



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
People's Democratic Republic of Algeria
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministry of Higher Education and Scientific Research
جامعة محمد البشير الإبراهيمي - 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 MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Energétique

Thème

*Etude de l'écoulement dans une cavité
cubique entraînée*

Présenté par :

- ❖ SOUHILA BENDRISS
- ❖ MANSOURIA BENAIED

Soutenu le 25/06/2020 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

*Avant tout nous tenons à remercier **ALLAH** qui nous a aidé et nous a donné la patience et le courage de finir le mémoire.*

*Nous tenons à remercier vivement **Prof. Houat Samir** notre Rapporteur qui a fourni des efforts énormes, par ses informations ses conseils et ses encouragements.*

Nos remerciements les plus vifs s'adressent aux messieurs le président et les membres de jury d'avoir accepté. D'examiner et d'évaluer notre travail

Nous tenons à remercier aussi tous les professeurs de département de Génie Mécanique, et tous ceux qui de près et de Loin ont contribué à la réalisation de cette mémoire.



Dédicaces

*Nous dédions ce modeste travail à nos chers parents
Pour leur soutien, leur patience, leur sacrifice et leur amour, vous
méritez tout éloge, vous qui avez fait de nous ce que nous sommes
maintenant*

*Nous espérons être l'image que vous êtes fait de nous, que dieu
vous garde et vous bénisse.*

*Nous dédions aussi ce travail à nos chers frères et sœurs, pour
leur affection et leur encouragement qui ont toujours été pour
nous des plus précieux*

Que ce travail soit pour vous le gage de notre profond amour

A tous nos amis

A tous ceux qui nous ont aidés.

A tous ceux que nous aimons

SOUHILA BENDRISS

MANSOURIA BENAIED



Résumé

Le travail exposé dans ce mémoire, porte sur l'étude numérique des caractéristiques dynamiques d'un écoulement laminaire à travers deux configuration : une cavité carre entraînée en 2D et une cavité cubique entraînée en 3D. L'analyse de l'écoulement est effectuée en fonction du nombre de Reynold.

La simulation effectuée par le code de calcul Fluent, a été utilisée pour résoudre l'équation de continuité et quantité de mouvement dans le cas du régime laminaire. Les résultats de l'analyse CFD pour la configuration géométrique étudiée sont présentés sous forme des lignes de courant, des contours de vorticité, des trajectoires par grandeur du tourbillon, de champ de vitesse et des profils de vitesse au milieu de la cavité.

La comparaison entre les résultats de la configuration 2-D et ceux du plan médian de la cavité XY à $Z=0.5$, a révélé les effets en trois dimensions importantes qui apparaissent par rapport à la configuration simplifiée en deux dimensions, sauf pour les Reynolds faible.

Mots clés : cavité entraîné par couvercle, cavité carré, cavité cubique

Abstract:

The work exposed in this thesis, concerns the numerical study of the dynamic characteristics of a laminar flow through two configurations: a square Lid-driven cavity in 2D and a cubic lid-driven cavity in 3D. The flow analysis is performed as a function of the Reynolds number.

The simulation performed by the fluent code was used to solve the continuity equation and the momentum in the case of the laminar regime. The results of the CFD analysis for the geometric configuration studied are presented in the form of current lines, vorticity contours, trajectories by size of the vortex, velocity field and velocity profiles in the middle of the cavity.

The comparison between the results of the 2-D configuration and those of the median plane of the XY cavity at $Z = 0.5$, revealed the important three-dimensional effects which appear compared to the simplified two-dimensional configuration, except for the low Reynolds number.

Keywords: Lid- driven cavity, square cavity, cubic cavity.

ملخص

يتعلق العمل المكشوف في هذه الرسالة بالدراسة العددية للخصائص الديناميكية للتدفق الصفحي من خلال تكوينين:

تجويف مربع مدفوع بالغطاء في ثنائي الأبعاد وتجويف مكعب مدفوع بغطاء ثلاثي الأبعاد. يتم تنفيذ تحليل التدفق كدالة لرقم رينولدز

تم استخدام المحاكاة التي أجراها الرمز بطلاقة لحل معادلة الاستمرارية والزخم في حالة النظام الصفح

للتكوين الهندسي الذي تمت دراسته في شكل خطوط حالية، ومحيط دوامي، CFD يتم عرض نتائج تحليل ومسارات حسب حجم الدوامة، ومجال السرعة وملامح السرعة في منتصف التجويف

عن $Z = 0.5$ عند XY كشفت المقارنة بين نتائج التكوين ثنائي الأبعاد ونتائج المستوى المتوسط لتجويف

التأثيرات ثلاثية الأبعاد المهمة التي تظهر مقارنة بالتكوين المبسط ثنائي الأبعاد ، باستثناء عدد رينولدز المنخفض

كلمات مفتاحية : تجويف مدفوع بالغطاء ، تجويف مربع ، تجويف مكعب.

Sommaire

Sommaire.....	I
Liste des notations et symbole.....	II
Liste des Figures.....	III
Liste des Tableaux.....	IV
Introduction générale.....	1

Chapitre I

GEOMETRIE ET FORMULATION MATHEMATIQUE

I.1. Introduction.....	2
I.2. Définition du problème.....	5
I. 3. Etude bibliographie	6
I.4.Equation en général.....	7
I.4.1. Equation de continuité (conservation de la masse).....	7
I.4.2. Equation de conservation de la quantité de mouvement.....	7
I.5. Hypothèse simplificatrices.....	7
I.6. Configuration 2D.....	8
I.6.1. Géométrie.....	8
I.6.2.Formulation mathématique.....	8
I.6.3. Formulation adimensionnelle.....	9
I.6.4. Condition aux limites.....	9
I.7.Configuration 3D.....	10
I.7.1. Géométrie.....	10
I.7.2. Formulation mathématique.....	10
I.7.3. Formulation adimensionnelle.....	11
I.7.4. Condition aux limites.....	11
I.7. Formulation de la fonction courant-vorticité.....	12
I.8. Calcul du nombre de Reynolds.....	12
I.9.Conclusion.....	13

Chapitre II

RESOLUTION NUMERIQUE

II.1.	Introduction.....	15
II.2.	Méthodes des volumes finis (MDF).....	15
II.3.	Description de Gambit et de fluent.....	15
II.3.1.	Définition de Gambit.....	15
II.3.2.	Interface et étapes de Gambit.....	15
	1. Lancer Gambit.....	15
	2. Construction de la géométrie.....	17
	3. Génération de maillage.....	17
	4. Les conditions aux limites.....	17
	5. Exportation du maillage de Gambit.....	17
II.4.	Le solveur fluent.....	18
II.4.1.	Les étapes de solveur fluent.....	18
	1. Lancer Fluent.....	18
	2. Importation de la géométrie.....	19
	3. Vérification du maillage.....	19
	4. Vérification des unités et des dimensions.....	20
II.4.2.1.	choix du solveur.....	20
II.4.2.2.	Choix du régime d'écoulement.....	21
II.4.3.1.	Les caractéristiques des matériaux.....	21
II.4.3.2.	Les conditions opératoires.....	21
II.4.3.3.	Conditions aux limites.....	22
II.4.4.	Contrôle de la solution.....	22
	1. Initialisation.....	23
	2. Choix des critères de convergence.....	23
	3. Lancement du calcul de convergence.....	24
	4. Allures de l'évolution des résidus de calcul.....	24

Conclusion.....	25
-----------------	----

Chapitre III

RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.1. Introduction.....	27
III.2. Cas de la cavité carrée en configuration 2-D.....	27
III.2.1. Validation de maillage.....	27
III.2.2. Discussion sur les résultats obtenus avec l'effet du Reynold sur la structure d'écoulement.....	28
III.2.3. Discussion sur résultats	31
III.3. Cas de la cavité cubique en configuration 3-D.....	32
III.3.1. validation de maillage	32
III.3.2. Discussion sur résultats	35
III.4. Comparaison entre deux configurations	35
III.4.1. Les résultats comparatifs dans plan médiane xy $Z=0.5$	36
III.4.2. Discussion sur résultats.....	36
Conclusion générale.....	42
Références Bibliographique.....	43

❖ Liste des notations et symboles

g : accélération de la pesanteur	(m.s ⁻²)
H : hauteur de la cavité	(m)
L : longueur de la cavité	(m)
u,v,w : Composante du vecteur vitesse	(m.s ⁻¹)
U, V, W : composantes adimensionnelles du vecteur vitesse	
x,y,z : coordonnées cartésiennes	(m)
X, Y,z : coordonnées cartésiennes adimensionnelles	
P : champ de pression Pa	
t : Temps	(s)

• Symboles grecs

ν : Viscosité cinématique	[m ² /s]
μ : Viscosité dynamique	[kg/ m .s]
ρ : Masse volumique	[kg/m ³]
τ : Temps adimensionnel	
ω : Fonction de courant adimensionnelle	
φ : Vorticité adimensionnelle	
$\Delta\tau$: Incrément du temps adimensionnel	

- **Nombre sans dimension**

Re : Nombre de Reynolds

Indices

2D : configuration bidimensionnelle.

3D : configuration tridimensionnelle.

Opérateurs :

∇ : operateur gradient.

LISTE DES FIGURES

Liste des figures

CHAPITRE I

Figure (I.1) : Configuration physique en 2D.....	5
Figure (I.2) Schéma de la cavité carré du problème étudié.....	8
Figure (I.3) Géométrie du problème.....	10

CHAPITRE II

Figure (II.1) Interface de GAMBIT.....	16
Figure (II.2) Construction de la géométrie.....	16
Figure (II.3) génération de maillage.....	17
Figure(II.4) Incorporation des conditions aux limites.....	18
Figure(II.5) Exportation du maillage.....	18
Figure(II.6) Enregistrement du fichier.....	18
Figure(II.7) Lancement du logiciel Fluent.....	19
Figure(II.8) Importation de la géométrie.....	19
Figure(II.9) Vérification du maillage.....	20
Figure(II.10) Choix du solveur.....	20
Figure(II.11) Choix de modèle laminaire.....	21
Figure(II.12) Les caractéristiques du matériau.....	21
Figure(II.13) Choix des conditions opératoires.....	22
Figure(II.14) La vitesse d'entrée (conditions aux limites).....	22
Figure(II.15) Choix d'ordre d'équation.....	23
Figure (II.16) Initialisation de calcul.....	23
Figure(II.17) Choix des critères de convergence.....	23

LISTE DES FIGURES

Figure (II.18) Choix du nombre des itérations.....	24
Figure(II.19) Allures de l'évolution des résidus de calcul pour maillage 61*61*61.....	24

CHAPITRE III

Fig.III.1 Profils des vitesses pour différentes maillage pour Re = 100.....	27
Fig.III.2 Profils des vitesses pour différentes maillage pour Re = 400.....	28
Fig.III.3 Profils des vitesses pour différentes maillage pour Re = 600.....	28
Fig.III.4 Profils des vitesses pour différentes maillage pour Re = 1000.....	28
Fig.III.5 Ligne de courant (a) Re=100, (b) Re=400, (c) Re=600 et (d) Re=1000.....	29
Fig.III.6 Champ de vitesse (a) Re=100, (b) Re=400,(c) Re=600 et (d) Re=1000.....	29
Fig.III.7. Trajectoire par magnitude du tourbillon pour (a) Re=100, (b) Re=400,(c) Re=600 et (d) Re=1000.....	30
Fig.III.8 Streamline pour déférent nombre de Reynolds.....	32
Fig.III.9 Trajectoire par magnitude du tourbillon pour différent nombre de Reynolds.	33
Fig.III.10 Iso-volume en fonction de Reynolds.....	33
Fig.III.11 Contour de vorticité et de vecteur de vitesse en fonction de Reynolds.....	34
Fig.III.12 Comparaison contour de vorticité dans plan x-y (Reynold 100).....	37
Fig.III.13 Comparaison contour d vorticité dans plan x-y(Reynold 400).....	37
Fig.III.14 (suite) comparaison contour d vorticité dans plan x-y (Reynold 600).....	37
Fig.III.15 (suite) comparaison contour d vorticité dans plan x-y (Reynold 1000).....	38
Fig.III.13 comparaison Trajectoire par magnitude du tourbillon dans plan x-y (Reynold 100).....	39
Fig.III.15 comparaison Trajectoire par magnitude du tourbillon dans plan x-y (Reynold 400).....	39
Fig.III.16 comparaison Trajectoire par magnitude du tourbillon dans plan x-y (Reynold 600).....	39
Fig.III.17 (suite) comparaison Trajectoire par magnitude du tourbillon dans plan x-y (Reynold 1000).....	40

LISTE DES FIGURES

Liste des tableaux

CHAPITRE I

Tableau(I.2) : les conditions aux limites cavité carrée (2D).....	9
Tableau (I.1) : les conditions aux limites.....	12

CHAPITRE III

Tableau(III.1) : Valeurs de vitesse U à X=0.5 et Y= 0.5 pour différents valeurs du nombre de Reynold $Re = 1.10^2$ à 1.10^3	29
Tableau (III.2) : comparaison entre cavité carre entraînée 2-D et Cavité cubique entraînée.....	31
Tableau (III. 3) : Valeurs de vitesse U à X=0.5 et Y=0.5 pour différents valeurs du nombre de Reynold $Re = 1.10^2$ à 1.10^3	39

LISTE DES FIGURES

Introduction générale

Introduction générale :

La dynamique des fluides dans les cavités fermées est techniquement et scientifiquement un problème fondamental dans le domaine de la mécanique des fluides. En outre, il a reçu une attention importante pendant de nombreuses années non seulement pour sa géométrie simple, mais aussi pour l'importance pratique du sujet afin d'explorer les phénomènes physiques qui se produisent tels que la dynamique du vortex, la stabilité hydrodynamique et la bifurcation de l'écoulement [1-8], etc.

Le type d'écoulement entraîné par les frontières mobiles présente de nombreuses similitudes avec de nombreuses situations d'ingénierie, notamment : le refroidissement des composants électroniques, la ventilation, séchage, surface des corps d'avion et les engins roulant (voiture, train. ...).

La cavité unilatérale entraînée par un couvercle, problème bien connu, est depuis longtemps un exemple de référence idéal pour tester divers codes numériques. Le cas où l'écoulement est induit par le mouvement tangentiel du couvercle supérieur de la cavité, a d'abord été initié numériquement et analytiquement par Burggraf [1] pour une cavité avec un rapport d'aspect unitaire, et numériquement par le célèbre travail de Ghia et al. [5]. En outre, un ensemble d'expériences ont été menées par Koseff et Street [2, 3], Prasad et Koseff [4] pour des cavités avec différents rapports d'aspect dans le sens de la portée.

Dans le présent travail, on s'intéresse à une cavité carrée fermée entraînée par un couvercle. Le mouvement de la paroi supérieure est animée d'une vitesse de translation uniforme, les autres parois sont immobiles. L'étude sera effectuée en deux et trois dimensions pour un nombre de Reynolds variant de $Re=100$ à 1000 .

Le travail dans ce mémoire est organisé en trois chapitres :

Le premier chapitre, présente une définition du problème des écoulements dans une cavité entraînée suivi d'une synthèse bibliographique de certains travaux dans ce domaine.

Le modèle physique choisi, à savoir les équations gouvernantes ainsi que les conditions aux limites associées notamment les différentes équations de conservation seront aussi présentées.

Dans le deuxième chapitre la méthode de résolution du problème étudié sera présentée notamment la méthode des volumes finis en utilisant le logiciel Fluent et Gambit. Un aperçu des étapes à suivre (paramètres et application choisis) sera aussi présenté.

La validation de notre programme de calcul. Consacré à une présentation du logiciel

INTRODUCTION GENERALE

Gambit sur lequel la géométrie du problème considéré sera faite, et du code fluent, avec lequel les équations gouvernantes seront résolues.

Dans le Troisième chapitre, le choix du maillage, la validation physique du calcul seront traités, ainsi que les résultats et discussion sur l'étude présentée en deux et trois dimension en fonction du nombre de Reynolds

Enfin, une conclusion générale résumant les principaux résultats de notre travail.

Chapitre I

GEOMETRIE ET FORMULATION

MATHEMATIQUE

I.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter une revue bibliographique de quelques études précédentes sur le problème de la cavité entraînée. Une présentation du problème physique étudié et des deux configurations géométriques (2D et 3D) considérées dans ce mémoire sera effectuée.

Une description de l'ensemble des hypothèses simplificatrices qui vont nous permettre de réduire les équations générales de conservation décrivant l'écoulement seront citées notamment, l'équation de continuité, de quantité de mouvement accompagnées par les conditions aux limites prises en considération pour chaque cas des deux configurations géométriques.

I.2 Définition du problème

Il s'agit d'un écoulement instationnaire et bidimensionnel d'un fluide visqueux et incompressible dans une cavité fermée. L'écoulement est engendré sous l'influence de la viscosité par le mouvement de la paroi supérieure qui est animée d'une vitesse de translation uniforme, les autres parois étant immobiles.

Le fluide est mis en mouvement par le déplacement vers la droite de la paroi supérieure, il adhère aux parois fixes. De ce fait, dans le cas d'une étude en deux dimensions dans une cavité carrée, un tourbillon central prend naissance puis se stabilise (Figure I.1). Deux autres tourbillons secondaires apparaissent sur les deux coins bas de la cavité. Les dimensions et les positions de ces tourbillons varient en fonction du nombre de Reynolds.

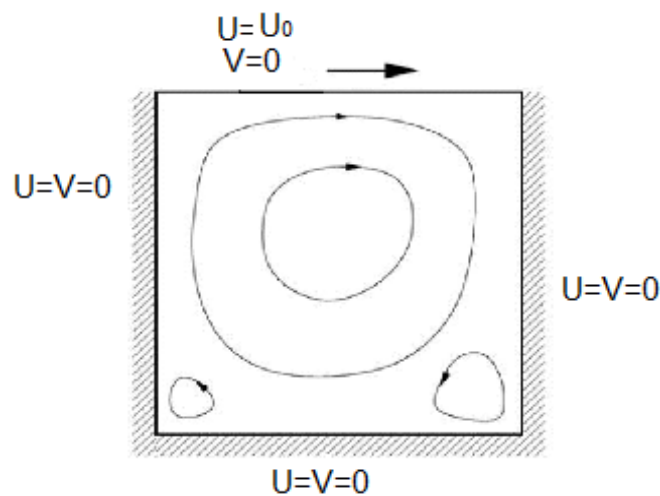


Figure I.1 : Configuration physique en 2D

I.3 Etude bibliographie

L'étude de la cavité carrée entraînée par un coté est utilisé maintenant comme un cas de test des méthodes numériques en géométrie 2D et même en 3D pour les écoulements visqueux incompressibles. L'étude de ce problème a été effectué par de nombreux auteurs pour les nombres de Reynold divers, y compris les résultats fondamentaux pour la dynamique non linéaire.

L'écoulement induit par le mouvement tangentiel du couvercle supérieur de la cavité, a d'abord été initié numériquement et analytiquement par **Burggraf [1]** pour une cavité avec un rapport d'aspect unitaire, et numériquement par le célèbre travail de **Ghia et al. [2]** ou ils ont appliqué une stratégie multi-grille et présenté une solution pour les nombres de Reynolds à partir de $Re = 100$ jusqu'à $Re=1000$.

Gupta et Kalita [3] ont utilisé une formulation vitesse-fonction de flux pour obtenir une solution précise de second ordre pour le numéro $100 \leq Re \leq 10000$ de Reynolds. Leur calcul a été fait de grille uniforme $161 * 161$.

Lima et al [4] ont utilisé la méthode des éléments finis à volume contrôlé et un élément à neuf nœuds pour étudier l'écoulement de fluide incompressible et visqueux à l'intérieur d'une cavité carrée pour $Re = 100, 400, 1000$ et 10000 . **Azzouz et Houat [5]** ont étudié numériquement l'écoulement dans une cavité carrée en 2D pour un Reynolds variant de $100 \leq Re \leq 50000$, en utilisant la méthode des volumes finis (FVM) et l'algorithme COUPLED pour traiter le couplage pression-vitesse avec un maillage de grille très fin utilisé ce qui a montré une grande efficacité en termes de stabilité pour les grandes valeurs du nombre de Reynolds. Une fine comparaison des résultats obtenus pour $Re \leq 35000$ a été bien présentée et discutée.

Une revue des études informatiques et également expérimentales sur l'écoulement de la cavité cubique entraîné par le couvercle. En outre, un ensemble d'expériences ont été menées par **Koseff et Street [6,7]**, **Prasad et Koseff [8]** pour des cavités avec différents rapports d'aspect dans le sens de la portée. Ces derniers ont étudié l'écoulement dans les cavités à couvercle en 3D avec $Re=3200, 5000, 7500, \text{ et } 10000$ en utilisant des méthodes expérimentales, ce qui améliore la recherche pour ces problèmes à des nombres modérés et élevés Reynolds avec des méthodes numériques. **Hachem et al [9]** Une discussion de l'utilisation exhaustive et la mise en œuvre de méthodes par éléments finis de stabilisation a été présentée pour la résolution de l'écoulement incompressible 3D en fonction du temps. De la même manière, le flux incompressible 2D dans la cavité entraînée a été calculé jusqu'à $Re=20000$. Cependant, les solutions pour $Re = 33000$ et

$Re = 50000$ étaient instables. Un schéma compact de différence centrale précis du quatrième ordre a été utilisé pour discrétiser la formulation en fonction de la vorticité.

Chicheportiche et al [10] ont étudié les instabilités de l'écoulement dans une cavité cubique avec des conditions aux limites périodiques d'envergure pour supprimer le rôle des parois d'extrémité à $Re = 1000$.

I. 4. Equation en général :

Le comportement dynamique du fluide est régi par les équations de Navier Stokes qui sont issus des lois de conservation de la masse et de la quantité de mouvement.

Elles se présentent sous la forme comme suit :

I.4.1. Equation de continuité (conservation de la masse) :

L'équation de continuité traduit le principe de conservation de la masse sur un volume élémentaire de fluide donné, cette équation peut être exprimée par la formule suivante :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{V}) = 0 \quad (\text{I.1})$$

I.4.2. Equation de conservation de la quantité de mouvement :

L'équation de conservation de quantité de mouvement pour un fluide newtonien se déduit de la relation fondamentale de la dynamique (aussi appelée seconde loi de newton), en l'appliquant dans le contexte des milieux continus :

$$\rho \frac{D\vec{V}}{Dt} = \rho \vec{g} - \nabla p + \mu \nabla^2 \vec{V} \quad (\text{I.2})$$

I.5. Hypothèse simplificatrices :

Les hypothèses simplificatrices seront utiles dans la modélisation mathématique de notre problème :

- Le fluide est considéré newtonien, la viscosité est constante $\nu = \text{cste}$.
- L'écoulement est incompressible $\text{div} \vec{V} = 0$ et la masse volumique $\rho = \text{cste}$.
- L'écoulement du fluide au sein de la cavité est laminaire.
-  coulement est permanent $\frac{\partial}{\partial t} = 0$.
- On néglige les forces de champs .
- Les propriétés physiques de l'écoulement sont constantes.

- Ecoulement isotherme $T=cste$.
- Ecoulement bidimensionnel (suivant les coordonnées cartésiennes x et y) pour le cas (2-D) cavité carrée, écoulement tridimensionnel (suivant les coordonnées cartésiennes x , y et z) pour le cas (3-D) cavité cubique.

I.6. Configuration 2D (cavité carrée) :

I.6.1 Géométries

Le problème physique considéré est schématisé sur la figure (I.1), il s'agit d'une cavité carrée bidimensionnelle de longueur L avec $L=1m$, rempli d'air avec paroi supérieure étant animée d'une vitesse horizontale u_x et les autres sont fixe.

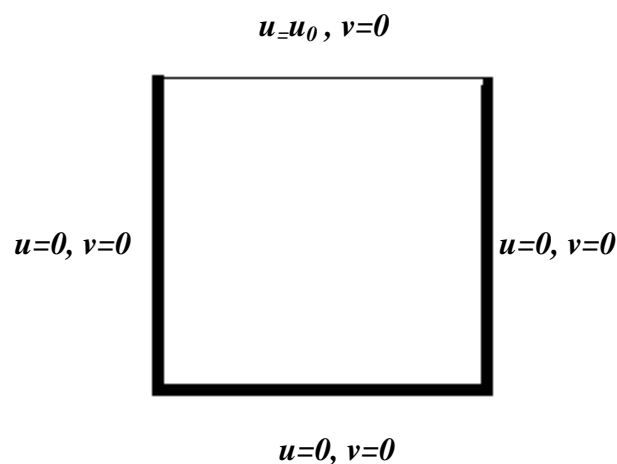


Figure I.2 : Schéma de la cavité carrée du problème étudié

I.6.2 Formulation mathématique

Le modèle mathématique du problème est étudié en résolvant les équations différentielles de la continuité (conservation de masse), de la quantité de mouvement en prenant en considération les hypothèses :

- **Equation de conservation**

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (\text{I.3})$$

- **Equation de constitué de mouvement**

$$\frac{u\partial u}{\partial x} + \frac{v\partial u}{\partial y} = \nu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right] - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (\text{I.4})$$

$$\frac{u\partial v}{\partial x} + \frac{v\partial v}{\partial y} = \nu \left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right] - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} \tag{I.5}$$

I.6.3 Formulation adimensionnelle

Pour rendre adimensionnelles les équations précédentes dans ce cas, on basera sur les grandeurs caractéristiques du problème, qui sont les suivantes :

$$U = \frac{u}{u_0} ; V = \frac{v}{u_0} ; P = \frac{P}{\rho u_0^2} ; X = \frac{x}{L} ; Y = \frac{y}{L} \tag{I.6}$$

En introduisant ces variables dans les équations (1.3 à 1.5), on obtient :

Forme adimensionnelle de l'équation de continuité

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0 \tag{I.7}$$

Forme adimensionnelle des equation de la quantité de mouvement

- **Equation de quantité de mouvement suivant << oX >>**

$$U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} = - \frac{\partial P}{\partial X} + \frac{1}{Re} \left[\frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} \right] \tag{I.8}$$

- **Equation de quantité de mouvement suivant << oY >>**

$$U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = - \frac{\partial P}{\partial Y} + \frac{1}{Re} \left[\frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} \right] \tag{I.9}$$

I.6.1.4. Condition aux limites :

Les conditions aux limites relatives à ce problème sous forme adimensionnelle prouvent être résumées sur le tableau :

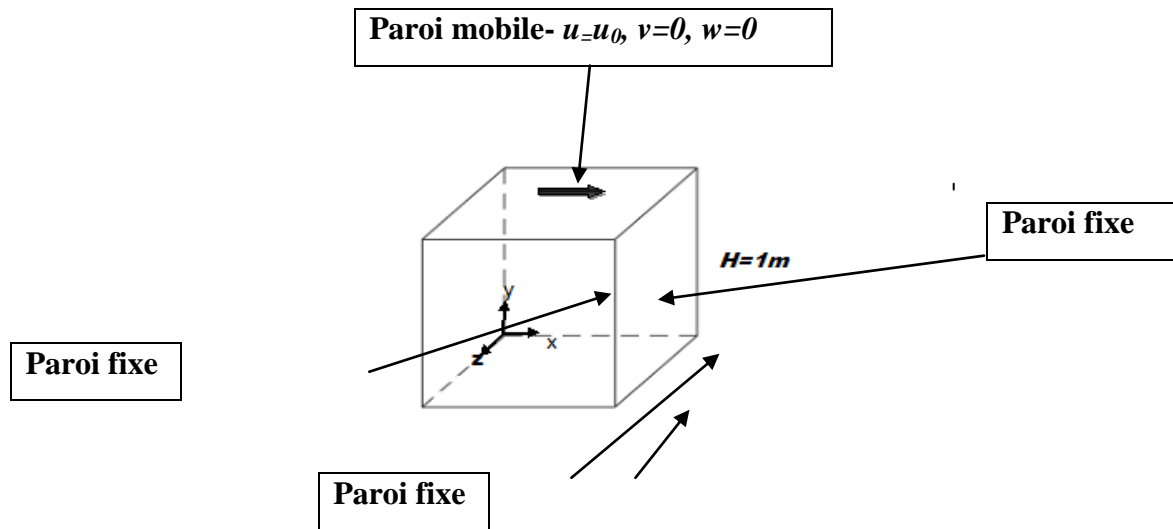
Tableau I.1 : Les conditions aux limites cavité carrée (2D)

Limite géométrique	Conditions dynamiques
Paroi supérieure : $Y=1, 0 < X < 1$	$U=1, V=0$
Paroi inférieure : $Y=0, 0 \leq X \leq 1$	$U=0, V=0$
Paroi droite : $X=1, 0 \leq Y \leq 1$	$U=0, V=0$
Paroi gauche : $X=0, 0 \leq Y \leq 1$	$U=0, V=0$

I.7. Configuration 3D

I.7.1 Géométries :

La géométrie du problème considéré est illustrée sur la figure I.3. Le but est d'étudier l'écoulement dans une cavité cubique ou modélisation est effectuée en trois dimensions. La cavité de côté $H=1m$ est remplie d'un fluide incompressible avec une paroi supérieure mobile qui se déplace avec une vitesse uniforme U_0 et les autres parois sont immobile par rapport à l'axe de référence.



Pour les parois fixes : $u=0, v=0, w=0$

Figure I.3 : Géométrie du problème

I.7.2 Formulation mathématique :

Modèle mathématique est basé sur les lois de la conservation de la masse et de la quantité de mouvement. Ces équations se résument pour le cas 3D comme suit :

- Equation de conservation

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (I.10)$$

- Equation de la quantité de mouvement

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = \nu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (I.11)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = \nu \left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right] - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} \quad (I.12)$$

$$u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = \nu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} \quad (\text{I.13})$$

I.7.3 Formulation adimensionnelle

Les variables spatiales et hydrodynamiques adimensionnelles caractérisant cet écoulement seront alors :

$$U = \frac{u}{u_0}; \quad V = \frac{v}{u_0}; \quad W = \frac{w}{u_0}; \quad P = P_0 / \rho u_0^2; \quad X = \frac{x}{L}; \quad Y = \frac{y}{L}; \quad Z = \frac{z}{L} \quad (\text{I.14})$$

- En tenant compte de ces changements de variables, les équations précédentes deviennent :

Forme adimensionnelle de l'équation de continuité

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} + \frac{\partial W}{\partial Z} = 0 \quad (\text{I.15})$$

Forme adimensionnelle des équations de la quantité de mouvement

- **Equation de quantité de mouvement suivant « ox »**

$$U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} + W \frac{\partial U}{\partial Z} = - \frac{\partial P}{\partial X} + \frac{1}{Re} \left[\frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Z^2} \right] \quad (\text{I.16})$$

- **Equation de quantité de mouvement suivant « oy »**

$$U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} + W \frac{\partial V}{\partial Z} = - \frac{\partial P}{\partial Y} + \frac{1}{Re} \left[\frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Z^2} \right] \quad (\text{I.17})$$

- **Equation de quantité de mouvement suivant « oz »**

$$U \frac{\partial W}{\partial X} + V \frac{\partial W}{\partial Y} + W \frac{\partial W}{\partial Z} = - \frac{\partial P}{\partial Z} + \frac{1}{Re} \left[\frac{\partial^2 W}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial Z^2} \right] \quad (\text{I.18})$$

I.7.1.4 Condition aux limites

Les conditions aux limites imposées à notre problème tridimensionnel sont illustrées dans le tableau :

Surface	Condition de vitesse
Surface haut	$U= 1, V=0, W=0$
Surface bas	$U=0, V=0, W=0$
Surface droite	$U=0, V=0, W=0$
Surface gauche	$U=0, V=0, W=0$
Surface avant	$U=0, V=0, W=0$
Surface arrière	$U=0, V=0, W=0$

Tableau (I.2) : les conditions aux limites appliquées

I.8. Formulation de la fonction courant et la vorticité :

Fonction de courant Ψ : est définie en générale en deux dimensions par :

$$d\Psi = u dy - v dx \quad , \quad d\Psi = 0$$

$$u = \frac{\partial\Psi}{\partial y} \quad et \quad v = -\frac{\partial\Psi}{\partial x} \quad (I.21)$$

La vorticité en deux dimensions est définie comme suit :

$$\nabla^2\Psi = -\omega \quad , \quad \frac{\partial^2\Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\Psi}{\partial y^2} = -\omega \quad (I.22)$$

I.9. Le nombre de Reynolds :

Le nombre de Reynolds Re permet de définir le régime d'un écoulement soit laminaire ou turbulent. il est représenté par le rapport entre les forces d'inertie et de la viscosité. Dans l'étude présente est une caractéristique fondamentale de l'écoulement.

Formule :

Les principales formules utilisées dans le calcul sont données ci-dessous

Le nombre de Reynolds est défini par : $Re = \frac{v l}{\nu} = \frac{\rho.l.v}{\mu}$

Re : Nombre de Reynolds

v : Vitesse débitante m/s.

ρ : Masse volumique en kg / m^3 .

μ : Viscosité dynamique ($kg / (m.s)$).

ν : Viscosité cinématique en m^2/s ,

L : longueur caractéristique en m.

1.10. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté une étude bibliographique sur le problème physique de l'écoulement dans les cavités carrées entrainer par un couvercle supérieur.

Nous avons présenté aussi les deux configurations physiques en deux et trois dimensions à étudier dans ce travail, ainsi que les hypothèses et les équations correspondantes.

Dans le prochain chapitre nous présenterons la méthode de résolution ainsi que les outils informatiques utilisés dans cette étude.

Chapitre II

RESOLUTION NUMERIQUE

II.1. Introduction

Différentes méthodes sont utilisées pour la résolution numérique des équations différentielles partielles (E.D.P) qui régissent les écoulements des fluides notamment le cas étudié dans ce mémoire de la cavité entraînée. Parmi ces méthodes, on peut mentionner : la méthode des différences finis, la méthode des éléments finis et la méthode de volume finis.

Le principe de ces méthodes est de transformer les équations différentielles en un système d'équation algébriques.

Dans ce chapitre, en se basant sur la méthode du volume finis (MVF). Cette dernière sera appliquée à la résolution de notre problème dynamique par le code commercial Fluent.

II.2. Méthodes des volumes finis (MDF)

La méthode des volumes finis consiste à définir à l'intérieur du domaine de calcul une grille de point appelés nœuds. Chaque nœud se trouve entouré par un volume élémentaire sur lequel on va intégrer les équations aux dérivées partielles.

II.3. Description du logiciel Gambit

II.3.1 Définition de Gambit :

Le logiciel Gambit est un préprocesseur qui permet de réaliser ou d'importer des géométries (surface ou volume) en 2D ou 3D simple ou complexes, il permet de créer plusieurs types de maillage (structuré, non structuré ou hybrides) en coordonnées cartésiennes, polaire, cylindrique ou axisymétriques et de spécifier le type de matériau (fluide ou solide).

Le Gambit regroupe trois fonctions essentielles :

- Définition de la géométrie du problème.
- Le maillage et sa vérification.
- La définition des frontières (des conditions aux limites) et définitions des domaines de calculs [9].

II.3.2. Interface et étapes de Gambit

II.3.2.1. Lancer Gambit

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

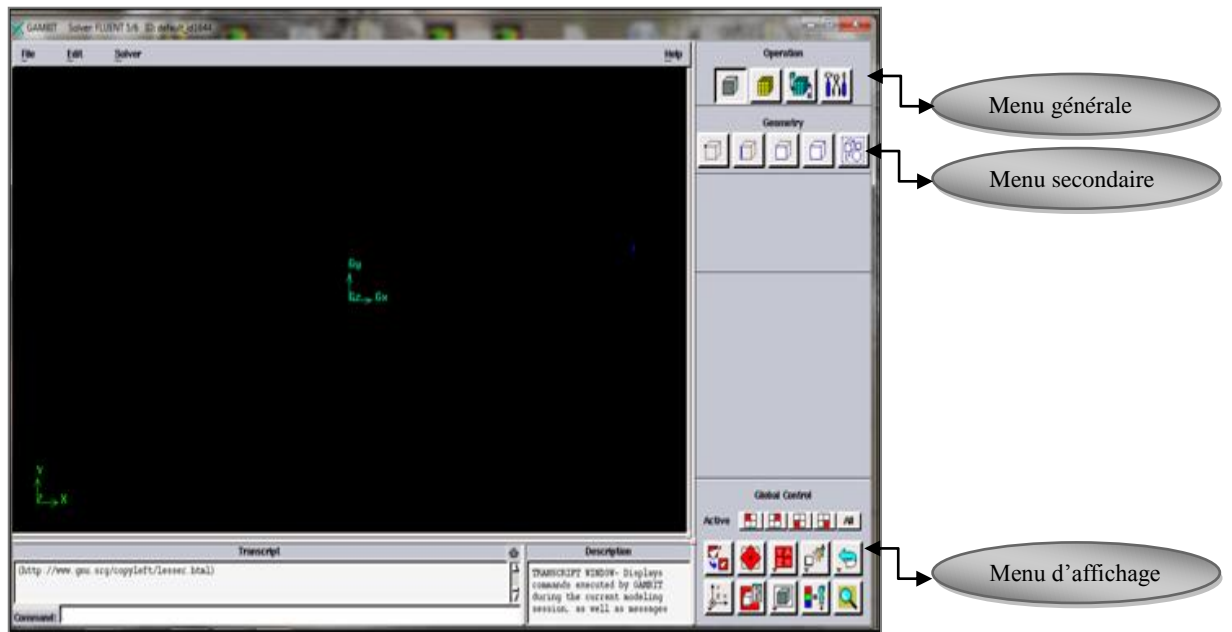


Figure II.1 : Interface de GAMBIT

II.3.2.2. Construction de la géométrie

Pour la création de notre géométrie sur gambit 3D on a choisi de procéder à partir des points par point, après les relier par les arrêtes (*edges*) dans les différentes directions0.

On passe après à réaliser les faces pour obtenir en dernier les volumes et la géométrie voulue.

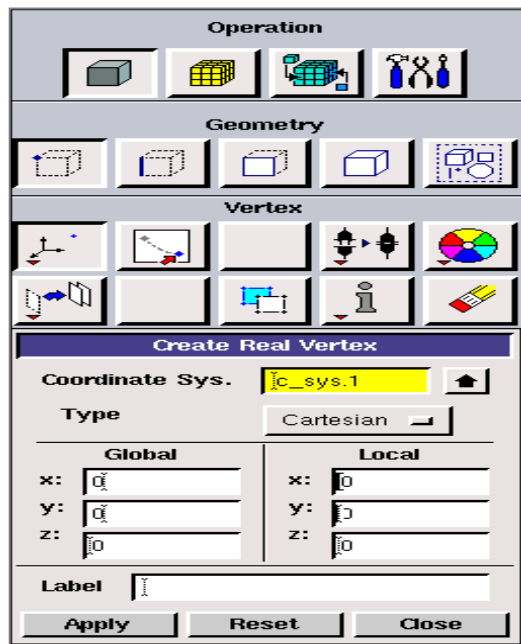


Figure (II.2) Construction de la géométrie

II.3.2.3. Génération de maillage

Dans notre cas en tient un maillage structuré de type *bi-exponent* avec 0.6 Ratio avec des mailles de taille d'intervalle différent pour bien préciser les écoulements sur la couche aux limites.

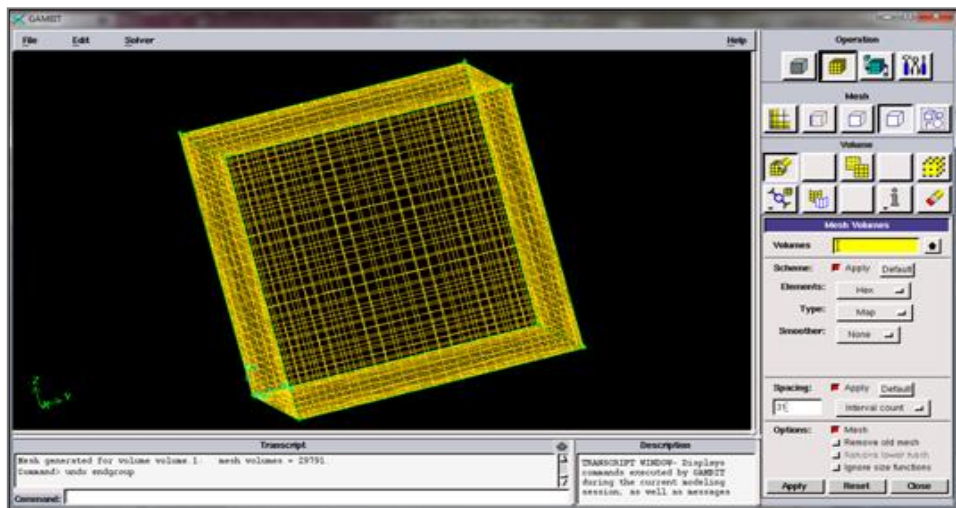


Figure (II.3) Génération de maillage

II.3.2.4. Les conditions aux limites

La figure suivante résume les différentes conditions qu'on peut imposer pour un écoulement d'air dans une cavité cubique entraînée.

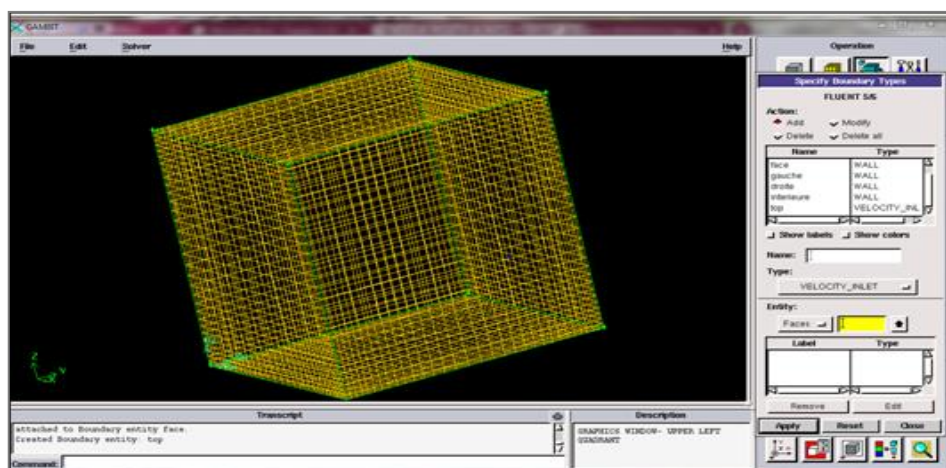


Figure II.4 : Incorporation des conditions aux limites

II.3.2.5. 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**

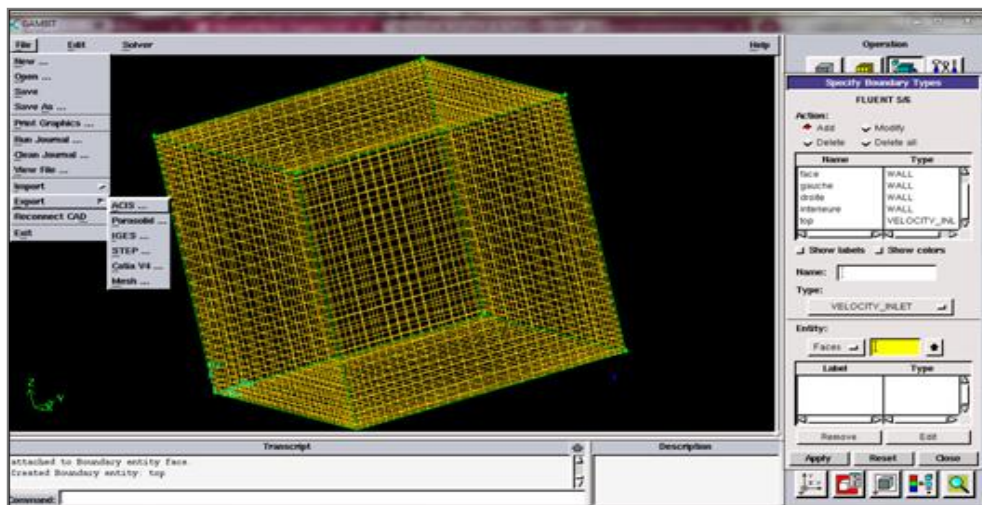


Figure II.5 : Exportation du maillage.

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

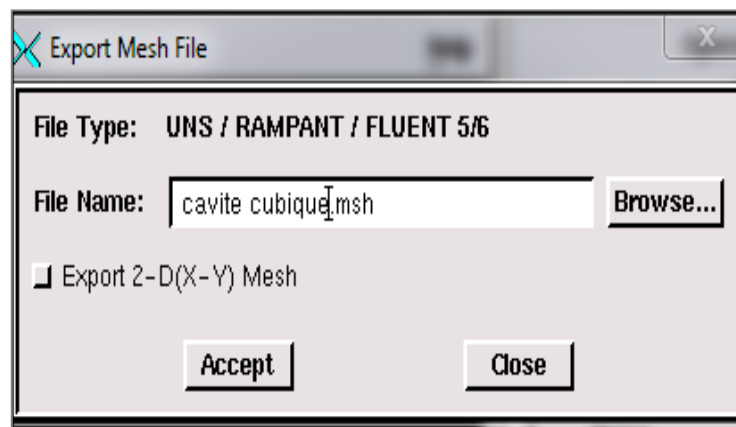


Figure II.6 : Enregistrement du fichier

II.4. Le solveur fluent :

Fluent est un logiciel qui permet de résoudre et simuler des problèmes de mécanique des fluides et de transferts thermiques par la méthode des volumes finis.

II.4.1. Les étapes de solveur fluent :

II.4.1.1. Lancer Fluent :

Puisque notre géométrie est en 3D, pour le domaine de calcul le choix de 3D double précision (3ddp) est prise pour notre étude. Il est donc distingué comme suit :

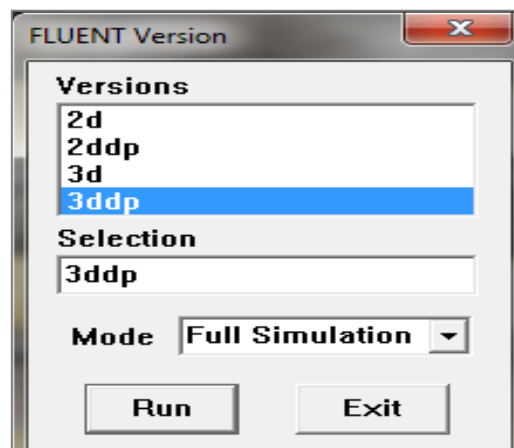


Figure II.7 : Lancement du logiciel Fluent.

II.4.1.2. Importation de la géométrie :

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

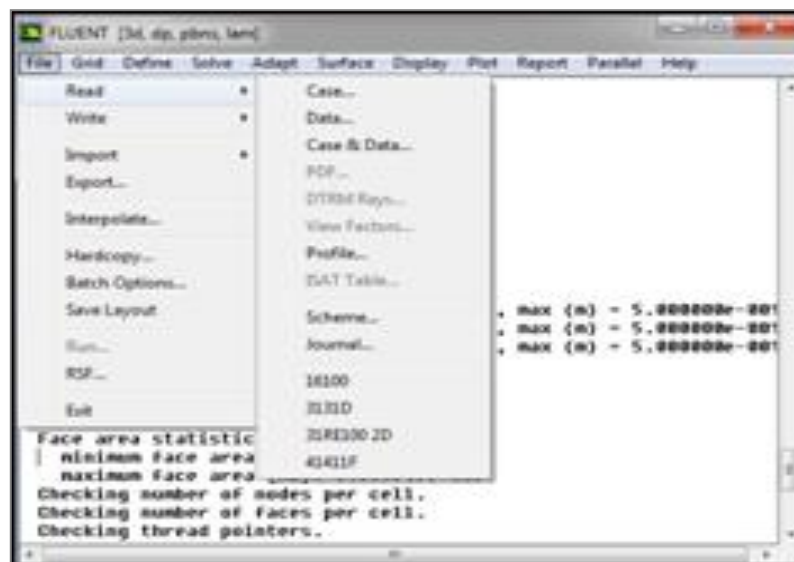


Figure II.8 : Importation de la géométrie.

Le principal menu que nous allons utiliser est le menu **Grid**.

II.4.1.3. Vérification du maillage :

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

Grid-Chek



Figure II.9 : Vérification du maillage

II.4.1.4. Vérification des unités et des dimensions :

Il faut vérifier que les dimensions et les unités affichées satisfassent aux dimensions du modèle physique de notre cas : **Grid – Scale**

Remarque : pour vérifier que la géométrie ressemble parfaitement à ce que l'on veut, il est possible de vérifier la forme de la grille en cliquant : **display-grid**

C'est le maillage vérifié avec l'échelle adaptée, on déterminera les paramètres de calcul qui se trouve dans le second menu **Define**.

II.4.2.1. Choix du solveur :

Ce menu permet de choisir le type de *solver* que l'on souhaite utiliser (schéma implicite, régime stationnaire, configuration 3D...) définit comme suit :

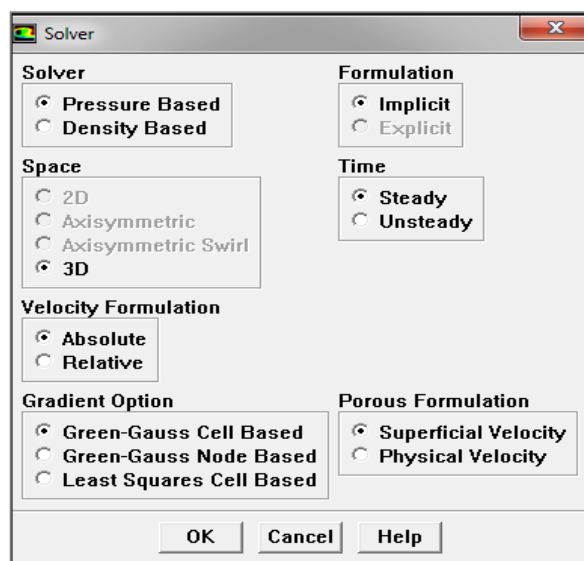


Figure II.10 : Choix du solveur

II.4.2.2. Choix du régime d'écoulement :

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

Define -- Models -- Viscous

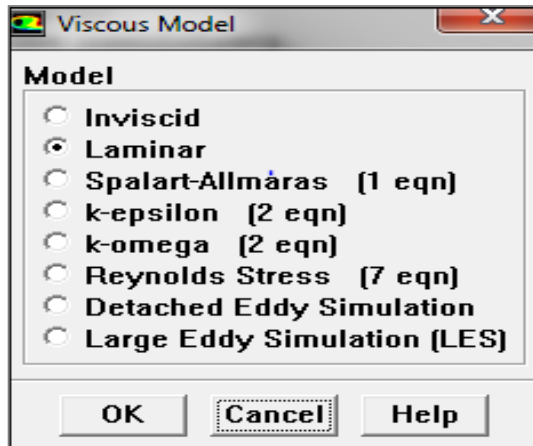


Figure II.11 : Choix de modèle laminaire

Dans le menu **Models** qui est à utiliser en fonction de l'énoncé du problème.

II.4.3.1. Les caractéristiques du matériau :

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

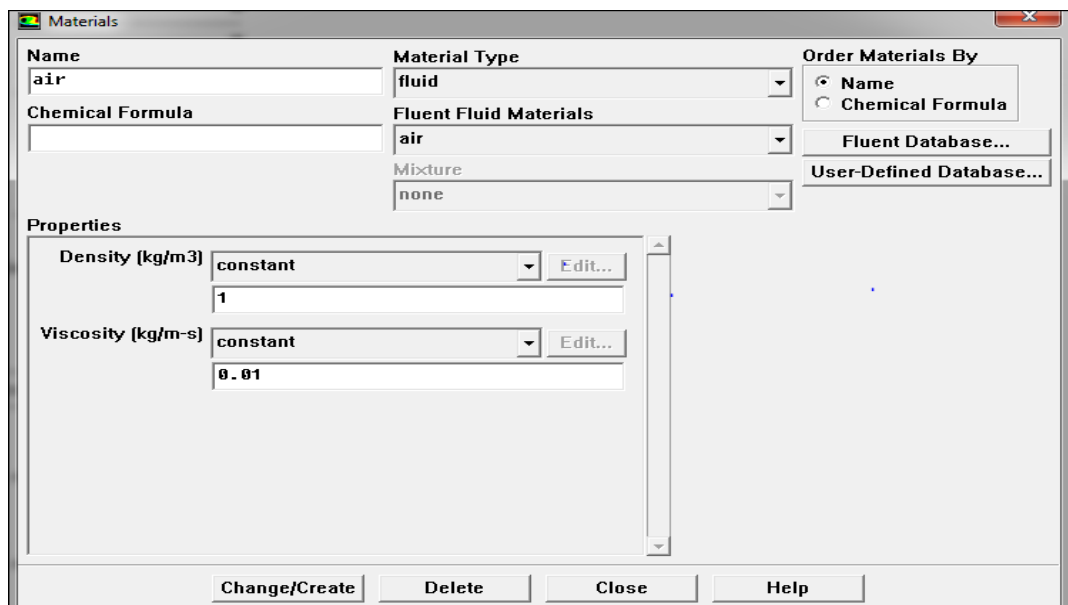


Figure II.12 : Les caractéristiques du matériau

II.4.3.2. Les conditions opératoires :

Cette activité permet de placer les conditions de fonctionnement :

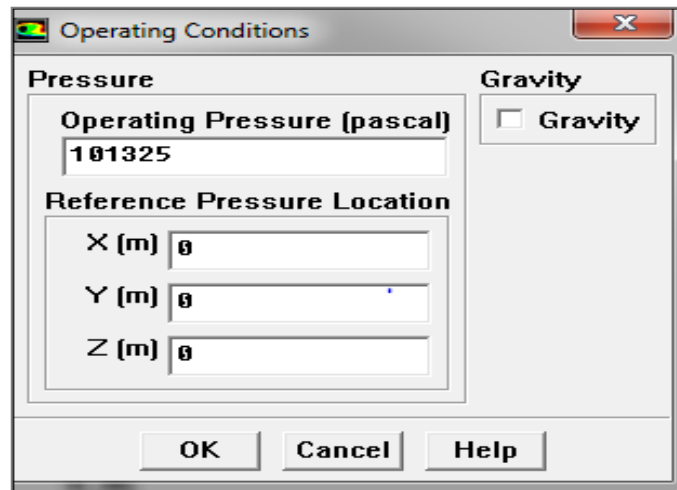


Figure II.13 : choix des conditions opératoires

II.4.3.3. Les conditions aux limites :

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

Define- Boundary conditions

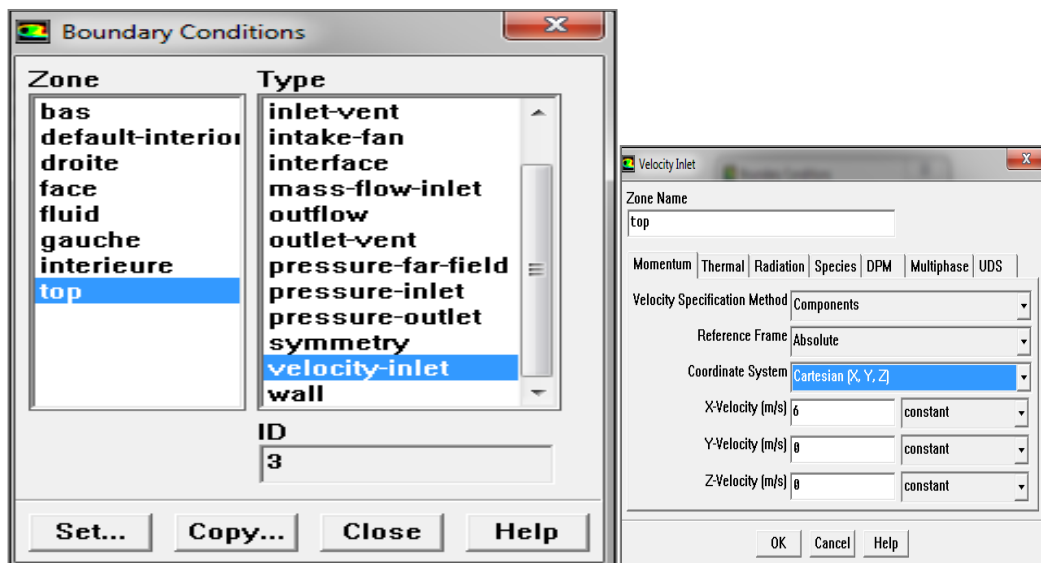


Figure II.14 : la vitesse d'entrée (conditions aux limites)

Le menu *Solve* permet de déterminer les différents éléments pour initialiser le Solveur de Fluent.

III.4.4.1. 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*

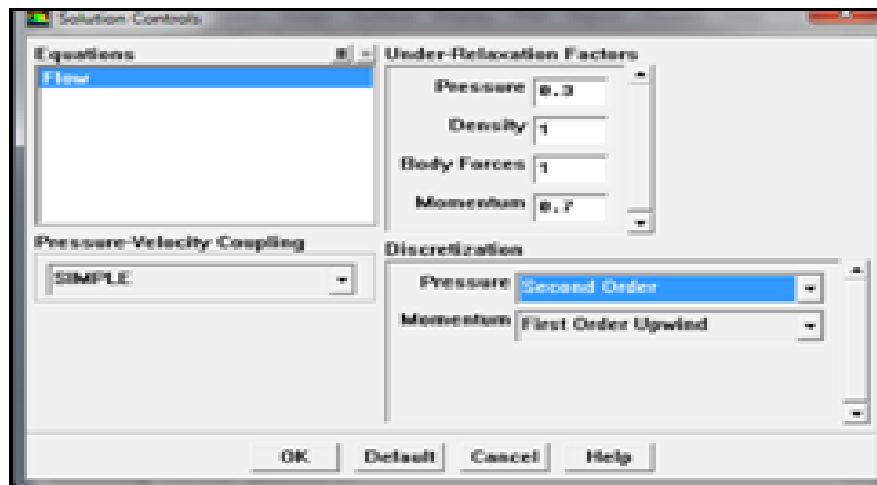


Figure II.15 : Choix d'ordre d'équation

II.4.4.2. Initialisation :

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

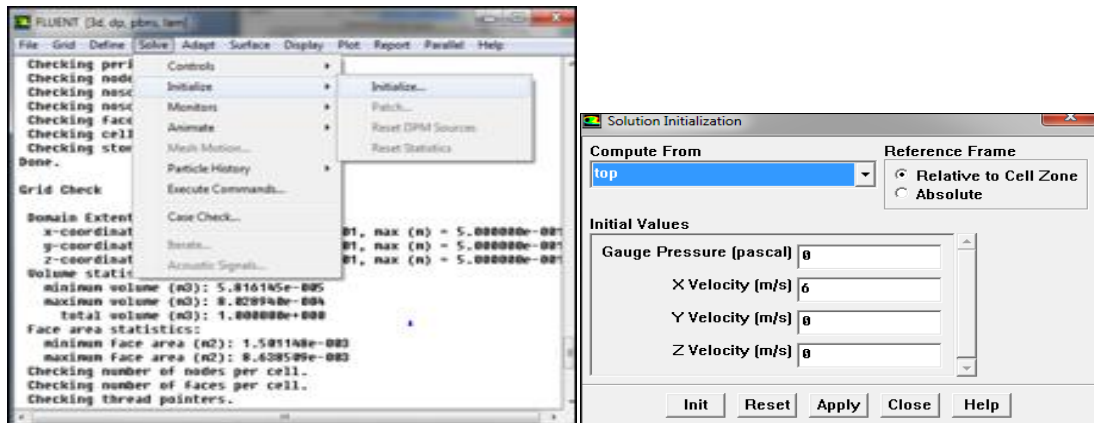
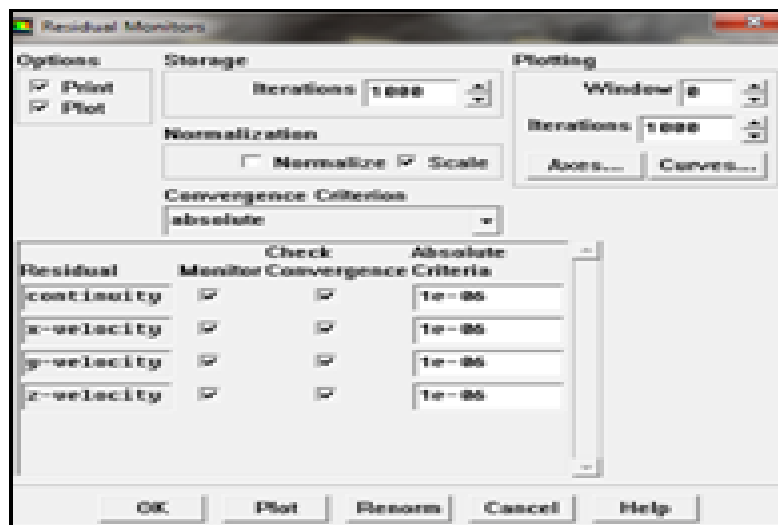


Figure II.16: initialisation de calcul

II.4.4.3. Choix des critères de convergence :



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

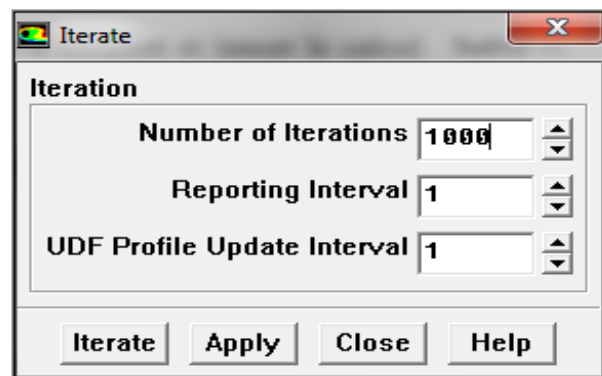
Figure II.17 : Choix des critères de convergence

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

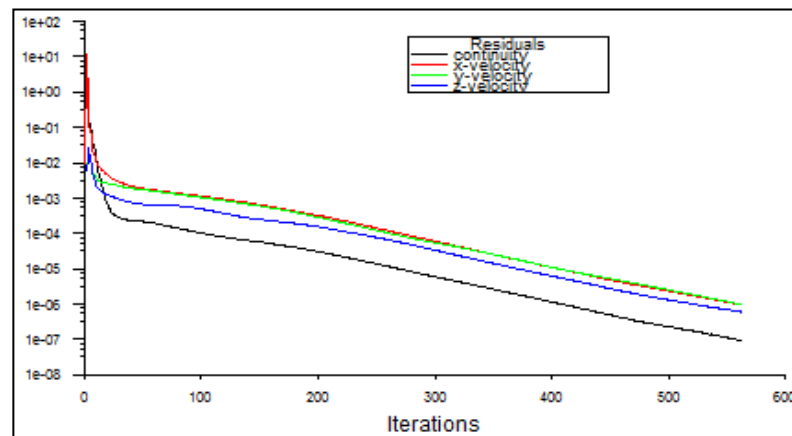
II.4.4.4. Lancement du calcul de convergence :

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

**Figure II.18** : Choix du nombre des itérations

II.4.4.5. Allures de l'évolution des résidus de calcul :

Le calcul convergé quand le résidu est stable,

**Figure II.19** : Allures de l'évolution des résidus de calcul pour maillage 61*61*61

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 3D pour toutes les variables sur les lignes ou plan créées.

Remarque :

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) et en démarre le module du logiciel fluent pour 2D.

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons formulé la procédure de la résolution d'un problème physique sur le logiciel Gambit/Fluent, correspondant de la création de la géométrie, la génération de maillage, l'exportation du fichier sur Gambit jusqu'à la définition des conditions de résolution et la visualisation et analyse des résultats sous Fluent.

Dans chapitre suivant, nous présenterons les résultats de validation de code et celle d'étude numérique d'un écoulement dans une cavité cubique entraînée.

Chapitre III

RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.1. Introduction :

Nous présentons ce chapitre la résolution numérique du problème pour le cas bidimensionnel et tridimensionnel.

Les écoulements visqueux incompressible dans une cavité carrée entraînée et une cavité cubique entraînée sont des cas de référence largement utilisés pour tester la précision et l'efficacité des algorithmes numériques pour la solution des équations de Navier-Stokes. Le but est de faire une étude et analyse des résultats pour les deux cas physiques : cavité carrée en deux dimensions et une cavité cubique en trois dimensions, pour un nombre de Reynolds 100, 400, 600, et 1000. Une évaluation et aussi effectuée entre les résultats en deux dimensions avec les résultats affichés dans le plan médiane XY à $Z=0.5$ dans le cube avec la simulation en trois dimensions.

III.2. Cas de la cavité carrée en configuration 2-D :

III.2.1. Validation de maillage :

Nous avons examiné l'influence du maillage sur la solution numérique, pour cela le maillage utilisé est un maillage uniforme ($31 \times 31, 51 \times 51, 61 \times 61$). 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 $Y=0.5, X=0.5$.

Nous avons constaté que les profils de vitesse à $Y=0.5, X=0.5$ pour différents nombre de Reynolds convergent vers un maillage de 51×51 (fig.III.1 à fig.III.4). De ce fait, ce maillage sera adopté pour le reste du travail.

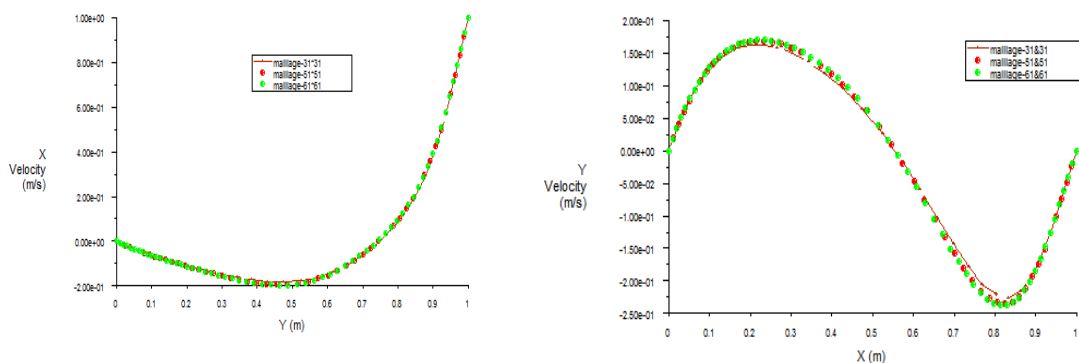


Fig.III.1 : Profils des vitesses pour différents maillages pour $Re = 100$

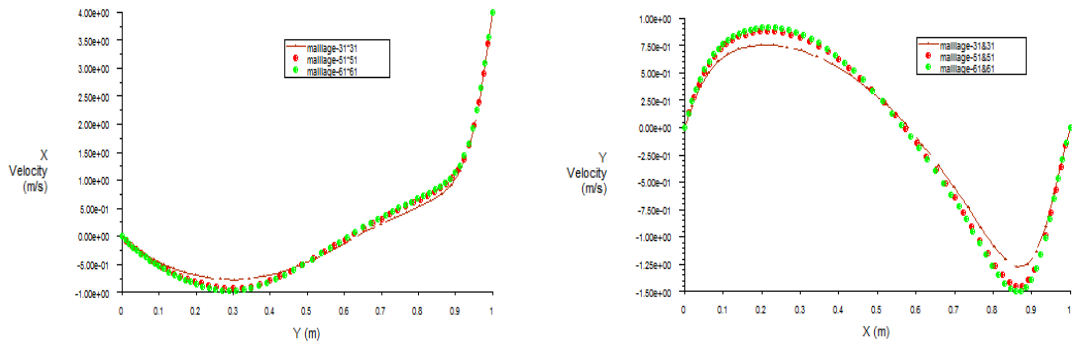


Fig.III.2 : Profils des vitesses pour différentes maillage pour $Re = 400$

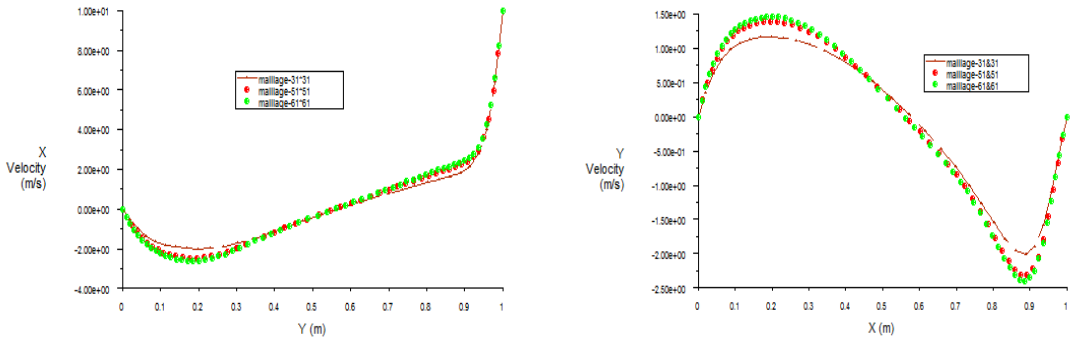


Fig.III.3 : Profils des vitesses pour différentes maillage pour $Re = 600$

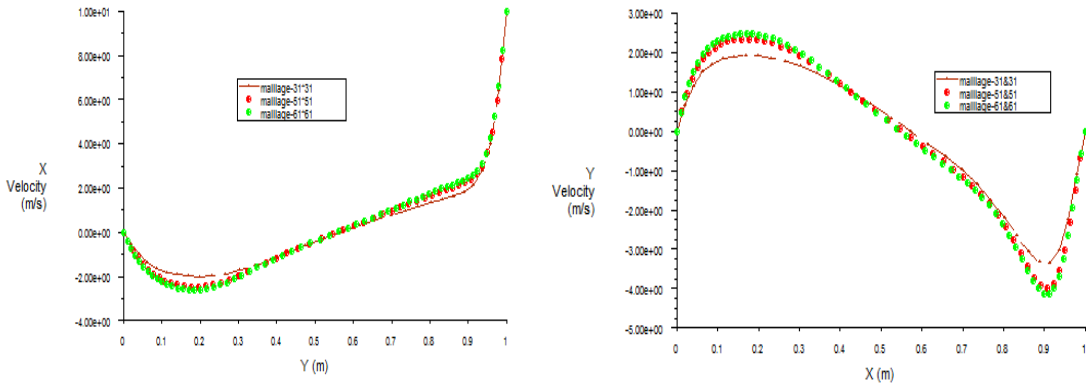


Fig.III.4 : Profils des vitesses pour différentes maillage pour $Re = 1000$.

III.2.2 Discussion sur les résultats obtenus avec l’effet du Reynold sur la structure d’écoulement :

L’utilisation du maillage adapté a permis d’analyser l’effet du nombre du Reynolds sur la structure de l’écoulement dans la cavité carrée en deux dimensions. De ce fait les lignes de courant, les champs des vitesses, les trajectoires des ont été tracés et comparais dans la marge du nombre de Reynolds proposée dans cette étude.

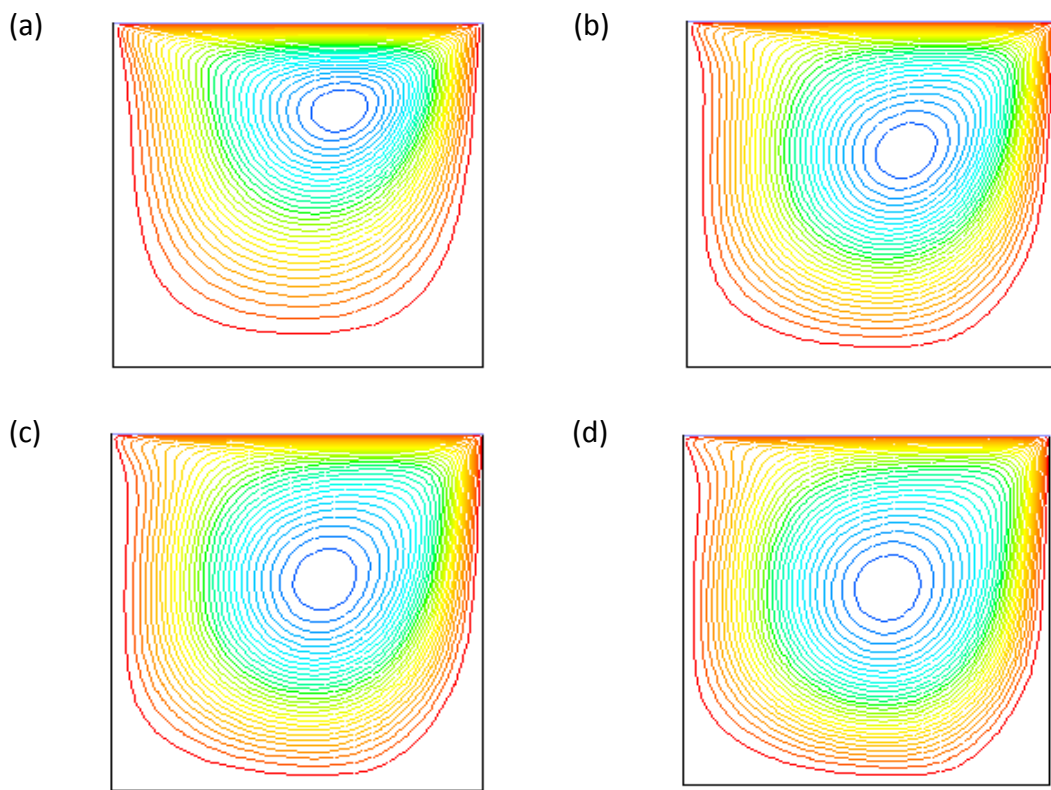


Fig.III.5 : Ligne de courant(a) $Re=100$, (b) $Re=400$ (c) $Re=600$, (d) $Re=1000$

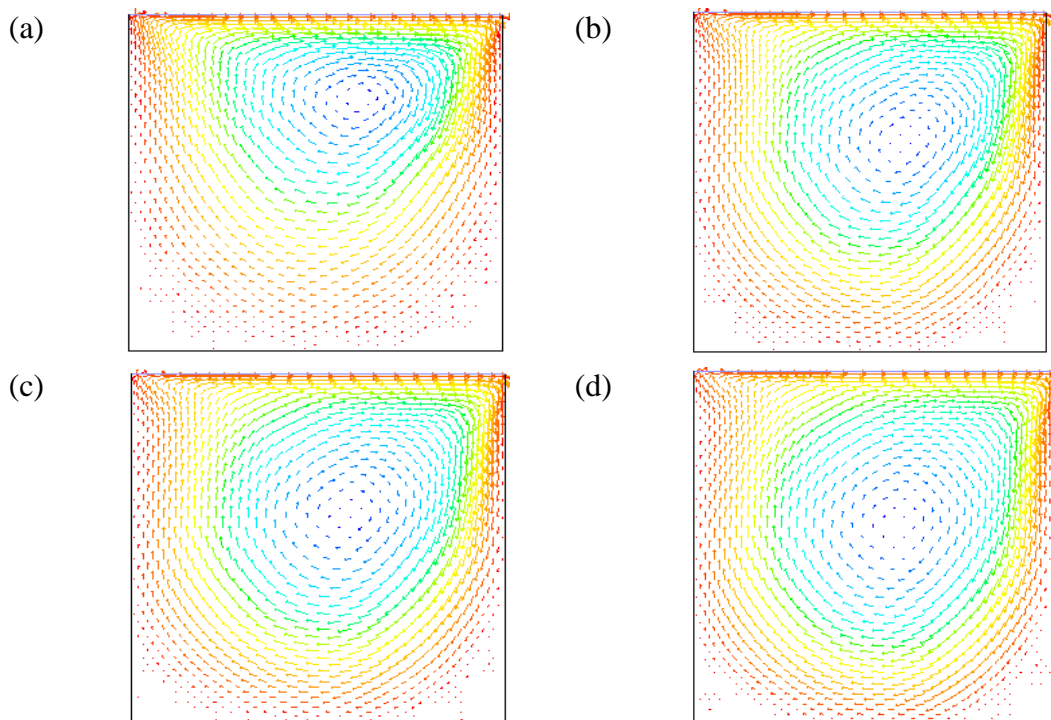


Fig.III.6 : Champ de vitesse a) $Re=100$, b) $Re=400$, c) $Re=600$ et d) $Re=1000$.

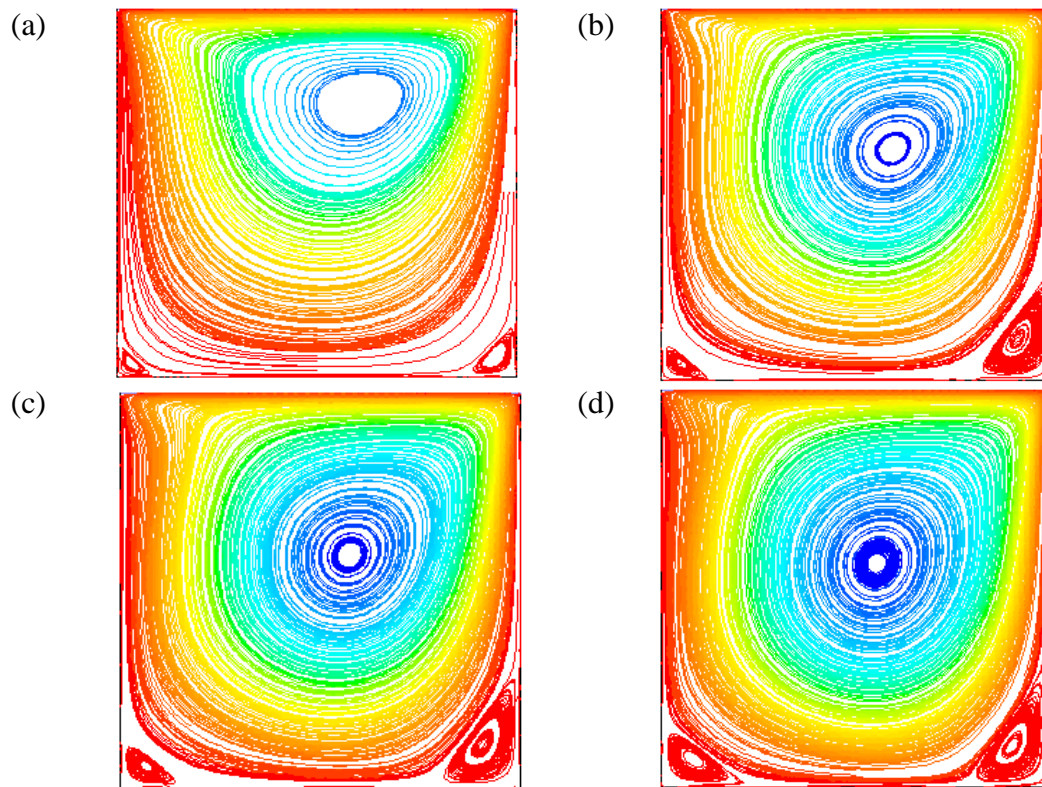


Fig.III.7 Trajectoire par magnitude du tourbillon pour (a) $Re=100$, (b) $Re=400$, (c) $Re=600$ et (d) $Re=1000$

Tableau III.1 : Valeurs des vitesses (U_{max} et U_{min}) à $X=0.5$ et (V_{max} et V_{min}) à $Y=0.5$ pour différentes valeurs du nombre de Reynold.

Re (51x51)	100	400	600	1000
U_{max} ($X=0.5$)	0.917374	0.86157	0.83260	0.785919
Y_{max}	0.988239	0.988239	0.988239	0.988239
U_{min} ($X=0.5$)	-0,193082	-0.2299925	-0.23945	-0.410613
Y_{min}	0,455016	0,299437	0,230556	0.194578
V_{max} ($Y=0.5$)	0.168321	0.220297	0.231281	0.38999
X_{max}	0.213968	0.213968	0.213968	0.175919
V_{min} ($Y=0.5$)	-0.234927	-0.36233	-0.383441	-0.661091
X_{min}	0.824081	0.859313	0.875939	0.907331

Discussion sur les résultats :

Les figures III.5 montrent les lignes de courant à l'intérieur de la cavité obtenue pour les différents nombres de Reynolds. On voit bien que les lignes du courant ont des structures d'écoulement rotatives qui se déforme et s'active en fonction de l'augmentation de la vitesse U_0 . Le sens du mouvement est dans le sens d'entraînement de la cavité provoqué par le couvercle en mouvement. Sa vitesse est fonction du nombre de Reynolds.

L'apparition d'un tourbillon central dans les structures d'écoulement est très claire. Le centre de ce tourbillon primaire commence dans la moitié supérieure droite de la région, puis se déplace progressivement vers le centre de la cavité à mesure que le nombre de Reynolds augmente. Une paire de vortex apparaît près de la ligne médiane et se déplace vers les coins inférieurs à mesure que le nombre de Reynolds augmente. Le champ de vitesse est aussi illustré sur la figure III.6, afin de montrer le mouvement du fluide.

Sur la figure III.7, On observe le comportement typique de la configuration d'écoulement connu par de nombreux auteurs dans la littérature et à la description physique présentée dans le chapitre I.2, et qui est en accord avec nos résultats. En plus du vortex primaire impliqué dans le centre du domaine, une croissance significative des tourbillons secondaires augmente de façon exponentielle avec l'augmentation du nombre de Reynolds et affecte les centres de localisation de ces vortex, le l'apparence du troisième tourbillon secondaire est très nette aux coins de la cavité.

Les résultats détaillés des paramètres de l'écoulement tel que les valeurs des composantes des vitesses maximales et minimales sur les plans médians de la cavité sont présentés sur le tableau (III.1) et qui sont en bon accord avec les résultats de la bibliographie.

III.3.Cas de la cavité cubique en configuration 3-D :

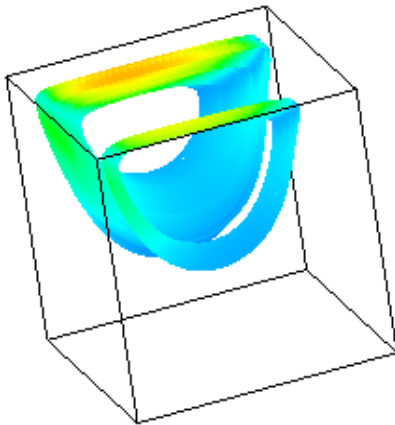
III.3.1.Validation du maillage :

Différent maillages sont pris en considérations dans cette étude pour examiner l'indépendance du maillage, et pour assurer l'exactitude et fiabilité de la solution numérique, nous avons considéré cinq maillage (16x16x16, 31x31x31, 41x41x41, 51x51x51, 61x61x61) nœuds,

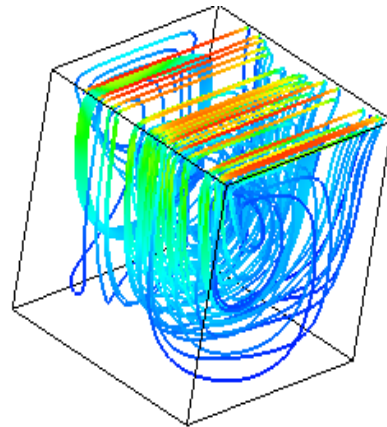
On remarque un léger changement en fonction de la variation du nombre de Reynolds mais pour un meilleur choix de maillage doit être justifié par le temps de calcul et la précision des valeurs. Donc nous avons opté pour le maillage de (61x61). Donc nous avons opté pour le maillage (61x61) nœuds pour tous nos calculs.

III.3.2.Discussion sur les résultats obtenus avec l'effet du Reynold sur la structure d'écoulement :

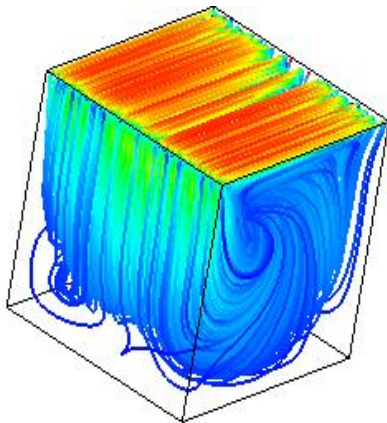
a) Re=100



b) Re=400



c) Re=600



d) Re=1000

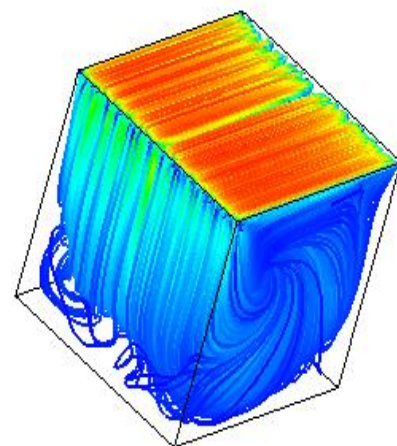


Fig.III.8 : Streamline pour différent nombre de Reynolds

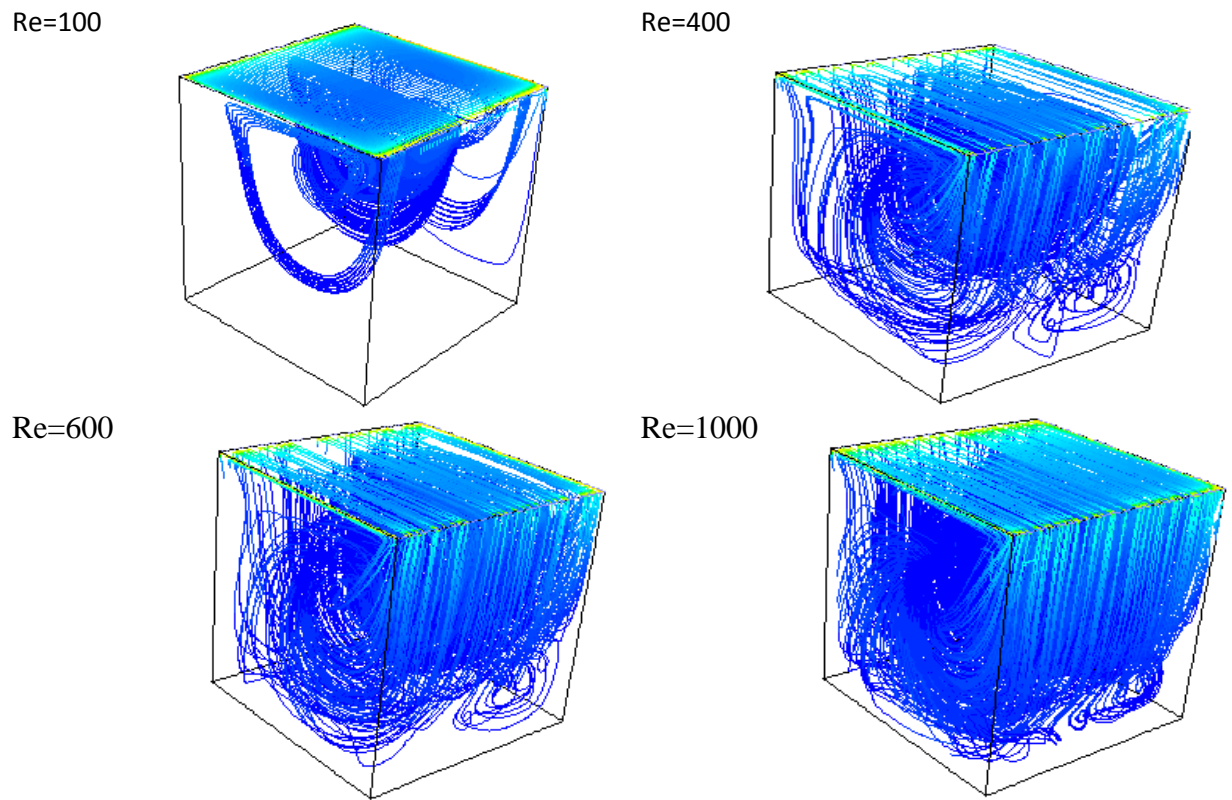


Fig.III.9 : Trajectoire par magnitude du tourbillon pour différent nombre de Reynolds

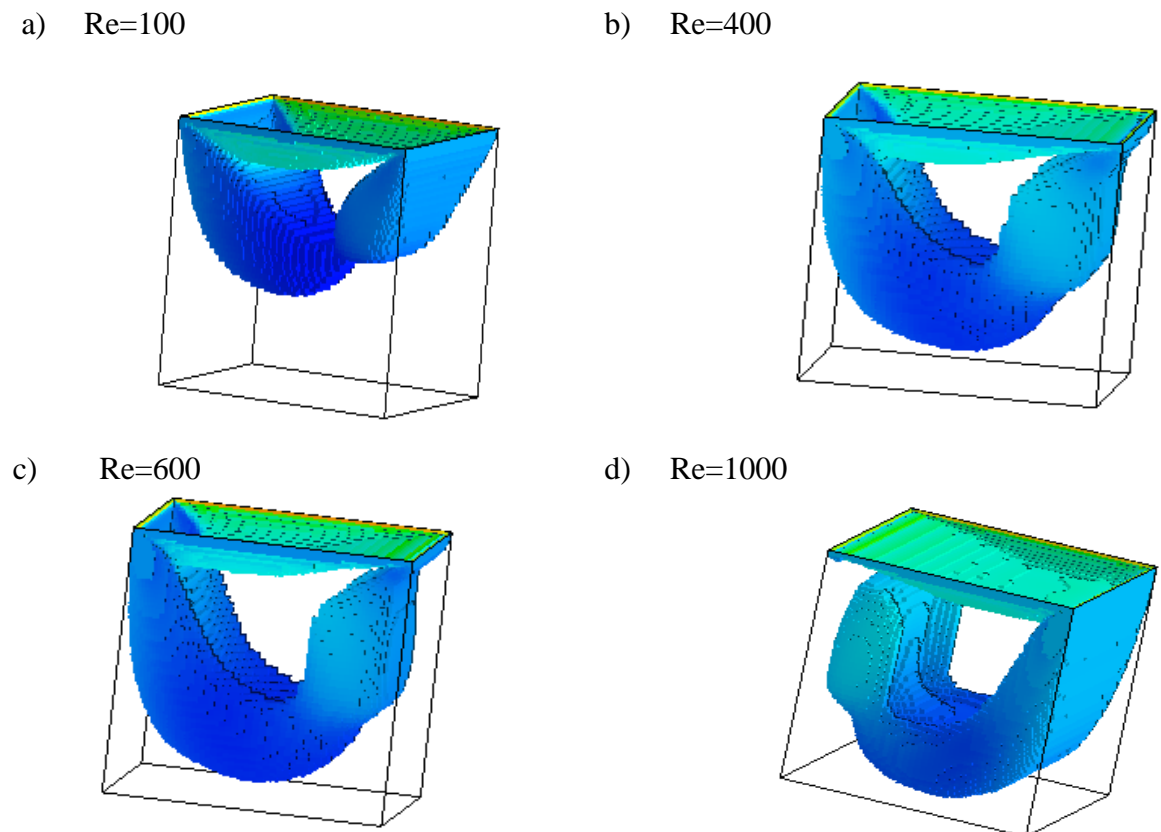
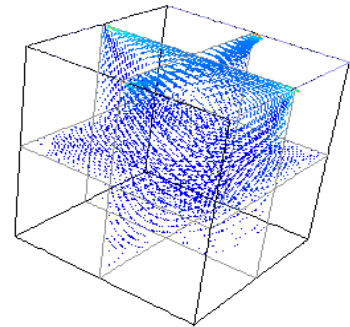
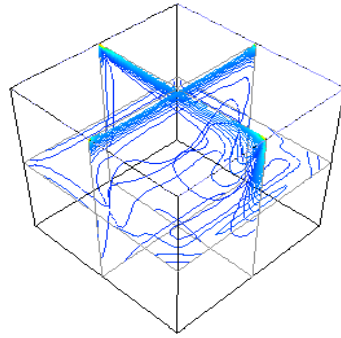


Fig.III.10 : Iso-volume en fonction de Reynolds

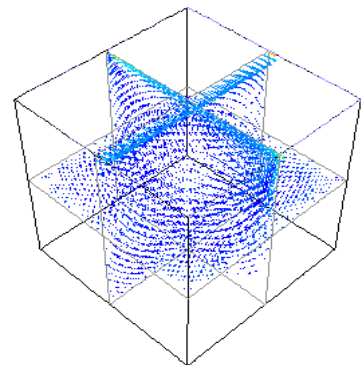
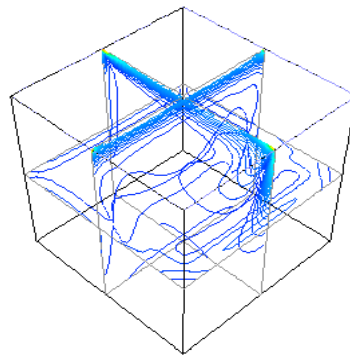
a) $Re=100$

Contour de vorticité

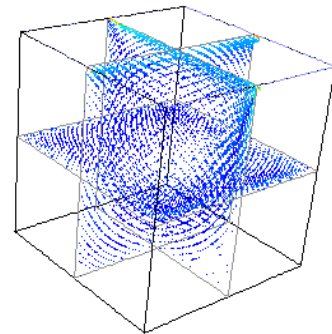
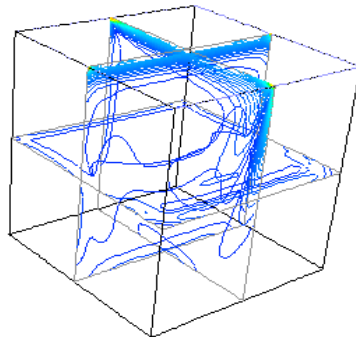
Vecteurs de vitesse



b) $Re=400$



c) $Re=600$



d) $Re=1000$

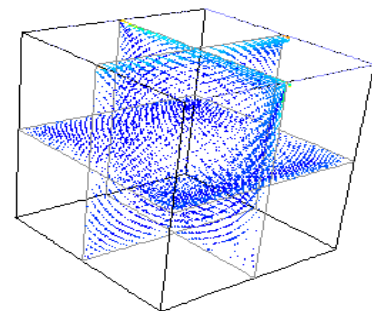
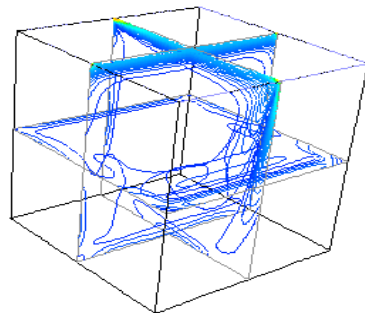


Fig III.11 : Contour de vorticité et vecteur de vitesse en fonction de Reynolds

Discussion sur les résultats :

Les figures (III.9 et III.10) montre les streamlines et les trajectoires respectivement dans une cavité cubique pour différent nombre de Reynolds, les vortex sous déplace vers le centre et s'accorde l'augmentation de nombre de Reynolds.

On remarque des tourbillons secondaires sur les quatre coins inferieure.

La figure(III.10) montre l'ensemble des lignes de courant et des particules de fluide à l'intérieur de cube, la taille des iso-volume augmente avec l'augmentation de nombre de Reynolds.

Nous avons encore plus d'analysé l'écoulement, ont traçons les vorticités et les champs de vitesse sur les plans médiane de la cavité comme illustre la figure(III.11)

Nous avons remarque les effets de 3D qui mérite une analyse approfondie.

III.4. Comparaison entre les deux configurations (2-d et 3-D):

D'après avoir les résultats numériques obtenus, nous avons effectué une comparaison des résultats obtenus sur le plan médiane XY à Z=0.5.

Tableau III.2 : les résultats de comparaison des vitesses maximales sur les axes médians X=0.5 et Y=0.5) entre cavité carre entrainée 2-D et Cavité cubique entrainée au plan XY à Z=0.5

Re	Travaux	U_{\max} à X=0.5	Y_{\max}	V_{\max} à Y=0.5	X_{\max}
100	Present configuration 3-D	0.926298	0.990215	0.148557	0.201634
	Present configuration 2-D	0.917374	0.988239	0.168321	0.213968
	Err	0.96%	0.19%	11.74%	5.76%
400	Present configuration 3-D	0.87405	0.990215	0.1732807	0.155504
	Present configuration 2-D	0.86157	0.988239	0.220297	0.213968
	Err	1.42%	0.19%	21.34%	27.32%
600	Present configuration 3-D	0.84807	0.990215	0.1863	0.141096
	Present configuration 2-D	0.83260	0.988239	0.231281	0.213968
	Err	1.82%	0.19%	19.45%	34.06%
1000	Present configuration 3-D	0.807393	0.990215	0.192905	0.127139
	Present configuration 2-D	0.785919	0.988239	0.38999	0.175919
	Err	1.046%	0.19%	17.56%	27.72%

Les résultats détaillés des paramètres de l'écoulement tel que les valeurs des composantes des vitesses maximales sur les plans médians x-y à $z=0.5$ de la cavité sont présentés de sur le tableau (III.2), Il est clair que les résultats de notre modèle 3-d sont en bon accord avec les résultats de 2-D dans la gamme des nombres de Reynold testées. L'erreur, calculée pour les vitesses.

III.4.1. Les résultats comparatifs dans plan médiane xy à $Z=0.5$

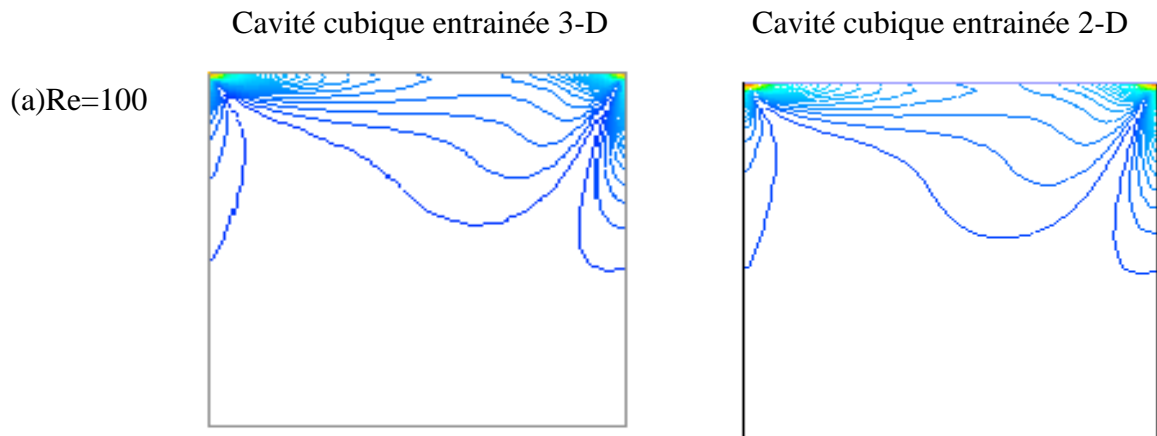


Fig.III.12 : Comparaison contour de vorticité dans le plan x-y (Reynold100)

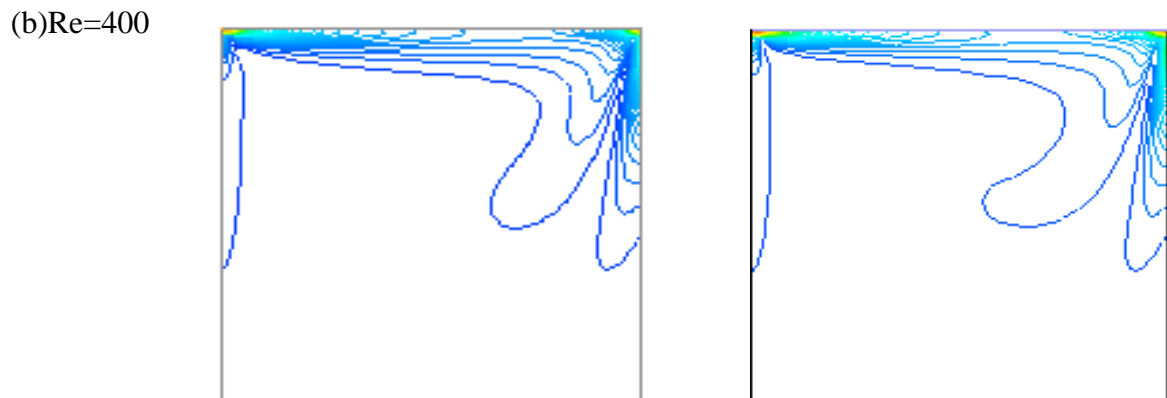


Fig.III.13 : Comparaison contour de vorticité dans plan x-y (Reynold 400)

(c)Re=600

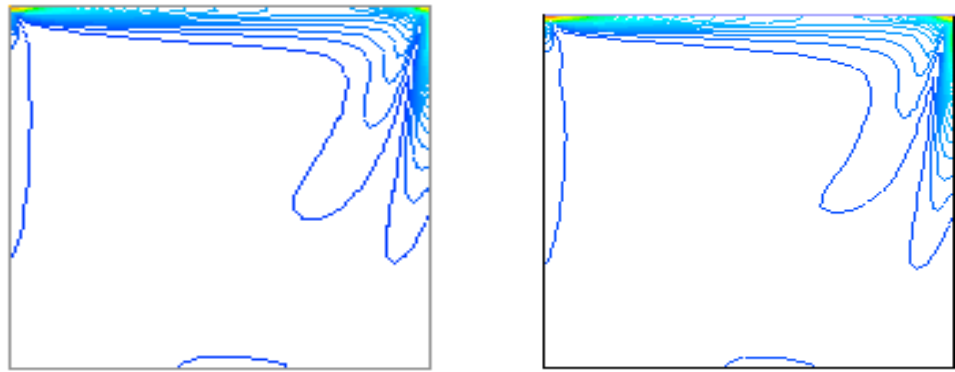


Fig.III.12 : Comparaison contour de vorticité dans le plan x-y (Reynold600)

(d)Re=1000

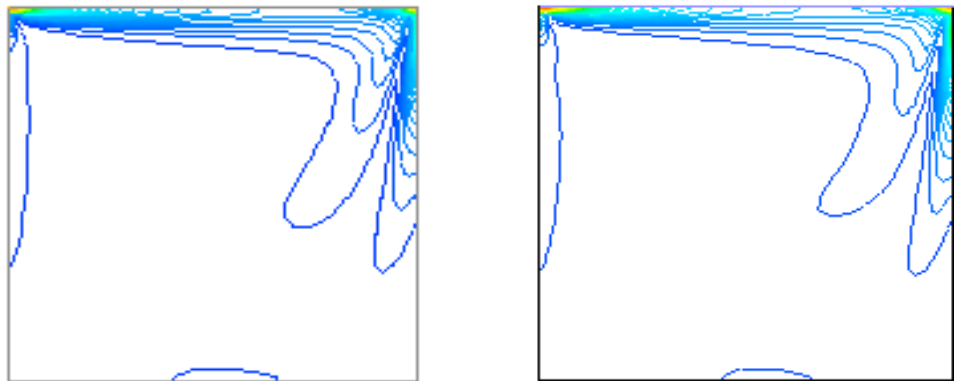
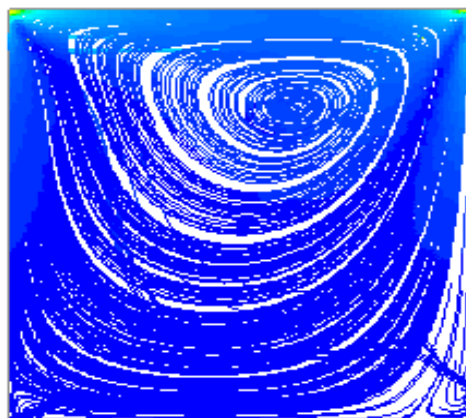


Fig.III.15 : (Suite) comparaison contour d vorticité dans plan x-y (Reynold 1000)

(a)Re=100

Cavité cubique entraînée 3-D



Cavité cubique entraînée 2-D

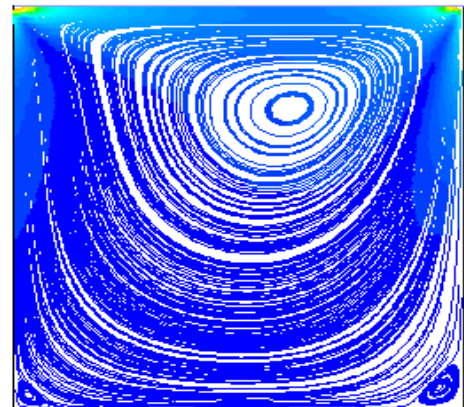
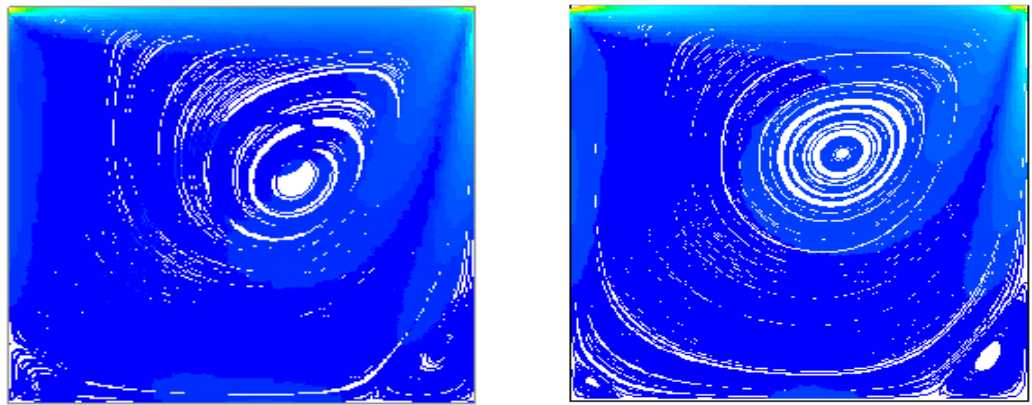
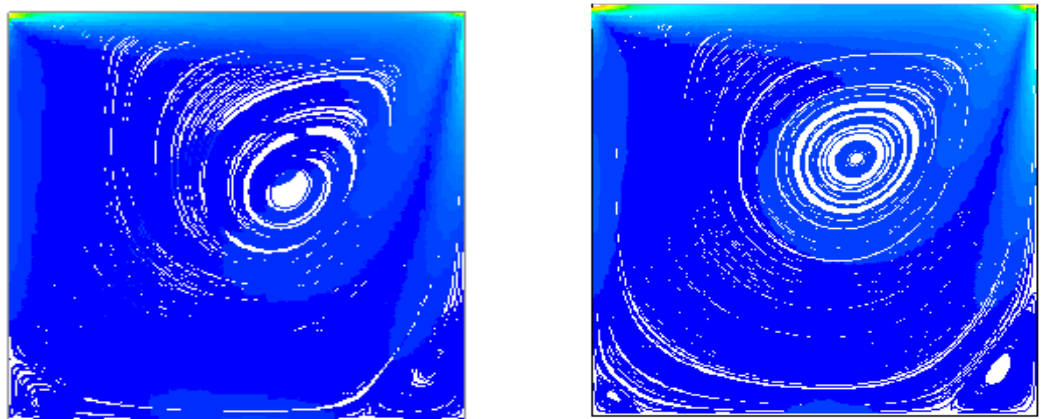


Fig.III.16 : comparaison Trajectoire par magnitude du tourbillon dans plan x-y (Reynold 100)

(b)Re=400

**Fig.III.17** : Comparaison Trajectoire par magnitude dans plan x-y Reynold (400)

(c)Re=600

**Fig.III.18** : (suite) Comparaison Trajectoire par magnitude du tourbillon dans plan x-y (Reynold 600)

(d)Re=1000

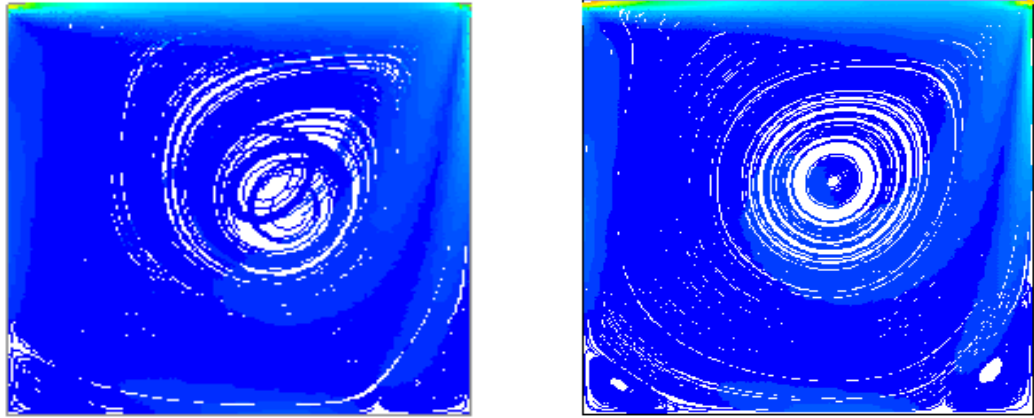


Fig.III.19 (Suite) comparaison Trajectoire par magnitude du tourbillon dans plan x-y (Reynold 1000)

Discussion sur les résultats

Les figures (III.12à III.16) représentent les contours de vorticité dans le plan x-y à $z=0.5$, respectivement dans les deux cas (2D, 3D). Ceci a permis d'observer le commencement de vortex au niveau de cavité et que la vorticité crée au niveau de cavité et s'accroît avec l'augmentation de nombre de Reynold, les valeurs maximales de la vitesse sont obtenues dans la paroi mobile de la cavité, on remarque cette augmentation de vitesse dans le cas 3D plus grand que le cas 2D.

Les figures (III.17  III.19) montrent La recirculation du fluide à l'intérieur de la cavité est illustrée par les lignes de courant, En dehors d'un vortex primaire nous voyons la formation du tourbillon aux deux extrémités en bas de la cavité pour nombre de Reynolds variant entre 10^2 et 10^3 , les trajectoires confirme une comparaison comparative très proche entre 2D et 3D .

Conclusion générale

Conclusion générale :

L'étude présentée dans ce mémoire porte sur l'étude numérique de l'écoulement on a pu présenter les différents résultats obtenus pour les configurations géométriques, à savoir cavité entraînée avec différentes nombre de Reynold variant de 100 à 1000.

La modélisation mathématique de ce problème physique est basée sur les équations de conservation de masse et de la quantité de mouvement. Les propriétés thermo physiques sont considérées constantes.

Des hypothèses simplificatrices ont été introduites et justifiées afin de simplifier le système des équations utilisées pour les deux configurations étudiées : cavité carrée entraînée et cavité cubique entraînée.

La résolution numérique de cette dernière est effectuée par la méthode des volumes finis et la simulation numérique a été effectuée avec le code FLUENT.

L'examen des résultats des deux configurations 2-D et 3-D peuvent être résumés comme suit :

- Les lignes de courants sont représentées par des tourbillons qui peuvent être observés dans le centre de la cavité, et des tourbillons secondaires dans les coins bas.
- La taille de la zone de recirculation augmente avec l'augmentation du nombre de Reynolds perspectives.
- La structure de l'écoulement du fluide à l'intérieure du cube prend une allure en trois dimensions, ce qui révèle d'autres informations importantes à examiner.
- La comparaison des deux configurations 2-D et 3-D pour le plan médian(XY) à $Z=0.5$ montre la différence de structure apparente en 3d pour le nombre de Reynolds supérieur à 400.

Dans ce travail, le processus itératif CFD nous a permis de comprendre ce type d'écoulement. Dans un futur travail, on suggère d'étudier l'écoulement dans une cavité avec paroi mobile (haut) associées au transfert de chaleur. Cette dernière constituera une perspective intéressante afin de mieux prendre en compte le caractère tourbillonnaire près de la cavité entraînée.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] Burggraf O.R., Analytical and numerical studies of the structure of steady separated flows, *J. Fluid Mech.* 24 (1966) pp 113–151.
- [2] Ghia U., Ghia K.N., Shin C., High-Re solutions for incompressible flow using the Navier-Stokes equations and a multigrid method, *J. Comput. Phys.* 48 (1982) pp 387–411
- [3] Gupta M.M., Kalita J.C., A new paradigm for solving Navier Stokes equations: stream function– velocity formulation, *J. Comput. Phys.* 207 (2005) pp 52–68
- [4] Lima R, Campos-Silva., J., Mansur S., Large eddy simulation of turbulent incompressible fluid flows by a nine-nodes control volume-finite element method Proceedings of the 10th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering–ENCIT 2004 (2004)
- [5] Azzouz A., Houat S., & Benhizia, O., Numerical study of steady flow inside a lid-driven square cavity for Reynolds number up to 50000. In *Congrès français de mécanique*. AFM, Association Française de Mécanique. (2017).
- [6] Koseff J.R., Street R.L, the lid-driven cavity flow: a synthesis of qualitative and quantitative observations *J. Fluids Eng.*, 106 (1984), pp. 390-398
- [7] Koseff J.R., Street R.L, on end wall effects in a lid-driven cavity flow, *J. Fluids Eng.*, 106 (1984), pp. 385-389
- [8] Prasad et Koseff J.R Reynolds number and end-wall effects on a lid-driven cavity flow *Phys. Fluids A*, 1989–1993 (1) (1989), pp. 208-218
- [9] Hachem E., Rivaux B., Kloczko T., Digonnet H., Coupeux T, Stabilized finite element method for incompressible flows with high Reynolds number, *J. Comput. Phys* 229 (2010) pp 8643-8665
- [10] Chicheportiche J., Merle X., Gloerfelt X., Robinet J.C., Direct numerical simulation and global stability analysis of three-dimensional instabilities in a lid-driven cavity. *C. R. Mécanique* 336 (2008) pp 586–591.

