



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
People's Democratic Republic of Algeria

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministry of Higher Education and Scientific Research

جامعة محمد السادس بادريس - مستغانم

Abdelhamid Ibn Badis University of Mostaganem

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculty of Sciences and Technology

قسم الهندسة الميكانيكية

Department of Mechanical Engineering



N° d'ordre : M...../GM/2020

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES MASTERACADEMIQUE

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Energétique

Thème

Analyse dynamique de la position des ouvertures sur la qualité d'air
dans une pièce d'habitation

Présenté par :

- ❖ MEHIDI Siham
- ❖ MEDJAHRI Mansouria

Soutenu le 30/06 / 2020 devant le jury composé de :

Président	Pr. RETIEL Nouredine	Université de Mostaganem UMAB
Encadreur	Pr. HOUAT samir	Université de Mostaganem UMAB
Examineur	Dr. MEDJAHED Bendida	Université de Mostaganem UMAB

Année Universitaire : 2019/2020

Remerciement

Nous remercions le bon dieu pour le courage qu'il nous a donné pour surmonter toutes les difficultés durant nos années d'études.

Nous tenons à remercier notre encadreur le Professeur HOUAT Samir pour ces conseils et son suivi continu durant toute la période de la réalisation de ce travail.

Nous adressons nos remerciements à Monsieur le Président de jury et le membre de jury d'avoir accepté de nous faire l'honneur de juger ce travail et de participer au jury de ce mémoire.

Enfin, nous adressons nos vives reconnaissances à toutes les personnes qui ont contribué de prêt ou de loin pour la réalisation de ce mémoire.

Dédicace

Je dédie ce travail

A ma très chère mère qui m'a soutenu durant toute ma vie.

A mon père qui m'a bien construit.

A mes frères et ma sœur.

A toute ma famille.

A tous mes amis sans exception.

A Mon encadreur le Prof. Houat Samir

*A tous les enseignants et toutes les enseignantes de génie
Mécanique.*

MEHIDI Siham

Dédicace

Ce travail modeste est dédié :

À ma chère mère ;

À la mémoire de mon père ;

À tous mes proches de la famille, et plus particulièrement,

Mes sœurs et mes frères ;

*À tous mes chers amis et mes collègues de l'Université de
Mostaganem ;*

A Mon encadreur le Prof. Houat Samir ;

Et à tous ce qui ont enseigné moi au long de ma vie scolaire

MEDJAHRI mansouria

Résumé

Le travail présenté dans ce mémoire porte sur l'étude numérique de la ventilation mixte dans une cavité avec une ventilation mécanique à l'entrée et naturelle à la sortie. L'enceinte considérée simule une pièce d'habitation carrée bidimensionnelle avec deux cas de position des ouvertures d'entrée et de sortie d'air. L'analyse de l'écoulement est effectuée pour trois différentes vitesses de ventilation à travers les bouches de soufflage $v=0.09\text{m/s}$, 0.15m/s et 0.225m/s . Ce qui correspond dans notre cas aux nombres de Reynold $Re=600$, 1000 , 1500 .

La méthode des volumes finis a été utilisée pour résoudre l'équation de continuité et quantité de mouvement dans le cas du régime laminaire. Le logiciel fluent est utilisé pour cette simulation.

La comparaison des résultats numériques pour les deux configurations géométries étudiées sont présentés sous forme des lignes de courant, de champ de vitesse, des contours de vorticité et des profils des composantes de vitesse au milieu de la cavité suivant les axes verticale et horizontal.

Mots clés : ventilation mixte, Analyse dynamique, position des ouvertures, cavité carré.

Abstract:

The work presented in this dissertation focuses on the numerical study of mixed ventilation in a cavity with mechanical ventilation at the entrance and natural at the exit. The enclosure considered simulates a two-dimensional square living room with two cases of position of the air inlet and outlet openings. The flow analysis is performed for three different fan speeds through the supply vents $v = 0.09\text{m/s}$, 0.15m/s and 0.225m/s . This corresponds in our case to the Reynold numbers $Re = 600$, 1000 , 1500 .

The finite volume method has been used to solve the equation of continuity and momentum for the laminar regime. Fluent software is used for this simulation.

The comparison of the numerical results for the two studied geometries configurations are presented in the form of the streamlines, of the velocity field, of the vorticity contours and of the profiles of the velocity components in the middle of the cavity along the vertical and horizontal axes.

Keywords: mixed ventilation, dynamic analysis, position of openings, square cavity

ملخص

يركز العمل المقدم في هذه الرسالة على الدراسة الرقمية للتهوية المختلطة في تجويف مع تهوية ميكانيكية عند المدخل وطبيعية عند الخروج. يحاكي العلبة غرفة معيشة مربعة ثنائية الأبعاد مع حالتين لموضع فتحات مدخل ومخرج الهواء. يتم إجراء تحليل التدفق لثلاث سرعات مختلفة للمروحة من خلال فتحات الإمداد $v=0.09\text{m/s}$ و 0.15m/s و 0.225m/s . يتوافق هذا في حالتنا مع أرقام رينولد $Re = 600, 1000, 1500$. تم استخدام طريقة الحجم المحدود لحل معادلة الاستمرارية والزخم للنظام الرقائقي. يتم استخدام برنامج Fluent لهذه المحاكاة.

يتم عرض مقارنة النتائج العددية للتكوينات الهندسية المدروسة في شكل خطوط التيار، ومجال السرعة، وخطوط الدوام، وملامح مكونات السرعة في منتصف التجويف على طول المحاور الرأسية والأفقية.

مفتاحية: تهوية مختلطة، تحليل ديناميكي، موضع الفتحات، تجويف مربع.

Table de matière

Remerciements	
Dédicace	
Résumé	
Table de matière	
Nomenclature	
Liste des figures	
Introduction Générale	1
<u>Chapitre I : Etude bibliographique et mise en équation.</u>	
I.1. Introduction	2
I.2. Définition de la ventilation	2
I.3. Les types de ventilation	2
I.3.1. La ventilation naturelle	2
I.3.2. La Ventilation mécanique contrôlée(VMC).....	3
I.3.2.1. La ventilation mécanique contrôlée simple flux	3
a) . La VMC auto réglable.....	4
b). La VMC hydro réglable.....	4
I.3.2.2. La ventilation mécanique contrôlée double flux	5
I.3.2. Ventilation hybride	5
I.4. Les types des bouches	6
I.4.1. Les bouches de soufflage.....	6
I.4.2. Les bouches de pulsion.....	6
I.4.3. Les bouches d'extraction.....	7
I.5.La description du problème	7
a) Premier cas : les deux ouverture d'entrée et sortie d'air dans les côtés du local	7
b) Deuxième cas : les deux ouverture d'entrée et sortie d'air dans le plafond du local.....	8
I.6. Les hypothèses de travail	9
I.7.Mise en équation	9
I.7.1. Les équations de continuité	9
I.7.2. Les équations de quantité de mouvement.....	10
I.8. Formulations adimensionnelles	10
I.9. Le nombre de Reynolds	10
I.10. Les conditions aux limite	10
I.11.Conclusion	11
<u>Chapitre II :Méthode de résolution.</u>	
II.1. Introduction	12
II.2. La méthode de volume finis	12
II.3. Les différents types de maillage	12

II.3.1. Maillage structuré.....	13
II.3.2. Maillage non structuré.....	13
II.3.3. Maillage hybride	13
II.4.description de logiciel gambit	14
II.4.1. Logiciel Gambit	14
II.4.2.Les interface et étapes de Gambit	14
II.4.2.1. Lancer Gambit	14
II.4.2.2.Construction de la géométrie	15
II.4.2.3.Génération de maillage	16
II.4.2.4.Les conditions aux limites	16
II.4.2.5.Exportation du maillage de gambit	17
II.5. Code Fluent	17
II.5.1.Les étapes de solveur fluent	17
II.5.1.1. Lancer Fluent	17
II.5.1.2.Importation de la géométrie	18
II.5.1.3.Vérification du maillage	18
II.5.1.4.Choix du solveur	19
II.5.1.5.Choix du régime d'écoulement	19
II.5.1.6.Les caractéristiques du matériau	20
II.5.1.7.Les conditions opératoires	20
II.5.1.8.Les conditions aux limites	21
II.5.1.9.Contrôle de la solution	21
II.5.1.10.Initialisation	22
II.5.1.11.Choix des critères de convergence	22
II.5.1.12. Lancement du calcul de convergence	23
II.5.1.13.Allures de l'évolution des résidus de calcul	23
II.6. Conclusion	24
<u>Chapitre III :Résultats et discussions</u>	
III.1.Introduction.....	25
III.2. Choix des valeurs de vitesse de ventilation	25
III.3. Etude du maillage.....	25
III.4. Etude l'influence de la vitesse d'entrée dans une cavité carrée bidimensionnelle.....	26
Conclusion Générale.....	35
Références.....	36

Nomenclature

h	Dimension de l'ouverture (hauteur)	(m)
H	La hauteur de local	(m)
u,v	Composantes de la vitesse	(m/s)
U,V	Composantes adimensionnelles du vecteur vitesse	
x,y	Les coordonnées cartésiennes	(m)
X,Y	Les coordonnées cartésiennes adimensionnelles	
P	La pression	(pa)

Symboles grecs

ρ	Masse volumique	(kg/m ³).
μ	viscosité dynamique du fluide	(kg /m.s).
ν	viscosité cinématique	(m ² /s).

Nombre adimensionnel

Re	Le nombre de Reynolds	
----	-----------------------	--

Liste de figure

Chapitre I

Figure I-1 :La circulation de l'air en ventilation naturelle dans un logement.....	2
Figure I-2 : Exemple de ventilation mécanique simple flux en maison individuelle.....	3
Figure I-3 : Principe de fonctionnement d'une VMC simple flux.....	4
Figure I-4 : VMC simple flux.....	4
Figure I-5 : Principe de fonctionnement d'une VMC double flux.....	5
Figure I-6 : VMC double flux.....	5
Figure I-7 : Des bouche de soufflage.....	6
Figure I-8 : Bouche en soufflage et en aspiration	7
Figure I-9 : Configuration du local de deux ouverture d'entrée et sortie d'air dans les côtés en2D.....	8
Figure I-10 : Configuration du local de deux ouverture d'entrée et sortie d'air dans le plafond en2D.....	8

Chapitre II

Figure II-1 :Exemple des maillages utilisées en volume finis par Fluent.....	13
Figure II-2 : Types de maillage.....	14
Figure II-3 : Interface de gambit	15
Figure II-4 : Les opérations de construction de la géométrie	15
Figure II-5 : Génération de maillage.....	16
Figure II-6 : Incorporation des conditions aux limites.....	16
Figure II-7 :Lancement du logiciel Fluent.....	17
Figure II-8 : Importation de la géométrie.....	18
Figure II-9 : Vérification du maillage.....	18
Figure II-10 : Choix du solveur.....	19
Figure II-11 : Choix de modèle laminaire	19
Figure II-12 : Les caractéristiques de matériau	20
Figure II-13 : choix des conditions opératoire.....	20
Figure II-14 : choix de condition aux limite (la vitesse d'entrée).....	21
Figure II-15 : Choix d'ordre d'équation.....	21
Figure II-16 : Initialisation de calcul.....	22
Figure II-17 : Choix des critères de convergence.....	22
Figure II-18 : Choix du nombre des itérations	23
Figure II-19 : l'évolution des résidus de calcul pour maillage(51*51).....	23

Chapitre III

Figure III-1 : Les profils de la vitesse sur une ligne verticale et horizontal pour différentes maillage pour $Re=1500$ au centre de la cavité à $x=0.5$ et $y=0.5$ pour première configuration	26
Figure III-2 : Les lignes de courant du deux configuration pour $Re=600$,1000 et 1500.....	27
Figure III-3 :Les contours de vitesse des deux configurations pour $Re=600,1000$ et 1500.....	28
Figure III-4 :Les contours de la vorticité magnitude du deux configurations pour $Re=600$, 1000 et 1500	29
Figure III-5 :les vecteurs vitesse associé aux valeurs de contour de vitesse des deux configurations pour $Re=600$,1000 et 1500.....	30
Figure III-6 :Les vecteurs de vitesse et des lignes de courant des deux configurations pour $Re=600$,1000 et 1500.....	31
Figure III-7 :Les profils de la vitesse sur une ligne verticale au centre de la cavité à $X=0.5$ pour première configuration.....	33
Figure III-8 :Les profils de la vitesse sur une ligne horizontale au centre de la cavité à $Y=0.5$ pour première configuration	33
Figure III-9 : Les profils de la vitesse sur une ligne verticale au centre de la cavité à $X=0.5$ pour deuxième configuration.....	33
Figure III-10 : Les profils de la vitesse sur une ligne horizontale au centre de la cavité à $Y=0.5$ pour deuxième configuration.....	33

Introduction générale

Introduction générale :

L'environnement intérieur d'une habitation peut théoriquement contenir divers types de contaminants auxquels les occupants sont susceptibles d'être exposés. De nombreuses études ont établi des liens entre la présence de contaminants intérieurs et certains problèmes de santé. Il existe différentes mesures pour réduire la présence de contaminants dans l'air intérieur, le contrôle à la source étant sans aucun doute celle à envisager en premier lieu. Cependant, cette approche ne peut suffire à elle seule à diminuer l'ensemble des contaminants présents, de sorte qu'il devient nécessaire de se tourner vers des alternatives complémentaires, telle que la ventilation des espaces habitables [1].

L'objectif de notre travail, est l'étude numérique de la ventilation mixte dans une cavité : ventilation mécanique à l'entrée et naturelle à la sortie. L'enceinte considérée simule une pièce d'habitation carrée bidimensionnelle avec deux cas de position des ouvertures d'entrée et sortie d'air. Le code Fluent utilisé est basé sur la résolution numérique par les volumes finis des équations de Navier- Stokes. Nous utiliserons le logiciel gambit pour la construction de la géométrie avec génération de maillage et incorporation des conditions aux limites. Le présent travail sera consacré principalement à la détermination des champs dynamiques de vitesse, des lignes de trajectoire et des profils de vitesse de l'air à l'intérieure.

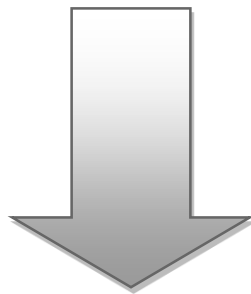
Le travail est présenté en trois chapitres :

Dans le premier chapitre, Une étude bibliographique sur la ventilation et ces différents systèmes utilisés dans le domaine de l'habitat, les différents types des bouches de ventilation. Le problème étudié pour les deux configurations est aussi présenté avec la mise en équation, les conditions aux limites.

Dans le deuxième chapitre, la méthode de résolution numérique notamment la méthode des volumes finis est présentée ainsi que les deux logiciels utilisés GAMBIT et FLUENT.

Les principaux résultats de l'étude sont présentés dans le troisième chapitre. L'influence de vitesse d'entrée des deux cas de position des ouvertures dans la ventilation de cavité en 2D est discutée. On terminera en fin ce mémoire par une conclusion.

Chapitre I :



Etude bibliographique et mise en équation

1.1.Introduction :

La ventilation des locaux fait principalement référence à l'échange d'air s'effectuant entre l'extérieur et l'intérieur, bien qu'elle puisse également référer à la distribution de l'air entre les pièces ou encore, à la circulation de l'air à l'intérieur d'une même pièce. Cependant, seul l'échange d'air entre l'extérieur et l'intérieur permet l'introduction d'air neuf et frais à l'intérieur, et par conséquent, la dilution des contaminants présents. La ventilation d'un environnement intérieur peut se faire de façon naturelle ou mécanique [2].

La ventilation a pour but d'évacuer l'humidité, l'excès de chaleur et la pollution liée à l'occupation des habitations afin de garantir l'hygiène des lieux et la santé des occupants.

1.2.Définition de la ventilation :

La ventilation est l'action qui consiste à créer un renouvellement général d'air dans un local ou construction 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 [3].

1.3.Les types de ventilation :

D'une façon générale, Dans le domaine de la climatisation la ventilation se divise en deux types distincts :la ventilation mécanique, la ventilation naturelle et la ventilation hybride

1.3.1. La ventilation naturelle :

La ventilation naturelle se fait par les interstices (infiltration) et par les ouvertures de ventilation du bâtiment [4]. L'air circule sous l'effet du vent par la différence de température et de pression. L'ouverture des grilles, bouches ou fenêtres peut se faire manuellement ou mécaniquement.

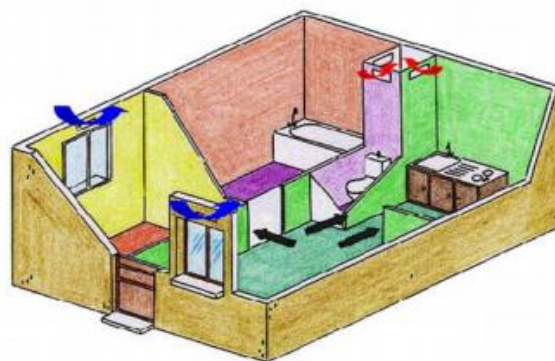


Figure I-1 : Circulation de l'air en ventilation naturelle dans un logement [4].

I.3.2. La ventilation mécanique contrôlée (VMC) :

La ventilation mécanique permet d'assurer en permanence des débits de ventilation constants dans le logement, indépendamment des conditions climatiques. On distingue :

- la ventilation mécanique simple flux : par extraction si le ventilateur sert à faire sortir l'air de la pièce d'habitation et par insufflation (pulsion) s'il sert à faire entrer l'air.
- la ventilation mécanique double flux : le système combine les deux.

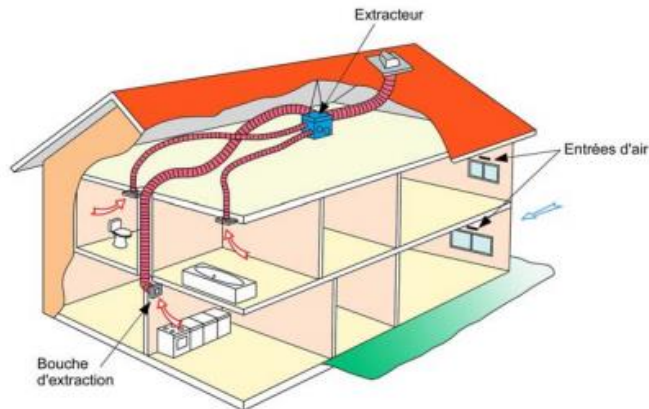


Figure I-2 : Exemple de ventilation mécanique simple flux en maison individuelle[4].

I.3.2.1. Ventilation mécanique contrôlée simple flux :

En VMC simple flux, seule l'extraction de l'air est assurée de manière mécanique. Son principe de fonctionnement est le suivant :

- Des entrées d'air sont placées dans les pièces principales telles que le séjour et la chambre.
- L'air transite des pièces principales vers les pièces de service telles que la cuisine, la salle de bain et les WC en passant sous les portes intérieures.
- Les bouches d'extraction sont installées dans les pièces de service.
- Un extracteur mécanique souvent situé en combles est raccordé aux bouches d'extraction par le biais d'un réseau de conduits. Ainsi, l'extraction mécanique de l'air dans les pièces de service entraîne une introduction d'air neuf dans les pièces principales.

Il existe différents types de ventilation simple flux :

a. La VMC auto- réglable :

Les débits d'air introduits et extraits sont maintenus constants par des dispositifs réagissant aux différences de pression : entrées d'air et extraction auto- réglables.

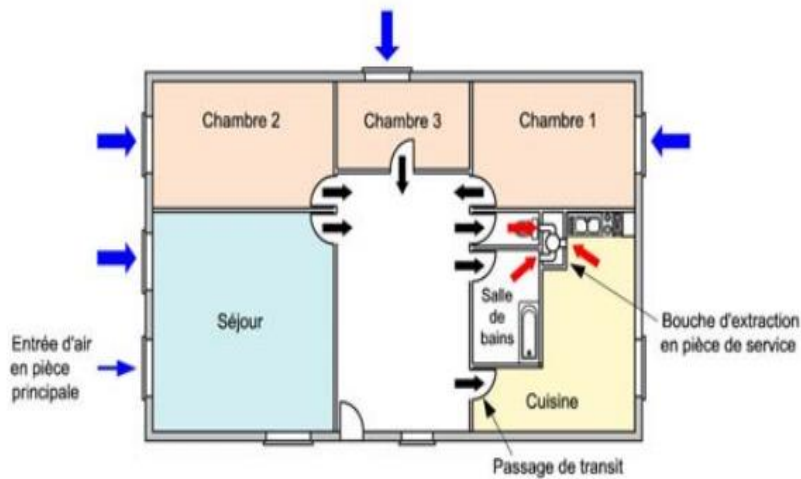


Figure I-3 : Principe de Figure fonctionnement d'une VMC simple flux

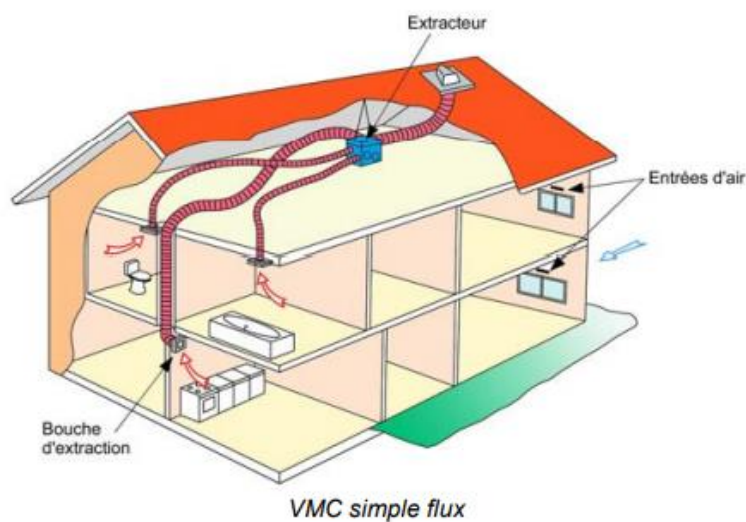


Figure I-4 : VMC simple flux

b. La VMC hygroréglable :

- **de type A :** Les entrées d'air sont de type auto réglables. Les bouches d'extraction sont hygroréglables, elles régulent le débit d'air extrait en fonction de l'humidité.
- **de type B :** Les entrées d'air et les bouches d'extraction sont hygroréglables.

I.3.2.2. Ventilation mécanique contrôlée double flux :

En VMC double flux, l'introduction de l'air ainsi que son extraction sont assurées par des dispositifs mécaniques. Des bouches d'insufflation sont disposées dans les pièces principales et des bouches d'extraction dans les pièces de service. L'air insufflé peut-être filtré, limitant ainsi l'introduction de polluants [5]. Ce système permet aussi d'atteindre des niveaux d'isolement acoustique importants, grâce à la suppression des entrées d'air en façade. Enfin,

l'air insufflé peut-être préchauffé en hiver par un récupérateur de chaleur sur l'air extrait, source d'économies des dépenses de chauffage.

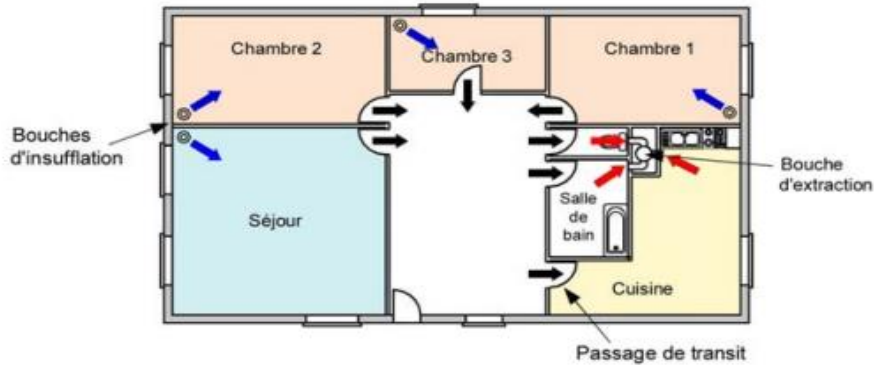


Figure I-5 : Principe de fonctionnement d'une VMC double flux.

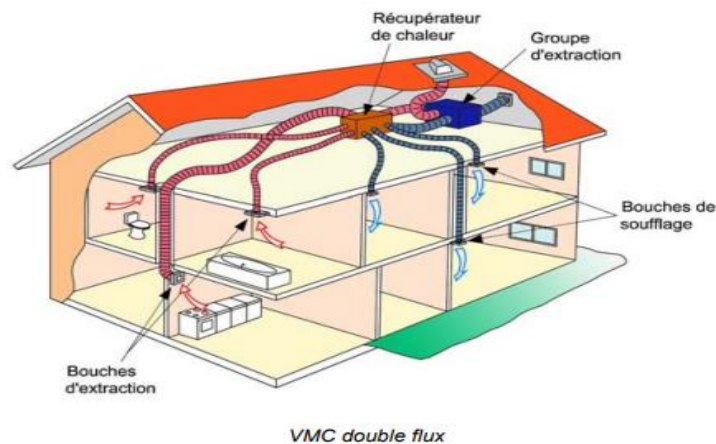


Figure I-6 : VMC double flux.

I.3.3. La ventilation hybride :

La ventilation hybride est un système qui combine à la fois les stratégies passives de la ventilation naturelle et les moyens actifs de la ventilation mécanique pour maintenir un environnement confortable [6]. Le système de ventilation du bâtiment échange entre les modes passif et mécanique de manière à assurer constamment une ventilation et un refroidissement des espaces adéquats tout en minimisant la consommation énergétique.

I.4. Les types des bouches :

I.4.1. Les bouches de soufflage :

La bouche de soufflage est un terminal aéraulique visible donc la fonction est de projeter ou de diffuser l'air traité, chauffé ou rafraîchi dans le volume de confort. La bouche de soufflage possède des ailettes qui lorsqu'elles sont orientées ne projettent plus l'air mais le diffusent [7]. La bouche de soufflage est alors un diffuseur de soufflage.



Figure I-7 : des bouches de soufflage [7].

I.4.2. Les Bouche de pulsion :

Les bouches de pulsion Quatre grandeurs guident le choix d'une bouche de pulsion :

- **Le débit demandé :** en fonction de la pression dont on dispose en amont du diffuseur, on peut estimer le débit fourni par la bouche à partir des abaques des fabricants ;
- **La production acoustique :** en fonction de la vitesse de l'air à la sortie de la bouche, un sifflement peut se produire. A priori, on choisit la bouche qui présente la puissance acoustique la plus faible pour le débit désiré.
- **La vitesse résiduelle en zone d'occupation :** la zone d'occupation est souvent représentée par la surface du local, de laquelle on soustrait une bande de 50 cm le long des murs intérieurs et de 1 m le long des murs extérieurs, sur une hauteur de 1,8 m. Dans cette zone d'occupation, la vitesse de l'air ne peut dépasser 0,2 m/s ;
- **La différence de température dans la zone d'occupation :** la différence de température entre l'air pulsé et l'air ambiant ne peut dépasser 1,5°C avec de l'air pulsé chaud, et 1°C avec de l'air pulsé froid.

I.4.3. Les bouches d'extraction :

La 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 [8]. En extraction, la vitesse de l'air dans le local n'est pas un critère important puisqu'elle décroît très vite dès que l'on s'éloigne de la bouche.

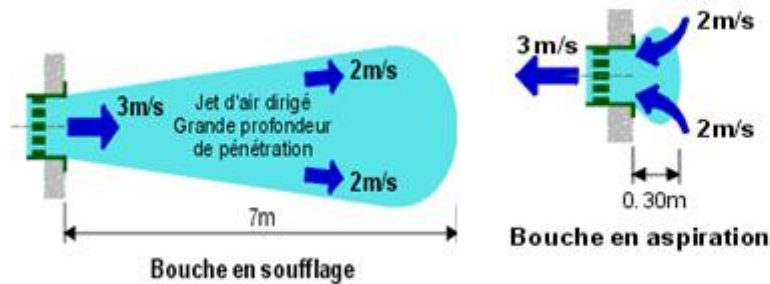


Figure I-8 : Bouche en soufflage et en aspiration [8].

I.5. La description du problème :

Les configurations géométriques considérées sont des pièces d'habitation ventilées par un système de ventilation mixte (hybride) : l'ouverture d'entrée est par soufflage mécanique et de sortie est par extraction naturelle de l'air ventilé. L'étude est effectuée en bidimensionnel et tous les parois sont supposées isothermes. L'air à l'intérieur du local est considéré incompressible.

Les cas d'études :

a. Première cas : Les deux ouvertures d'entrée et de sortie d'air sont positionnées sur les parois verticales du local (Figure I.9).

Les dimensions du local carré sont de hauteur H avec des ouvertures d'entrée et de sortie de l'air ventilé de mêmes dimensions $h=0.1H$ ($h=10\%$ de H)

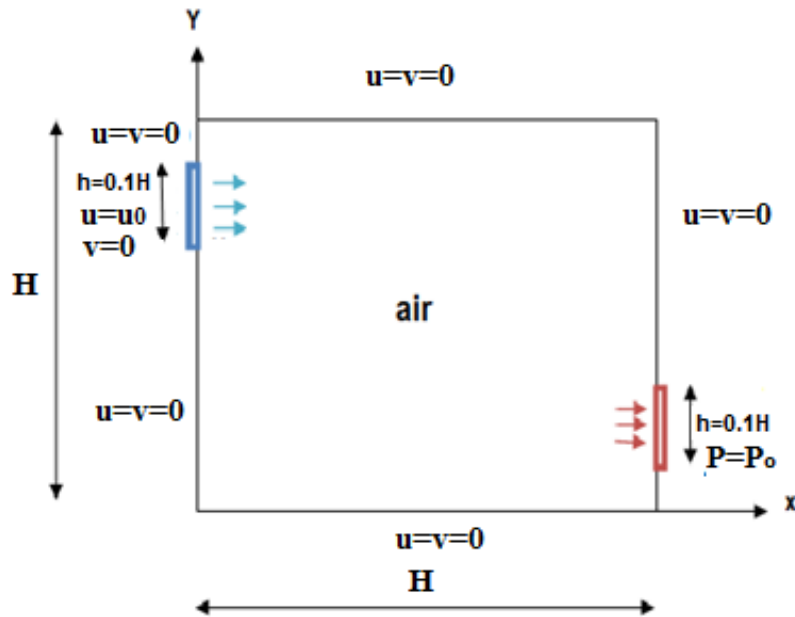


Figure I-9 : Configuration du local de deux ouverture d'entrée et de sortie d'air sur les parois verticales en deux dimensions

b. Deuxième cas : les deux ouvertures d'entrée et sortie d'air dans le plafond de local

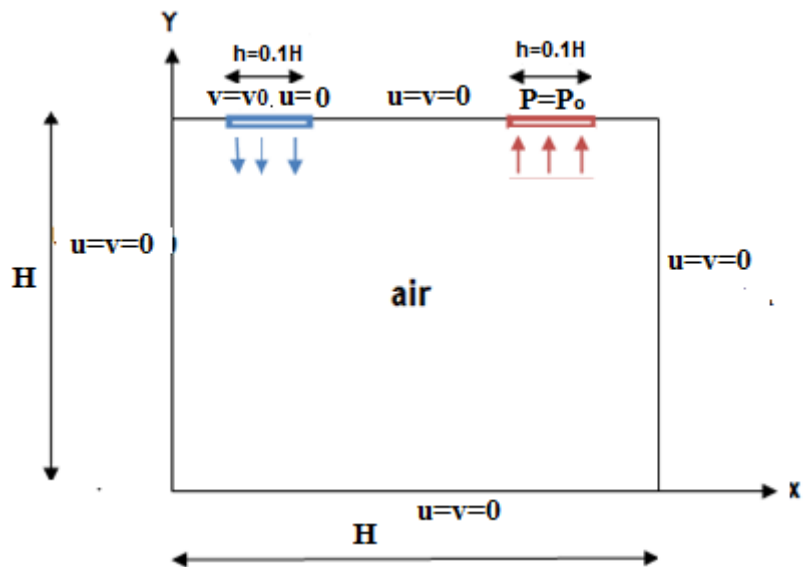


Figure I-10 : Configuration du local de deux ouverture d'entrée et sortie d'air au plafond en deux dimensions

I.6. Les hypothèses de travail :

Il est nécessaire d'effectuer un certain nombre d'hypothèses afin d'établir un modèle mathématique simple qui décrit la physique de ce problème. Les hypothèses utilisées souvent dans l'étude de la ventilation pour un fluide sont énumérées comme suit :

- Le fluide à l'intérieur de la chambre est l'air considéré newtonien ($v=cste$),
- L'écoulement est incompressible ($\text{div } \mathbf{V}=0$).
- L'écoulement est isotherme (Température constante).
- Le régime d'écoulement est permanent $\frac{\partial}{\partial t} = 0$.
- Le champ de la gravité est négligeable ;
- L'écoulement est considéré laminaire (Pour Les valeur du nombre de Reynolds utilisées).
- L'écoulement est considéré bidimensionnel (suivant les variables d'Euler u et v).

I.7. Mise en équation :

I.7.1. Equation de continuité :

En mécanique des fluides, le principe de conservation de la masse peut être décrit par l'équation de continuité. Suivant le problème posé et en prenant en considération les hypothèses de travail, l'équation s'écrit :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (\text{I.1})$$

I.7.2. Equation de quantité de mouvement :

En mécanique des fluides, les équations de quantité de Mouvement (Navier-Stokes) sont des équations aux dérivées partielles non linéaires qui décrivent le mouvement des fluides (liquide et gaz ordinaires) dans l'évaluation des milieux continus [9]. Ces équations permettent de décrire le champ de vitesse d'un fluide dans le cas étudié comme suit :

$$\text{Suivant X : } \left[u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right] = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right] \quad (\text{I.2})$$

$$\text{Suivant Y : } \left[u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right] = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right] \quad (\text{I.3})$$

I.8. Formulation adimensionnelle :

En utilisons les variables adimensionnelles suivants :

$$U = \frac{u}{u_{ref}}, V = \frac{v}{u_{ref}}, P = \frac{p}{\rho u_{ref}^2}, X = \frac{x}{h}, Y = \frac{y}{h} \quad \text{avec } u_{ref} = u_0 \text{ ou } v_0$$

Les équations de (I.1) à (I.3) sous forme adimensionnelle deviennent alors :

Forme adimensionnelle de l'équation de continuité

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0 \quad (I.4)$$

Forme adimensionnelle des equation de la quantité de mouvement

- Equation de quantité de mouvement suivant $\ll oX \gg$

$$U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} = - \frac{\partial P}{\partial X} + \frac{1}{Re} \left[\frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} \right] \quad (I.5)$$

- Equation de quantité de mouvement suivant $\ll oY \gg$

$$U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = - \frac{\partial P}{\partial Y} + \frac{1}{Re} \left[\frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} \right] \quad (I.6)$$

D'après les équations adimensionnelles, on remarque que l'écoulement dans ces configurations proposées se caractérise que par le nombre de Reynolds

I.9. le nombre de Reynolds :

Le nombre de Reynolds est le rapport entre les forces d'inerties et les forces visqueuses et constitue un paramètre pratique pour prédire si une condition d'écoulement sera laminaire ou turbulente.

$$Re_h = \frac{\rho \cdot v \cdot h}{\mu} = \frac{v \cdot h}{\nu} \quad (I.7)$$

1.10 Les conditions aux limites :

Pour les deux configurations, on considère que les conditions de non glissement imposés sur toutes les parois fixes : $U=V=0$.

Pour les ouvertures, à l'entrée de l'air une vitesse constante suivant ox est impose pour la première configuration : $u=u_0$ et $v=0$ (en adimensionnelle $U=1, V=0$).

Pour la deuxième configuration, la vitesse constante est imposée suivant oy : $u=0$ et $v= v_0$ (en adimensionnelle $U=0, V=1$). Pour les sorties, les conditions de sortie naturelle sont imposées en fonction de la pression.

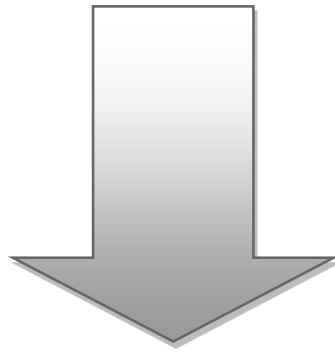
I.11.Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté une étude bibliographique sur les différents systèmes de la ventilation utilisés ainsi que les types des ouvertures de soufflage et de repris d'air.

Nous avons présenté aussi les deux configurations physiques proposées pour cette étude, avec toutes la formulation mathématique basée sur des hypothèses prises en considération dans ce travail.

Dans le prochain chapitre, nous présenterons la méthode de résolution ainsi que les logiciels utilisées pour cette étude.

Chapitre II :



La méthode de résolution

II.1. Introduction :

La résolution des équations de conservation d'un phénomène physique se fait par l'utilisation des méthodes numériques bien déterminée. De ce fait, le concept de la discrétisation des équations différentielles, qui a pour résultat, un système d'équations algébriques non linéaires décrivent les propriétés discrètes du fluide dans chaque nœud du domaine étudié.

Il existe plusieurs méthodes numériques de discrétisation des équations différentielles aux dérivées partielles, on citera les plus utilisées :

- La méthode des éléments finis (MEF).
- La méthode des différences finies (MDF).
- La méthode des volumes finis (MVF).

Cette dernière notamment (MVF) est la plus utilisée actuellement dans les codes de simulation numérique CFD (Computational Fluid Dynamics).

Nous avons opté dans cette étude pour l'utilisation du code de calcul FLUENT un solveur basé sur la méthode des volumes finis pour la résolution des équations de la modélisation des écoulements des fluides. Le logiciel GAMBIT pour la description géométrique et le choix du maillage [11].

II.2. La méthode des volumes finis :

Cette méthode a été parmi les premières à atteindre un stade de développement avancé pour les calculs des écoulements stationnaires et instationnaires. Elle permet une prise en compte complète des effets de non linéarité et de compressibilité ainsi que les effets de viscosité à l'aide des équations de Navier-Stokes et les différents modèles de turbulence.

La méthode aux volumes finis a supplanté les méthodes classiques basées sur les différences finies dans le traitement des problèmes complexes notamment tridimensionnels. La technique comprend deux étapes importantes :

- **Le maillage** : il consiste à diviser le domaine en plusieurs intervalles réguliers appelés volumes de contrôle.
- **La discrétisation** : lors de cette étape les équations sont intégrées dans les volumes de contrôle [12].

II.3. Les différents types de maillage :

La méthode numérique des volumes finis est employée pour discrétiser le domaine physique et les différentes équations aux dérivées partielles tridimensionnelles des modèles mathématiques appliqués à l'écoulement considéré. Elle est basée sur l'intégration de ces équations sur des volumes finis obtenus par découpage du champ de l'écoulement suivant un maillage imposé par le logiciel

Fluent [13]. Selon la forme géométrique, il faut bien choisir une maille adaptable à la géométrie, les mailles utilisées par Fluent sont les suivant :

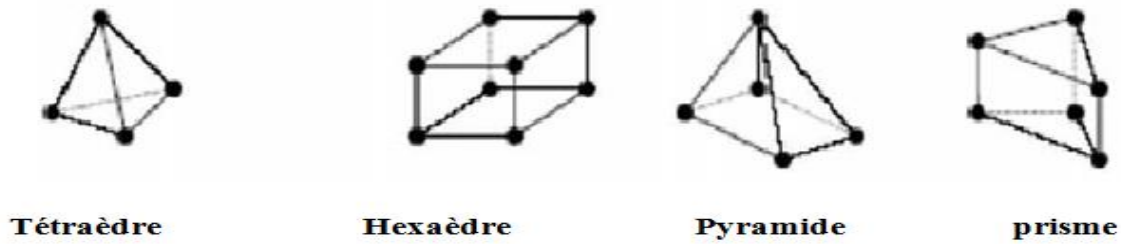


Figure II-1 : Exemple des maillages utilisés en volume finis par Fluent.

II.3.1. Maillage structuré (quadra/hexa)

Il est beaucoup plus facile de le générer en utilisant une géométrie à multi bloc, il présente les Avantages suivants :

- Economique en nombre d'éléments, présente un nombre inférieur de maille par rapport à un maillage non structuré équivalent.
- Réduit les risques d'erreurs numériques car l'écoulement est aligné avec le maillage.
- Difficile à le générer dans le cas d'une géométrie complexe
- Difficile d'obtenir une bonne qualité de maillage pour certaines géométries complexes.

II.3.2. Maillage non structuré (tri/tétra)

Les éléments de ce type de maillage sont générés arbitrairement sans aucune contrainte quant à leur disposition.

❖ Ses avantages :

- Peut-être généré sur une géométrie complexe tout en gardant une bonne qualité des éléments.
- Les algorithmes de génération de ce type de maillage (tri/tétra) sont très automatisés.

❖ Ses inconvénients :

- Très gourmand en nombre de mailles comparativement au maillage structuré
- Engendre des erreurs numériques (fausse diffusion) qui peuvent être plus importante si l'on compare avec le maillage structuré.

II.3.3. Maillage hybride [13] :

Maillage généré par un mélange d'éléments de différents types, triangulaires ou quadrilatéraux en 2D, tétraédriques, prismatiques, ou pyramidaux en 3D.

- **Ses avantages :**
- Combine entre les avantages du maillage structuré et ceux du maillage non structuré

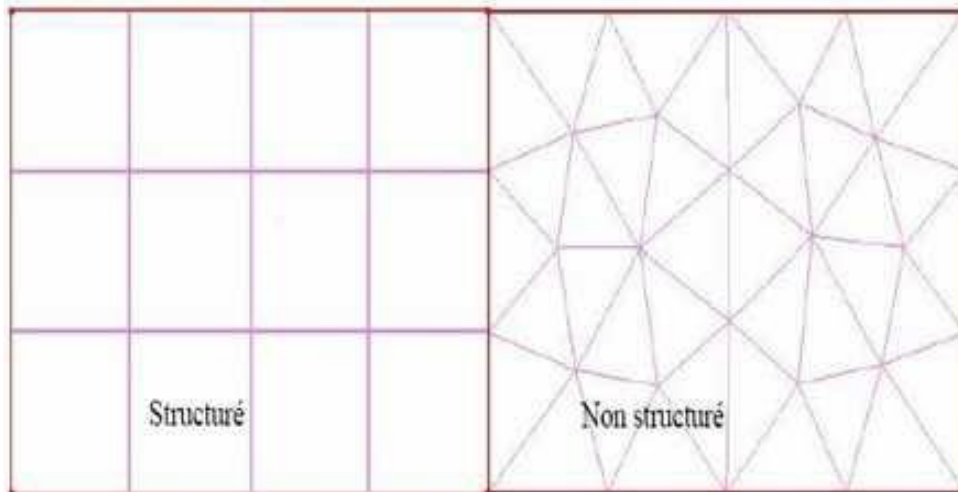


Figure II-2 :Types des maillages.

II.4. Description de logiciel gambit :

II.4.1. Logiciel Gambit :

C'est un préprocesseur intégré pour l'analyse en CFD (*Computational Fluid Dynamics*), il permet de générer un maillage structuré ou non structuré en coordonnées cartésiennes, polaires, cylindriques ou axisymétriques. Il peut réaliser des maillages complexes en deux ou trois dimensions avec des mailles de type rectangle ou triangle. Il peut être utilisé pour construire une géométrie et lui générer un maillage éventuellement, une géométrie d'un autre logiciel de CAO peut être importée dans ce préprocesseur. Les options de génération de Gambit offrent une flexibilité de choix. On peut décomposer la géométrie en plusieurs parties pour générer un maillage structuré. Sinon, Gambit génère automatiquement un maillage non structuré adapté au type de géométrie construite. Avec les outils de vérification du maillage, les défauts sont facilement détectés.

II.4.2. Les interfaces et étapes de Gambit :

II.4.2.1. Lancer Gambit :

Après lancement du le logiciel, l'interface d'utilisation :

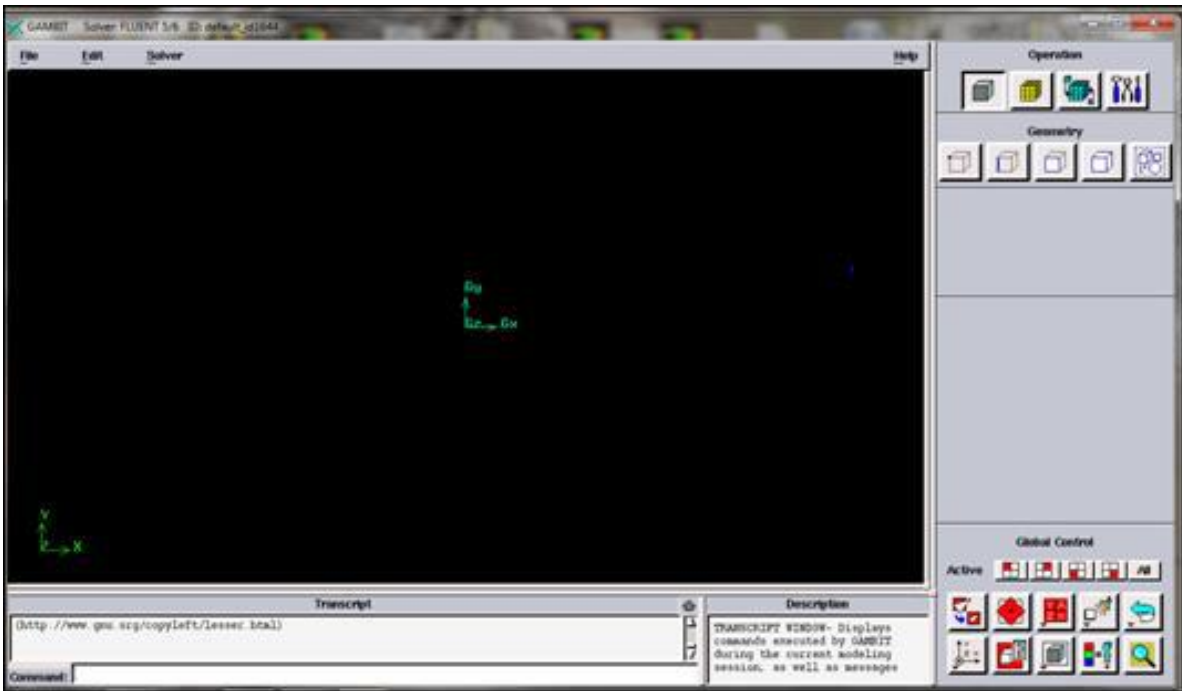


Figure II-3 : Interface de gambit .

II.4.2.2. Construction de la géométrie :

Le but de la construction de la géométrie est de définir les domaines de calcul qui seront des faces dans un problème 2D et des volumes dans un problème 3D.

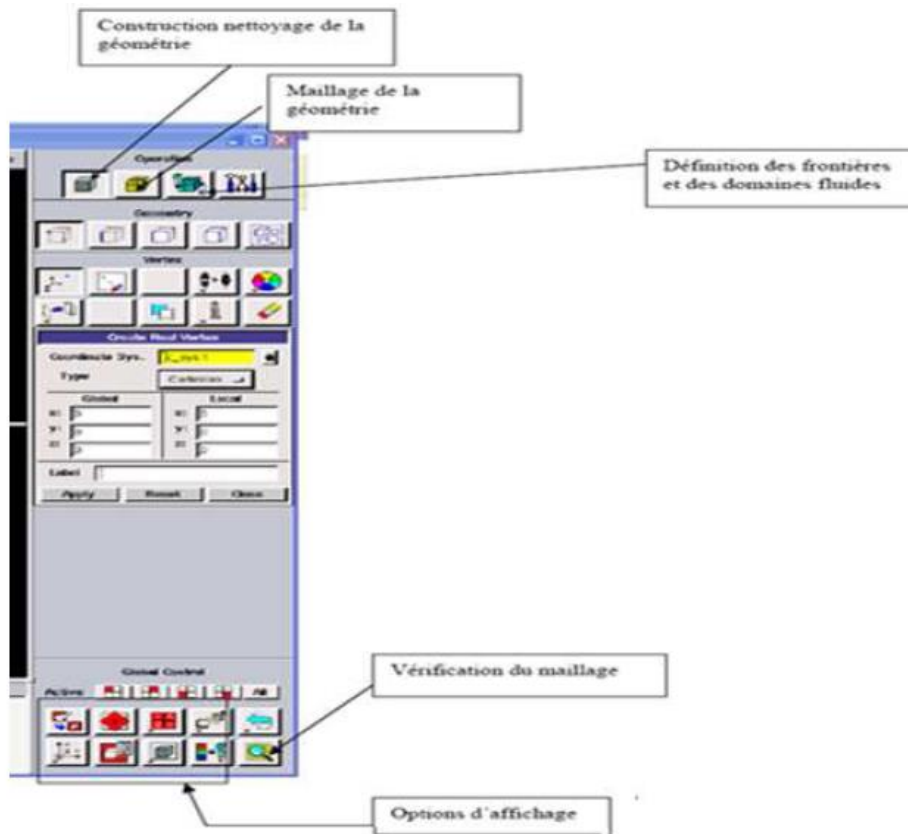


Figure II-4 : Les opérations de construction de la géométrie .

II.4.2.3. Génération de maillage :

Dans notre cas on prend un maillage structuré de type bi-exponent avec 0.6 Ratio avec des mailles de taille défèrent pour bien préciser les écoulements sur la couche aux limites.

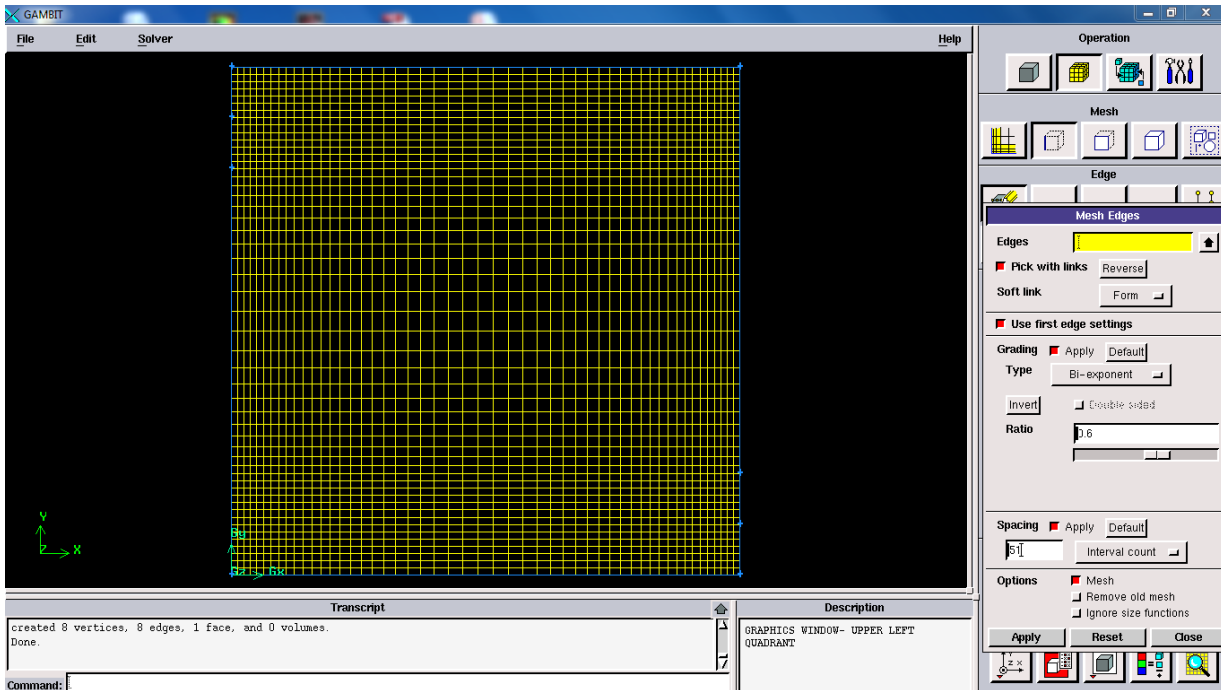


Figure II-5 : Génération de maillage.

II.4.2.4. Les conditions aux limites :

La figure suivante résume les différentes conditions qu'on peut imposer pour un écoulement d'air dans une cavité carrée avec de deux ouvertures d'entrée et sortie.

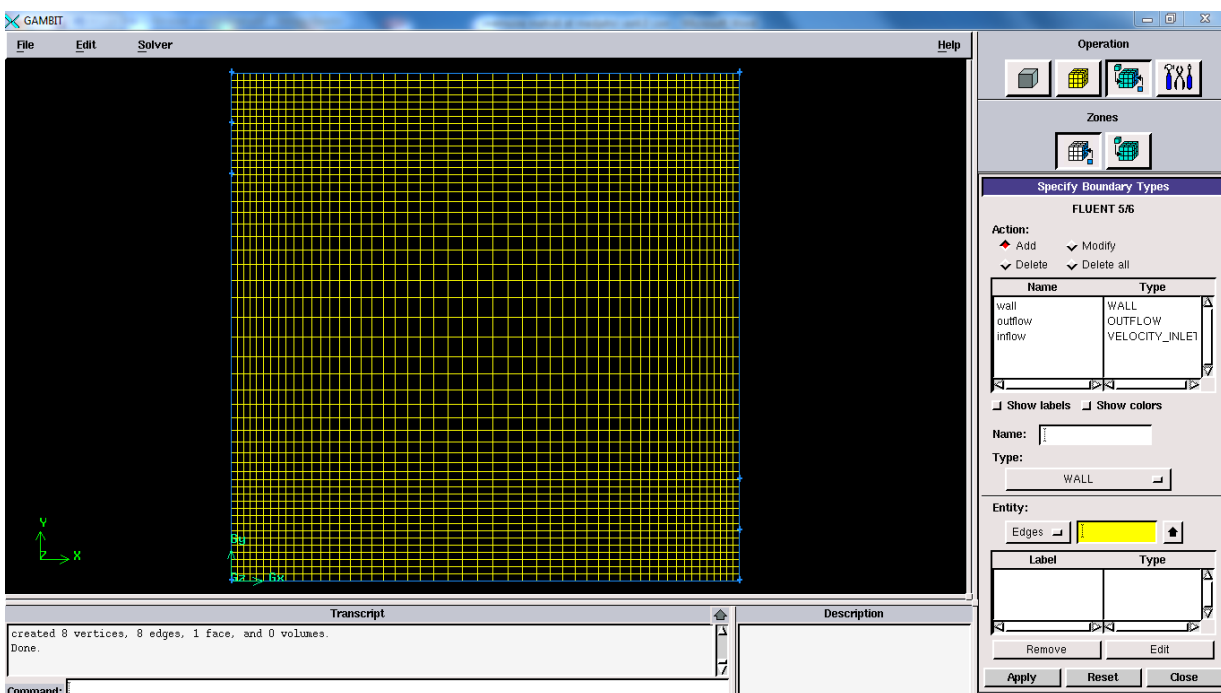


Figure II-6 : Incorporation des conditions aux limites.

II.4.2.5. Exportation du maillage de gambit :

Une fois que la géométrie a été créée, que les conditions aux limites ont été définies, il faut exporter le maillage, en point. Msh (mesh = maillage en anglais) pour que Fluent soit capable de le lire et de l'utiliser.

II.5. Code Fluent [14] :

Fluent est un programme informatique conçu pour la simulation des écoulements de fluide et du transfert de chaleur dans des géométries complexes.

Il présente une grande flexibilité de type des résultats et une adaptation avec n'importe quel type de maillage. Il permet le raffinement du maillage en fonction des conditions aux limites, des dimensions et même des résultats déjà obtenue. Cela est très utile aussi dans la région d'étude à gradients importants (couches limites, couches à cisaillement libre).

Fluent est écrit en langage C, il emploie toute la flexibilité et la puissance qu'offre ce langage. Il utilise l'architecture serveur client nécessaire au calcul parallèle sur plusieurs machines.

Il dispose d'un outil de graphisme pour l'affichage des résultats et leur exploitation. On peut aussi exporter les résultats vers un autre logiciel de graphisme, et l'option UDF permet de résoudre des équations additionnelles ou des termes sources additionnelles définies par l'utilisateur.

II.5.1. Les étapes de solveur fluent :

II.5.1.1. Lancer Fluent :

Puisque notre géométrie est en 2D, pour le domaine de calcul le choix de 2D double précision (2ddp) est prise pour notre étude. Il est donc distingué comme suit :

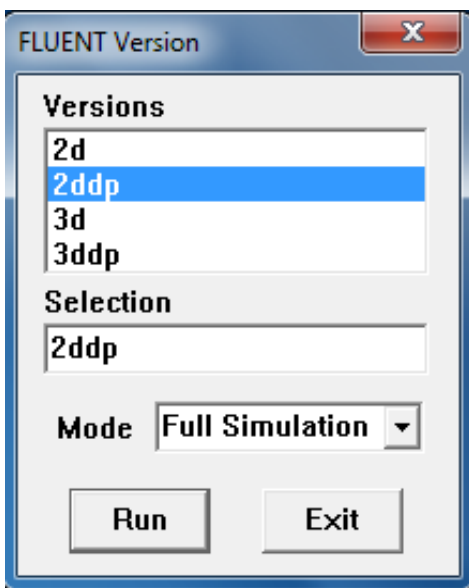


Figure II-7 : Lancement du logiciel Fluent.

II.5.1.1.2.Importation de la géométrie :

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

File – Read – Case

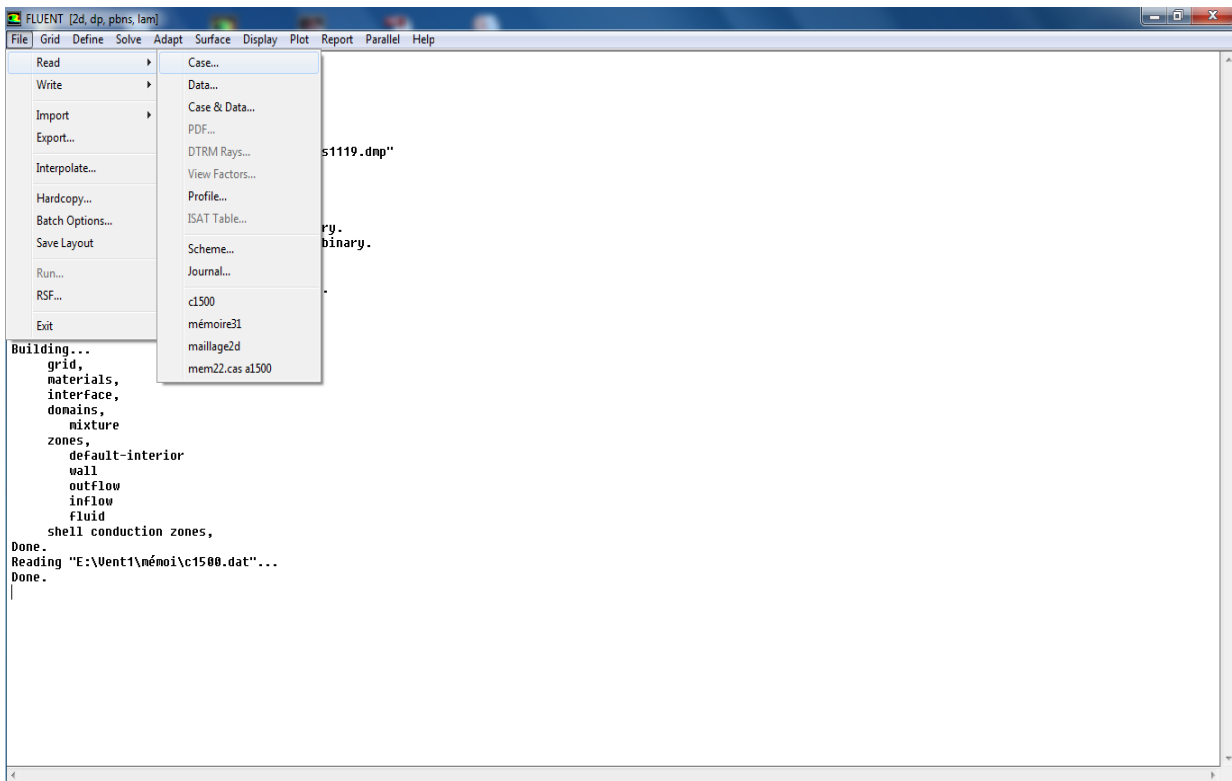


Figure II-8 : Importation de la géométrie.

II.5.1.3.Vérification du maillage :

Permet de vérifier si le maillage importé ne comporte pas des déformations :

Grid-Chek

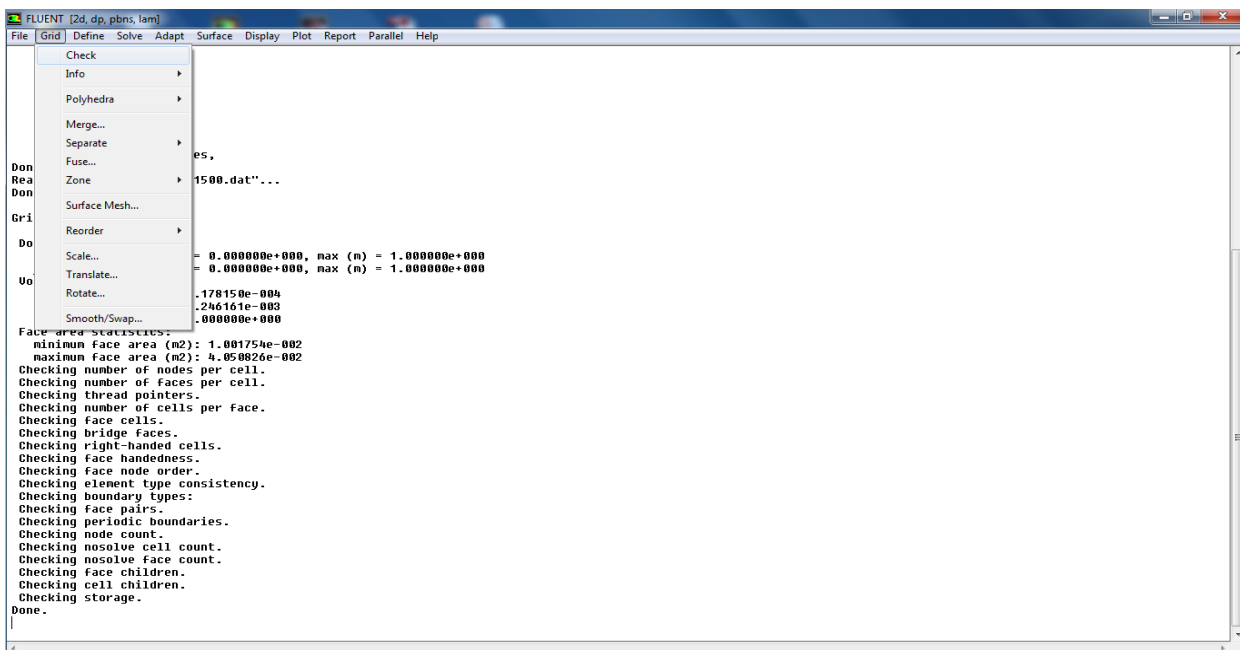


Figure II-9 : Vérification du maillage

II.5.1.4.Choix du solveur :

Ce menu permet de choisir le type de *solver* que l'on souhaite utiliser (schéma implicite, régime stationnaire, configuration 2D...) définit comme suit :

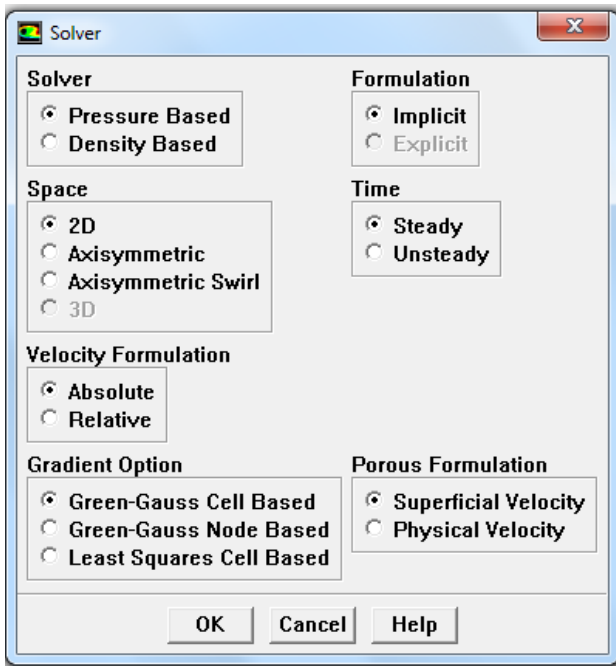


Figure II-10 : choix du solveur.

II.5.1.5.Choix du régime d'écoulement :

Il existe différentes modélisations de l'écoulement. Parmi lesquelles les écoulements non visqueux, laminaire et turbulents.

Define -- Models -- Viscous

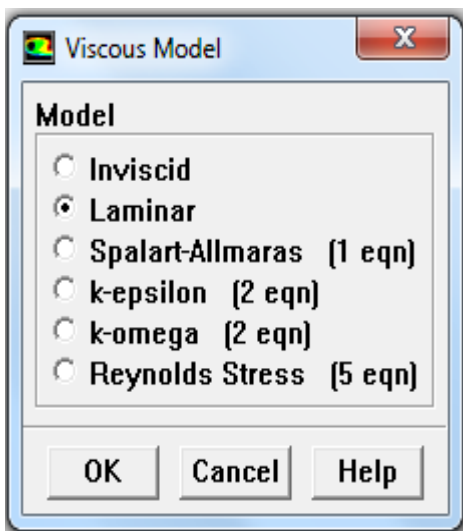


Figure II-11 : choix de modèle laminaire .

II.5.1.6. Les caractéristiques du matériau :

On définit le choix de fluide comme suit : **Define -- Materials**

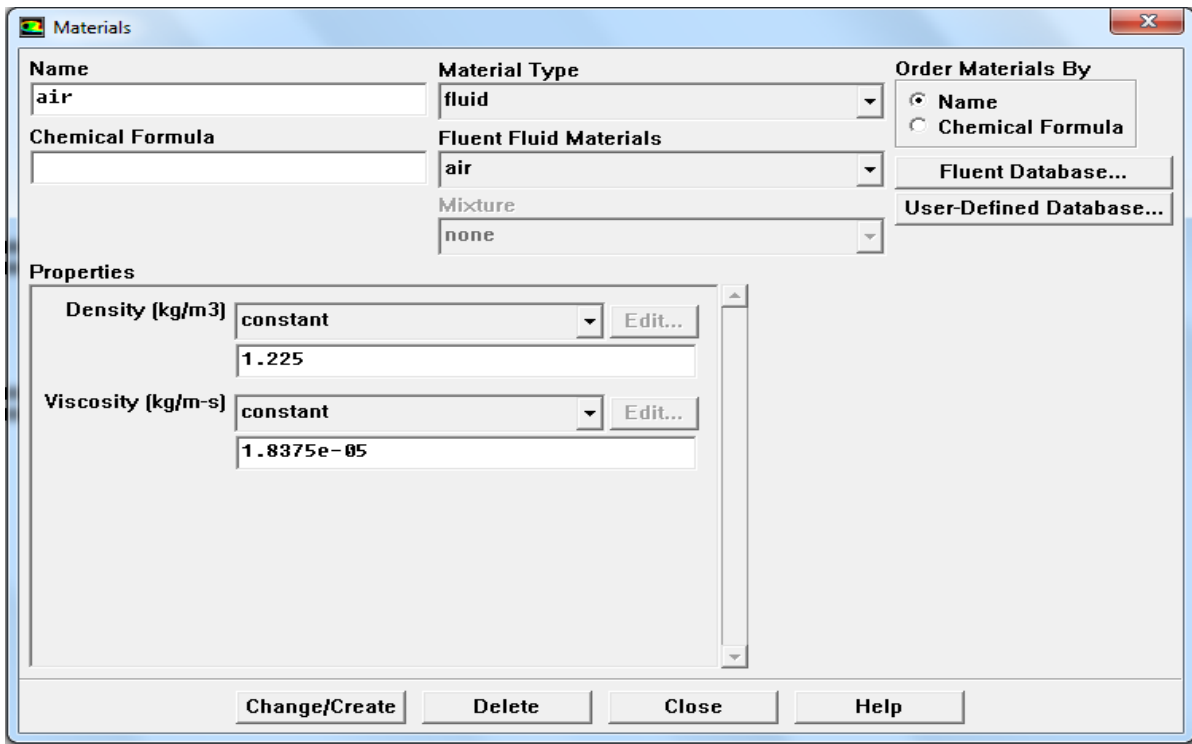


Figure II-12 : les caractéristiques de matériau .

II.5.1.7. Les conditions opératoires :

Cette activité permet de placer les conditions de fonctionnement :

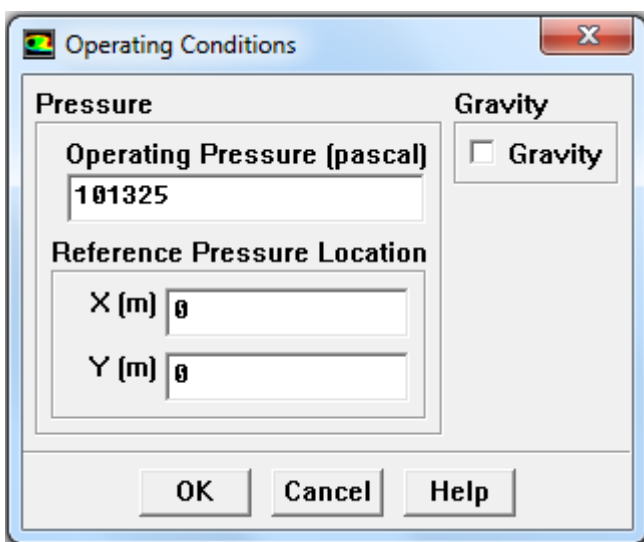


Figure II-13 : choix des conditions opératoire.

II.5.1.8. Les conditions aux limites :

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

Define- Boundary conditions

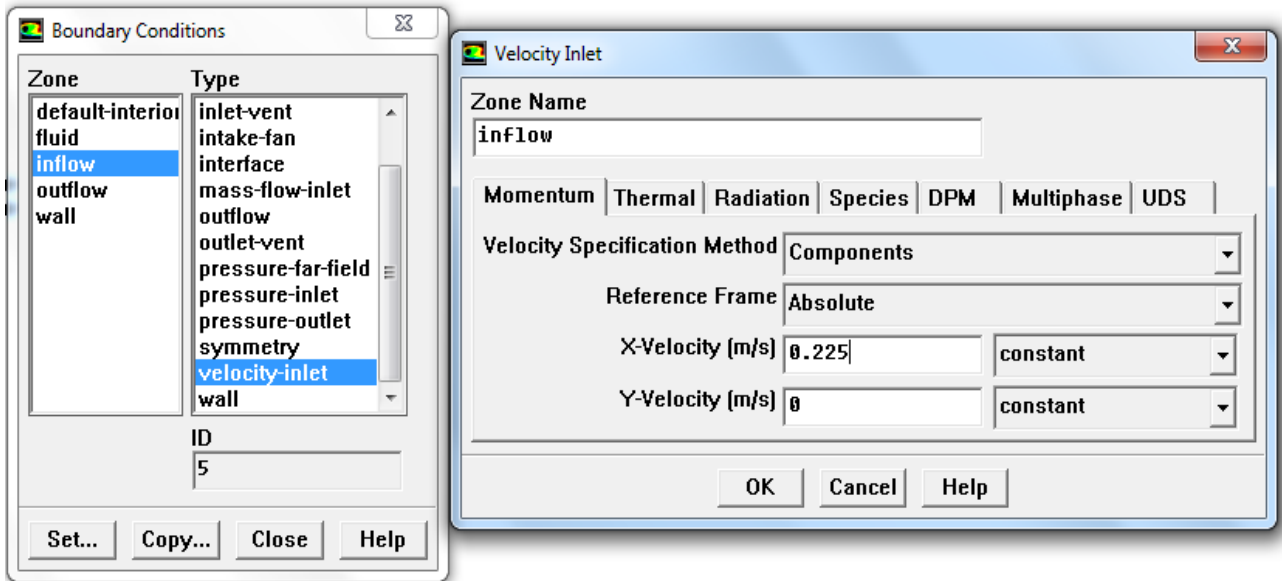


Figure II-14 : choix de condition aux limite (la vitesse d'entrée).

II.5.1.9. Contrôle de la solution :

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

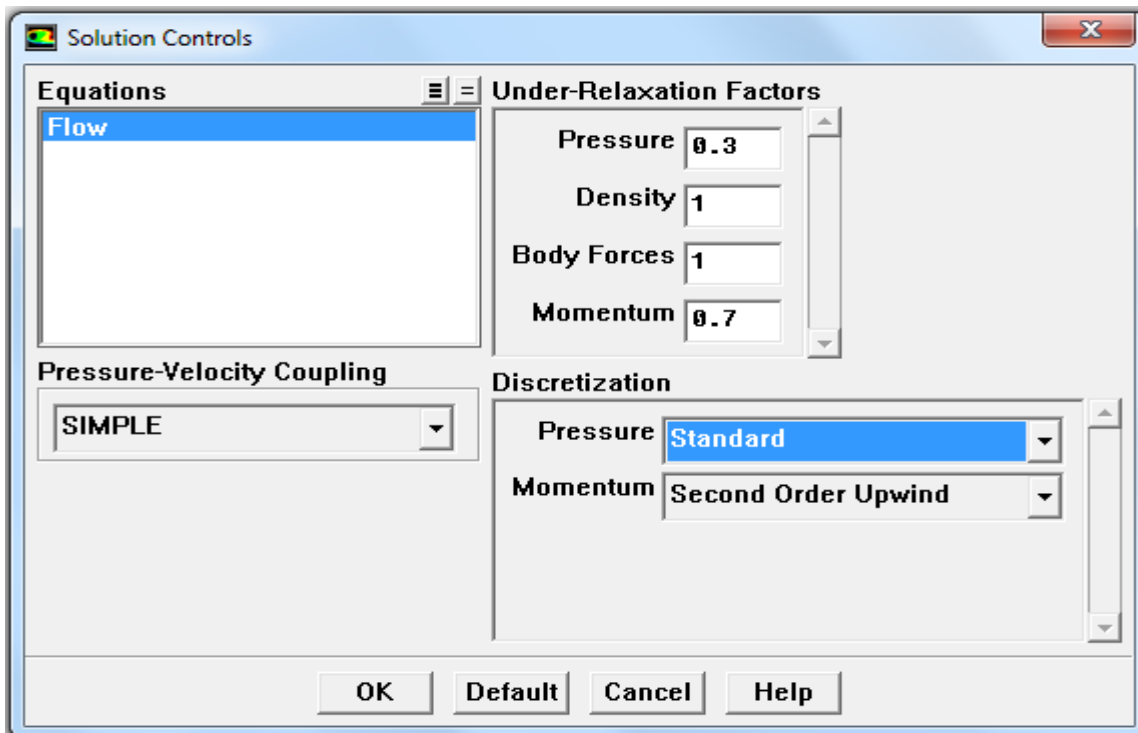


Figure II-15 : Choix d'ordre d'équation.

II.5.1.10.Initialisation :

Cette option permet d'initialiser le calcul : *Solve -- Initialize – Initialize*

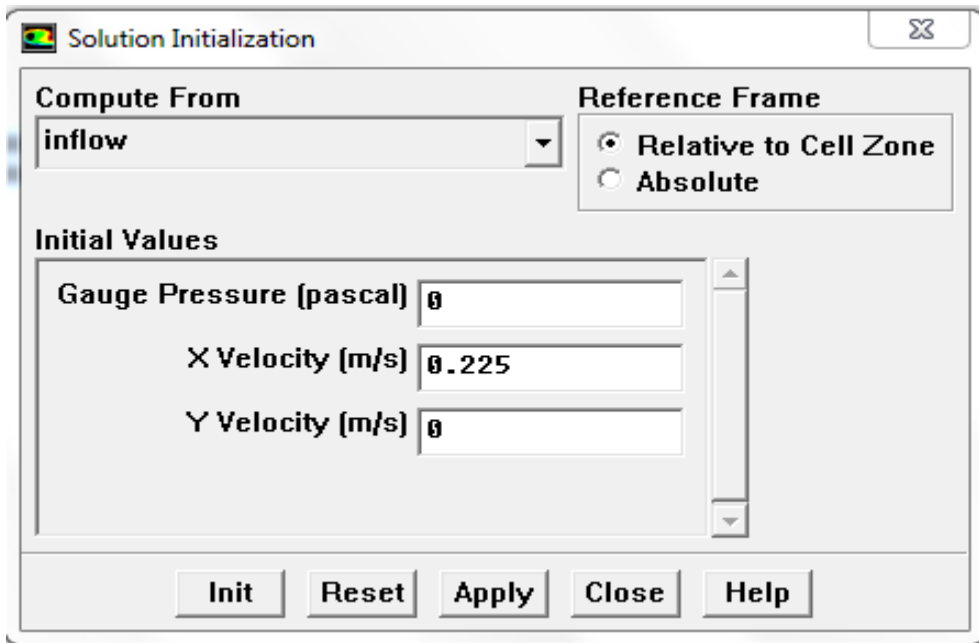


Figure II-16 : initialisation de calcul

II.5.1.11.Choix des critères de convergence :

Il se fait de favoriser les critères de convergence qui doivent être considérés pour que

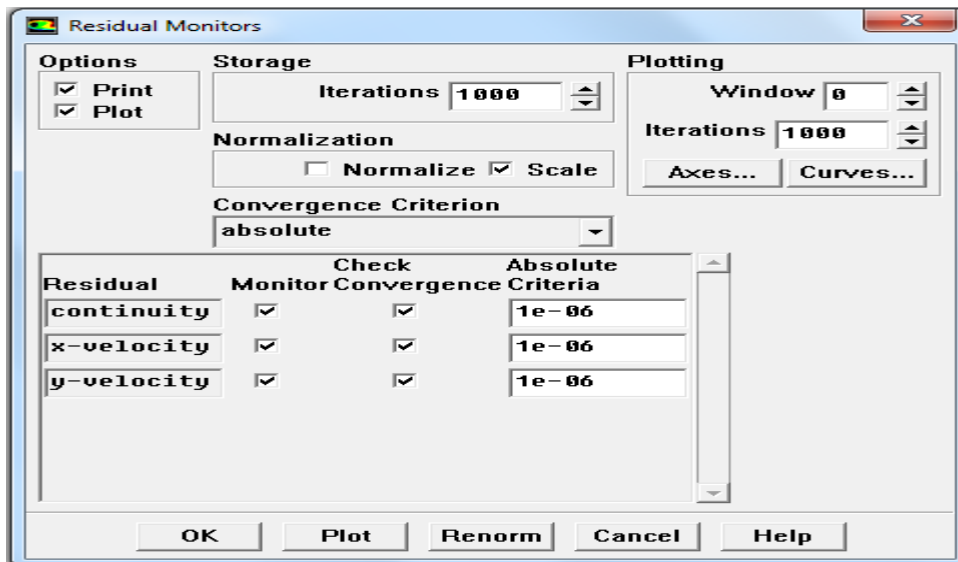


Figure II-17 : Choix des critères de convergence

Les calculs soient arrêtés : *Solve -- Monitors -- Résidual...*

Remarque : Pour afficher la convergence à l'écran pendant les calculs sous forme d'un graphe, il faut activer l'option Plot

II.5.1.12. Lancement du calcul de convergence :

Avant commencer les calculs il faut d'abord choisir le nombre des itérations : *solve-iterate*

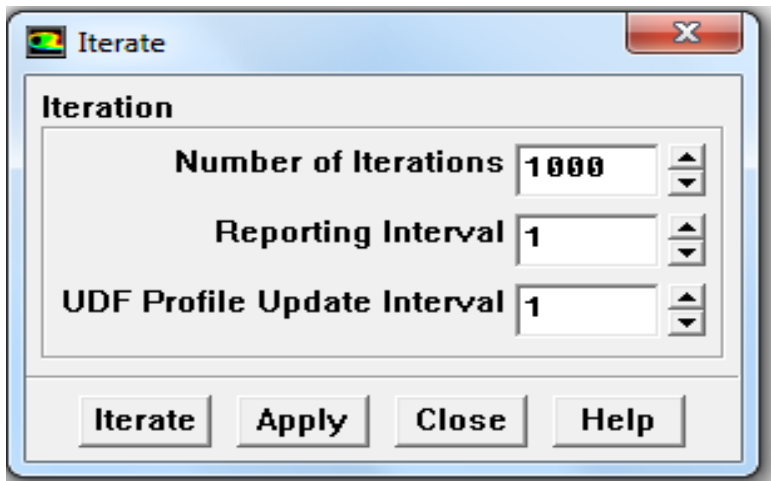


Figure II-18 : Choix du nombre des itérations .

II.5.1.13. Allures de l'évolution des résidus de calcul :

Le calcul convergé quand le résidu est stable,

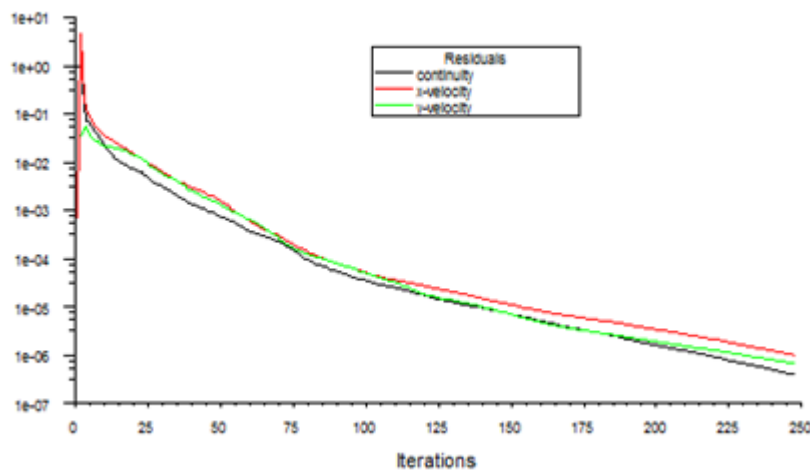


Figure II-19 : l'évolution des résidus de calcul pour maillage (51*51)

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 *vectors*, 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**

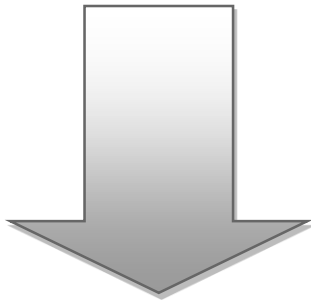
Plot offre la potentialité de faire des graphes en 2D pour toutes les variables sur les lignes.

II.6. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté la méthode de résolution du problème physique étudié notamment la méthode des volumes finis ainsi que les logiciels Gambit et Fluent et une définition complète sur leurs utilités.

Dans chapitre suivant, nous présenterons les résultats numériques de notre étude avec une discussion notamment, l'écoulement dans une cavité carrée avec des ouvertures de ventilation présentée sur deux configurations en fonction de leurs positions : les ouvertures sur les parois verticales et les ouvertures places au plafond.

Chapitre II :



Les résultats et discussions

III.1. Introduction :

Dans ce chapitre, les résultats de l'étude de la ventilation de la cavité avec les deux configurations sont présentés. La solution des équations de conservation sont obtenus par l'utilisation du logiciel Fluent en deux dimensions.

L'objectif de ce travail est d'étudier l'influence de la vitesse de soufflage à l'intérieur de la chambre et ainsi que l'effet de la position des ouvertures sur la qualité de la ventilation dans l'enceinte carrée proposée simulant une habitation.

III.2. Choix des valeurs de vitesse de ventilation :

Choix des vitesses de ventilation suivant la réglementation internationale dans les installations des systèmes de ventilation mécanique notamment de soufflage de l'air à l'intérieur des locaux. Cette vitesse ne doit pas dépasser 0.23m/sec.

Pour notre étude les valeurs de vitesses choisis en l'occurrence les valeurs du nombre de Reynolds sont :

- ❖ La vitesse pour $Re=600$ est $V=0.09m/s$
- ❖ La vitesse pour $Re=1000$ est $V=0.15m/s$
- ❖ La vitesse pour $Re=1500$ est $V=0.225m/s$

III.3 Etude du maillage

Un examen de l'influence du maillage sur la solution numérique est effectué. Plusieurs maillages utilisés(31x31,51x51,61x61). Une analyse des profils des vitesses aux plans médianes de la cavité est effectué pour l'ensemble des tailles du maillage utilisé. Le maillage est validé dans ce type de problème avec l'étude de la convergence les profils de vitesse à $Y=0.5$, $X=0.5$ pour le nombre de Reynolds($Re=1500$) Le maillage de 51x51 a été adapté pour le reste du travail.

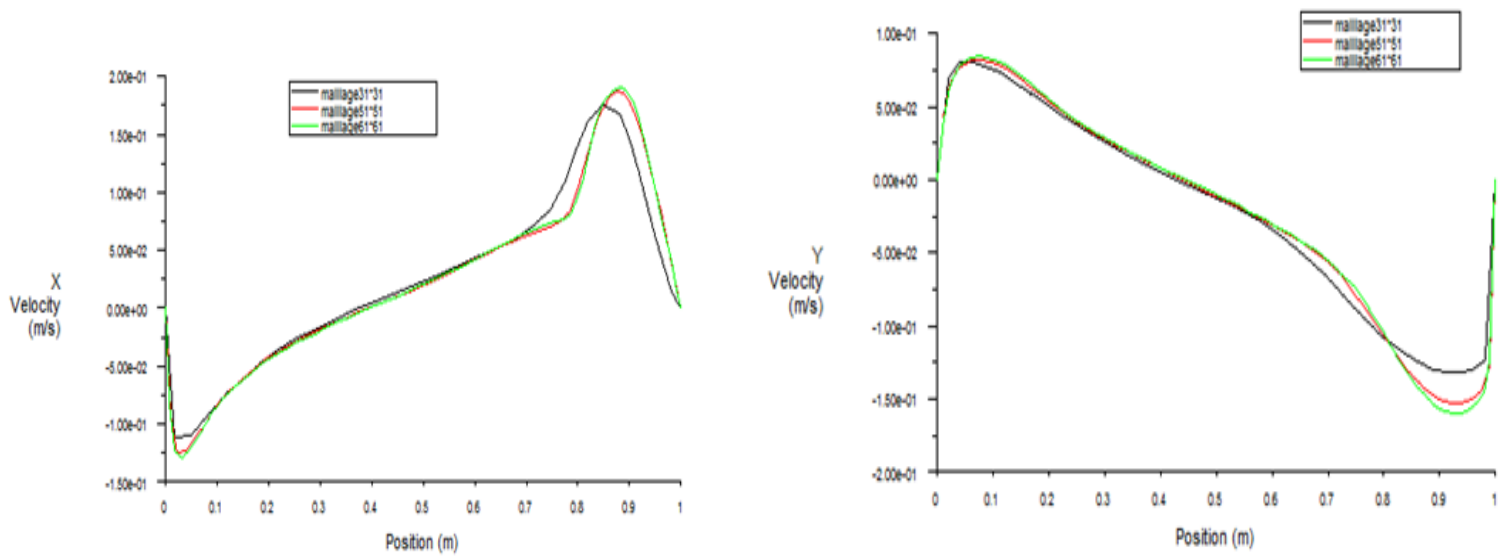


Figure III-1 :Les profils de la vitesse sur une ligne verticale et horizontal pour différents maillage pour $Re=1500$ au centre de la cavité à $x=0.5$ et $y=0.5$ pour première configuration .

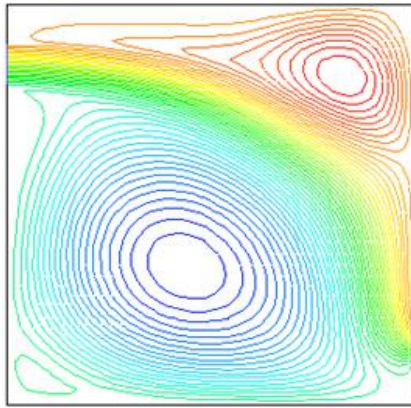
III.4. Etude l'influence de la vitesse d'entrée de l'air dans une cavité carrée Bidimensionnelle :

Dans cette partie, nous utilisons les valeurs de la vitesses d'entrée de la cavité désignées précédemment, en correspondance avec les valeurs de Reynolds (600,1000,1500).

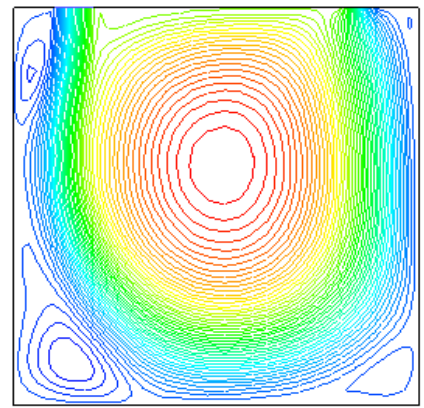
Les figures(III-1),(III-2),(III-3) représentent respectivement les lignes de courant, les contours de vitesse et la verticité magnitude.

Comme illustré dans ces figures, on voit l'existence d'un mouvement tourbillonnement à l'intérieur, des deux configurations. Ce qui explique la circulation de l'air à l'intérieur des cavités.

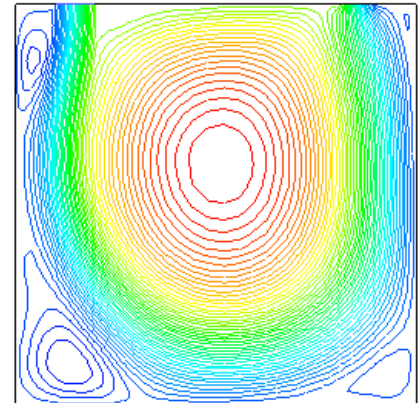
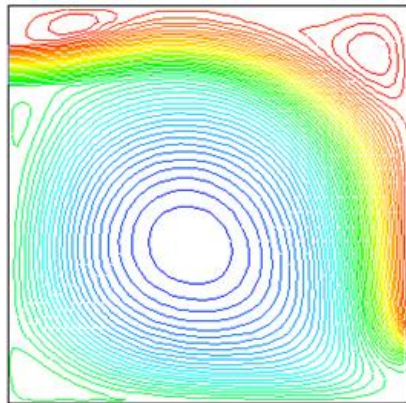
Configuration 1



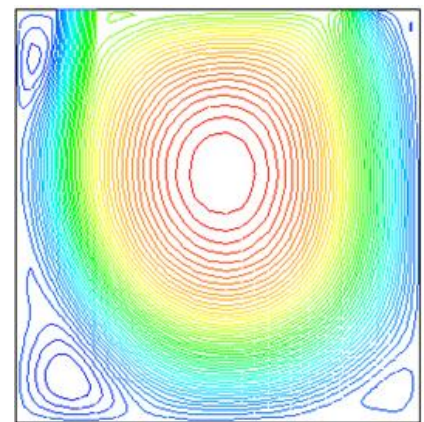
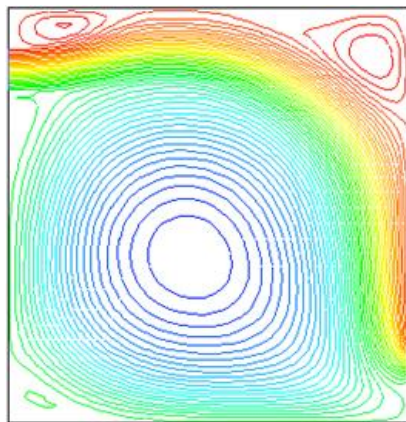
Configuration 2



Re=600



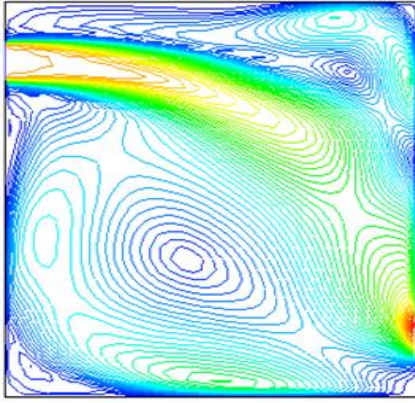
Re=1000



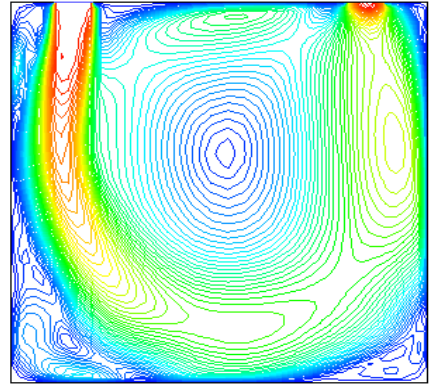
Re=1500

Figure III-2 :Les lignes de courant du deux configuration pour $Re=600$,1000 et 1500.

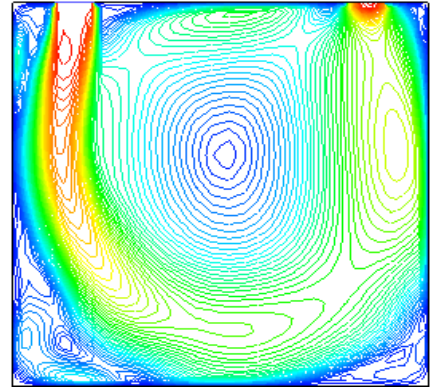
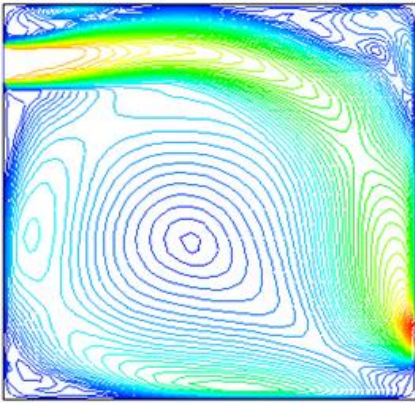
Configuration 1



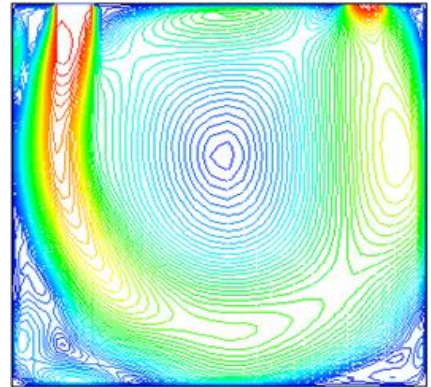
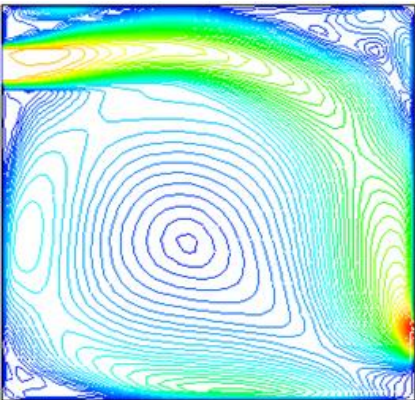
Configuration 2



Re=600



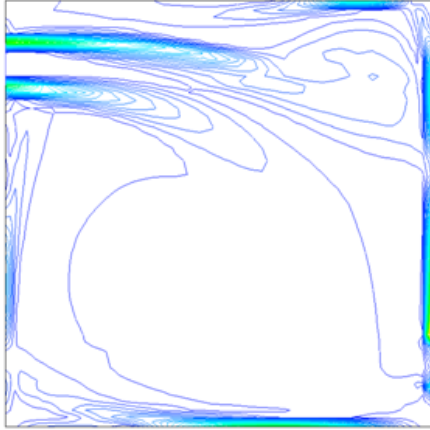
Re=1000



Re=1500

Figure III-3: Les contours de vitesse des deux configurations pour $Re=600$, 1000 et 1500

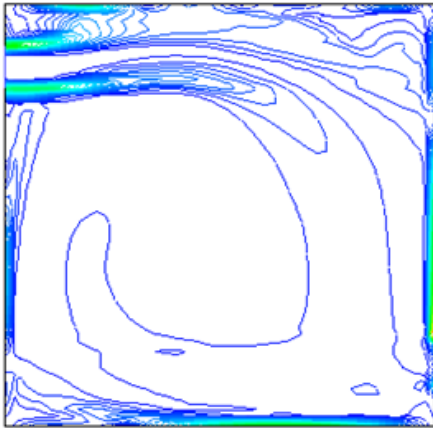
Configuration 1



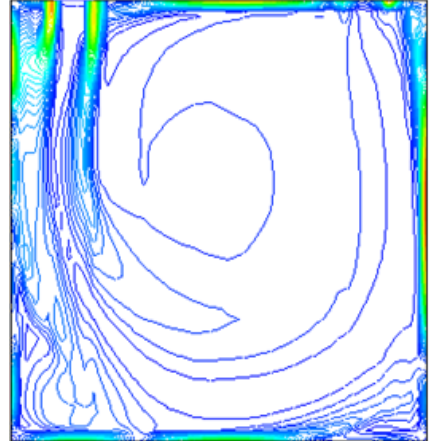
Configuration 2



Re=600



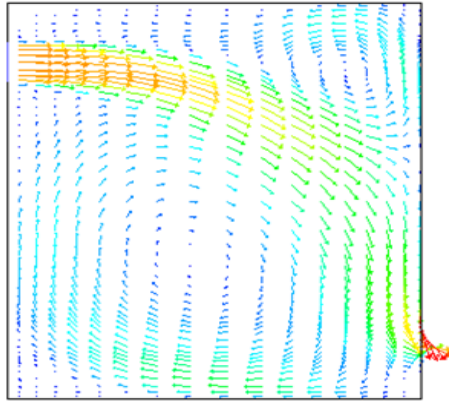
Re=1000



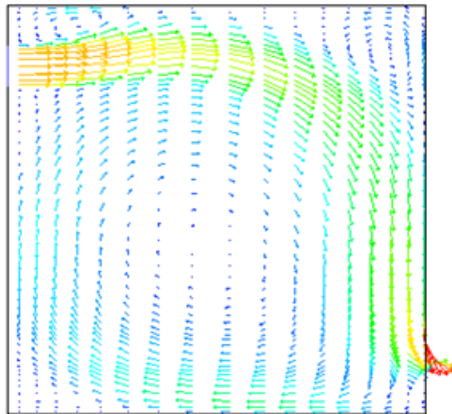
Re=1500

Figure III-4 : Les contours de la vorticité magnitude du deux configurations pour Re=600 ,1000 et 1500 .

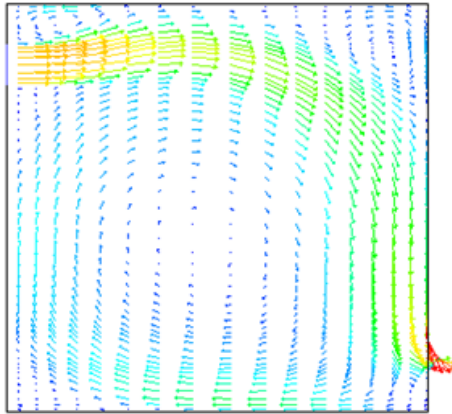
Configuration 1



Re=600



Re=1000



Re=1500

Configuration 2

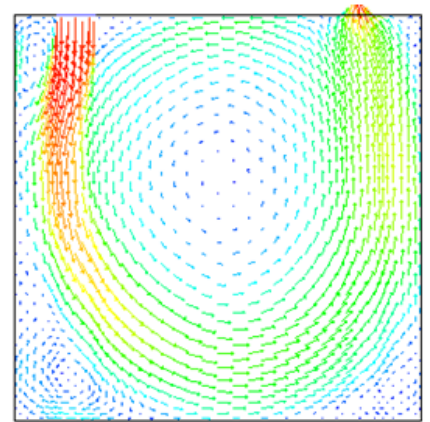
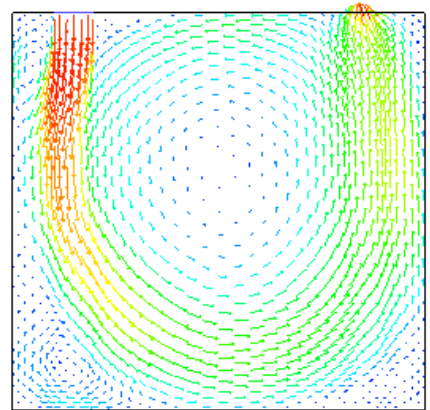
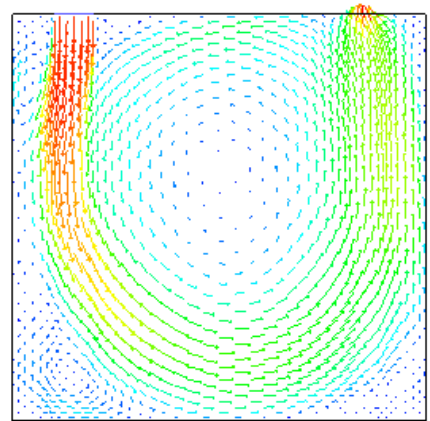
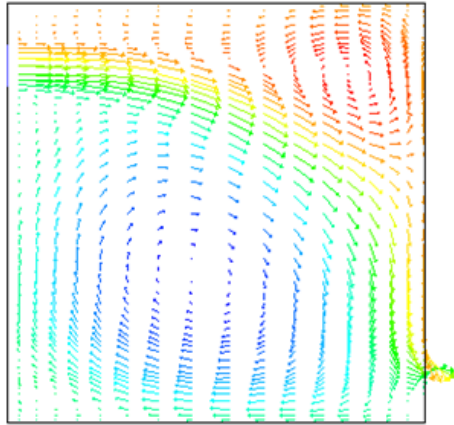
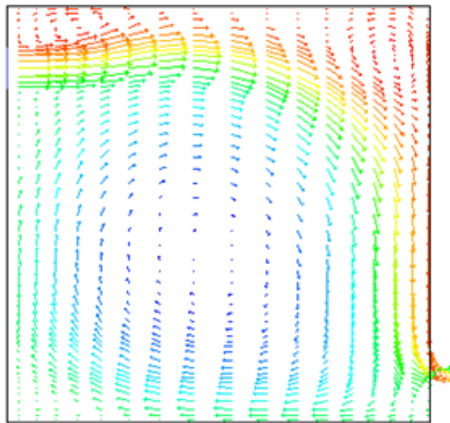


Figure III-5 : Les vecteurs vitesse associé aux valeurs de contour de vitesse des deux configurations pour $Re=600$, 1000 et 1500

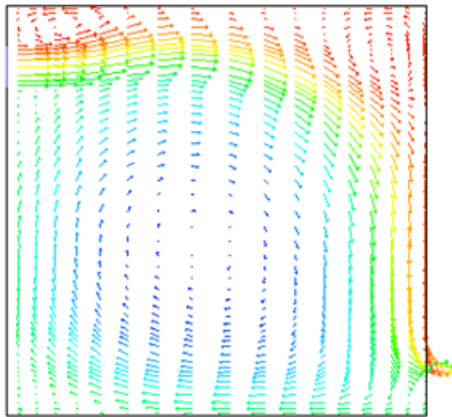
Configuration 1



Re=600



Re=1000



Re=1500

Configuration 2

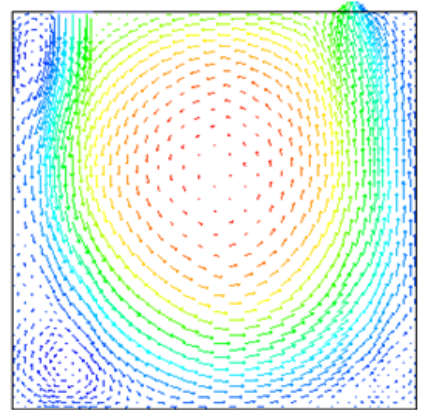
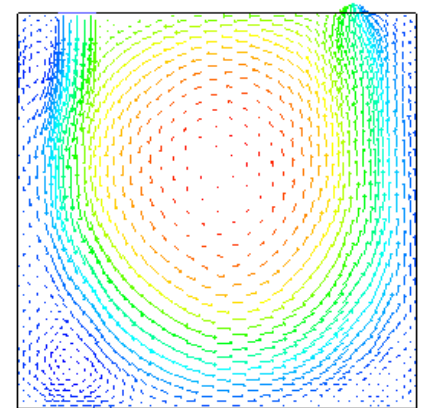
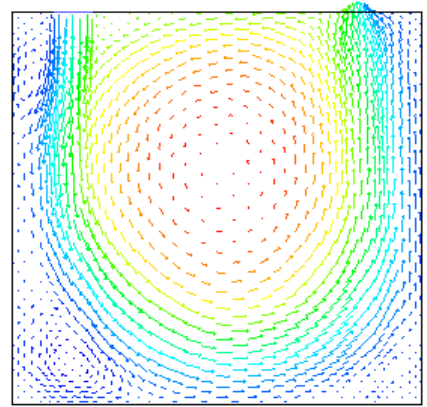


Figure III-6: Les vecteurs de vitesse et des lignes de courant des deux configurations pour $Re=600$, 1000 et 1500

Pour la configuration 1 : la taille du tourbillon centrale augmente en fonction de l'augmentation de la vitesse de soufflage de l'air, en l'occurrence l'augmentation du nombre de Reynolds. On remarque aussi l'apparition d'un tourbillon secondaire dans la partie haute de la cavité qui se divise en deux tourbillons secondaires quand la vitesse de soufflage augmente.

Pour la configuration 2 : La taille du tourbillon centrale garde en générale presque sa taille en fonction de l'augmentation du nombre de Reynolds mais le fluide devient beaucoup plus accéléré en fonction de la vitesse de soufflage de l'air. L'apparition aussi des tourbillons secondaires de nombre de trois : un sur le coin gauche haut de la cavité et deux autres sur les deux coins bas. Leurs tailles augmentent sensiblement en fonction de la vitesse de soufflage.

Les figures III-4 et III-5, représente les champs des vitesses associés aux valeurs des contours de vitesse et des lignes de courant afin de bien visualiser l'intensité de l'écoulement à l'intérieur de la cavité en fonction des deux configurations d'ouvertures. On remarque intensité des vitesses sont beaucoup plus fortes dans la configuration 2 par rapport à la configuration 1. Ce ci aussi illustré par la présentation des profils des vitesses U et V sur les axes médians de la cavité figure III-6 à III-9.

Les piques des vitesses dans ces profils montrent bien la différence de l'intensité de la vitesse d'écoulement à l'intérieur de la cavité.

La différence entre les deux configurations : En plus de l'intensité de l'écoulement élevée remarquée dans la configuration 2 par rapport à la configuration 1, on remarque aussi, et ce d'après les différents résultats présentés dans cette étude que l'air circule dans tous les coins de la cavité et d'une manière uniforme et accélérée en fonction de la vitesse de soufflage.

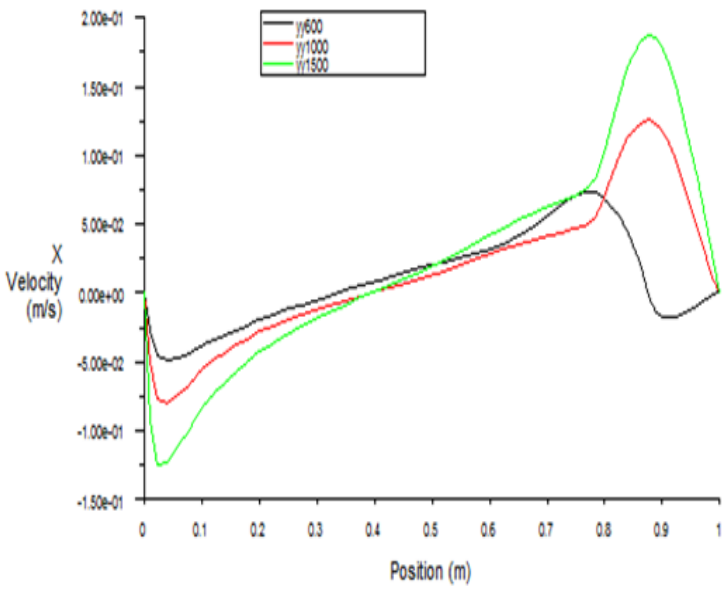


Figure III-7 :Les profils de la vitesse sur une ligne verticale au centre de la cavité à $x=0.5$ pour première configuration

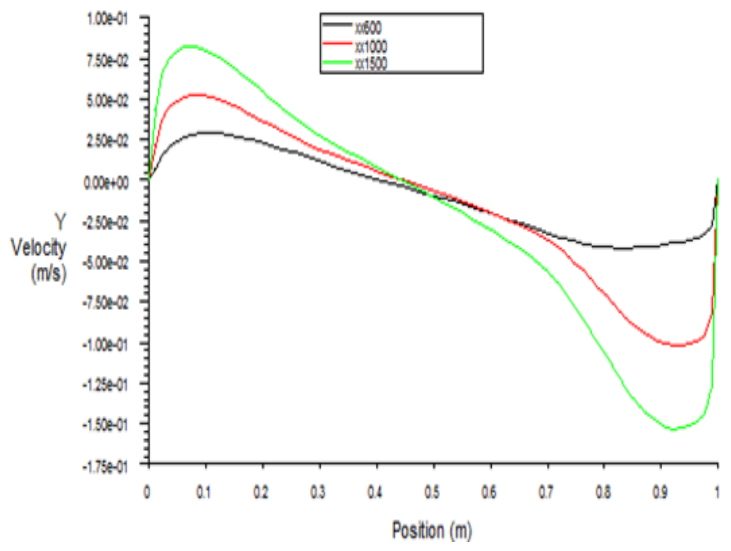


Figure III-8 :Les profils de la vitesse sur une ligne horizontale au centre de la cavité à $y=0.5$ pour première configuration

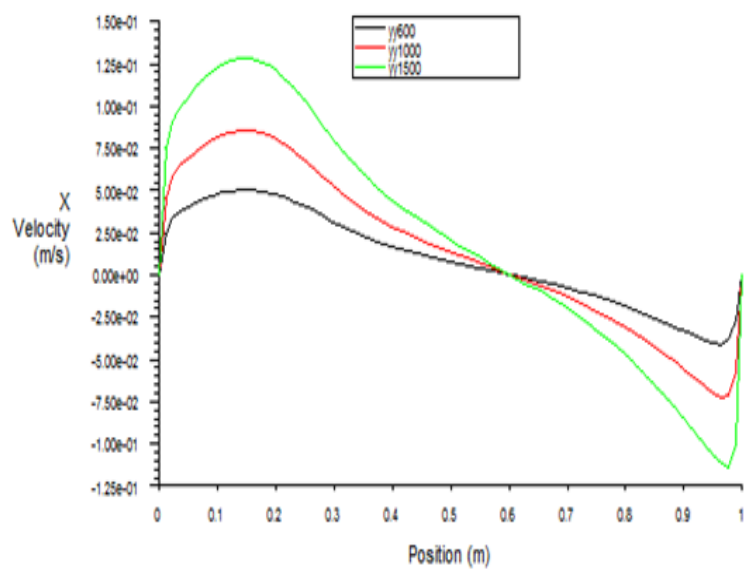


Figure III-9 :Les profils de la vitesse sur une ligne vertical au centre de la cavité à $x=0.5$ pour deuxième configuration

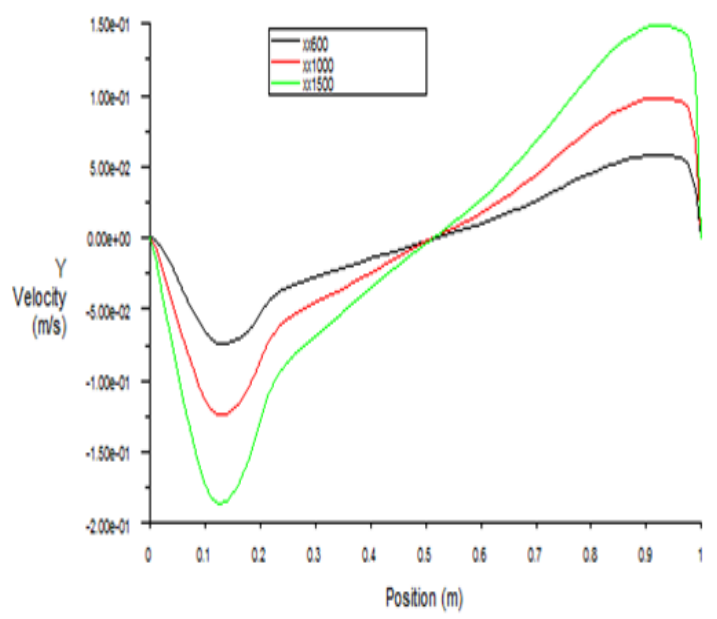


Figure III-10 :Les profils de la vitesse sur une ligne horizontale au centre de la cavité à $y=0.5$ pour deuxième configuration

Conclusion Générale

Conclusion générale :

Au cours de cette étude, les notions de base de la ventilation et ces différents types d'utilisations sont présentées. Trois mécanismes de ventilation sont distingués : ventilation naturelle, ventilation mécanique et ventilation mixte avec les différents types de bouches de soufflage et de repris d'air utilisées.

Le travail est porté sur l'étude numérique en deux dimensions de la ventilation mixte en régime laminaire dans une cavité ventilée. La première géométrie étudiée est une cavité carrée équipée par deux ouvertures sur les parois verticales : l'une est située au coin supérieur gauche, pour le soufflage et l'autre située au coin inférieur droit pour l'évacuation.

La deuxième géométrie étudiée est la même cavité carrée avec les ouvertures placées au plafond (paroi horizontale supérieure) : l'une située au gauche du plafond pour le soufflage et celui de l'évacuation située sur le même plafond dans le côté droit.

La résolution du modèle mathématique décrivant le présent problème notamment l'équation de continuité et l'équation de Navier-Stoke était effectuée par le logiciel Fluent. Ce dernier est basé sur la résolution par la méthode des volumes finis.

Le modèle élaboré permet de déterminer les champs dynamiques et les vecteurs de vitesse, les lignes de trajectoire et aussi les profils des vitesses pour toutes les configurations.

Lors de ce travail, nous avons étudié l'influence de la vitesse d'entrée, sur la dynamique de l'air à l'intérieure de la cavité.

D'après des résultats numériques on peut conclure que le mouvement d'air augmente par l'augmentation de la vitesse d'entrée à l'intérieur des deux configurations avec une structure dynamique différente. L'étude de position des ouvertures dans la cavité nous a permis de constater la grande influence sur la circulation du fluide interne. Ceci est bien illustré dans les graphes des résultats des profils des vitesses et les champs dynamiques. Cela indique aussi que la ventilation dans la cavité doit être régularisée suivant la configuration des positions des ouvertures et les valeurs des vitesses d'entrée, afin d'assurer des conditions confortables aux occupants au sein du local.

Références bibliographiques :

- [1] Pierre Lajoie, M.D., Jean-Marc Leclerc, bio., Marion Schnebelen, E.N.T.E.S.(2006).ventilation bâtiments d'habitation :Impacts sur la santé respiratoire des occupants .<https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/490-VentilationBatimentsHabitation.pdf>. pIII (consulté le juin2020).
- [2] Pierre Lajoie, M.D., Jean-Marc Leclerc, biol., Marion Schnebelen, E.N.T.E.S.(2006).ventilation bâtiments d'habitation :Impacts sur la santé respiratoire des occupants .<https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/490-VentilationBatimentsHabitation.pdf>.page 3 (consulté le juin2020).
- [3] Guillaume, B.,(mai 2012), Fiche n° 3 :La ventilation dans les bâtiments, http://www.nouvelle-aquitaine.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/D_BROCHURE_VENTILATION.pdf ,page 2(consulté le mai 2020)
- [4]<https://energieplus-lesite.be/techniques/ventilation8/ventilation-hygienique/principes-de-base-de-la-ventilation/#> (consulté le mai2020).
- [5] T.ROBITAILLE,M.HUZE,P.IBARCQ., (2002),solutions de ventilation dans l'habitat individuel , https://www.costic.com/sites/default/files/upload/telechargements/a5_ventilation_costic.pdf , page 8-9-10-11 (consulté le mai2020).
- [6] Saheb, B ., larab, N., Etude et simulation de ventilation d'un local ,projet fin d'étude master ,génie mécanique énergétique, université de bouiraaklimouhandoulhaj ,(septembre2018), p 14.
- [7]https://www.xpair.com/lexique/definition/bouche_de_soufflage.htm#:~:text=La%20bouche%20de%20soufflage%20est,l'air%20mais%20le%20diffusent. (consulté le avril 2020).
- [8] <https://energieplus-lesite.be/techniques/ventilation8/ventilation-hygienique/principes-de-base-de-la-ventilation/#> (consulté le avril 2020).
- [9] Choui .H, ferrchi .K Etude ventilation dans une enceinte fermée ,master 2,génie mécaniqueIsolation thermique et conditionnementd'air ,université de abdeelhamidibenbadiss de mostaganem,(juin 2017),,p 13-14-15.
- [10]SchlichtingHerrmann, Gersten Klaus .(2000), Théorie des couches limites,<https://www.thermal-engineering.org/fr/quest-ce-que-le-nombre-de-reynolds-definition/> , (consulte le juin 2020).
- [11] Trabelsi .A.,Etude de léchange thermique dans une cavité rectangulaire aves deux côtés partiellement actifs , magister,énergétique et procédé,UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA , (mai 2015),p23.
- [12] Medjehed .B., méthode de volume fini ,université mostaganem, master1,(2020),p4.
- [13]Saheb, B ., larab, N.),Etude et simulation de ventilation d'un local ,projet fin d'étude master ,génie mécanique énergétique, université de bouiraaklimouhandoulhaj ,(septembre2018 p 45-46.
- [14] Chaour.Minteraction structures tourbillonnaires avec la couche limite dans une cavité différentiellementchauffée ,magister, énergétique appliqué en engineering, université mentouricantaine, ,(2010), p34-37.