



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'ETUDES MASTERACADEMIQUE

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Energétique

*Thème*

**Etude de refroidissement d'un composant électronique  
dans une enceinte doublement entraînée**

Présenté par :

- ❖ ABED Maghnia
- ❖ ABDENEBI Mohamed

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

|           |                         |                               |
|-----------|-------------------------|-------------------------------|
| Président | Dr. MEDJAHED Bendida    | Université de Mostaganem UMAB |
| Encadreur | Pr. HOUAT Samir         | Université de Mostaganem UMAB |
| Examineur | Dr. GUERMATE Abdelkader | Université de Mostaganem UMAB |

**Année Universitaire : 2020 / 2021**

## Résumé :

Le travail présenté dans ce mémoire est une étude numérique de refroidissement d'un composant électronique dans une cavité carrée doublement entraînée par la méthode des volumes finis, en utilisant le code de calcul Fluent.

La configuration choisie est une cavité carrée avec deux parois horizontales entraînées parallèlement avec une température froide. Celle de droite est chauffée, supposée comme un composant électronique et la paroi de gauche est adiabatique.

Une étude sur le refroidissement des composants électroniques, ainsi qu'une revue bibliographique sur les travaux les plus importants trouvés dans la littérature sont présentées. Suivi d'une description de la configuration étudiée et la formulation mathématique.

Le travail est commencé par une étude de validation physique et de la dépendance du maillage est effectuée sur une configuration classique de la cavité carrée fermée et différentiellement chauffée avec un nombre de Prandtl égale 0.71 et nombre de Rayleigh variant de  $10^3$  à  $10^5$ . Les résultats ont révélé une bonne concordance avec la littérature et ce pour un maillage optimisé de  $101 \times 101$  et raffiné sur les parois.

L'étude de la configuration physique proposée dans ce travail est pour le même nombre de Prandtl avec un Reynolds qui varie entre 400 et 1000. La convection est supposée de nature mixte avec des Rayleigh entre  $10^3$  et  $10^5$ .

Les résultats de l'analyse pour la configuration géométrique étudiée sont présentés sous forme de lignes de courant, les isothermes les profils de vitesse ainsi que le nombre de Nusselt. L'effet de Reynolds et Rayleigh est bien discuté sur la structure de l'écoulement et le transfert de chaleur à l'intérieur de l'écoulement. Les résultats ont révélé que le refroidissement de la partie chaude simulée comme un composant électronique dépend énormément du choix de la vitesse d'entraînement du fluide utilisé, en l'occurrence le nombre de Reynolds et aussi le nombre de Rayleigh.

Mots clés : Cavité doublement entraînée, convection mixte, refroidissement des composants électronique.

## **Abstract:**

The work presented in this dissertation is a numerical study of cooling an electronic component in a double-driven square cavity by the finite volume method, using the Fluent code.

The chosen configuration is a square cavity with two horizontal walls driven in parallel with a cold temperature. The one on the right is heated, assumed to be an electronic component, and the left wall is adiabatic.

A study on the cooling of electronic components, as well as a literature review on the most important works found in the literature are presented. Followed by a description of the studied configuration and the mathematical formulation.

The work is started by a study of physical validation and of the dependence of the mesh is carried out on a traditional configuration of the closed square cavity and differentially heated with a Prandtl number equal to 0.71 and Rayleigh number varying from  $10^3$  to  $10^5$ .

The results revealed a good agreement with the literature for an optimized mesh of  $101 \times 101$  and refined on the walls. The study of the physical configuration proposed in this work is for the same Prandtl number with a Reynolds varying between 400 and 1000.

Convection is assumed to be mixed in nature with Rayleigh between  $10^3$  and  $10^5$ . The results of the analysis for the geometric configuration studied are presented by plotting presented as streamlines, isotherms, velocity profiles as well as the Nusselt number. The effect of Reynolds and Rayleigh is well discussed on the structure of the flow and the heat transfer within the flow. The results revealed that the cooling of the hot part simulated as an electronic component depends heavily on the choice of the driving speed of the fluid used, in this case the Reynolds number and also the Rayleigh number.

Key words: Double driven cavity, mixed convection, cooling of electronic components.

ملخص:

العمل المقدم في هذه الرسالة عبارة عن دراسة رقمية لتبريد مكون إلكتروني في تجويف مربع مزدوج الدفع بطريقة الحجم المحدود، باستخدام كود حساب Fluent .

التكوين المختار هو تجويف مربع بجدارين أفقيين مدفوعين بالتوازي مع درجة حرارة باردة. يتم تسخين الجزء الموجود على اليمين ، ويفترض أنه مكون إلكتروني ، والجدار الأيسر ثابت الحرارة. يتم تقديم دراسة حول تبريد المكونات الإلكترونية ، بالإضافة إلى مراجعة الأدبيات حول أهم الأعمال الموجودة في الأدبيات.

يليه وصف للتكوين المدروس والصيغة الرياضية. بدأ العمل بدراسة التحقق المادي واعتماد الشبكة على التكوين التقليدي للتجويف المربع المغلق ويتم تسخينها تفاضلياً باستخدام رقم Prandtl يساوي 0.71 ورقم Rayleigh يتراوح من 103 إلى 105.

أظهرت النتائج توافقاً جيداً مع الأدبيات لشبكة محسنة تبلغ  $101 \times 101$  وصلها على الجدران. دراسة التكوين الفيزيائي المقترح في هذا العمل هي لنفس رقم Prandtl مع اختلاف Reynolds بين 400 و 1000.

يُفترض أن يكون الحمل الحراري مختلطاً مع Rayleigh بين 103 و 105. يتم عرض نتائج تحليل التكوين الهندسي المدروس من خلال التمثيل البياني المقدم على شكل خطوط انسيابية ، متساوي الحرارة ، ملفات تعريف السرعة بالإضافة إلى رقم Nusselt .

تمت مناقشة تأثير رينولدز و Rayleigh جيداً على بنية التدفق وانتقال الحرارة داخل التدفق. أظهرت النتائج أن تبريد الجزء الساخن المحاكى كمكون إلكتروني يعتمد بشكل كبير على اختيار سرعة القيادة للسائل المستخدم ، وفي هذه

الحالة رقم Reynolds وكذلك رقم Rayleigh

الكلمات المفتاحية: التجويف مزدوج الدفع ، الحمل الحراري المختلط ، تبريد المكونات الإلكترونية.

## *Remerciements*

*Nous remercions tout d'abord ALLAH le tout puissant qui nous éclaire le bon chemin.*

*Nous tenons à remercier vivement et chaleureusement notre encadreur **professeur HOUAT Samir**, pour nous avoir offert les conditions favorables et pour nous avoir parfaitement guider tout le long de la réalisation de ce travail. Nous avons particulièrement apprécié ses encouragements, ses conseils qui ont contribué à la réalisation de ce travail.*

*Nous tenons à exprimer aussi nos remerciements :*

*A messieurs le président et les membres de jury d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer notre travail*

*Nous remercions également nos enseignants de département de Génie Mécanique et nos collègues du Master.*

## *Dédicace*

*A mon très cher père*

*Pour m'avoir soutenu moralement et matériellement jusqu'à ce jour, pour son amour, Et ses encouragements. Que ce travail, soit pour vous, un faible témoignage de ma Profonde affection et tendresse. Qu'ALLAH le tout puissant te préserve, t'accorde Santé, bonheur et te protège de tout mal.*

*A ma très chère mère*

*Autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré D'amour et d'affection que j'éprouve pour toi. Tu m'as comblé avec ta tendresse et Affection tout au long de mon parcours. Tu n'as cessé de me soutenir et de M'encourager durant toutes les années de mes études. Qu'ALLAH te protéger et te Donner la santé, le bonheur et longue vie.*

*A mes sœurs et mes chères amies.*

*Abed Maghnia*

*Abde nebí Mohamed*

# Sommaire

Introduction Générale

CHAPITRE I: Etude bibliographique et formulation du problème

I.1-Introduction 2

I.2-L'importance des phénomènes thermiques en électronique 3

I.3- Rôle du refroidissement 4

I.4- Les principales techniques de refroidissement des composants électroniques 4

I.5- Revue bibliographique sur le refroidissement des composants électroniques par convection 5

I.6 Définition du problème 6

I.6.1 Description physique 6

I.6.2. Eléments mathématiques de base (équations gouvernantes) 6

I.6.3 Hypothèses simplificatrices 7

I.6.4 Formulation mathématique du problème 7

I.6.5. Equations adimensionnelles 8

I.6.6. Les conditions aux limites 8

I.7.Nombre adimensionnelles

I.7.1.Nombre de Reynolds 9

I.7.2.Nombre de Grashof: 9

I.1.7.3.Nombre de Prandtl 9

I.1.7.4.Nombre de Rayleigh 9

I.1.7.5.Nombre de Nusselt: 9

I.8.Conclusion 10

CHAPITRE II: Méthode de résolution

II.1.Introduction 12

II-2. Modèle Numérique 12

II-3. Méthode des volumes finis 12

|   |    |
|---|----|
| II.4-Outil de simulation Gambit et Fluent             | 13 |
| II.4-1 -L’outil gambit                                | 13 |
| II.4.1.a -Notice d’utilisation de gambit              | 13 |
| II.4.1.b. Vue globale                                 | 13 |
| II.4.1.c. Définir la géométrie                        | 14 |
| II.4.2 .Le code Fluent                                | 14 |
| II.4.2.1.Importation de la géométrie (*.msh)          | 15 |
| II.4.2.2.Choix du solveur                             | 15 |
| II-4.2.3. Définir les propriétés des matériaux        | 16 |
| II-4.2.4. Les Conditions aux limites                  | 16 |
| II-4.2.5. Choix des facteurs de sous relaxation       | 17 |
| II-4.3. La convergence des calculs                    | 18 |
| Conclusion  | 18 |
| CHAPITRE III: Résultats et Discussions                |    |
| III .1.Introduction                                   | 20 |
| III .2.validation du calcul                           | 20 |
| III.2.1. Validation numérique :                       | 20 |
| III.2.2. Validation physique :                        | 22 |
| III.3. Résultats et discussions                       | 23 |
| III.3.1. Etude de l’Influence du nombre de Reynolds   | 24 |
| III.3.2. L’étude de l’influence de nombre de Rayleigh | 28 |
| III.4.Conclusion                                      | 31 |
| Conclusion générale                                   |    |

## LISTE DES FIGURES

|  |    |
|--|----|
| Figure I.1: Système de refroidissement forcé par air Radiateur                             | 2  |
| Figure I.2: Exemples de systèmes de refroidissement à air                                  | 3  |
| Figure I.3: Echauffement d'un microprocesseur dans son milieu de fonctionnement            | 3  |
| Figure I.4: schéma de la cavité doublement entraînée                                       | 6  |
| Figure II.1 : Description bidimensionnel d'un volume fini                                  | 12 |
| Figure II.2: Menu principal de Gambit  | 13 |
| Figure II.3.définir de la géométrie  | 14 |
| Figure II.4:Choix de la version de Fluent  | 15 |
| Figure II.5:Choix de solveur   | 15 |
| Figure II.6:définir les propriétés physiques des matériaux                                 | 16 |
| Figure II.7 : Valeurs des conditions aux limites   | 16 |
| Figure II.8:choix de la solution   | 17 |
| Figure II.9: choix de Résidu   | 17 |
| Figure II.10:Allures de l'évolution des résidus de calcul pour maillage (101*101)          | 18 |
| Figure III.1 : schéma de cavité test   | 20 |
| Figure III.2. Taille de maillage   | 21 |
| Figure III.3 : validation de maillage  | 21 |
| Figure III. 4 : Les lignes de courant en fonction de nombre de Rayleigh                    | 22 |
| Figure III. 5 : Les isothermes en fonction de nombre de Rayleigh                           | 23 |
| Figure III.6 : schéma de cavité entraînée de cas étudié                                    | 24 |
| Figure III.7:Les lignes de courant en fonction de nombre de Reynolds pour $Ra= 10^4$       | 25 |
| Figure III.8 : Les isothermes en fonction de nombre de Reynolds pour $Ra=10^4$             | 25 |
| Figure III.9 : Le champ des vitesses en fonction de nombre de Reynolds pour $Ra= 10^4$     | 26 |
| Figure III.10:Profil de vitesse U à X/2 pour $Ra=10^4$ $Re=(400 ;600 ;800 ;1000)$          | 26 |
| Figure III..11:Profil de vitesse V à Y/2 pour $Ra=10^4$ et $Re=(400 ;600 ;800 ;1000)$      | 27 |
| Figure III.12:Profil de température sur X/2 pour $Ra=10^4$ et $Re=(400 ;600 ;800 ;1000)$   | 27 |
| Figure III.13:Profil de température sur Y/2pour $Ra=10^4$ et $Re=(400 ;600 ;800 ;1000)$    | 27 |
| Figure III.14 :Variation de nombre de Nu en de fonction de nombre de Reynolds              | 28 |
| Figure III.15:Les lignes de courant en fonction de nombre de Rayleigh pour $Re= 400$       | 28 |
| Figure III.16 :Les lignes de températures en fonction de nombre de Rayleigh pour $Re= 400$ | 29 |
| Figure III.17 :Le champ de vitesse en fonction de nombre de Rayleigh pour $Re= 400$        | 29 |

|  |    |
|--|----|
| Figure III.18: Profil de vitesse U à X /2 pour Ra=(10 <sup>3</sup> ;10 <sup>4</sup> ;10 <sup>5</sup> ) et Re=400   | 30 |
| Figure III.19: Profil de vitesse V à Y/2 pour Ra=(10 <sup>3</sup> ;10 <sup>4</sup> ;10 <sup>5</sup> ) et Re=400    | 30 |
| Figure III.20: Profil de température à X /2 pour Ra=(10 <sup>3</sup> ;10 <sup>4</sup> ;10 <sup>5</sup> ) et Re=400 | 31 |
| Figure III.21: Profil de température à Y/2 pour Ra=(10 <sup>3</sup> ;10 <sup>4</sup> ;10 <sup>5</sup> ) et Re=400  | 31 |
| <b>LISTE DES Tableaux</b>  |    |
| Tableau 01 : Comparaison du nombre de Nusselt  | 40 |

## Nomenclature

| Symbole                          | Définition                                       | Unité                |
|----------------------------------|--|----------------------|
| • $C_p$                          | la chaleur spécifique à pression constante       | (j/kg.k)             |
| • $g$                            | l'accélération de pesanteur                      | (m.s <sup>-2</sup> ) |
| • $L$                            | Hauteur de la cavité carrée                      | (m)                  |
| • $Q$                            | Source de chaleur                                | (w)                  |
| • $T_f$                          | Température de froide                            | (K)                  |
| • $T_c$                          | Température chaude                               | (K)                  |
| • $U$                            | vitesse selon x                                  | (m/s)                |
| • $V$                            | vitesse  | (m/s)                |
| • $V_y$                          | vitesse selon y                                  | (m/s)                |
| • $\rho$                         | Masse volumique                                  | (Kg/m <sup>3</sup> ) |
| • $\nu$                          | Viscosité cinématique                            | ( m <sup>2</sup> /s) |
| • $\Delta T$                     | La différent de température                      | (K)                  |
| • $\lambda$                      | Conductivité thermique                           | (W/k/m)              |
| • $\alpha$                       | la diffusivité thermique                         | (m <sup>2</sup> /s)  |
| • $\beta$                        | coefficient de dilatation thermique volumétrique | (k <sup>-1</sup> )   |
| • <b>Nombre adimensionnels :</b> |  |                      |
| • $Gr$                           | nombre de Grashof                                |                      |
| • $Nu$                           | nombre de Nusselt                                |                      |
| • $Pr$                           | nombre de Prandtl                                |                      |
| • $Re$                           | nombre de Reynolds                               |                      |
| • $Ra$                           | nombre de Rayleigh                               |                      |

# Introduction Générale

## Introduction Générale

Depuis plus d'un siècle, que les scientifiques se penchent sur l'étude des écoulements avec transfert de chaleur par différents modes de convection (naturelle, forcée et mixte). Celles-ci, s'impliquant dans de nombreux phénomènes naturels ou processus industriels.

Parmi les différents domaines industriels où l'on trouve leur application on peut citer, par exemple, les processus de dépôt de vapeurs chimiques, ainsi que le refroidissement des réacteurs nucléaires et des systèmes de refroidissement électroniques.

Suite aux progrès technologiques récents en électronique, les composants deviennent de plus en plus puissants et de plus en plus petits. En conséquence, la chaleur à évacuer devient très importante. En effet, de nos jours, les composants de puissance (microprocesseurs, disques durs, barrettes mémoires, convertisseur, de tension,) peuvent dissiper plusieurs centaines de watts par centimètre carré. La surchauffe des composants réduit leur durée de vie et peut provoquer des contraintes de fonctionnement. Une bonne évacuation de la chaleur est donc primordiale pour assurer le fonctionnement et la fiabilité de ces dispositifs.

Les transferts thermiques ont servi à limiter les contraintes dans la conception et le fonctionnement des équipements utilisés dans une variété d'industries et récemment dans l'industrie électronique.

Pour maintenir un environnement thermique satisfaisant (avoir un fonctionnement correct et fiable) d'un système électronique, la recherche doit être axée sur les conceptions de systèmes de refroidissement donnant une meilleure capacité de transfert de chaleur tout en gardant le système de refroidissement de l'ensemble petit et moins coûteux. Le refroidissement des composants électroniques est l'un des principaux obstacles au développement des systèmes plus rapides, car l'indispensable extraction de chaleur dissipée (par les composants électroniques) doit être efficace. Ceci, pour éliminer les contraintes de températures élevées et par conséquent, permettre au processeur d'atteindre la vitesse maximale de traitement de données.

Le besoin d'améliorer les techniques de refroidissement des composants électroniques à faible et à forte puissance a élargi le champ de la recherche concernant le transfert thermique au niveau de ces derniers, en particulier sur :

- La température maximale de jonction (au-delà de laquelle il y a destruction du composant ou non fonctionnement),
- La résistance thermique de contact (exprimée en °C/W) qui quantifie la facilité d'évacuation du flux thermique du composant vers le boîtier ou le substrat.

La solution qui nous paraît évidente mais moins économique est le fait d'augmenter la surface d'échange des dissipateurs de chaleur destinée à refroidir le composant électronique ainsi que d'autres paramètres qui peuvent jouer un rôle considérable dans l'amélioration du transfert de chaleur au sein de ce système et plus précisément au niveau des composants électroniques.

L'objectif principal de la présente étude qui est la simulation numérique d'un écoulement en 2D avec transfert de chaleur dans une cavité carrée enceinte doublement entraînée est d'analyser la configuration proposée afin d'assurer une bonne évacuation de la chaleur et par conséquent un meilleur refroidissement du composant électronique.

Pour atteindre cet objectif, le présent mémoire est divisé en trois chapitres :

Le premier chapitre est consacré aux généralités et une revue bibliographique sur les méthodes de refroidissement du composant électronique. Suivi de la présentation de la géométrie étudiée, la formulation mathématique, les hypothèses et les conditions aux limites imposées dans ce cas.

La deuxième partie est consacrée à la procédure de résolution numérique, nous avons donné une idée brève sur le code de calcul FLUENT, et le préprocesseur GAMBIT utilisé dans la conception et le maillage de la géométrie.

Le troisième chapitre est la partie la plus importante de ce mémoire, elle comporte la simulation et l'interprétation des résultats numériques obtenus pour la configuration étudiée.

# CHAPITRE I

## **Etude bibliographique et formulation du problème**

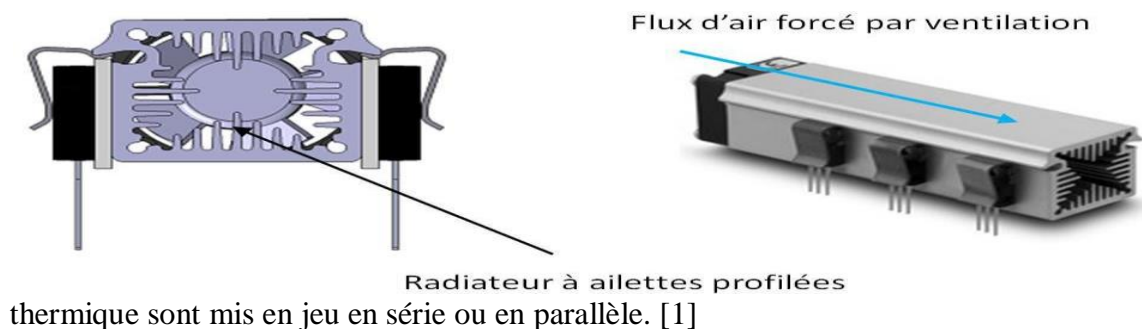
## I.1-Introduction :

Les avancées et l'évolution technologiques récentes en électronique ont permis d'améliorer l'efficacité des composants qui deviennent de plus en plus performants et de plus en plus petits. Cela entraîne des contraintes de fonctionnement pour les composants particulièrement au niveau des seuils de températures. Les composants électroniques d'aujourd'hui peuvent produire plusieurs centaines de watts par centimètre carré. Pour cette raison, l'évacuation de la chaleur est devenue un des problèmes majeurs à résoudre avant la réalisation des composants.

Les dispositifs de refroidissement industriels, aussi sont confrontés aux mêmes problématiques: l'augmentation de la densité thermique ( $W/m^2$ ) des éléments à refroidir et l'amélioration nécessaire de leur rendement. Ce qui serait en accord avec les normes environnementales, d'une part, et la réduction des coûts qui leur sont imputés, d'autre part.

Un dispositif de refroidissement industriel comporte trois postes :

- Une source chaude : il s'agit de l'élément à refroidir ou le processus dont on veut contrôler la température
- Une source froide : souvent l'air ambiant est considéré comme la source froide ultime d'un dispositif de refroidissement, cette notion, restant relative. En général, il s'agit de l'endroit où est rejetée l'énergie thermique extraite de l'élément refroidi
- Un vecteur énergétique : la source chaude peut être liée à la source froide soit par le biais d'un fluide caloporteur "transport convectif", soit par un milieu solide "transport conducteur", soit par le vide "transport radiatif". Souvent les trois mécanismes de transfert



**Figure I.1: Système de refroidissement forcée par air Radiateur  
(ficher Elektronik) et ventilateur(SEPA).[6]**

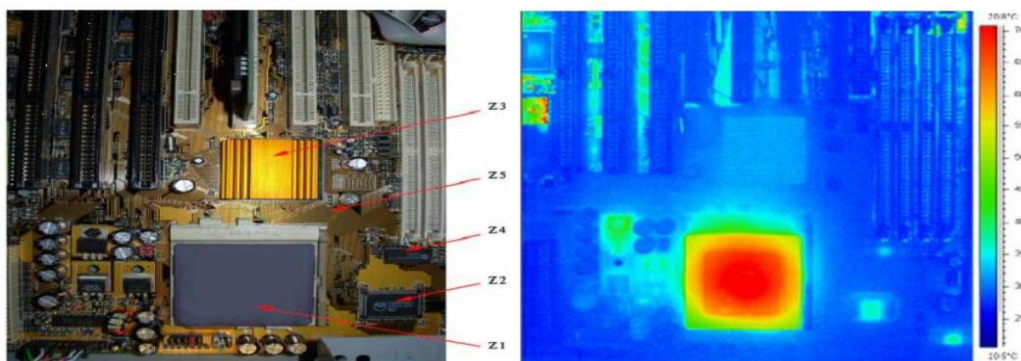


**Figure I.2: Exemples de systèmes de refroidissement à air[2]**

### **I.2 -L'importance des phénomènes thermiques en électronique :**

Tous les composants électroniques sont sensibles à leur température : ils sont détruits si la température dépasse largement ces limites. Certains composants dissipent beaucoup de chaleur et s'échauffent et afin d'être dans les limites de fonctionnement de ces composants, il faut aménager l'écoulement de cette chaleur à l'extérieur.

Concernant la fiabilité des composants électroniques, elle est fortement influencée par leur température de fonctionnement. Le maintien des composants des circuits électroniques à une température compatible avec leur bon fonctionnement n'est généralement pas la seule fonction d'un système de refroidissement, souvent il doit également uniformiser la température à l'intérieur de l'équipement pour assurer de bonnes performances. Les circuits ont montré par thermographie infrarouge que la température globale d'un microprocesseur ne reflète pas la topographie thermique réelle de la puce intégrée [3].



*(1) : Image d'une carte mère*

*(2) : Thermographie infrarouge*

**Figure I.4: Echauffement d'un microprocesseur dans son milieu de fonctionnement. [3]**

### **I.3- Rôle du refroidissement**

Afin de résoudre et éviter les problèmes thermiques qui peuvent nuire au bon fonctionnement des circuits électroniques, on fait le refroidissement et il faut imposer certaines limitations de telle sorte que les composants critiques de l'équipement électronique soient facilement accessibles et démontables pour être testés, réparés ou remplacés. Les systèmes de refroidissement doivent être capables de remplir leur fonction d'une manière reproductible et prévisible, même confrontés à un environnement extérieur changeant. Le but principal de Le système de refroidissement est de protéger les composants contre les différents impacts thermiques et à la limite, le taux de pannes d'un système de refroidissement doit être inférieur à celui des composants qu'il protège [4].

### **I.4- Les principales techniques de refroidissement des composants**

#### **Électroniques :**

Il existe différentes technologies de systèmes de refroidissement qu'il est possible de les classer en deux grandes catégories :

- **Les systèmes de refroidissement actifs** : cette technique est basée sur le transfert de chaleur par convection forcée et nécessite l'utilisation d'une mécanique pour assurer la circulation du fluide caloporteur et circuit externe afin d'évacuer la chaleur du système vers l'extérieur.
- **Les systèmes de refroidissement passifs** : ils ne nécessitent pas d'alimentation externe ce qui diminue le coup énergétique. Un refroidissement passif peut lui-même être classé en deux sections : direct et indirecte suivant que le fluide caloporteur soit ou ne soit pas en contact avec les composants électroniques. [5]

### **I.5- Revue bibliographique sur le refroidissement des composants électronique par convection :**

Avec l'augmentation continue de la puissance dissipée par les composants et les systèmes électroniques le marché de l'électronique a besoin des nouvelles techniques de refroidissement, c'est devenu l'objectif de plusieurs travaux, un grand nombre de chercheurs ont mené une multitude d'essais numériques et expérimentaux portant sur la description des phénomènes de refroidissement par convection, des travaux publiés ont été élaborés concernant le refroidissement par convection mixte dans des cavités. Parmi ces travaux nous

citons :

D.Menacer, M.Khammar[6]ont étudié le refroidissement des cartes électroniques via l'étude de la convection mixte dans une cavité. Le but de leur étude est d'examiner la structure de l'écoulement d'un fluide non-Newtonien confiné dans une cavité 2D remplie d'air dont les parois latérales sont isolées thermiquement ont placé une source de chaleur au centre de la surface inférieure, et l'a soumis à un flux de chaleur constant. Le côté gauche se déplace vers le haut avec une vitesse constante  $u_0$ , mais la partie supérieure est maintenue à une température froide. Les résultats obtenus ont montré un effet significatif du nombre de Richardson et de la surface en mouvement sur la structure de l'écoulement dans l'enclosure.

Karim Lahmer, Rachid Bessaih[7]ont étudié le phénomène de transfert de chaleur par convection naturelle laminaire dans un domaine vertical, bidimensionnel, ouvert à l'atmosphère et contenant deux composants électroniques assimilés à des sources de chaleur montées sur une paroi verticale adiabatique; ces dernières sont soumises à un refroidissement par air dont les paramètres géométriques et physiques varient. La méthode des volumes finis a été utilisée afin de discrétiser les équations de l'écoulement en convection naturelle en régime stationnaire ainsi que l'algorithme SIMPLER pour les résoudre. Les résultats obtenus montrent que pour un nombre de  $Pr = 0.71$  et en faisant varier les maillages, le nombre de Grashof, l'espace entre les composants et la distance à la sortie supérieure du domaine, il se crée une incidence considérable sur le nombre de Nusselt au niveau des sources, engendrant par conséquent une grande influence sur le transfert de chaleur à l'intérieur du domaine d'étude.

Adel Hamouche , Rachid Bessaih [8]ce travail étudié numériquement le refroidissement par convection mixte des composants électroniques montés dans un canal rectangulaire horizontal. La méthode des volumes finis et l'algorithme SIMPLER ont été utilisés pour résoudre les équations de l'écoulement en régime stationnaire. Les résultats obtenus montrent que pour  $Pr=0.71$ ,  $0 \leq Ri \leq 40$  et  $Re=20$ , l'effet de  $Ri$ , du blocage partiel, des dimensions et la position de l'élément de blocage, ont des effets considérables sur l'amélioration du transfert de chaleur à l'intérieur du canal.

## I.6 Définition du problème :

### I.6.1 Description physique :

Dans cette étude, on considère une cavité carrée doublement entraînée, avec les parois horizontales inférieure et supérieure sont mobiles. La paroi de droite chaude est supposée comme un élément électrique et la paroi de gauche est adiabatique. Une vitesse uniforme horizontale et parallèle est appliquée pour les deux parois mobiles avec une température froide du fluide mis en mouvement par le déplacement de la gauche vers le droit.

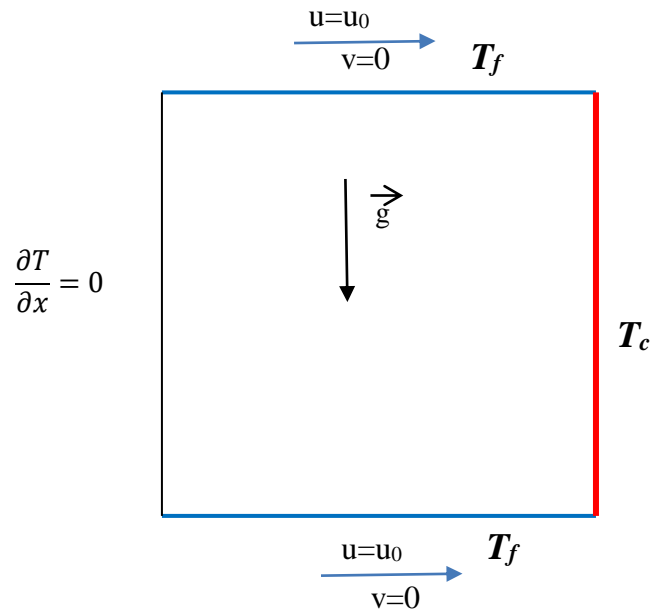


Figure II.2 : schéma de la cavité doublement entraînée.

### I.6.2. Éléments mathématiques de base (équations gouvernantes) :

La formulation mathématique des phénomènes de la convection repose sur les équations liant les différents paramètres à savoir : la vitesse, la pression et la température.

- La loi de conservation de masse (équation de continuité)
- La loi de conservation de quantité de mouvement (équation de Navier-Stokes)
- La loi de conservation d'énergie (équation d'énergie)

#### a) Equation de continuité (conservation de la masse) :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{u}) = 0$$

#### b) Equation de conservation de la quantité de mouvement :

$$\rho \frac{D\vec{v}}{Dt} = \rho \vec{g} - \nabla \cdot p + \mu \nabla^2 \vec{v}$$

**c) Equation de l'énergie :**

$$\rho C_p \frac{DT}{Dt} = \nabla \cdot k \nabla T + \beta \frac{Dp}{Dt} + \mu \phi$$

$\phi$  est la fonction de la dissipation définie en deux dimensions comme suit :

$$\phi = 2 \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right] + \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 - \frac{2}{3} \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right)$$

**I.6.3 Hypothèses simplificatrices :**

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

1. Le régime est laminaire
2. Le fluide (air) considéré newtonien et incompressible.
3. Écoulement isotherme  $T = \text{cst}$
4. Régime permanent  $\partial/\partial T = 0$
5. Écoulement bidimensionnel (suivant les coordonnées  $x, y$ ).
6. Les propriétés physiques du fluide ( $\rho, \mu, k$ ) sont supposées constantes.
7. L'approximation de Boussinesq est valide, elle consiste à considérer que les variations de la masse volumique sont négligeables au niveau de tous les termes des équations de quantité de mouvement (sauf au niveau du terme de gravité).

**I.6.4 Formulation mathématique du problème**

En prenant en considération les hypothèses simplificatrices, les équations en deux dimensions peuvent s'écrire comme suit :

**a. Equation de continuité :**

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

**b. Les équations de quantité de mouvement :**

Suivant l'axe  $x$  :

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

Suivant l'axe  $y$  :

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

### c. Equations de l'énergie :

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

### 1.6.5. Equations adimensionnelles :

En utilisant les variables adimensionnelles suivantes :

$$X = \frac{x}{H} ; Y = \frac{y}{H} ; \theta = \frac{T - T_f}{T_c - T_f} ; U = \frac{u}{u_0} ; V = \frac{v}{u_0} ; P = \frac{p - P_0}{\rho u_0^2}$$

On écrit les équations sous forme adimensionnelle comme suit :

#### a. Equation de continuité

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

#### b. Équations de quantité de mouvement :

Suivant l'axe x :

$$U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} = - \frac{\partial P}{\partial X} + \frac{1}{R_e} \left[ \frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} \right]$$

Suivant l'axe y :

$$U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = - \frac{\partial P}{\partial Y} + \frac{1}{R_e} \left[ \frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} \right] + R_a P_r \theta$$

#### c. Equations de l'énergie

$$\frac{\partial \theta}{\partial X} + V \frac{\partial \theta}{\partial Y} = \frac{1}{R_e \cdot p_r} \left[ \frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} \right]$$

### 1.6.6. Les conditions aux limites

- Paroi haut :  $0 < X < 1$  et  $Y = 1$   $\Rightarrow$   $U = 1$  et  $V = 0$  et  $T = T_f$  (Froid)
- Paroi bas :  $0 \leq X \leq 1$  et  $Y = 0$   $\Rightarrow$   $U = 1$  et  $V = 0$  et  $T = T_f$  (Froid)
- Paroi droit :  $X = 1$  et  $0 \leq Y \leq 1$   $\Rightarrow$   $U = 0$  et  $V = 0$  et  $T = T_c$  (Chaud)
- Paroi gauche :  $X = 0$  et  $0 \leq Y \leq 1$   $\Rightarrow$   $U = 0$  et  $V = 0$  et  $Q = 0$  (adiabatique)

## **I.7.Nombre adimensionnelles**

### **I.7.1.Nombre de Reynolds:**

C'est un nombre qui est utilisé dans les calculs d'écoulements. L'écoulement peut être laminaire, transitoire ou turbulent. Ce nombre en fonction, de la viscosité cinématique  $\nu$ , de sa vitesse moyenne, et de dimension caractéristique. Il s'exprime par la relation suivante :

$$Re = \frac{L \cdot u_0}{\nu}$$

### **I.7.2.Nombre de Grashof :**

Qui caractérise et mesure le rapport des forces de gravité sur les forces de viscosité agissant sur le fluide.

$$Gr = \frac{\beta(T_c - T_f)gL^3}{\nu^2}$$

### **I.7.3.Nombre de Prandtl :**

Il représente le rapport entre la diffusivité de quantité de mouvement  $\nu$  (ou viscosité cinématique) et la diffusivité thermique :

$$Pr = \frac{\rho\nu c_p}{\lambda} = \frac{\nu}{\alpha}$$

### **I.7.4. Nombre de Rayleigh :**

Ce nombre caractérise le transfert de chaleur au sein d'un fluide. Au-delà d'une valeur critique  $Ra_{cr}$  le mouvement du fluide par convection apparaît et devient important.

$$Ra = \frac{\beta \cdot g \cdot \Delta T \cdot L^3}{\nu \cdot \alpha} \quad \text{et } Ra = Gr \cdot Pr$$

### **I.7.5.. Le nombre de Nusselt :**

Le nombre de Nusselt est un nombre adimensionnel très utilisé dans les applications de transfert de chaleur il caractérise le transfert de chaleur entre la plaque et le fluide environnant. Il représente le rapport entre le flux transmis réellement de la plaque vers le fluide et le flux qui serait transmis en régime de conduction pure.

$$\Phi_{\text{réel}} = -\lambda \left. \frac{\partial T}{\partial X} \right|_{x=0} = h_c(T_p - T_0)$$

Avec  $h_c$  coefficient d'échange convectif local.

$$\phi_{\text{conductif}} = \frac{\lambda(T_p - T_0)}{L}$$

$$Nu \frac{\phi_{\text{réel}}}{\phi_{\text{conductif}}} = \frac{-\lambda \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0}}{\frac{\lambda(T_p - T_0)}{L}} = \frac{h_c L}{\lambda}$$

### **I.8. Conclusion :**

Ce chapitre, est consacré aux généralités sur les méthodes de refroidissement du composant électronique, nous avons présenté aussi une revue bibliographique sur quelques travaux de recherche sur le sujet. Suivi d'une description de la configuration étudiée et de la formulation mathématique.

Dans le prochain chapitre nous présenterons la méthode de résolution des équations de conservation et les outils utilisés

# CHAPITRE II

## **Méthode de résolution**

## II-1.Introduction

La simulation se définit comme l'utilisation ou la résolution de modèles correspondant à un système donné pour étudier son comportement dans un contexte précis. Elle est la suite logique de la modélisation qui est la première approche d'une simulation qui se présente sous forme d'un programme ou d'outils informatique utilisant une méthode numérique de discrétisation des équations gouvernantes. Cette ensemble est appelé un environnement de simulation [8].

## II-2. Modèle Numérique :

De nombreuses méthodes numériques existent pour la résolution des types d'équations différentielles, on peut citer à titre d'exemples :

- 1- La méthode des différences finis
- 2- La méthode des éléments finis
- 3- La méthode des volumes finis

Dans notre travail, nous avons effectué une simulation numérique moyennant le code de calcul FLUENT[9], qui acquiesce la résolution des équations de transport par la méthode des volumes finis.

## II-3. Méthode des volumes finis :

La méthode des volumes finis consiste à discrétiser le domaine d'écoulement en multitude de volumes de contrôle (cellule) puis d'effectuer des bilan (de masse, de quantité de mouvement,...) sur ces petits volume. Pour cette raison, la formulation fait apparaître des intégrations de volume. L'avantage de cette méthode est que tout ce qui sort d'un volume, rentre dans un autre, cette méthode est donc conservative et permet de simuler des écoulements dans des géométries complexes, à partir de différents types de maillages plus ou moins fins.

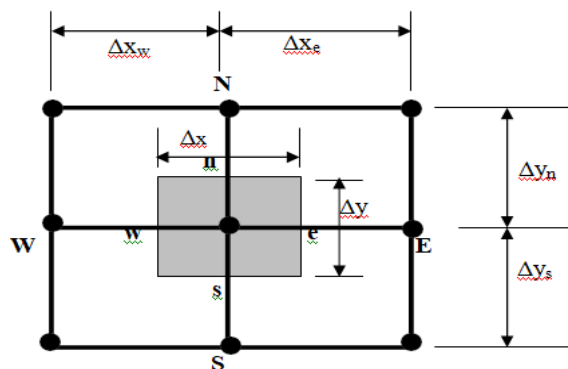


Figure II. Description bidimensionnel d'un volume fini.

## II.4. Outil de simulation Gambit et Fluent :

### II.4.1. L'outil gambit :

**GAMBIT** [10] est un logiciel qui permet de créer un maillage structuré ou non structuré en coordonnées cartésiennes, polaires, cylindrique ou axisymétrique complexes en deux ou trois dimensions avec des mailles de type rectangle ou triangle peuvent être utilisés en particulier sous **FLUENT**[9]. Pour construire un maillage, il est bon de suivre la démarche suivante :

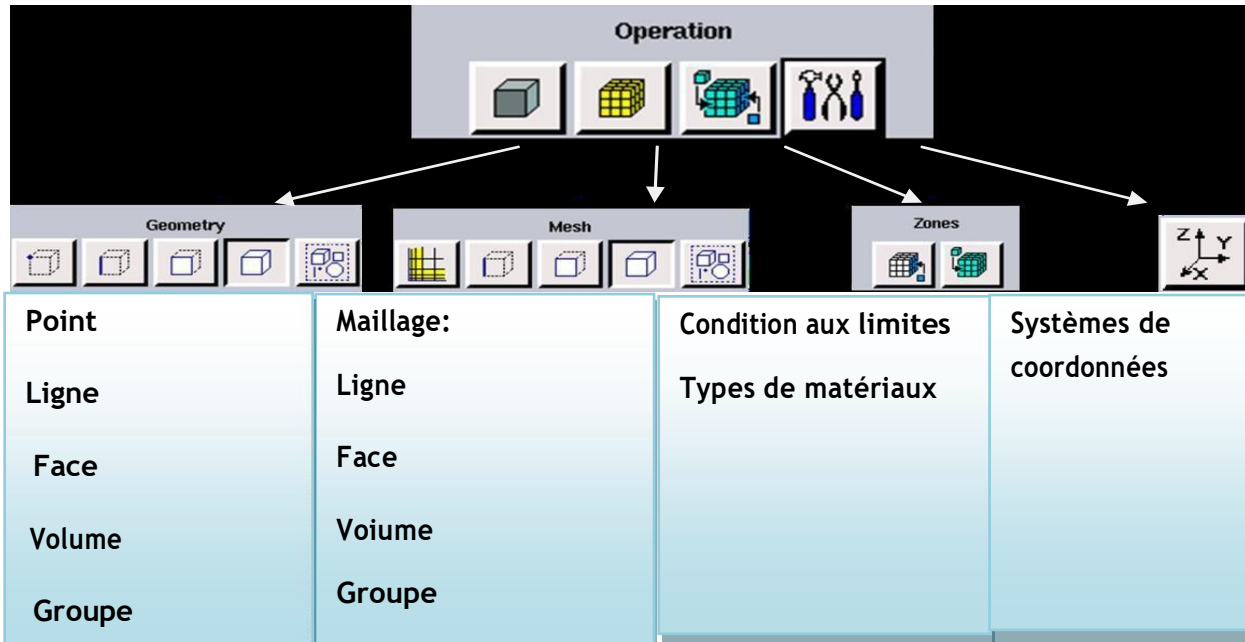
- Définir la géométrie.
- Réaliser le maillage.
- Définir les paramètres des zones de calcul.

#### II.4.1. a. Notice d'utilisation de gambit :

Ce logiciel est utilisé pour définir et créer le modèle d'étude (surface ou volume) et de le mailler suivant le bon vouloir de l'utilisateur.

#### II.4.1.b. Vue globale :

Après avoir lancé le logiciel, l'interface d'utilisation apparaît.



**Figure II.4:** Menu principal de Gambit

Avant même de créer la géométrie il faut choisir le type de solver ; c'est-à-dire le type de logiciel qu'on va utiliser par la suite (choisir la bonne version du logiciel dans notre cas fluent5/6)

### II.4.1.c. Définir la géométrie :

Notre géométrie est construite sur Gambit en 2D, on a choisi de l'établir point par point, relier entre eux dans différentes directions les lignes sont créés, ensuite les faces sont formées.

1<sup>ère</sup> étape : création des points du domaine.

2<sup>ème</sup> étape : création des segments du domaine.

3<sup>ème</sup> étape : création des surfaces du domaine.

4<sup>ème</sup> étape : création du maillage des segments.

5<sup>ème</sup> étape: mise en place du maillage surfacique.

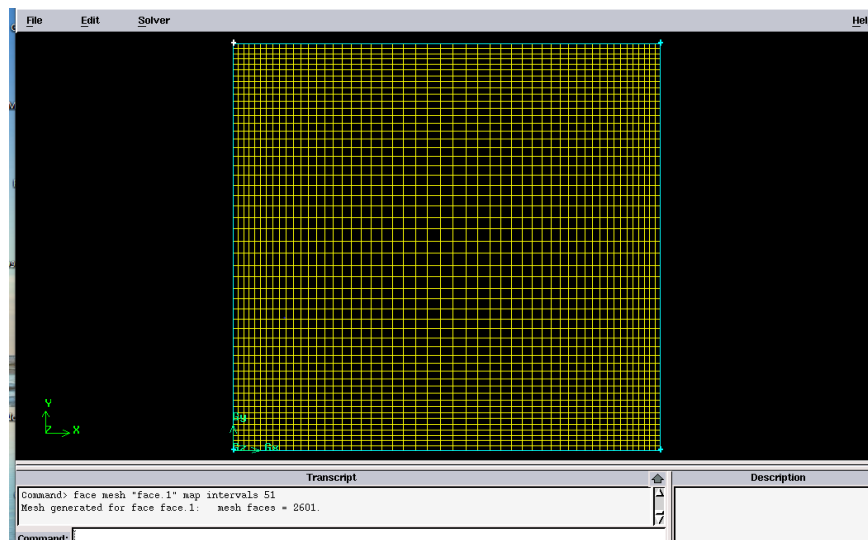


Figure II.5. définition de la géométrie.

### II.4.2. Le code Fluent:

La simulation numérique en mécanique de fluide (Computational Fluid Dynamics : CFD) avec Fluent[9], est utilisé pour la modélisation, et l'analyse des écoulements fluide et transfert thermique, elle permet aux utilisateurs d'optimiser les performances des nouveaux concepts, Fluent est un code CFD commercial très utilisée dans l'industrie. Il permet de résoudre les écoulements fluides (champs de vitesse, de température ...), c'est la raison pour laquelle on l'a choisi pour réaliser nos simulations.

## La procédure de calcul par Fluent :

### II.4.2.1. Importation de la géométrie (\*.msh) :

Puisque la géométrie est en 2D, le choix du 2D double précision semble le plus approprié à notre simulation, puis importation du fichier (\*.msh) généré avec Gambit doit être effectué.:

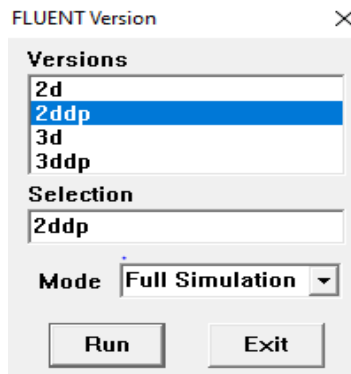


Figure II.9: Choix de la version de Fluent.

### II.4.2.2. Choix du solveur:

Sous "Fluent", on peut choisir entre plusieurs formulations du solveur, ainsi que le choix du régime d'écoulement ; permanent ou instationnaire.

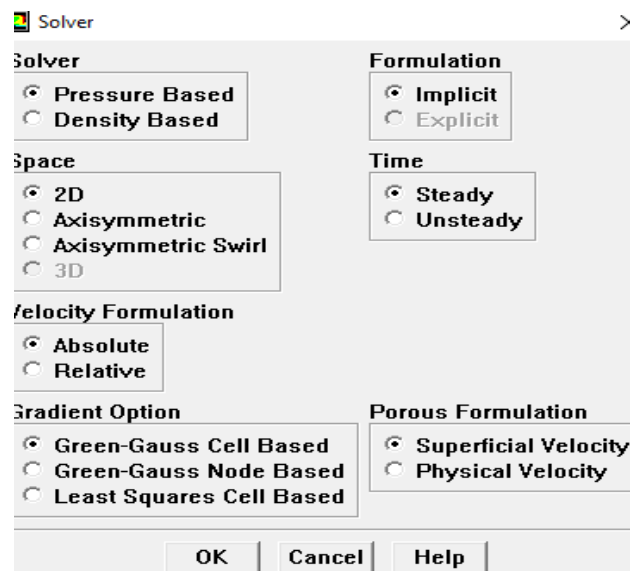


Figure II.13: Choix de solveur.

### II-4.2.3. Définir les propriétés des matériaux :

C'est le choix du fluide ou solide utilisé avec l'introduction des données concernant les propriétés physiques.

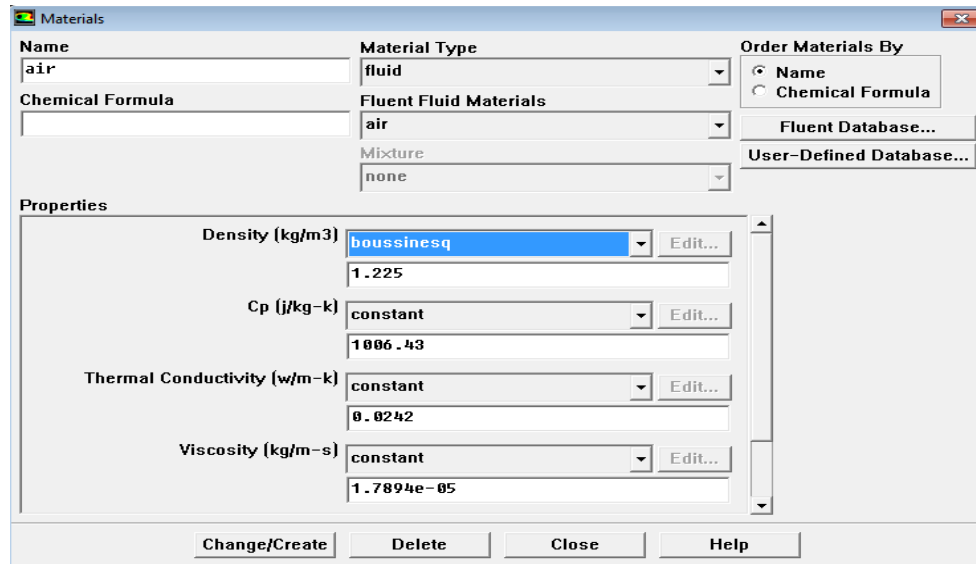


Figure II.15: définir les propriétés physiques des matériaux

### II-4.2.4. Les Conditions aux limites :

Les conditions aux limites pour chaque frontière seront définies avec la fenêtre Boundary condition, après avoir sélectionné chaque fois, la frontière concernée et faire rentrer les conditions aux limites de cette dernière ensuite valider.

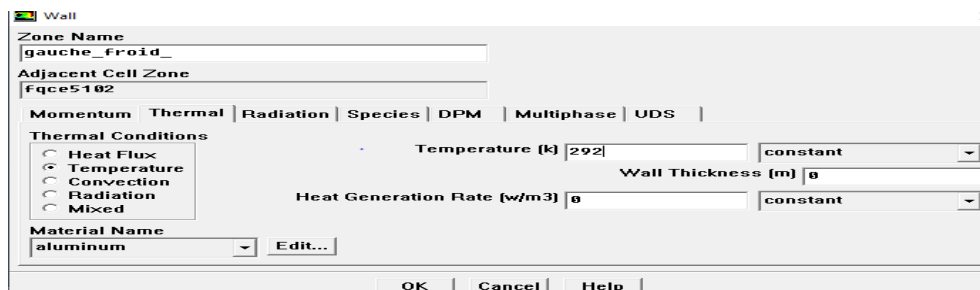


Figure II.17 : Valeurs des conditions aux limite.

## II-4.2.5. Choix des facteurs de sous relaxation et de Résidu :

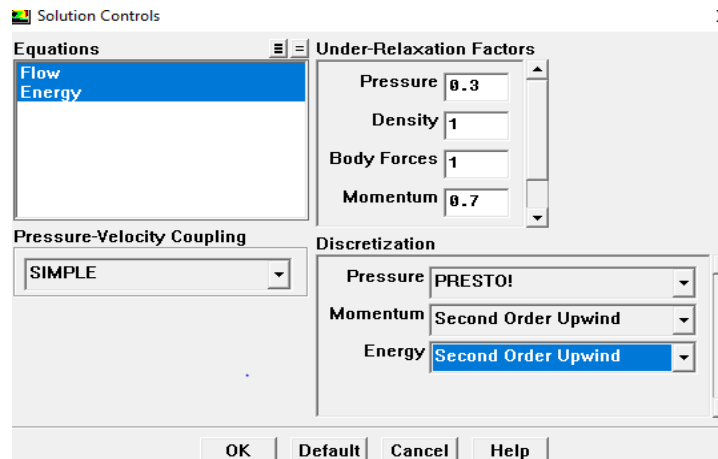


Figure II.18: choix de la solution.

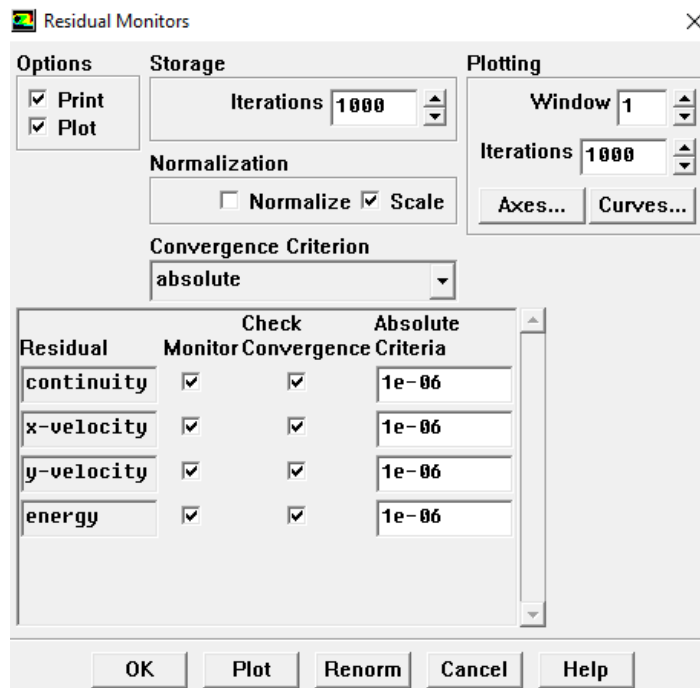
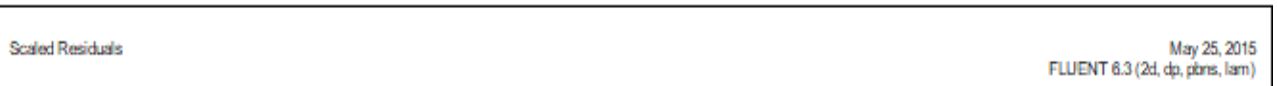
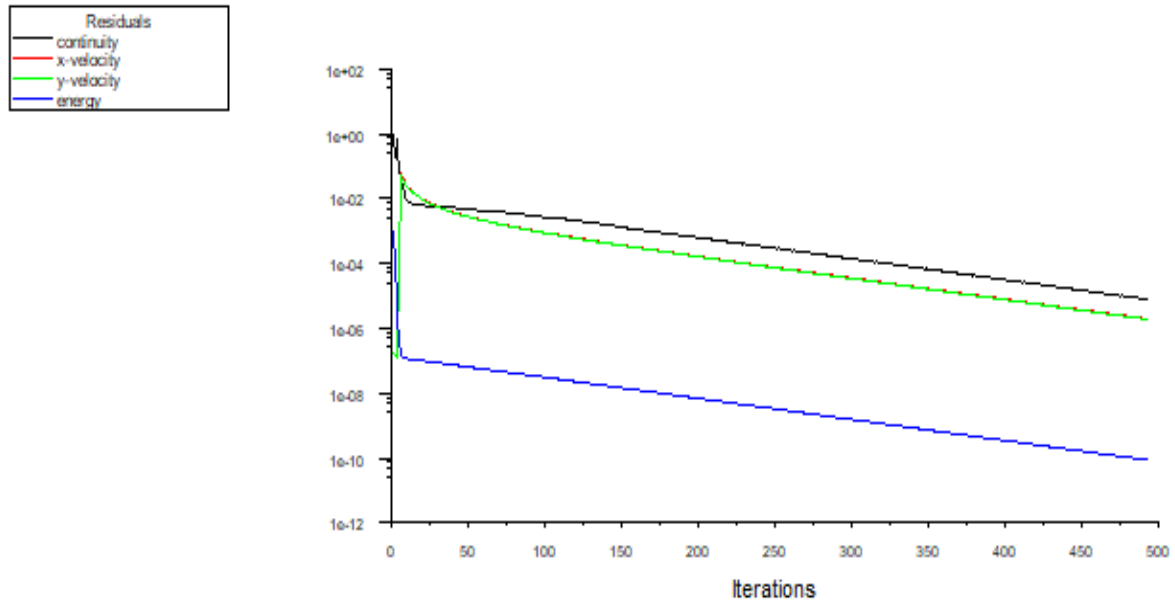


Figure II.20: choix de Résidu

### II-4.3. La convergence des calculs :

Pour s'assurer de la convergence des calculs, nous utiliserons un critère visuel : Il consiste à observer les courbes des résidus définis par les équations, notre équation de continuité et quantité de mouvement tracées par Fluent, en fonction des itérations, jusqu'à la convergence du calcul.

On peut visualiser et analyser les résultats à l'aide post-traitement que propose fluent



**Figure. II.22:** Allures de l'évolution des résidus de calcul pour maillage

### Conclusion :

A travers ce chapitre, la méthode de résolution du problème par la méthode de volume fini est discutée. La procédure d'utilisation du logiciel Fluent et Gambit est bien exposée.

Les résultats de simulation des cas considérés dans cette étude sont présentés dans le chapitre suivant.

# Chapitre III

## Résultats et discussions

### III.1. Introduction :

Dans ce chapitre nous présentons la résolution numérique de problème bidimensionnel pour étudier le refroidissement d'un composant électrique dans le cas d'une cavité carrée entraînée. En premier lieu, nous présentons les résultats de l'optimisation du maillage pour le cas d'une cavité carrée fermée avec les parois latérales différenciellement chauffée et les parois verticales adiabatiques. Les résultats ont été aussi validés et testés avec ceux obtenus par d'autres auteurs.

Dans le second lieu, est de faire une étude et analyse de la cavité carrée en deux dimensions et doublement entraînée, avec les parois horizontales inférieure et supérieure sont mobiles. La paroi de droite chaude est supposée comme un élément électrique et la paroi de gauche est adiabatique.

Le 1er cas pour un nombre de Rayleigh ( $10^3$  ;  $10^4$  ;  $10^5$ ) et le 2ème cas pour un nombre de Rayleigh fixe ( $Ra = 10^4$ ). Et nombre de Reynolds variable de 400 à 1000 avec nombre de Prandtl ( $Pr = 0,71$ ).

### III.2. Validation de calcul :

#### III.2.1. Validation de maillage :

La validation est effectuée avec la cavité simple classique fermée, tous les parois sont immobiles, la paroi droite chaude, la paroi gauche froide et les deux parois haut et bas sont supposant adiabatique (voir figure III.1). On considère ( $Pr = 0,71$ ) et le nombre de Rayleigh varie comme suit :  $10^3$  ;  $10^4$  ;  $10^5$ .

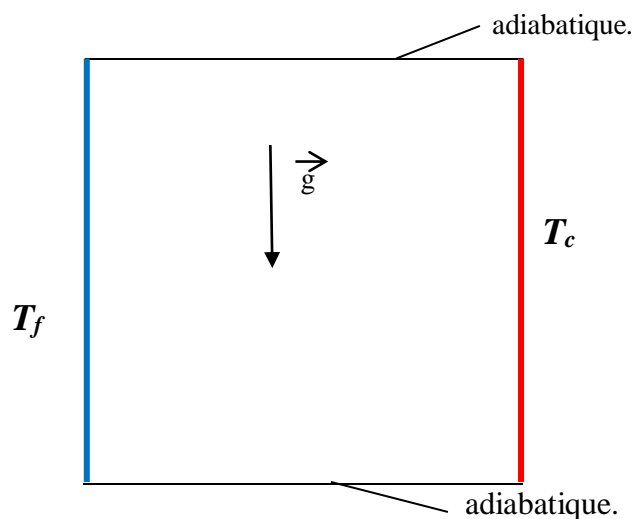


Figure III.1 : schéma de cavité test

Pour examiner l'influence des maillages sur la solution numérique nous avons choisi des maillages uniformes est serré sur les parois (51\*51 ; 61\*61 ; 81\*81 ; 101\*101 ; 151\*151 ; 201\*201) voir figure III.2.La validation du maillage est effectuée à l'aide de calcul de la variation du nombre de Nusselt sur la paroi chaude, en fonction du nombre de Rayleigh. Les résultats soient affichés dans le graphe (Figure III.3).Après analyse, nous avons choisi le maillage (101\*101) comme un maillage optimal.

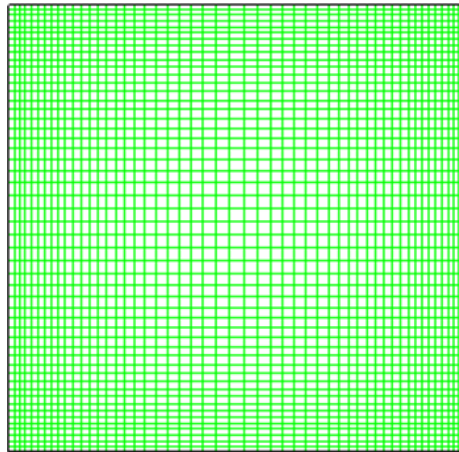


Figure III.2. Taille de maillage

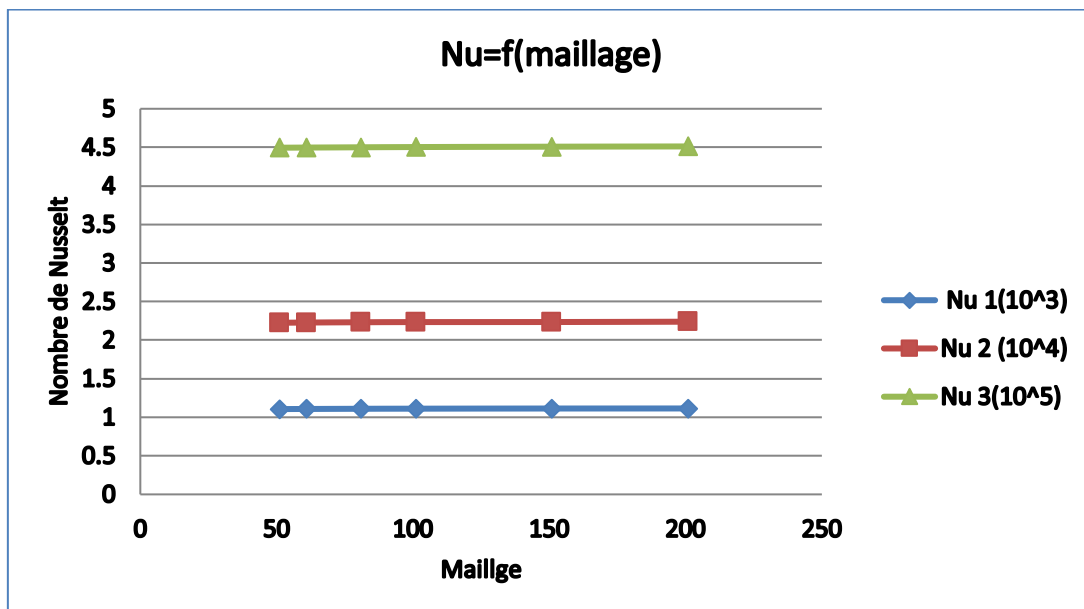


Figure III.3 : validation de maillage

### III.2.2.Validation physique :

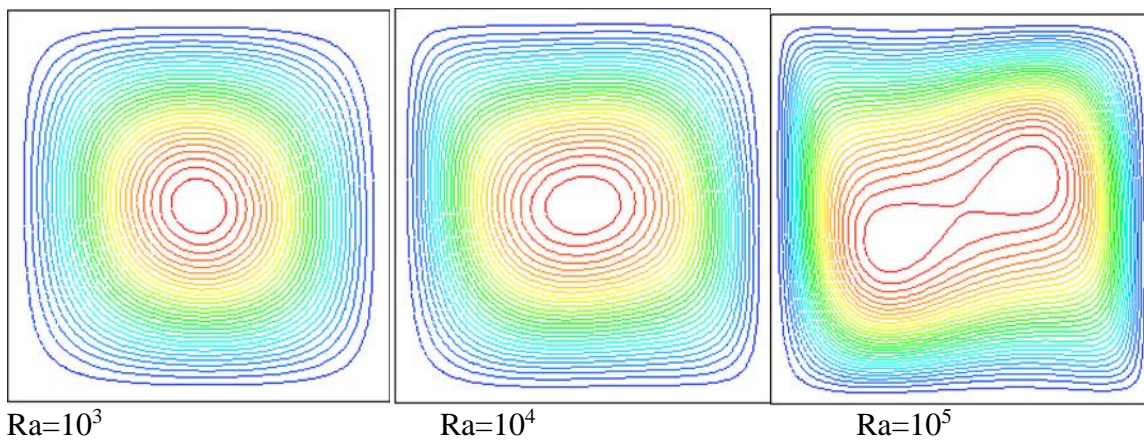
Nous avons comparé les résultats obtenues pour Nusselt dans le cas étudié avec référence.

**Tableau 01 : Comparaison du nombre de Nusselt.**

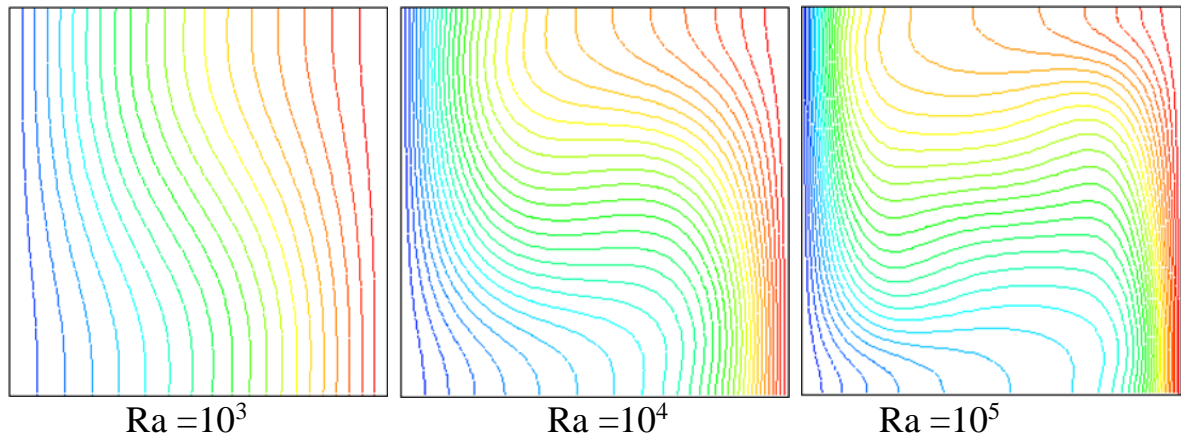
| Ra     | Nu              |                            |              |                    |                             |
|--------|-----------------|----------------------------|--------------|--------------------|-----------------------------|
|        | Présent Travail | B.Bouamoud et S.Houat [11] |              | De Vahl Davis [12] | Markatas et Pericleons [13] |
| $10^3$ | <b>1.111</b>    | TLBM<br>1.115              | MVF<br>1.116 | 1.118              | 1.108                       |
| $10^4$ | <b>2.234</b>    | 2.221                      | 2.242        | 2.243              | 2.201                       |
| $10^5$ | <b>4.503</b>    | 4.441                      | 4.515        | 4.519              | 4.430                       |

- Pour  $Ra=10^3$  l'erreur minimale est 0.27% par apport à Markatas et Pericleons[13].
- Pour  $Ra=10^3$  l'erreur maximale est 0.062% par apport à De Vahl Davis[12].
- Pour  $Ra=10^4$  l'erreur minimale est 1.49 par apport à Markatas et Pericleons[13].
- Pour  $Ra=10^4$  l'erreur maximale est 0.4% par apport à De Vahl Davis[12].
- Pour  $Ra=10^5$  l'erreur minimale est 1.64% par apport à Markatas et Pericleons[13].
- Pour  $Ra=10^5$  l'erreur maximale est 0.35% par apport à De Vahl Davis[12].

Pour nombre de Rayleigh égale à ( $10^3, 10^4, 10^5$ ) on a trouver une erreur minimale de (0.27;1.49 et 1.64)% par apportà Markatas et Pericleons ,et un erreur maximale de ( 0,062 ;0.4 et 0.35)% par apport à De Vahl Davis [12], en globalité l'erreur ne dépasse pas 3% ce qui signifie que les résultats sont très acceptables.



**FigureIII. 4:** Les lignes de courant en fonction de nombre de Rayleigh



**Figure III. 5 :** Les isothermes en fonction de nombre de Rayleigh

***Commentaires :***

Les résultats de la simulation sont présentés se forme des lignes de courant, des isothermes, ainsi que les profils de la vitesse et la température aux plans médians de la cavité.

La figure III.04 montre les lignes de courant en fonction de nombre de Rayleigh. On remarque que le vortex au milieu de la cavité commence à s’élargir quand Rayleigh augmente.

La figure III.05 présent les isothermes en fonction de nombre de Rayleigh On observe que les isothermes prennent petit à petit un sens vertical en fonction de l’augmentation de nombre de Rayleigh. Ce que montre que le phénomène de la convection naturelle s’active avec l’augmentation de Rayleigh.

**III.3. Résultats et discussions :**

Dans cette partie, nous allons étudier notre cas proposé dans ce sujet notamment, une cavité carrée entraînée par un courant froid. La paroi de droite étant chaude, représentant un circuit électronique et celle de droite est supposée adiabatique (voir figure III.6).

Le nombre de Rayleigh étant fixée à  $10^4$  et le nombre de Reynolds est pris dans l’intervalle de 400 à 1000, avec un nombre de Prandtl égale à 0,71. Le maillage choisis est celui validé dans la section précédente notamment  $101 \times 101$ .

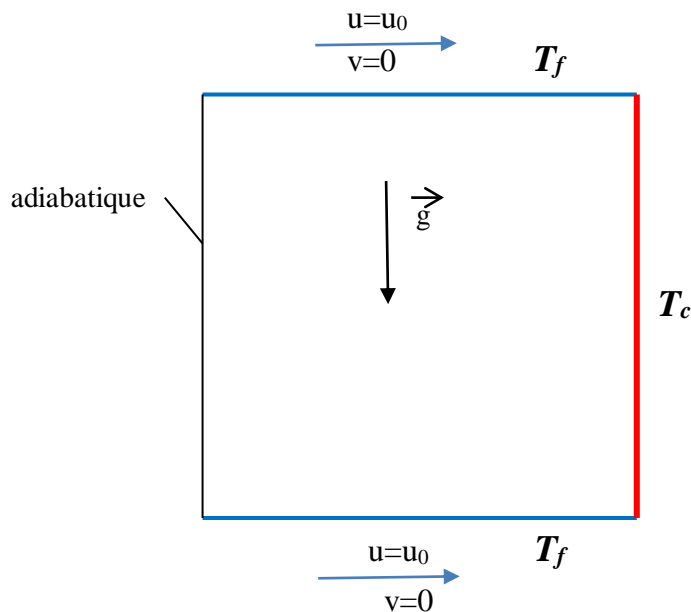


Figure III.6 : schéma de cavité entraînée de cas étudié.

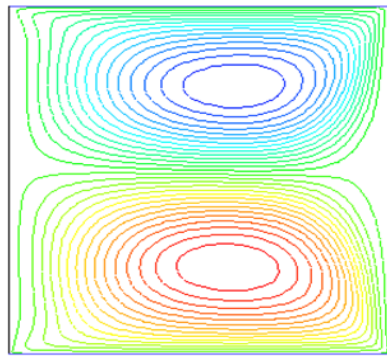
### III.3.1. Etude de l'Influence du nombre de Reynolds :

La Figure III.7 montre Les lignes de courant en fonction de nombre de Reynolds pour  $Ra=10^4$  on observe apparition deux vortex contre-relatifs qui évoluent en fonction de l'augmentation de nombre de Reynolds.

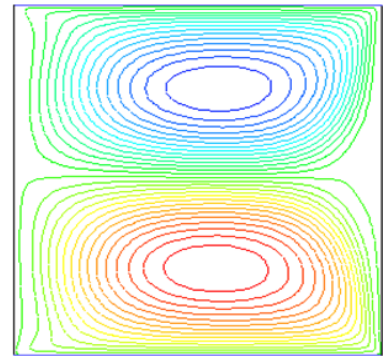
Figure III.8 montre les isothermes en fonction de nombre de Reynolds pour  $Ra=10^4$ . On remarque un panache qui apparait de manier horizontale sur la paroi chaude. L'apparition des isothermes qui suit les lignes de vortex montre la diffusion de la température dans la cavité et le courant froid prend beaucoup d'espace dans la cavité ce qui permet de refroidir la paroi de manier plus efficace est plus optimal.

La Figure III.9 présente Le champ des vitesses en fonction de nombre de Reynolds pour  $Ra=10^4$  et  $Pr=0,71$  on voit le mouvement de système contre-rotatif avec le refroidissement qui prend tout l'espace dans la cavité qui extrait la chaleur ou milieu est envoyée vers l'extérieur.

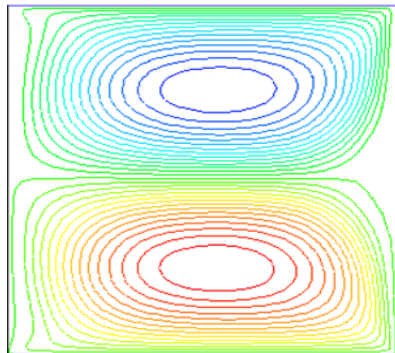
Les Figure III.10 et III.11 montrent les profils de vitesse,  $U$  suivants  $X$  et  $V$  suivant  $Y$  pour nombre de Rayleigh  $Ra=10^4$  et nombre de Prandtl égale à 0,71 avec nombre de Reynolds de 400 à 1000, on voit mieux que l'accélération de rotation augment suivant  $U$  et  $V$  en fonction de nombre de Reynolds, La vitesse est minimale pour Reynolds égale à 400 et maximale pour Reynolds égale à 1000.



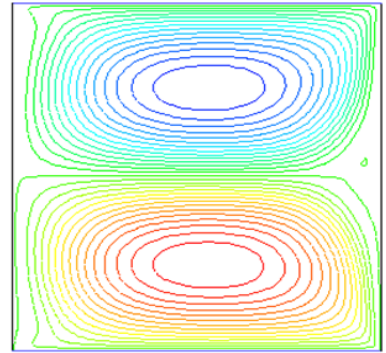
**Re =400**



**Re=600**

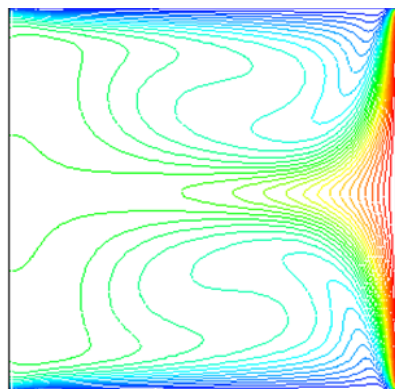


**Re=800**

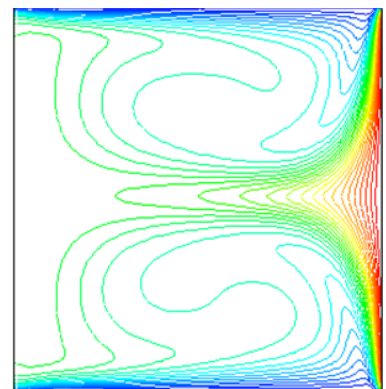


**Re=1000**

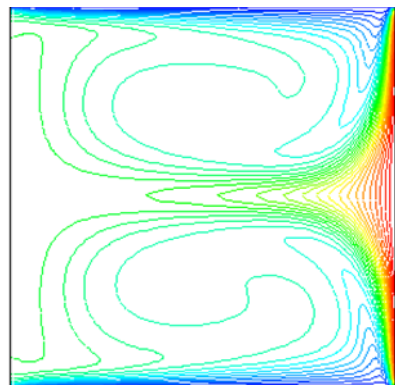
**Figure III.7 :** Les lignes de courant en fonction de nombre de Reynolds pour  $Ra= 10^4$



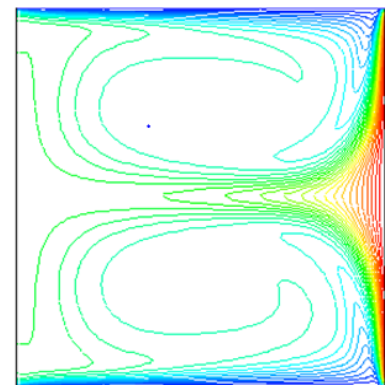
**Re =400**



**Re=600**

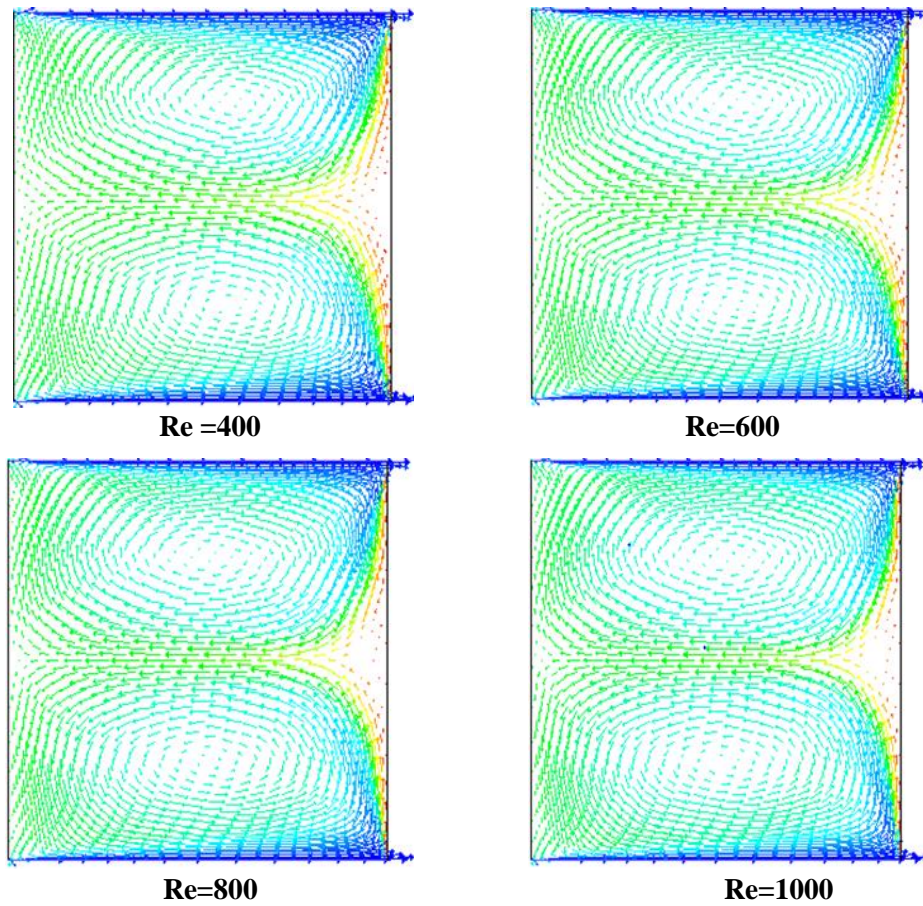


**Re=800**

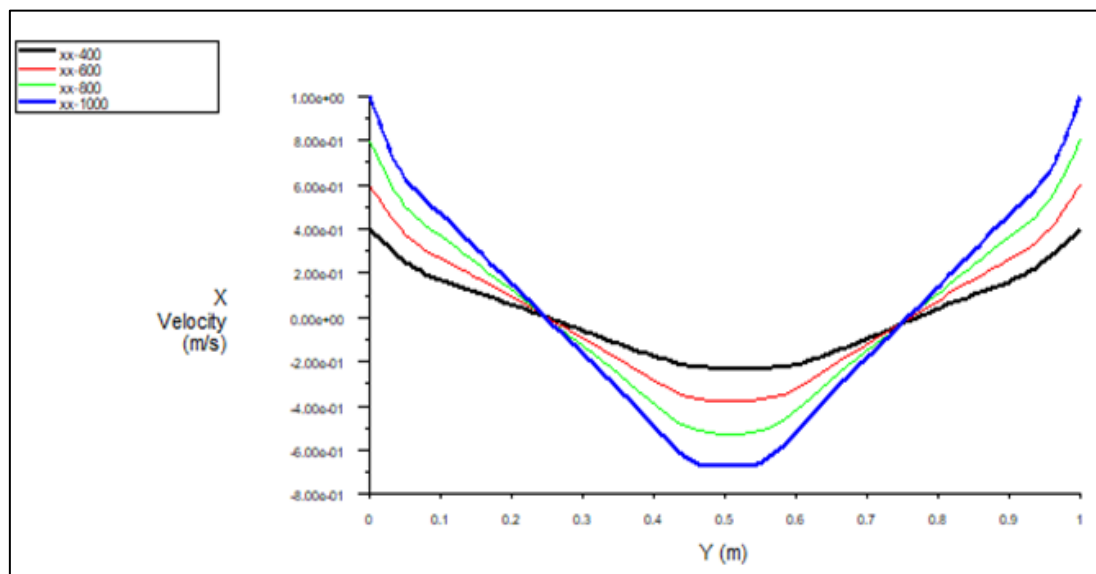


**Re=1000**

**Figure III.8 :** Les isothermes en fonction de nombre de Reynolds pour  $Ra=10^4$



**Figure III.9 :** Le champ des vitesses en fonction de nombre de Reynolds pour  $Ra= 10^4$



**Figure III.10:** Profils des vitesses U à  $X/2$  pour  $Ra=10^4$  et  $Re=(400 ;600 ;800 ;1000)$

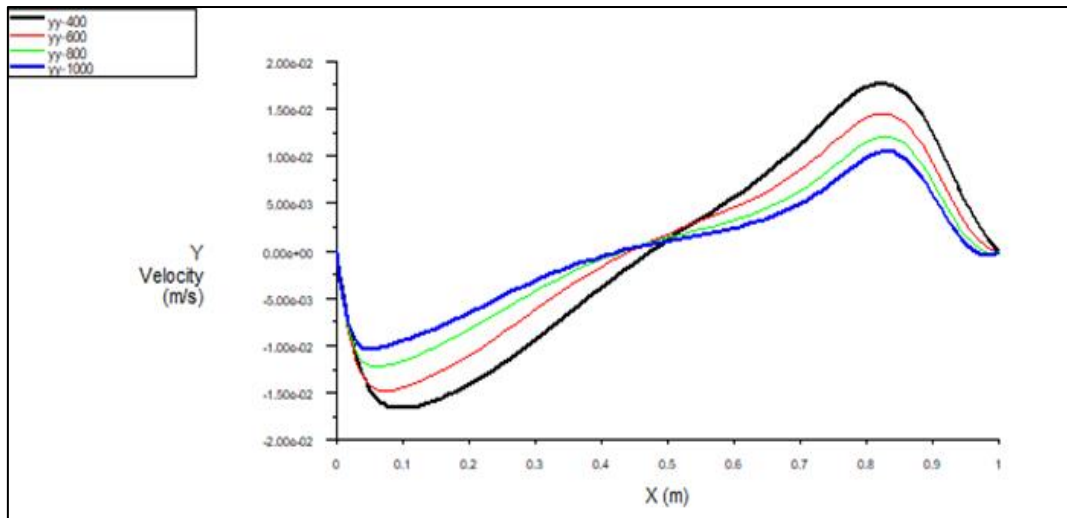


Figure III.11: Profils des vitesses V à Y/2 pour  $Ra=10^4$  et  $Re=(400 ;600 ;800 ;1000)$

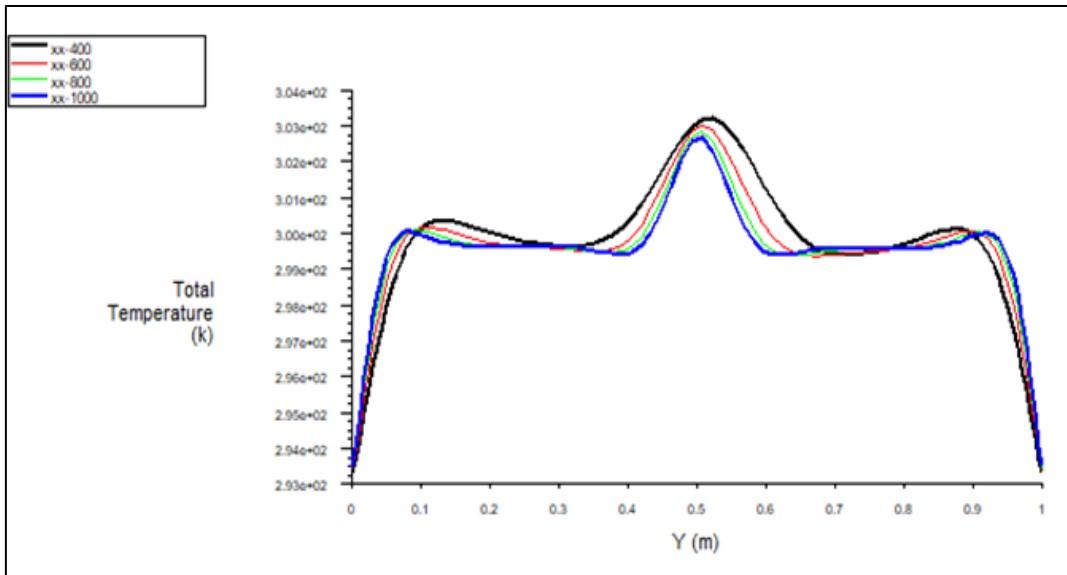


Figure III.12: Profil de températuresur X/2 pour  $Ra=10^4$  et  $Re= 400 ;600 ;800$  et 1000

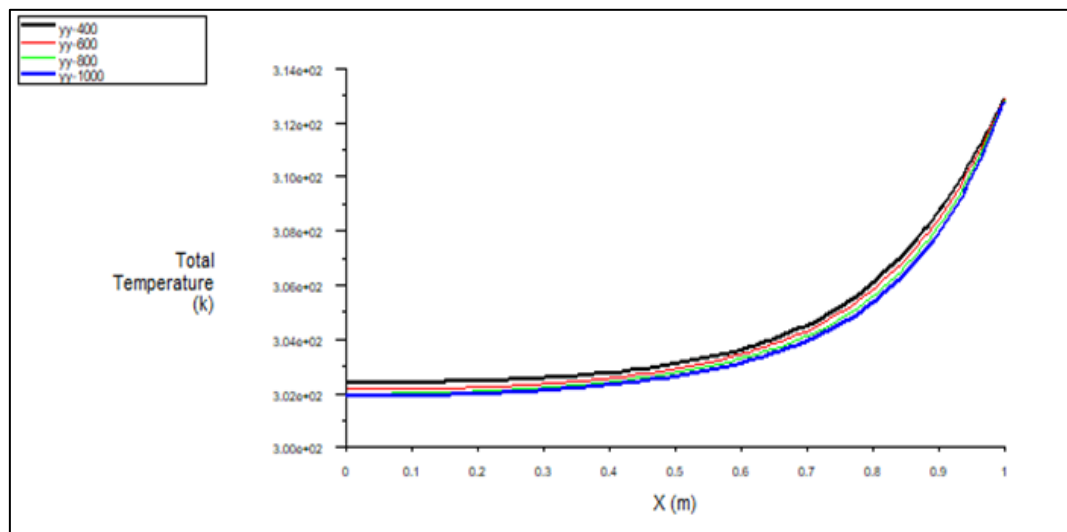
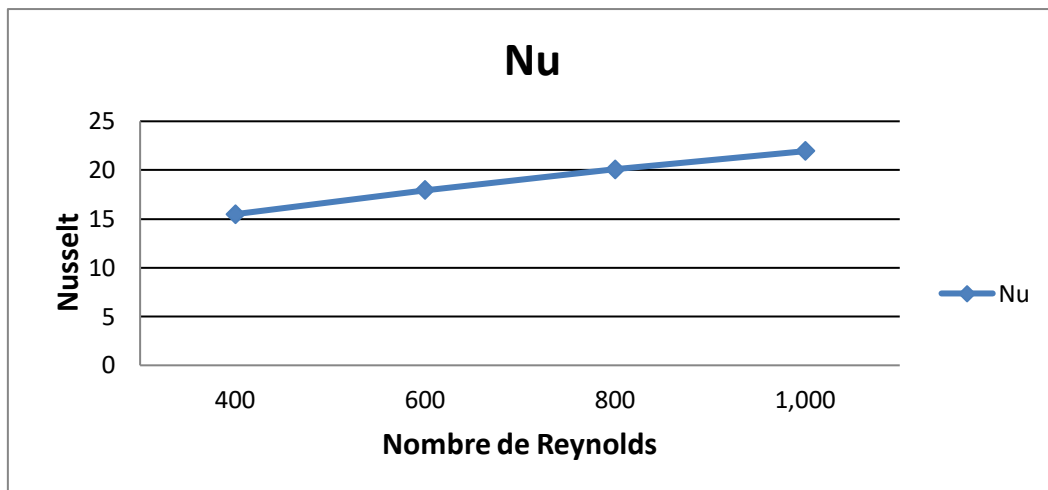


Figure III.13: Profil de température sur Y/2 pour  $Ra=10^4$  et  $Re=400 ;600 ;800$  et 1000

### **Suite Commentaires :**

Les Figure III.12 et III.13. Montrent les profils de température X/2 et à Y/2 en fonction de nombre de Reynolds de 400 à 1000, en observe que augmentation de nombre de Reynolds pour nombre de Rayleigh  $Ra=10^4$  provoque une diminution de la température, cette température est minimale pour Reynolds égale à 1000 et maximale pour Reynolds égale à 400.

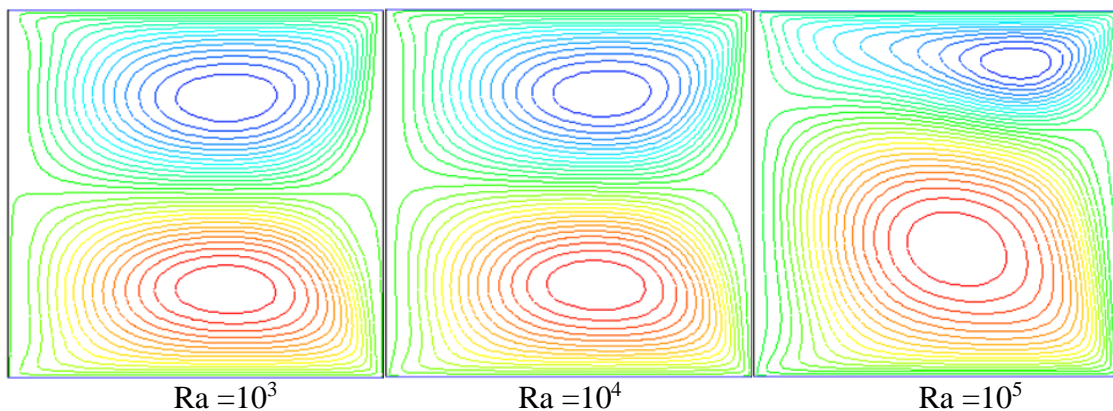
La figure III.14 représente la variation de nombre de Nusselt en fonction le nombre de Reynolds, on voit que Le nombre de Nusselt augment avec augmentation de Reynolds ce qui traduit l'augmentation de l'échange de chaleur sur la paroi chaude et un bon processus de refroidissement.



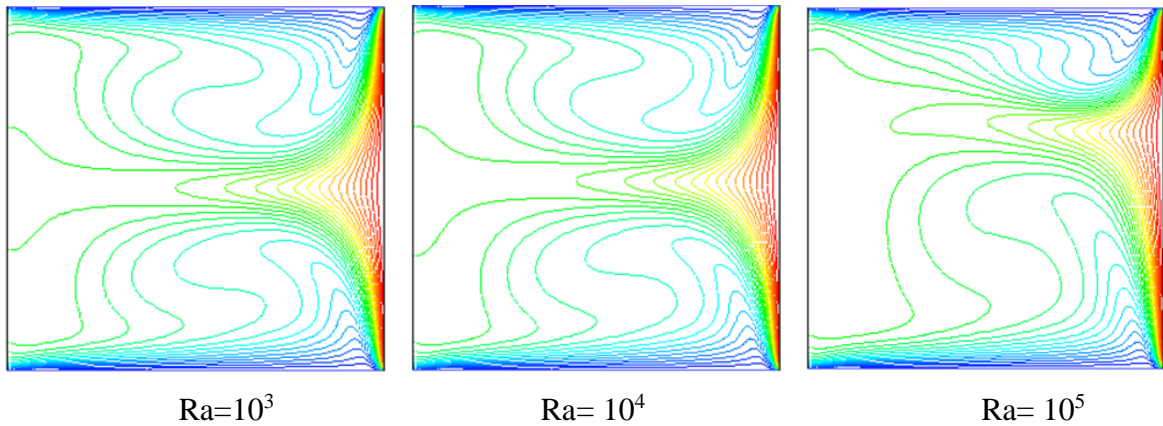
**Figure III.14 :** Variation de nombre de Nu en de fonction de nombre de Reynolds.

### **III.3.2. L'étude de l'influence de nombre de Rayleigh :**

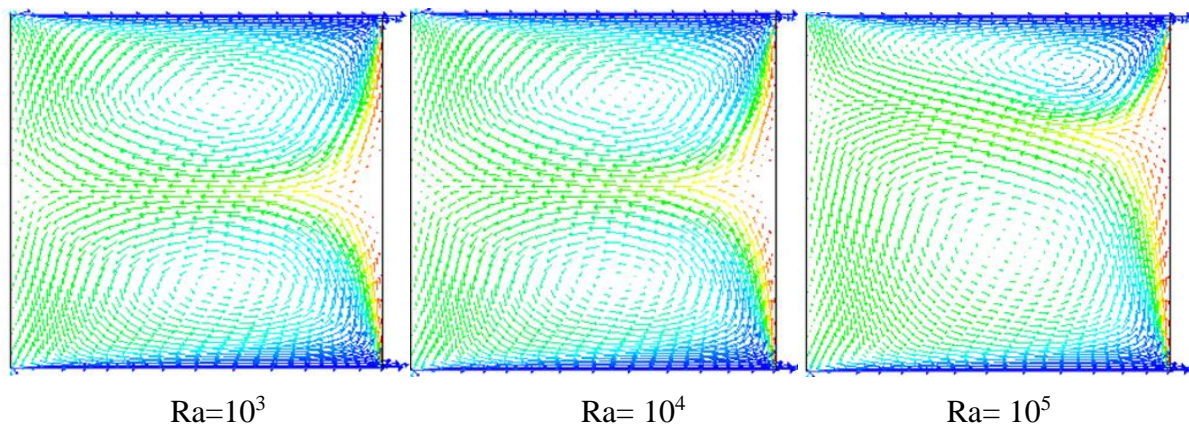
Le nombre de Reynolds étant fixée à 400 et le nombre de Reynolds est pris ( $10^3$ ,  $10^4$  et  $10^5$ ) avec un nombre de Prandtl égale à 0,71. Le maillage choisis est celui validé dans la section précédente notamment  $101*101$ .



**Figure III.15 :** Les lignes de courant en fonction de nombre de Rayleigh pour  $Re= 400$



**Figure III.16 :** Les lignes de températures en fonction de Rayleigh pour  $Re= 400$



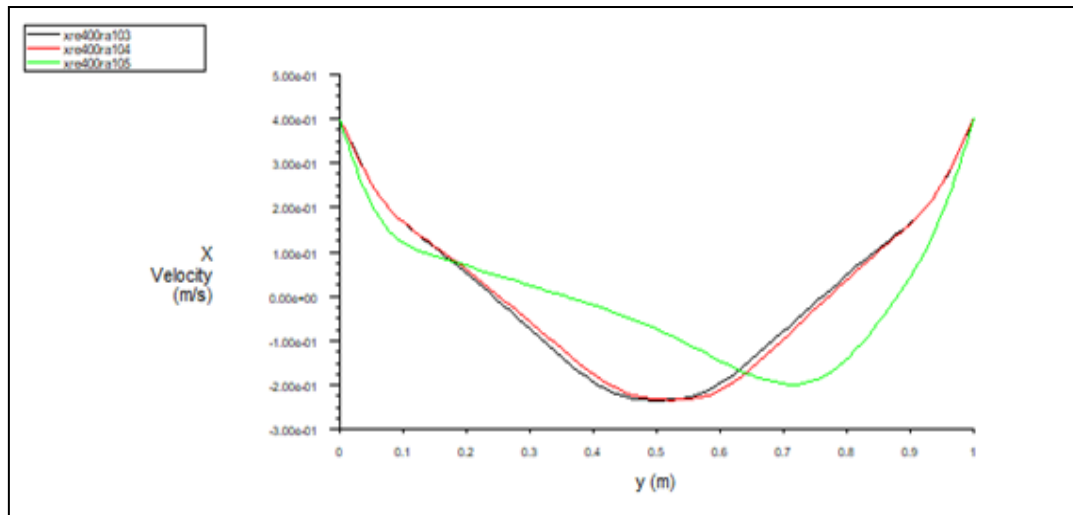
**Figure III.17 :** Les champs de vitesse en fonction de Rayleigh pour  $Re= 400$

### *Commentaires*

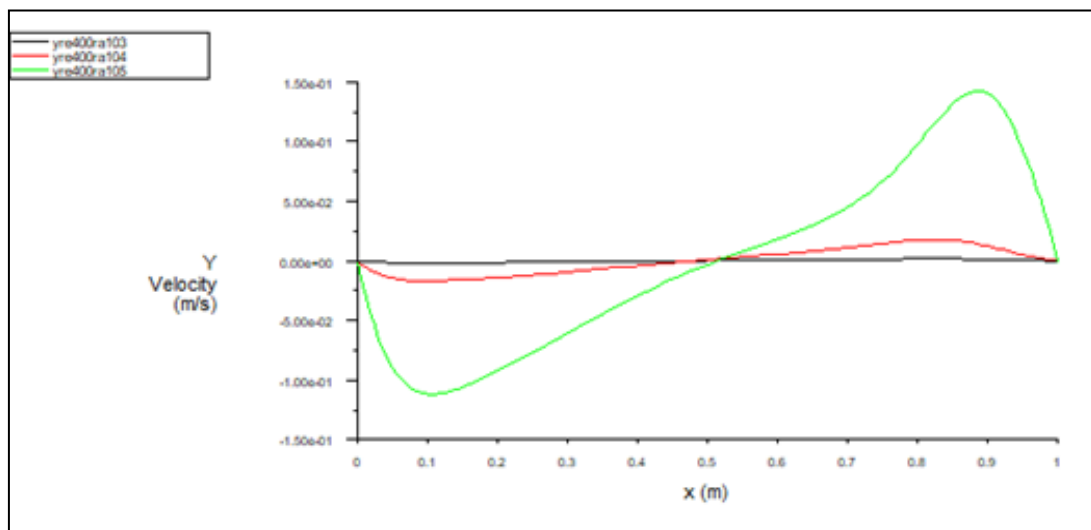
La Figure III.15. montre Les lignes de courant en fonction de nombre de Rayleigh pour  $Re=400$  on observe l'apparition de deux vortex contre-rotatifs, qui évoluent avec augmentation de nombre de Reynolds.

Figure III.16 : montre Les isothermes en fonction de nombre de Rayleigh pour  $Re=400$ . On remarque l'apparition d'un panache qui bouge de bas vers le haut avec l'augmentation du nombre de Rayleigh. On observe aussi un mouvement et apparition des isothermes qui suit les lignes de vortex et la diffusion de la température dans la cavité. On remarque aussi le processus d'élimination de zone chaude par le courant froid. Ce dernier prend beaucoup d'espace dans la cavité et surtout dans la zone inférieure quand Rayleigh augmente.

La Figure III.17 : présente les isothermes en fonction de nombre de Rayleigh pour  $Re=400$  on voit le mouvement de système contre-rotatifs avec le refroidissement qui prend un espace dans la cavité surtout à l'inférieur quand Rayleigh augmente qui extrait la chaleur est envoyée vers l'extérieur ; ainsi le côté chaud se refroidit .



**Figure III.18:** Profil de vitesse U à X /2 pour Ra=( $10^3$  ; $10^4$  ; $10^5$  ) et Re=400

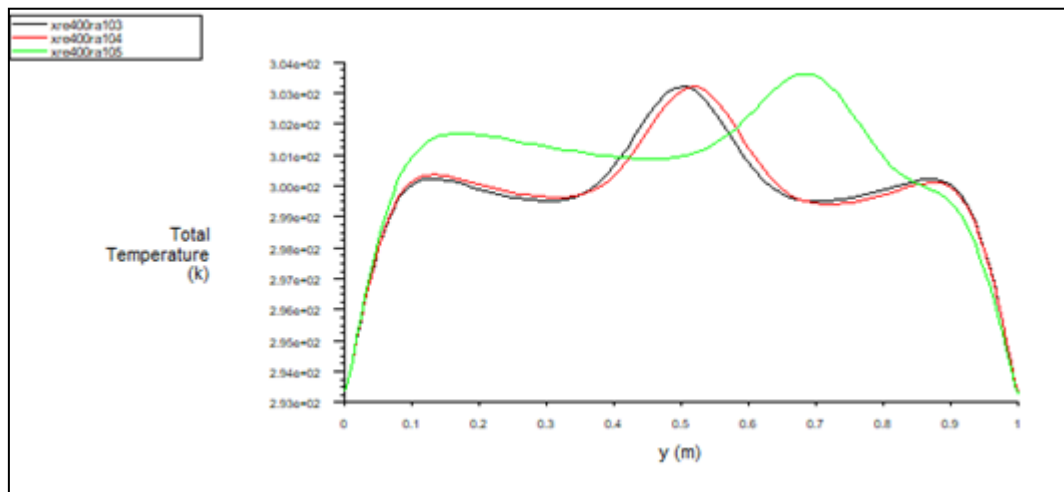


**Figure III.19:** Profil de vitesse V à Y/2 pour Ra= ( $10^3$ ,  $10^4$ ,  $10^5$ ) et Re=400.

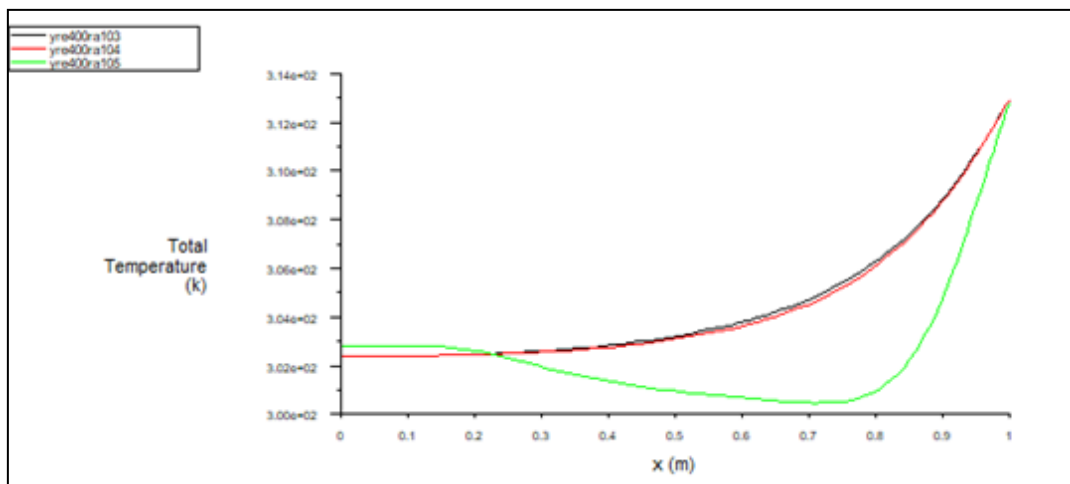
Les Figure III.18 et III.19 montrent les profils de vitesse, U à X/2 et V suivant Y/2 pour nombre de Rayleigh Ra allant de  $10^3$  à  $10^5$  et nombre de Reynolds égale 400. On remarque que la vitesse de l'écoulement suivant X diminue jusqu'à atteindre sa valeur minimale au milieu ou près du milieu de cavité, puis elle commence à s'élever jusqu'à atteindre sa valeur maximale sur le côté droit où il y a une source de chaleur chaude. La vitesse de l'écoulement suivant Y diminue jusqu'à atteindre sa valeur minimale sur le côté gauche, puis commence à s'élever jusqu'à ce qu'ils se rencontrent à un point commun au milieu ;ensuit il continue d'augmenter jusqu'à ce qu'il atteigne sa valeur maximale sur le côté droit de cavité. Et ceci avec l'augmentation du nombre de Rayleigh.

Les Figure III.20 et III.21. Montrent les profils de température, en fonction de Rayleigh. On observe que l'augmentation du nombre de Rayleigh suivant X provoque une diminution de

température.



**Figure III.20:** Profil de température à  $X/2$  pour  $Ra=(10^3, 10^4, 10^5)$  et  $Re=400$



**Figure III.21:** Profil de température à  $(Y/2)$  pour  $Ra=(10^3, 10^4, 10^5)$  et  $Re=400$

#### III.4. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté un ensemble de résultats obtenus par voie numérique, qui ont permis d'analyser notre problème qui consistait à étudier numériquement le phénomène de refroidissement. En commençant par une validation de calcul et d'étude de l'influence du nombre de Rayleigh sur la structure de l'écoulement. Ensuite nous avons présenté et discuté les résultats de l'influence du nombre de Reynolds et Rayleigh.

La convection mixte dans une cavité carrée, montre que l'augmentation du nombre de Reynolds, accélère l'écoulement et favorise le refroidissement des composants électroniques.

## **Conclusion Générale**

Dans ce mémoire nous avons présenté une étude numérique bidimensionnelle de la convection mixte dans une cavité carrée enceinte doublement entraînée, pour des différents nombres de Reynolds et nombre de Rayleigh avec un nombre de Prandtl fixe dans le but d'étudier le refroidissement des composantes électronique

Les équations qui régissent l'écoulement sont les équations de continuité, de quantité du mouvement, et l'équation d'énergie, la méthode des volumes finis est utilisée pour la discrétisation des équations, et l'algorithme SIMPLE est adopté pour le profil de vitesse et de température. Après la conception de la géométrie en utilisant le logiciel Gambit, on a passé aux simulations numériques en régime stationnaire à l'aide du code commercialisé Fluent 6.3.26, les résultats de simulation sont présentés pour des nombres de Reynolds égaux de 400 à 1000 et pour un nombre de Rayleigh ( $Ra=10^4$ ) et  $Pr=0.71$  avec un maillage optimal que nous validons.

Les résultats obtenus montrent que la température diminue avec l'augmentation du nombre de Reynolds pour les différents cas si le nombre de Reynolds augmente la vitesse d'écoulement augmente, ce qui conduit à une meilleure évacuation de la chaleur à partir de la source de chaleur et par conséquent, une diminution de leurs températures. Il est noté que le nombre de Nusselt augmente avec l'augmentation du nombre de Reynolds et de maillage, par conséquent, un bon refroidissement du la composant électronique.

Ce travail pourra être continué soit par diminution de la taille de partir de paroi chaude, ou en fixe un flux avec un double courant pour augmenter l'efficacité de refroidissement de composant électronique ce qui le but de notre sujet.

## **Bibliographie :**

- [1] Amrid MAMMERRI, Amélioration des performances énergétiques des systèmes de refroidissement industriels : Application aux serveurs informatiques, Thèse de Doctorat, École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Paris, 2014.
- [2] M. Rebay, S. Kakaç, R. Ben Maad, J. Padet, Experimental Evaluation of the Heat Transfer Coefficient in Electronic Air-Cooling, *Int. Journal of Transport*.
- [3] Ahlem ARFAOUI OMRANI, étude de la convection aux petites échelles : application au refroidissement des composants électroniques. Thèse de Doctorat, Université de Reims-Champagne Ardennes Université de Tunis El Manar. 2009
- [4] S. SADDAM, Amélioration de la convection mixte dans un dissipateur de chaleur à ailette elliptique creuse. Thèse de Master Université de M'sila. 2015.
- [5] AREELIS Technologies : (Laboratoire Universitaire des Sciences Appliquées de Cherbourg), dissipation thermique dans les composants électroniques ; un enjeu pour la fiabilité des composants/système électroniques quelles solutions technologiques. Laboratoire universitaire des sciences appliquées de Cherbourg, 2015
- [6] Conférence internationale sur l'énergie verte et l'ingénierie environnementale (GEEE-2017). *Journal internationale de la recherche scientifique et des technologies d'ingénierie-IJSET Vol.5 pp1-4*
- [7] refroidissement par convection naturelle des composants électroniques montés sur une paroi verticale *Sciences & Technologie B – N°33, (Juin 2011), pp 41 - 52*
- [8] Refroidissement par convection mixte des composants électroniques montés dans un canal horizontal, Laboratoire d'Energétique Appliquée et de Pollution, Département de Génie Mécanique, Université Mentouri-Constantine, Route de Ain El. Bey, Constantine 25000, Algérie PP 1-6.
- [9] Ansys Fluent | Fluid Simulation Software,  
[En ligne]. Available: <https://www.ansys.com> >
- [10] Gambit Software, [En ligne]. Available: [http://elearning.centre-univ-mila.dz/pluginfile.php/72563/mod\\_resource/content/1/chap3%20gambit.pdf](http://elearning.centre-univ-mila.dz/pluginfile.php/72563/mod_resource/content/1/chap3%20gambit.pdf).
- [11] B. BOUAMOUD, S. HOUAT, “ Etude De La Convection Naturelle Dans Une Cavité Carrée Partiellement Chauffée Par La Méthode De Boltzmann Sur Réseau ”, 12ème Colloque Interuniversitaire Franco - Québécois sur la Thermique des Systèmes CIFQ'2015 - Université de Sherbrooke– CANADA, 8-10 Juin 2015.
- [12] DE VAHL DAVIS G, Natural convection of air in a square cavity: a benchmark numerical solution, *Int. J. Numer. Meth, Fluid*, 3,, (1983). pp. 249-256.
- [13] MARKATOS, N.C., PERICLEOUS, K.A, “Laminar and turbulent natural convection in an enclosed cavity,” *Int. J. Heat Mass Transfer*, 27, (1984). pp. 755-772.