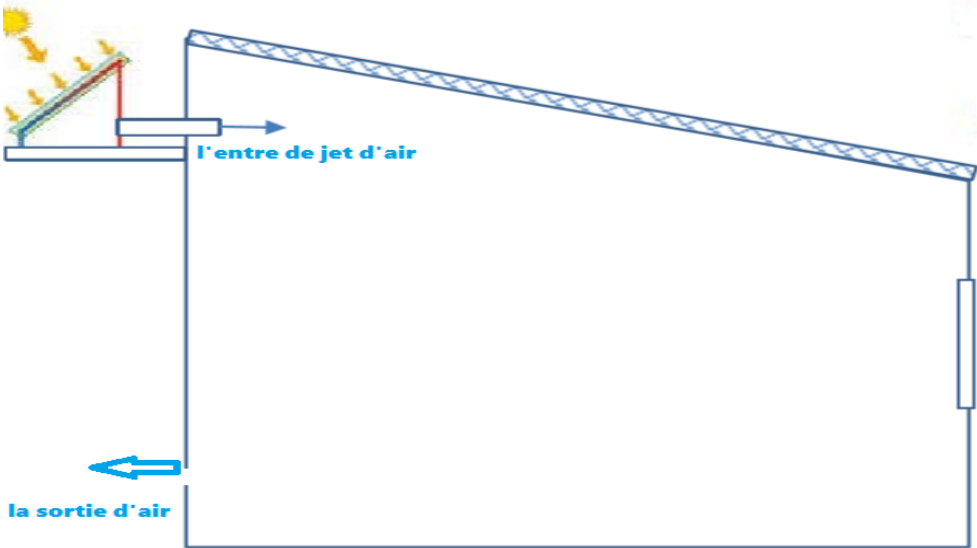


Figure 4.1 : Configuration Géométrique de premier cas.

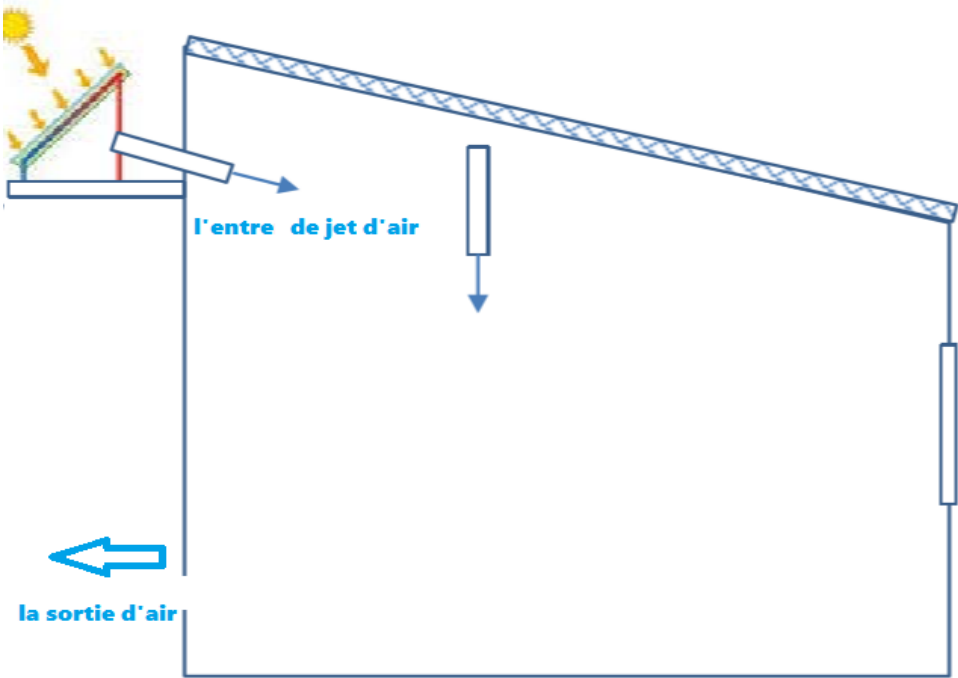


Figure 4.2 : Configuration Géométrique de deuxième cas

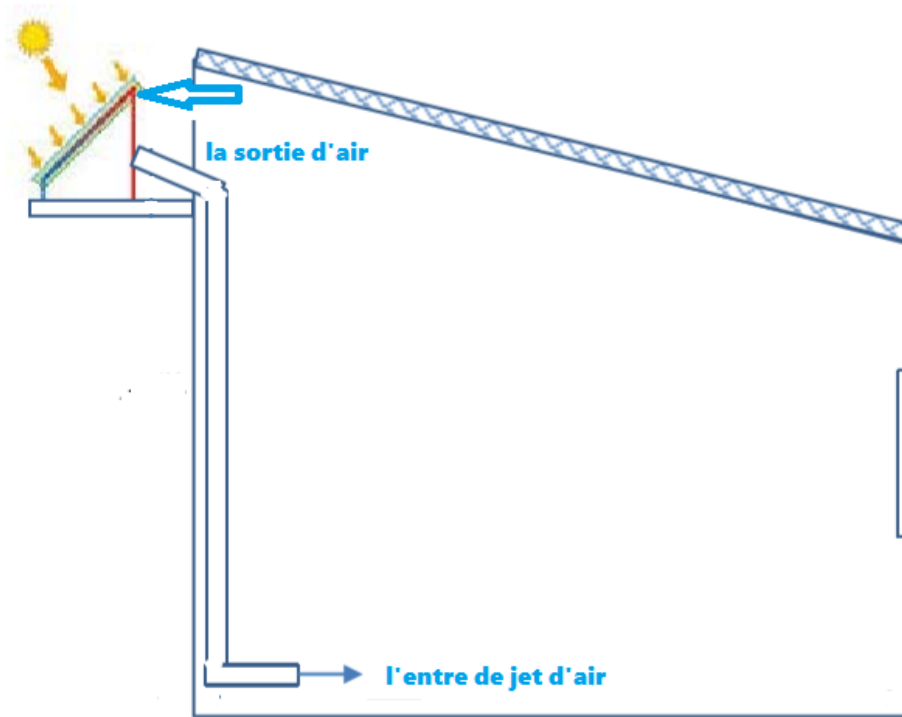


Figure 4.3 : Configuration Géométrique du Troisième cas .

### II.3-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 laminaire.
- ✓ On néglige les forces de pesanteur.

### II.4-Équations générales de conservation

Tout le long de ce travail nous allons considérer que le domaine physique est représenté par le système bidimensionnel de coordonnées cartésiennes  $x, y$ .

Les équations générales de bilans de masse et de quantité de mouvement d'énergie pour un modèle physique s'écrivent :

### II.5-Équation de continuité :

L'équation de continuité exprime la conservation de la masse pour un volume de contrôle matériel.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$$

**II.5.1-Equation de conservation de quantité de mouvement :**

Suivant (ox) :

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

Suivant (oy)

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

**II.5.2.-Equation de l'énergie :**

L'équation de conservation d'énergie est obtenue à partir du premier principe de la thermodynamique. Ce principe met en relation les différentes formes d'énergie, soit :

$$\frac{D}{Dt}(\rho c_p T) = \Delta(kT) + q + \beta T \frac{Dp}{Dt} + \mu \phi$$

$\frac{D}{Dt}(\rho c_p T)$  : La variation totale d'énergie (par accumulation et convection).

$\Delta(kT)$  : La variation d'énergie par conduction.

$q$  : Puissance volumique dissipée.

$\beta T \frac{Dp}{Dt}$  : La variation d'énergie due à la compressibilité.

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

**II.6-Les conditions aux limites :**

On suppose le problème d'une cavité carré simple de toit incliné:

✓ Paroi inférieure :  $0 < x < 3.9\text{m}$  et  $y = 0 \rightarrow u=0; v=0; \frac{\partial T}{\partial y} = 0$ .

✓ Paroi supérieur e: point 1 :  $x=0$  et  $y=3,5\text{m}$ ; point 2:  $x= 3.9$  et  $y=2.7\text{m} \rightarrow u=0; v=0; T=16^\circ\text{C}$ .

✓ Paroi droite :  $x=0$  et  $0 < y < 2.7 \rightarrow u=0; v=0; T=16^\circ\text{C}$ .

✓ Paroi gauche:  $0 < y < 0.2$  et  $x=0 \rightarrow u=0; v=0; \frac{\partial T}{\partial x} = 0$ .

$$0.2 < y < 0,3 \text{ et } x=0 \rightarrow u=-u_0 \text{ et } v=0.$$

$$0.3 < y < 2,7 \text{ et } x=0 \rightarrow u=0; v=0; \frac{\partial T}{\partial x} = 0$$

$$2.7 < y < 2,8 \text{ et } y=0 \rightarrow u=u_0; v=0; T=T_0.$$

$$2.8 < y < 3,5 \text{ et } y=0 \rightarrow u=0; v=0; T=16^\circ\text{C}.$$

### II.7-A dimensionnement des équations générales de conservation

$$X = \frac{x}{L}, \quad Y = \frac{y}{L}, \quad U = \frac{u}{u_0}, \quad V = \frac{v}{u_0}, \quad P = \frac{p}{\rho u_0^2}$$

$$\theta = \frac{T - T_f}{T_0 - T_f}$$

### II.8-Les équations précédentes deviennent respectivement :

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0$$

$$U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial X} + \frac{1}{\text{Re}} \left( \frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} \right)$$

$$U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial Y} + \frac{1}{\text{Re}} \left( \frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} \right)$$

$$U \frac{\partial \theta}{\partial X} + V \frac{\partial \theta}{\partial Y} = \frac{1}{\text{RePr}} \left( \frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} \right)$$

Les principaux paramètres de contrôle du problème étudié sont les nombres adimensionnels Re et Pr qui sont définis par les relations suivantes:

$$\text{Re} = \frac{u_0 L}{\nu}; \text{Pr} = \frac{\nu}{\alpha}$$

### II.9-Résolution numérique par la méthode des volumes finis :

Pour la résolution de notre modèle mathématique nous avons utilisé un code de calcul CFD (Logiciel Fluent) basé sur la méthode des volumes finis.

La méthode des volumes finis consiste à discrétiser le domaine d'écoulement en volumes de contrôle puis d'effectuer des bilans sur ces petits volumes. Pour cette raison, la formulation fait apparaître des intégrations de volume afin de construire les équations algébriques pour les variables dépendantes discrètes (les inconnus), tels que les vitesses, les pressions et les températures.

L'avantage de cette méthode est que tout ce qui sort d'un volume, rentre dans un autre, cette méthode est donc conservative et permet de simuler des écoulements dans des

géométries complexes, à partir de différents types de maillages plus ou moins fins. La méthode des volumes finis consiste à discrétiser le domaine d'écoulement en plusieurs volumes de contrôle (cellule), puis d'effectuer des bilans (masse, quantité de mouvement...) sur ces petits éléments. Pour cette raison, la formule révèle l'intégration de volumes. L'avantage de cette méthode est que, donc cette méthode est conservatrice et peut simuler l'écoulement dans des formes géométriques complexes, à partir de différents types de maillages plus ou moins fins.

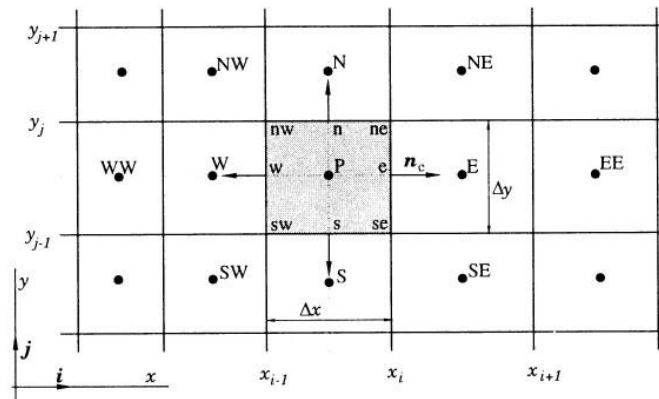


Figure 4.6 : schéma de méthode de volume finis.

**II.10-Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons présenté le modèle physique ainsi que les équations qui gouvernent le phénomène de la convection forcée en régime laminaire et stationnaire à l'intérieur d'une pièce rectangulaire bidimensionnelle. Ensuite, nous avons bien spécifié les conditions aux limites et les hypothèses simplificatrices de tout domaine d'écoulement.

**CHAPITRE III**  
**SUMILATION**  
**NUMERIQUE**

### III.1-Introduction :

Le CFD est l'abréviation de terme computationnel fluide Dynamics en anglais c'est-à-dire mécanique des fluides numérique en français MFN.

La mécanique des fluides numérique (MFN) consiste à étudier les mouvements d'un fluide, ou leurs effets, par la résolution numérique des équations régissant le fluide. En fonction des approximations choisies, qui sont en général le résultat d'un compromis en termes de besoins de représentation physique par rapport aux ressources de calcul ou de modélisation disponibles, les équations résolues peuvent être les équations d'Euler, les équations de Navier-Stokes, etc.

La MFN a grandi d'une curiosité mathématique pour devenir un outil essentiel dans pratiquement toutes les branches de la dynamique des fluides, de la propulsion aérospatiale aux prédictions météorologiques en passant par le dessin des coques de bateaux. Dans le domaine de la recherche, cette approche est l'objet d'un effort important, car elle permet l'accès à toutes les informations instantanées (vitesse, pression, concentration) pour chaque point du domaine de calcul, pour un coût global généralement modique par rapport aux expériences correspondantes.

### III.2-Définition CFD :

CFD est une branche de la mécanique des fluides qui utilise l'analyse numérique et les structures de données pour analyser et résoudre des problèmes impliquant des écoulements de fluides. Les ordinateurs sont utilisés pour effectuer les calculs nécessaires pour simuler l'écoulement libre du fluide et l'interaction du fluide (liquides et gaz) avec des surfaces définies par des conditions aux limites. Avec les supercalculateurs à haute vitesse, de meilleures solutions peuvent être obtenues et sont souvent nécessaires pour résoudre les problèmes les plus importants et les plus complexes. Les recherches en cours donnent des logiciels qui améliorent la précision et la vitesse de scénarios de simulation complexes tels que les écoulements transsoniques ou turbulents. La validation initiale d'un tel logiciel est généralement effectuée à l'aide d'appareils expérimentaux tels que des souffleries. De plus, une analyse analytique ou empirique effectuée précédemment d'un problème particulier peut être utilisée à des fins de comparaison. Une validation finale est souvent effectuée à l'aide de tests à grande échelle, tels que des tests en vol.

La CFD est appliquée à un large éventail de problèmes de recherche et d'ingénierie dans de nombreux domaines d'études et d'industries, y compris l'aérodynamique et l'analyse aérospatiale, la simulation météorologique, les sciences naturelles et l'ingénierie environnementale, la conception et l'analyse de systèmes industriels, l'ingénierie biologique, les flux de fluides et le transfert de chaleur et analyse du moteur et de la combustion.

### **III.3-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.

### **III.4-Les domaines d'utilisation de CFD dans l'industrie :**

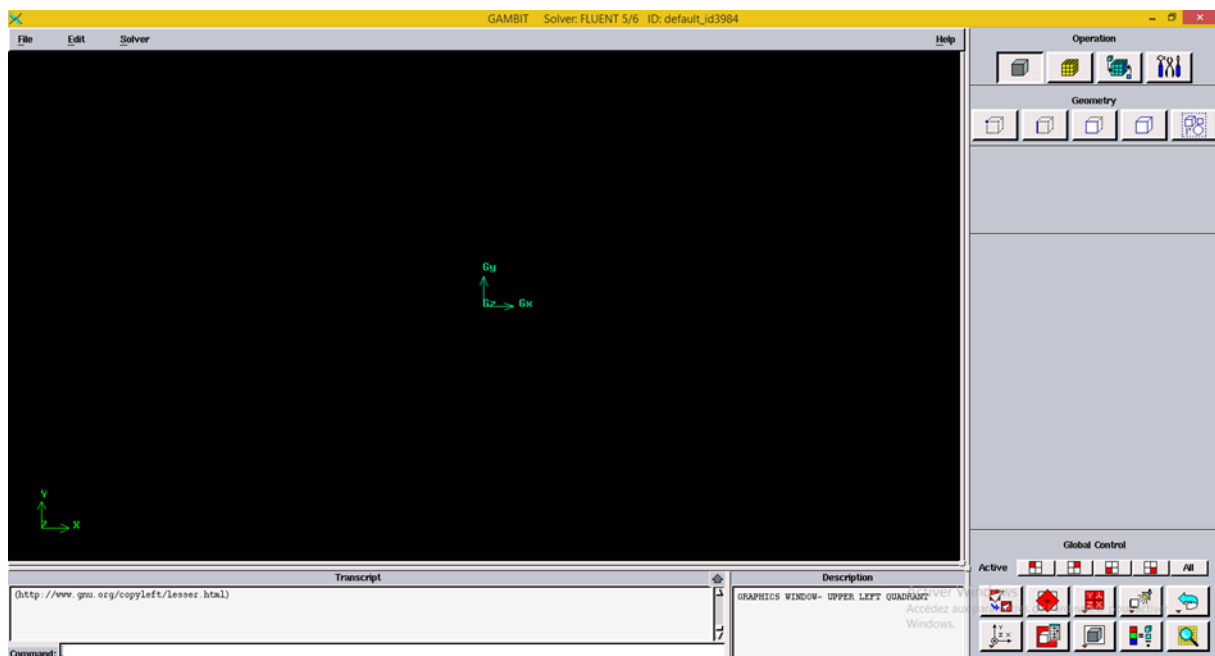
- Aérospatiale et défense : écoulement subsonique et supersonique, aérodynamique des véhicules, échange thermique conjugué.
- Automobile : climatisation de la cabine, bruits aéro-acoustiques, ballonnement des liquides, gaz d'échappement, aérodynamique, refroidissement du moteur, dégivrage, boîte de vitesses.
- 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.

### III.5-Description de Gambit :

#### III.5.1-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 III.1** : Lancement de Gambit

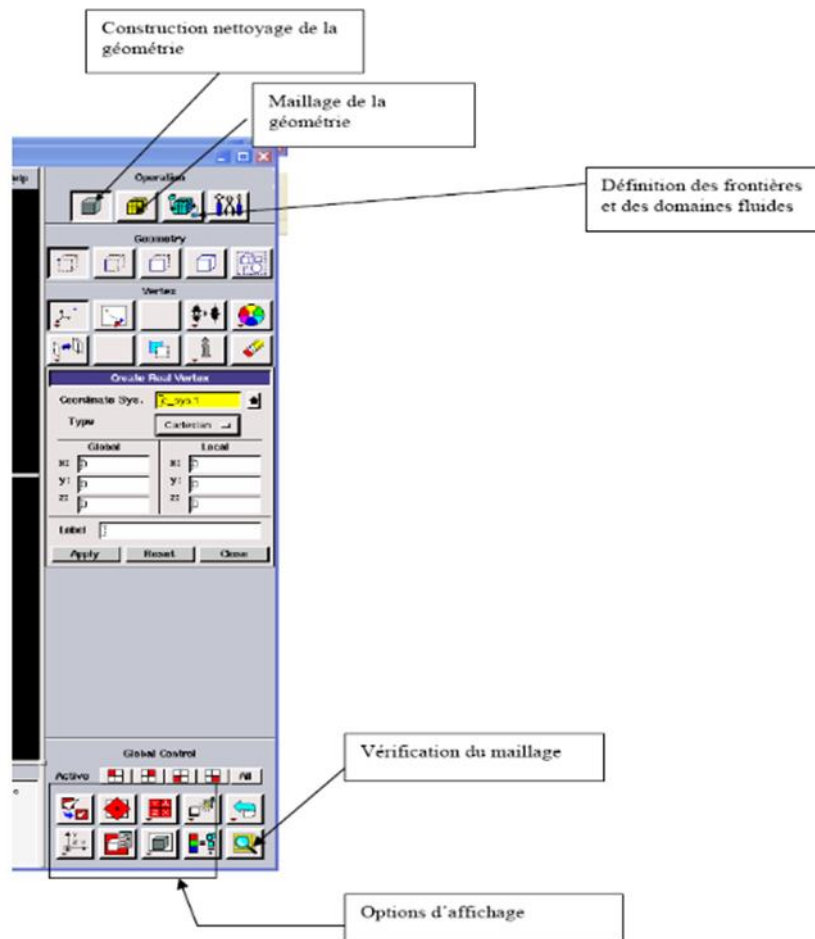


Figure III.2 : Outils de Gambit

### III.5.2-Création de la géométrie :

Notre géométrie concerne un local carrée de toit incliner équipée par deux petites ouvertures l'un située au supérieur gauche représente l'entrer de jet d'air de largeur de  $h=0.1\text{m}$  et une vitesse variable et l'autre située au coin inferieur gauche du local représente la sortie d'air de largeur de  $h=0.1\text{m}$  figureIII.3.

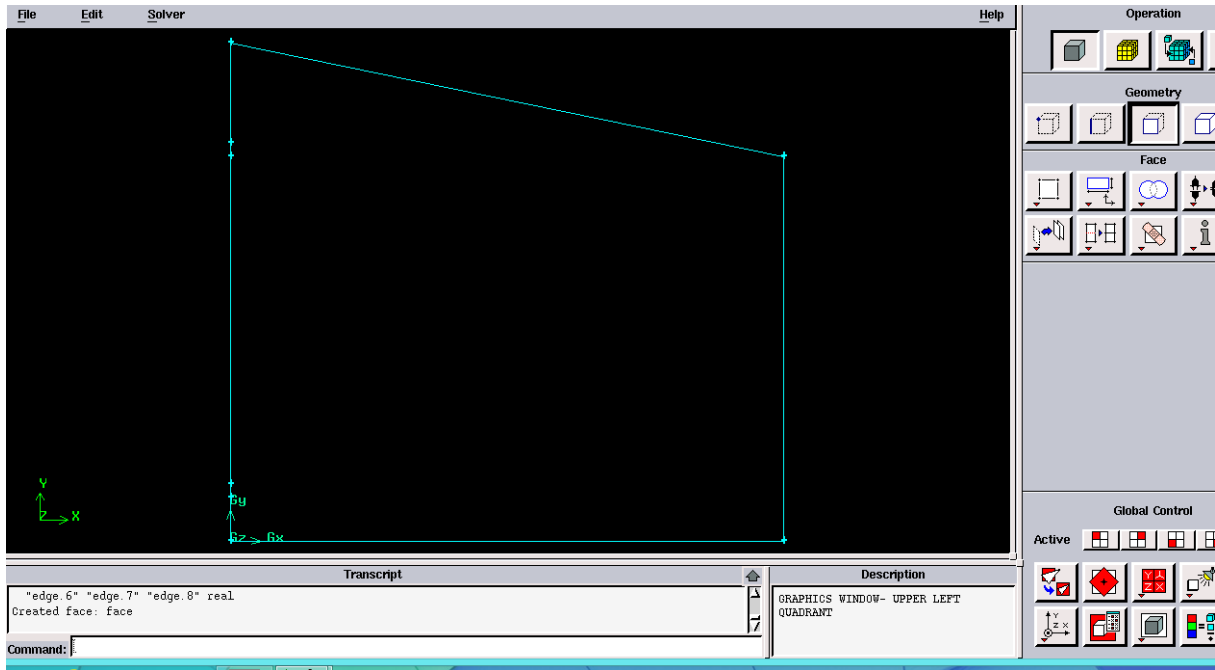


Figure III.3 : Création de la géométrie.

### III.5.3-Les conditions aux limites :

Les conditions aux limites des Parois froides en contact avec l'extérieur :

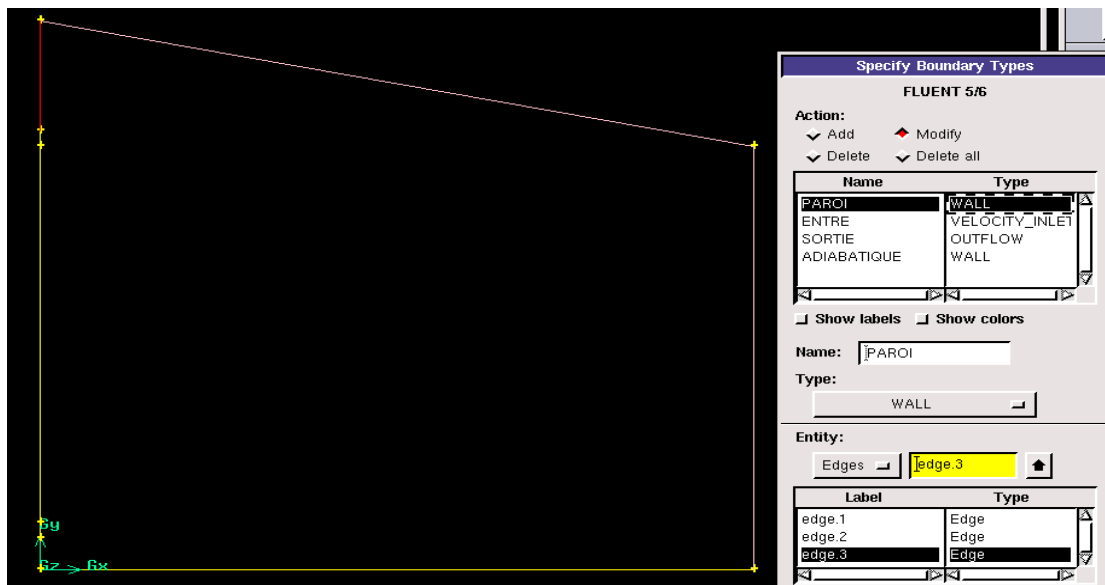


Figure III.4 : Les conditions aux limites des Parois froides.

Les conditions aux limites des parois adiabatiques :

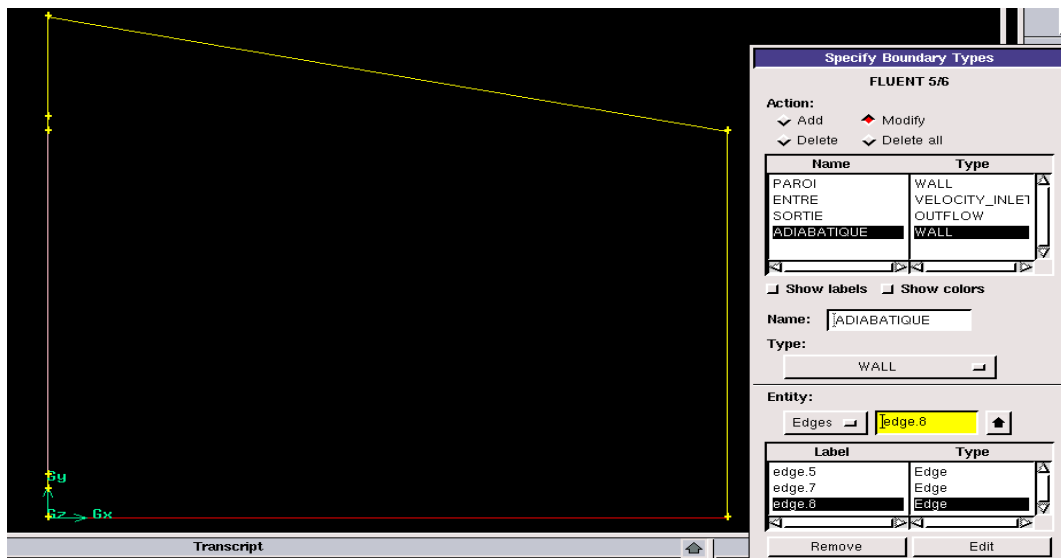


Figure III.5 : Les conditions aux limites des Parois adiabatiques.

La condition à la limite à l'entrer :

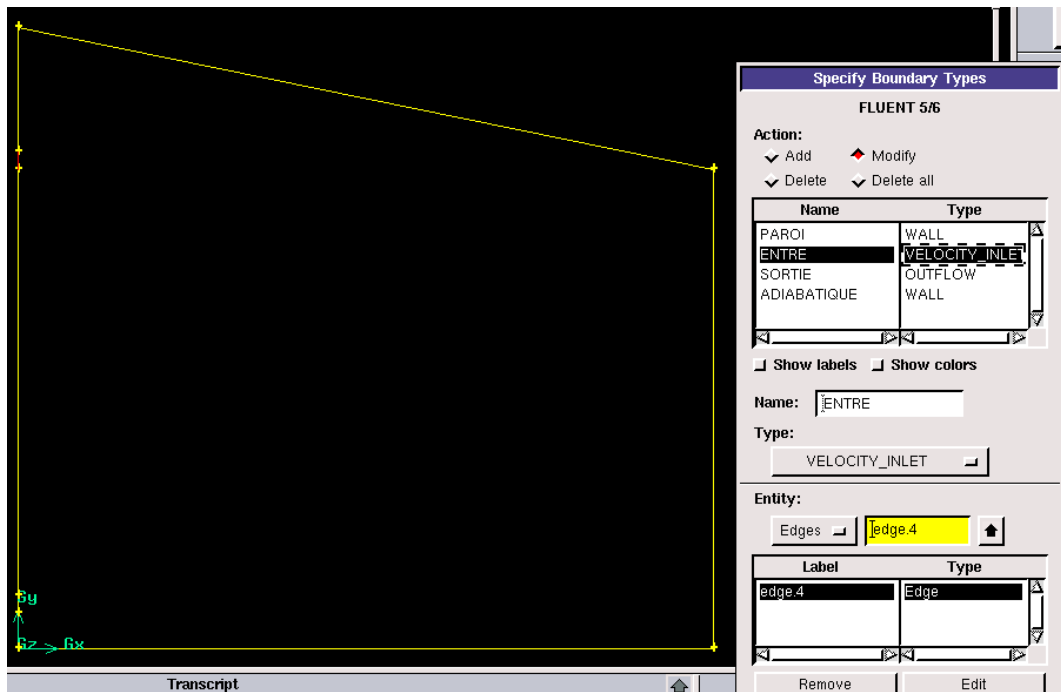


Figure III.6 : condition aux limite d'entre.

Condition à la limite de sortie :

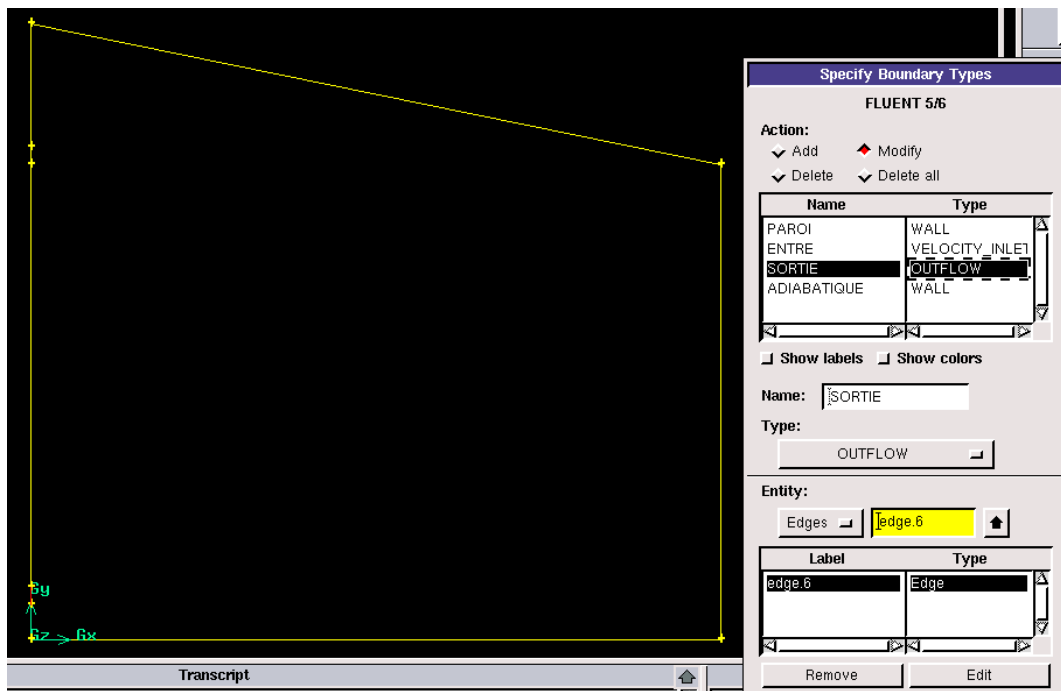


Figure III.7 : condition au limite de sortie.

### III.5.4-Choix de maillage :

Dans notre cas on a choisi un maillage structuré de type triangulaire par nombre d'intervalles.

Comme vous voyez dans les figures suivantes :

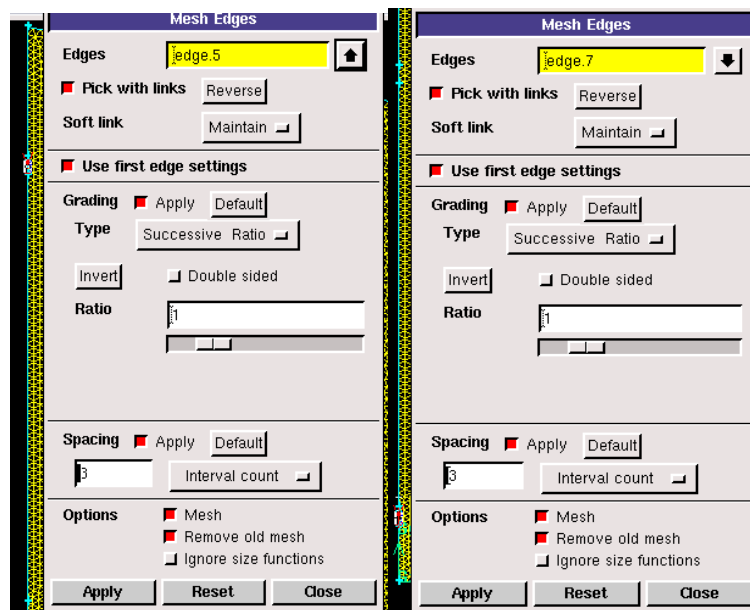


Figure III.8: Maillage dans l'entree et dans la sortie .

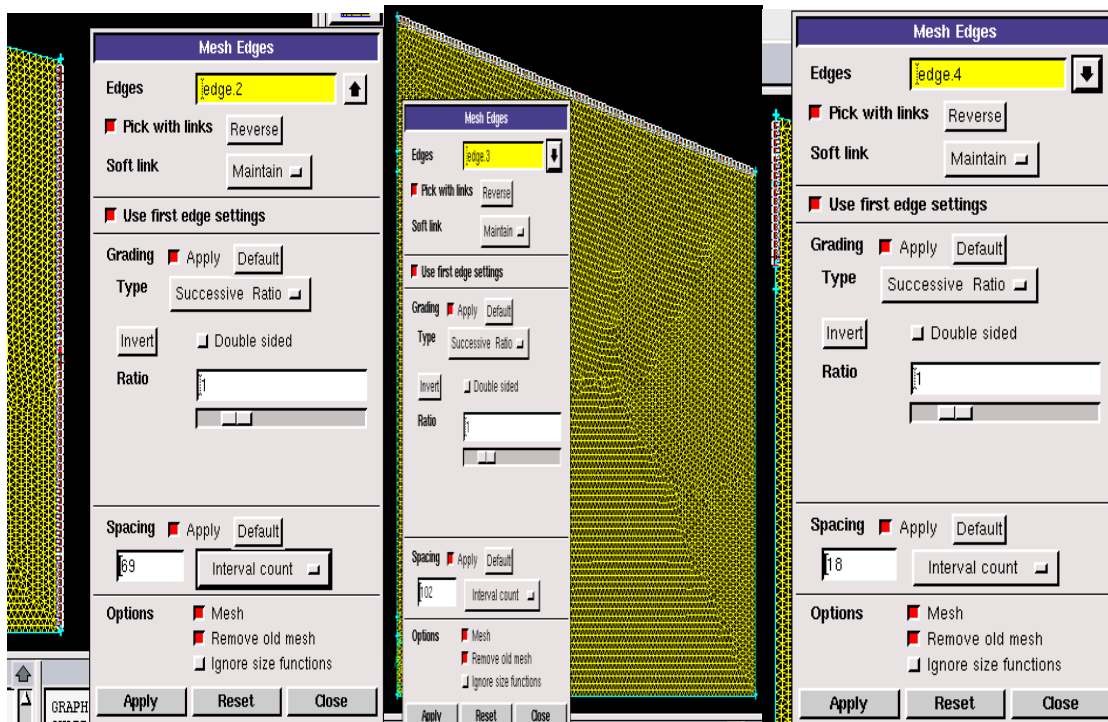


Figure III.9: Maillage des parois froides.

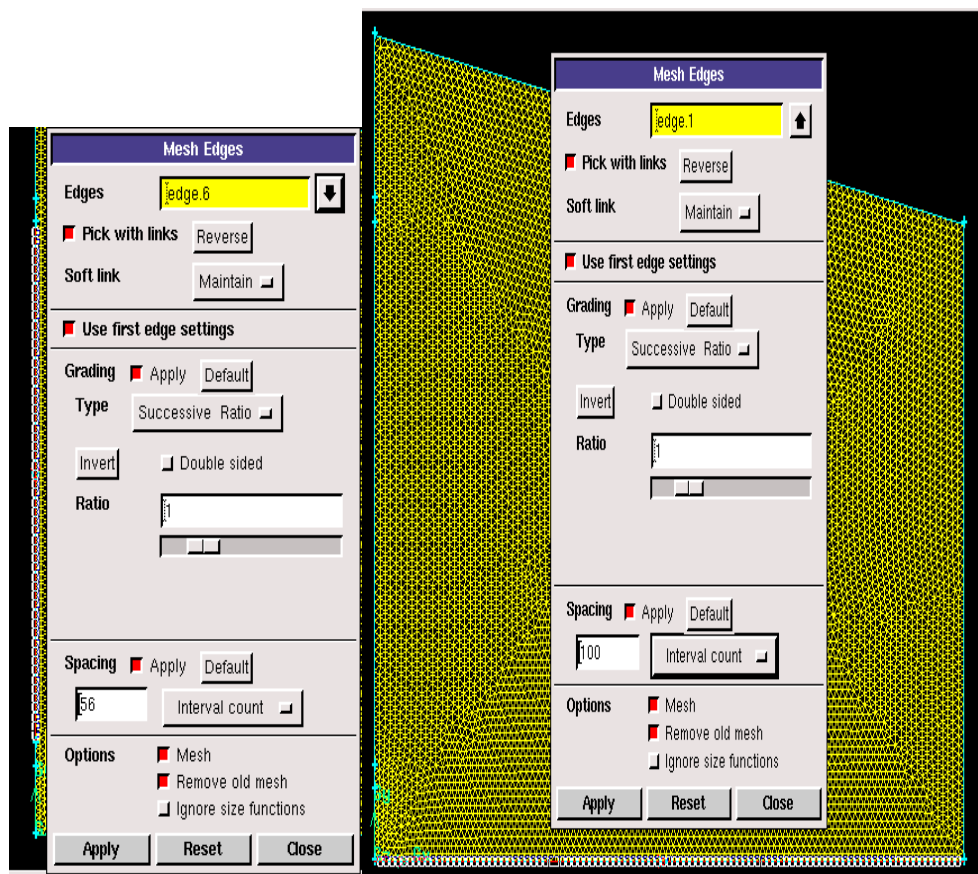


Figure III.10: Maillage des parois adiabatique.

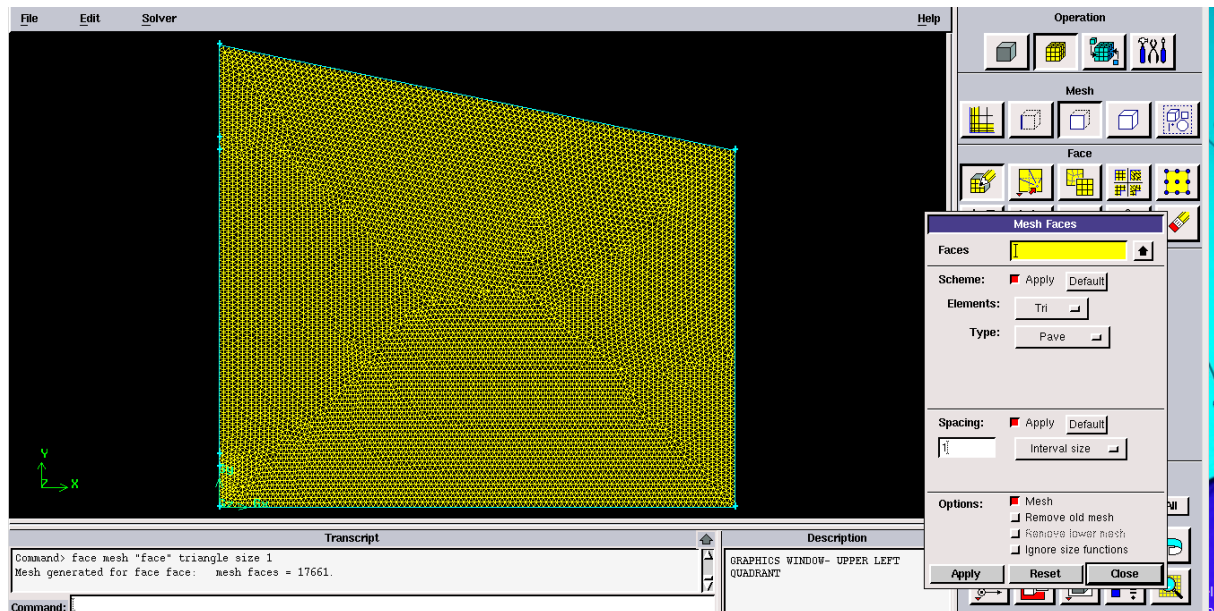


Figure III.11 : Choix de maillage final.

### III.5.5-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**

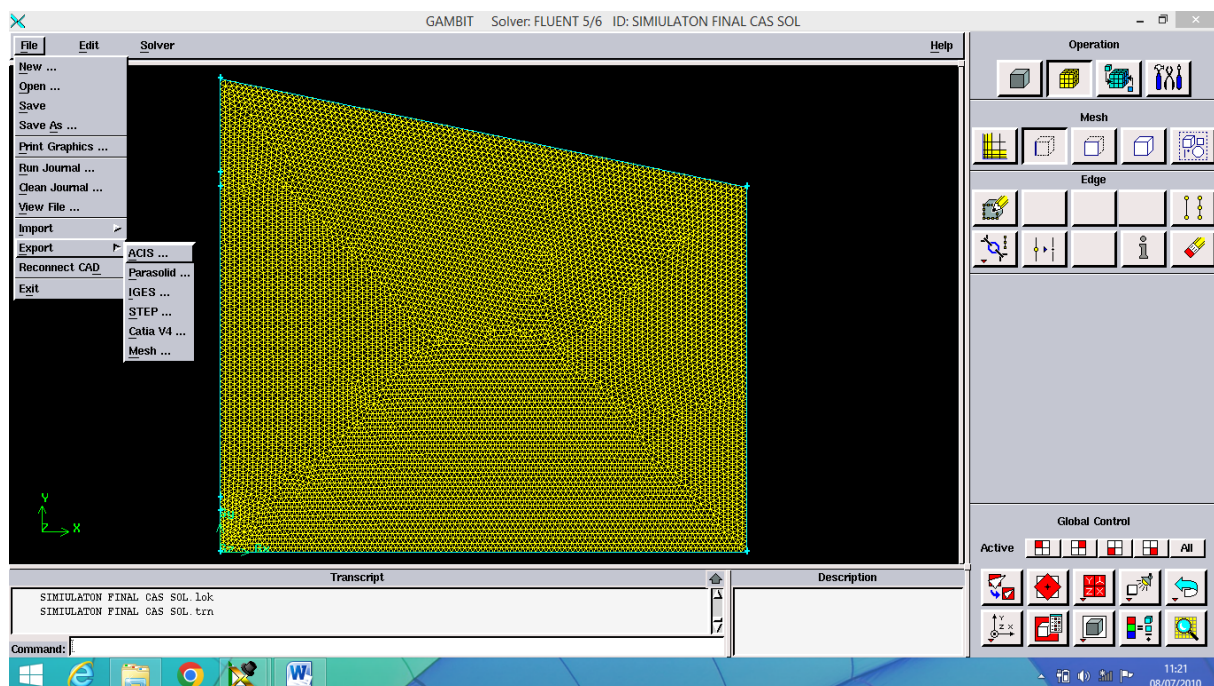


Figure III.12: Exportation du maillage.

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 :

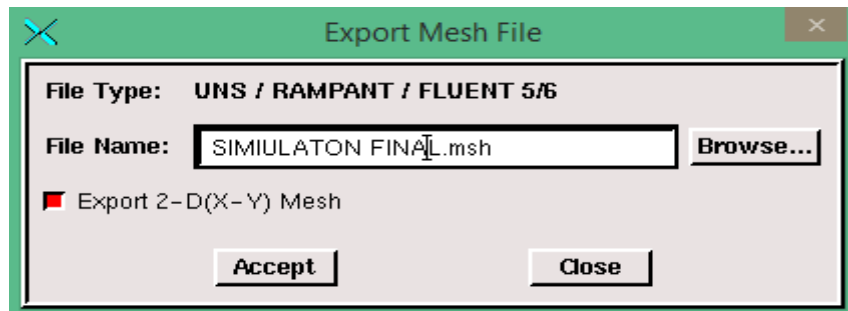


Figure III.13: Enregistrement du fichier.

### III.6-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 sépare 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 facilite. Les types de mailles supportées sont :

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

#### III.6.1-Lancement de Fluent :

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

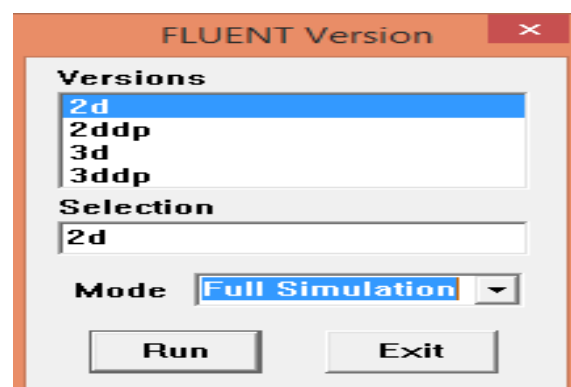


Figure III.14lancement Fluent.

### III.6.2-Importation de la géométrie

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

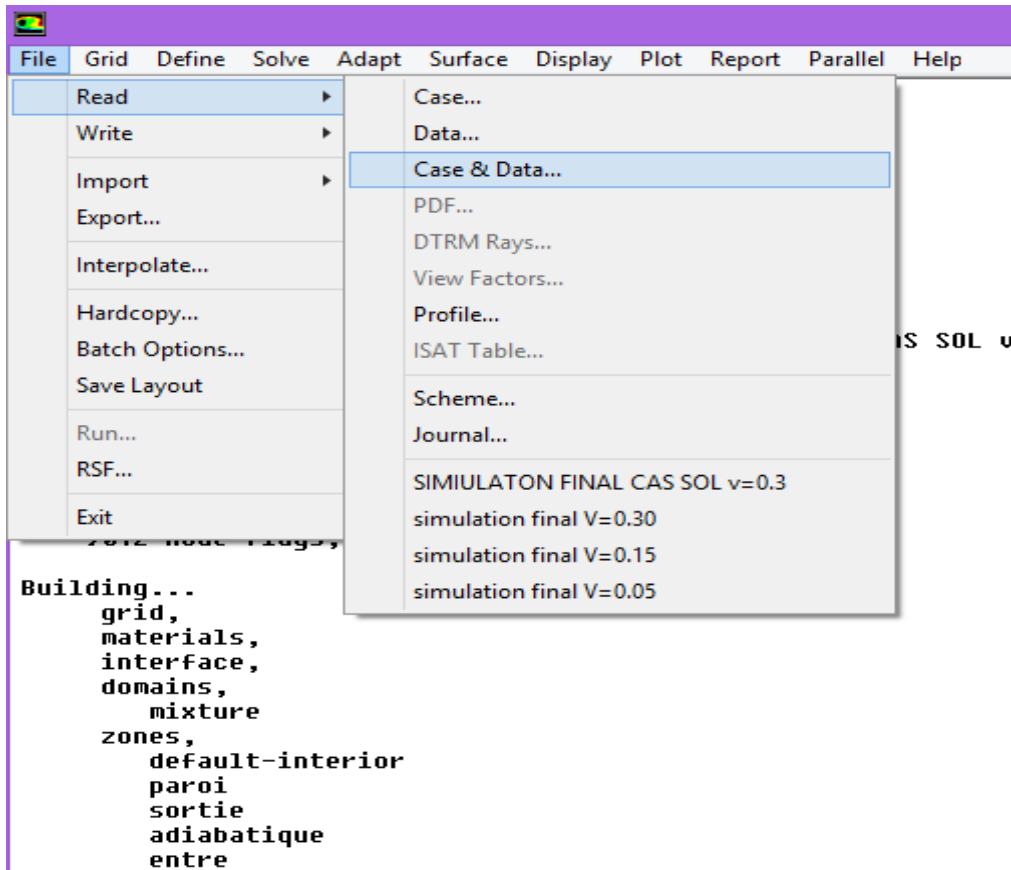


Figure III.15 Importation de la géométrie

Activer la fonctionnalité de l'équation de l'énergie

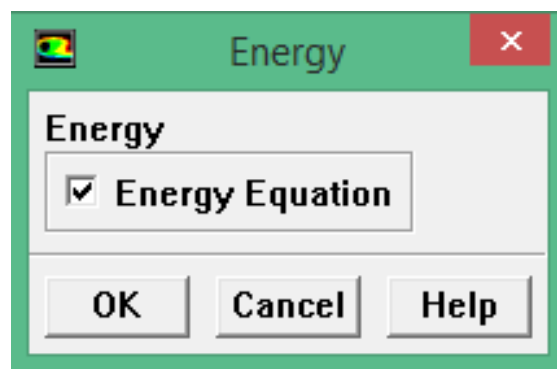


Figure III.16 : Importation de la géométrie

### III.6.3-Les conditions aux limites :

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

#### Defline- Boudry conditions

#### Température de paroi froide :

On fixe la température des murs associée à l'extérieur sur une valeur de 15°C.

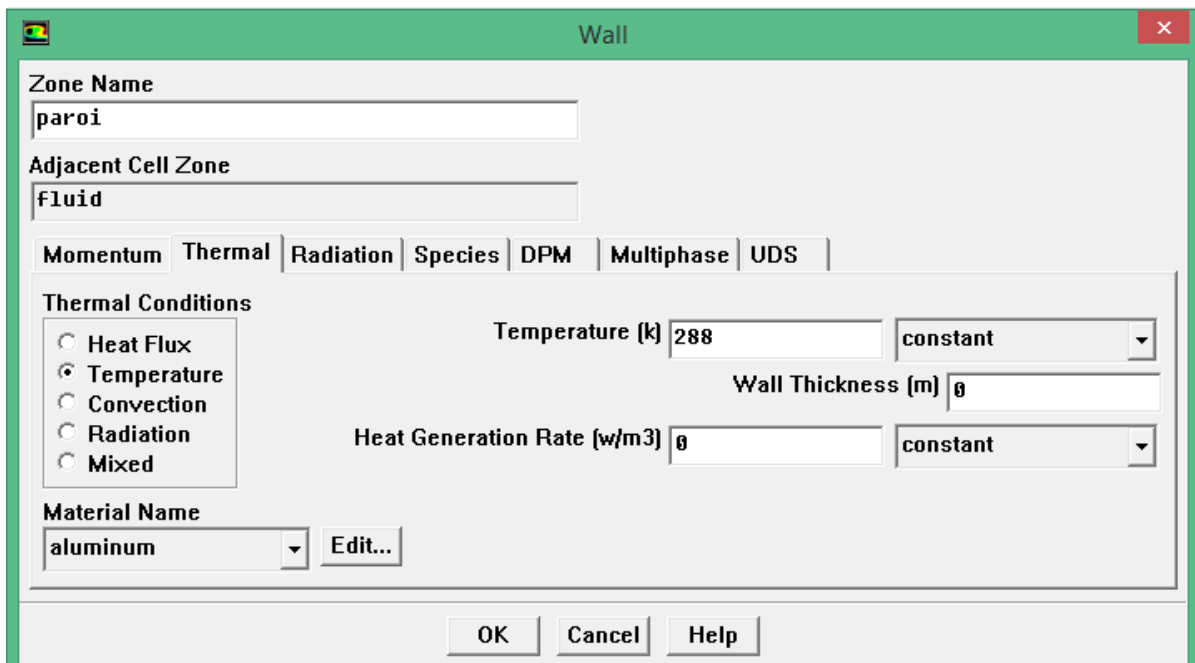


Figure III.17 : Température de la paroi froide

#### Température d'entre :

On fixe la température d'entrer de jet d'air sur une valeur de 50 °C.

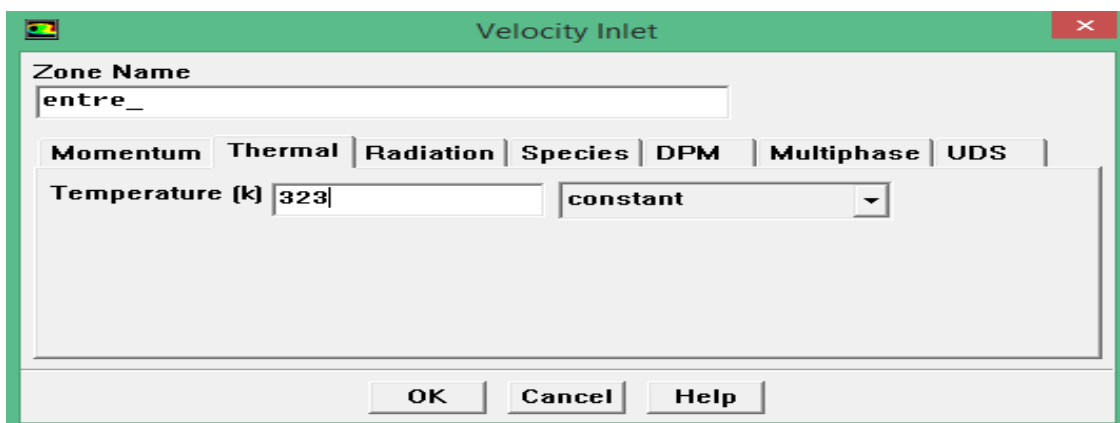
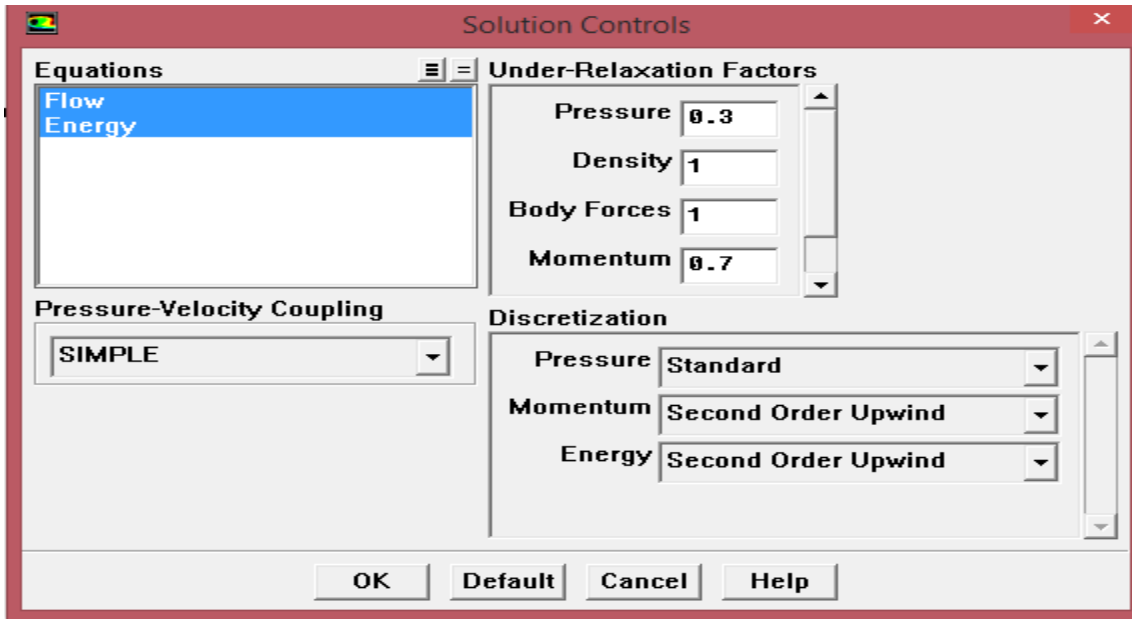


Figure III.18 : température d'entrer .

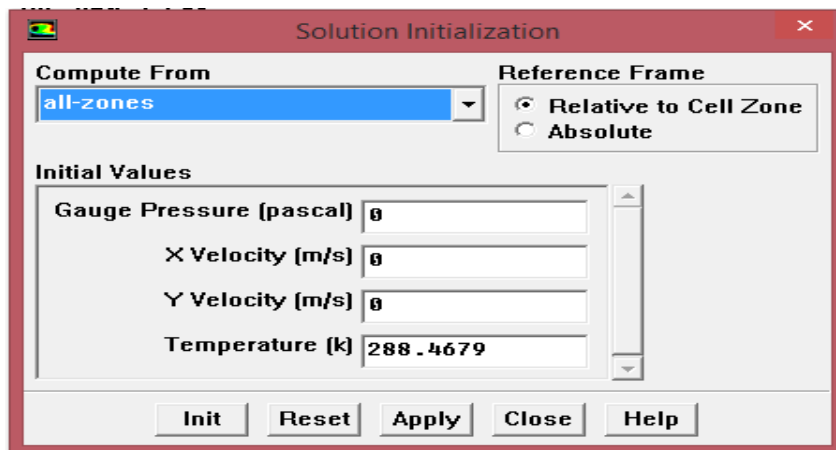
**III.7-Controls solution :**

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 III.19:** Choix d’ordre d’équation

**III.8-Solution initialization :**



**Figure III.20:** Initialization de solution .

III.9-Allures de l'évolution des résidus de calcul :

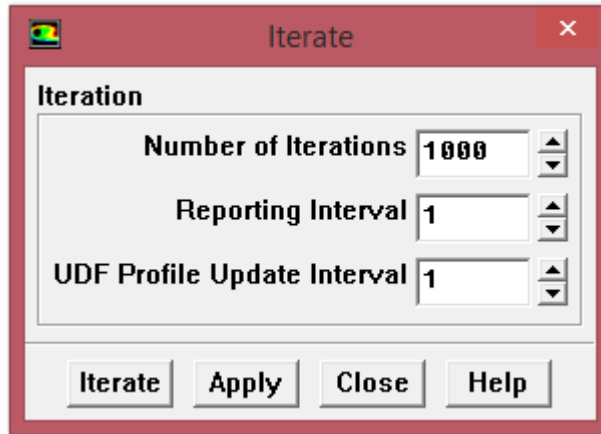
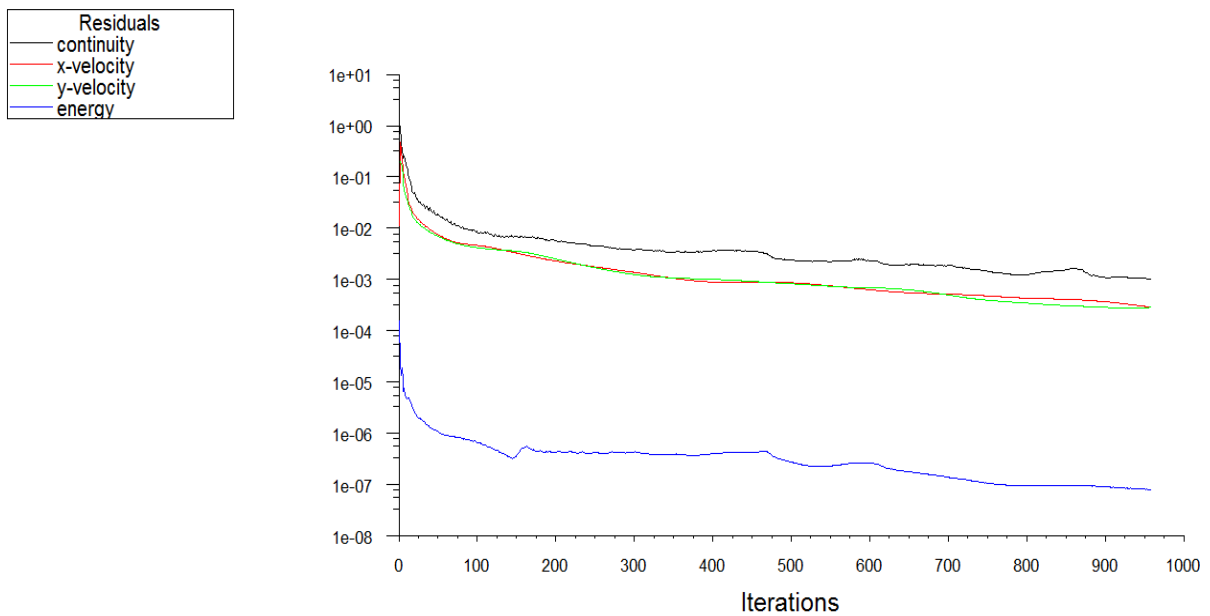


Figure III.21: Nombre d'iteration

Le calcul convergé quand le résidu est stable :



Scaled Residuals Jul 08, 2010  
FLUENT 6.3 (2d, pbns, lam)

Figure III.22: Allures de l'évolution des résidus de calcul.

<sup>2</sup>On peut visualiser et analyser les résultats à l'aide post-traitement que propose Fluent.

Ces fonctionnalités sont principalement :

#### **Display :**

1. Le premier menu Contours qui accède d'étudie les variations des variables sous forme de ligne de courant, profile de vitesse : Display -- Contours...
2. Le second menu vecteur, les valeurs sont expliquées par des vecteurs pour la visualisation les vecteurs des vitesses : Display-- Vectors...

#### **Surface :**

Surface : visualisation des zones expriment du maillage (ligne, plans...), cette option Surface permet de créer les lignes ou les plans dans la géométrie à partir des points

#### **Plot :**

Plot offre la potentialité de faire des graphes en 2D pour toutes les variables sur les lignes ou plan créés.

Pour réaliser une cavité (2D) et étudie sa complexité les étapes de la simulation sont les mêmes sauf que dans premier module (géométrie) on change le type d'analyser de (3D) a (2D).

### **III.10-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.

### **III.11-Conclusion :**

Les étapes présentées dans ce chapitre montrent les principales procédures de la réalisation réussite de la simulation, dans laquelle on a utilisé Le Gambit pour réaliser la géométrie étudié et ANSYS FLUENT pour simuler les cas voulus.

# **CHAPITRE IV**

## **RESULTATS ET DISCUSSION**

### IV.1-Introduction:

Au début de ce chapitre une application des formules a été établie dans une cavité carrée dont la paroi supérieure est inclinée et la paroi inférieure est considérée comme adiabatique, chauffée par un soufflage d'air chaud, provenant d'un capteur solaire, dans trois cas différent. L'air chaud est soufflé à partir de la zone supérieure de la paroi verticale gauche. La direction du soufflage peut être effectuée horizontalement ou inclinée parallèlement à la paroi supérieure pour différentes vitesses du jet.

Nous supposons dans notre étude que le régime d'écoulement laminaire.

A partir de l'adimensionnement des équations différentielles de conservation, l'étude de la convection forcée dans notre cavité fait apparaitre deux nombres adimensionnels: le nombre de Reynolds  $Re$  et le nombre de Prandtl  $Pr$ . Puisque le fluide dans la cavité est de l'air, le nombre de Prandtl est constant est égale à 0,71.

Nous nous sommes intéressés à analyser l'effet de la vitesse du soufflage, donc nous étudions l'effet du nombre de Reynolds. Des simulations numériques sont effectuées pour quatre nombre de Reynolds ( $Re=7 \cdot 10^3$ ;  $1,4 \cdot 10^4$ ;  $4,2 \cdot 10^4$ ;  $8,4 \cdot 10^3$ ), et pour trois directions de soufflage de l'air chaud. Les résultats sont présentés sous forme de lignes de courant pour analyser la structure de l'écoulement, et les isothermes pour analyser la distribution de température.

### IV.2-Etude Paramétrique

#### IV.2.1-Effet de la vitesse de soufflage

Pour cela, nous avons fait varier le nombre de Reynolds  $Re$ , pour quatre valeurs ( $Re=7 \cdot 10^3$ ;  $1,4 \cdot 10^4$ ;  $4,2 \cdot 10^4$ ;  $8,4 \cdot 10^4$ ), qui caractérise le rapport de la force de l'inertie du soufflage sur les frottements causés par la viscosité.

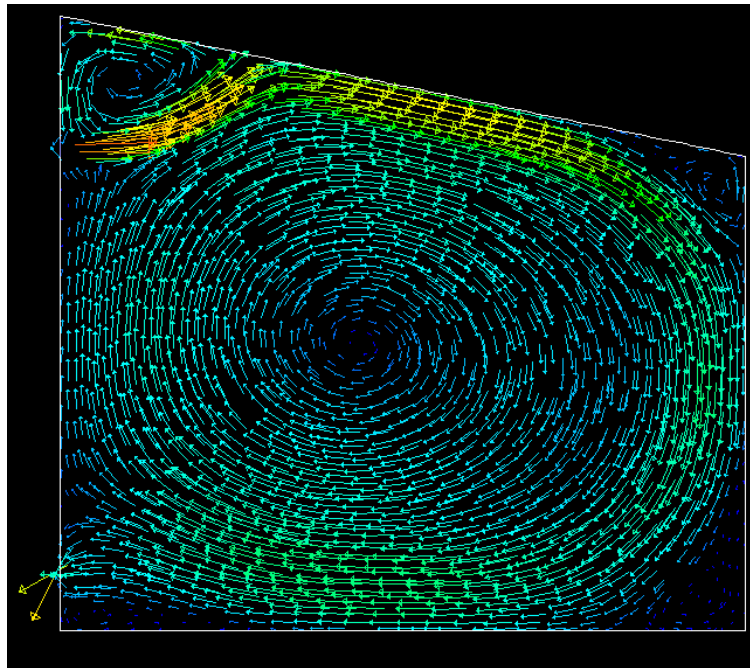
L'échange thermique s'effectue entre le jet d'air du soufflage provenant d'un capteur solaire à  $50^\circ\text{C}$  et les parois froides de la cavité.

Il faut rappeler que les deux autres parois de la cavité sont adiabatiques et la paroi verticale gauche dispose d'une bouche d'évacuation de l'air près du sol.

Dans un premier temps, nous avons étudié l'écoulement convectif dans le cas d'un jet de soufflage horizontal.

Les résultats obtenus sont présentés sous forme des lignes de courants et d'isothermes pour différents nombres de Reynolds.

Pour le cas du soufflage d'air horizontal, nous pouvons remarquer clairement que le jet chaud horizontal dès qu'il s'éloigne de la bouche de soufflage remonte à cause de sa densité faible en s'écoulant entre deux cellules de sens opposé et continue son écoulement le long de la paroi inclinée froide en créant deux petites recirculations antihoraires dans les deux angles de la cavité formé par la parois verticale froide et la paroi supérieure inclinée froide (figure IV.1).

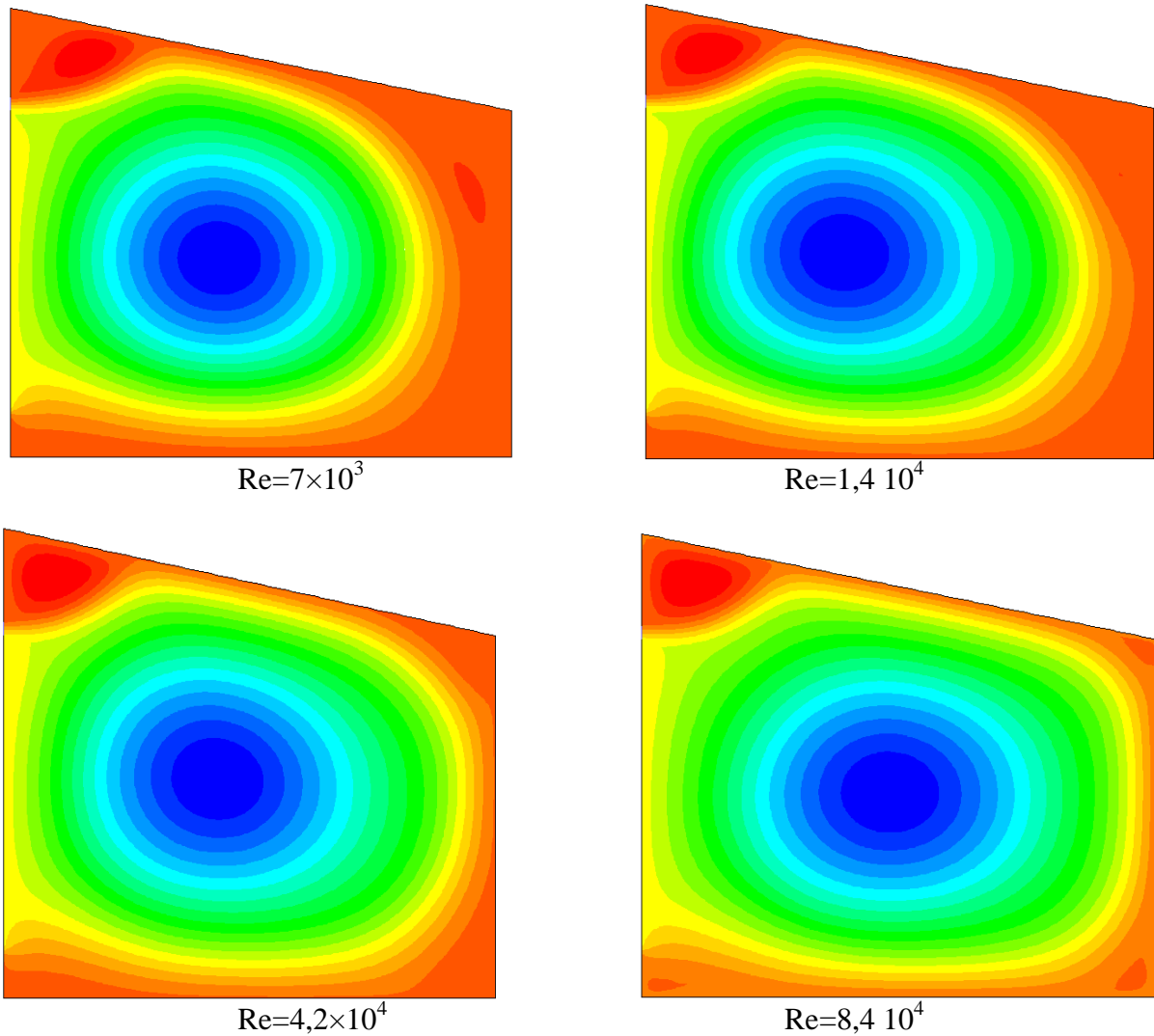


**Figure IV.1:** Champ de vitesses : cas de soufflage horizontal par le haut.

L'augmentation du nombre de Reynolds affecte les caractéristiques dynamiques et thermiques de l'écoulement dans la cavité. Cette augmentation se traduit par une intensification de l'écoulement.

La figure IV.1 montre les lignes de courant pour différents nombres de Reynolds dans le cas du jet de l'air horizontal. Nous remarquons que la structure de l'écoulement présente une cellule principale dans le sens horaire qui occupe presque toute la cavité avec des cellules secondaires antihoraire dans les quatre angles de la cavité. Lorsque le nombre de Reynolds augmente de  $1,4 \cdot 10^4$  à  $8,4 \cdot 10^4$ , une grande cellule formée s'étend dans toute la cavité en écrasant les trois cellules secondaires se trouvant aux extrémités de la paroi inférieure et la

paroi verticale droite. Par contre la cellule secondaire au-dessus de la bouche de soufflage s'intensifie et gagne légèrement plus d'espace.

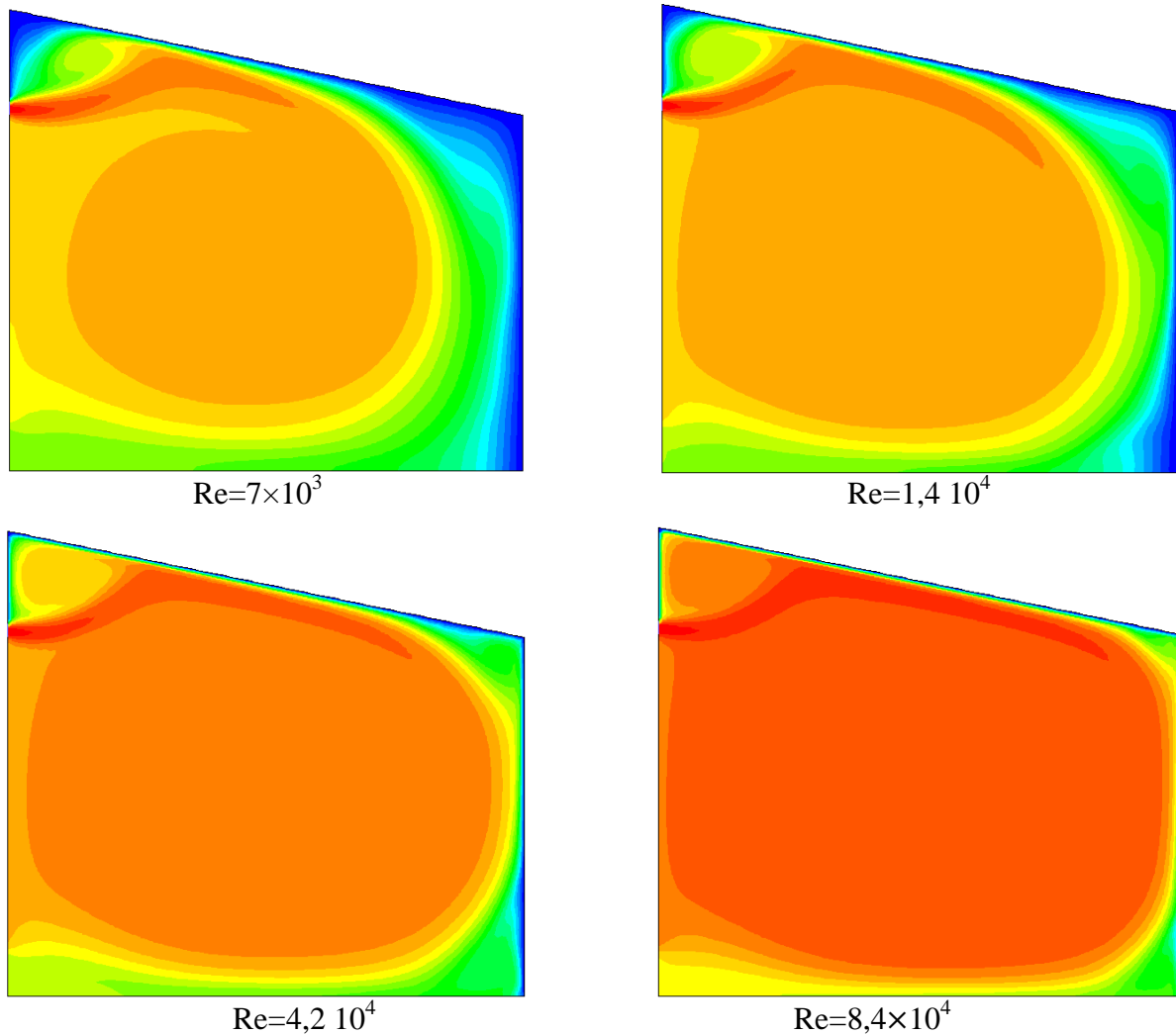


**Figure IV.2:** Les lignes de courant pour différents nombres de Reynolds: cas de soufflage horizontal par le haut.

La figure **IV.3** montre la distribution de température pour différents nombres de Reynolds. On remarque que la température est uniforme dans le centre de la cavité sauf près des parois où on constate une stratification de température et particulièrement près des parois froides. La température de l'air au centre de la cavité augmente lorsque la valeur du nombre de Reynolds augmente de  $7 \cdot 10^3$  à  $8,4 \cdot 10^4$ , car l'augmentation de la vitesse de soufflage traduit une augmentation de débit ce qui provoque réchauffement de l'air dans la cavité.

Par ailleurs, on remarque que la stratification de température qui est perpendiculaire aux parois froides (la paroi supérieure inclinée et la paroi verticale droite) s'intensifie au fur et à

mesure que le nombre de Reynolds augmente. Cette stratification est due au transfert de chaleur à travers la couche limite thermique formé au niveau des parois froides. Les isothermes qui deviennent de plus en plus serrées au niveau de ces parois froides au fur et à mesure que le nombre de Reynolds augmentent, traduisent une intensification du transfert de chaleur convectif de l'air avec les parois froides.

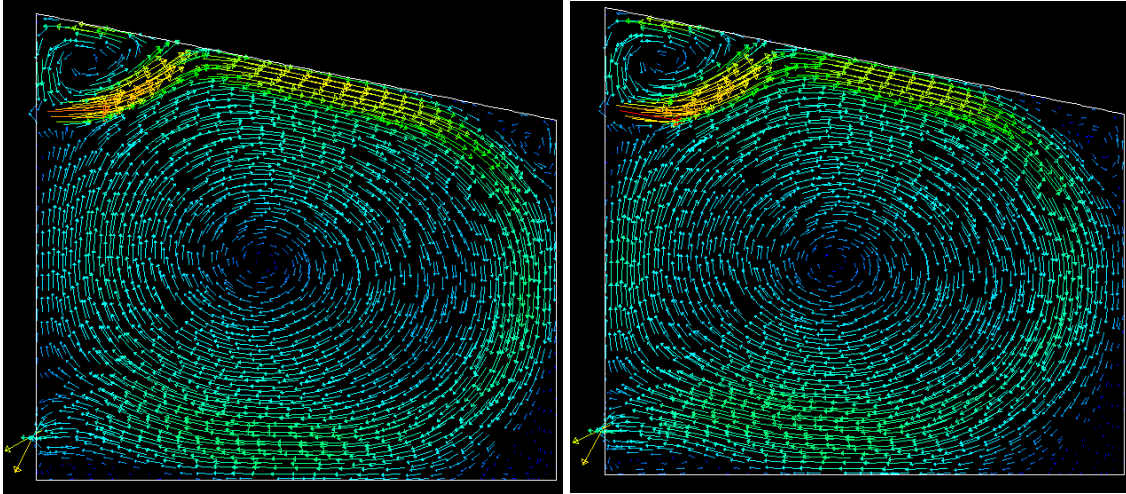


**Figure IV.3:** La distribution de température pour différents nombre de Reynolds: cas de soufflage horizontal par le haut.

#### IV.2.2-Effet de l'orientation du jet de soufflage

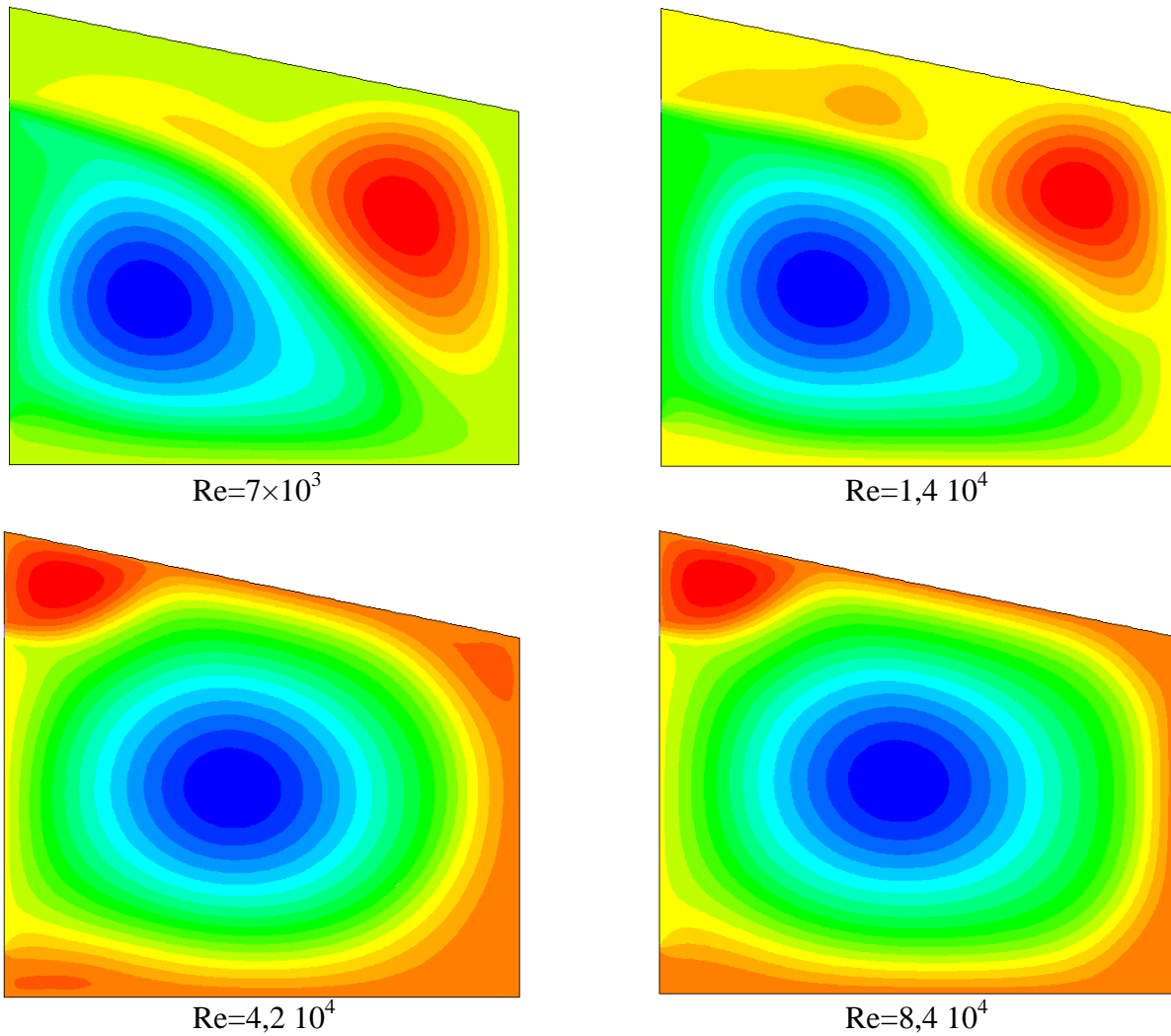
Pour étudier l'effet de la direction du jet sur la structure de l'écoulement et la distribution de la température dans la cavité, nous avons simulé l'écoulement convectif dans la cavité avec un jet de soufflage incliné vers le pas dans une direction parallèle à la paroi supérieure.

En comparant le champ de vitesse entre les deux directions du jet horizontal et incliné, on peut constater que pour le jet du soufflage incliné la cellule secondaire est légèrement plus grande que dans le cas du jet horizontal. L'écoulement du jet s'écoule tout le long de la paroi supérieure et contourne la cellule secondaire dans l'angle supérieur droit (figure IV.4).



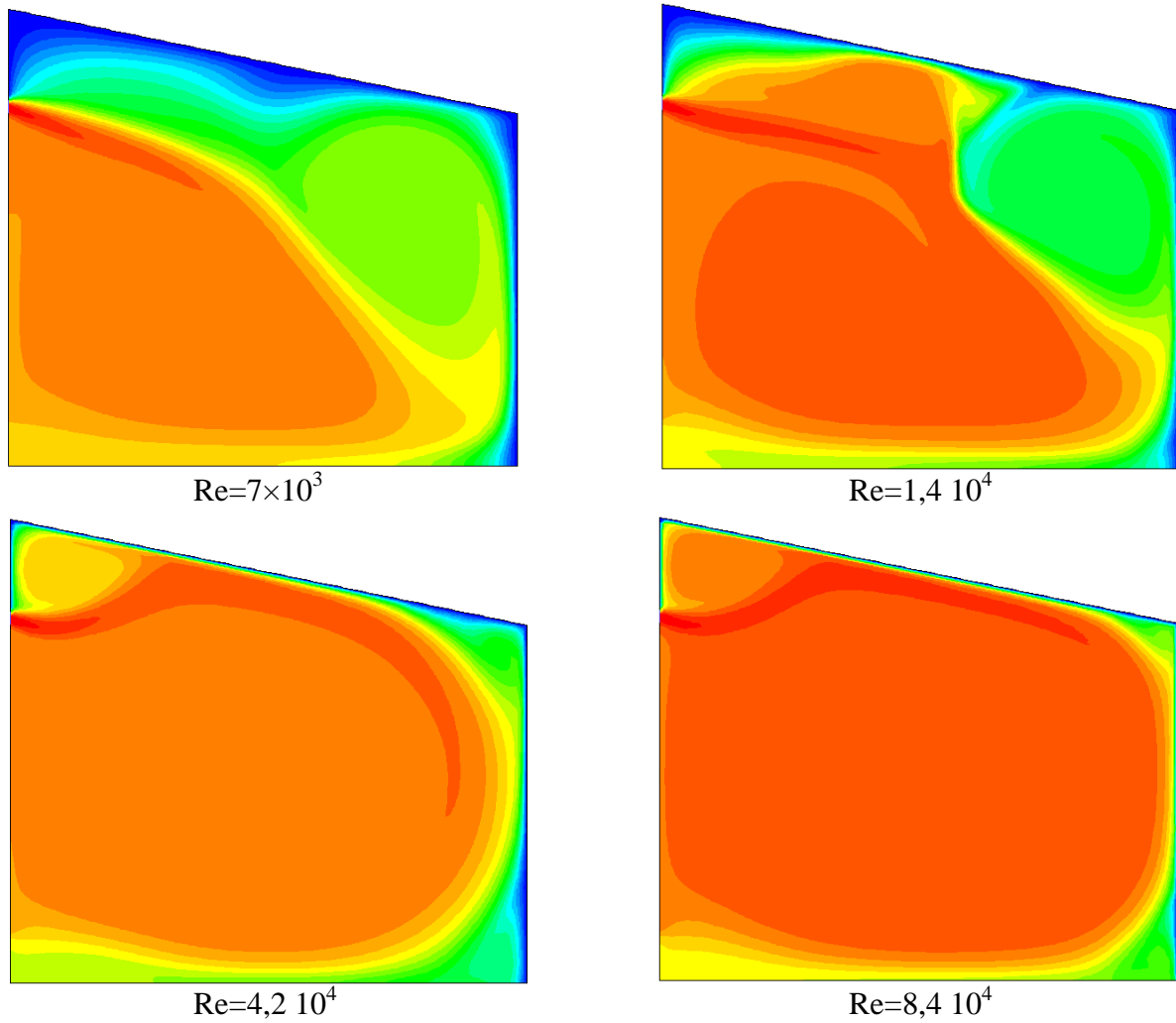
**Figure IV.4:** Champ de vitesses des deux position de jet horizontale et incliné.

La figure IV.5 montre les lignes de courant et les isothermes pour différents nombres de Reynolds dans le cas du jet incliné. On remarque que lorsque la valeur du nombre de Reynolds est faible et égale à  $7 \cdot 10^3$ , deux cellules de sens opposé se forment et occupent chacune la moitié de la cavité suivant la diagonale traversant la bouche de soufflage. Cette situation est due à la faible vitesse du jet qui n'a pas assez d'élan pour atteindre la paroi verticale droite en donnant naissance à une cellule de sens antihoraire occupant un volume important de la cavité près de l'angle entre les deux parois froides. Par contre lorsque la valeur du nombre de Reynolds augmente et la force du jet s'intensifie, la cellule principale gagne plus d'espace et tend à occuper toute la cavité, sauf au niveau des quatre coins de la cavité où on constate la présence des cellules secondaires dont la taille de l'angle aigu de la cavité (angle supérieur gauche) est plus importante que les trois autres cellules près des angles droits (angles à la base de la cavité) et obtus (angle supérieur droit).



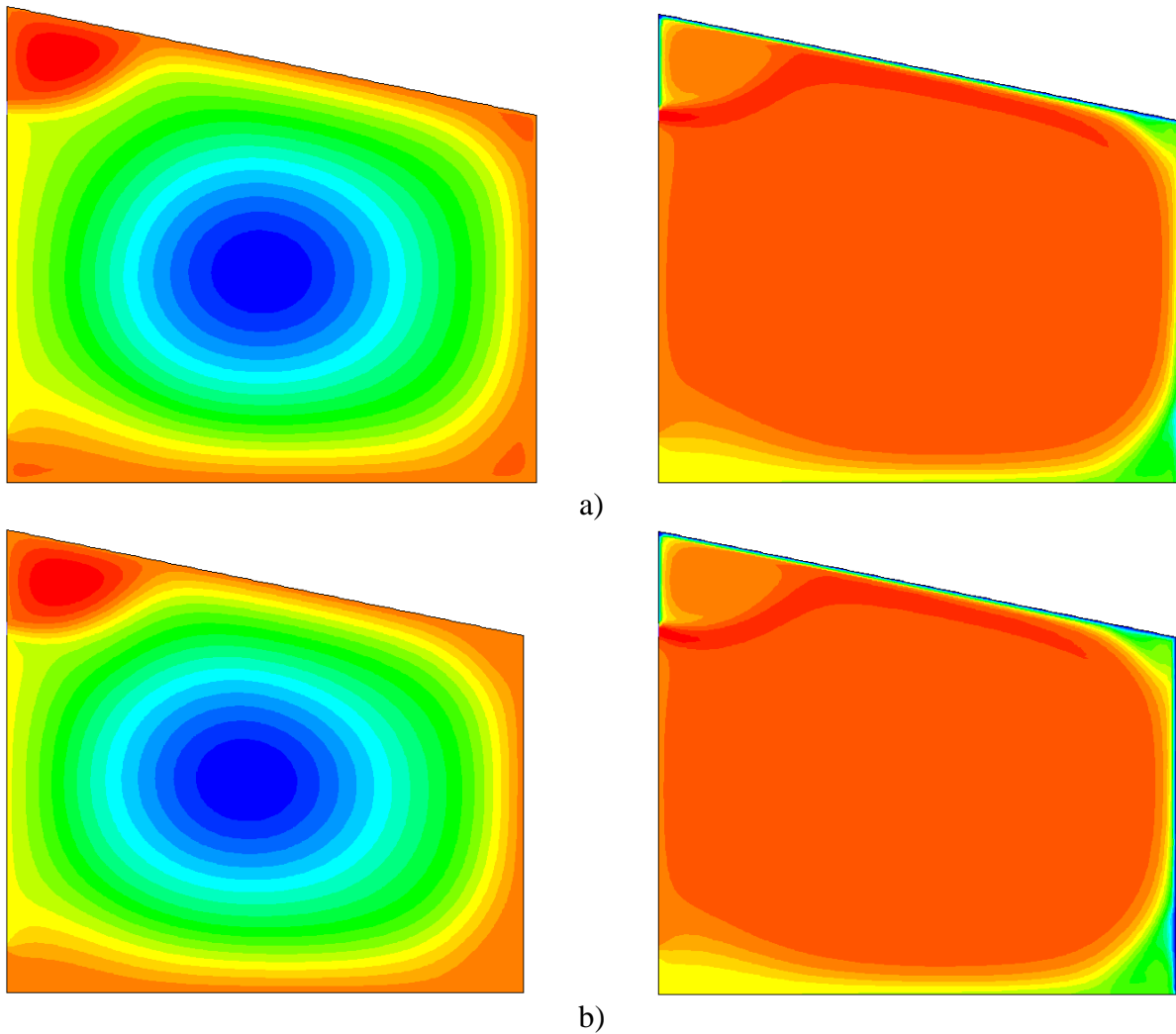
**Figure IV.5:** les lignes de courant pour différents nombre de Reynolds: cas de soufflage incliné par le haut

La figure **IV.6** montre la distribution de température pour différents nombres de Reynolds dans le cas du jet d'air incliné. On remarque que lorsque le nombre de Reynolds est faible, la température dans la cavité n'est pas uniforme. La moitié de la cavité au-dessous de la diagonale près des parois adiabatique est chaude et l'autre moitié près des parois froides la température est faible. Cela est dû au faible débit d'air chaud qui n'arrive pas à chauffer toute la cavité. Mais dès que le nombre de Reynolds augmente la température au centre de la cavité commence à augmenter jusqu'à ce que toute la cavité ait une température uniforme.



**Figure IV.6:** La distribution de température pour différents nombre de Reynolds: cas de soufflage incliné par le haut.

Par contre on constate qu'il n'y a pas une très grande différence entre la structure de l'écoulement et la distribution de température pour les nombres de Reynolds importants entre les deux directions du jet incliné et horizontal (figure IV.7).

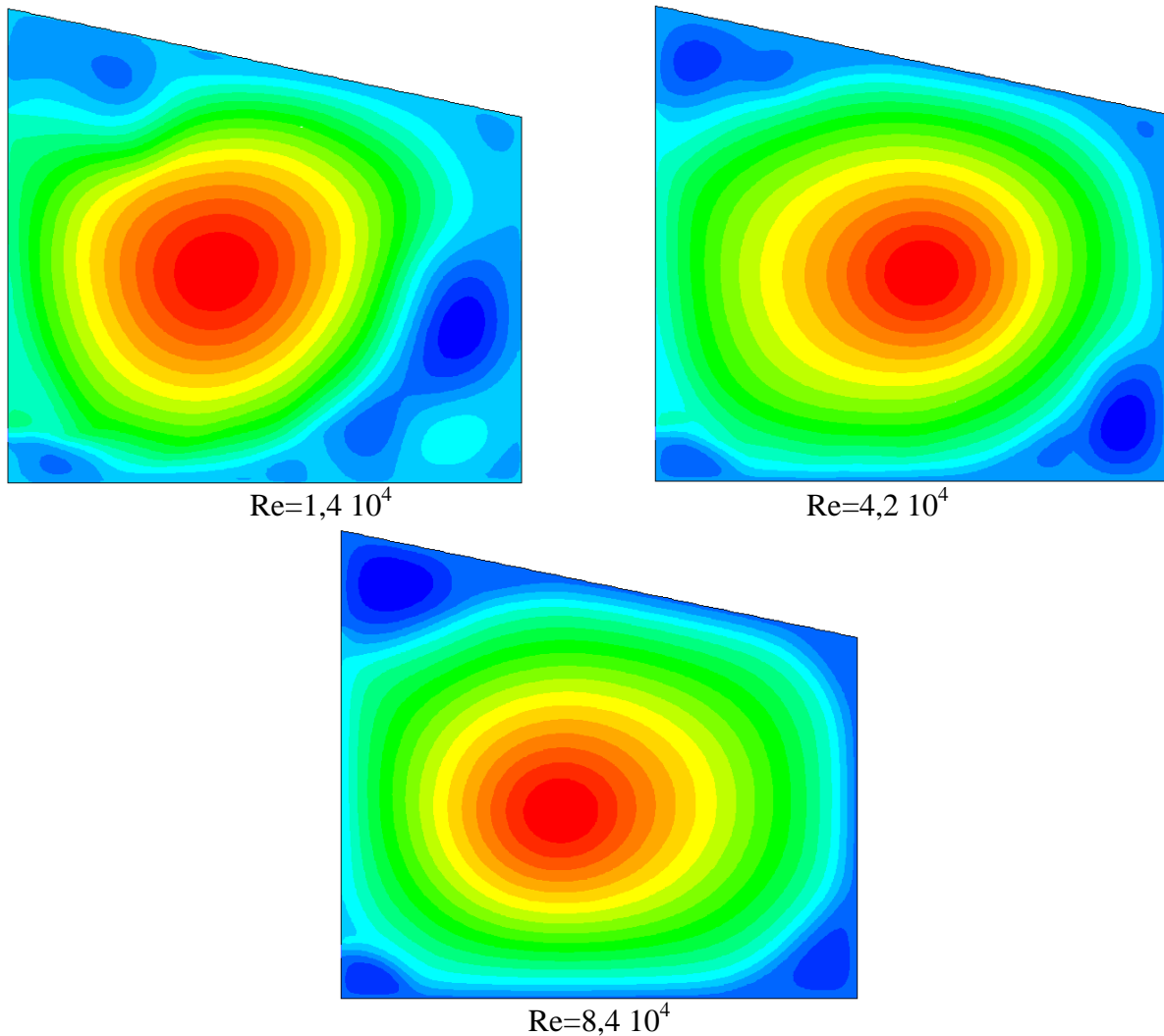


**Figure IV.7:** les lignes de courant et distribution de température pour  $Re=8,4 \cdot 10^4$   
 a) soufflage horizontal par le haut    b) soufflage incliné par le haut

### IV.2.3-Effet de la position du jet de soufflage

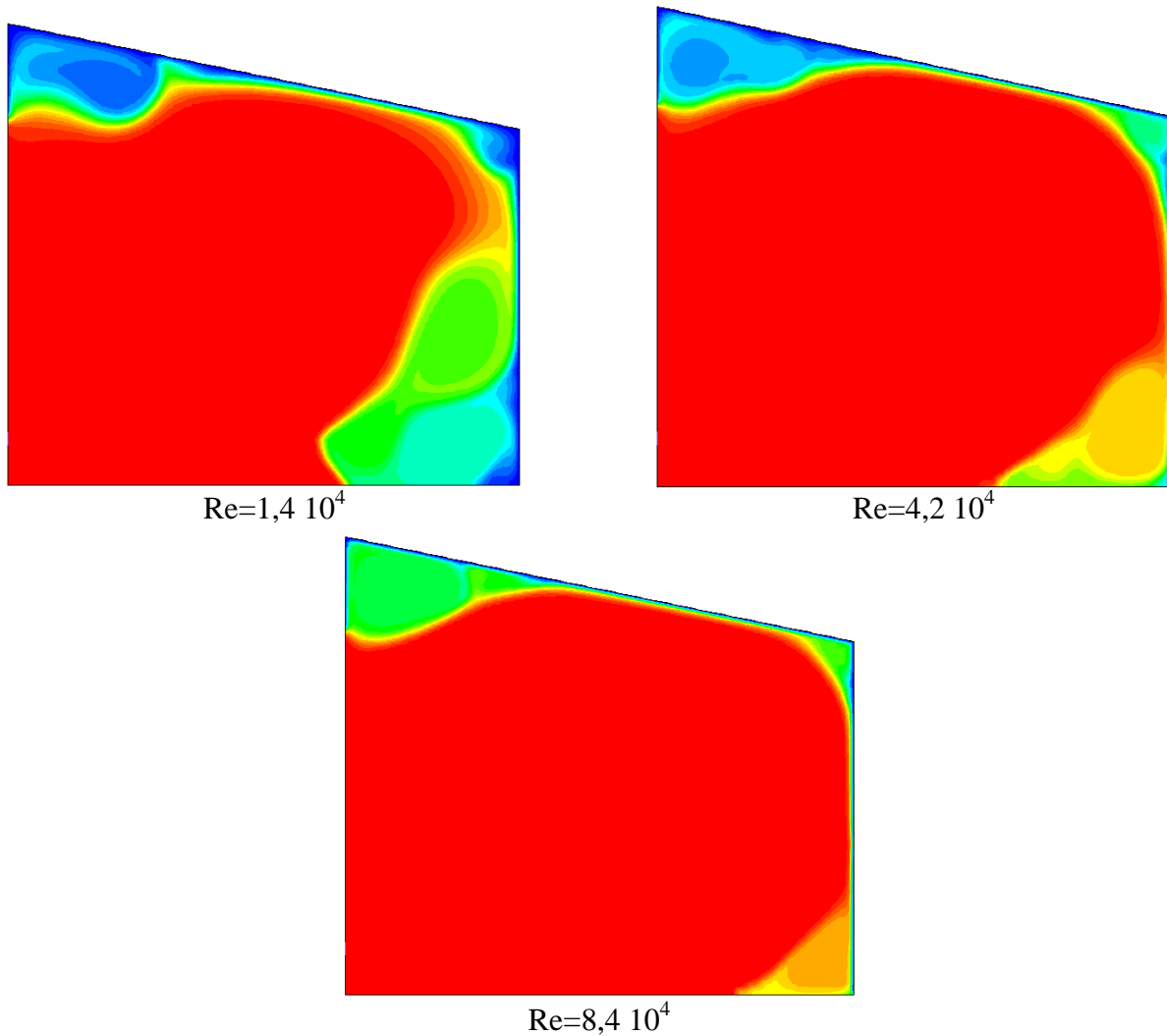
Pour analyser l'effet de la position du jet de soufflage sur la structure de l'écoulement et la distribution de température, nous avons choisi de simuler le cas où le jet de soufflage de l'air chaud s'effectue horizontalement près du sol.

La figure **IV.8** montre les lignes de courant qui présente une cellule principale centrale dans le sens antihoraire entourée de cellules secondaire. Lorsque le nombre de Reynolds est faible, le jet de l'air chaud remonte en diagonale dès qu'il atteint le milieu de la cavité gênée par une cellule secondaire dans le sens horaire, et dont la naissance est favorisée par la paroi froide verticale. Lorsque le nombre de Reynolds augmente la cellule principale s'intensifie en occupant toute la cavité et les cellules secondaire se rétrécissent mais restent actives sauf la cellule qui est située au niveau de l'angle formé par la paroi verticale droite et la paroi supérieure inclinée.



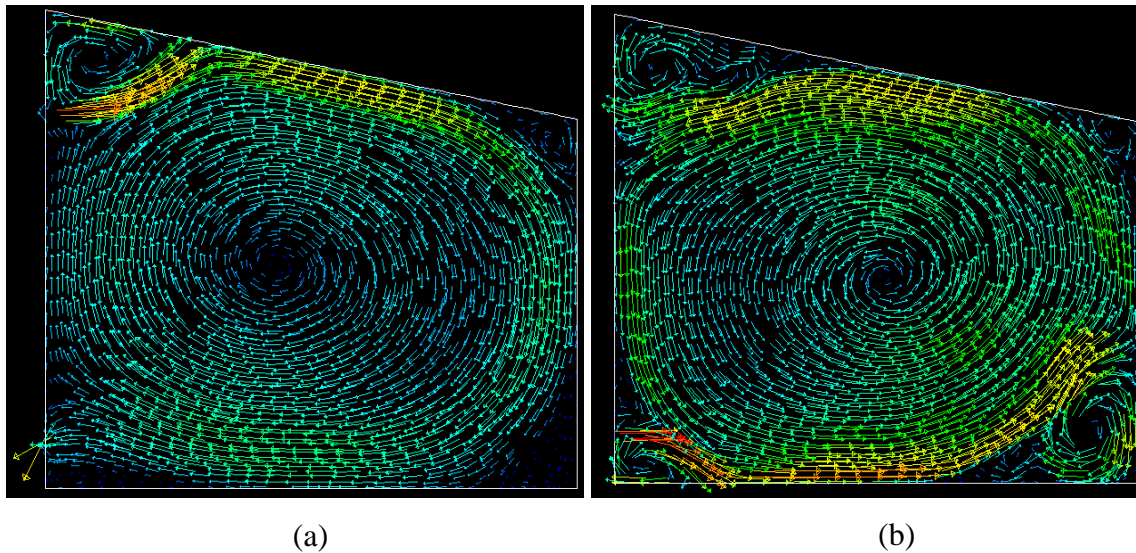
**Figure IV.8:** les lignes de courant pour différents nombres de Reynolds: cas de soufflage horizontal par le bas.

Les isothermes pour différents nombres de Reynolds (figure **IV.9**), montrent une température chaude uniforme sur toute la cavité, en partant des parois adiabatiques, sauf dans les angles de la cavité près des parois froides où la température est faible, dû à la présence des cellules secondaires qui s'opposent à l'écoulement du jet de soufflage. Mais, plus ces cellules s'affaiblissent avec l'augmentation du nombre de Reynolds, la température chaude gagne plus d'espace occupant la totalité de la cavité.

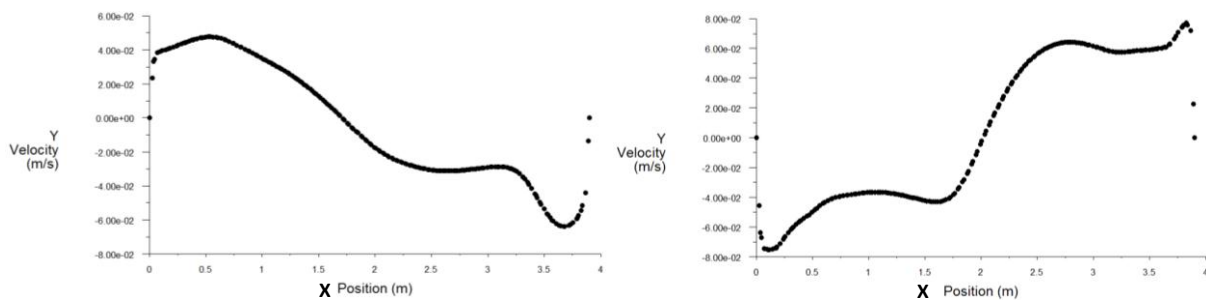


**Figure IV.9:** la distribution de température pour différents nombres de Reynolds: cas de soufflage horizontal par le bas..

En comparant le champ de vitesse entre les deux cas de positions de bouche de soufflage horizontale (figure IV.10), on peut constater que pour les deux cas, la structure d'écoulement présente une cellule centrale qui occupe la totalité de la cavité, mais le centre de la cellule principale dans chaque cas n'est pas situé au même endroit. Pour le soufflage d'air par le bas le centre de la cellule principale est légèrement décalé vers la gauche par rapport au cas du soufflage d'air par le haut. On peut remarquer également, à partir des profils des vitesses verticales que l'intensité de circulation de la cellule principale est plus importante dans le cas du soufflage d'air par le bas par rapport au cas du soufflage d'air par le haut. A notre avis ce ralentissement de circulation dans le cas du soufflage par le haut est peut-être dû à l'inclinaison de la paroi supérieure de la cavité qui gêne le jet du soufflage et ralentis ainsi l'écoulement de l'air dans la cavité.

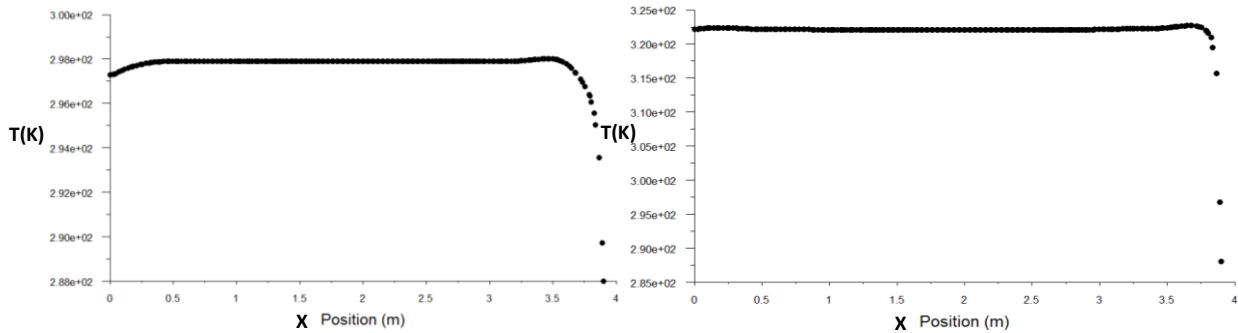


**Figure IV.10:** Champ de vecteurs vitesses  $Re=8,4 \cdot 10^4$   
 (a) cas de soufflage horizontal par le haut, (b) cas de soufflage horizontal par le bas



**Figure IV.11:** Profil de vitesse verticale à  $y=2$  m pour  $Re=4,2 \cdot 10^4$   
 (a) cas de soufflage horizontal par le haut, (b) cas de soufflage horizontal par le bas

La figure IV.12 représente le profil de température horizontale le long de la cavité à  $y=2$  m, donc juste à la hauteur d'un occupant. Dans les deux cas de positions de soufflage horizontal par le haut et par le bas nous pouvons remarquer que la température est uniforme. Par contre, lorsque le soufflage est par le bas, la température est de l'ordre de  $49^\circ\text{C}$  ce qui ne convient pas aux conditions de confort thermique, alors que si le soufflage horizontal se fait par le haut, la température est de l'ordre de  $25^\circ\text{C}$  qui est acceptable comme condition de confort thermique, donc on doit favoriser le soufflage d'air chaud par le haut.



**Figure IV.12:** Profile de température à  $y=2$  m pour  $Re=4,2 \cdot 10^4$   
 (a) cas de soufflage horizontal par le haut, (b) cas de soufflage horizontal par le bas

### Conclusion

Les résultats obtenus par la simulation numérique de la convection forcée dans un local carré dont la paroi supérieure est inclinée, nous a permis de se faire une idée plus claire sur le comportement thermique de la convection forcée et analysé l'effet des positions et d'orientation du jet du soufflage. Des simulations effectuées en variant le nombre de Reynolds, nous ont permis d'étudier les structures d'écoulement et la distribution de la température lorsque la vitesse de soufflage varie. Et tout cela a aidé à mieux comprendre qui est les paramètres qui influent la convection forcée dans le régime laminaire et les effets des positions de jet et l'augmentation de nombre du Reynolds sur la distribution de température et les écoulements des lignes de courant. Un ralentissement de circulation dans le cas du soufflage par le haut est dû à l'inclinaison de la paroi supérieure de la cavité qui gêne le jet du soufflage et ralentit ainsi l'écoulement de l'air dans la cavité. Par contre, pour un confort thermique idéal il serait préférable que le soufflage horizontal se fait par le haut.

### Conclusion générale

Dans ce mémoire nous avons présenté une étude numérique bidimensionnelle laminaire de la convection forcée conjuguée dans un espace confiné, en apportant des résultats originaux dans le cas d'une cavité rectangulaire dont la paroi supérieure est inclinée et muni d'un chauffage par soufflage mécanique d'air chaud.

Notre objectif est de chauffer une chambre rectangulaire dont le toit est incliné en utilisant un jet d'air chaud provenant d'un capteur solaire à air. Le soufflage s'effectue avec trois positions de jet: la première position du jet d'air s'effectue horizontalement à partir du haut côté gauche. La deuxième position du jet d'air est inclinée toujours à partir du haut côté gauche, et la troisième position du jet d'air s'effectue horizontalement à partir du bas, côté gauche de la chambre.

Nous avons fait varier le nombre de Reynolds pour toutes les positions pour choisir la meilleure structure d'écoulement et la meilleure distribution de température qui permettent un meilleur confort thermique.

Dans ce cas précis de notre travail, la conception de la géométrie a été élaborée en utilisant le logiciel Gambit, ensuite nous avons mis au point un code CFD basé sur la méthode des volumes finis. Nous sommes passés aux simulations numériques en régime stationnaire à l'aide du code Fluent pour montrer l'importance de la ventilation à travers des propositions dans différentes positions en les modifiant par la géométrie d'un local simple dans le but d'améliorer le confort thermique des occupants afin d'obtenir un environnement intérieur sain et vivable.

Nous avons aussi obtenu des résultats essentiels pour choisir parmi ces propositions la meilleure position avec la meilleure vitesse de l'air pour une meilleure distribution de température est un bon confort thermique.

Avec ce résultat, nous avons atteint notre objectif principal en choisissant une meilleure position de jet d'air qui donne une distribution de température parfaite dans notre local.

Les résultats obtenus nous ont permis de conclure que la meilleure position du soufflage horizontale à partir du haut donne la meilleure distribution de température.

## Référence bibliographique

[1] <https://www.abcclim.net/guide-de-la-diffusion-d-air-en-climatisation.html>

[2] <https://www.abcclim.net/guide-de-la-diffusion-d-air-en-climatisation.html>

[3] Ransom, M. R. et C. Arden Pope III. «Elementary school absences and PM-10 pollution in Utah Valley», Environ Res, 58, 1992, p. 204-219.

[4] <https://conseilsthermiques.org/contenu/confortthermique.php#:~:text=Pour%20obtenir%20un%20confort%20thermique,%C3%A9nergie%20d'environ%207%25.>

[5] [https://energieplus-lesite.be/concevoir/ventilation/choisir-les-composants/choisir-les-bouches-de-pulsion-et-d-extraction-d1/#Temperature\\_de\\_pulsion](https://energieplus-lesite.be/concevoir/ventilation/choisir-les-composants/choisir-les-bouches-de-pulsion-et-d-extraction-d1/#Temperature_de_pulsion)

[6] [https://energieplus-lesite.be/concevoir/ventilation/choisir-les-composants/choisir-les-bouches-de-pulsion-et-d-extraction-d1/#Temperature\\_de\\_pulsion](https://energieplus-lesite.be/concevoir/ventilation/choisir-les-composants/choisir-les-bouches-de-pulsion-et-d-extraction-d1/#Temperature_de_pulsion)

[9] [https://energieplus-lesite.be/concevoir/ventilation/choisir-les-composants/choisir-les-bouches-de-pulsion-et-d-extraction-d1/#Temperature\\_de\\_pulsion](https://energieplus-lesite.be/concevoir/ventilation/choisir-les-composants/choisir-les-bouches-de-pulsion-et-d-extraction-d1/#Temperature_de_pulsion)

[10] [https://energieplus-lesite.be/concevoir/ventilation/choisir-les-composants/choisir-les-bouches-de-pulsion-et-d-extraction-d1/#Temperature\\_de\\_pulsion](https://energieplus-lesite.be/concevoir/ventilation/choisir-les-composants/choisir-les-bouches-de-pulsion-et-d-extraction-d1/#Temperature_de_pulsion)

[11] [https://energieplus-lesite.be/concevoir/ventilation/choisir-les-composants/choisir-les-bouches-de-pulsion-et-d-extraction-d1/#Temperature\\_de\\_pulsion](https://energieplus-lesite.be/concevoir/ventilation/choisir-les-composants/choisir-les-bouches-de-pulsion-et-d-extraction-d1/#Temperature_de_pulsion)

[8] La pollution de l'air intérieur De Louise SCHRIVER-MAZZUOLI 2009 Ed. Dunod

[12] Kamotani Y, Wang L.W, et Ostrach S. "Natural convection heat transfer in a water layer with localized heating from below". in Natural Convection in Enclosures HTD, Vol. 26, pp. 43-8. (1983).

[13] <https://fr.sawakinome.com/articles/analytical-chemistry/difference-between-natural-and-forced-convection.html>