



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
La République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de L'Enseignement Supérieur & la Recherche Scientifique
جامعة عبد الحميد بن باديس – مستغانم
Université Abdel Hamid Ben Badis – Mostaganem
كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie
قسم الهندسة الميكانيكية
Département Génie Mécanique



N° d'ordre : M...../GM/2021

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Energétique

Thème

**ETUDE NUMERIQUE DE LA PROPOGATION DE LA CHALEUR
DANS UN LOCAL**

Présenté par :

- ❖ Mr. LAKEHAL Mohamed
- ❖ Mr. BENYETTOU Abdeloualid

❖ *Soutenu le 17/07 / 2021 devant le jury composé de :*

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

Année Universitaire : 2020 / 2021

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.RETIEL Noureddine**, 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.

Nous dédions ce travail

A nos chers parents.

A nos chers sœurs et frères.

A nos amis.

A tous nos proches.

Résume :

Le travail exposé dans ce mémoire consiste à étudier le phénomène de la convection naturelle dans deux différentes cavité (carrée et rectangulaire) d'air ($Pr = 0.71$), à espace confiné, bidimensionnelle et partiellement chauffée, dans laquelle nous soumettons deux régimes dans notre études, le régime stationnaire en variant le nombre de Rayleigh de 10^3 à 10^6 et le régime instationnaire en variant le temps de 1 minutes jusqu'à 30 minutes en fixons le $Ra=10^5$. Les résultats sont obtenus en résolvant les équations de continuité, quantité de mouvement, et d'énergie par la méthode des volumes finis en utilisant le code commercial «Fluent». Et le logiciel de maillage «Gambit».

Une série de simulations sera présentée pour illustrer l'effet du nombre de Rayleigh, et du temps sur la convection naturelle dans une cavité partiellement chauffée.

Mots clés : cavité carrée partiellement chauffée, cavité rectangulaire, lignes de courant, les isothermes.

Abstract:

The work exposed in this thesis consists in studying the phenomenon of convection natural in two different cavities (square and rectangular) air ($Pr=0.71$), in a confined space, two-dimensional and partially heated, in which we submit two diets in our studies, steady state varying the number of Rayleigh from 10^3 to 10^6 . The unsteady state by varying the time from 1 minute up to 30 minutes by fixing the $Ra=10^5$. The results are obtained by solving the continuity equations, movement quantity and energy by the method of finished volume, using the commercial «Fluent» code. And the «Gambit» meshes software.

A series of simulation will be presented to illustrate the effect of Rayleigh number and of the time on the natural convection in the cavity partially heated.

Key words: Partially heated square cavity, rectangular cavity, streamlines isotherms.

ملخص

العمل المكشوف في هذه الأطروحة يتكون من دراسة ظاهرة الحمل الحراري الطبيعي في اثنين من تجاويف الهواء المختلفة (مربع ومستطيل) من خلال مساحة ضيقة و ثنائي الأبعاد مسخن جزئيا . حيث نقدم نظامين في دراستنا ، النظام الثابت من خلال تغيير عدد رايلي من 10^3 إلى 10^6 و النظام الغير الثابت من خلال تغيير الوقت من دقيقة واحدة إلى 30 دقيقة عن طريق تحديد رايلي 10^5

النتائج تم الحصول عليها عن طريق حل معادلات الإستمرارية ، كمية الحركة و الطاقة بطريقة المقادير المنتهية باستعمال الرمز التجاري fluent

ستقدم سلسلة محاكاة لتوضيح عدد رايلي و الزمن على الحمل الحراري الطبيعي في تجويف ساخن جزئيا . الكلمات الرئيسية: تجويف مربع ساخن جزئيا، تجويف مستطيل، خطوط حالية

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I

GENERALITE ET ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. Généralité et étude bibliographique.....	3
1.2. Définition de transfert thermique	5
1.2.1. Différents phénomènes de transfert	5
a) Transfert de chaleur (thermique)	5
b) Transfert de masse (de matière)	5
c) Transfert de quantité de mouvement	5
1.2.2. Les 3 modes de transfert thermique	6
1.2.2.1. La conduction	6
1.2.2.2. La convection.....	7
1.2.2.3. Le rayonnement	7
1.3. Champ de température.....	8
1.3.1. Gradient de température.....	8
1.4. La convection naturelle	8
1.5. Conclusion	9

Chapitre 2

GEOMETRIE ET FORMULATION MATHEMATIQUE

2.1. Introduction	11
2.2. Définition du problème	11
2.3. Formulation mathématique	11

2.3.1. Equation de continuité (conservation de la masse)	11
2.3.2. Equation d'énergie.....	12
2.3.3. Equation de conservation de la quantité de mouvement.....	12
2.4. Hypothèse simplificatrices.....	12
2.5. Configuration 2D (cavités carrée et rectangle).....	13
2.5.1. Géométrie.....	13
2.6. Le nombre de Rayleigh	15
2.6.1. Nombre de Prandtl	15
2.6.2. Nombre de Grashof	15
2.7. Conclusion	16

Chapitre 3

RESOLUTION NUMERIQUE

3.1. Introduction.....	18
3.2. Méthodes des volumes finis (MDF).....	18
3.3. Description de Gambit et de fluent.....	18
3.3.1. Définition de Gambit.....	18
3.3.2. Interface et étapes de Gambit.....	19
1. Lancer Gambit.....	19
2. Construction de la géométrie.....	19
3. Génération de maillage.....	20
4. Les conditions aux limites.....	21
5. Exportation du maillage de Gambit.....	21
3.4. Le solveur fluent.....	22

3.4.1. Les étapes de solveur fluent.....	22
1. Lancer Fluent.....	22
2. Importation de la géométrie.....	23
3.5. Choix du solveur.....	24
3.6. Les caractéristiques des matériaux.....	24
3.7. Les conditions opératoires.....	25
3.8. Conditions aux limites.....	25
3.9. Contrôle de la solution.....	26
1. Initialisation.....	26
2. Choix des critères de convergence.....	27
3. Lancement du calcul de convergence.....	27
4. Allures de l'évolution des résidus de calcul.....	28
Conclusion.....	28

Chapitre 4

RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1. Introduction.....	30
4.2. Validation.....	30
4.3. Discussionsur les résultats du Rayleigh	31
4.4. Cas de la cavité carrée en régime stationnaire.....	31
4.4.1. Commentaires sur résultats	32
4.5. Cas de la cavité carrée en régime instationnaire.....	32
4.5.1. Commentaires sur résultats	34
4.6. Cas de la cavité rectangulaire en régime stationnaire.....	35

4.6.1. Commentaires sur résultats	36
4.7. Cavité rectangulaire en régime instationnaire	36
4.7.1. Commentaires sur résultats	39
Conclusion générale.....	41
Références Bibliographique.....	43

NOMENCLATURES

➤ **Nomenclatures**

g : Accélération de la pesanteur	(m/s ²)
H : Hauteur de la cavité	(m)
L : Longueur de la cavité	(m)
T : Température	(K)
ΔT : La différence de température en	(K)
x, y : Coordonnées cartésiennes	(m)
t : Temps	(s)
l : Longueur caractéristique en	(m)
h : Coefficient de transfert thermique	(W m ⁻² °K ⁻¹)
S : Aire de la section de passage du flux de chaleur	(m ²)

➤ **Symboles grecs**

ν : Viscosité cinématique	[m ² /s]
μ : Viscosité dynamique	[kg/ m .s]
ρ : Masse volumique	[kg/m ³]
β : coefficient de dilatation thermique volumétrique	[K ⁻¹]
α : diffusivité thermique	[m ² /s]
ω : Flux de chaleur transmis par conduction	(W)
λ : Conductivité thermique du milieu	(W m ⁻¹ °K ⁻¹)

➤ **Nombre sans dimension**

Ra : Nombre de Rayleigh

Pr : Nombre de Prandtl

Gr : Nombre de Grashof

Indices

2D : configuration bidimensionnelle.

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I

GENERALITE ET ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. Généralité et étude bibliographique.....	3
1.2. Définition de transfert thermique	5
1.2.1. Différents phénomènes de transfert	5
a) Transfert de chaleur (thermique)	5
b) Transfert de masse (de matière)	5
c) Transfert de quantité de mouvement	5
1.2.2. Les 3 modes de transfert thermique	6
1.2.2.1. La conduction	6
1.2.2.2. La convection.....	7
1.2.2.3. Le rayonnement	7
1.3. Champ de température.....	8
1.3.1. Gradient de température.....	8
1.4. La convection naturelle	8
1.5. Conclusion	9

Chapitre 2

GEOMETRIE ET FORMULATION MATHEMATIQUE

2.1. Introduction	11
2.2. Définition du problème	11
2.3. Formulation mathématique	11

2.3.1. Equation de continuité (conservation de la masse)	11
2.3.2. Equation d'énergie.....	12
2.3.3. Equation de conservation de la quantité de mouvement.....	12
2.4. Hypothèse simplificatrices.....	12
2.5. Configuration 2D (cavités carrée et rectangle).....	13
2.5.1. Géométrie.....	13
2.6. Le nombre de Rayleigh	15
2.6.1. Nombre de Prandtl	15
2.6.2. Nombre de Grashof	15
2.7. Conclusion	16

Chapitre 3

RESOLUTION NUMERIQUE

3.1. Introduction.....	18
3.2. Méthodes des volumes finis (MDF).....	18
3.3. Description de Gambit et de fluent.....	18
3.3.1. Définition de Gambit.....	18
3.3.2. Interface et étapes de Gambit.....	19
1. Lancer Gambit.....	19
2. Construction de la géométrie.....	19
3. Génération de maillage.....	20
4. Les conditions aux limites.....	21
5. Exportation du maillage de Gambit.....	21
3.4. Le solveur fluent.....	22

3.4.1. Les étapes de solveur fluent.....	22
1. Lancer Fluent.....	22
2. Importation de la géométrie.....	23
3.5. Choix du solveur.....	24
3.6. Les caractéristiques des matériaux.....	24
3.7. Les conditions opératoires.....	25
3.8. Conditions aux limites.....	25
3.9. Contrôle de la solution.....	26
1. Initialisation.....	26
2. Choix des critères de convergence.....	27
3. Lancement du calcul de convergence.....	27
4. Allures de l'évolution des résidus de calcul.....	28
Conclusion.....	28

Chapitre 4

RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1. Introduction.....	30
4.2. Validation.....	30
4.3. Discussionsur les résultats du Rayleigh	31
4.4. Cas de la cavité carrée en régime stationnaire.....	31
4.4.1. Commentaires sur résultats	32
4.5. Cas de la cavité carrée en régime instationnaire.....	32
4.5.1. Commentaires sur résultats	34
4.6. Cas de la cavité rectangulaire en régime stationnaire.....	35

4.6.1. Commentaires sur résultats	36
4.7. Cavité rectangulaire en régime instationnaire	36
4.7.1. Commentaires sur résultats	39
Conclusion générale.....	41
Références Bibliographique.....	43

NOMENCLATURES

➤ **Nomenclatures**

g : Accélération de la pesanteur	(m/s ²)
H : Hauteur de la cavité	(m)
L : Longueur de la cavité	(m)
T : Température	(K)
ΔT : La différence de température en	(K)
x, y : Coordonnées cartésiennes	(m)
t : Temps	(s)
l : Longueur caractéristique en	(m)
h : Coefficient de transfert thermique	(W m ⁻² °K ⁻¹)
S : Aire de la section de passage du flux de chaleur	(m ²)

➤ **Symboles grecs**

ν : Viscosité cinématique	[m ² /s]
μ : Viscosité dynamique	[kg/ m .s]
ρ : Masse volumique	[kg/m ³]
β : coefficient de dilatation thermique volumétrique	[K ⁻¹]
α : diffusivité thermique	[m ² /s]
ω : Flux de chaleur transmis par conduction	(W)
λ : Conductivité thermique du milieu	(W m ⁻¹ °K ⁻¹)

➤ **Nombre sans dimension**

Ra : Nombre de Rayleigh

Pr : Nombre de Prandtl

Gr : Nombre de Grashof

Indices

2D : configuration bidimensionnelle.

LISTE DES FIGURES

CHAPITE 1

Figure .1 : transfert de chaleur conductif unidimensionnel.....	6
Figure.2 : transfert de chaleur convectif	7
Figure.3 : transfert de chaleur radiatif.....	7

CHAPITE 2

Figure .2.1 : schéma de la cavité carrée du problème étudié	14
Figure .2.2 : Schéma de la cavité rectangle du problème étudié.....	15

CHAPITE 3

Figure .3.1 : Interface de GAMBIT.....	19
Figure .3.2 : Construction de la géométrie.....	20
Figure .3.3 : Construction des lignes de la géométrie.....	20
Figure .3.4 : génération de maillage.....	21
Figure .3.5 : Incorporation des conditions aux limites	21
Figure .3.6 : Enregistrement du fichier.....	22
Figure .3.7 :Lancement du logiciel Fluent.....	22
Figure .3.8 : Importation de la géométrie.....	23
Figure .3.9 : Choix du solveur.....	24
Figure .3.10 : Les caractéristiques du matériau.....	24
Figure .3.11 : Choix des conditions opératoires.....	25
Figure .3.12 : choix des températures (conditions aux limites)	25

LISTE DES FIGURES

Figure .3.13 : Choix d'ordre d'équation.....	26
Figure .3.14 : Initialisation de calcul.....	26
Figure .3.15 : Choix des critères de convergence.....	26
Figure .3.16 : Choix du nombre des itérations.....	27
Figure .3.17: graphe de convergence	28

CHAPITE 4

Figure 4 : Les lignes de courants de $Ra=10^3$ à $Ra=10^5$	30
Figure.4.1: L'évolution de température de cavité carrée en régime stationnaire: (A) $Ra = 10^3$; (B) $Ra = 10^4$; (C) $Ra = 10^5$; (D) $Ra = 10^6$	31
Figure.4.1.1.: les lignes de courant de cavité carrée en régime stationnaire.....	32
Figure.4.2: L'évolution de température de cavité carrée en régime instationnaire : $t=1$ minute ; $t=5$ minute ; $t=10$ minutes ; $t=15$ minutes ; $t=20$ minutes ; $t=25$ minutes ; $t=30$ minutes ; $t=35$ minutes.....	33
Figure.4.2.1: les lignes de courant de cavité carrée en régime instationnaire: $t=1$ minute ; $t=5$ minute ; $t=10$ minutes ; $t=15$ minutes ; $t=20$ minutes ; $t=25$ minutes ; $t=30$ minutes ; $t=35$ minutes.....	34
Figure.4.3: L'évolution de température de la cavité rectangulaire en régime stationnaire: (A) $Ra = 10^3$; (B) $Ra = 10^4$; (C) $Ra = 10^5$; (D) $Ra = 10^6$	35
Figure.4.3.1: les lignes de courant de la cavité rectangulaire en régime stationnaire... ..	36
Figure.4.4: L'évolution de température de la cavité rectangulaire en régime instationnaire: $t=1$ minute ; $t=5$ minutes ; $t=10$ minutes ; $t=15$ minutes ; $t=20$ minutes ; $t=25$ minutes ; $t=30$ minutes.....	37
Figure.4.4.1: les lignes de courant de la cavité rectangulaire en régime instationnaire: $t=1$ minute ; $t=5$ minute ; $t=10$ minutes ; $t=15$ minutes ; $t=20$ minutes ; $t=25$ minutes ; $t=30$ minutes	38

Introduction générale

Introduction générale :

Les études numériques et expérimentales en mécanique des fluides et transfert de chaleur dans les cavités fermées ont reçu beaucoup d'attention au cours des dernières décennies.

Les cavités carrées et rectangulaire qui ont été largement étudiées vu le nombre des applications d'ingénierie et d'industrie peuvent être modélisées avec différentes conditions aux limites et conditions initiales.

Le thème du présent travail à pour but d'étudier la convection naturelle dans un local partiellement chauffée pour des régimes stationnaire et instationnaire.

Pour mener à bien ce travail nous avons choisi de structurer cette étude en quatre chapitres, le premier chapitre est consacré aux généralités sur le transfert de chaleur et suivi d'une synthèse bibliographique de certains travaux dans cette thématique. Le deuxième chapitre donne une présentation sur la problématique en définissant notre modèle physique des cavités étudiés avec les conditions aux limites pour les deux régimes stationnaires et. Le modèle physique choisi est suivi du modèle mathématique comprenant les différentes équations de conservation.

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

Dans le quatrième chapitre, les résultats et discussion sur l'étude présentée en deux dimensions dans les deux régimes en fonction du temps pour le régime instationnaire et en fonction du nombre de Rayleigh en régime stationnaire seront traités.

Une conclusion générale vient clôturer ce travail.

Chapitre I

GENERALITES ET ETUDE

BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. Etude bibliographique :

L'étude numérique de la convection naturelle est un problème fondamental dans le domaine de la mécanique des fluides. Cette étude a reçu une attention importante pendant de nombreuses années non seulement pour sa géométrie simple, mais aussi pour l'importance pratique du sujet on peut citer quelque étude concernant cette étude.

Bejan a mené dans cet article une étude fondamentale de la convection naturelle laminaire dans une enceinte rectangulaire avec transfert de chaleur et de masse latéral, lorsque l'effet de flottabilité est dû à des variations de densité causées par des variations de température ou de concentration, il a analysé les échelles pour déterminer les échelles des champs d'écoulement, de température et de concentration dans l'écoulement de la couche limite pour toutes les valeurs des nombres de Prandtl et de Lewis, et pour déterminer les caractéristiques de transport de chaleur et de masse d'une fente verticale remplie de fluide. Ces solutions appuient davantage la méthode d'analyse d'échelle employée dans la première partie de l'étude. [1]

Dans cet article, **Jordi Pallares and Alexandre Fabregat** ont présenté le modèle est basé sur les caractéristiques de convection mixte laminaire des couches limites de vitesse et thermique près des parois thermiquement actives de la cavité. Ces caractéristiques sont vérifiées avec des simulations numériques directes rapportées ailleurs pour le but de déterminer les vitesses de dépôt prédites et les comparées avec succès avec celles obtenues avec l'un des modèles de dépôt de particules les plus populaires. [2]

Dans le présent travail, on s'intéresse d'étudier numériquement la convection naturelle laminaire dans une enceinte carrée avec chauffage partiel de la paroi inférieure et refroidissement des parois latérales. Cette étude simule le cas d'une génération de chaleur accidentelle due à un incendie dans un bâtiment pour réacteur nucléaire ou dans une cabine de montage de composants électroniques. Les résultats de simulation sont obtenus avec le code FLUENT en observant la formation de deux cellules contrarotatives et la dépendance du nombre de Nusselt en fonction de la largeur de chauffage s'avère complètement différente pour les cas isothermes et d'iso flux de chauffage. Cette étude a été menée par **GUESTAL Mabrouk**. [3]

Ganzaroli et Milanez ont étudié la convection naturelle dans des enceintes rectangulaires chauffées au dessous et symétriquement refroidies par les cotés. Le

nombre de Rayleigh a été varié de 10^3 à 10^7 et le rapport d'aspect varie de 1 à 9. Les influences du nombre de Rayleigh, du nombre de Prandtl et du rapport d'aspect sur le mouvement du fluide et sur le transport d'énergie ont été présentées dans leur étude.

[4]

Vahl Davis a présenté une solution numérique de la convection naturelle dans une cavité carrée chauffée différemment, ou les deux surfaces supérieure et inférieure sont adiabatiques, tandis que les surfaces que les surfaces verticales sont chauffées différemment. [5]

Hasnaoui a étudié numériquement par la méthode des différences finies la convection naturelle laminaire dans une enceinte, avec le chauffage localisé sur la paroi inférieure et le refroidissement à travers la paroi supérieure de l'enceinte, tandis que le reste du fond et les murs verticaux étaient adiabatiques. Les paramètres principaux du problème étaient le rapport de forme de l'enceinte, la position de la source de chaleur et le nombre de Rayleigh. L'existence des solutions multiples équilibrées et le comportement oscillant pour un ensemble donné des paramètres ont été démontrés [6]

Une étude numérique de la convection naturelle de l'air dans les cavités rectangulaires a été effectuée par **Frederick**, il a conclu que le nombre de Nusselt total diminue rapidement avec l'augmentation du rapport d'aspect. Le taux de circulation augmente toujours avec le nombre de Rayleigh et le rapport d'aspect. [7]

Nithyadevi ont étudié la convection naturelle dans une cavité carrée avec parois partiellement actives. [8]

Brahimi et Debih ont présentés numériquement la convection naturelle au sein d'une cavité carrée. Ses résultats numériques sont proches aux résultats expérimentaux disponibles. [9]

Lakhal et hasnaoui ont étudié numériquement la convection naturelle transitoire dans une cavité carrée soumise par le bas à une variation sinusoïdale de la température pour un nombre de Prandtl égal à 0.71 (l'air) et pour des nombres de Rayleigh variant de 10^5 à 10^6 . On y montre que si l'on s'intéresse au transfert thermique moyen, le chauffage périodique est avantageux si l'amplitude de l'excitation est grande et si l'intensité de la convection est importante. [10]

1.2. Définition de transfert thermique :

Le transfert thermique correspond au déplacement d'énergie d'une température chaude vers une température froide, aussi appelée énergie microscopique désordonnée.

1.2.1. Différents phénomènes de transfert

Les phénomènes de transfert les plus connus sont :

a) Transfert de chaleur (thermique) : Pour lequel la grandeur transférée est la chaleur (Température), ce transfert s'effectue entre deux zones où règnent des températures différentes : il se fait toujours de la température la plus élevée vers la température la plus basse (moins élevée). La différence de température est appelée : la force motrice du transfert thermique.

b) Transfert de masse (de matière) : Pour lequel la grandeur transférée est la matière (Concentration massique), ce transfert s'effectue entre deux zones où règnent des concentrations massiques différentes, il se fait toujours de la concentration plus élevée vers la concentration la plus faible. La différence de concentration est appelée: la force motrice du transfert de masse.

c) Transfert de quantité de mouvement : Pour lequel la grandeur transférée est la quantité de mouvement (Vitesse), ce transfert s'effectue entre deux entités qui possèdent des vitesses différentes, il se fait toujours de l'entité qui a la vitesse la plus élevée vers celle qui a la vitesse la plus faible. La différence de vitesse appelée: la force motrice du transfert de quantité de mouvement.

1.2.2. Les 3 modes de transfert thermique :

1.2.2.1. La conduction :

C'est le transfert de chaleur au sein d'un milieu opaque, sans déplacement de matière, sous l'influence d'une différence de température. La propagation de la chaleur par conduction à l'intérieur d'un corps s'effectue selon deux mécanismes distincts : une transmission par les vibrations des atomes ou molécules et une transmission par les électrons libres. La théorie de la conduction repose sur l'hypothèse de Fourier, la densité de flux est proportionnelle au gradient de température :

$$\omega = -\lambda S \overrightarrow{\text{grad}}(T) \quad (1.1)$$

En générale en système unidimensionnel:

$$\omega = -\lambda \times S \times \frac{\partial T}{\partial x} \quad (1.2)$$

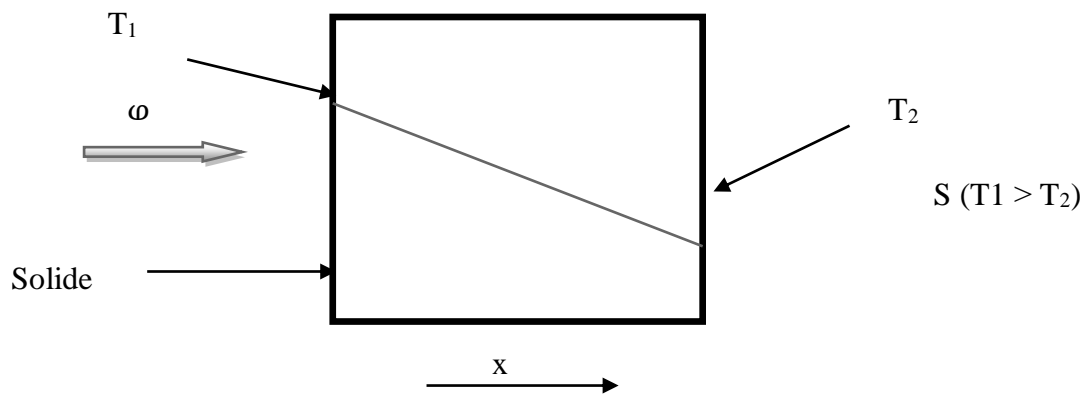


Figure.1: Transfert de chaleur conductif unidimensionnel

1.2.2.2. La convection :

C'est le transfert de chaleur entre un solide et un fluide, l'énergie étant transmise par déplacement du fluide.

Ce mécanisme de transfert est régi par la loi de Newton :

$$\omega = h \times S \times (T_p - T_\infty) \quad (1.3)$$

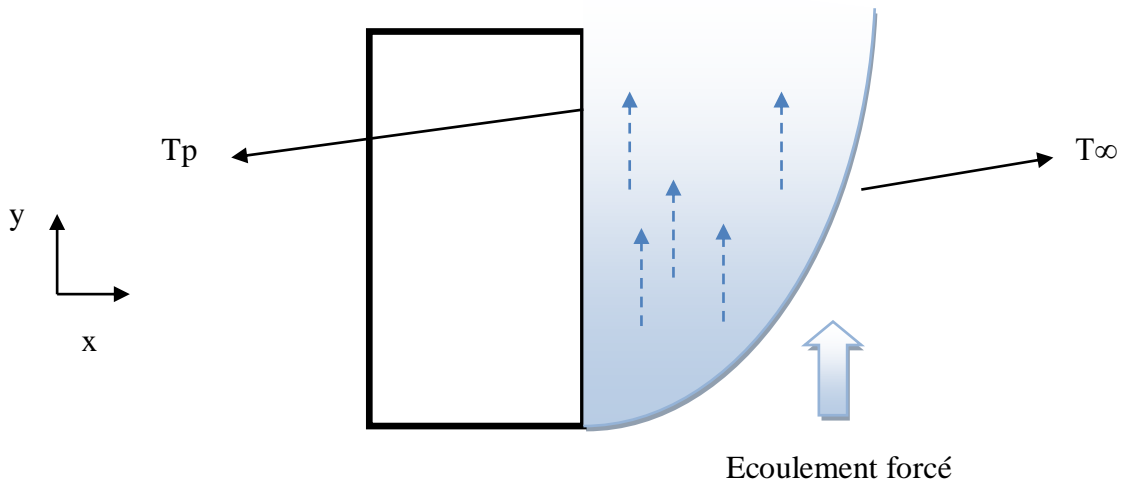


Figure.2: Transfert de chaleur convectif

1.2.2.3 Le rayonnement :

C'est un transfert d'énergie électromagnétique entre deux surfaces (même dans le vide). Dans les problèmes de conduction, on prend en compte le rayonnement entre un solide et le milieu environnant.

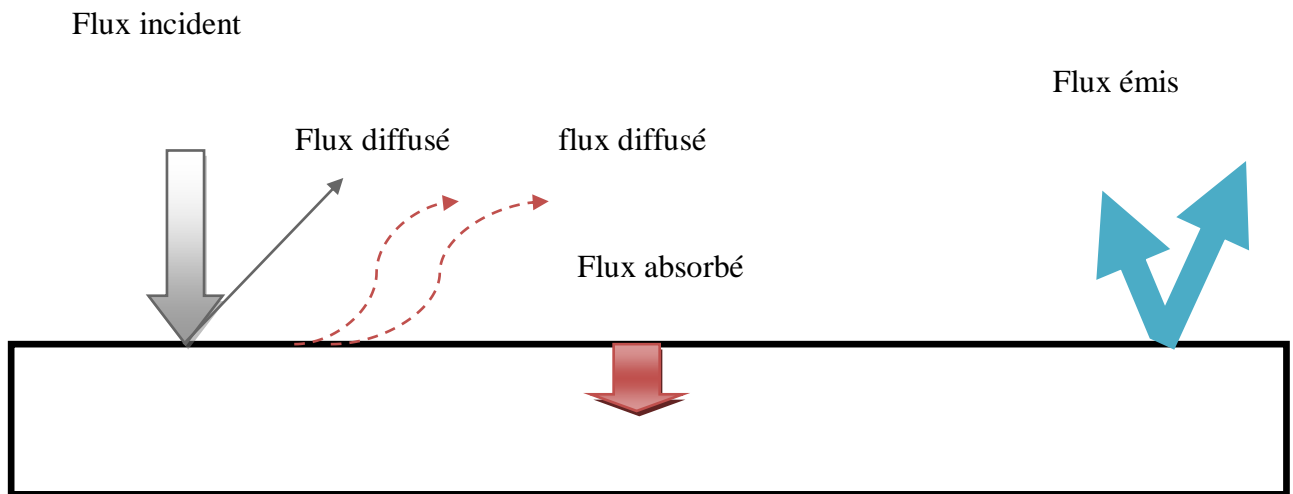


Figure.3: Transfert de chaleur radiatif

1. 3. Champ de température :

Les transferts d'énergie sont déterminés à partir de l'évolution dans l'espace et dans le temps de la température : $T = f(x, y, z, t)$. La valeur instantanée de la température en tout point de l'espace est un scalaire appelé champ de température.

Nous distinguerons deux cas :

- Champ de température indépendant du temps : le régime est dit permanent ou stationnaire
- Evolution du champ de température avec le temps : le régime est dit variable ou instationnaire.

1.3.1. Gradient de température :

On obtient une surface dite surface isotherme lorsque tous les points de l'espace ont la même température. La variation de température par unité de longueur est maximale le long de la normale à la surface isotherme. Cette variation est caractérisée par le gradient de température :

$$\overrightarrow{\text{grad}(T)} = n \frac{\partial T}{\partial n}$$

n : vecteur unitaire de la normale.

$\partial T / \partial n$: dérivée de la température le long de la normale.

1.4. La convection naturelle :

La convection naturelle est un phénomène de la mécanique des fluides, qui se produit lorsque le fluide déplace.

La masse volumique est en général en fonction de la température et un gradient de température implique une différence de masse volumique au sein du fluide. Cette différence de masse volumique implique une différence de la poussée d'Archimède qui va créer un mouvement. Ces déplacements s'appellent des mouvements de convection.

La convection thermique n'est pas le seul moyen de créer des mouvements verticaux dans les fluides. Ceux-ci vont se stratifier selon leur densité, à température uniforme, par l'effet de la gravité. Cette convection gravitationnelle se déroule

comme la convection thermique avec les zones du fluide plus dense descendant et les parties moins denses poussées vers le haut.

1.5. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté une étude bibliographique sur le problème physique de l'écoulement dans les cavités (carré et rectangulaire) partiellement chauffée et des généralités sur le transfert thermique et ses modes.

Dans le prochain chapitre nous présenterons les géométries à étudier dans ce travail ainsi que les hypothèses et les équations en deux dimensions de la convection naturelle.

Chapitre 2

GEOMETRIE ET FORMULATION

MATHEMATIQUE

2.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter une revue bibliographique de quelques études précédentes sur le problème de la convection naturelle dans une cavité partiellement chauffée. Une présentation du problème physique étudié en configuration géométriques (2D) et de deux cavités (carré et rectangle) 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 et de l'énergie, accompagnées par les conditions aux limites et les conditions initiales prises en considération pour chaque cas des deux géométries.

2.2 Définition du problème

Il s'agit de de l'écoulement d'un fluide visqueux et incompressible une cavité fermée carrée avec un gradient de température horizontal généré par une paroi verticale partiellement chaude et une paroi verticale complètement froide. L'écoulement est engendré sous l'influence du nombre de Rayleigh par le mouvement de l'air dans une cavité partiellement chauffé et une paroi froide, les autres parois étant adiabatiques.

2.3. Formulation mathématique :

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 :

2.3.1. 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 :

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

2.3.2. Equation de conservation de la quantité de mouvement :

L'équation de conservation de quantité de mouvement pour un écoulement 2D instationnaire, aux équations régissant le mouvement du fluide dans les directions x et y :

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

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} g \quad (2.3)$$

$$\rho(T) = \rho_0 [1 - \beta_T (T - T_0)] \Rightarrow \frac{\rho(T) - \rho_0}{\rho_0} = \beta_T (T - T_0) \quad (2.4)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \beta_T (T - T_0) g \quad (2.5)$$

Avec $\left(\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial v}{\partial t} = 0 \right)$ pour le régime stationnaire

2.3.3. Equation d'énergie :

Le principe de conservation de l'énergie pour un écoulement 2D instationnaire donne l'équation d'énergie suivante :

$$\frac{dT}{dt} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (2.6)$$

Avec $\left(\frac{dT}{dt} = 0 \right)$ pour le régime stationnaire

2.4. 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 $\text{div} \mathbf{V} = 0$ et la masse volumique est en fonction de la température suivant l'approximation boussinesq.
- L'écoulement du fluide au sein de la cavité est laminaire.
- Les propriétés physiques du fluide sont constantes sauf la masse volumique selon l'approximation de boussinesq.
- Ecoulement bidimensionnel (suivant les coordonnées cartésiennes x et y) pour le cas (2-D) cavité carrée et rectangulaire.

2.5. Configuration 2D :

2.5.1 Géométries

Le problème physique considéré est schématisé sur les figures (2.1) et (2.2), il s'agit de deux cavités carré et rectangle partiellement chauffées de longueur L et hauteur H rempli d'air.

cas : Convection naturelle dans une cavité carrée (H/L=1,0)

En régime stationnaire :

Nous avons étudié l'effet du nombre de Rayleigh en régime laminaire en faisant varier Ra de 10^3 à 10^6 , pour un nombre de Prandtl Pr=0,71 (cas de l'air).

En régime instationnaire :

Pour comprendre le comportement thermique de la cavité partiellement chauffée lors de démarrage nous avons simulé notre modèle physique pour un nombre de Rayleigh fixé à Ra= 10^5 , Pr=0,71 pour plusieurs pas de temps de 5 minutes de l'état initial à t=0 jusqu'à t=30 minutes.

Modèle mathématique adimensionnel

Grandeurs de référence :

$$u_0 = \frac{\alpha}{L}; p_0 = \rho \frac{\alpha^2}{L^2}; t_0 = \frac{L^2}{\alpha}; \theta = \frac{T - T_b}{T_h - T_b}$$

Equation de continuité :

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0 \tag{2.7}$$

Equation de quantité de mouvement :

Suivant X :

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} + U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial X} + Pr \left(\frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} \right) \tag{2.8}$$

Suivant Y :

$$\frac{\partial V}{\partial \tau} + U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial Y} + Pr \left(\frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} \right) + (RaPr)\theta \tag{2.9}$$

Avec $\left(\frac{\partial U}{\partial \tau} = \frac{\partial V}{\partial \tau} = 0 \right)$ pour le régime stationnaire.

Equation d'énergie :

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} + U \frac{\partial \theta}{\partial X} + V \frac{\partial \theta}{\partial Y} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} \quad (2.10)$$

Avec $(\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = 0)$ pour me régime stationnaire.

1^{er} cas : Convection naturelle dans une cavité carrée (H/L=1,0)

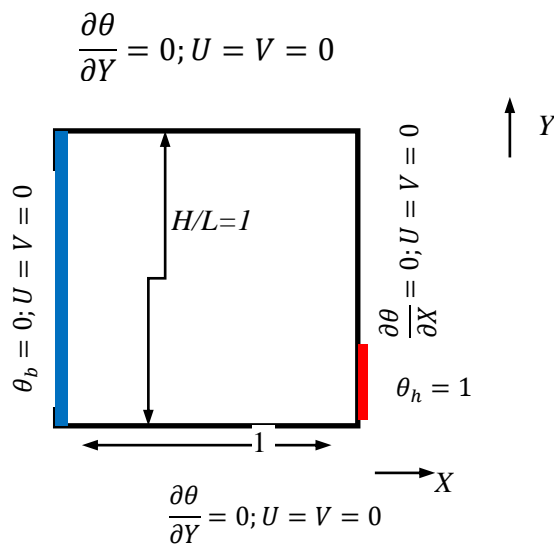


Figure 2.1 : La cavité carrée du problème étudié

2^{eme} cas : Convection naturelle dans une cavité rectangulaire (H/L=2,5)

Pour étudier l'effet du rapport de forme sur le comportement thermique de la cavité avec un rapport H/L=2,5

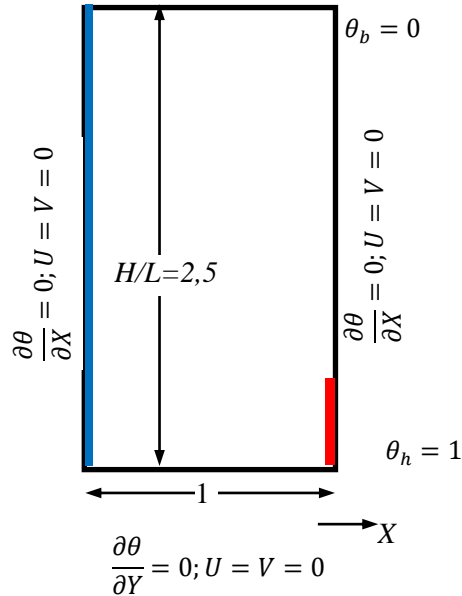


Figure 2.2 : Schéma de la cavité rectangle du problème étudié

2.6. Nombre de Rayleigh :

Le nombre de Rayleigh est un nombre sans dimension, nommé d'après Lord Rayleigh. Le nombre de Rayleigh est étroitement lié au nombre de Grashof et les deux chiffres sont utilisés pour décrire la convection naturelle (Gr) et le transfert de chaleur par convection naturelle (Ra). Le nombre de Rayleigh est simplement défini comme le produit du nombre Grashof et le nombre de Prandtl.

Le nombre de Rayleigh est défini par :

$$Ra = Gr \cdot Pr \tag{2.11}$$

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot L^3}{\alpha \cdot \nu} \tag{2.12}$$

2.6.1. Nombre de Prandtl :

C'est un nombre adimensionnel. Il représente le rapport entre la diffusivité de quantité de mouvement (ou la viscosité cinématique) et la diffusivité thermique. On le définit de la manière suivante :

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad (2.13)$$

2.6.2. Nombre de Grashof :

C'est un nombre sans dimension, utilisé en mécanique des fluides pour caractériser la convection naturelle dans un fluide, qui décrit la relation entre la flottabilité et la viscosité dans un fluide

Il correspond au rapport des forces de gravités sur les forces visqueuses .on le définit :

$$Gr = \frac{\beta \cdot g \cdot \Delta T \cdot L^3}{\nu^3} \quad (2.14)$$

2.7. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté notre modèle physique et notre modèle mathématique à résoudre pour étudier le comportement thermique de l'air contenu dans une cavité en présence d'un gradient de température avec une cavité partiellement chaude en régime stationnaire et instationnaire en deux dimensions.

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

Chapitre 3

RESOLUTION NUMERIQUE

3.1. Introduction

Dans ce chapitre, on se basant sur la méthode du volume finis (MVF) qui consiste à transformer les équations différentielles en un système d'équation algébriques. Cette dernière sera appliquée à la résolution de notre problème dynamique par le code commercial Fluent.

3.2. Méthodes des volumes finis (MDF)

En analyse numérique, la méthode des volumes finis est utilisée pour résoudre numériquement des équations aux dérivées partielles, L'équation aux dérivées partielles est résolue de manière approchée à l'aide d'un maillage constitué de volumes finis qui sont des petits volumes disjoints (en 3D, des surfaces en 2D, des segments en 1D) dont la réunion constitue le domaine d'étude.

3.3. Description du logiciel Gambit

3.3.1 Définition de Gambit :

Le Gambit est un logiciel de maillage édité par la société ANSYS, Ce mailleur permet de créer sa propre géométrie, ou d'importer celle-ci depuis un fichier CAO (Conception Assisté par Ordinateur).

3.3.2. Etapes de Gambit :

1. Lancement du Gambit :

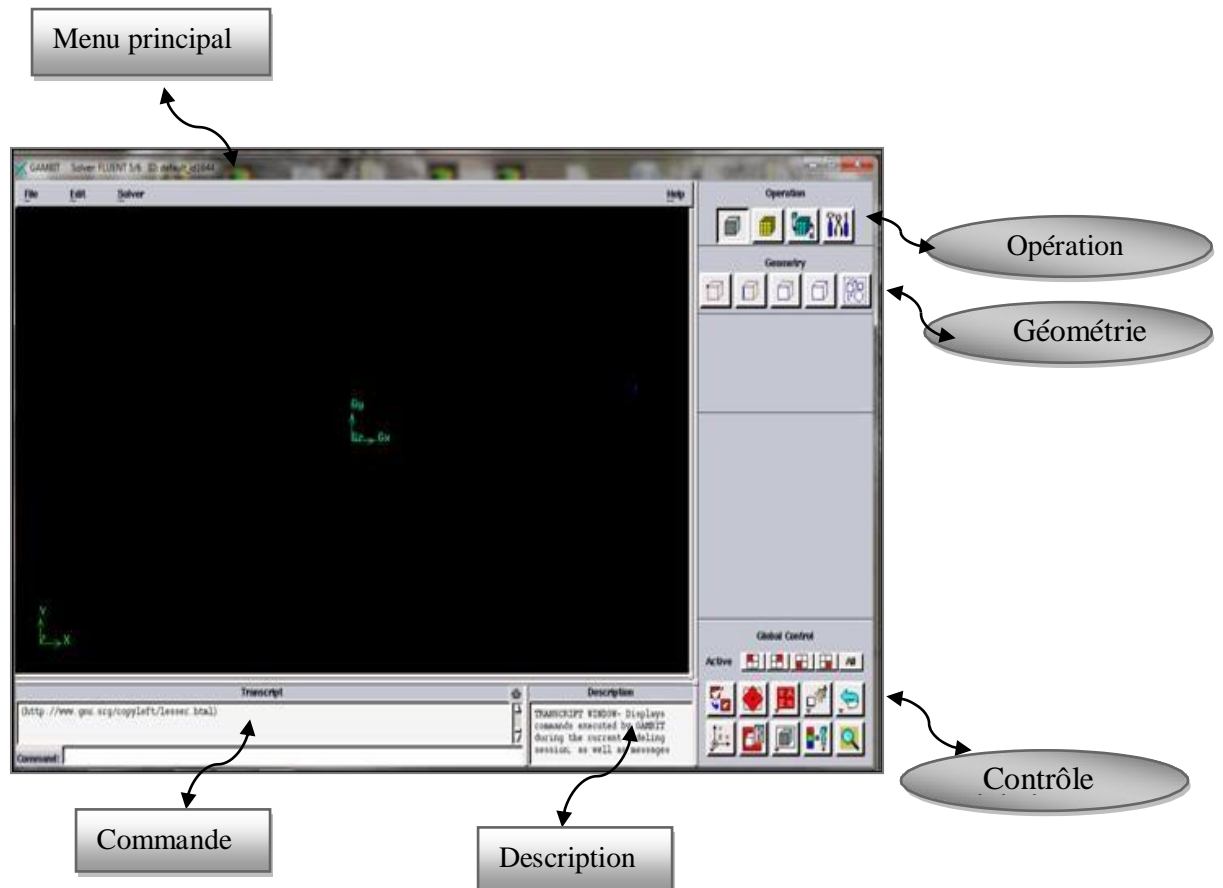


Figure 3.1. L'interface graphique de Gambit.

2. Construction de la géométrie :

La construction de la géométrie est de définir les domaines de calcul qui seront des faces dans un problème 2D.

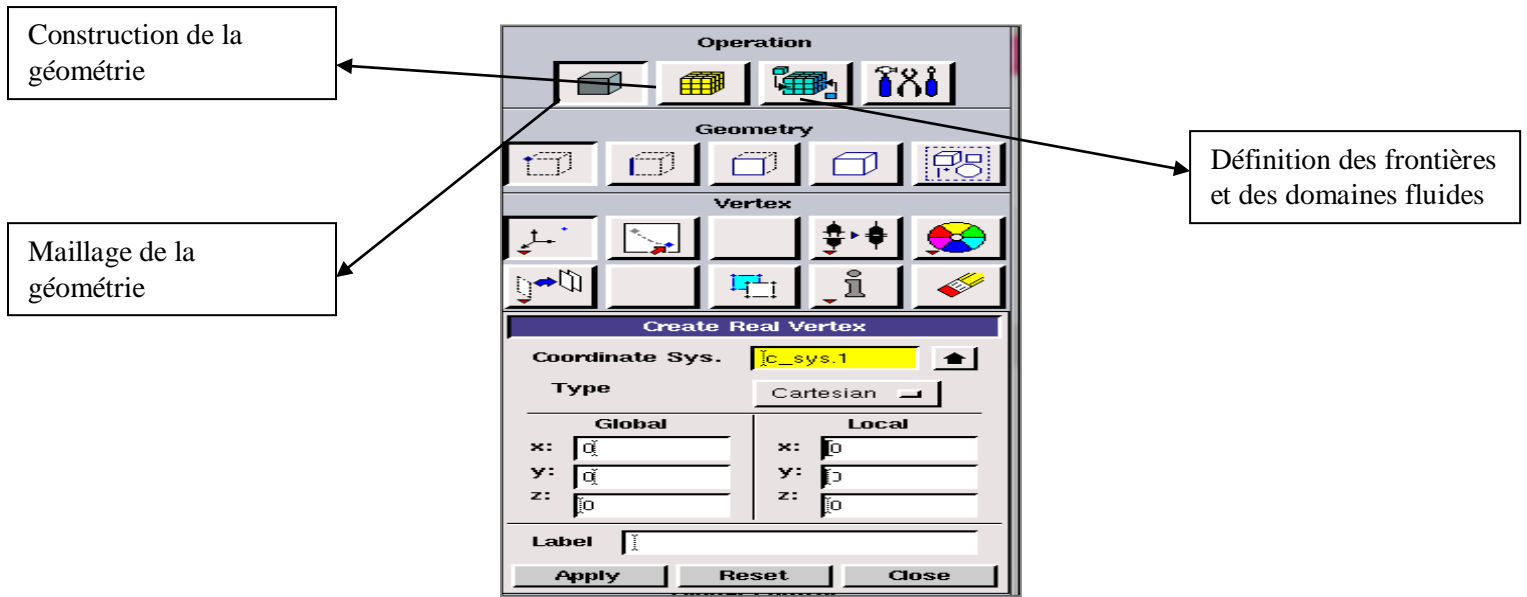


Figure 3.2. Construction de la géométrie

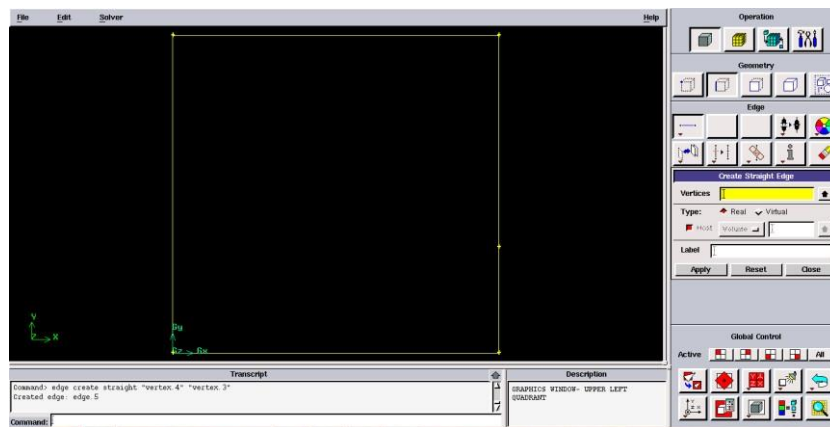


Figure 3.3. Construction des lignes de la géométrie

3. Génération de maillage :

Dans notre cas en tient un maillage structuré avec 0.01 Ratio.

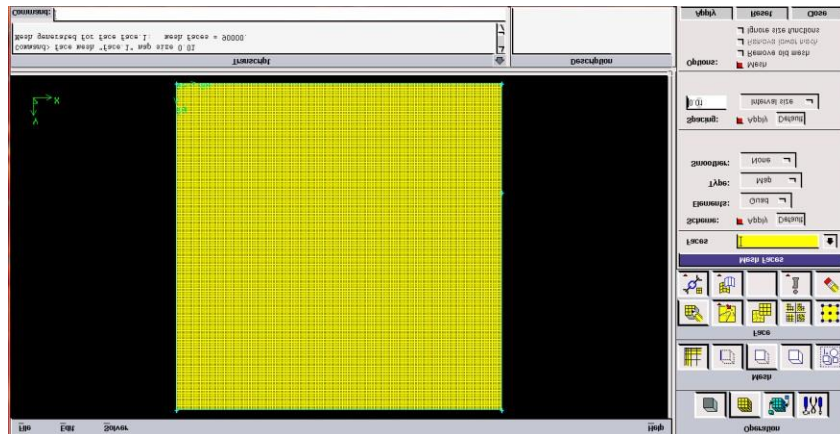


Figure 3.4. Génération de maillage

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.



Figure 3.5 : Les conditions aux limites

5. Exportation du maillage de Gambit :

File → export → mesh

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 :

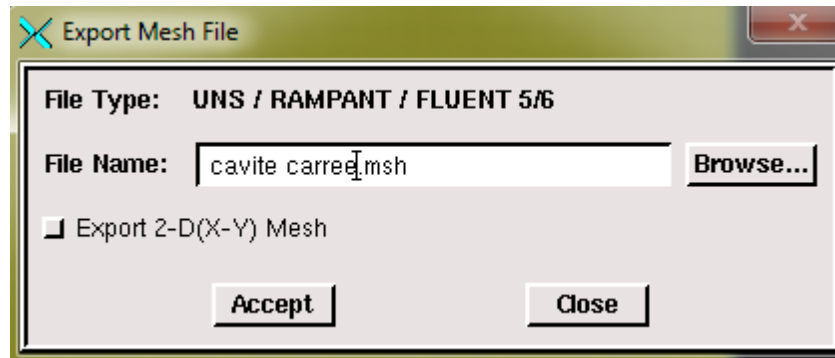


Figure 3.6: Enregistrement du fichier

3.4. 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.

3.4.1. Simulation sous Fluent :

1. Lancement 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 :

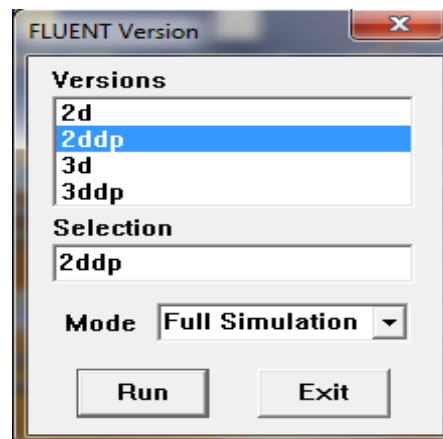


Figure 3.7 : Lancement du logiciel Fluent.

2. Importation de la géométrie :

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

File → **Read** → **Case**

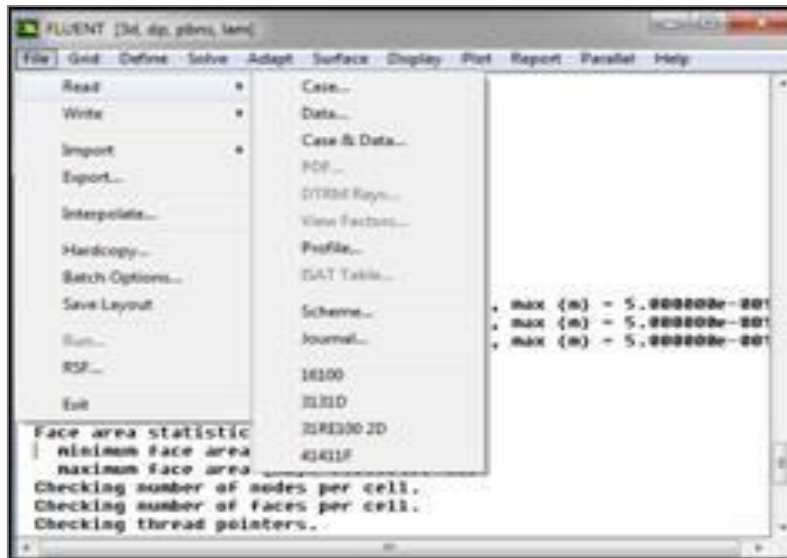


Figure 3.8 : Importation de la géométrie.

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**

3.5. Choix du solveur :

Define → Models → Solver

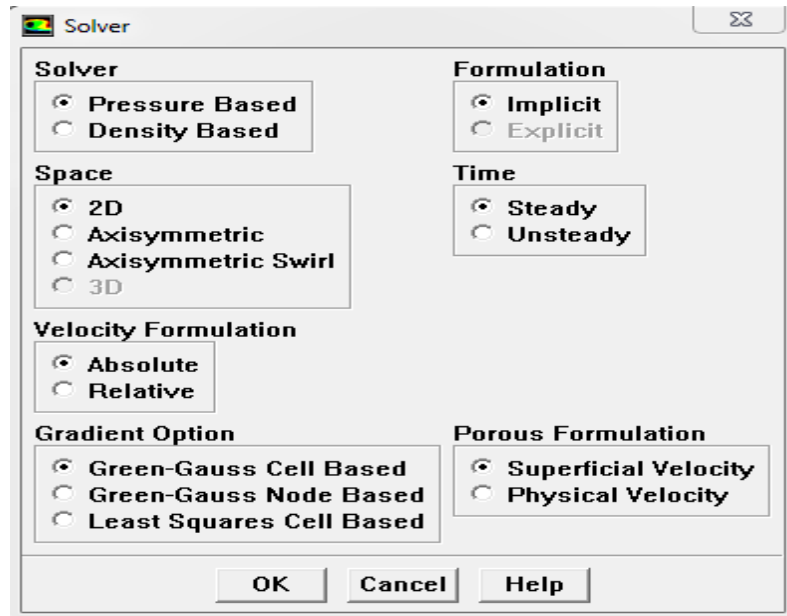


Figure 3.9 : choix du solveur sous Fluent

C'est là aussi qu'on choisit le régime d'écoulement.

3.6. Les caractéristiques du fluide :

Define → Materials

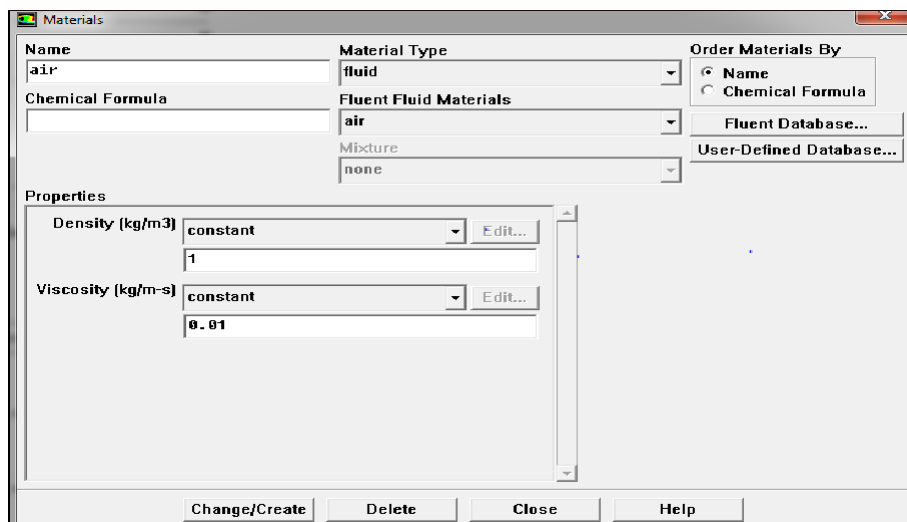


Figure 3.10: Les caractéristiques du fluide

3.7. Les conditions opératoires :

Define → Operating conditions

Ceci permet d'introduire la valeur de la pression de référence.

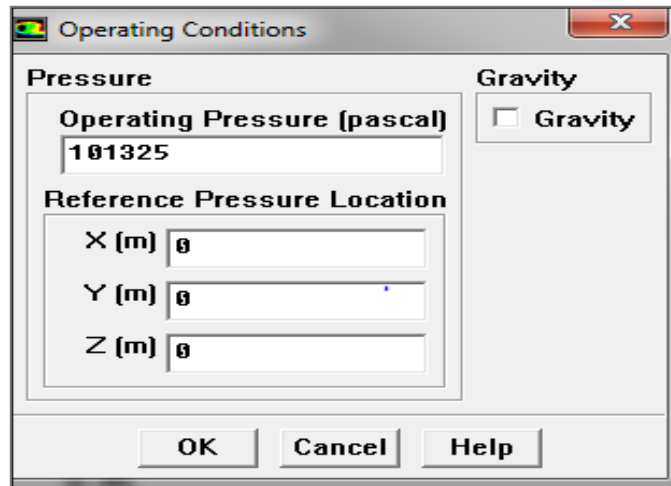


Figure .3.11 : choix des conditions opératoires

3.8. Choix des températures (conditions aux limites) :

Define → Boundary conditions

Fixation des valeurs des conditions aux limites :

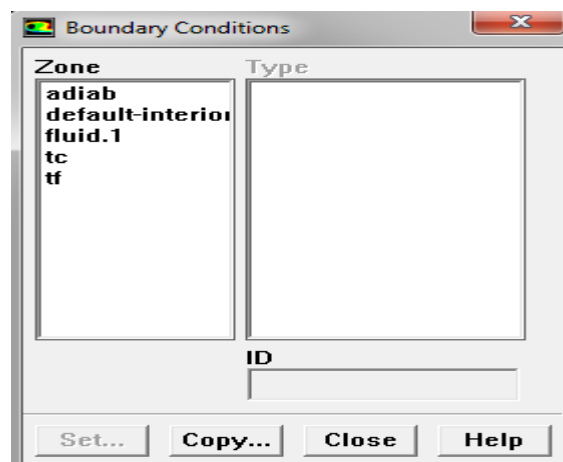


Figure 3.12 : choix des températures (conditions aux limites)

3.9. Contrôle de la solution :

Solve → Control → Solution

Cette étape permet de choisir l'ordre de l'équation à résoudre.

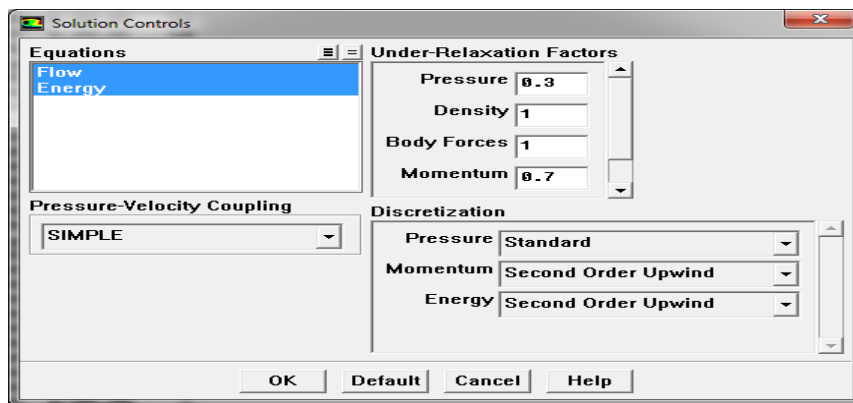


Figure 3.13: Choix d'ordre d'équation

1. Initialisation :

Solve → Initialize → Initialize

Cette étape permet d'initialiser le calcul.

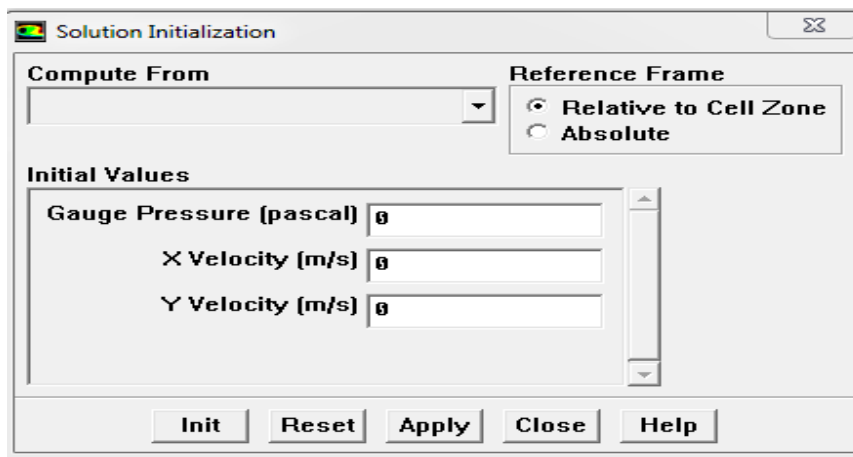


Figure 3.14: initialisation de calcul

2. Choix de convergence à l'écran

Solve → Monitors → Résidual

Cette fonction permet de choisir les critères de convergence.

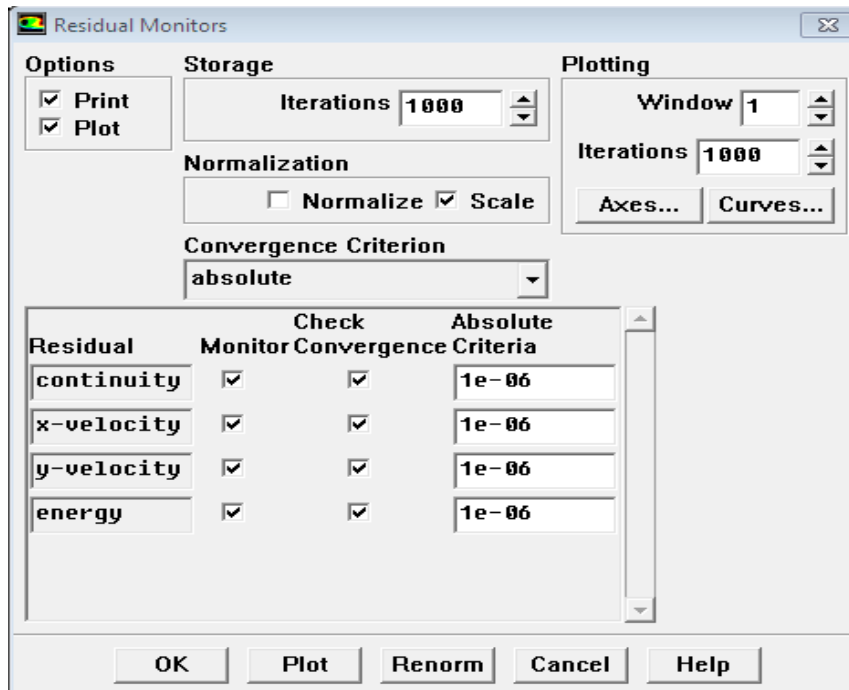


Figure 3.15 : Choix de convergence

3. Lancement du calcul :

Solve → iterate

Cette étape permet de choisir le nombre des itérations pour lancer les calculs.

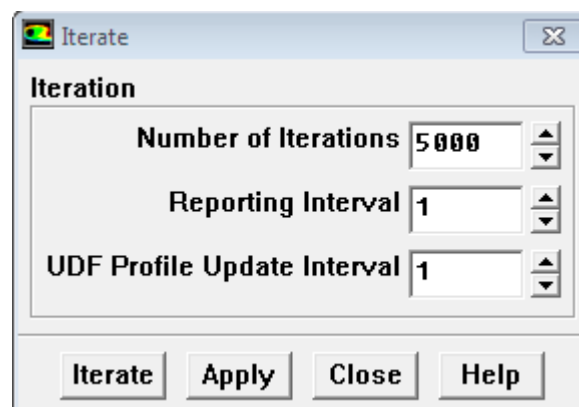


Figure (3.16) : Choix du nombre des itérations

4. Allure de convergence :

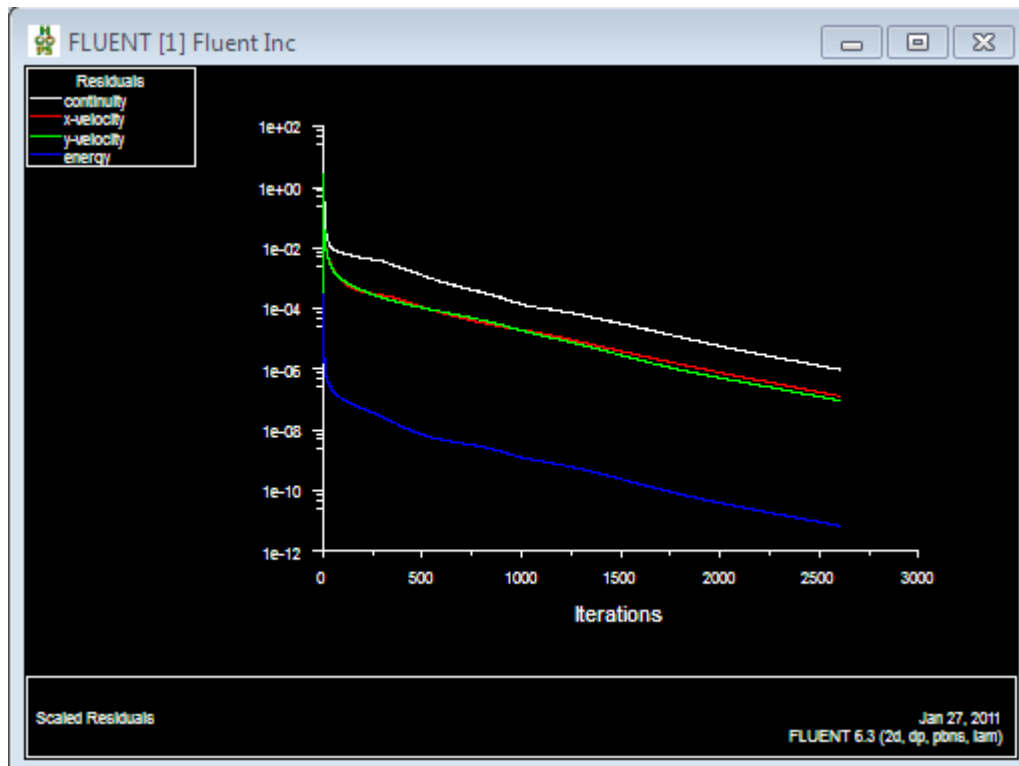


Figure (3.17): Allure de convergence

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.

Chapitre 4

RESULTATS ET DISCUSSIONS

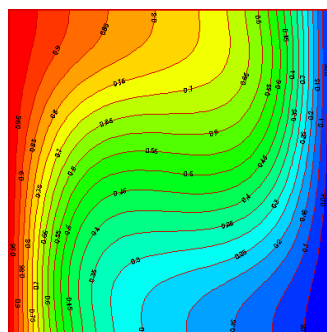
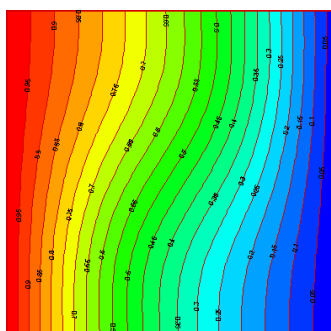
4.1. Introduction :

Nous présentons dans ce chapitre la résolution numérique du problème pour les cavités carrée et rectangulaire pour les cas stationnaires et instationnaires.

Le but est de faire une étude et analyse des résultats pour les deux cas physiques : cavité carrée et rectangulaire, pour un nombre de Rayleigh variant de 10^3 à 10^6 pour le régime stationnaire et de 1 minute à 30 minutes en fixons le nombre de Rayleigh à 10^5 pour le régime instationnaire.

4.2. Validation :

Afin d'élaborer une comparaison des résultats obtenus par nos simulations numériques avec ceux expérimentaux ou numériques disponibles dans la littérature et de proposer des interprétations aux phénomènes observés, une simulation pour la cavité carrée en régime stationnaire est utile de valider au préalable notre procédure de simulation numérique en utilisant le code Fluent. Dans le présent travail, les résultats de Brahimi et al. [9] ont été utilisés. La comparaison des simulations pour le nombre de Rayleigh égale 10^3 , 10^4 , 10^5 et $2.5 \cdot 10^5$ et un nombre de Prandtl $Pr=0.71$ ont montré un rapprochement entre les simulations.



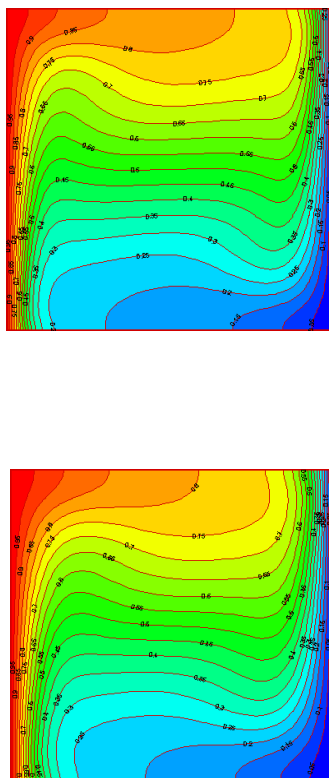
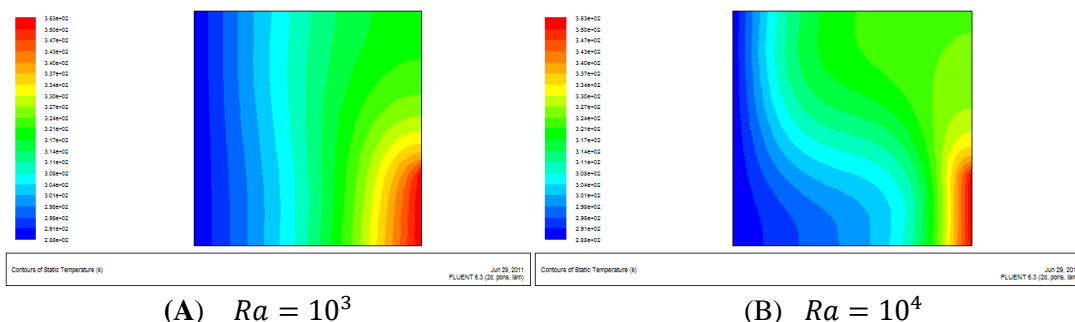


Figure.4.1 : L'évolution de température de $Ra=10^3$ à $Ra=2.5 \cdot 10^5$

4.2. Discussion sur les résultats obtenus avec l'effet du Rayleigh et le temps sur la structure d'écoulement :

L'utilisation du maillage adapté a permis d'analyser l'effet du nombre du Rayleigh sur la structure de l'écoulement dans la cavité carrée partiellement chauffée en deux dimensions. De ce fait les lignes de courant ont été tracées et comparés dans la marge du nombre de Rayleigh proposée dans cette étude.

4.3. Cas de la cavité carrée en régime stationnaire :



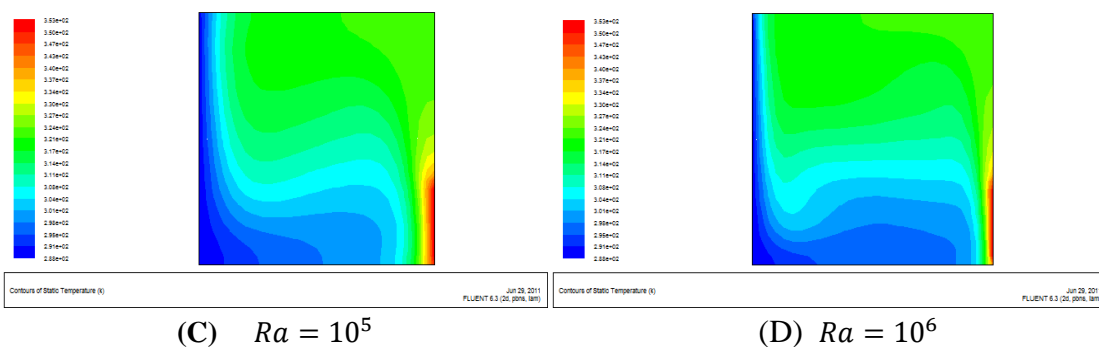


Figure.4.1 : L'évolution de température pour différents nombre de Rayleigh.

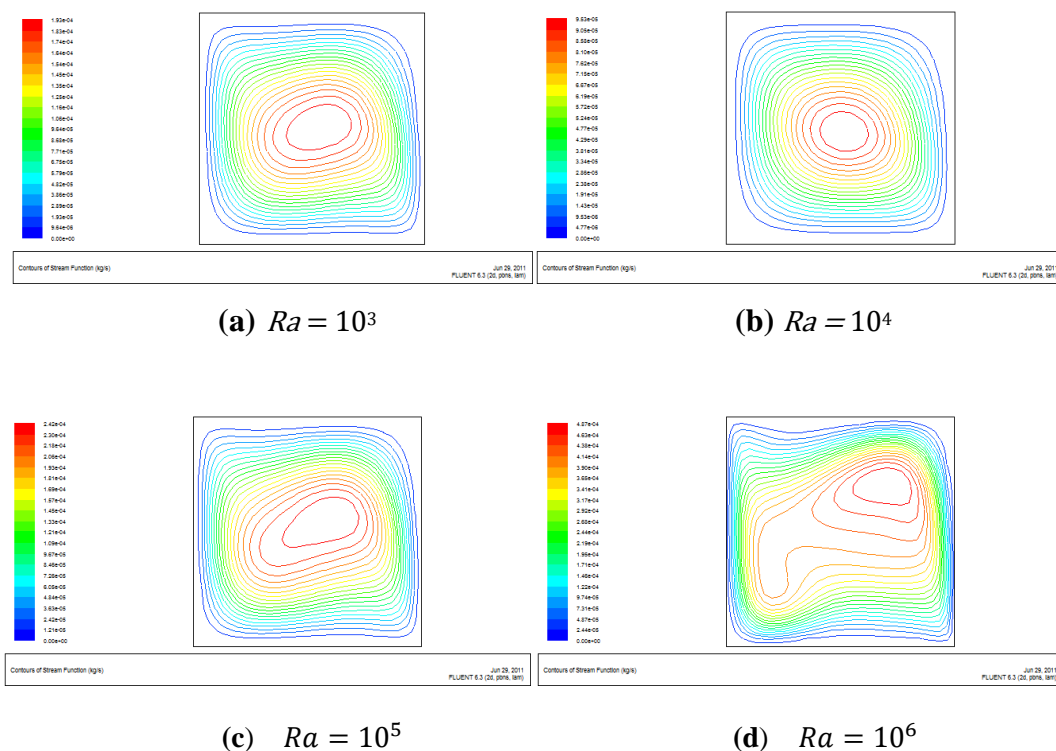


Figure.4.1.1 : les lignes de courant pour différents nombre de Rayleigh.

4.3.1. Commentaires sur les résultats:

Le champ thermique présenté par les isothermes, pour différentes nombres de Rayleigh est présenté sur **La figure 4.1**, on remarque que pour des faibles valeurs de $Ra=10^3$ et $Ra=10^4$, des isothermes verticales apparaissent, car la chaleur est transférée par conduction entre les murs. Pour des valeurs de Ra plus élevées, la chaleur passe du mode conductif au mode convectif.

La forme des isothermes montre que le mécanisme de transfert de chaleur dominant change à mesure que Ra augmente, reflète que la convection est dominante à l'intérieur de l'enceinte.

4.4. Cas de la cavité carrée en régime instationnaire :

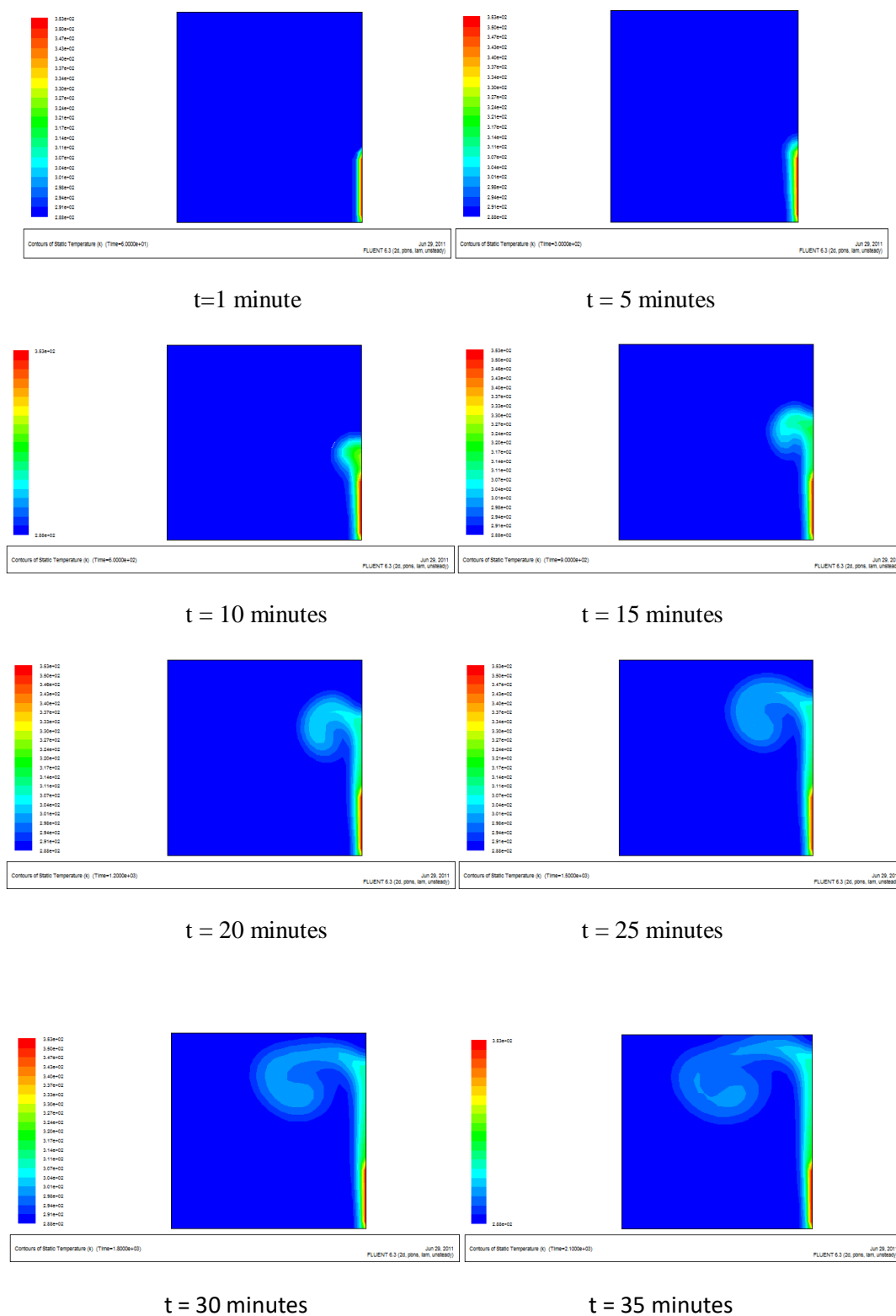


Figure.4.2 : L'évolution de la température en fonction du temps.

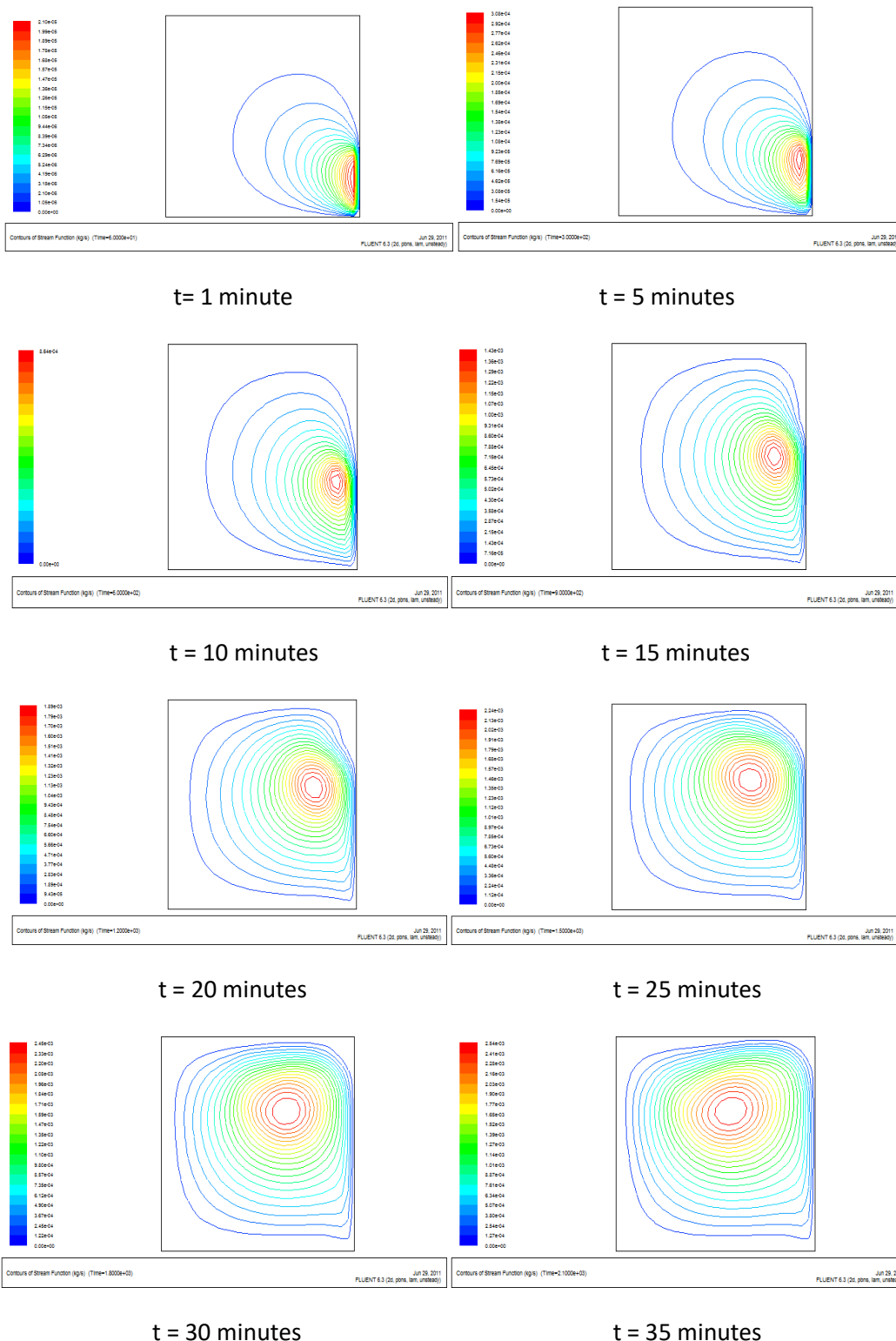


Figure.4.2.1 : les lignes de courant en fonction du temps.

4.4.1. Commentaires sur les résultats :

La **Figure.4.2.1** représente les lignes de courant pour le régime instationnaire en variant le temps de 1 minutes à 35 minutes, un vortex apparaît près de la source chaude dans la moitié inférieure droite. Au fur et à mesure que le temps augmente, le vortex se déplace vers le haut.

Pour des valeurs du temps plus élevées $t = 30$ et 35 minutes, le vortex déplace au centre de la cavité.

Les isothermes présentées à travers la **Figure.4.2** montrent que pour des faibles valeurs de $t=1$ minute à 10 minutes la chaleur est transférée par conduction entre le mur chaud et froid. Pour des valeurs du temps plus élevées comme montre la figure, le mécanisme de transfert de chaleur commence à se développer et passe de la conduction à la convection.

Les vitesses au centre de la cavité sont très faibles par rapport à celles aux limites où le fluide se déplace rapidement.

4.5. Cas de la cavité rectangulaire en régime stationnaire :

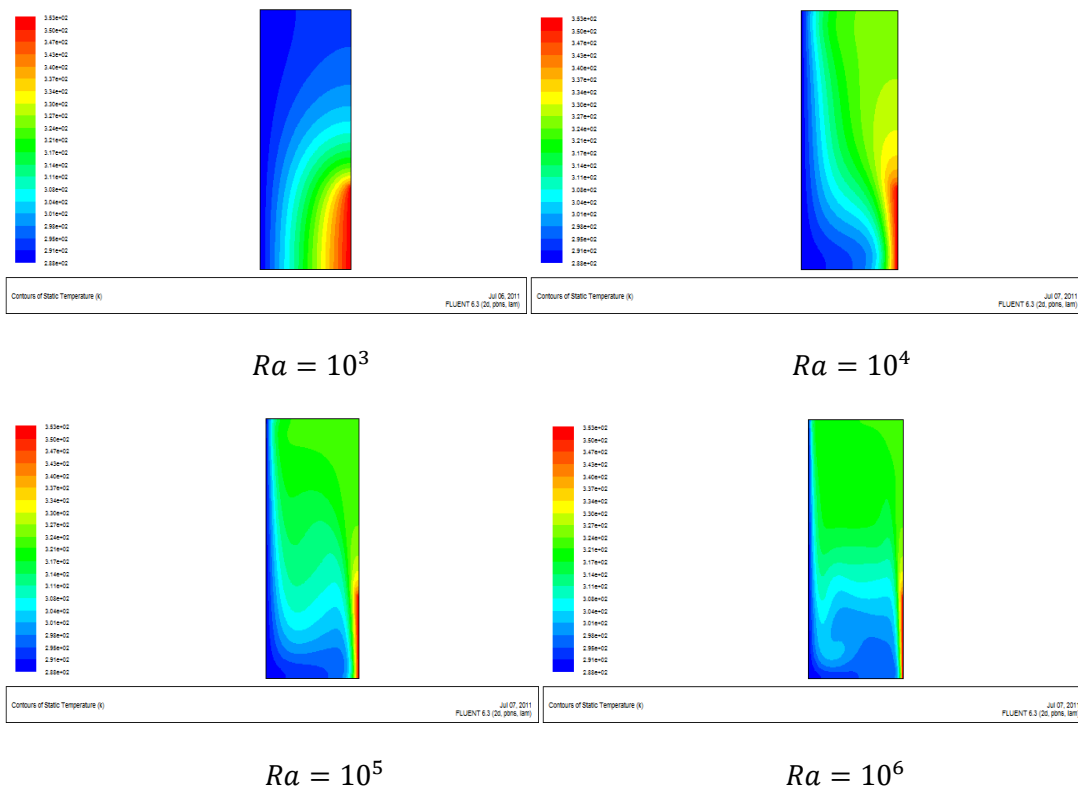


Figure.4.3. : L'évolution de température pour différents nombre de Rayleigh.

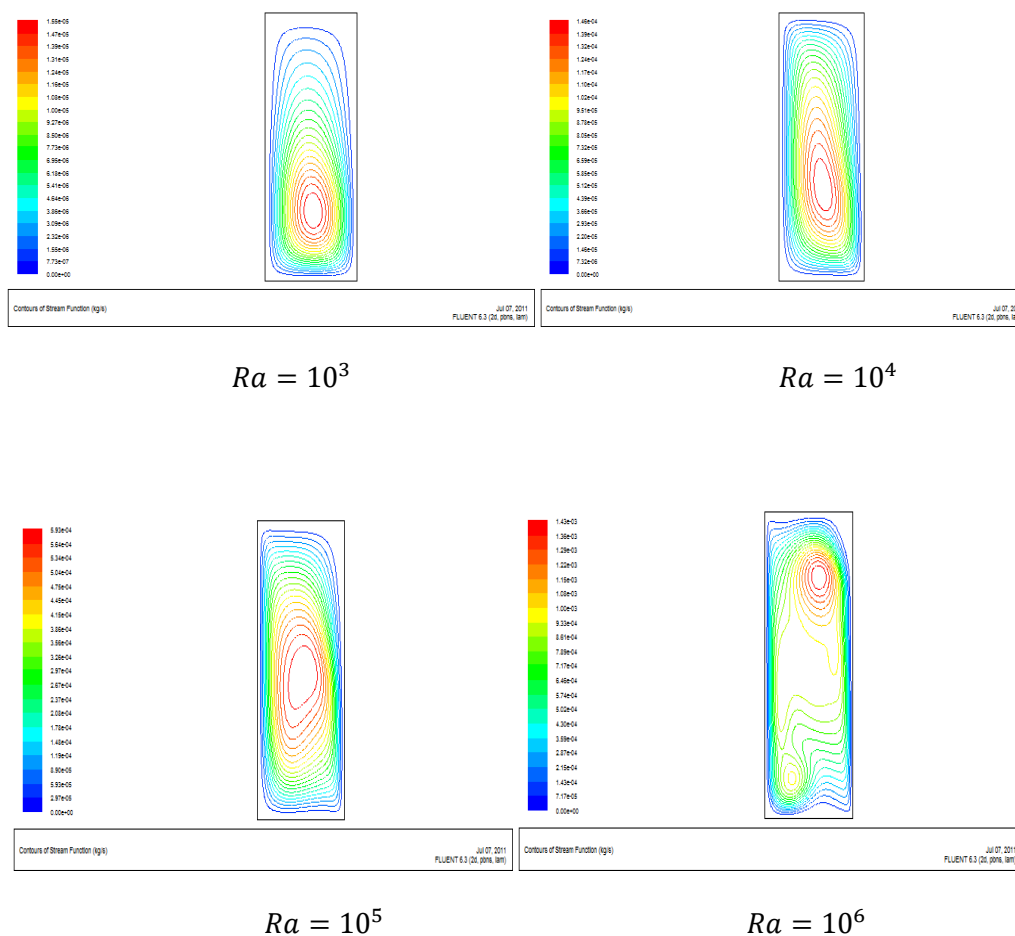
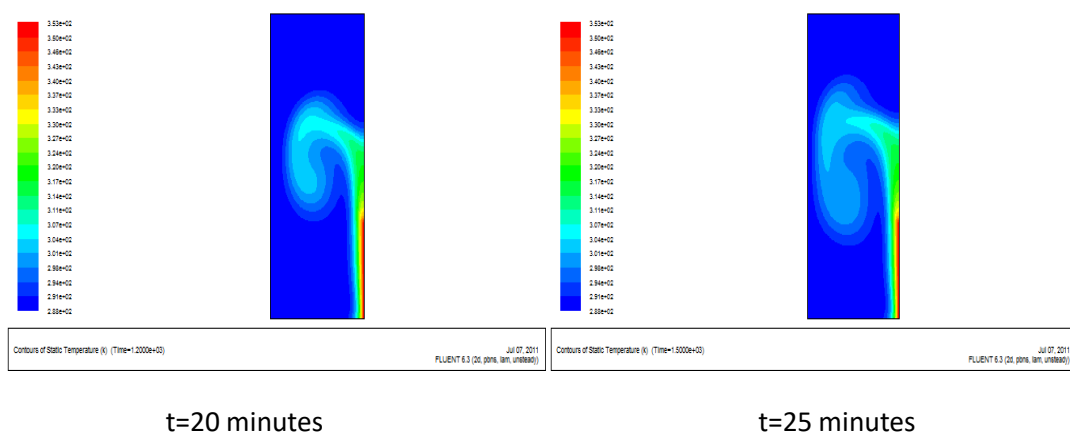
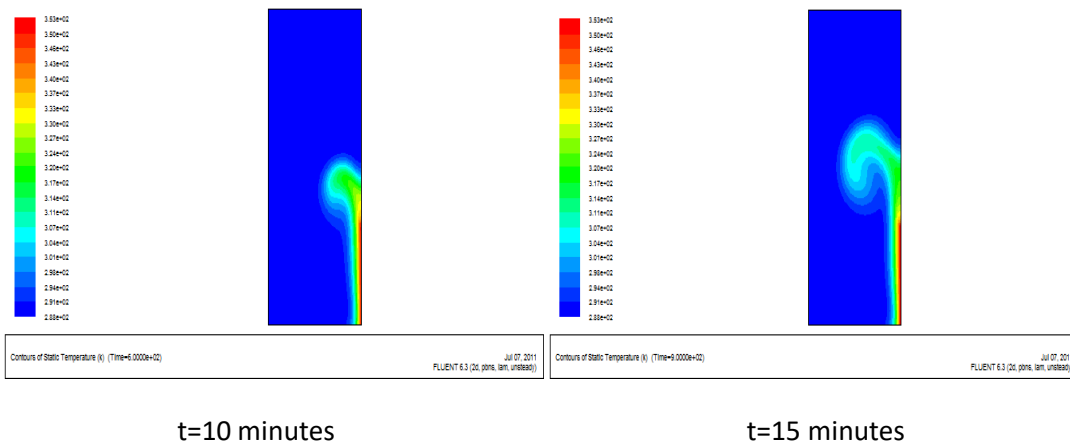
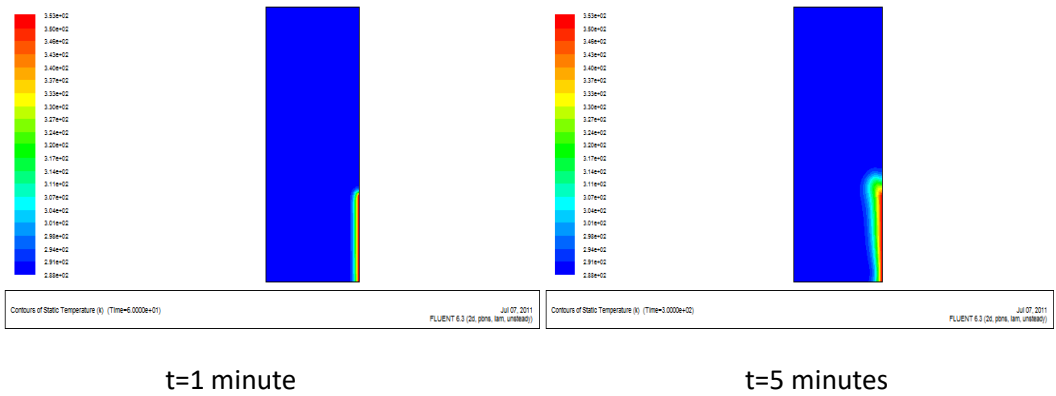


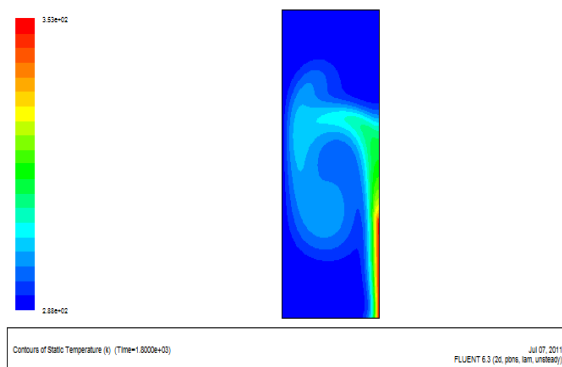
Figure.4.3.1. : les lignes de courant pour différents nombre de Rayleigh.

4.5.1. Commentaires sur les résultats :

La distribution de températures présentée par les isothermes, pour différents nombres de Rayleigh est présentée sur La figure 4.3, on remarque que pour un faible nombre de Rayleigh de $Ra=10^3$, le régime est conductif et les isothermes restent parallèles entre elle en forme curviligne autour de la paroi à haute température ; lorsque le nombre de Rayleigh augmente à 10^4 les isothermes se tordent en occupant toute la cavité en forme d'éventail. Pour des nombres de Rayleigh plus importants au-delà de 10^5 , une stratification thermique verticale s'installe dans la moitié inférieure de la cavité. Cette distribution de température est due à un écoulement convectif avec l'installation d'une structure d'écoulement monocellulaire occupant toute la cavité qui va se scinder en 2 cellules pour $Ra=10^6$.

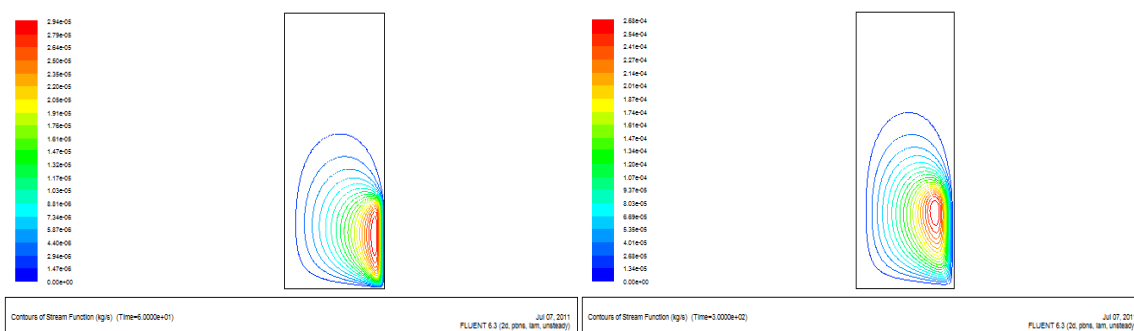
4.6. Cavité rectangulaire en régime instationnaire :





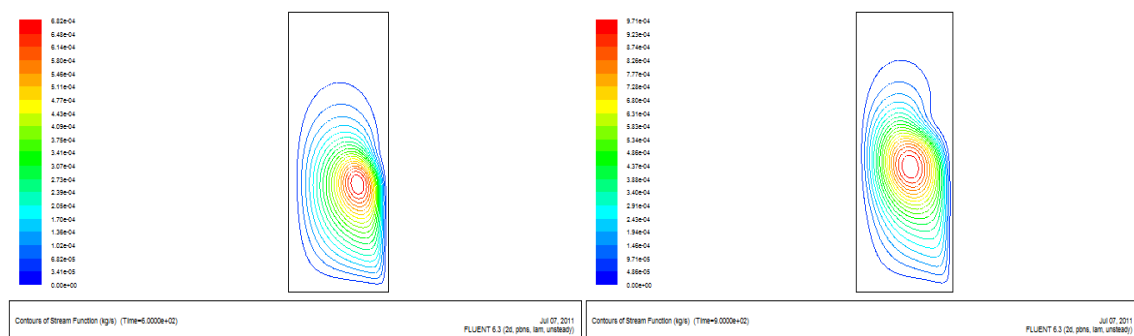
t=30 minutes

Figure.4.4. : L'évolution de température en fonction du temps.



t=1 minute

t=5 minutes



t=10 minutes

t=15 minutes

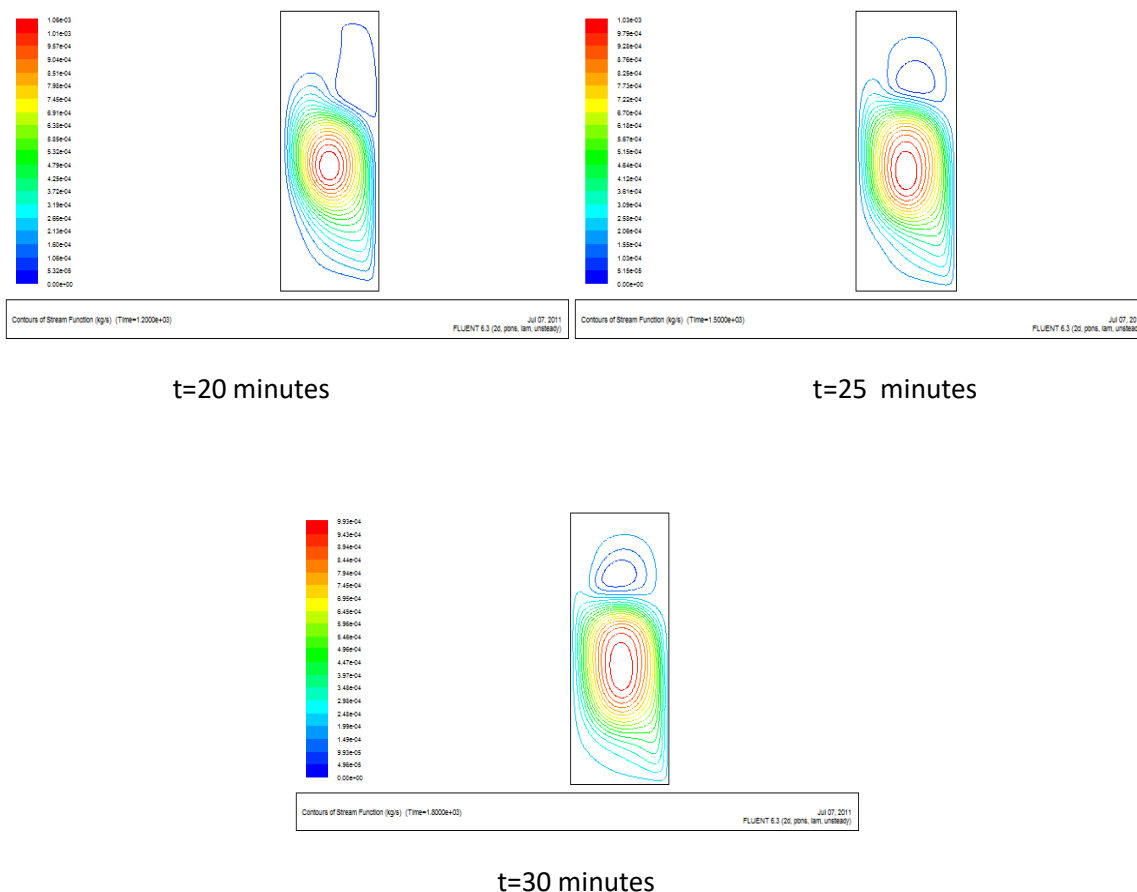


Figure.4.4.1.: les lignes de courant en fonction du temps.

4.6.1. Commentaires sur les résultats :

La **Figure.4.4.1** représente les lignes de courant pour le régime instationnaire en variant le temps de 1 minute à 35 minutes, un vortex apparait près de la source chaude dans la moitié inférieure droite. Au fur et à mesure que le temps augmente, le vortex se déplace vers le haut, où la chaleur de la source chaude est transportée par convection vers le haut au milieu de l'enceinte.

Pour des valeurs du temps plus élevées $t = 30$ et 35 minutes, le vortex se déplace au centre de la cavité et se décompose en deux tourbillons.

Les isothermes présentées à travers la **Figure.4.4**, montrent que pour des faibles valeurs du $t=1$ minute à 10 minutes la chaleur est transférée par conduction entre le mur chaud et froid.

Pour des valeurs du temps plus élevées comme montre la figure, le mécanisme de transfert de chaleur commence à se développer et passe de la conduction à la convection.

Les vitesses au centre de la cavité sont très faibles par rapport à celles aux limites où le fluide se déplace rapidement.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Le travail effectué dans le cadre de cette étude a pour objectif de comprendre le comportement de la convection naturelle dans des cavités fermées différentiellement chauffées. Une des deux parois verticales n'est que partiellement chauffée et les deux parois horizontales et le reste de la paroi chauffée partiellement sont considérées adiabatiques. En plus de la cavité carrée étudiée; nous avons étudié également une cavité rectangulaire pour mettre en évidence l'effet du rapport de forme sur le transfert de chaleur convectif.

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

La résolution du problème était réalisée avec la méthode numérique, basée sur la méthode des volumes finis en utilisant un logiciel commercial «Fluent». Et le logiciel de maillage «Gambit».

La gamme de variation du nombre de Rayleigh pour laquelle nous avons simulé l'écoulement de l'air pour le régime stationnaire est de $Ra = 10^3$ jusqu'à $Ra = 10^6$ et nous avons suivi l'écoulement convectif en fonction du temps pour le régime instationnaire, pour le nombre de Rayleigh égale à 10^5 .

Dans le cas de la convection naturelle en régime stationnaire, l'augmentation du nombre de Rayleigh nous a permis de voir la transition du transfert de chaleur conductif vers le transfert de chaleur convectif avec une structure d'écoulement monocellulaire. L'étude de l'effet du rapport de forme sur la structure de l'écoulement à montrer l'apparition d'un régime multicellulaire dû à la déstabilisation de la cellule principale centrale à cause de la hauteur de la cavité.

L'étude de la convection naturelle en régime instationnaire, nous a permis de comprendre la formation de la structure d'écoulement aux premiers instants pendant la transition du régime conductif vers le régime convectif et la naissance des cellules tourbillonnaires lors de l'installation de la structure multicellulaire dans le cas de la cavité rectangulaire.

Parmi les perspectives pour poursuivre cette étude, nous pouvons citer l'introduction du couplage avec le transfert radiatif et/ou le transfert de masse tel que l'humidité ou des polluants.

References Bibliographiques

Références bibliographique :

- [1] A. Bejan 1985, Transfert de masse et de chaleur par convection naturelle dans une cavité vertical
- [2] Jordi Pallares and Alexandre Fabregat 2021, Prédiction du dépôt de particules sur les parois d'une cavité cubique avec des parois opposées chauffées différemment à l'aide de modèles de couche limite de convection mixte laminaire à transfert de chaleur et de masse.
- [3] GUESTAL Mabrouk 2010, Modélisation de la Convection Naturelle Laminaire dans Une Enceinte Avec Une Paroi Chauffée Partiellement.
- [4] M.M. Ganzarolli, L.F. Milanez 1995, Natural convection in rectangular enclosures heated from below and symmetrically cooled from the sides.
- [5] G de Vahl Davis 1983, Natural convection of air in square cavity.
- [6] M. Hasnaoui, E. Bilgen, P. Vasseur 1992. Natural convection heat transfer in rectangular cavities partially heated from below.
- [7] R.L. Frederick 1999. On the aspect ratio for which the heat transfer in differentially heated cavities is maximum.
- [8] N. Nithyadevi 2007. Natural convection in a square cavity with partially active vertical walls; time periodic boundary condition.
- [9] M. Brahim et M. Debih 2020. Etude numérique de la convection naturelle au sein d'une cavité carrée.
- [10] E.K. Lakhal et M. Hasnaoui 1995. Convection naturelle dans une cavité carrée chauffée périodiquement par le bas.