



Faculty of Sciences and Technology
Department of Mechanical Engineering

كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم الهندسة الميكانيكية

N° d'ordre : M...../GM/2022

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Energétique

Thème

**ETUDE DE REFROIDISSEMENT D'UN COMPOSANT
ELECTRONIQUE PAR UN JET HORIZONTAL**

Présenté par :

- ❖ BOUKORTT Abderrahmane
- ❖ BENMEHIDI Mohamed

Soutenu le 14 / 07 / 2022 devant le jury composé de :

Président	Pr RETIEL Nouredine	Université de Mostaganem UMAB
Examineur	Dr SAHRAOUI Nassim M.	Université de Mostaganem UMAB
Encadreur	Pr. HOUAT Samir	Université de Mostaganem UMAB

Année Universitaire : 2021 / 2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions **ALLAH** le tout puissant qui nous a donné la force et la patience pour mener à bien ce travail et grâce à lui nous sommes arrivés à ce moment.

Nous tenons à remercier vivement et chaleureusement notre encadreur le Professeur HOUAT Samir, pour sa patience, ses précieux conseils et parce qu'il nous a aidés dans notre chemin et nous a donné la bonne ambiance pour travailler dans ce projet.

Nous tenons à exprimer aussi nos remerciements :

Aux membres de jury d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer notre travail.

Et à nos familles, avec leur soutien et leurs prières, nous avons pu mener à bien ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce travail :

A ma très chère mère, Pour son soutien, sa patience et ses encouragements.

A mon très cher père, Pour m'assurer d'atteindre ce niveau et Pour son empressement à mener à bien ce travail.

A mes grands-mères, que Dieu les protège.

A ma sœur et toute ma famille.

A mes amis.

Merci.

Boukortt Abderrahmane

Je dédie ce travail :

À mes chers parents.

Mes frères et mes sœurs et toute ma famille.

Mes amis.

Benmehidi Mohamed

Résumé :

Le travail présenté dans ce mémoire est une étude numérique de refroidissement d'un composant électronique par convection forcée dans un canal horizontal de hauteur H. L'écoulement est considéré bidimensionnel et incompressible avec un nombre de Prandtl égale 0.71. Les parois inférieure et supérieure du canal sont considérées adiabatiques.

La modélisation et la simulation est réalisée avec les logiciels Gambit et Fluent. Ce dernier est basé sur la méthode des volumes finis, qui permet de résoudre les équations décrivant le modèle physique.

Le travail est initialisé par une validation physique et de la dépendance du maillage est effectuée sur une cavité carrée fermée 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.

L'étude de la configuration physique proposée dans ce travail est pour le même nombre de Prandtl avec un Reynolds qui varie entre 50 et 600, et avec des différentes hauteurs du composant électroniques ($h=0.125H$; $0.25H$; $0.375H$; $0.5H$).

Les résultats sont présentés sous forme des lignes de courant, des isothermes, des profils des vitesses et de températures ainsi que le nombre de Nusselt.

Mots clés : Composants électronique, refroidissement, convection forcée, jet horizontal.

Summary:

The work presented in this manuscript is a numerical study of the cooling of an electronic component by forced convection in a horizontal channel of height H . The flow is considered two-dimensional and incompressible with a Prandtl number equal to 0.71. The lower and upper walls of the channel are considered adiabatic.

Modelling and simulation is carried out with Gambit and Fluent software. The last is based on the finite volume method, which makes it possible to solve the equations describing the physical model.

The work is initialized by a physical validation and the mesh dependence is performed on a closed square cavity with a Prandtl number equal to 0.71 and Rayleigh number varying from 10^3 à 10^5 .

The results showed good agreement with the literature. The study of the physical configuration proposed in this work is for the same Prandtl number with a Reynolds which varies between 50 and 600, and with different heights of the electronic component ($h=0.125H$; $0.25H$; $0.375H$; $0.5H$).

The results are presented in the form of streamlines, isotherms, velocity and temperature profiles as well as the Nusselt number.

Keywords: Electronic components, cooling, forced convection, horizontal jet.

ملخص:

العمل المقدم في هذه الأطروحة عبارة عن دراسة عددية لتبريد مكون إلكتروني بالحمل القسري في قناة أفقية بارتفاع H . يعتبر التدفق ثنائي الأبعاد وغير قابل للضغط مع رقم Prandtl يساوي 0.71. تعتبر الجدران السفلية والعلوية للقناة ثابتة الحرارة.

يتم تنفيذ النمذجة والمحاكاة باستخدام برنامج Gambit and Fluent. يعتمد الأخير على طريقة الحجم المحدود، مما يجعل من الممكن حل المعادلات التي تصف النموذج المادي .

تتم تهيئة العمل عن طريق التحقق المادي ويتم تنفيذ الاعتماد على الشبكة على تجويف مربع مغلق مع رقم Prandtl يساوي 0.71 ورقم Rayleigh يتراوح من 10^3 إلى 10^5 . أظهرت النتائج توافق جيد مع الاعمال السابقة في هذا المجال.

دراسة التكوين المادي المقترح في هذا العمل هي لنفس رقم Prandtl مع Reynolds والتي تتراوح بين 50 و 600 ، وبارتفاعات مختلفة للمكون الإلكتروني (0.125H ؛ 0.25H ؛ 0.375.H ؛ 0.50H)

يتم عرض النتائج في شكل خطوط انسيابية ومتساوية الحرارة والسرعة ودرجة الحرارة بالإضافة إلى رقم Nusselt. الكلمات المفتاحية: المكونات الإلكترونية، التبريد، الحمل الحراري القسري ، النفث الأفقي.

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Nomenclature

Introduction générale

Chapitre I : Etude bibliographique sur le refroidissement des composants

Electroniques et mise en équations :

I.1	Introduction.....	2
I.2	La relation entre les phénomènes thermiques et l'électronique.....	2
I.3	Les systèmes de refroidissement des composants électroniques.....	3
I.4	Revue bibliographique.....	3
I.5	Configuration étudiée.....	7
I.6	Hypothèses simplificatrices	8
I.7	Mise en Equations	8
	I.7.1Equation conservation de masse (équation de continuité).....	8
	I.7.2Equation conservation de la quantité de mouvement.....	9
	I.7.3Equation de l'énergie.....	9
	I.7.4Equations adimensionnelles	9
	I.7.5Conditions aux limites	10
I.8	Nombres adimensionnels	11
I.9	Conclusion	11

Chapitre II : Procédure de résolution numérique

II.1	Introduction.....	13
II.2	Méthode des volumes finis.....	13
II.3	Les outils Gambit et Fluent.....	13
	II.3.1Gambit.....	13
	II.3.2Le code Fluent.....	15
	II.3.3Les étapes de calcul par Fluent.....	16
II.4	Conclusion.....	20

Chapitre III : Résultats et discussions

III.1	Introduction.....	22
III.2	Validation de la simulation avec le code Fluent.....	22
	III.2.1Validation de maillage.....	23
	III.2.2Validation physique.....	25
III.3	Résultats et discussion sur le cas physique étudié	25
	III.3.1 Etude de l'Influence du nombre de Reynolds.....	25
	III.3.1 Etude de l'Influence du la hauteur de composant électronique	31
	III.4 Conclusion.....	36
	Conclusion générale.....	
	Références Bibliographiques.....	

Liste des figures

Figure I.1	Processeur avec son système de refroidissement.....	2
Figure I.2	Exemples de systèmes de refroidissement à air.....	3
Figure I.3	Canal contenant un seul obstacle Chauffé.....	5
Figure I.4	Canal contenant trois sources de chaleur chauffées avec l'insertion d'une matrice poreuse.....	5
Figure I.5	Géométrie du problème.....	7
Figure II.1	accueil de gambit.....	14
Figure II.2	menu général de Gambit.....	14
Figure II.3	Fonctions principales du menu général de Gambit.....	15
Figure II.4	définition de la géométrie.....	15
Figure II.5 :	choix des dimensions du domaine de calcul.....	16
Figure II.6	introduire l'équation d'énergie.....	16
Figure II.7	Définition des caractéristiques du fluide.....	17
Figure II.8	Operating conditions.....	17
Figure II.9	conditions aux limites.....	18
Figure II.10	l'initialisation.....	18
Figure II.11	choix de la solution.....	19
Figure II.12	Choix et affichage pendant les calculs des critères de convergence.....	19
Figure II.13	Choix du nombre des itérations.....	20
Figure II.14	Allures de l'évolution de la convergence du calcul.....	20
Figure III.1	schéma de cavité.....	22
Figure III.2	Validation de maillage $Nu=f(\text{Maillage})$	23
Figure III.3	Les lignes de courant en fonction de nombre de Rayleigh.....	24
Figure III.4	Les isothermes en fonction de nombre de Rayleigh.....	24
Figure III.5	Maillage Raffiné pour la hauteur du composant égale à $h=0.25H$ (270x60).....	25
Figure III.6	les isothermes pour différentes nombre de Reynolds et $H=0.25$	26
Figure III.7	les lignes de courants pour différentes nombre de Reynolds et $H=0.25$	26
Figure III.8	les profils de température pour différentes nombre de Reynolds et $H=0.25$	27
Figure III.8	(suite) : les profils de température pour déférentes nombre de Reynolds et $H=0.25$...	28
Figure III.9	les profils de vitesse selon X pour différentes nombre de Reynolds et $H=0.25$	29
Figure III.9	(suite) : les profils de vitesse selon X pour déférentes nombre de Reynolds et $H=0.25$	30
Figure III.10	Nombre de Nusselt en fonction de Reynolds.....	31
Figure III.11	Les isothermes pour $Re=50$ et différentes hauteurs de composant.....	32
Figure III.12	Les lignes de courants pour $Re=50$ et différentes hauteurs de composant.....	32
Figure III.13	Les profils de température pour $Re=50$ et différentes hauteurs de composant.....	33
Figure III.13	(suite) : Les profils de température pour $Re=50$ et différentes hauteurs de composant	34
Figure III.14	Les profils de vitesse $Re=50$ et différentes hauteurs de composant.....	34
Figure III.14	(suite) : Les profils de vitesse $Re=50$ et différentes hauteurs de composant.....	35
Figure III.15	Nombre de Nusselt en fonction de la hauteur de composant électronique et $Re=50$...	36

Liste des tableaux

Tableau I.1	Les conditions aux limites	10
Tableau III.1	Comparaison du nombre de Nusselt.....	23

Nomenclature

Symbole	Définition	Unité
• C_p	La chaleur spécifique à pression constante	(J/kg.K)
• g	L'accélération de pesanteur	(m/s ²)
• H	Hauteur de canal	(m)
• h	Hauteur du composant	(m)
• h_c	Coefficient de Convection	(W/m ² .k)
• L	Longueur	(m)
• P	Pression	(Pa)
• T_f	Température à l'entrée de canal (Froide)	(K)
• T_c	Température de composant électronique (Chaude)	(K)
• u_0	Vitesse à l'entrée de canal	(m/s)
• u, v	Vitesses	(m/s)
• U, V	Composantes adimensionnelles des vitesses	
• x, y	Coordonnées cartésiennes	
• X, Y	Coordonnées cartésiennes adimensionnelles	
Symbole Grec		
• α	La diffusivité thermique	(m ² /s)
• β	Coefficient de dilatation thermique volumétrique	(K ⁻¹)
• θ	Température adimensionnelle	
• λ	Conductivité thermique	(W/K.m)
• μ	Viscosité dynamique	(Kg/m.s)
• ν	Viscosité cinématique	(m ² /s)
• ρ	Masse volumique	(Kg/m ³)
• Δ	La différence	
Nombres adimensionnels		
• 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, les scientifiques se sont concentrés sur l'étude des écoulements avec transfert de chaleur à travers différents modes de convection (naturelle, forcée et mixte). En raison de leurs applications pratiques telles que les systèmes électroniques, les échangeurs de chaleur à haute performance, les équipements de procédés chimiques, les chambres de combustion, les systèmes de contrôle environnemental, etc., ces écoulements sont étudiés avec des géométries connues.

En raison des progrès de l'industrie électronique, l'étude du transfert de chaleur sur des sources de chaleur discrètes est devenue un sujet de grand intérêt. Aujourd'hui, l'analyse du comportement thermique des composants électroniques et des ensembles de puissance joue un rôle important dans la conception des fonctions électroniques en environnement sévère. Un échauffement excessif peut dégrader les performances des composants, raccourcir leur durée de vie et éventuellement entraîner une défaillance. Par conséquent, améliorer leur refroidissement contribuera à améliorer leur fiabilité.

Les études expérimentales et les simulations numériques offrent une alternative économique et prometteuse pour tester plusieurs configurations géométriques et thermiques afin d'optimiser le refroidissement en termes de taille, de puissance de soufflage et d'agencement.

Le refroidissement par jets est une solution privilégiée dans les applications industrielles lorsque l'on cherche à extraire, ou bien à apporter un flux de chaleur intense sur une surface. Ce type d'applications a mis en évidence la nécessité de recherches complémentaires sur le comportement d'un faisceau de jets et de leur interaction mutuelle, Tummers et al, (2005), Rundstrom et Moshfegh (2006,2008). Cette solution permet de garder le flux d'air principal à des faibles niveaux, ce qui a un effet bénéfique sur la consommation électrique globale et la limitation du bruit des gros ventilateurs [1].

Afin d'améliorer le transfert de chaleur et d'augmenter l'efficacité des systèmes de refroidissement, plusieurs méthodes de refroidissement ont été étudiées. Parmi ces procédés, il existe des procédés classiques de refroidissement par convection naturelle et convection forcée de flux de gaz et de liquide. Il convient de noter que la convection naturelle est utilisée pour les systèmes à faible puissance et à faible densité de flux. Le refroidissement de grands

systèmes à haute puissance nécessite une dissipation de chaleur plus élevée, c'est pourquoi la convection forcée est la plus appropriée dans la plupart des cas.

But du travail :

C'est dans ce contexte que nous allons mener notre étude. L'objectif de ce travail de thèse consiste donc à étudier numériquement l'influence du jet horizontale sur le transfert de chaleur et sur l'amélioration de refroidissement d'un composant électronique.

Cette étude est organisée autour de chapitres comme suite :

Chapitre I : Etude bibliographique d'un refroidissement de composant électronique

Chapitre II : Modélisation et résolution numérique

Chapitre III : Résultats et Discussions

Chapitre I

Etude bibliographique sur le refroidissement des composent électronique

I.1 Introduction :

Le refroidissement des composants électroniques tels que les processeurs (figure 1), les modules PC RAM, les LED, etc. constitue l'un des principaux obstacles au développement rapide et fiable des systèmes électroniques compacts [2]. Pour la plupart des ordinateurs, la dissipation thermique est un problème technique majeur pour atteindre une vitesse de calcul optimale du microprocesseur.

Généralement, le refroidissement est réalisé par convection forcée et transitions de phase, cependant, la convection naturelle fait partie intégrante de la dissipation thermique, en particulier dans le cas des ordinateurs portables et des petits appareils électroniques. Bien que la convection forcée reste la principale méthode de refroidissement, il est toujours important de déterminer le processus de distribution du fluide lorsque le système de refroidissement est temporairement interrompu par la ventilation, sans une courte période de flux externe forcé [1].



Figure I.1 : Processeur avec son système de refroidissement

I.2 La relation entre les phénomènes thermiques et l'électronique :

Aujourd'hui, la conception des composants électroniques est limitée par des considérations autres que l'électronique, notamment par des problèmes thermiques. Tous les composants électroniques sont sensibles à leur température : ils ne fonctionnent pas bien en dehors de

certaines limites de température, et si la température dépasse largement ces limites, ils seront détruits. Certains composants dissipent beaucoup de chaleur et s'échauffent, pour être dans la plage de fonctionnement de ces composants, il est nécessaire d'aménager le flux de cette chaleur à l'extérieur

Maintenir les composants d'un circuit électronique à une température appropriée à son fonctionnement normal n'est souvent pas la seule fonction d'un système de refroidissement, il est aussi souvent nécessaire d'uniformiser la température à l'intérieur de l'appareil pour assurer un bon fonctionnement du circuit [3].

I.3 Les systèmes de refroidissement des composants électroniques :

Les systèmes de refroidissement sont classés en deux grandes catégories :

- **Les systèmes de refroidissement actifs** : Le refroidissement actif est un type de transfert de chaleur qui utilise des appareils alimentés tels que des ventilateurs ou des pompes.



Figure I.2 : Exemples de systèmes de refroidissement à air

- **Les systèmes de refroidissement passifs** : Le refroidissement passif transfère la chaleur sans utiliser d'énergie supplémentaire [4].

I.4 Revue bibliographique :

D'après la revue scientifique américaine (YEH'S REVIEW - 2002), une étude de «l'U.S. Air force» a indiqué que plus de 52% des défauts des systèmes électroniques sont étroitement liés à la hausse incontrôlée des températures [5]. Quant aux ventilateurs installés sur les PC, bien qu'ils soient souvent bon marché en matière de coûts, ils représentent des inconvénients majeurs car ils font du bruit et requièrent de l'espace, donc peu efficaces et peu fiables.

Les études de convection sont donc nécessaires à la gestion des flux thermiques et la conception des équipements (équipements électroniques, fabrication des films fins, décomposition des vapeurs chimiques et bien d'autres domaines...) [1].

Les problèmes de dissipation thermique a une grande importance dans le domaine de l'industrie électronique l'étude et la maitrise de ces problèmes est indispensable afin d'assurer les garanties de fonctionnement et la fiabilité. La génération excessive de la chaleur nécessite une bonne et suffisante évacuation de la chaleur, sinon la durée de vie des composants électroniques sera affectée par cette génération excessive de chaleur [5]. Un grand nombre des travaux numériques et expérimentaux ont été effectués par les chercheurs et les scientifiques concernant la convection sous ses trois formes, parmi ces travaux publiés, nous citons par exemple le travail de **Castro et Robins(1977)** [1], qui ont utilisé dans leur étude expérimentale un anémomètre (HWA) ' Hotwire Anemometry ' pour mesurer le champ de vitesse autour d'un seul cube monté sur une plaque plane. Ils ont remarqué que la dimension de la zone de recirculation derrière le cube, dans la zone du sillage et la dimension du tourbillon sur le cube, dépend de condition de l'avancement de l'écoulement et les conditions aux limites à l'entrée.

Une autre étude expérimentale a été réalisé par **Hussein et Martinuzzi(1996), Larousse et al, (1991) et Martinuzzi et Tropea(1993)** [1], leurs but est d'étudier l'écoulement autour d'un seule cube montée dans une soufflerie multi couche qui développe un écoulement turbulent. L'étude représente une description détaillée sur le nombre de Reynolds, le calcul du nombre de Reynolds est basé sur la hauteur du cube et la vitesse de *bulk (bulk velocity)*, où $Re = 40.000$.

Seo Young et al [2] Ont simulé l'écoulement pulsatif et les caractéristiques du transfert de chaleur qui l'accompagne en présence de deux blocs chauffés.

Young et al (1998) [5] ont fait une investigation détaillée sur le refroidissement par convection forcée d'un ensemble de sources de chaleur montées sur la paroi inférieure d'un canal.

L'étude emploie les variations de la hauteur, de la largeur de la source, également sa conductivité thermique normalisée et aussi l'influence du nombre de Reynolds. Les résultats de cette investigation montrent que la forme et le matériau de la source ont des effets considérables sur les caractéristiques de l'écoulement et du transfert thermique.

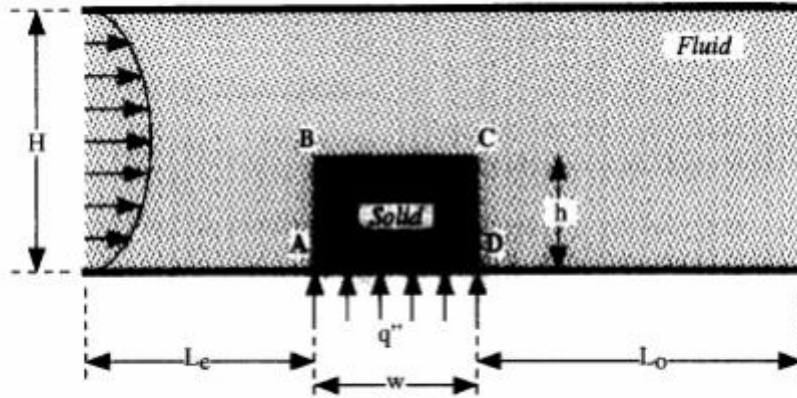


Figure I.3 : Canal contenant un seul obstacle Chauffé

Hsieh et Huang [2] Ont étudié la convection forcée sur une surface montée de blocs, Ils présentent de corrélations du nombre de Nusselt en fonction du nombre de Reynolds et de la largeur du bloc.

Y.L. Tsay et J.C. Cheng [2] ont présenté une étude numérique sur les caractéristiques thermiques de l'écoulement de la convection forcée laminaire dans un canal contenant plusieurs panneaux courts montés avec des blocs générateurs de chaleur.

L'utilisation des logiciels de calcul devient très répandue.

Ould-Amer et al [2] Ont étudié numériquement le transfert de chaleur par convection forcée laminaire dans un canal contenant des sources de chaleur avec l'insertion d'une matrice poreuse Ils ont trouvé que l'insertion de la matrice poreuse entre les sources de chaleur produit un meilleur refroidissement de ces dernières.

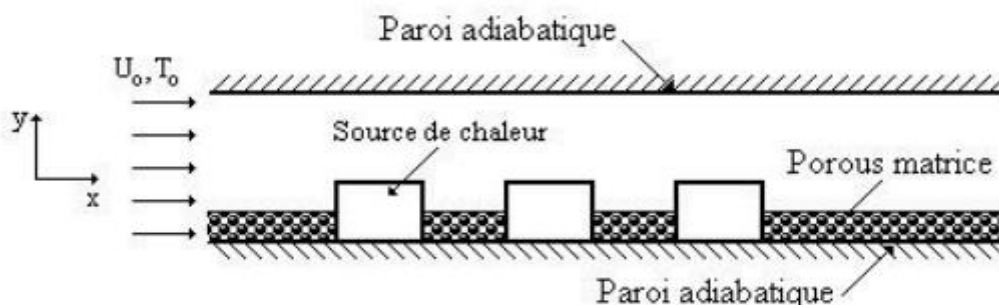


Figure I.4 : Canal contenant trois sources de chaleur chauffées avec l'insertion d'une matrice poreuse.

Un ensemble d'expériences a été effectué par **Bhowmik et Tou (2005)** dans le but d'étudier le transfert de chaleur en régime transitoire monophasé en convection forcée. Le dispositif expérimental comporte quatre (4) sources de chaleur montées dans un canal vertical rectangulaire.

L'eau est utilisée comme fluide de refroidissement et l'écoulement comprend une large gamme du nombre de Reynolds basé sur la longueur de la source de chaleur, en régime laminaire, variant de 800 à 2625. Les résultats expérimentaux indiquent que le transfert de chaleur est fortement lié au nombre de sources et au nombre de Reynolds. Les résultats montrent aussi que plus la hauteur du composant est plus grande, plus le transfert de chaleur est plus important.

Mohamed (2005) [5] a fait une investigation expérimentale dans le but de connaître les caractéristiques du refroidissement à air dans un dispositif de refroidissement. Quatre dispositifs de 9, 16, 25 et 36 modules carrés placés dans la même région et mis en saillie. Les résultats indiquent que le coefficient de transfert de chaleur moyen augmente légèrement avec l'augmentation de la température du dispositif du module, mais l'augmentation est considérablement plus élevée avec l'augmentation des vitesses d'écoulement de l'air et de la hauteur du module.

Wang et Jaluria [2] L'étude est dans le contexte de refroidissement des équipements électroniques. Le nombre de Grashof est fixé à 106. Les résultats montrent que le nombre de Reynolds, l'arrangement spatial des sources de chaleur et le rapport des conductivités thermiques ($\lambda = \lambda_s / \lambda_{air}$) ont des effets considérables sur l'amélioration du transfert de chaleur, ce qui conduit à une température moyenne plus faible pour les deux sources de chaleur. La possibilité d'optimiser l'arrangement spatial des sources pour le transfert thermique maximal est évidente d'après ces résultats. Les magnitudes de la conduction et le transport de la convection ont été comparés pour différentes combinaisons paramétriques.

Korichi et al (2005) [5] Ont fait une étude numérique de la convection forcée laminaire transitoire, dans un canal en présence d'un cylindre de section carrée. Les calculs ont été effectués pour le cas de l'air ($Pr=0.71$) et pour un rapport de blocage (H/D) =0.1. Les résultats permettent de conclure que l'écoulement est permanent pour $Re \leq Re_{cr}$ donne naissance à des tourbillons alternés pour $Re > Re_{cr}$. La valeur de Re_{cr} dépend du rapport H/D . Pour

$Re_{cr}=60$, le transfert de chaleur est maximal le long de la face frontale et faible le long de la face arrière située dans la zone du sillage. Le nombre de Nusselt moyen augmente avec l'augmentation du nombre de Reynolds.

Icoz et Jaluria (2004) [5] Ont élaboré une méthodologie pour la conception et l'optimisation des systèmes de refroidissement des équipements électroniques. Dans cette approche, les données expérimentales ou de modélisation numérique, notamment, le nombre de Reynolds et la dimension des composants ont été utilisés pour obtenir une conception acceptable et optimale. Deux configurations simples ont été utilisées pour démontrer cette approche. Cette investigation montre qu'on peut utiliser les résultats qui permettent de réaliser des géométries adéquates et optimales dans le but d'avoir le meilleur dispositif de refroidissement des composants électroniques.

I.5 Configuration étudiée :

Dans cette étude, il s'agit d'un canal horizontal bidimensionnel avec un composant électronique de température de surface chaude, refroidi par un fluide incompressible et un jet horizontal. On peut considérer que les parois supérieure et inférieure sont adiabatiques.

(L'air entre dans le canal avec une vitesse U_0 (jet) pour refroidir le composant électronique.)

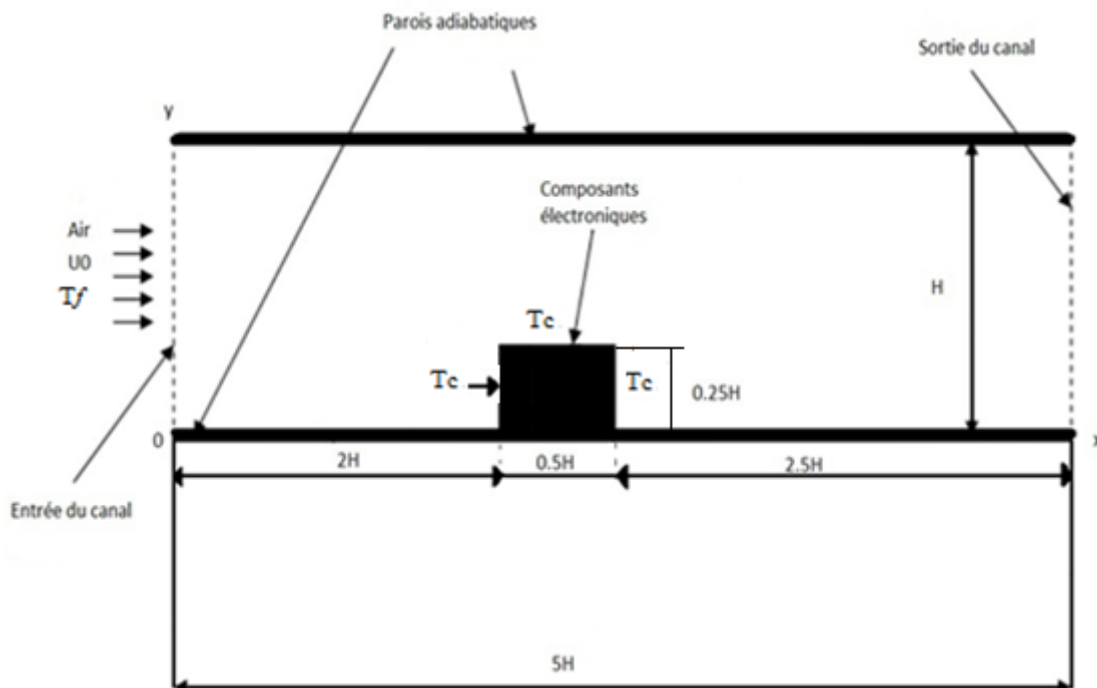


Figure I.5 : Géométrie du problème

I.6 Hypothèses simplificatrices :

Les hypothèses simplificatrices utilisées dans l'étude de notre problème sont :

- Le fluide est newtonien.
- L'écoulement est laminaire et incompressible.
- L'écoulement est stationnaire.
- Ecoulement bidimensionnel
- On néglige les échanges thermiques par rayonnement.
- Le régime d'écoulement est considéré à l'entrée du canal car le rapport de blocage du composant par rapport au canal est entre $1/4H$ ET $1/2H$.

I.7 Mise en Equations :

Le comportement du fluide est régi par les lois de conservation de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie. Les équations sont données ci-dessous dans le cas de l'écoulement bidimensionnel d'un fluide newtonien et incompressible, et ce en fonction des variables primitives. C'est-à-dire des deux composantes de vecteur vitesse u et v (variables d'Euler).

Les quatre variables physiques qui définissent l'écoulement dans l'espace de coordonnées (x, y) sont : la vitesse V de composantes (u, v) , la température (T) et la pression (p) .

Nous avons opté pour la formulation $(u-v-p)$ plutôt que la formulation (vorticité-fonction de courant) pour les raisons suivantes :

- Elle utilise des variables qui ont une signification physique.
- Les conditions aux limites sont déterminées d'une façon simple.
- On obtient directement le champ de pression qui sert à la détermination de la masse volumique dans le cas d'un fluide incompressible.

Compte tenu des hypothèses ci-dessus, l'étude d'un problème de convection forcée pour un fluide newtonien demande la résolution de trois équations :

I.7.1 Equation conservation de masse (équation de continuité) :

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

$\rho = \text{cst}$: fluide incompressible

$\frac{\partial}{\partial t} = 0$: écoulement permanent, $Div(V) = 0$ donc :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (2)$$

I.7.2 Equation conservation de la quantité de mouvement :

Sur l'axe x :

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$

Sur l'axe y :

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (4)$$

$\nabla = 0$: l'écoulement est parfait

I.7.3 Equation de l'énergie :

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (5)$$

I.7.4 Equations adimensionnelles :

L'adimensionnalité des équations implique la transformation des variables dépendantes et indépendantes en variables sans dimension, c'est-à-dire qu'elles seront normalisées par rapport à une dimension de caractéristique. Cela permet de spécifier les conditions d'écoulement avec un nombre limité de paramètres pour rendre la solution plus générale.

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

On écrit les équations sous forme adimensionnelle comme suit :

- **Equation de continuité :**

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0 \quad (6)$$

- **Équations de quantité de mouvement :**

Sur l'axe x :

$$U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} = - \frac{\partial P}{\partial X} + \frac{1}{R_e} \left(\frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} \right) \quad (7)$$

Sur l'axe y :

$$U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = - \frac{\partial P}{\partial Y} + \frac{1}{R_e} \left(\frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} \right) \quad (8)$$

- **Equations de l'énergie :**

$$U \frac{\partial \theta}{\partial X} + V \frac{\partial \theta}{\partial Y} = \frac{1}{R_e \cdot Pr} \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} \right) \quad (9)$$

I.7.5 Conditions aux limites

Pour permettre la résolution du système d'équations précédentes, il est nécessaire d'associer des conditions initiales et des conditions aux limites qui correspondent au problème étudié. La condition initiale est nécessaire seulement dans le cas d'un phénomène instationnaire. Les conditions aux limites fixent les conditions imposées réellement aux bords du domaine.

Tableau 1.1 Les conditions aux limites :

interface	Conditions aux limites dimensionnelles	Conditions aux limites sans dimensionnelles
A l'entrée	$x = 0$ et $0 \leq y \leq H$ $u = U_0; v = 0; T = T_f$	$X = 0$ et $0 \leq Y \leq 1$ $U = 1; V = 0; \theta = 0$
A la Sortie :	$x = 5H$ et $0 \leq y \leq H$ $\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial x} = 0;$ $\partial T / \partial x = 0$	$X = 5$ et $0 \leq Y \leq 1$ $\frac{\partial U}{\partial X} = \frac{\partial V}{\partial X} = 0$; $\partial \theta / \partial X = 0$
Paroi supérieur :	$0 \leq x \leq 5H$ et $y = H$ $u = v = 0; \partial T / \partial y = 0$	$0 \leq X \leq 5$ et $Y = 1$ $U = V = 0; \partial \theta / \partial Y = 0$
Paroi inférieur :	$0 \leq x \leq 5H$ et $y = 0$ $u = v = 0; \partial T / \partial y = 0$	$0 \leq X \leq 5$ et $Y = 0$ $U = V = 0; \partial \theta / \partial Y = 0$
Au niveau du composant électronique	$2H \leq x \leq 2.5H$ et $0 \leq y \leq 0.25H$ $u = v = 0; T = T_c$	$2 \leq X \leq 2.5$ et $0 \leq Y \leq 0.25$ $U = V = 0; \theta = 1$

I.8 Nombres adimensionnels :

- Nombre de Prandtl :

Il caractérise l'importance relative des effets thermiques et visqueux.

$$\mathbf{Pr} = \frac{\mu C_p}{\lambda} = \frac{\nu}{\alpha} \quad (10)$$

- Nombre de Reynolds :

C'est un nombre qui est utilisé pour déterminer le régime d'écoulements. L'écoulement peut être laminaire, transitoire ou turbulent. Ce nombre est en fonction, de la viscosité cinématique (ν), de sa vitesse moyenne (u_0), et de dimension caractéristique (L). Il s'exprime par la relation suivante :

$$\mathbf{Re} = \frac{L \cdot u_0}{\nu} \quad (11)$$

Vu que la hauteur de l'obstacle (h) varie entre $1/4 H$ à $1/2 H$ (rapport de blocage Dans le cas étudié,), ou H est la hauteur du canal ; on prendra la longueur caractéristique pour le calcul de Reynolds ($L=H$), c-à-d, on considère les valeurs du nombre du Reynolds à l'entrée du canal.

- Le nombre de Nusselt :

Le nombre de Nusselt est utilisé essentiellement pour évaluer la quantité de chaleur transmise de la paroi au milieu fluide. Ce nombre est déduit à partir de l'égalité des flux de chaleur à l'interface paroi-air, son expression est :

$$\mathbf{Nu} = \frac{\phi_{conv}}{\phi_{conductif}} = \frac{L \cdot h_c}{\lambda} \quad (12)$$

$$\phi_{conv} = h_c(T_p - T_0) \quad (13)$$

$$\phi_{conductif} = \frac{\lambda(T_p - T_0)}{L} \quad (14)$$

I.9 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté une revue bibliographique des quelques travaux sur le refroidissement du composant électroniques par la convection forcée.

La configuration physique étudiée dans ce travail est exposée ainsi que les hypothèses et les équations qui régissent ce phénomène.

Chapitre II

Procédure de résolution numérique

II.1 Introduction :

Une simulation est définie comme l'utilisation ou la résolution correspondant à un système donné pour étudier son comportement dans un environnement spécifique. Dans ce cas le recours à la résolution numérique s'impose et nous incite à choisir la méthode numérique adéquate pour obtenir les meilleures approximations. Le choix d'utiliser cette méthode numérique dépend largement du type et la complexité du problème à résoudre.

Parmi ces méthodes numériques on peut citer :

- La méthode des différences finies.
- La méthode des éléments finis.
- La méthode des volumes finis.

II.2 Méthode des volumes finis :

La méthode des volumes finis, sans doute la plus employée actuellement Cette méthode est utilisée pour résoudre numériquement des équations aux dérivées partielles, telles que la méthode des différences finies et la méthode des éléments finis. Cette méthode est conservative et consiste à discrétiser le domaine d'écoulement en multitude de volumes de contrôle puis d'effectuer des bilans sur ces petits volumes.

II.3 Les outils Gambit et Fluent :

II.3.1 Gambit :

GAMBIT [7] est un logiciel qui permet de créer des maillages pouvant être utilisés en particulier sous FLUENT [6].

Le mailleur est un prétraitement au logiciel de simulation. Il permet de générer un maillage structuré ou non structuré en coordonnées cartésiennes, polaires, cylindriques ou axisymétriques. Il peut réaliser des maillages complexes en deux ou trois dimensions avec des mailles de type rectangle ou triangle.

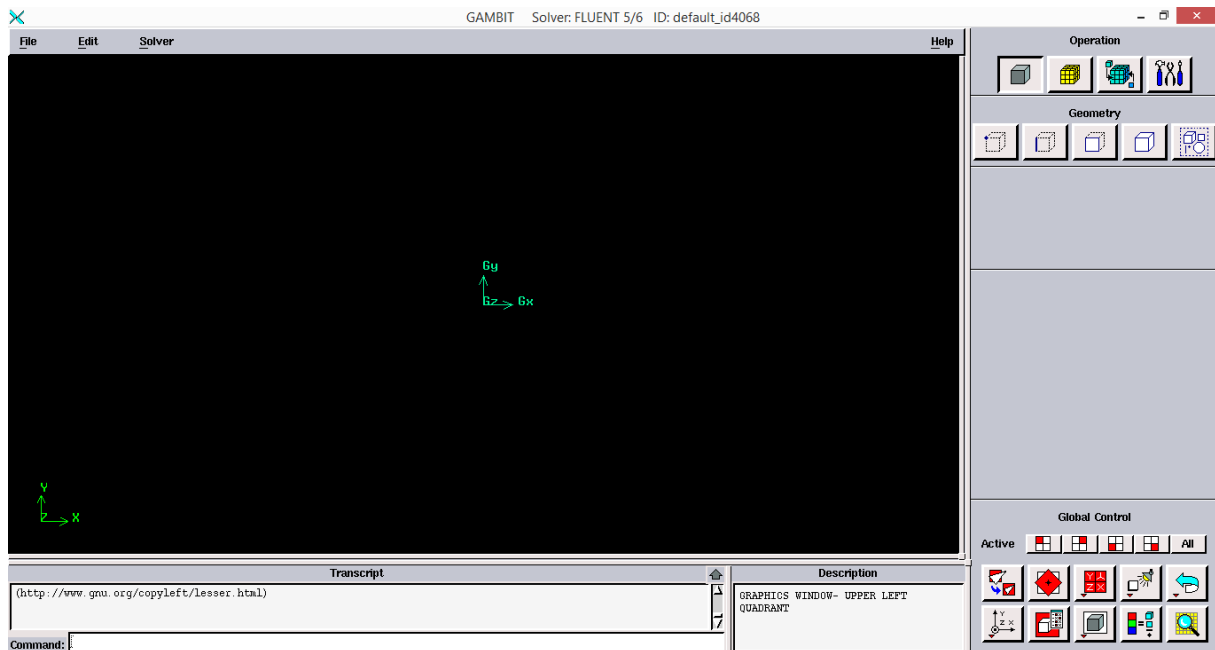


Figure II.1 : accueil de gambit.

Et pour écrire les géométries et les maillages on va utiliser le menu général (opération).

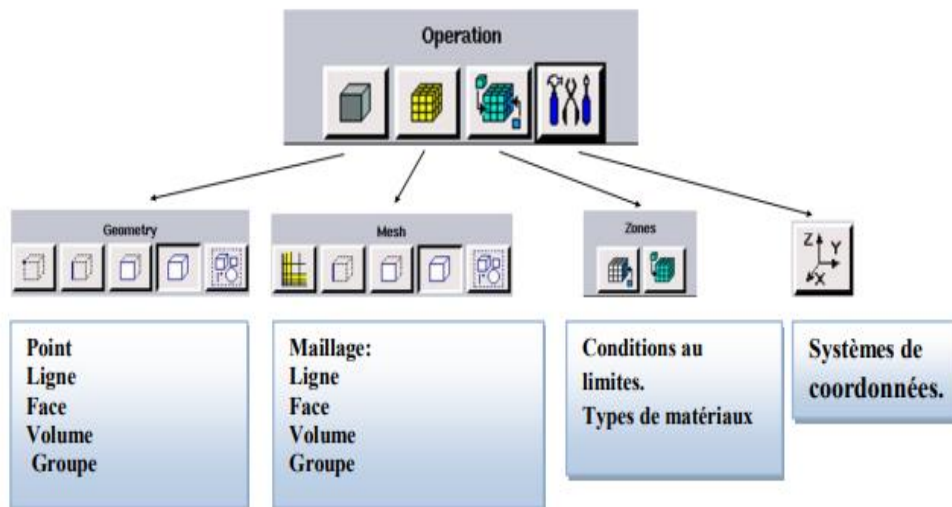


Figure II.2 : menu général de Gambit.

- Définir la géométrie :

D'abord, pour construire la géométrie on va écrire des points et relier entre eux dans le menu secondaire (*geometry*).

Ensuite, nous allons préparer les conditions limites et les types des matériaux dans le menu (*zones*).

Enfin, nous allons définir le maillage dans le menu (*mesh*).

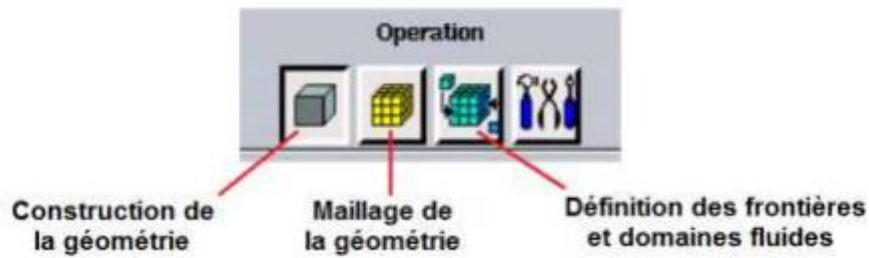


Figure II.3 : Fonctions principales du menu général de Gambit.

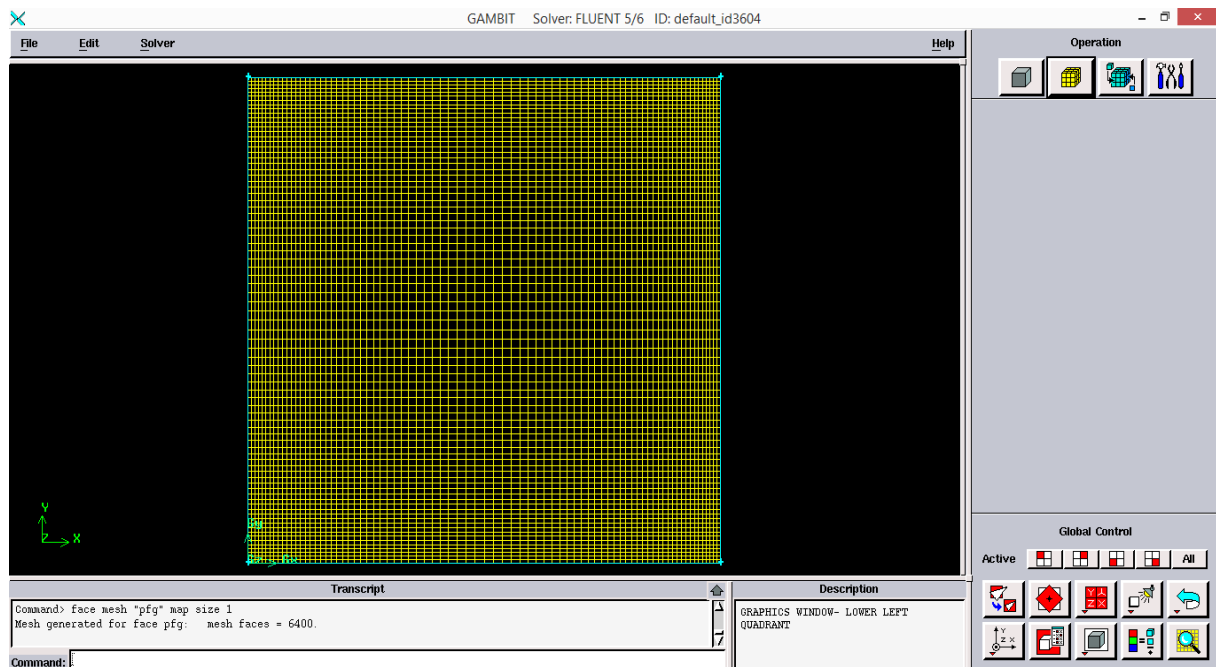


Figure II.4 : définition de la géométrie.

II.3.2 Le code Fluent :

Fluent [6] est un code CFD commercial très utilisé dans l'industrie. Il permet de résoudre les écoulements fluides et le transfert de chaleur pour différents types de problèmes. Il peut par exemple calculer la portance d'une aile d'avion, la traînée d'une voiture, le refroidissement de circuits électroniques par de l'air ventilé...etc.

II.3.3 Les étapes de calcul par Fluent :

- Démarrage de Fluent :

En démarrant le logiciel Fluent [6] on doit choisir les dimensions du domaine de calcul, et la précision que doit utiliser le logiciel, simple précision ou double précision. Dans notre cas on va choisir le 2D double précision.

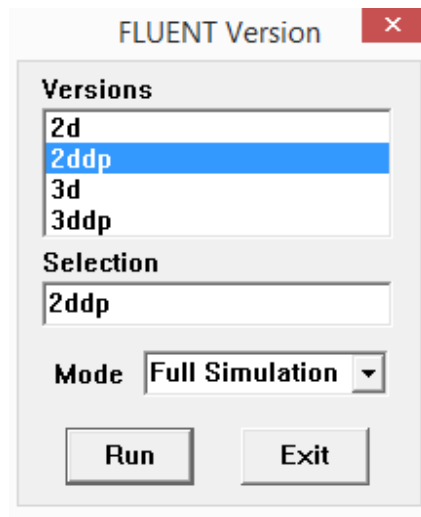


Figure II.5 : choix des dimensions du domaine de calcul.

- Importation de la géométrie :

Pour commencer la simulation il faut importer le fichier (*.msh) généré sous Gambit.

File → *Read* → *Case*

- L'équation de l'énergie :

L'instruction énergie doit être activée pour l'étude du champ thermique.

Define → *Models* → *Energy*

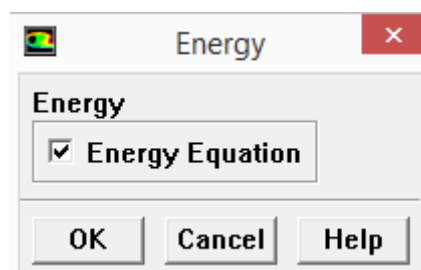


Figure II.6 : introduire l'équation d'énergie.

- Définition des caractéristiques du fluide :

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

Define → Materials

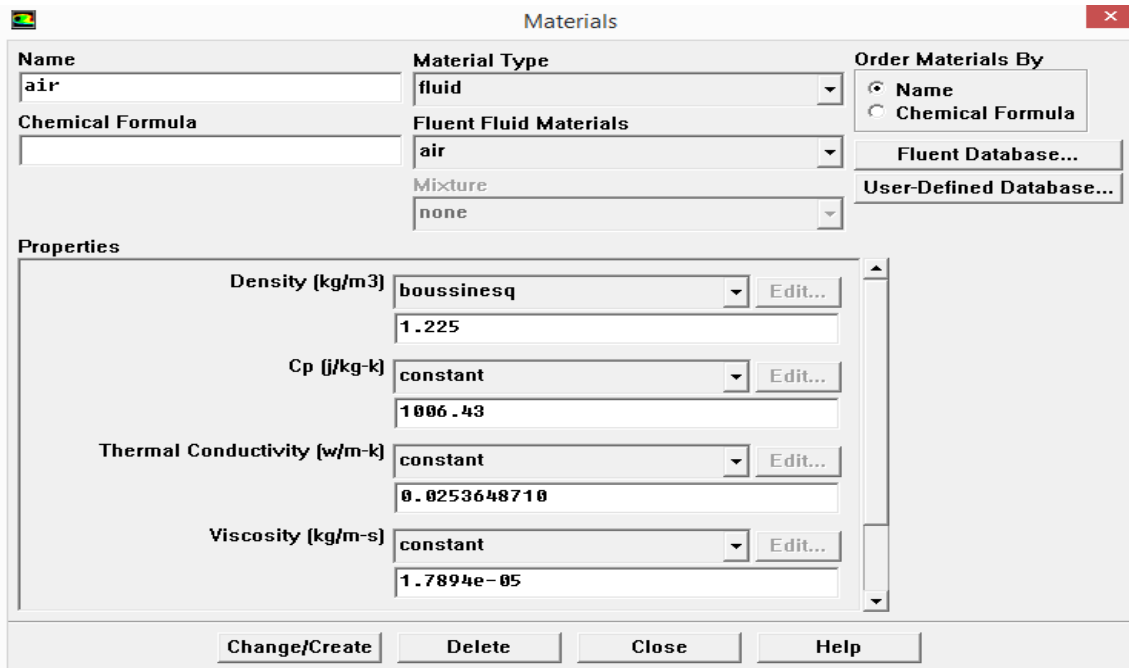


Figure II.7 : Définition des caractéristiques du fluide.

- La gravité :

Avant de choisir les conditions aux limites, il faut choisir d'abord la valeur de la gravité.

Define → Operating conditions

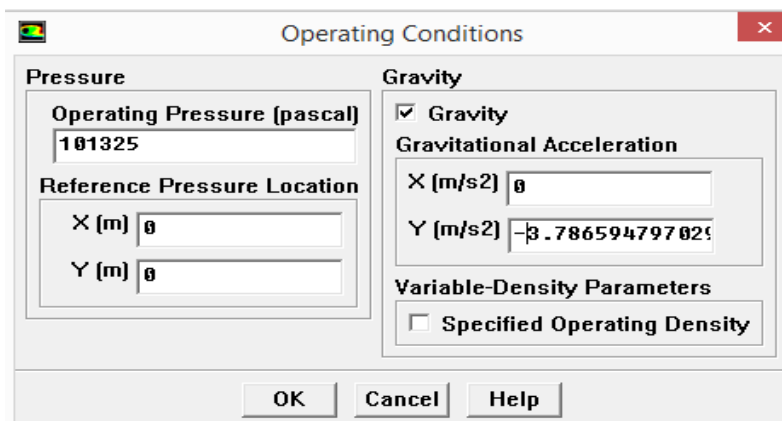


Figure II.8 : Operating conditions.

- Conditions aux limites :

Il faut fixer les conditions aux limites pour chaque frontière seront définies avec la fenêtre *Boundary condition*.

Define → *Boundary Conditions*

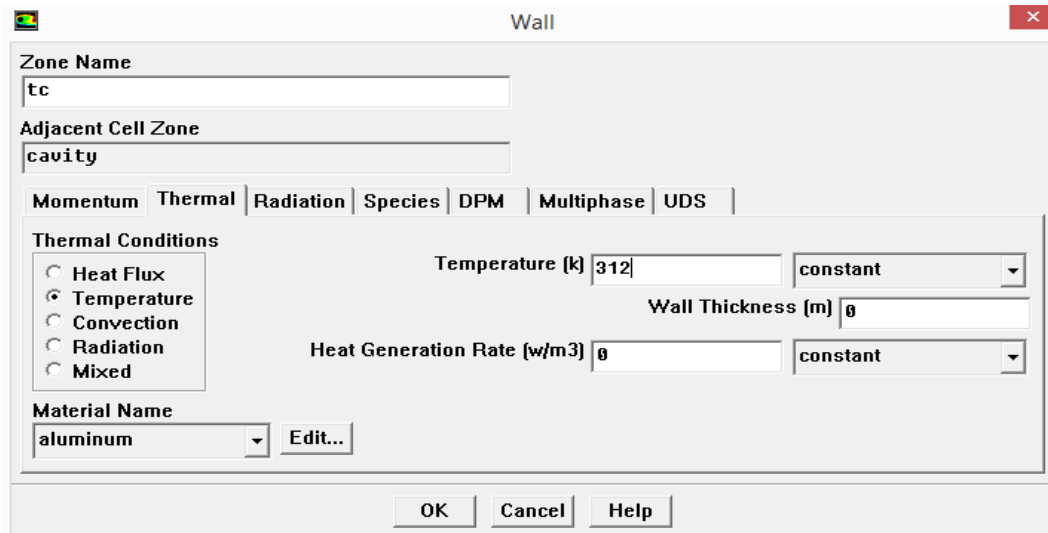


Figure II.9 : conditions aux limites.

- Choix des facteurs de sous relaxation et de Résidu et l'initialisation :

Solve → *initialize* → *intialize*

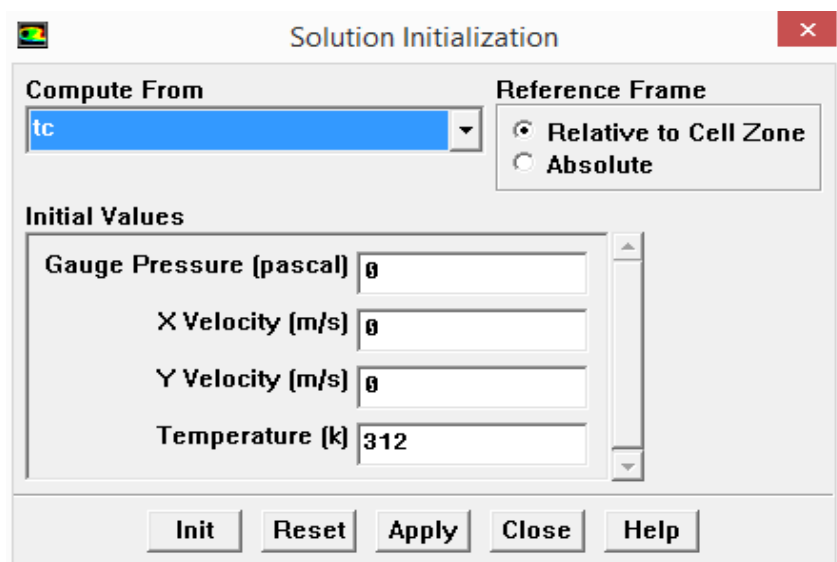


Figure II.10 : l'initialisation.

Solve → Controls → Solution

Ce paramètre permet de spécifier le degré d'ordre des équations à résoudre, ainsi l'algorithme.

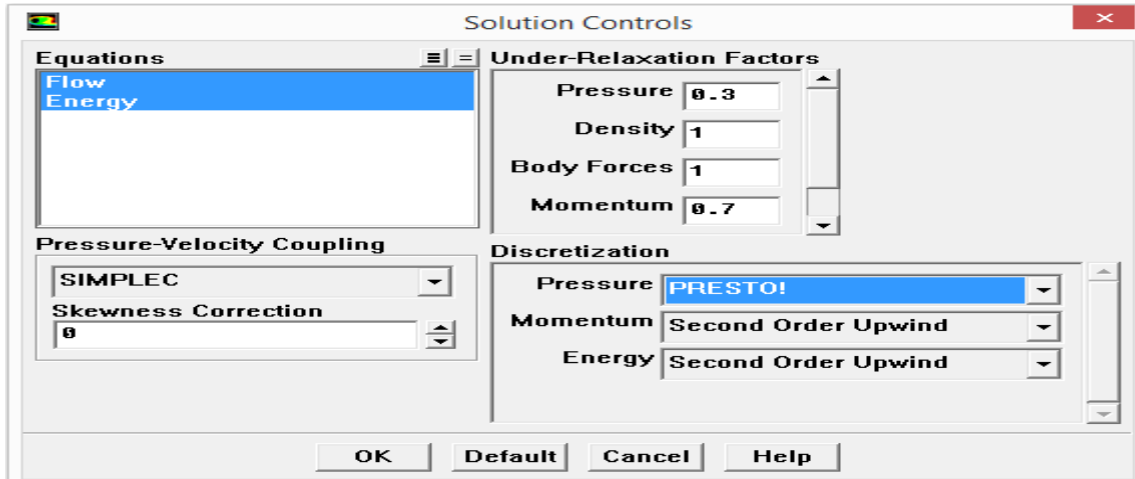


Figure II.11 : choix de la solution.

Solve → Monitors → Residual

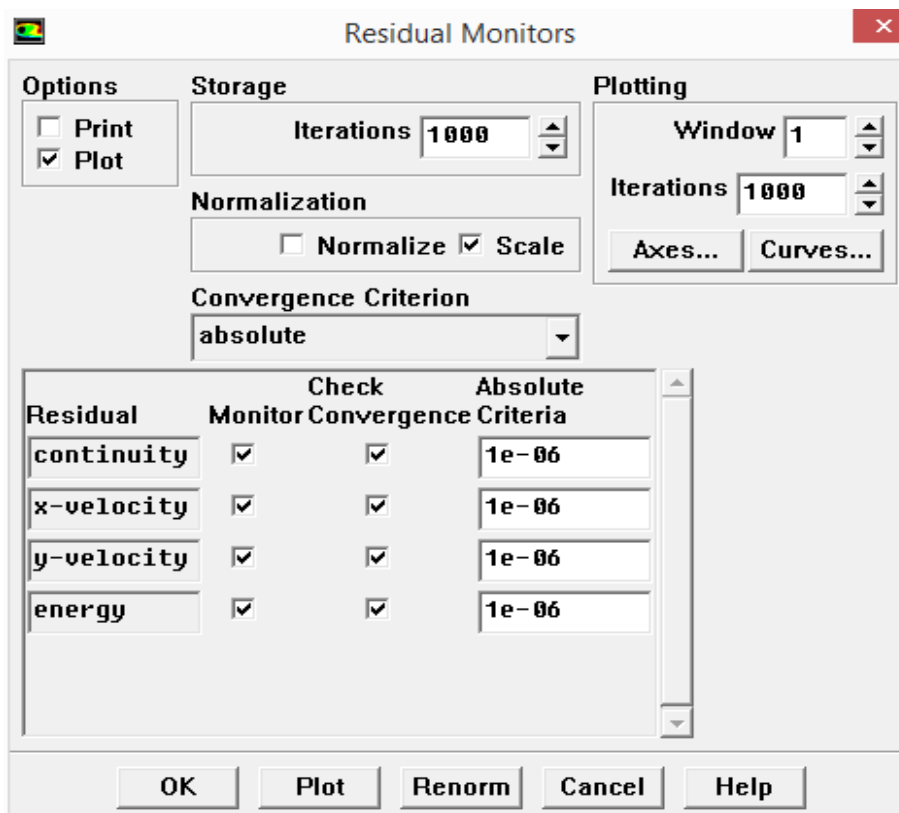


Figure II.12 : Choix et affichage pendant les calculs des critères de convergence.

- La convergence des calculs :

Pour commencer les calculs il faut d'abord choisir le nombre des itérations.

Solve → *Iterate*

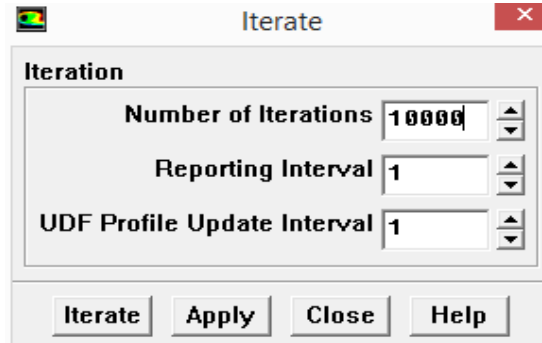


Figure II.13 : Choix du nombre des itérations.

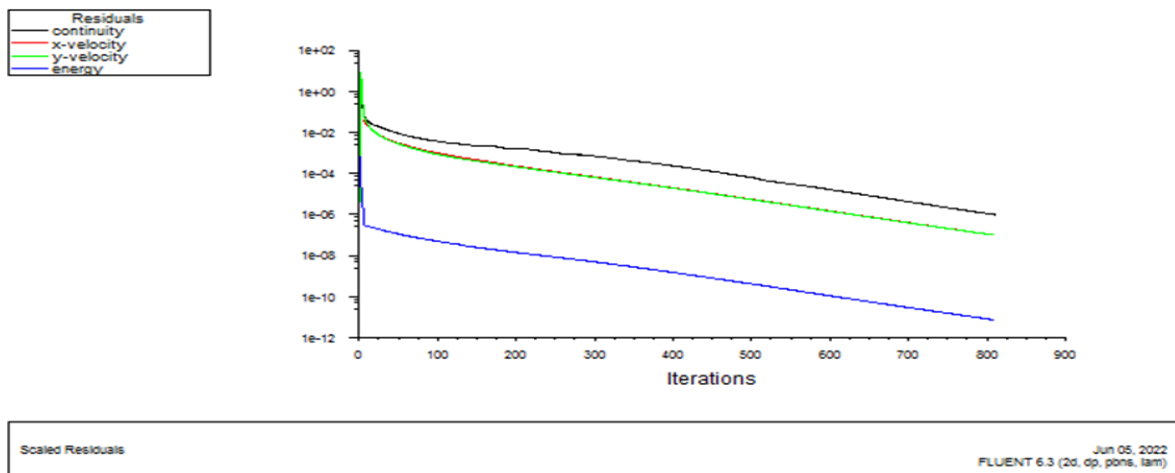


Figure II.14 : Allures de l'évolution de la convergence du calcul de calcul.

Après la fin des calculs on peut visualiser les résultats au menu de fluent.

Display → *Contours* → *Température / Velocity...*

Finalement, après faire les calculs et voir les résultats on peut sauvegarder notre calcul

File → *Write* → *Case & Data*

II.4 Conclusion:

Dans ce chapitre nous avons expliqué la méthode de résolution par la méthode des volumes finis à l'aide du logiciel Gambit et Fluent. Les résultats détaillés de l'étude sont présentés et discutés dans le prochain chapitre.

Chapitre III

Résultats et discussions

III.1 Introduction :

Dans ce chapitre nous présentons les résultats de la résolution numérique du problème de refroidissement d'un composant électrique par un jet horizontal.

D'abord, nous présentons une étude de validation numérique pour le cas classique de la convection naturelle dans une cavité carrée fermée avec les parois verticales différenciellement chauffée (gauche T_c et droit T_f). Les parois supérieur et inférieur sont considérées adiabatiques. Les résultats ont été aussi validés et comparé avec ceux de la bibliographie.

Ensuite, on va faire une étude pour le refroidissement d'un composant électronique dans un canal horizontal en deux dimensions. On considère une vitesse d'entrée du fluide de refroidissement U_0 à une température T_f froide, la température du composant T_c chaude et les parois inférieur et supérieur du canal sont supposée adiabatiques.

III.2 Validation de la simulation avec le code Fluent :

III.2.1 Validation de maillage :

La validation est effectuée avec la cavité simple classique fermée (voir figure). On considère ($Pr=0,71$) et le nombre de Rayleigh varie comme suit : 10^3 ; 10^4 ; 10^5 .

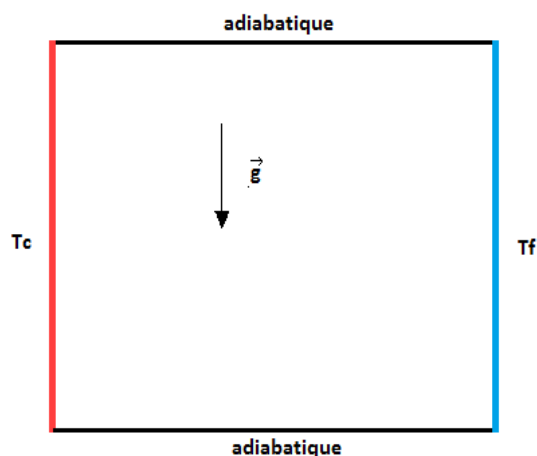


Figure III.1 : schéma de cavité

Dans l'examen de l'influence du maillage sur la solution numérique, nous avons choisi des tailles des maillages uniformes sur les parois (40*40 ; 60*60 ; 80*80 ; 100*100) voir figure. La validation du maillage est réalisée à l'aide de calcul de la variation du nombre de Nusselt

sur la paroi chaude, en fonction du nombre de Rayleigh. Après l'analyse et les calculs nous avons choisi le maillage (80*80) comme un maillage optimal (voir le graphe).

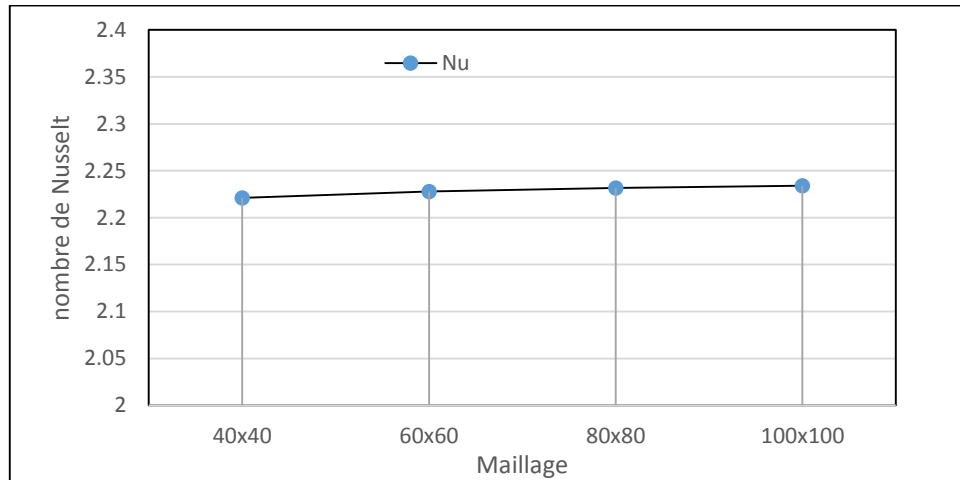


Figure III.2 : Validation de maillage $Nu=f(\text{maillage})$ pour $Ra=10^4$

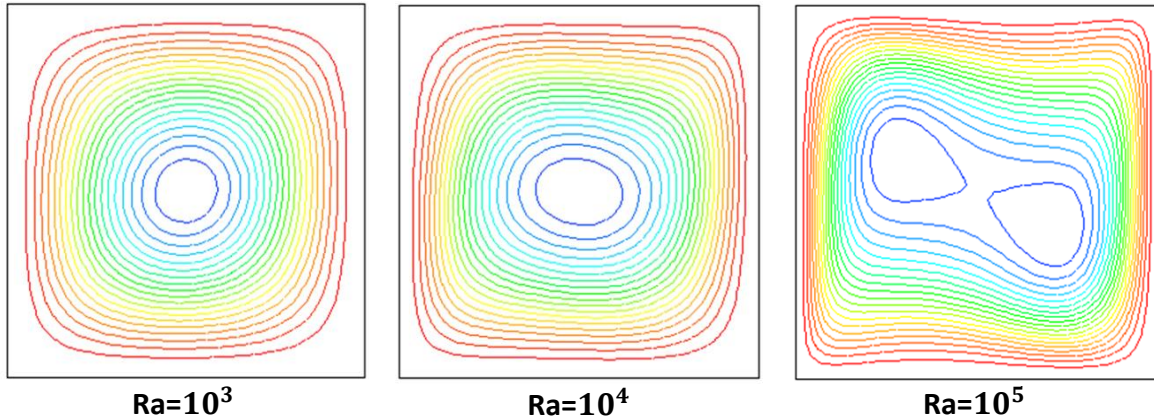
III.2.2 Validation physique :

Nous avons choisi le maillage 80 et fait une comparaison avec des références.

La comparaison des valeurs du nombre du Nusselt pour le nombre de Raleigh égale 10^3 , 10^4 et 10^5 ont montré un très bon rapprochement entre les valeurs. Pour nombre de Rayleigh égale à (10^3 ; 10^4 ; 10^5) on a trouvé une erreur minimale de (-0.09 ; -1.36 et -1.58)% par apport à Markatas et Pericleons [10], et une erreur maximale de (0,9 ; 0.53 et 0.42)% par apport à De Vahl Davis [9], en globalité l'erreur ne dépasse pas 3% ce qui signifie que les résultats sont très acceptables.

Tableau III.1 : Comparaison du nombre de Nusselt

Ra	Présent travail	Houat et Bouayed [8]		De Vahl Davis [9]	Markatas et Pericleons [10]
		TLBM	MVF		
10^3	1.109	1.115	1.116	1.118	1.108
		0.54%	0.63%	0.9%	-0.09%
10^4	2.231	2.221	2.242	2.243	2.201
		-0.45%	0.49%	0.53%	-1.36%
10^5	4.500	4.441	4.515	4.519	4.430
		-1.33%	0.33%	0.42%	-1.58%

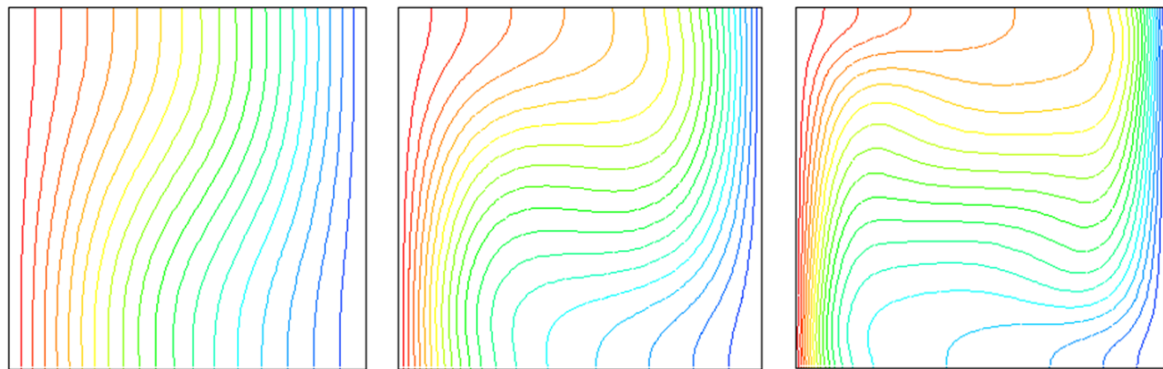


Ra=10³

Ra=10⁴

Ra=10⁵

Figure III.3 : Les lignes de courant en fonction de nombre de Rayleigh



Ra=10³

Ra=10⁴

Ra=10⁵

Figure III.4 : Les isothermes en fonction de nombre de Rayleigh

Commentaires :

Dans les résultats en observe dans les lignes de courant l'agrandissement des vortex quand la valeur de nombre de Rayleigh augmente. Dans les isothermes on remarque que les lignes sont presque parallèles aux parois verticales à la valeur minimum de nombre de Rayleigh et déforment beaucoup et prennent petit à petit quand le nombre de Rayleigh augmente. On note aussi l'évolution du nombre de Nusselt (Tableau III.1) avec l'augmentation du nombre de Rayleigh.

Nous concluons que le phénomène de la convection est lié au nombre de Rayleigh, plus il augmente, plus le phénomène de transfert de chaleur est efficace.

Cette première validation permettra de bien maîtriser les paramètres de simulation et la manipulation sur le logiciel fluent notamment, les paramètres physiques, les paramètres de

description de la configuration à étudier (géométrie, maillage, conditions aux limites...), ainsi que la méthode de calcul du nombre de Nusselt moyen.

III.3 Résultats et discussion pour le cas physique étudié (Fig. I.5):

On note que le maillage utilisé dans cette configuration est montré sur la figure III.5. Il est raffiné aux niveau des interfaces du composant électronique et au niveau des parois solides ainsi que à l'entrée et à la sortie. Ceci permettra de bien capter l'évolution de la couche limite sur ces parois rigides (fig. III.5). On note que la taille du maillage adoptée est (270x60).

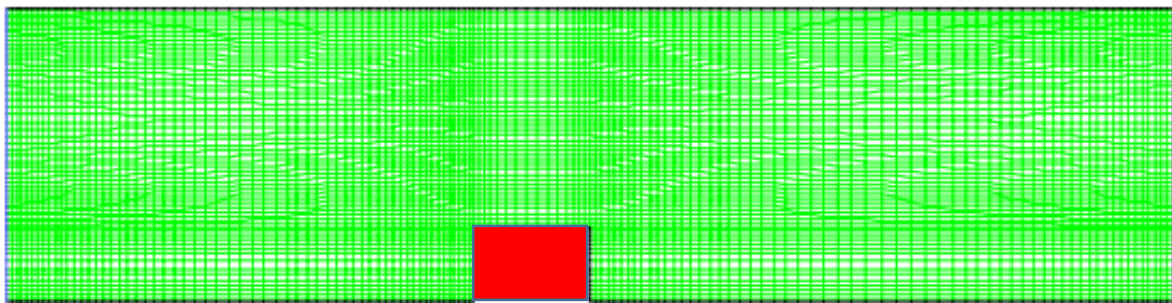


Figure III.5 Maillage raffiné pour la hauteur du composant égale à $h=0.25H$ (270x60).

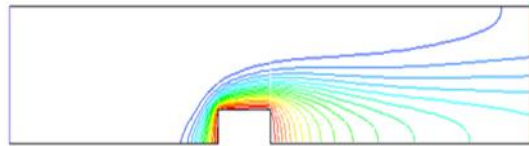
III.3.1. Etude de l'Influence du nombre de Reynolds :

Dans cette partie, on commence par l'étude de l'influence du nombre de Reynolds sur le refroidissement du composant électronique. À cette effet, on considère une variation du nombre de Reynolds variable de 50 à 600 calculé à l'entrée du canal et une hauteur du composant fixée à $h=0.25H$.

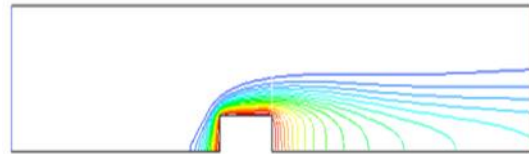
La Figure (III.6) présentant les isothermes pour différentes valeurs du nombre de Reynolds, montrent l'influence de l'augmentation du nombre de Reynolds sur le champ thermique.

Tout en augmentant la valeur du nombre de Reynolds ($Re = 50, 100, 200, 400$ et 600), on constate que l'extension des isothermes se réduit et se déforme, et tendent à devenir horizontales vers la sortie de canal. Ce qui engendre une faible diminution de la couche limite autour de composant électronique (source de chaleur), qui pourra être justifié par l'évacuation de la chaleur efficace vers l'extérieur.

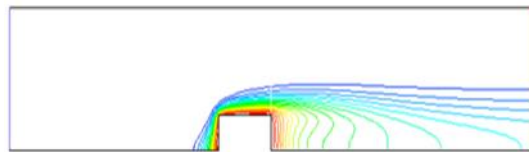
La Figure (III.7) présentant les lignes de courant pour différentes valeurs du nombre de Reynolds, montrent l'influence de l'augmentation du nombre de Reynolds sur le champ d'écoulement.



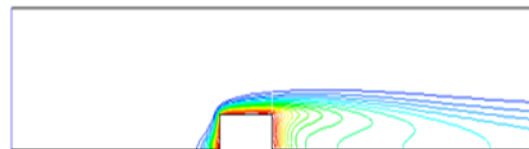
Re=50



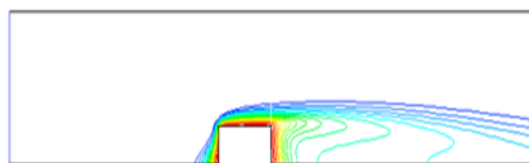
Re=100



Re=200

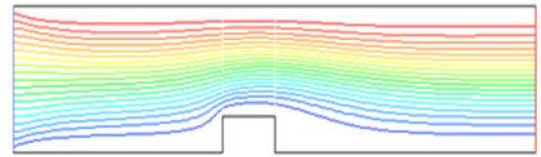


Re=400

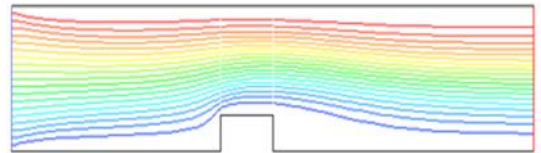


Re=600

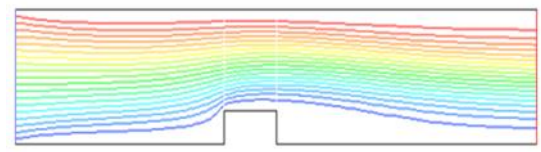
Figure III.6 : les isothermes pour différentes valeurs de nombre de Reynolds et $h=0.25H$



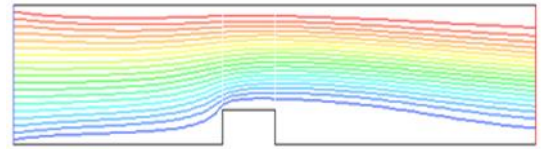
Re=50



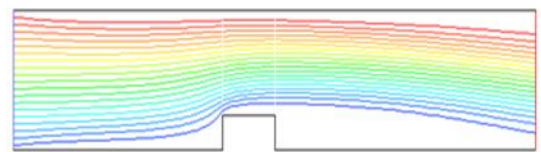
Re=100



Re=200



Re=400



Re=600

Figure III.7 : les lignes de courants pour différentes valeurs de nombre de Reynolds $h=0.25H$

On note que : les profils analysés pour les lignes verticales sont à $X=2$; à $X=2.25$; à $X=2.5$ à partir de l'entrée du canal avec $X=x/H$.

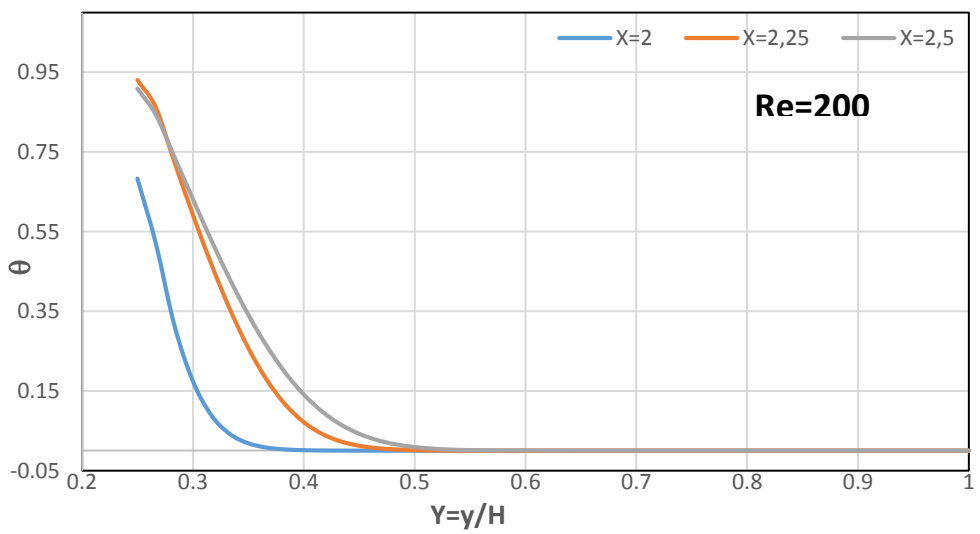
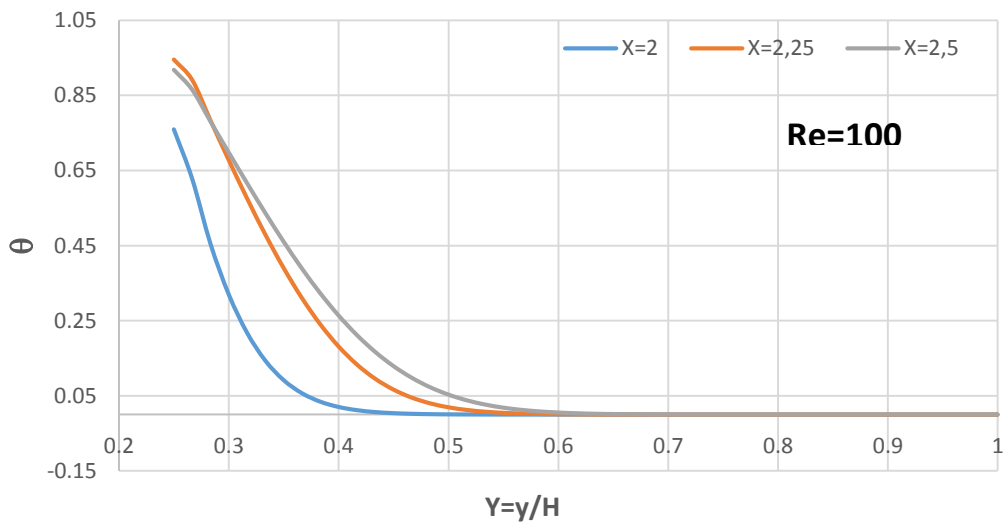
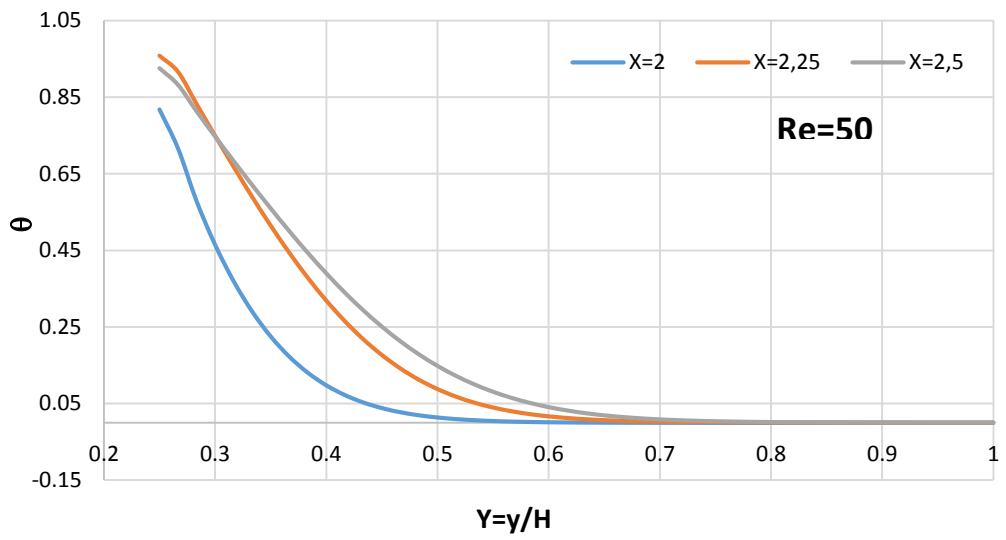


Figure III.8 : les profils de température pour différentes nombre de Reynolds et $H=0.25$

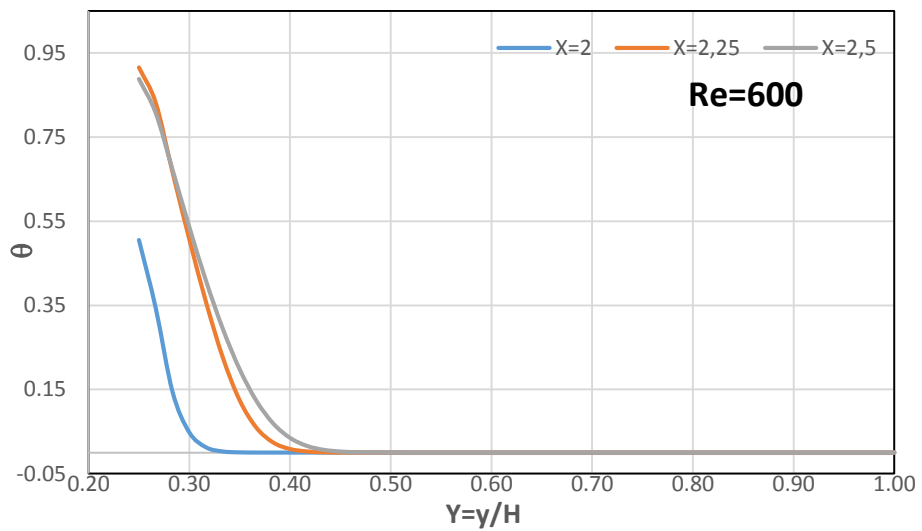
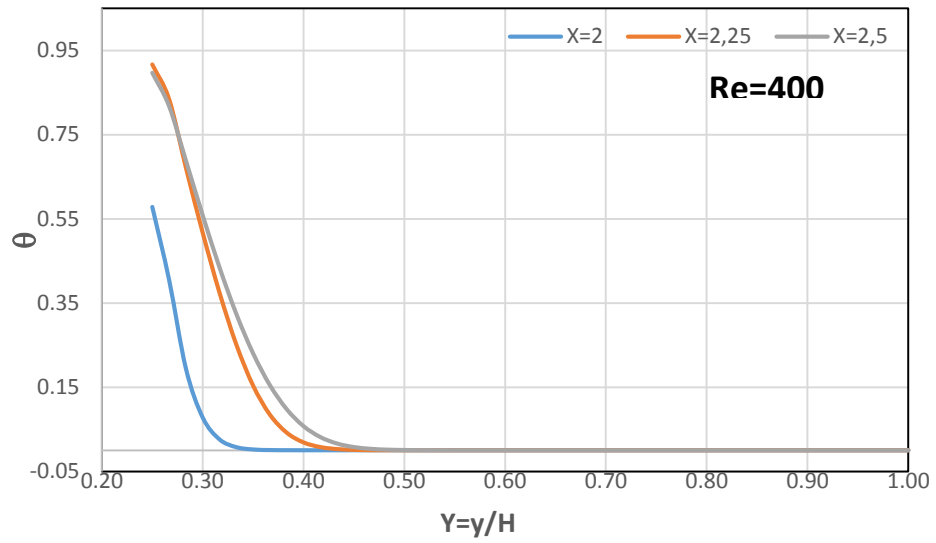


Figure III.8 (suite): les profils de température pour différents nombre de Reynolds et $H=0.25$

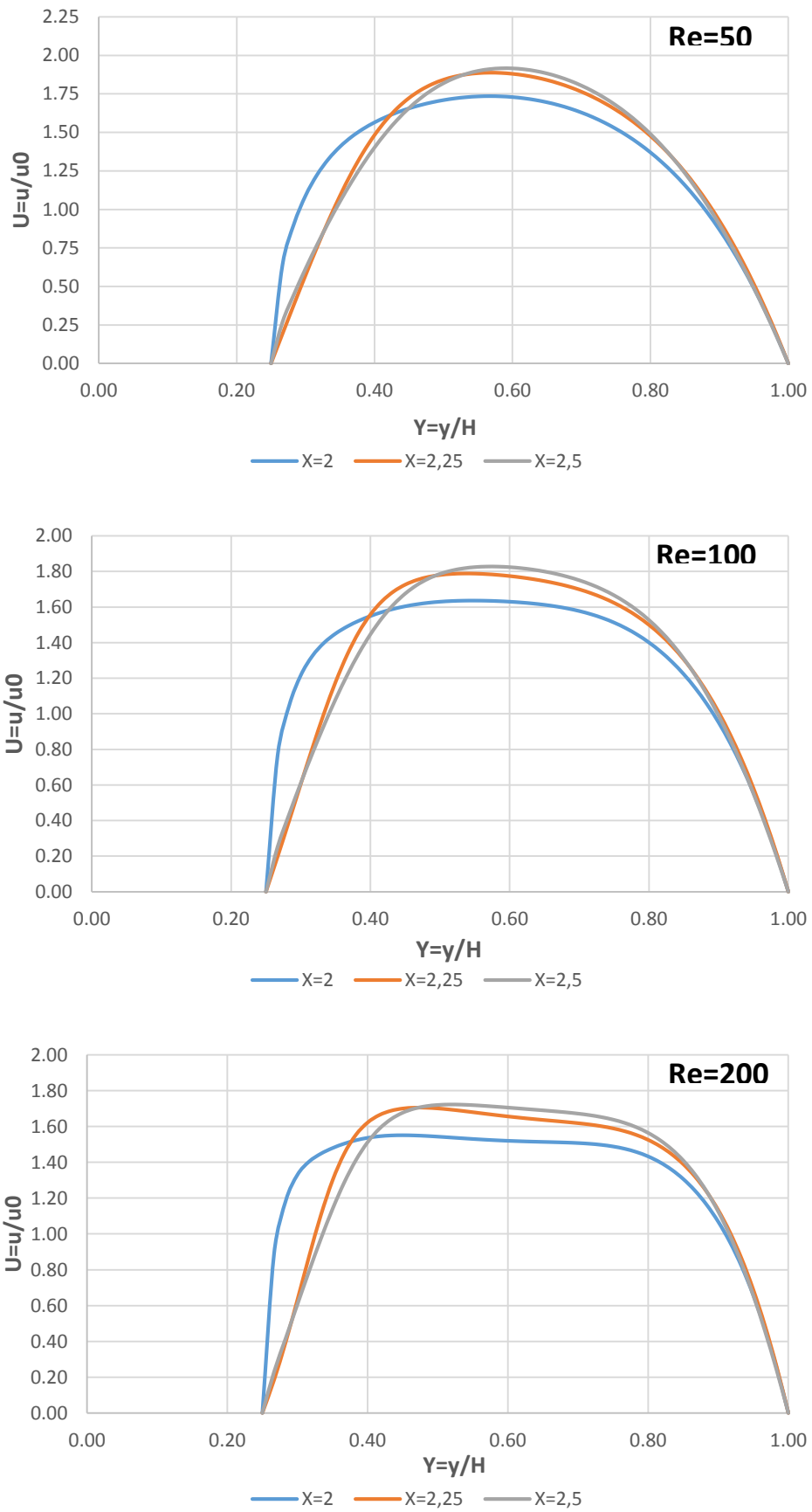


Figure III.9 : les profils de vitesse selon X pour différents nombre de Reynolds et $H=0.25$

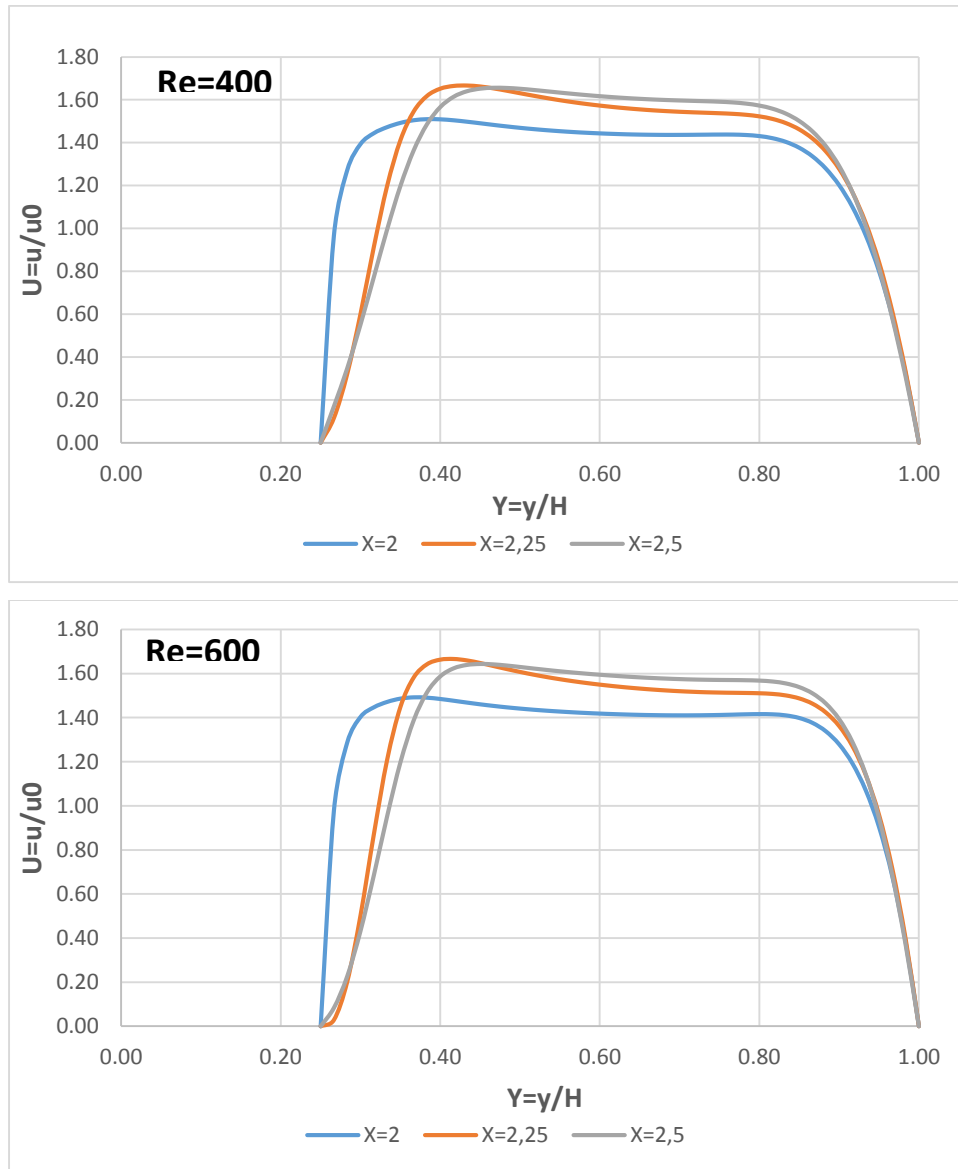


Figure III.9(suite) : les profils de vitesse selon X pour différents nombre de Reynolds et $H=0.25$

La Figure III.8 Montre les profils de température en fonction de nombre de Reynolds de 50 à 600, on observe que l'augmentation de nombre de Reynolds provoque une diminution plus rapide de la température est ça ces mieux pour le refroidissement de composant électronique.

Les Figure III.9 montrent les profils de vitesse, U suivants X pour un nombre de Prandtl égale à 0,71 avec nombre de Reynolds de 50 à 600, on voit mieux que la vitesse est stable à la surface de la composant électronique.

La figure III.10 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.

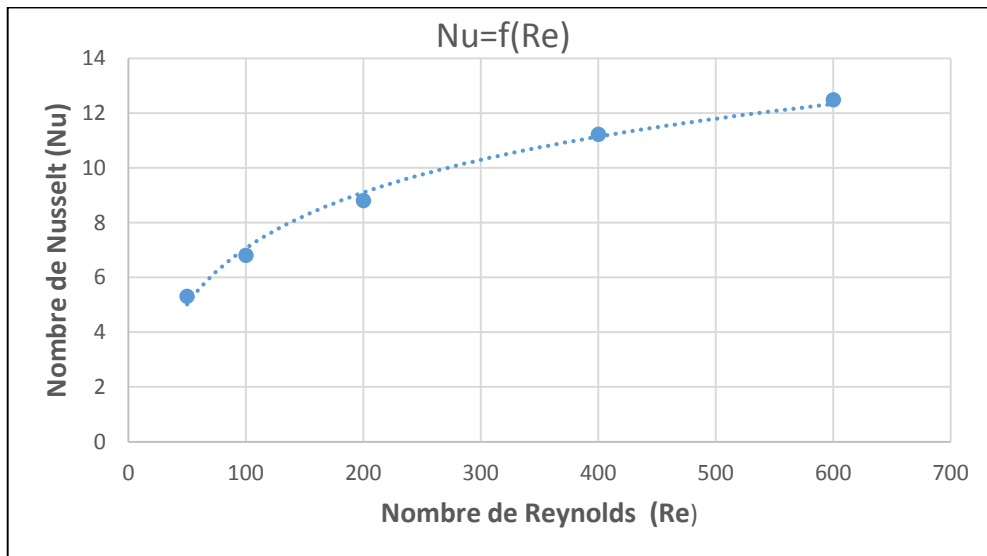


Figure III.10 : Nombre de Nusselt en fonction de Reynolds

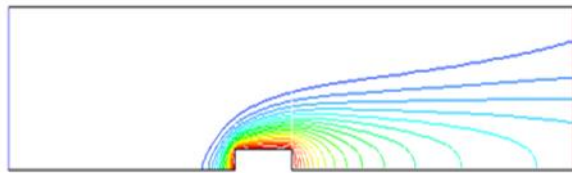
III.3.2 Etude de l'Influence de la hauteur de composant électronique :

Afin d'étudier l'influence de la hauteur du composant sur le refroidissement du composant électronique, dans ce travail on a fixé le nombre de Reynolds à $Re=50$ et on a considéré une variation de la hauteur du composant comme suit : $h = 0.125H ; 0.25H ; 0.375H$ et $0.5H$.

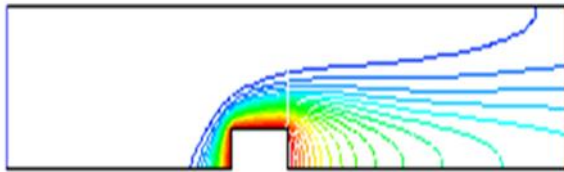
La Figure (III.11) présentant les isothermes pour différentes valeurs de la hauteur et $Re=50$, montrent l'influence de l'augmentation de la hauteur sur le champ thermique.

(III.6), et on constate que l'extension des isothermes s'élève et a déformés, et tendent à devenir vertical et diriger vers la paroi supérieure de canal, Cela peut être justifié évacuation de la chaleur vers l'intérieur, et moins serrés indiquant un mal transfert de chaleur par convection.

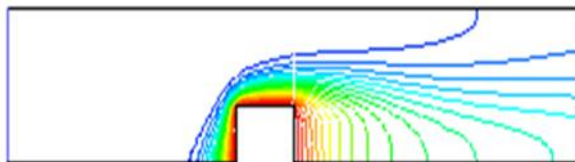
La Figure (III.12) présentant les lignes de courant pour différentes valeurs de la hauteur de composant électronique, montrent l'influence de l'augmentation de la hauteur sur le champ d'écoulement.



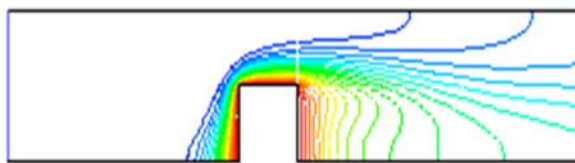
H=0.125



H=0.25

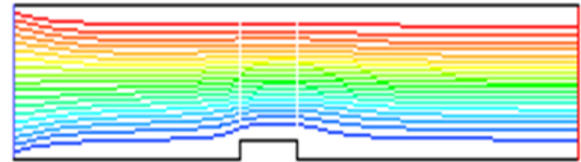


H=0.375

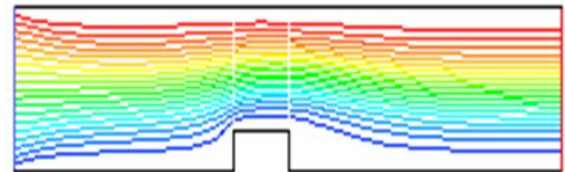


H=0.5

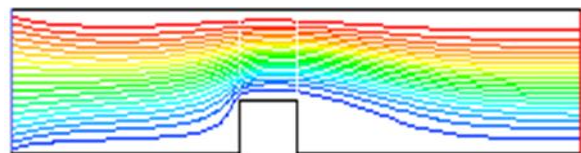
Figure III.11 : Les isothermes pour $Re=50$ et différentes hauteurs de composant



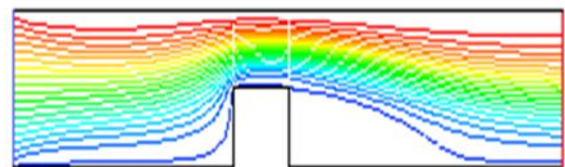
H=0.125



H=0.25



H=0.375



H=0.5

Figure III.12 : Les lignes de courants pour $Re=50$ et différentes hauteurs de composant

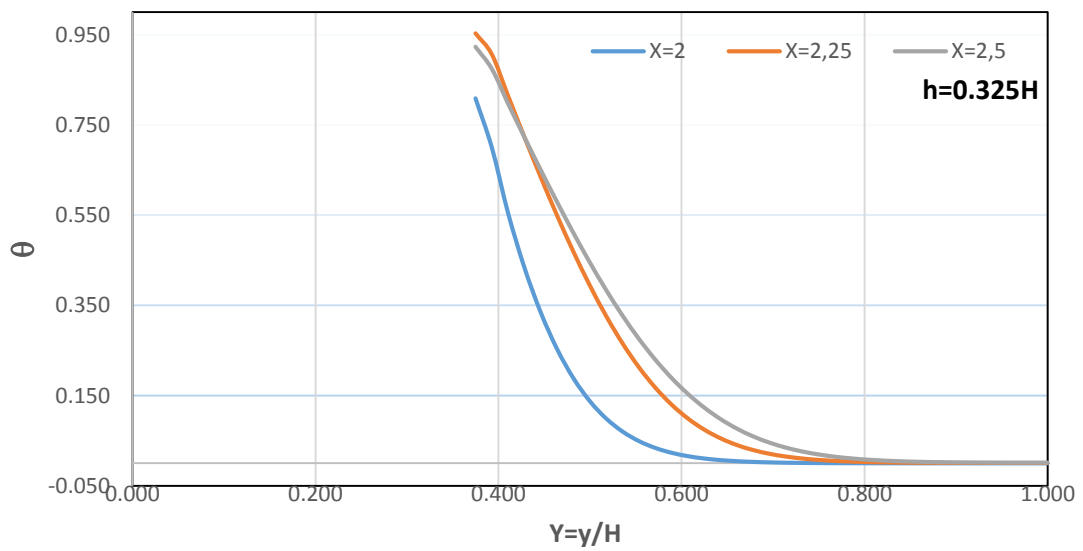
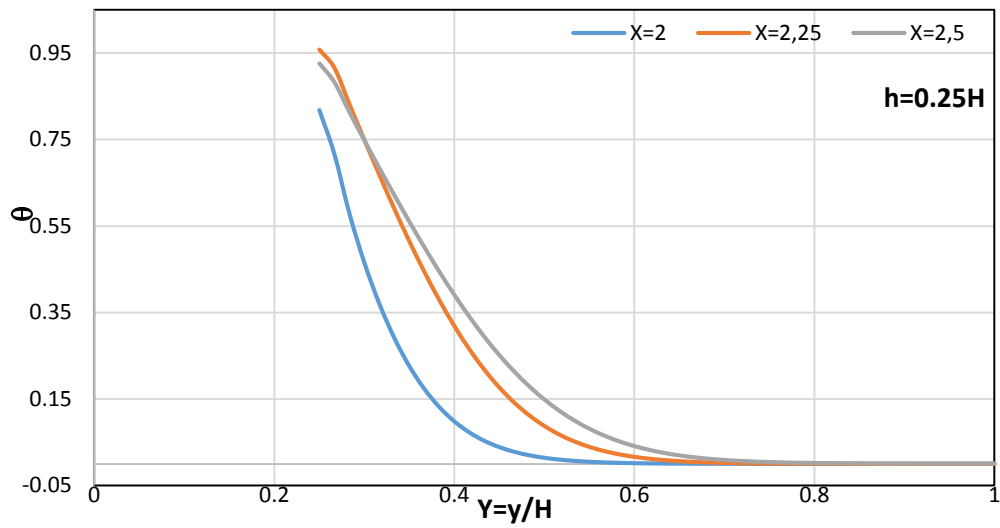
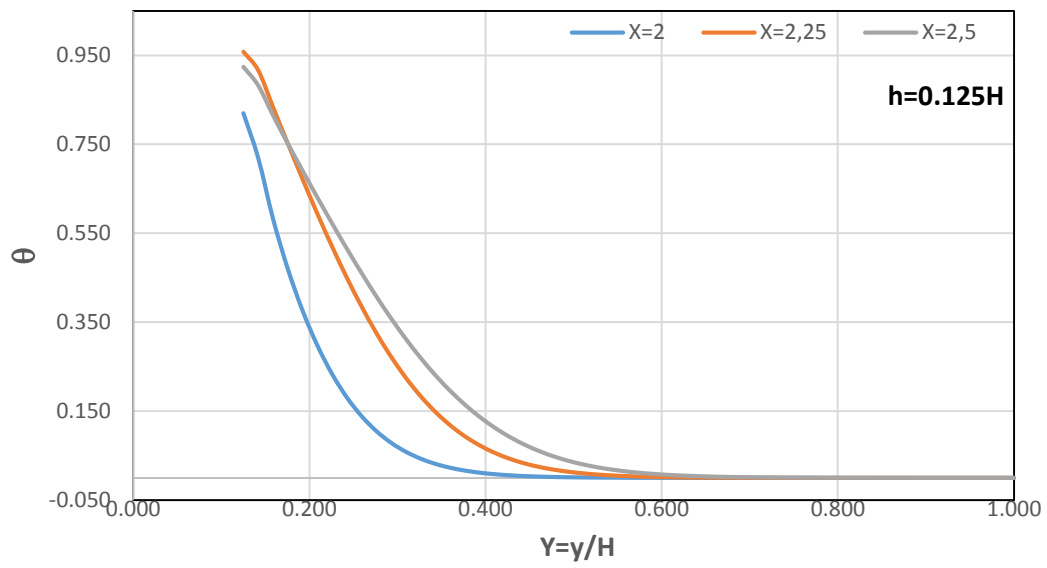


Figure III.13 : Les profils de température pour $Re=50$ et différentes hauteurs de

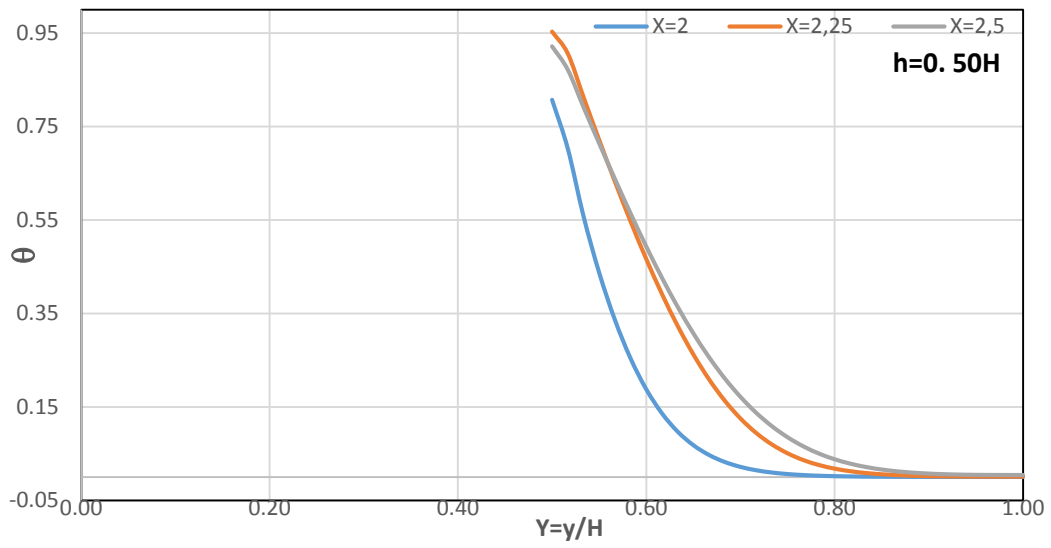


Figure III.13 (suite): Les profils de température pour $Re=50$ et différentes hauteurs de composant

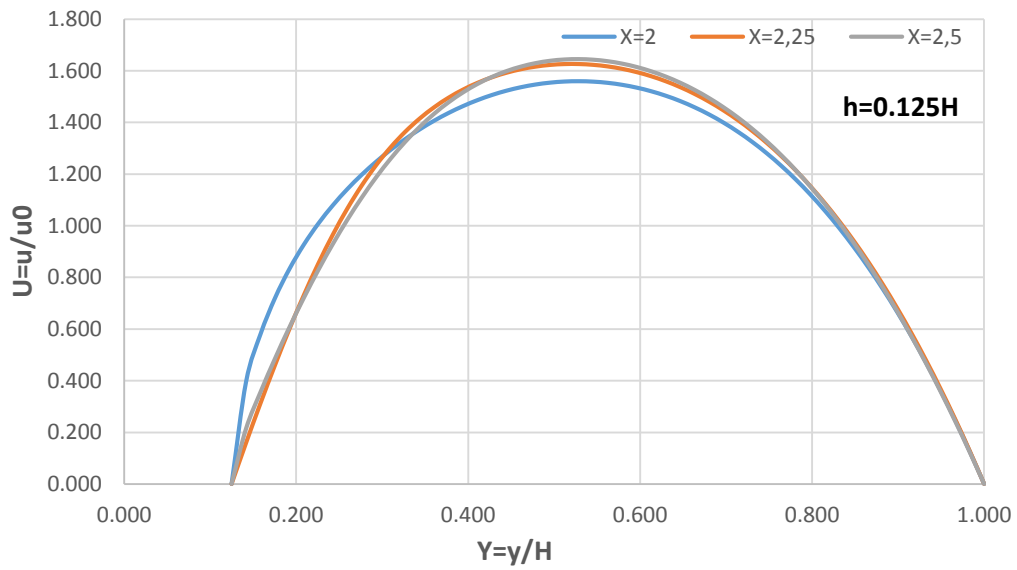


Figure III.14 : Les profils de vitesse $Re=50$ et différentes hauteurs de composant

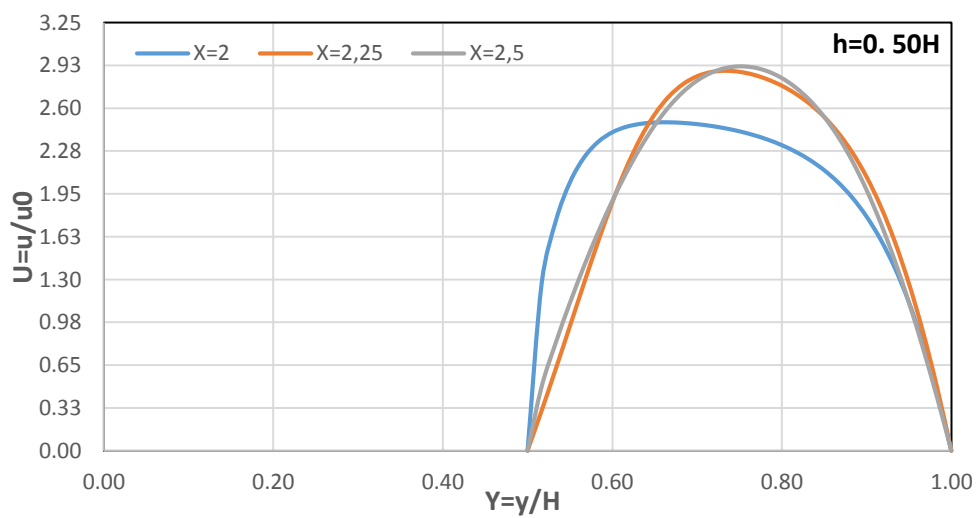
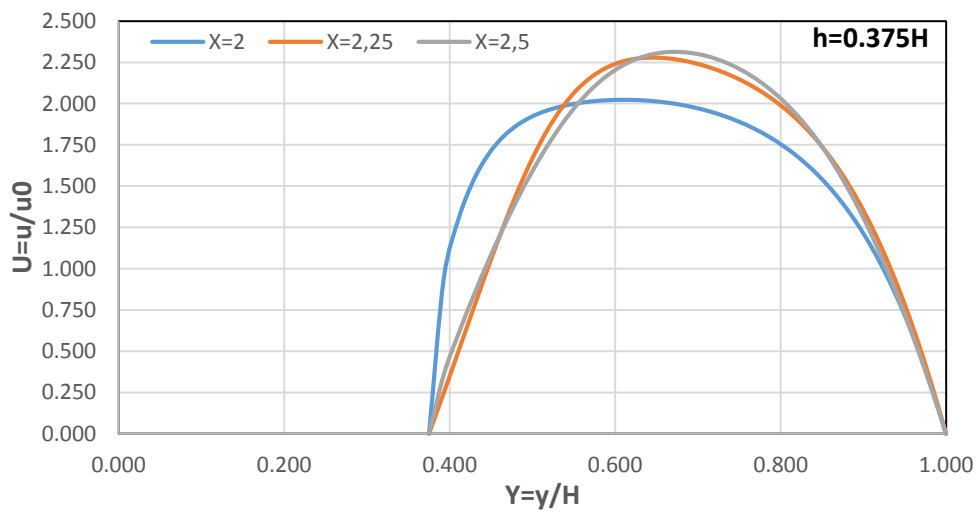
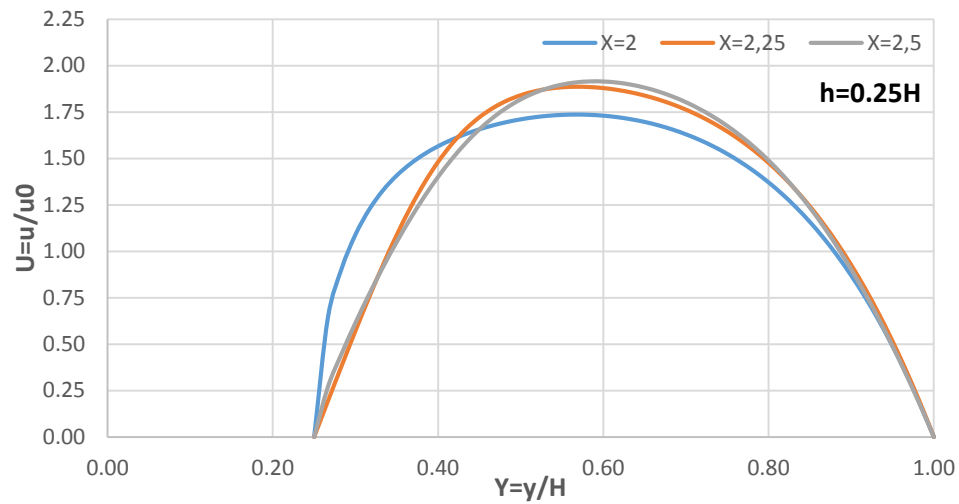


Figure III.14 (suite) : Les profils de vitesse $Re=50$ et différentes hauteurs de composant

La Figure III.13 montre les profils de température en fonction de la hauteur de 0.125H à 0.5H, en observe que l'augmentation de la hauteur cause une diminution lente de la température est ces pas mieux pour le refroidissement de composant électronique.

La Figure III.14 montre les profils de vitesse, U suivants X pour un nombre de Prandtl égale à 0,71 avec des différentes hauteurs de 0.125H à 0.5H, on voit que la vitesse n'est pas stable à la surface du composant électronique.

La figure III.15 représente la variation de nombre de Nusselt en fonction la hauteur de la composant électronique, on voit que Le nombre de Nusselt augment avec augmentation de la hauteur ce qui montre un bon processus de refroidissement sur la surface du composant électronique.

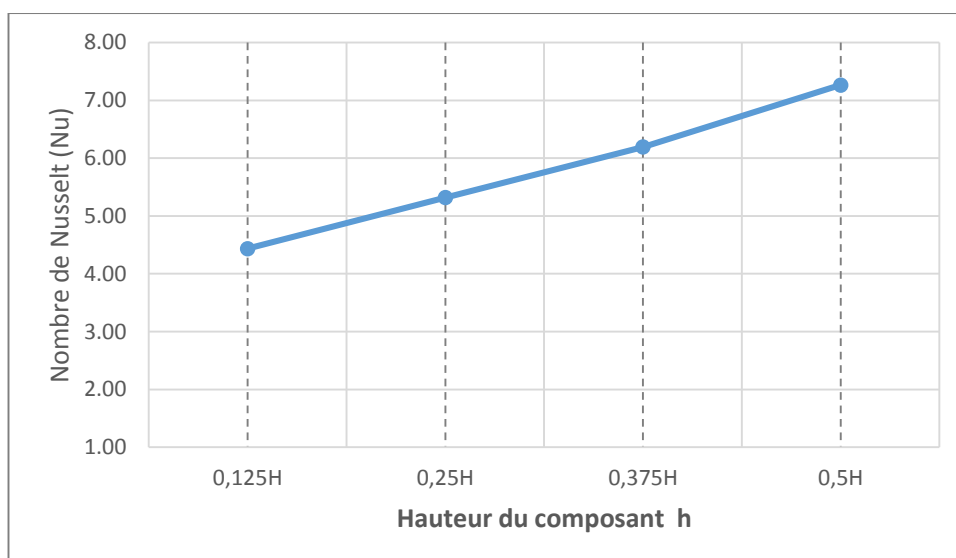


Figure III.15 : Nombre de Nusselt en fonction de la hauteur de composant électronique, $Nu=f(h)$ à $Re=50$.

III.4 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté des résultats obtenus par une simulation numérique (Gambit et Fluent), qui ont permis d'analyser notre problème qui consistait à étudier numériquement le refroidissement des composants électroniques. Nous avons présenté les résultats et discussion de l'influence du nombre de Reynolds et la hauteur de composant électronique sur le refroidissement du composant avec le jet horizontal.

Conclusion générale :

Dans le but d'étudier le refroidissement des composants électronique, nous avons présenté dans ce travail une étude numérique de la convection forcée dans un canal horizontal contenant un composant électronique. L'étude est effectuée pour différents nombres de Reynolds et aussi pour une variation de la hauteur du composant avec un nombre de Prandtl fixe.

La résolution des équations qui régissent l'écoulement notamment, l'équation de continuité, de quantité du mouvement, et l'équation de l'énergie étaient réalisées avec la méthode des volumes finis, en utilisant les logiciels Fluent et Gambit.

Les résultats de simulation sont présentés pour des nombres de Reynolds égaux de 50 à 600 et pour des différentes hauteurs de la composant électronique et un nombre de Prandtl $Pr=0.71$.

Les résultats obtenus montrent que l'augmentation de nombre de Reynolds, entraîne l'augmentation du transfert de chaleur, Et aussi les différentes hauteurs du composant électronique faire un grand rôle sur le refroidissement.

On peut conclure aussi que les paramètres géométriques ont une influence considérable sur le transfert de chaleur au niveau des composants électroniques et sur leur refroidissement.

Références bibliographiques :

[1] **Nemdili S.**, « Investigation numérique de l'écoulement turbulent et du transfert de chaleur autour d'un élément cubique avec jet impactant » Thèse de Doctorat, Université des sciences et de la technologie Mohammed Boudiaf d'Oran, 2015.

[2] **Kessi F. et Yahiaoui M.**, « Refroidissement des composants électroniques par convection forcée : Simulation numérique » Thèse de Master, Université Akli Mohand Oulhadj de Bouira, 2015.

[3] **Elberg S. et Mathonnet P.** Evacuation de la chaleur dissipée dans les équipements électroniques, Eyrolles, Paris, Edition 1978.

[4] **AREELIS Technologies** :(Laboratoire Universitaire des Sciences Appliquées de Cherbourg), dissipation thermique dans les composantes électroniques ; un enjeu pour la fiabilité des composant/système électroniques quelles solution technologiques. Laboratoire universitaire des sciences appliquées de Cherbourg, 2015

[5] **Hamouche A.** « refroidissement a air des composants électroniques par convection mixte » Thèse de Magister, Université Mentouri-Constantine, 2007.

[6] **Ansys Fluent**, Fluid Simulation Software, [En ligne]. Available : <https://www.ansys.com>.

[7] **Gambit Software**, [En ligne]. Available : http://elearning.centre.univmila.dz/pluginfile.php/72563/mod_resource/content/1/chap3%20gambit.pdf.

[8] **Houat S., Bouayed Z.E.** The lattice Boltzmann method for Mixed Convection in a Cavity, Energy Procedia 139 (2017) 186–191

[9] **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.

[10] **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.