



Université Mohamed Khider de Biskra  
Sciences et technologie  
Génie Mécanique

# MÉMOIRE DE MASTER

**Domaine : Sciences et Techniques**

**Filière : Génie Mécanique**

**Spécialité : Energetique**

Réf. : Entrez la référence du document

---

Présenté et soutenu par :  
**ABDEDDAIM Amel**

Le : lundi 8 juillet 2019

## **Gestion des échanges thermiques des éléments électroniques**

---

### **Jury :**

Dr	BOULAGROUNE Abdelmalek	MCA	Université de Biskra	Président
Dr	BELGHAR Nourredine	MCA	Université de Biskra	Rapporteur
Dr	CHABANE Fouad	MCA	Université de Biskra	Examineur

## Dédicace

---

### *Dédicace*

Je dédie ce modeste travail

A mon père et ma très chère maman, qui m'ont

Éclairés le chemin en me donnant la main tout au

Long de mes années d'étude

A mes frères

A ma sœur

A mes amis : Halima Terchag, Khadidja Amraoui, Maroua Ferhat

A tous ceux qui me sont chers

Amel

## Remerciements

---

### *Remerciements*

Je tiens à remercier tout d'abord **Dieu** qui m'a guidé vers le bon chemin et qui m' a donné le courage et la force de continuer ce travail.

J'exprime mon profond remerciement à mon encadreur, **Dr. N.BELGHAR**, j'ai le grand plaisir de travailler sous sa direction et profiter de ses enseignements et ses conseils judicieux et pertinents.

Je tiens d'exprimer mes sincères gratitudeux aux membres de jury:

**Dr. A. BOULAGROUNE, Dr. F. CHAABANE.**

J'adresse mes profondes gratitudeux aux enseignants et responsables du département de génie mécanique.

Enfin, j'exprime mes remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

# Sommaire

---

## Sommaire

Dédicace.....	I
Remerciements.....	II
Sommaire.....	III
Liste des figures.....	V
Liste des tableaux.....	VIII
Nomenclatures.....	IX
Introduction générale.....	1

### Chapitre I : Etude bibliographique

I.1 Introduction.....	3
I.2.Synthèse bibliographique.....	3
I.3. Généralité sur le transfert de chaleur.....	5
I.3.1. Transfert de chaleur par convection.....	6
I.3.2. Transfert de chaleur par conduction.....	7
I.3.3. Transfert de chaleur par rayonnement.....	8
I.4. Généralités sur les nano fluides.....	9
I.4.1. Définition.....	9
I.4.2. Fabrication et préparation des nano fluides.....	11
I.4.3. Les propriétés thermo physiques des nano fluides.....	12
I.4.3.1. La fraction volumique ( $\phi$ ).....	13
I.4.3.2. Conductivité thermique (K).....	13
I.4.3.3. La Viscosité dynamique ( $\mu$ ).....	15
I.4.3.4. La masse volumique ( $\rho$ ).....	16
I.4.3.5. La chaleur spécifique ( $C_p$ ).....	17
I.4.3.6. Le coefficient d'expansion volumique ( $\beta$ ).....	17
I.4.4. Les applications des nano fluides.....	18
I.5. Systèmes de refroidissement des composants électroniques.....	18
I.5.1. les composants électroniques.....	18
I.5.2. Systèmes de refroidissement.....	19
I.5.2.1. Refroidissement à l'air.....	19
I.5.2.2. Refroidissement par liquide caloporteur.....	20
I.5.2.3. Refroidissement diphasique : Les caloducs.....	23
I.6. Matériaux des composants électroniques pour refroidissement.....	24
I.7. Conclusion.....	25

### Chapitre II : Modélisation mathématique

II.1. Introduction.....	26
II.2. La géométrie du problème étudié.....	26
II.3. Formulation mathématique du problème.....	29
II.3.1. Hypothèses simplificatrices.....	29
II.3.2. Equation de continuité.....	30
II.3.3: Equation de quantité de mouvement.....	30
II.3.4 : Equation de l'énergie.....	30

# Sommaire

---

II.4. Introduction au transfert thermique par convection interne.....	30
II.5. Nombre de Reynolds.....	34
II.6. Coefficient d'échange convectif h.....	35
II.7. Le nombre de Nusselt.....	35
II.8. Conditions aux limites.....	36
II.9. Conclusion.....	37

## Chapitre III : Simulation numérique

III.1. Introduction.....	38
III.2. Procédures du calcul.....	38
III.2.1. Menu principal du logiciel.....	39
III.2.2. Création de la géométrie.....	40
III.2.3. Le maillage.....	47
III.2.4. Configuration.....	52
III.3. Conclusion.....	54

## Chapitre IV : Résultats et Discussions

IV.1. Introduction.....	55
IV.2. La convergence.....	56
IV.3. Résultats et interprétation.....	56
IV.3 .1. Interprétation du champ de la température.....	57
IV.3 .2. Résultats nombres de Reynolds .....	59
IV.3.3. Interprétation des champs de la vitesse.....	61
IV.3 .4. Pour différentes nombres de Reynolds.....	63
IV.3.5. Champs des lignes de courants.....	65
IV.3.6. Le nombre de Nusselt.....	67
IV.4. Conclusion.....	68
Conclusion générale.....	69
Bibliographique.....	71

Résumés

## Liste des figures

# Liste des figures

<b>Figure I.1:</b> Illustration d'échange convectif entre un milieu fluide et une surface...	6
<b>Figure I.2:</b> principe de la conduction thermique.....	7
<b>Figure I.3:</b> Principe du rayonnement thermique.....	9
<b>Figure I.4 :</b> Nano fluides vus au microscope électronique : a) éthylène glycol + Cu à 0.5% ; b) eau+ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; c) eau + Au à 2 nm ; d) eau + MWCNT.....	11
<b>Figure I.5 :</b> Procédé de synthèse de nano fluide en une seule étape.....	12
<b>Figure I.6 :</b> présentation type des composants électroniques.....	19
<b>Figure I.7 :</b> Système de refroidissement à air passif.....	20
<b>Figure I.8 :</b> Exemples de systèmes de refroidissement à air pulsé.....	20
<b>Figure I.9 :</b> Refroidissement liquide à plaque froide.....	21
<b>Figure I.10 :</b> Refroidissement liquide à micro-canaux.....	22
<b>Figure I.11 :</b> Refroidissement liquide à mini-canaux.....	23
<b>Figure I.12 :</b> Schéma de caloduc classique.....	24
<b>Figure II.1 :</b> Présentation de la géométrie du micro canal (Un seul composant électronique).....	26
<b>Figure II.2 :</b> Présentation de la géométrie du micro canal (Deux composant électronique).....	27
<b>Figure II.3 :</b> Présentation de la géométrie du micro canal (Trois composant électronique).....	28
<b>Figure II.4 :</b> Présentation du mouvement du nano fluide dans le micro canal avec les conditions aux limites .....	28
<b>Figure II.5 :</b> Schéma représentatifs des conditions aux limites (Un seul composant électronique).....	36
<b>Figure III.1 :</b> lancement des différents logiciels.....	38
<b>Figure III.2 :</b> Menu principal de Workbench.....	39
<b>Figure III.3 :</b> Création d'une analyse en mécanique de fluide.....	40

## Liste des figures

<b>Figure III.4 (a, b):</b> Création d'un projet en mécanique de fluide.....	41
<b>Figure III.5 :</b> Création du modèle géométrique (Design Modeler).....	41
<b>Figure III.6 :</b> Création du modèle de la géométrie.....	42
<b>Figure III.7 :</b> Création du modèle (plan de vue).....	42
<b>Figure III.8 :</b> Création d'esquisse.....	43
<b>Figure III.9 :</b> Création d'esquisse.....	43
<b>Figure III.10 :</b> Définition des cotes du micro canal un seul composant électronique.....	44
<b>Figure III.11 :</b> Définition des cotes du micro canal deux composants électroniques.....	44
<b>Figure III.12 :</b> Définition des cotes du micro canal trois composants électroniques.....	45
<b>Figure III.13 :</b> Définition des surfaces.....	45
<b>Figure III.14 :</b> Définition des surfaces à mailler un seul composant électronique.....	46
<b>Figure III.15 :</b> Définition des surfaces à mailler deux composants électroniques.....	46
<b>Figure III.16 :</b> Définition des surfaces à mailler trois composants électroniques.....	47
<b>Figure III.17 :</b> Spécification de la méthode de Maillage cas d' un seul composant électronique.....	47
<b>Figure III.18 :</b> Spécification de la méthode de Maillage cas deux composants électroniques.....	48
<b>Figure III.19 :</b> Spécification de la méthode de Maillage cas trois composants électroniques.....	48
<b>Figure III.20 :</b> Maillage d'un seul composant électronique.....	49
<b>Figure III.21 :</b> Maillage deux composants électroniques.....	49
<b>Figure III.22 :</b> Maillage trois composants électroniques.....	50
<b>Figure III.23 :</b> Spécification des parties soumis aux conditions aux limites (entrée).....	50
<b>Figure III.24 :</b> Spécification des parties soumis aux conditions aux limites (sortie).....	51

## Liste des figures

---

<b>Figure III.25</b> : Spécification des parties soumis aux conditions aux limites (parois).....	51
<b>Figure III.26</b> : Spécification des parties soumis aux conditions aux limites (Composant électronique).....	51
<b>Figure III.27</b> : Conditions aux limites.....	52
<b>Figure III.28</b> : Création d un nouveau nano- fluide.....	53
<b>Figure III.29</b> : Configuration du modèle par le solveur.....	53
<b>Figure IV.1</b> : Présentation de l'évolution des résidus de calcul (Convergence de la solution).....	56
<b>Figure IV.2</b> : Champs de la température pour un seul composant électronique.....	58
<b>Figure IV.3</b> : Champs de la température pour deux composants électroniques.....	58
<b>Figure IV.4</b> : Champs de la température pour trois composants électroniques.....	59
<b>Figure IV.5</b> : Champs de la température pour $Re=6$ .....	60
<b>Figure IV.6</b> : Champs de la température pour $Re=12$ .....	61
<b>Figure IV.7</b> : Champs de la température pour $Re=24$ .....	61
<b>Figure IV.8</b> : Champs de la vitesse pour un seul composant électronique.....	62
<b>Figure IV.9</b> : Champs de la vitesse pour deux composants électroniques.....	62
<b>Figure IV.10</b> : Champs de la vitesse pour trois composants électroniques.....	63
<b>Figure IV.11</b> : Champs de la vitesse pour $Re=6$ .....	63
<b>Figure IV.12</b> : Champs de la vitesse pour $Re =12$ .....	64
<b>Figure IV.13</b> : Champs de la vitesse pour $Re = 24$ .....	64
<b>Figure IV.14</b> : Champs des lignes de courants pour $Re = 6$ .....	65
<b>Figure IV.15</b> : Champs des lignes de courants pour $Re = 12$ .....	66
<b>Figure IV.16</b> : Champs des lignes de courants pour $Re = 24$ .....	66
<b>Figure IV.17</b> : Nombre Nusselt au niveau des faces de composant.....	67

---

# Liste des tableaux

<b>Tableau I.1</b> : Classification du canal selon le diamètre hydraulique.....	23
<b>Tableau II.1</b> : Dimensionnement de micro canal étudié un seul composant électronique.....	27
<b>Tableau II.2</b> : Nombres sans dimension utiles en convection.....	34
<b>Tableau II.3</b> : Conditions aux limites hydrodynamiques et thermiques.....	37
<b>Tableau IV.1</b> : Propriétés thermo physiques pour l'eau et le cuivre.....	55
<b>Tableau IV.2</b> : Propriétés thermo physiques pour le nano fluide (eau-Cu).....	55
<b>Tableau IV.3</b> : Condition aux limites.....	56

---

# Nomenclature

---

## Nomenclature

$C_p$ : La chaleur massique ( $J . Kg^{-1} . K^{-1}$ )

$g$ : Accélération de la pesanteur ( $m . s^{-2}$ )

$Gr$  : Nombre de Grashof

$h$ : Le coefficient d'échange par convection ( $W . m^{-2} . K^{-1}$ )

$K$  : La conductivité thermique ( $W . m^{-1} . K^{-1}$ )

$L$  : Longueur total de canal ( $mm$ )

$m$  : La masse ( $Kg$ )

$Nu$  : Nombre de Nusselt

$p$  : Pression du fluide ( $Pa$ )

$P$  : Pression adimensionnelle

$Pr$  : Nombre de Prandtl

$Ra$  : Nombre de Rayleigh

$Re$  : Nombre de Reynolds

$S$  : Surface d'échange thermique

$T$  : La température ( $^{\circ}C$ ) ou ( $K$ )

$T_a$  : Température du milieu environnant la surface ( $K$ )

$T_p$  : Température au point considéré de la paroi ( $^{\circ}C$ )

$T_s$  : Température de la surface ( $K$ )

$T_0$  : La température de référence.

$u, v$  : Composantes de la vitesse dans les directions  $x, y$  ( $m . s^{-1}$ )

$U, V$ : Composantes de la vitesse adimensionnelle

$V$  : Le volume ( $m^3$ )

# Nomenclature

---

$x, y$  : Les coordonnées cartésiennes

$X, Y$  : Les coordonnées adimensionnelles

## Symbole Grecque :

$\alpha$ : La diffusivité thermique ( $m^2 \cdot s^{-1}$ )

$\beta$ : Coefficient d'expansion thermique ( $K^{-1}$ )

$\Delta T$ : La différence de température

$\varepsilon$  : Facteur d'émission de la surface.

$\mu$  : La viscosité dynamique ( $N \cdot s \cdot m^{-2}$ )

$\nu$  : La viscosité cinématique ( $m^2 \cdot s^{-1}$ )

$\rho$  : La densité ( $Kg \cdot s^{-3}$ )

$\rho_0$ : La masse volumique du fluide

$\sigma$ : Constante de Stéphan Boltzmann ( $W \cdot K^{-4} \cdot m^{-2}$ )

$\varphi$ : La fraction volumique

$\phi$  : Le flux de chaleur

## Indice :

$f$  : Fluide de base

$nf$  : Nanofluides

$s$  : Nanoparticules

$t$  : Totale

# **INTRODUCTION GENERALE**

# Introduction générale

---

## Introduction générale

Les échanges thermiques ont soutenu à limiter les contraintes dans la construction et le fonctionnement des équipements utilisés dans une variété d'industries et récemment dans l'industrie électronique. Au cours de ces dernières années, l'étude de transfert de chaleur sur les sources modeste de chaleur est devenue un sujet de grand intérêt en raison des progrès dans l'industrie électronique.

Tous les composants électroniques sont sensibles à leur température: ils ont des caractéristiques médiocres en dehors de certaines limites de température et ils sont détruits si la chaleur dissipée dépasse largement ses 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.

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 [1].

L'objectif de ce travail consiste donc l'étude numérique des échanges thermiques par convection dans des microcanaux.

Il est avéré qu'un bon nano fluide apporte un coup de pouce à l'efficacité d'un système de refroidissement liquide quelconque sans avoir plus de bruit et sans consommer plus. Les nano fluides présentent un coefficient de transfert thermique imbattable par rapport aux simples fluides caloporteurs (l'eau, l'huile ou l'éthylène-glycol). L'augmentation de la conductivité thermique des fluides de refroidissement en géométrie confinée constitue un enjeu important pour le développement des futurs systèmes de refroidissement dans le domaine du micro et nanotechnologie.

La résolution et la discrétisation des équations par l'exploitation d'un logiciel de simulation numérique ANSYS Workbench.

# Introduction générale

---

Le refroidissement par convection thermique de composant électronique monté dans un canal rectangulaire horizontal et à déterminer l'effet de certains paramètres dans le but d'améliorer le transfert de chaleur à l'intérieur du canal.

## Structure du mémoire

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

Le premier chapitre est consacré à une synthèse bibliographique permettant pour une meilleure compréhension de l'utilisation des nano fluides dans les échanges thermiques, et décrire les différents modèles utilisés pour l'estimation des caractéristiques hydro-thermiques.

Le deuxième chapitre présente la modélisation mathématique du phénomène physique de la géométrie étudiée, avec un choix d'un nano fluide comme un refroidisseur thermique.

Nous illustrons dans le troisième chapitre les conditions aux limites utilisées ainsi que la méthode de la résolution numérique basée par l'emploi des logiciels du CFD « logiciel **ANSYS Workbench** ».

Le quatrième chapitre interprète les résultats numériques obtenus pour les trois configurations étudiées, en deux dimensions d'un micro-canal sa paroi supérieure porte des composants électroniques.

Finalement, une conclusion générale nous résumons les points essentiels de nos résultats obtenus.

**CHAPITRE I**

**ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

# Chapitre I : Etude bibliographique

---

## I.1. Introduction:

Le transfert de chaleur est une démarche de grande importance dans divers domaines de l'industrie et de la technique, en particulier dans le domaine du refroidissement des composants électroniques.

Les composants électroniques deviennent de plus en plus petits et libèrent de plus en plus de chaleur, cette chaleur doit être évacuée de manière efficace et rapide. Les performances des composants électroniques diminuent fortement avec l'augmentation de leur température.

On s'intéresse principalement dans notre étude à évaluer la température des composants après avoir fixé les paramètres de notre circuit. Ainsi plusieurs paramètres interviennent dans l'efficacité du refroidissement à savoir la température d'entrée du fluide, les propriétés thermo physiques et les types de nanoparticules ajoutées au liquide.

Dans ce chapitre nous présentons une synthèse bibliographique des différents travaux des auteurs sur la technique du refroidissement des composants électroniques par l'usage des nano fluides.

## I.2.Synthèse bibliographique :

**Sébastien Ferrouillat et al (2008) [2]**, ont étudié les caractéristiques thermo-physiques des nano-fluides thermo-hydrauliques  $\text{SiO}_2/\text{eaux}$ . Afin d'identifier les coefficients d'échange thermique et de montrer l'augmentation de la performance thermique des nano-fluides. Grâce aux propriétés des nano-fluides obtenues à l'avance, les résultats sont exploités.

Les résultats montrent que les pertes de charge sont des lois classiques qui indiquent les propriétés thermiques des nano-fluides.

**Bachir Glades (2010) [3]**, ont présenté une étude a été menée sur le transfert de chaleur par conduction et convection de nano-fluides une base chauffée. À étude l'effet de la concentration en nanoparticules ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Ag}$ ) présentes dans les liquides.

Les propriétés des nano-fluides diffèrent en ce qui concerne le transfert de chaleur par la configuration de Rayleigh-Bénard.

Lors de l'ajout de nanoparticules dans le fluide porteur, le nombre Rayleigh diminue dans les nano fluides obtenues pour le fluide porteur. Des nanoparticules ont été trouvées dans le fluide porteur, réduisant ainsi le transfert de chaleur.

## Chapitre I : Etude bibliographique

---

**Mohamed El hattab et al (2013) [4]**, ont mené une étude numérique de la convection naturelle des nano fluides confinés dans une chambre chauffée par une source thermique.

Le type de nanoparticules, la fraction de volume et le nombre de Rayleigh, qui sont les paramètres de l'effet du transfert de chaleur, ont été étudiés.

Les résultats obtenus montrent que l'augmentation du taux de transfert de chaleur de l'augmentation de la taille de la fracture dans les nanoparticules et du nombre de Rayleigh.

**Salma Halefadi (2014) [5]**, a réalisé une étude expérimentale sur les propriétés thermo physiques des nano fluides. Elle a comparé et discuté des résultats obtenus avec les modèles classiques existants. Les résultats sont analysés afin de vérifier l'effet des coefficients des échanges thermiques dans l'échangeur.

On sait que les performances thermiques des nano fluides utilisant du carbone sur une base de nanotubes sont nettement améliorées par rapport aux fluides de base classique.

**N. Belghar, S. Lebbihi (2014) [6]**, ont mené une étude numérique de la convection naturelle dans une enceinte carrée chauffée et remplie d'un nano fluide (Cu/eau). Ils ont utilisé la simulation numérique comme outil de calcul. Les équations gouvernantes ont été discrétisées par la méthode des volumes finis. Une étude paramétrique a été montrée en considérant la concentration de nano fluide, le nombre de Rayleigh.

**A.DAAS, S. DERFOUF, N. BELGHAR (2016) [7]**, ont fait une étude numérique de la convection libre dans une géométrie rectangulaire remplie d'un nano fluide (Cu/eau) est chauffée par une source thermique. Les équations de continuité, masse et d'énergie sont discrétisées par la méthode numérique des volumes finies, ont utilisé la simulation numérique comme un outil d'investigation.

Les résultats obtenus analysent les champs thermiques, en examinant le nombre de Nusselt qui compare l'effet de la convection par rapport à la conduction.

**Boulahia Zoubaire, Wakif Abderrahim (2016) [8]**, ont atteint à travers cette étude numérique sur la convection naturelle des nano fluide (Cu/eau), pour transférer la chaleur dans un récipient carré équipé de blocs de refroidissement pour refroidir les composants électroniques, les échangeurs de chaleur. L'effet de la hauteur du corps froide sur l'eau pure et

## Chapitre I : Etude bibliographique

---

les nano fluide (Cu/eau) était connu par simulation numérique, ou le nombre de Rayleigh et la fraction de nanoparticules sont différents.

**k. Najid, F. Dahami, Z. Boulahia et R. Sehaqui (2017) [9]**, ont présenté une étude numérique de la convection naturelle dans une paroi ondulée remplie de nano fluide (Cu/eau). La simulation numérique a été utilisée pour concevoir le code et le signal. Ils ont discrétisé les équations de décision par méthode SOR et ADI. Une étude paramétrique a été réalisée en considérant le type de nano fluides, l'amplitude d'ondulation et le nombre de Rayleigh.

Les résultats ont été analysés en prenant en compte le nombre de Nusselt au travers de champs dynamique et thermique.

**Mme Tabet Sara (2017) [10]**, a travaillé sur une étude numérique de convection naturelle dans un régime laminaire et turbulent à l'intérieur d'une géométrie de forme carrée avec un mur partiellement chauffé. La partie chauffée du mur varie entre 20% et 80% de la longueur totale. Les équations dominantes ont été résolues par la méthode des différences finies et la méthode des volumes finis.

La convection naturelle a été montrée à la fois dans les états laminaire et turbulents dans les courbes de température et Nusselt. Le chauffage partiel a un impact significatif sur le transfert de chaleur. Le nombre de Rayleigh est plus grand lorsque l'effet est plus intense, le nombre de Rayleigh étant compris entre  $10^6$ - $10^9$  dans système laminaire et système turbulence.

**KROUMA Saadia, N.BELGHAR (2017) [11]**, ont atteint à travers cette étude numérique ont permis d'analyser en détail des échanges thermiques par des nano-fluides afin de comprendre et de valoriser les différents mécanismes qui avèrent conditionner leurs propriétés thermo-physiques ainsi que leurs améliorations thermiques au sein d'un micro-échangeur de chaleur destiné au refroidissement des composants électroniques.

### **I.3. Généralité sur le transfert de chaleur:**

Un transfert thermique, nommé couramment plusieurs chaleurs, est un transfert d'énergie microscopique désordonnée. Cela correspond en réalité à un transfert d'agitation thermique entre particules, au gré des chocs aléatoires qui se produisent à l'échelle microscopique [12].

Il y existe trois modes de transfert :

Conduction : la chaleur passe d'un corps à un autre, par contact.

Convection : un corps qui se déplace emmène avec lui, la chaleur qu'il contient. La quantité de chaleur ainsi transportée peut être importante, surtout dans le cas d'un changement de phase.

## Chapitre I : Etude bibliographique

Rayonnement (radiation) : l'ensemble des corps émettent de la lumière, selon leur température, et sont eux-mêmes affectés par la lumière qu'ils absorbent.

### I.3.1. Transfert de chaleur par convection :

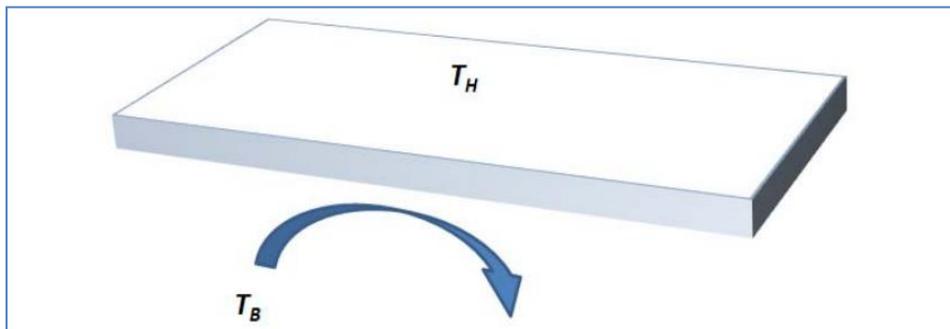
La convection est le mode de transfert de chaleur qui se produit dans les fluides ou gaz. Elle intervient dans les échanges thermiques entre une paroi et un fluide en mouvement. On distingue deux types de convection.

- **Convection libre (naturelle)** : au mouvement du fluide est causé par un champ de forces intérieures.
- **Convection forcée** : provoquée par une force mécanique, circulation d'un fluide à l'aide d'une pompe dans les échangeurs de chaleur.

Le flux de chaleur entre la surface chaude et le liquide est proportionnel. Le coefficient d'échange thermique s'appelle la convection et est noté  $h$ .

Considérant la relation suivante :

$$\phi = h \cdot S(T_H - T_B) \quad \text{I.1}$$



**Figure I.1:** Illustration d'échange convectif entre un milieu fluide et une surface [13].

$\phi$  est flux de chaleur en  $W$ .

$h$  Est coefficient de convection en  $W/m^2 \cdot K$ .

$S$  La surface d'échange entre le solide et le fluide en  $m^2$ .

# Chapitre I : Etude bibliographique

## I.3.2. Transfert de chaleur par conduction :

C'est le transfert de chaleur à l'intérieur d'un milieu opaque, sans déplacement de matière, sans l'influence d'une différence de température. La programmation de la chaleur par conduction à l'intérieur d'un corps s'effectue selon deux mécanismes distincts une transmission par les vibrations des atomes ou molécules et une transmission par électrons libres. Les nano fluides améliorent et amplifient la conductivité thermique.

La conductivité thermique, notée  $k$  (W /m. K), est la capacité d'un matériau de conduire ou de transmettre de la chaleur. La conductivité thermique par rapport aux les performances thermiques d'un fluide caloporteur est une propriété très importante [5].

La loi de Fourier est la loi principale qui décrit le processus de dégagement de chaleur.

La relation est donnée comme suit :

$$d\phi = -k.S.\frac{dT}{dx}.dt \quad \text{I.2}$$

$d\phi$  : Flux de chaleur transmis par conduction (W).

$k$ : Conductivité thermique du milieu ( $Wm^{-1} \text{ } ^\circ C^{-1}$ ).

$S$  : Aire de la section de passage du flux de chaleur ( $m^2$ ).

$\frac{dT}{dx}$  : Gradient de température en x en( $K.m^{-1}$ ).

Le flux de chaleur  $\phi$  en watt qui circule en x :  $\phi = \frac{d\phi}{dt} = -k.S\frac{dT}{dx}$

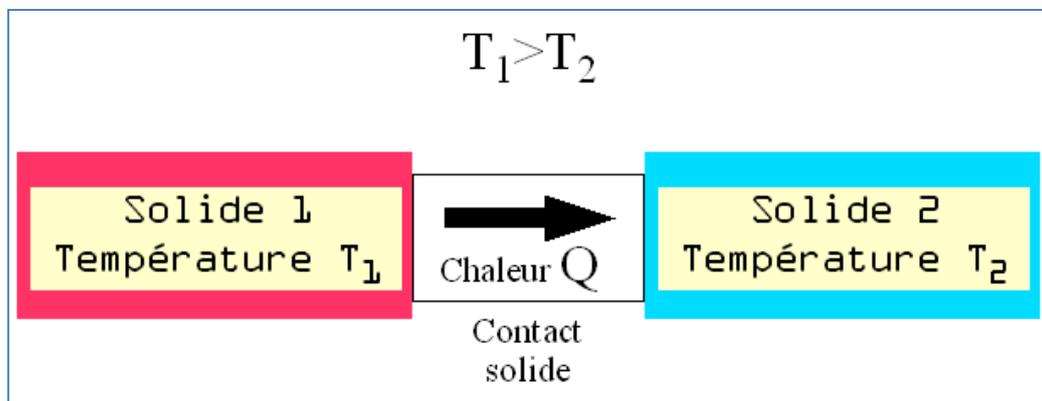


Figure I.2: principe de la conduction thermique [14].

### I.3.3. Transfert de chaleur par rayonnement :

Le terme rayonnement est appliqué à l'ensemble des échanges d'énergie à distance entre les corps par des ondes électromagnétiques. Les échanges peuvent avoir lieu lorsque les corps sont séparés par le vide ou par n'importe quel milieu intermédiaire suffisamment transparent pour les ondes électromagnétiques. L'action d'un rayonnement sur un milieu dépend de sa longueur d'onde. On retiendra que le rayonnement thermique émis par les corps se situe entre  $10^{-7}$  m et  $10^{-4}$  m) et se divise en deux : le spectre visible, le spectre invisible. Exprimer la relation suivante :

$$\phi = \varepsilon \cdot \sigma \cdot S (T_s^4 - T_a^4) \quad \text{I.3}$$

$\phi$  : Flux thermique ( $W$ ).

$\sigma$  : Constante de Stéphan Boltzmann  $5.67 \cdot 10^{-8}$  ( $W \cdot K^{-4} \cdot m^{-2}$ ).

$\varepsilon$  : Facteur d'émission de la surface.

$S$  : La surface de contact solide/fluide ( $m^2$ ).

$T_s$  : Température de la surface ( $K$ ).

$T_a$  : Température du milieu environnant la surface ( $K$ ).

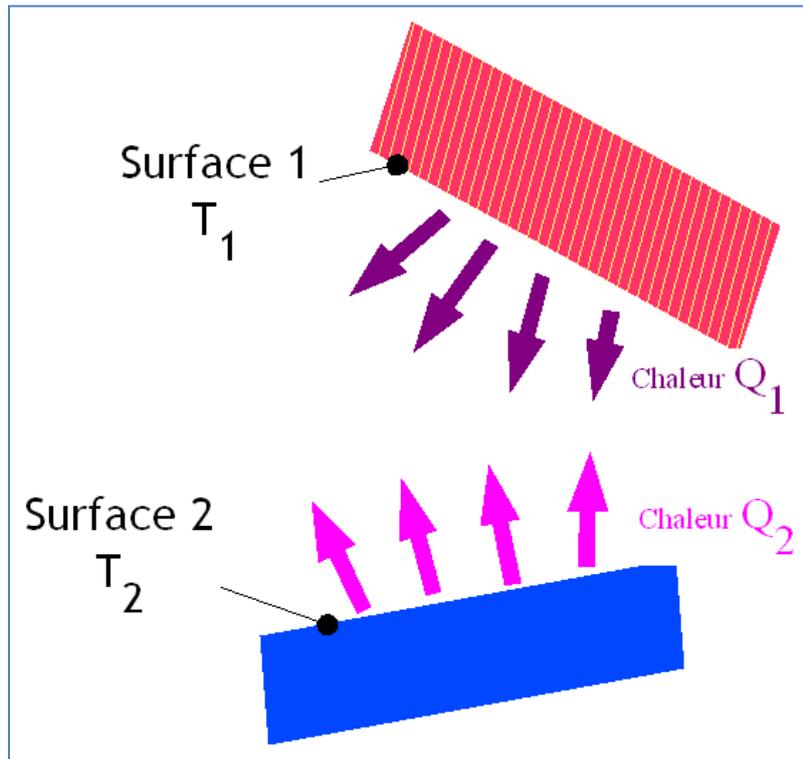


Figure I.3: Principe du rayonnement thermique [13].

### I.4. Généralités sur les nano fluides :

#### I.4.1. Définition :

Un nano fluide est une solution colloïdale composée d'un liquide porteur, soit de l'eau, soit d'un autre liquide, auquel des nanoparticules sont ajoutés. L'origine de ces molécules est des minéraux oxydés ou purs et organiques [15].

Le coefficient de transfert de chaleur des nano fluides est bon comparé aux simples fluides de transfert de chaleur, L'augmentation des nano fluides est indiquée dans la conductivité thermique [7].

Les nano fluides sont utilisés dans les bâtiments thermiques, les applications de refroidissement et les échangeurs de chaleur. Les nano fluides ont des propriétés physiques, notamment la conductivité thermique.

Les nanoparticules à la base du liquide sont principalement basées sur l'amélioration de la conductivité thermique, nanoparticules contenant le fluide primaire qui est généralement de l'eau ou de l'huile ou du glycol, appelé nano fluides.

## Chapitre I : Etude bibliographique

---

Les matériaux des particules : Métaux purs, oxydes métalliques, semi-conducteurs, céramiques, nanotubes de carbone (NTC), fullerène, diamant, polymères, etc.

Les plus fréquents :  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SiC}$ ,  $\text{TiC}$ ,  $\text{Ag}$ ,  $\text{Au}$ ,  $\text{Cu}$ , et  $\text{Fe}$ .

Les nano fluides améliorent non seulement la conductivité thermique, mais augmentent également la viscosité et la concentration des nanoparticules [16].

Les nanoparticules les plus utilisées pour obtenir des nano fluides sont:

### **Les nanoparticules métalliques:**

- L'aluminium,  $\text{Al}$ .
- Le cuivre,  $\text{Cu}$ .
- L'or,  $\text{Au}$ .
- L'argent,  $\text{Ag}$ .
- La silicone,  $\text{Si}$ .

### **Les nanoparticules non métalliques :**

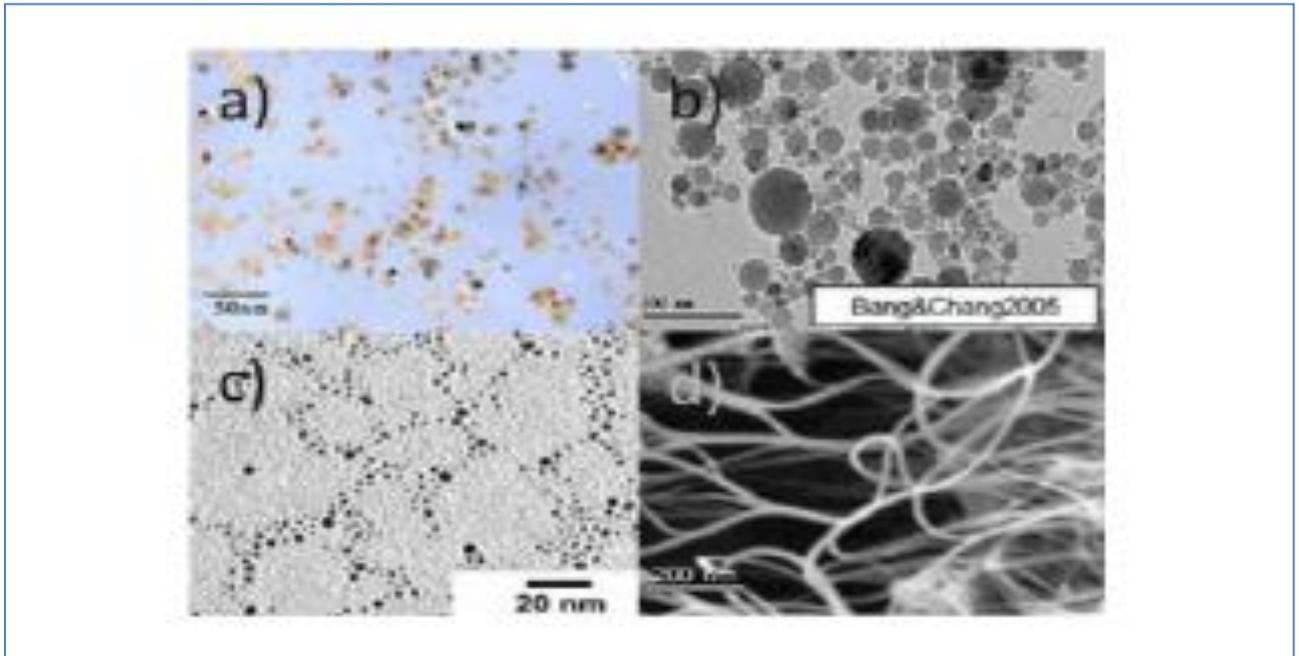
- Les nanotubes de carbone, CNT.
- Le diamant,  $\text{C}$ .

### **Les nanoparticules des oxydes métalliques :**

- L'oxyde d'aluminium,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .
- L'oxyde de cuivre,  $\text{CuO}$ .
- L'oxyde de silicium,  $\text{SiO}_2$ .
- L'oxyde de titanium,  $\text{TiO}_2$ .

### **Les liquides de base les plus utilisés sont:**

- L'eau.
- L'éthylène-glycol, EG.
- Les huiles.
- Le Toluène.
- Les fluides de réfrigération ( $\text{R12}$ ,  $\text{R22}$ ,.....) [17].



**Figure I.4 :** Nano fluides vus au microscope électronique : a) éthylène glycol + Cu à 0.5% ; b) eau+ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; c) eau + Au à 2 nm ; d) eau + MWCNT [15].

### I.4.2. Fabrication et préparation des nano fluides :

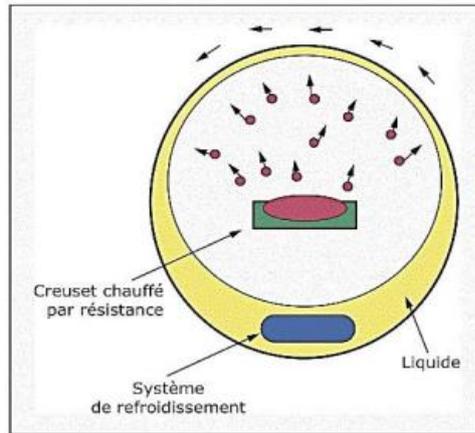
Un grand nombre de nanoparticules sont classées en deux catégories :

- Les procédés physiques, comme le broyage mécanique.
- Les procédés chimiques, comme la pyrolyse laser ou la précipitation chimique.

Les nanoparticules sont produites de deux manières :

- **La méthode en une seule étape :** les nanoparticules sont produites dans le fluide de base. Utilisées pour certains nano fluides, évitent l'oxydation et la décantation des particules, est moins industrielle.
- **La méthode en deux étapes :** les nanoparticules sont produites une fois et dispersées dans le fluide de base. Il évite les ajustements en raison des forces attractives entre les molécules et effectue un bon travail mécanique. Pour ajuster le ph, la surface de la particule doit être chargée en utilisant une répulsion électrostatique.

# Chapitre I : Etude bibliographique



**Figure I.5 :** Procédé de synthèse de nano fluide en une seule étape.

Les procédés de fabrication font l'objet de beaucoup de recherches pour améliorer le coût de production qui reste parfois élevé vu les difficultés de mise en œuvre et pour obtenir des particules de taille voulue. Chaque méthode a ses inconvénients physique ou chimique et certains ne sont pas aptes à produire de grandes quantités de nanoparticules pour une production de masse vu les contraintes inhérentes au procédé. Les principaux moyens peuvent être :

- Le mécano synthèse (broyage à haute énergie).
- La précipitation chimique (réduction de sels métalliques par exemple).
- Les dépôts chimiques ou physiques en phase vapeur (CVD ou PVD).
- Les dépôts chimiques en phase vapeur assisté par plasma (PECVD).
- La condensation de vapeurs par détente brutale dans des tuyères supersoniques.
- La pulvérisation cathodique radiofréquence.
- La sublimation par ablation laser (vaporisation d'un échantillon par impulsion laser).
- La pyrolyse laser (interaction entre un faisceau laser continu et un flux de réactifs).
- La désintégration d'électrodes submergées par passage d'étincelles [18].

### **I.4.3. Les propriétés thermo physiques des nano fluides :**

Les nano fluides ont des propriétés physiques importantes, qui diffèrent selon les nanoparticules utilisées et le fluide de base. Ses caractéristiques sont :

- ❖ La fraction volumique ( $\phi$ ).
- ❖ Conductivité thermique (K).
- ❖ Viscosité dynamique ( $\mu$ ).

## Chapitre I : Etude bibliographique

---

- ❖ La masse volumique ( $\rho$ ).
- ❖ La chaleur massique ( $C_p$ ).
- ❖ Coefficient d'expansion volumique ( $\beta$ ).

### I.4.3.1. La fraction volumique ( $\varphi$ ) :

$$\varphi = \frac{V_s}{V_t} = \frac{V_s}{V_s + V_f} \quad \text{I.4}$$

$V_s$  : Volume de solide (nanoparticules).

$V_t$  : Volume totale (nanoparticules+fluide de base).

### I.4.3.2. Conductivité thermique ( $K$ ) :

La conductivité thermique est une propriété très importante. D'autant plus que cela joue un rôle important dans le transfert de chaleur. Conductivité thermique de l'efficacité de transfert de chaleur montre clairement. La conductivité thermique est définie comme une variation de température et une conductivité thermique différente due à la fracture solide et aux nano fluides, en fonction des nanoparticules. La conductivité thermique est calculée selon deux méthodes suivantes [7] :

#### A-Modèle de Maxwell :

Le modèle de Maxwell est probablement le plus largement utilisé dans la littérature. Ce modèle de base suppose que les particules sont sphériques, de dimensions millimétriques ou microscopiques et sont dispersées en faible concentration dans une matrice continue [12].

$$k_{nf} = \frac{k_s + 2k_f + 2(k_s - k_f)\varphi}{k_s + k_f - (k_s - k_f)\varphi} k_f \quad \text{I.5}$$

$k_{nf}$ : La conductivité thermique du nano fluide.

$k_f$ : La conductivité thermique du fluide de base.

$k_s$  : La conductivité thermique des particules solides.

## Chapitre I : Etude bibliographique

---

### B-Modèle de Hamilton-Crosser :

Le modèle de Hamilton-Crosser (1962) est une extension du modèle de Maxwell, qui tient compte de la forme des particules. En effet, pour prendre en compte la non-sphéricité des particules [5]. La conductivité thermique est donnée dans la relation suivante :

$$k_{nf} = \frac{k_s + (n-1)k_f + (n-1)(k_f - k_s)\varphi}{k_s + (n-1)k_f - (k_f - k_s)\varphi} k_f \quad \text{I.6}$$

$n$  est un facteur de forme empirique donnée par :  $n = \frac{3}{\psi}$

$n = 3$  pour les particules sphériques.

$n = 6$  pour les particules cylindriques.

### C-Modèle de Yu et Choi :

La relation entre Yu et Choi est une autre expression de la conductivité thermique, qui était en 2003. Les particules liquides et solides étaient considérées comme une base séparée avec une couche nanométrique d'un modèle en nano fluides. Cette couche est un pont thermique entre nanoparticules et liquides. Ce modèle est donné comme suit :

$$k_{nf} = \frac{k_s + 2k_f + 2(k_s - k_f)(1 + \beta)^3 \varphi}{k_s + 2k_f - (k_s + k_f)(1 + \beta)^3 \varphi} k_f \quad \text{I.7}$$

$\beta$  est le rapport de l'épaisseur de la couche nanométrique sur le rayon des particules.

## Chapitre I : Etude bibliographique

---

### D-Modèle de Bruggemen :

Un modèle a été proposé pour prédire la conductivité thermique des nano fluides sans s'appuyer sur la concentration volumique. Ce modèle suppose des particules de forme sphérique [5]. Ce modèle est donné comme suit :

$$\varphi \left( \frac{k_s - k_{nf}}{k_s + 2k_{nf}} \right) + (1 - \varphi) \left( \frac{k_f - k_{nf}}{k_f + 2k_{nf}} \right) = 0 \quad \text{I.8}$$

### I.4.3.3. La Viscosité dynamique ( $\mu$ ) :

La propriété de viscosité est définie comme une propriété de fluide dans laquelle elle coordonne la déformation lorsque le mouvement se produit. La viscosité est un liquide très visqueux et présente un frottement interne. Les nanoparticules divergent dans le fluide, ce qui a un effet sur la viscosité dynamique. Cette viscosité a affecté la qualité des nanoparticules pour le liquide et la température. Cette viscosité dynamique peut être calculée à partir de la viscosité du fluide de base et la fraction volumique du nano fluide. Pour ce qui suit nous allons citer deux modèles pour le calcul des viscosités apparentes [7].

### A-Modèle d'Einstein :

La viscosité dynamique d'un nano fluide est donnée par Einstein (1906) pour un mélange contenant des suspensions diluées de particules fines sphériques et rigides est la suivante :

$$\mu_{nf} = \mu_f (1 + 2.5\varphi) \quad \text{I.9}$$

$\mu_{nf}$  : La viscosité dynamique du nano fluide.

$\mu_f$  : La viscosité dynamique du fluide de base.

$\varphi$  : La fraction volumique des nanoparticules.

Cette relation est valable juste pour  $\varphi = 0.03$

## Chapitre I : Etude bibliographique

---

### B-Modèle de Brinkman :

La viscosité dynamique d'un nano fluide est donnée par Brinkman (1952) :

$$\mu_{nf} = \frac{\mu_f}{(1-\varphi)^{2.5}} \quad \text{I.10}$$

### I.4.3.4. La masse volumique ( $\rho$ ):

La masse volumique des nano fluides est proportionnelle à la fraction volumique en particules et augmente avec l'ajout des nanoparticules. Sont souvent calculés à partir de la loi du mélange, et sont représentés dans la relation suivante :

- La masse volumique de mélange

$$\rho_{nf} = \frac{m_{nf}}{V_{nf}} = \frac{m_f + m_s}{V_f + V_s} = \frac{\rho_f V_f + \rho_s V_s}{V_f + V_s} \quad \text{I.11}$$

- La masse volumique d'un nano fluide pour une température de référence donnée est calculé par :

$$\rho_{nf} = (1 - \varphi)\rho_f + \varphi\rho_s \quad \text{I.12}$$

$\rho_{nf}$  : La masse volumique du nano fluide.

$\rho_f$  : La masse volumique du fluide de base.

$\rho_s$  : La masse volumique des nanoparticules.

## Chapitre I : Etude bibliographique

---

### I.4.3.5. La chaleur spécifique ( $C_p$ ) :

Pour la détermination de la chaleur spécifique d'un nano fluide, il y a deux modèles :

#### A-Modèle du Pak et Cho :

Pak et Cho (1998) ont utilisé la formule suivante :

$$(C_p)_{nf} = (1 - \varphi)(C_p)_f + \varphi(C_p)_s \quad \text{I.13}$$

#### B-Modèle du Xuan et Roetzel :

Xuan et Roetzel (2000) ont utilisé la formule suivante :

$$(\rho C_p)_{nf} = (1 - \varphi)(\rho C_p)_f + \varphi(\rho C_p)_s \quad \text{I.14}$$

$(C_p)_{nf}$  : La chaleur spécifique du nano fluide.

$(C_p)_f$  : La chaleur spécifique du fluide de base.

$(C_p)_s$  : La chaleur spécifique des nanoparticules.

### I.4.3.6. Le coefficient d'expansion volumique ( $\beta$ ) :

Ce paramètre est calculé à partir de cette relation suivante :

$$\beta_{nf} = (1 - \varphi)\beta_f + \varphi\beta_s \quad \text{I.15}$$

$\beta_{nf}$  : Le coefficient de dilatabilité du nano fluide.

$\beta_f$  : Le coefficient de dilatabilité du fluide de base.

$\beta_s$  : Le coefficient de dilatabilité des nanoparticules.

# Chapitre I : Etude bibliographique

---

## I.4.4. Les applications des nano fluides :

Les nano fluides sont caractérisés par des applications dans divers domaines, notamment industriels et technologiques. Comme la dispersion de nanoparticules joue un rôle efficace dans l'effet magnétique, notamment en imagerie médicale, ainsi que dans l'effet électrique. Les nano fluides sont également utilisés dans le refroidissement de composants électriques et électroniques, de voitures, de radars ...

Les nano fluides sont appliqués dans le domaine des énergies renouvelables pour augmenter le transfert de chaleur du capteur solaire vers les réservoirs de stockage et pour augmenter la densité énergétique. Ainsi que son applicabilité dans la plupart des industries manufacturières, telles que les matériaux, les aliments et les boissons, la production chimique, le pétrole et le gaz [19]. Les autres applications :

- L'échangeur de chaleur.
- Nanoparticules pour l'efficacité des réfrigérateurs.
- Le chauffage solaire d'eau.
- Transport (gestion de refroidissement / véhicule moteur thermique).
- Refroidissement des systèmes militaires et spatiaux, nucléaires [6].

## I.5. Systèmes de refroidissement des composants électroniques :

### I.5.1. Les composants électroniques :

Les composantes électriques sont les éléments de base de l'électronique de puissance. D'une taille allant de micromètre au centimètre, leurs puissances thermiques à évacuer sont relativement faibles (de l'ordre d'une dizaine de watts au maximum) rendant un refroidissement par convection naturelle suffisante. Mais leur nombre important au sein d'un système électrique nécessite un refroidissement global, intégrant plusieurs dizaines voire centaines de composants [20].

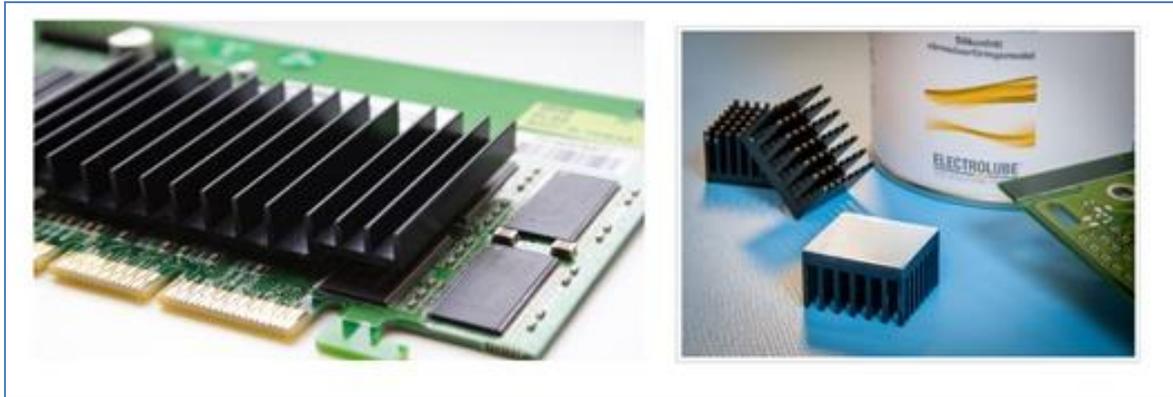
Les principaux éléments dans ces systèmes électroniques sophistiqués sont les composants électroniques montés dans des cartes de circuits imprimés.

Ces derniers convertissent l'énergie électrique en énergie thermique par effet de Joule [21].

L'enlèvement de la chaleur de ces composants, par exemple, pour les micros – ordinateurs fonctionnant avec des processeurs de grande vitesse ayant pour but le traitement de données, est critique. De plus qu'il y a une tendance à assembler un plus grand nombre de ces composants et donc un apport important de chaleur. Par conséquent, le processus de

# Chapitre I : Etude bibliographique

refroidissement est d'un intérêt essentiel et primordial, puisque son but principal est le contrôle de la température de ces composants [22].



**Figure I.6** : présentation type des composants électroniques [23].

## I.5.2. Systèmes de refroidissement :

Les systèmes de refroidissement sont classés en deux catégories :

- **Les systèmes de refroidissement actifs** : ce système fonctionne sur le transfert de chaleur par convection forcée. Utilisez une pompe mécanique pour manipuler le radiateur.
- **Les systèmes de refroidissement passifs** : il est divisé en deux parties comprenant les systèmes de refroidissement direct et indirect. Selon les propriétés des liquides lors de travaux sur le transfert de chaleur ou non connectés à des composants électroniques.

**I.5.2.1. Refroidissement à l'air** : Cette technique est largement utilisée et est la plus courante.

**Convection naturelle par air** : le refroidissement à air passif est d'abord constitué d'un dissipateur de chaleur dimensionné suivant la surface de refroidissement, cette technique est déterminée pour leurs propriétés thermiques. L'ajout du dissipateur de chaleur peut donc grandement améliorer l'efficacité du refroidissement.



**Figure I.7 :** Système de refroidissement à air passif [13].

- **Convection forcée à air :** le soufflage d'air forcé grâce à des ventilateurs est la méthode la plus utilisée en refroidissement de composants électroniques de par sa simplicité de mise en œuvre, de son coût et de sa fiabilité. Le principe de fonctionnement réside en une lame en céramique alimentée en courant électrique, se mettant à osciller à de très hautes fréquences.



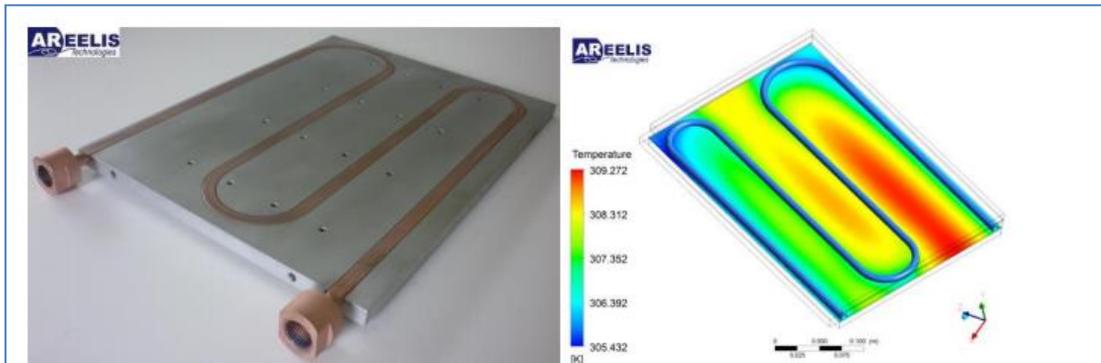
**Figure I.8 :** Exemples de systèmes de refroidissement à air pulsé [13].

**I.5.2.2. Refroidissement par liquide caloporteur :** le refroidissement par liquide est une autre méthode d'évacuation de la chaleur vers le milieu ambiant. Le système de refroidissement principal du liquide est le transfert de chaleur par convection, le même que pour l'air. Le refroidissement par liquide est généralement utilisé pour refroidir la combustion des moteurs dans les grandes installations industrielles, refroidir l'huile de pompe et contenir du réfrigérant dans des ordinateurs avancés.

**Refroidissement par plaques à eau :** une technique robuste consiste à utiliser une cavité assez proche de la source de chaleur dans laquelle le liquide circule de manière turbulente. Comme le liquide utilisé est souvent à base d'eau, cette technique se nomme plaque à eau.

## Chapitre I : Etude bibliographique

Une pompe est nécessaire pour contraindre le passage d'un fluide entre deux plaques après son passage dans un canal étroit afin de créer de la turbulence [13].



**Figure I.9 :** Refroidissement liquide à plaque froide [20].

- **Refroidissement par micro canaux :** le terme "micro-canal" désigne des canaux dont le diamètre hydraulique est compris entre 10 et 100 micromètres. Avec le développement de l'usinage de précision ou de la technique de micro-fabrication, les échangeurs de chaleur à micro canaux ont été de plus en plus utilisés dans différentes disciplines scientifiques telles que la biotechnologie, les sciences chimiques physiques et physiques, les techniques de détection, les technologies électroniques.

Les micro canaux sont constitués d'un dissipateur de chaleur fabriqué d'un solide de grandes conductivités thermiques telles que le silicium ou le cuivre avec les micro canaux usinés au sein du solide. Le liquide de refroidissement est forcé à passer à travers ces canaux pour évacuer la chaleur générée dans la surface chaude en contact avec la paroi inférieure du dissipateur. Un dissipateur de chaleur à micro canaux contient généralement un grand nombre de micro canaux parallèles [24].

Le concept des micro canaux n'est pas nouveau puisqu'il a été introduit vers 1980 par les chercheurs Tuckerman et Pease. Pour démontrer le potentiel de refroidissement de ces structures, ils ont fabriqué un échangeur de  $(1 \times 1 \text{ cm}^2)$  en silicium, composé de canaux et d'ailettes de 0.05 mm de largeur pour une hauteur de 0.3 mm, soit 50 canaux en tout. En utilisant de l'eau comme fluide caloporteur, cet échangeur était capable de dissiper  $790 \text{ W/cm}^2$  en ayant un écart maximal de température de  $71^\circ\text{C}$  au niveau du composant chauffant par rapport à la température de l'eau. Compte tenu du faible débit employé de 500 mL/min,

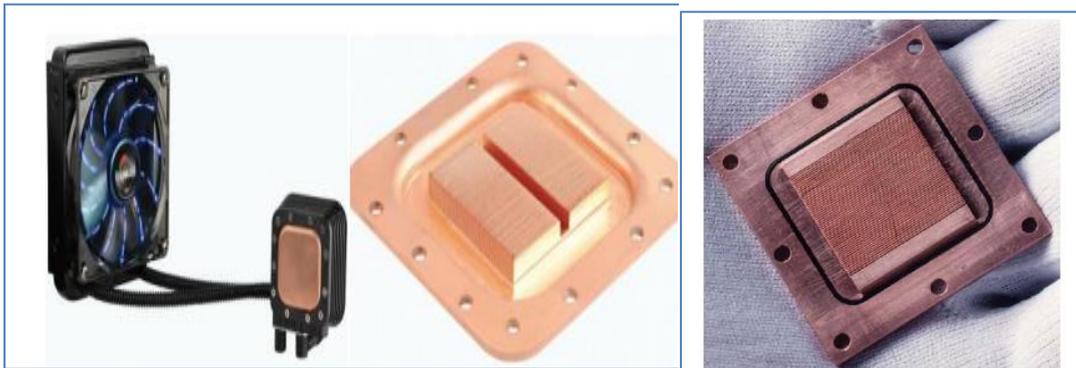
## Chapitre I : Etude bibliographique

la perte de charge de l'échangeur à ce débit valait 2.14 bars. La résistance thermique de cet échangeur est donc de  $0.089^{\circ}\text{C}/\text{W}$ .

Les échangeurs à micro canaux/microstructures constituent donc une méthode innovante pour le transfert de grosses puissances thermiques issues de petites surfaces vers un fluide caloporteur.

L'échangeur est couramment fabriqué dans un matériau à haute conductivité thermique comme l'aluminium, le cuivre ou le silicium. Ces canaux sont réalisés par micro-usinage et autres technique complexes de micro fabrication telle que l'ablation laser, le plasma, l'épitaxie, la gravure chimique, l'érosion, le dépôt de vapeur, etc.

Ils ont des dimensions de passage qui varient de 1 mm à 0.001 mm dans lesquels circulera un fluide chargé d'évacuer la puissance absorbée vers un radiateur ou un condenseur. Ces échangeurs combinent à la fois une énorme surface d'échange par rapport à leurs dimensions générales (rapport surface/volume important), un très grand coefficient d'échange convectif, un faible encombrement, une faible masse et enfin un faible besoin en débit (de quelques m L /min à 1 L/min en général). Toutes ses caractéristiques attrayantes les rendent tout à fait adaptés pour être intégrés facilement et pour refroidir efficacement les processeurs, les lasers, les gros électro-aimants, etc. Les microcanaux peuvent être fabriqués à partir du verre, de polymères, ou de silicium [25].



**Figure I.10** : Refroidissement liquide à micro-canaux.

- **Refroidissement par mini canaux** : le refroidissement par mini canaux nous paraît la technique la mieux adaptée pour nos travaux. En effet, cette technique est la plus simple à réaliser. Toutefois la principale raison qui nous a amené à faire ce choix est la possibilité de limiter le volume de fluide dans ce genre de refroidisseur.

## Chapitre I : Etude bibliographique

Ce paramètre est important car, comme nous l'avons dit, la masse volumique de ce fluide est assez grande et de plus il est très cher.



**Figure I.11** : Refroidissement liquide à mini-canaux.

Le refroidissement par mini et micro canaux a aujourd'hui prouvé qu'il constitue un moyen très intéressant pour la gestion thermique de l'électronique de puissance. En effet, des densités de flux de chaleur de plusieurs centaines de  $W \cdot cm^{-2}$  peuvent être évacuées grâce à cette technique. Les minis et micro canaux peuvent être de forme plus ou moins élaborée suivant l'effet recherché et la technique de fabrication utilisée. La forme la plus simple est constituée par des canaux rectangulaires axiaux en parallèle [26].

**Tableau I.1** : Classification du canal selon le diamètre hydraulique [25].

Canaux conventionnels	$D_h > 3mm$
Mini canaux	$200 \mu m < 3 mm$
Micro canaux	$10 \mu m < 200 \mu m$

### I.5.2.3. Refroidissement diphasique : Les caloducs

Un caloduc est un conducteur thermique, bien plus efficace que les métaux, servant à transporter la chaleur d'une source chaude vers une source froide, par le principe de changement de phase d'un fluide caloporteur. Le caloduc est un dispositif statique permettant le transfert de flux thermiques très élevés avec un faible gradient thermique. Le principe du caloduc est basé sur la circulation d'un liquide en équilibre avec sa vapeur entre une région chauffée, l'évaporateur, et une région refroidie, le condenseur, le tout en l'absence d'air. Alors que la vapeur se déplace grâce à la différence de pression entre l'évaporateur et le

## Chapitre I : Etude bibliographique

condenseur, le condensat retourne alors vers l'évaporateur sous l'effet de forces. La circulation de ce liquide est induite soit par effet de la gravitation, soit par effet capillaire.

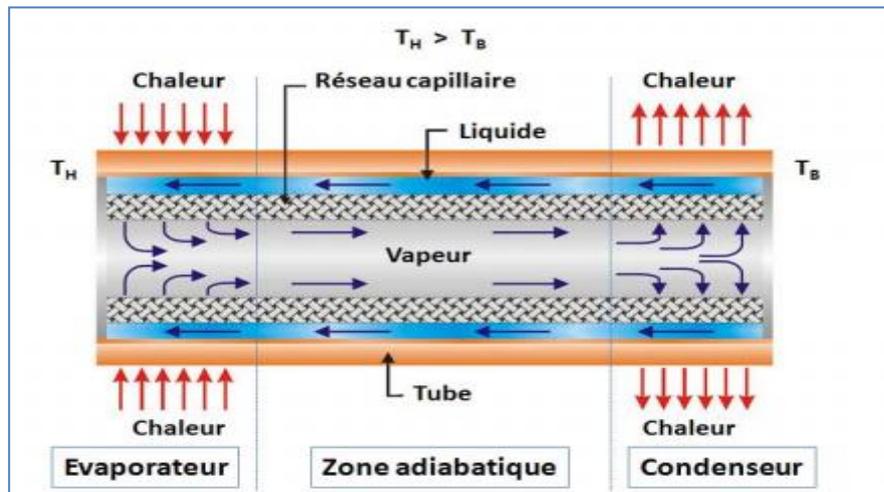


Figure I.12 : Schéma de caloduc classique [13].

### I.6. Matériaux des composants électroniques pour refroidissement :

Les composants électroniques deviennent plus puissants et plus sophistiqués, ainsi qu'actifs ou passifs qui entrent dans leur fabrication. Ces matériaux électroniques occupent une place prépondérante microprocesseurs, fait par exemple, transistors à effet de traitement du signal courir dans les semi-conducteurs comme le silicium. Autres semi-conducteurs (III-v et l'arséniure de gallium, if-GE ou SiC) également développent et sont utilisés dans d'autres domaines tels que l'optoélectronique ou fours à micro-ondes en raison du mouvement des grands propriétaires et vitesse de transfert et des fréquences de fonctionnement plus élevés. Le premier article de ce chapitre explique les particularités du carbure de silicium, et nouveau semi-conducteur utilisé pour l'électronique de puissance.

Matériaux céramiques pour l'électronique faisant une variété de composants tels que des capteurs ou des condensateurs. Céramiques piézoélectriques/Ferro issus des oxydes métalliques, des effets mécaniques sont cadre réversible de champ électrique. Ces matériaux sont utilisés dans les industries spatiales de capteurs (pression, accélération) et de voitures ou de moteurs. Les ferro/piézoélectriques sont également utilisés dans les condensateurs céramiques en raison d'une hauteur fixe.

On peut obtenir ces matériaux céramiques de terre-gel précurseur. Principe fondamental du processus gèle sol est simple. Et forme un réseau de solution de polymérisation oxydes précurseurs moléculaires. Rédaction en solution de chimie permet également d'accéder à une

## Chapitre I : Etude bibliographique

---

nouvelle classe de matériaux, nommé hybrides. Permettre à ces couches minces précurseur d'oxydes.

À l'aide de matériaux magnétiques, également de la céramique, reste aujourd'hui essentiel à la production et l'utilisation de l'énergie électrique. Ils sont également utilisés intensivement comme plusieurs couches ou couches mince pour lire ou écrire ou stockage de l'information (ordinateurs, audio vidéo...etc.) [27].

### **I.7. Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons vu à travers cette étude bibliographique, l'influence des nano fluide pour l'amélioration des échanges thermique à cause de ces propriétés physiques, thermiques.

**CHAPITRE II**

**MODELISATION MATHEMATIQUE**

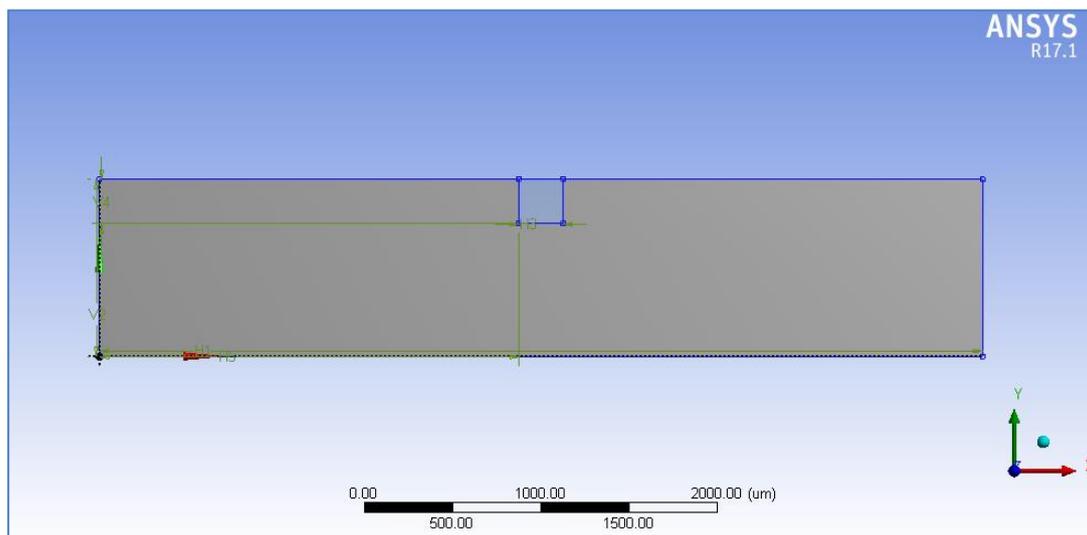
## II.1. Introduction :

Le transfert de chaleur par convection est une forme d'énergie. Transférer de l'énergie entre une surface solide et un fluide, soit un liquide ou un gaz.

Dans ce chapitre, nous introduisons la géométrie étudiée suivie par les équations de la modélisation mathématique qui régissent le flux et le transfert de chaleur, où les équations de conservation pour la masse, la quantité de mouvement, l'énergie et les conditions aux limites.

## II.2. La géométrie du problème étudié :

La configuration représente un micro canal selon le modèle (II.1). C'est un canal rectangulaire. La paroi supérieure qui relie les composants électroniques est maintenue à un flux de chaleur constant (voir tableau condition aux limites). Le fluide qui coule dans le micro canal est constitué d'eau avec une fraction des nanoparticules de cuivre. Nous voulons comparer le changement des paramètres hydrodynamique et thermique, par l'addition des composants initialement un jusqu'à 3 composants. Voir les figures (II.1), (II.2), (II.3).

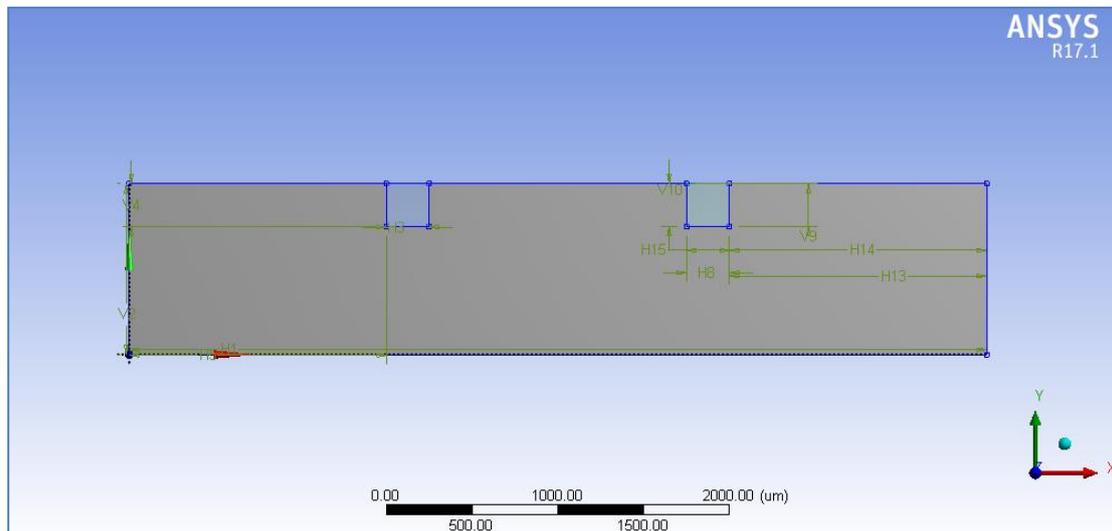


**Figure II.1 :** Présentation de la géométrie du micro canal un seul composant électronique.

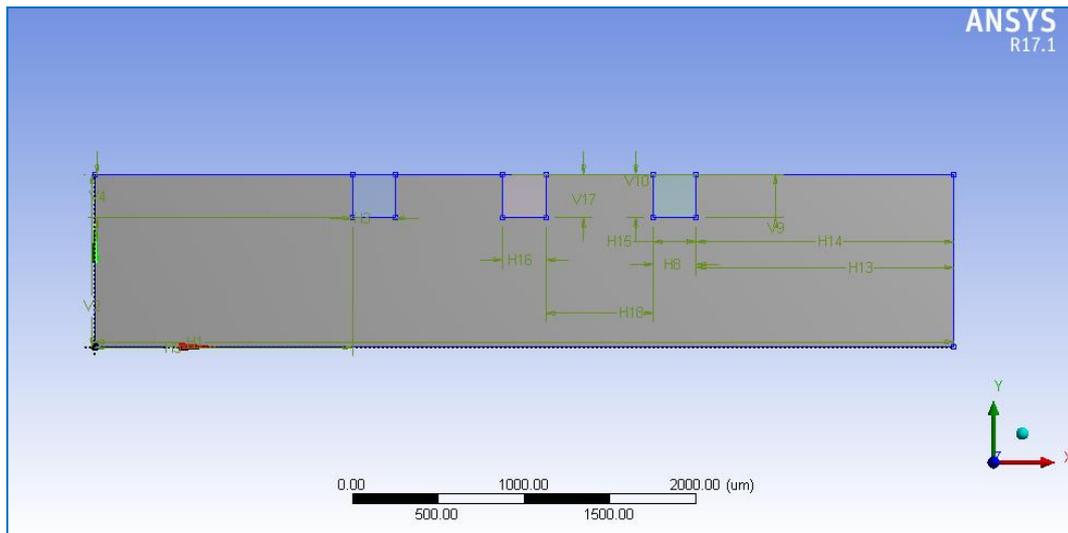
## Chapitre II : Modélisation mathématique

**Tableau II.1** : Dimensionnement de micro canal étudié un seul composant électronique

$H_1$	$H_5$	$H_3$	$V_2$	$V_4$
Longueur total (L) est de 5mm	Largeur du canal est de 2,375mm	Distance entre les canaux est de 0,25mm	Hauteur total (H) est de 1mm	Hauteur du canal est de 0,25mm

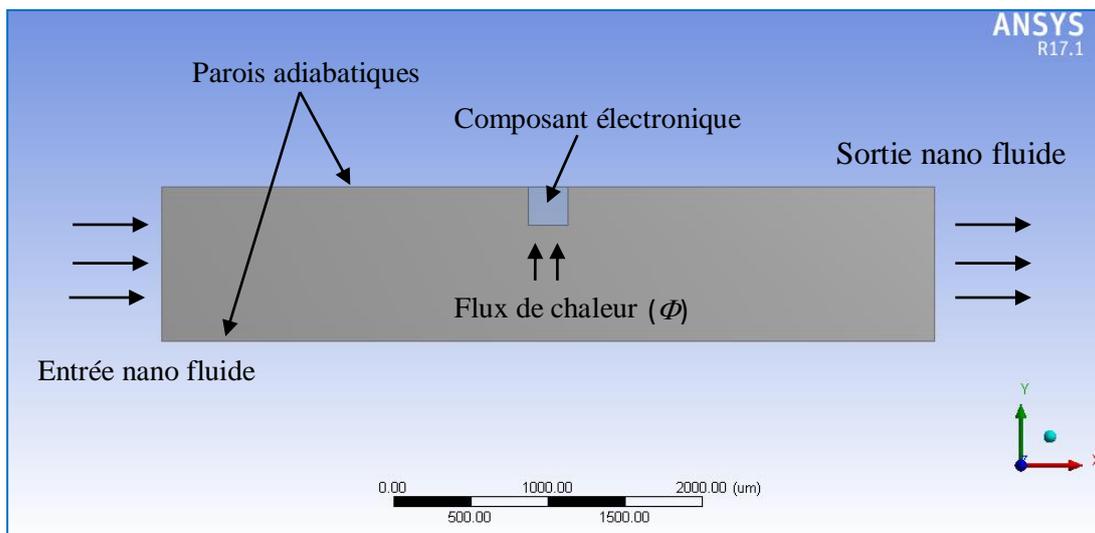


**Figure II.2** : Présentation de la géométrie du micro canal (Deux composant électronique).



**Figure II.3 :** Présentation de la géométrie du micro canal

(Trois composants électronique).



**Figure II.4 :** Présentation du mouvement du nano fluide dans le micro canal avec les conditions aux limites.

### II.3. Formulation mathématique du problème :

La formulation mathématique des phénomènes de la convection est basée sur des équations qui relient les différents paramètres: pression, température et vitesse. Ces équations découlent de lois de conservation de masse, de conservation de la quantité de mouvement et de l'énergie.

#### II.3.1. Hypothèses simplificatrices :

Afin de résoudre la solution des équations qui contrôlent le flux de nanoparticules, on va adopter les hypothèses de simplification suivantes :

- L'écoulement est stationnaire et bidimensionnel.
- Le fluide est Newtonien et incompressible.
- L'écoulement engendré est laminaire.
- Le flux de la source de chaleur est constant dans le temps.
- Le transfert de chaleur par rayonnement est négligeable.
- La puissance volumique dissipée est négligeable.
- Le travail, induit par les forces visqueuses et de pression, est négligeable.
- La masse volumique du fluide varie linéairement avec la température.

Cette variation est donnée par la relation :

$$\rho = \rho_0[1 - \beta(T - T_0)] \quad \text{II.1}$$

D'où:

$T$ : Représente la température du fluide en un point donné du système.

$T_0$ : La température de référence.

$\rho_0$ : La masse volumique du fluide.

$\beta$ : Le coefficient d'expansion volumique thermique du fluide, il est donné par :

$$\beta = -\frac{1}{\rho_0} \left( \frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p \quad \text{II.2}$$

On utilise une hypothèse simplificatrice connue par l'hypothèse de Boussinesq, qu'elle dit: « la masse volumique du fluide est supposée constante dans les équations hydrodynamiques, sauf dans le terme générateur de la convection naturelle, ou ses variations induisent directement des forces de poussée d'Archimède. Toutes les autres caractéristiques thermo-physiques du fluide (la viscosité dynamique  $\mu$ , la conductivité thermique  $k$  et la chaleur massique à

## Chapitre II : Modélisation mathématique

pression constante  $C_p$ ) sont considérées comme constantes et définies à la température de référence »[10].

### II.3.2. Equation de continuité :

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

### II.3.3: Equation de quantité de mouvement :

- Equation de la conservation de la quantité de mouvement suivant x :

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{1}{\rho_{nf}} \left[ -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu_{nf} \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \right] \quad \text{II.4}$$

- Equation de la conservation de la quantité de mouvement suivant y :

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = \frac{1}{\rho_{nf}} \left[ -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu_{nf} \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + (\rho\beta)_{nf} g(T - T_0) \right] \quad \text{II.5}$$

### II.3.4 : Equation de l'énergie :

L'équation de l'énergie est obtenue en appliquant le principe de la conservation de l'énergie dans la direction x et y comme suit :

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha_{nf} \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad \text{II.6}$$

## II.4. Introduction au transfert thermique par convection interne :

L'objet de cette introduction est de donner, comment l'écriture sous forme adimensionnelle de l'équation de transport de la chaleur fait apparaître les nombres sans dimensions caractéristiques de la convection dans les fluides. On y rappelle aussi ce qui caractérise les différents régimes de convection forcée, naturelle et mixte. Ce paragraphe se termine par la liste des principaux nombres sans dimension utiles en convection thermique. Lorsque le champ de vitesse est imposé, le champ de température est totalement dépendant de celui-ci. Cette situation est celle de la convection forcée dans laquelle la vitesse est donc insensible aux variations de température dans le fluide. La température obéit alors à une équation de transport:

$$\rho C_p \frac{DT}{Dt} = \lambda \nabla^2 T + \Phi_s \quad \text{II.7}$$

## Chapitre II : Modélisation mathématique

---

Ou' :

$$\frac{DT}{Dt} = \frac{\partial T}{\partial t} + (\vec{V} \cdot \vec{\nabla})T \quad \text{II.8}$$

Le dernier terme représente un éventuel terme source pouvant résulter d'une réaction chimique, de l'effet Joule si le fluide est métallique ou de la contribution des forces visqueuses si l'écoulement est supersonique ( $\Phi_s$  est en  $W \cdot m^{-3}$ ).

Lorsque le champ de vitesse est crée par le champ de température, on dit que la convection est naturelle, et la vitesse obéit à :

$$\rho \frac{D\vec{V}}{Dt} = -\vec{\nabla}p + \mu \nabla^2 \vec{V} - \rho g \beta (T - T_{ref}) \vec{g} \quad \text{II.9}$$

Ou' le dernier terme représente la poussée d'Archimède par unité de volume fluide.

### écriture adimensionnelle des équations

-En convection forcée:

Si la distribution de vitesse n'est pas connue, on peut la chercher par résolution des équations de Navier-Stokes. En choisissant les variables adimensionnelles suivantes :

$$T^+ = \frac{T - T_{ref}}{\Delta T}; U^+ = \frac{U}{U_{ref}}; x^+ = \frac{x}{L_{ref}}; p^+ = \frac{P}{\rho U_{ref}^2}; t^+ = \frac{t}{L_{ref}/U_{ref}}$$

L'équation de la vitesse devient :

$$\frac{D\vec{V}^+}{Dt^+} = -\vec{\nabla}p^+ + \frac{1}{Re} \nabla^2 \vec{V}^+ \quad \text{II.10}$$

Ou' le nombre de Reynolds est tel que

$$Re = \frac{U_{ref} L_{ref}}{\nu} \quad \text{II.11}$$

La solution obtenue peut ensuite être introduite dans l'équation de T qui, en écriture adimensionnelle, devient:

$$\frac{\rho C_p \Delta T}{L_{ref} U_{ref}} \cdot \frac{DT^+}{Dt^+} = \frac{\lambda \Delta T}{L_{ref}^2} \Delta^2 T^+ + \Phi_s^+ \quad \text{II.12}$$

## Chapitre II : Modélisation mathématique

---

Soit encore :

$$\frac{DT^+}{Dt^+} = \frac{1}{Pe} \nabla^2 T^+ + \Phi_s^+ \quad \text{II.13}$$

Ou'  $Pe$  désigne le nombre de Péclet:

$$Pe = \frac{L_{ref} U_{ref}}{\alpha} \quad \text{Avec} \quad \alpha = \frac{\lambda}{\rho C_p} \text{ diffusivité thermique du fluide. Le terme } \Phi_s^+ \text{ est tel}$$

$$\text{que } \Phi_s^+ = \frac{\Phi_s L_{ref}}{U_{ref} \Delta T \rho C_p}$$

-En convection naturelle:

L'utilisation des mêmes grandeurs adimensionnelles transforme l'équation de Navier-Stokes ainsi :

$$\frac{D\vec{V}^+}{Dt} = -\vec{\nabla} p^+ + \frac{1}{Re} \nabla^2 \vec{V}^+ + \frac{g\beta\Delta T L}{U_{ref}^2} T^+ \quad \text{II.14}$$

Il reste toutefois à déterminer  $U_{ref}$  qui n'est pas imposée par un mécanisme externe mais par la convection naturelle elle-même.

Si l'écoulement est rapide ( $Re, Gr \gg 1$ ), on peut postuler un équilibre entre les forces d'inertie et la poussée d'Archimède soit:

$$\frac{\rho U^2}{L_{ref}} \approx \rho g \beta \Delta T \rightarrow U_{ref} = \sqrt{g \beta \Delta T L_{ref}} \quad \text{II.15}$$

De sorte que Navier-Stokes devient:

$$\frac{D\vec{U}^+}{Dt^+} = -\vec{\nabla} p^+ + \frac{1}{Gr^{1/2}} \nabla^2 \vec{U}^+ - T^+ \vec{g}^+ \quad \text{II.16}$$

Ou' le nombre de Grashof est défini par:  $Gr = \frac{g\beta\Delta T L^3}{\nu^2}$

L'équation de la température devient alors:

$$\frac{DT^+}{Dt^+} = \frac{1}{Gr^{1/2} Pr} \nabla^2 T^+ + \Phi_s^+ \quad \text{II.17}$$

Ou' le nombre de Prandtl est défini par  $Pr = \frac{\nu}{\alpha}$

Si l'écoulement est lent (faible Grashof et Reynolds), un choix judicieux de l'échelle de vitesse consiste à équilibrer les forces visqueuses et d'Archimède ce qui donne

$$\mu \frac{U}{L^2} \approx \rho g \beta \Delta T . \text{ L'échelle de vitesse est alors:}$$

## Chapitre II : Modélisation mathématique

$$U_{ref} = \frac{g\beta\Delta TL^2}{\nu} \quad \text{II.18}$$

- Convection mixte:

Lorsque de la convection naturelle se superpose à de la convection forcée, la question se pose de savoir si un des deux champs de vitesse peut être négligé ou si les deux doivent être pris en considération.

On peut par exemple estimer le rapport des deux vitesses attendues pour chacun des modes de convection pris isolément, soit  $\sqrt{g\beta\Delta TL_{ref}}$  pour la convection naturelle et  $U_0$  pour la convection forcée. On forme ainsi le nombre de Richardson:

$$Ri = \frac{g\beta\Delta TL_{ref}}{U_0^2} \quad \text{II.19}$$

Si  $Ri \gg 1$ , alors la convection naturelle domine alors que si  $Ri \ll 1$ , c'est la convection forcée qui prévaut. Le nombre d'Eckert: pour un écoulement de gaz à grande vitesse (nombre de Mach  $> 0.3$ ), la puissance des forces visqueuses génère de la chaleur, ce qui se traduit par un terme source dans l'équation de T. Le nombre d'Eckert  $Ec = \frac{U_0^2}{c_p\Delta T}$  mesure l'importance de cet effet: si  $Ec \ll 1$ , la contribution des forces visqueuses à l'échauffement du fluide peut être négligée.

Pour l'ensemble des problèmes convectifs, les échanges de chaleur en paroi se mesurent à l'aide du nombre de Nusselt:

$$Nu = \frac{\phi_{reel}}{\lambda\Delta T/L_{ref}} \quad \text{II.20}$$

Où le numérateur désigne le flux de chaleur qui passe effectivement à travers la paroi et le dénominateur le flux qui circulerait si seule la conduction agissait.

En convection forcée, le nombre de Nusselt est de la forme:  $Nu = f(Re, Pr)$ .

En convection naturelle, il s'écrit:  $Nu = f(Gr, Pr)$  ou encore  $Nu = f(Ra, Pr)$  [28].

## Chapitre II : Modélisation mathématique

**Tableau II.2 :** Nombres sans dimension utiles en convection.

Nombres	Formules	Interprétations
Nombre de Reynolds	$Re = \frac{\rho \cdot u \cdot D}{\mu}$	Rapport des forces d'inertie aux forces de la viscosité.
Nombre de Prandtl	$Pr = \frac{Cp \cdot \mu}{\lambda}$	Rapport de la diffusivité Matière à la diffusivité thermique
Nombre de Nusselt	$Nu = \frac{h \cdot L}{\lambda}$	Rapport de la quantité de chaleur échangée par convection à une quantité de chaleur échangé par conduction
Nombre de Peclet	$Pe = \frac{\rho \cdot u \cdot L \cdot Cp}{\lambda}$ $Pe = Re \cdot Pr$	Rapport du transfert de chaleur par convection au transfert de chaleur par conduction
Nombre de Margoulis	$Ma = \frac{h}{\rho \cdot u \cdot Cp}, Ma = \frac{Nu}{Re \cdot Pr}$	Rapport du flux de chaleur à un flux de référence par convection
Nombre de Grashof	$Gr = \frac{\beta \cdot g \cdot \Delta T \cdot \rho^2 \cdot L^3}{\mu^2}$	Remplace le nombre de Reynolds en convection naturelle.
Nombre de Rayleigh	$Ra = \frac{Cp \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot \rho^2 \cdot L^3}{\lambda \cdot \mu},$ $Ra = Gr \cdot Pr$	

### II.5. Nombre de Reynolds:

C'est Reynolds, ingénieur anglais spécialiste de l'hydrodynamique qui introduit ce nombre qui est constamment utilisé dans les calculs d'écoulements. L'écoulement peut être laminaire, transitoire ou turbulent. Dans le premier cas, le fluide s'écoule sous forme de filets parallèles aux parois, dans le troisième cas, la notion de filet n'existe plus, le mouvement des particules de fluide est aléatoire. Et dans le second l'écoulement de fluide est intermédiaire entre laminaire et turbulent.

Pour connaître le régime d'écoulement, nous utilisons le nombre de Reynolds.

## Chapitre II : Modélisation mathématique

---

Ce nombre en fonction de la masse volumique  $\rho$ , de sa viscosité dynamique  $\mu$ , de sa vitesse moyenne, et de diamètre hydraulique [14]. Il s'exprime par la relation suivante:

$$Re = \frac{V \cdot L}{\nu} \quad \text{II.21}$$

$U$  : vitesse moyenne de l'écoulement.

$L$  : Longueur caractéristique.

$\nu$  : viscosité cinématique du fluide.

### II.6. Coefficient d'échange convectif $h$ :

Champ de température dans les solides est entouré de fluide, on peut voir que nous ne pouvons pas résoudre le problème parfaitement : il sera nécessaire de calculer le débit, ce qui est presque impossible. Pour simplifier le problème thermique, il est possible de déterminer le facteur d'échange  $h$ , qui transfère expérimentalement les échangeurs de chaleur de l'intérieur vers l'extérieur. Il est donné dans la relation suivante :

$$\varphi = h \cdot S (T_p - T_f) \quad \text{II.22}$$

Avec :

$\varphi$  La quantité de chaleur.

$h$  Le coefficient d'échange est exprimé en  $W / m^2 \cdot K$ .

$T_p$  Température au point considéré de la paroi.

$T_f$  Température du fluide.

$S$  Surface d'échange thermique.

### II.7. Le nombre de Nusselt :

C'est le rapport entre le flux de chaleur transféré par convection et le flux de chaleur par conduction (Flux de référence). Il est donné dans la relation suivante :

$$Nu = \frac{h \cdot L}{k} \quad \text{II.23}$$

$h$  : Coefficient de convection.

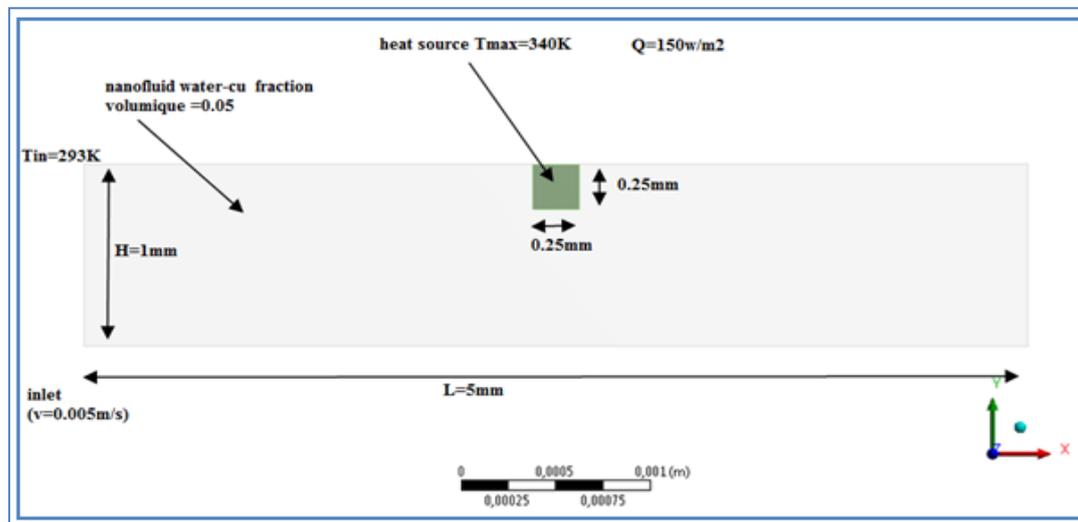
$L$  : Longueur caractéristique.

$k$  : Conductivité thermique du fluide.

### II.8. Conditions aux limites :

Dans ce travail, les conditions aux limites hydrodynamiques et les limites thermiques sont choisies comme suit :

- Le régime d'écoulement est laminaire.
- Le flux de chaleur dissipé par le composant  $\phi = 150\text{w/m}^2$ .
- La température du nano fluide utilisé été fixé  $T_{in}=293\text{K}$  à l'entrée du micro-canal.
- La vitesse est appliquée comme condition de la limite hydrodynamique lors de l'entrée dans le micro-canal.  $v = 0,005\text{m/s}$ .
- Les parois inférieur et supérieur sont adiabatiques.
- le nano fluide utilisé est (eau-Cu) est le fluide qui traverse micro-canal.



**Figure II.5 :** Schéma représentatifs des conditions aux limites (un seul composant électronique).

## Chapitre II : Modélisation mathématique

**Tableau II.3 :** Conditions aux limites hydrodynamiques et thermiques.

Limites	Conditions hydrodynamiques	Conditions thermiques
$x = 0$ à l'entrée de canal $0 < y < H$	$u = U_{en}$  $v = 0$	$T = T_{en}$
$x = L$ à la sortie de canal $0 < y < H$	$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial x} = 0$	$\frac{\partial T}{\partial x} = 0$
$y = 0$ paroi inférieur $0 < x < L$	$u = 0$  $v = 0$	$\frac{\partial T}{\partial y} = 0$
$y = H$ paroi supérieur $0 < x < L$	$u = 0$  $v = 0$	$\frac{\partial T}{\partial y} = 0$

### II.9. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté le modèle physique étudié et les équations régissant le phénomène de la grossesse dans un micro canal horizontal initialement porte un seul élément électronique puis on compare la variation d'allure de la température et vitesses par l'addition des éléments.

**CHAPITRE III**  
**SIMULATION NUMERIQUE**

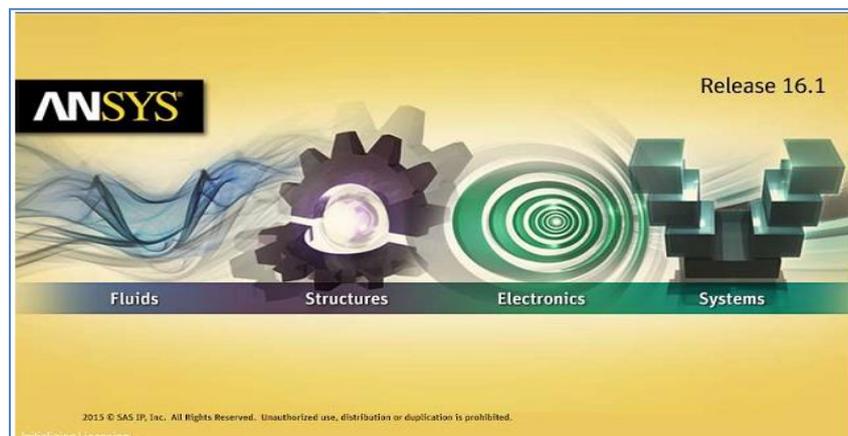
### III.1. Introduction :

Dans ce présent chapitre, on traite de l'étude du refroidissement de composants électroniques, principalement à l'aide du logiciel Workbench ANSYS qui est spécialement destiné à la dynamique des fluides numérique (CFD).

CFD « computational fluid dynamics » ensemble des méthodes numériques pour obtenir une solution approchée pour des problèmes de la dynamique des fluides et transfert de chaleur. Équations de la mécanique des fluides sur ceux résolvent par des méthodes numériques. Il permet de rendre moins hypothèses et approche analytique permet à des problèmes relativement complexes. En outre, beaucoup moins cher qu'une approche expérimentale. En revanche, est limité par l'ordre des méthodes numériques utilisées, signifie arithmétique et modèle de précision. Les efforts et les progrès accomplis dans les méthodes numériques, en particulier dans les CFD depuis, montrant son intérêt. Le CFD préalable mieux identifier et évaluer le problème [24].

### III.2. Procédures du calcul :

Le Workbench permet de gérer les fichiers et le lancement des différents logiciels à partir d'une fenêtre unique



**Figure III.1** : lancement des différents logiciels.

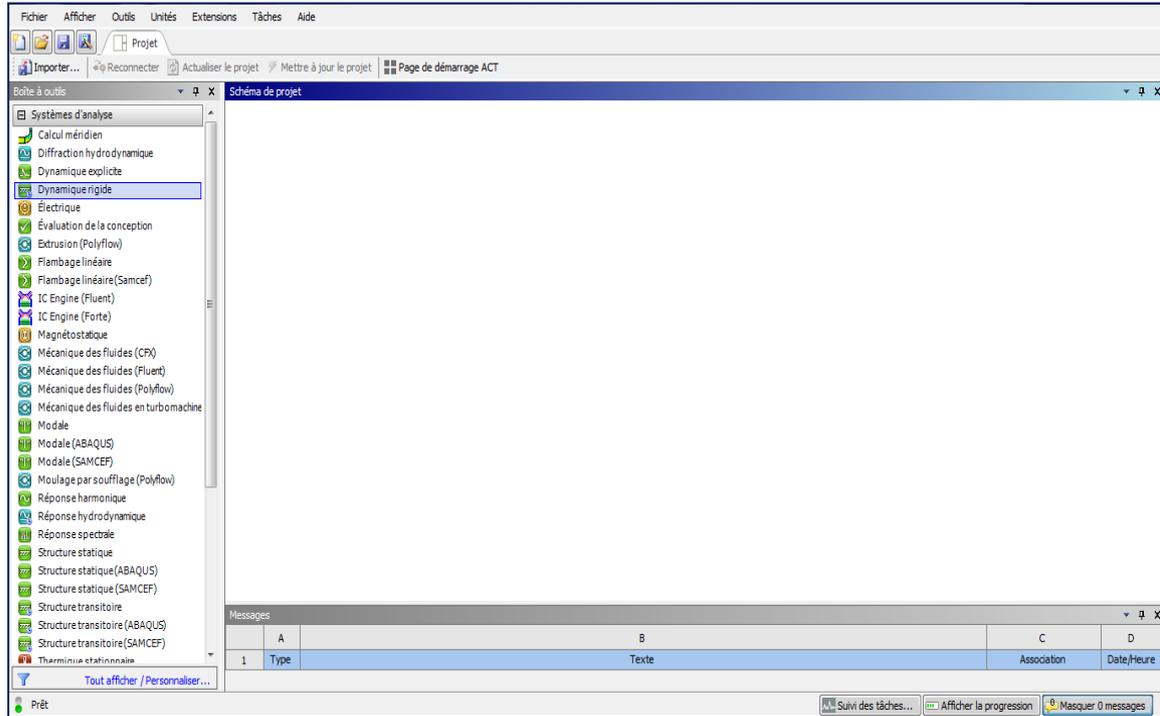
# Chapitre III : Simulation numérique

La structure générale du logiciel est présentée ci-dessous :

## III.2.1. Menu principal du logiciel:

L'interface graphique d'ANSYS Workbench est montrée sur la **Figure III.1**

Et contient les éléments suivants.



**Figure III.2** : Menu principal de Workbench.

## Chapitre III : Simulation numérique

La barre d'outils donne accès à plusieurs systèmes pour l'analyse. Pour commencer à glisser une analyse en mécanique des fluides (fluent) au schéma de projet

(Figure III.2).

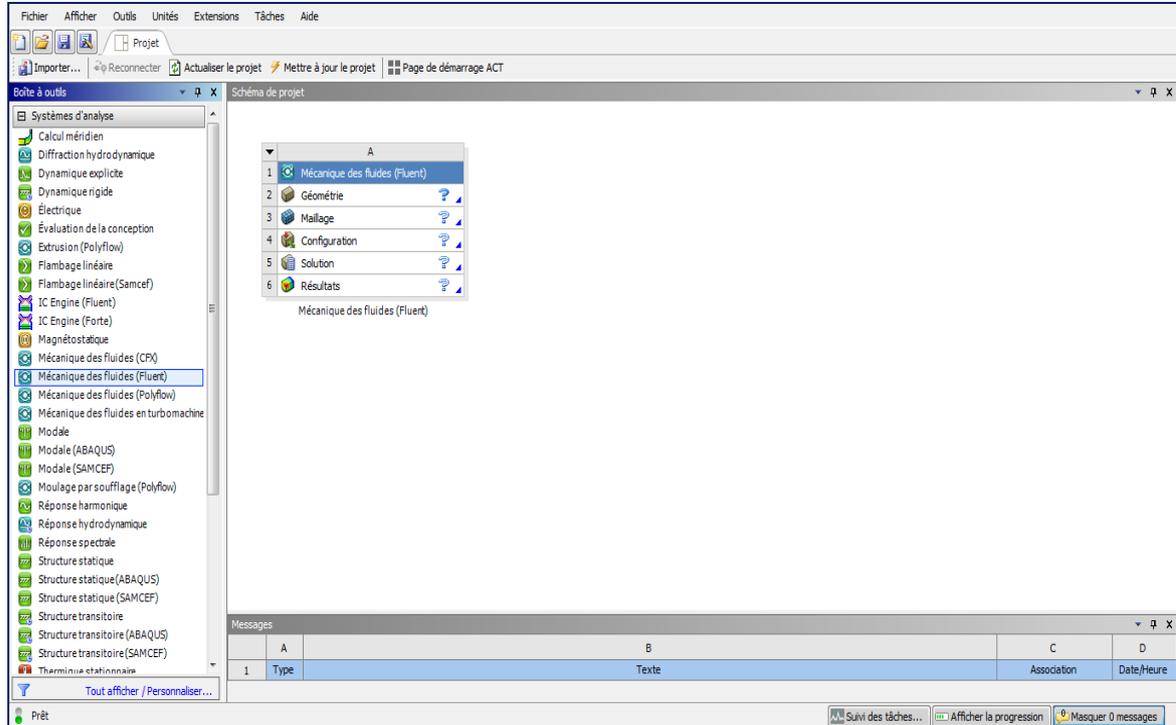


Figure III.3 : Création d'une analyse en mécanique de fluide.

Les étapes de calcul se composent de 5 étapes:

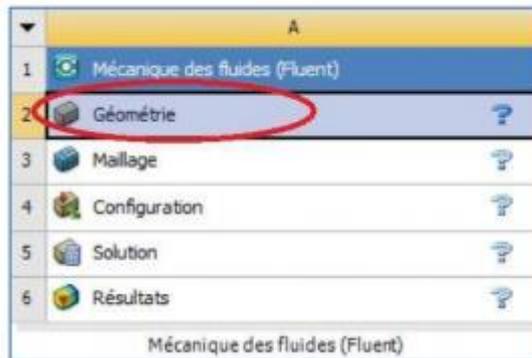
1. **Géométrie** : utilisé pour importer ou de créer ou de modifier ou de mettre à jour un modèle qui peut être utilisé pour l'analyse.
2. **Maillage** : cette cellule est liée à la définition de la géométrie, systèmes de coordonnées et réseau de communication dans le module de simulation mécanique.
3. **Configuration** : permet de définir les charges et conditions aux limites et une autre configuration pour l'analyse.
4. **Solution** : la solution cellulaire permet d'accéder aux données.
5. **Résultats** : cette cellule combine les résultats de l'analyse.

### III.2.2. Création de la géométrie :

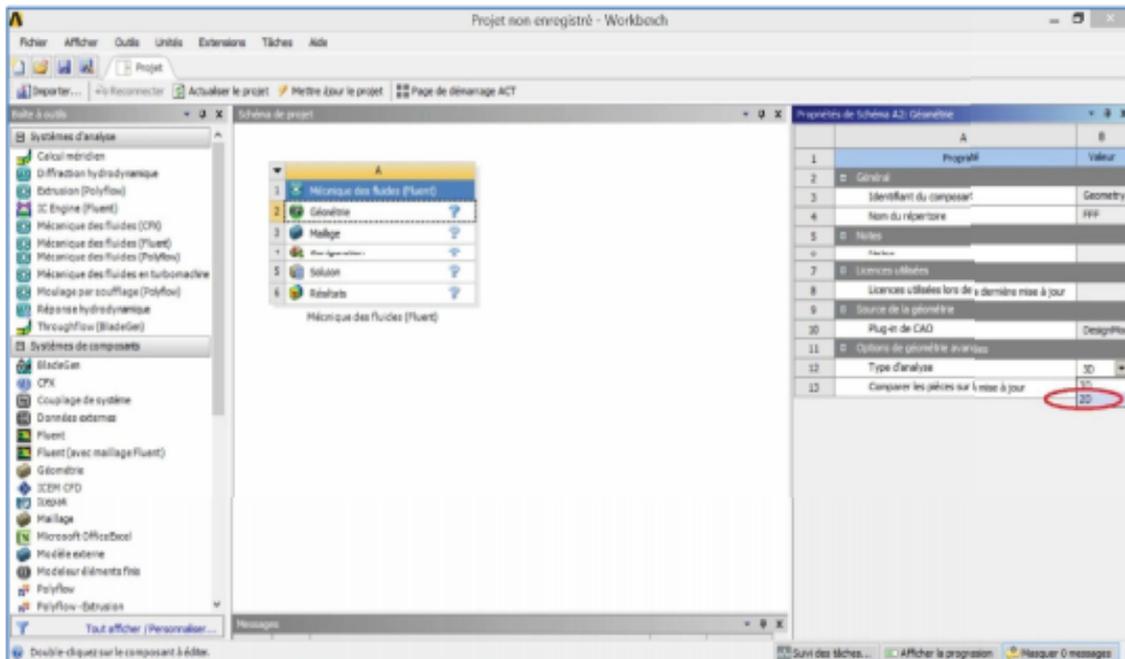
Pour créer une géométrie avec ANSYS Workbench double-clique sur la géométrie pour ouvrir le module de création géométrique «Design Modeler » (figures :( III.3), (III.4), (III.5) 2D. Il faut préciser que l'on va travailler en 2D ou 3D.

## Chapitre III : Simulation numérique

2  Geometry	CAO – Création de la géométrie	ANSYS DesignModeler
3  Mesh	Maillage	ANSYS Meshing
4  Setup	Mise en données et simulation	ANSYS Fluent
5  Solution	Résultats CFD	
6  Results	Post-traitement	CFDPost



**Figure III.4 (a, b):** Création d'un projet en mécanique de fluide.



**Figure III.5 :** Création du modèle géométrique (Design Modeler).

Une fois que nous ouvrons le module pour créer une géométrie, nous sélectionnons le millimètre comme unité de dimension.

# Chapitre III : Simulation numérique

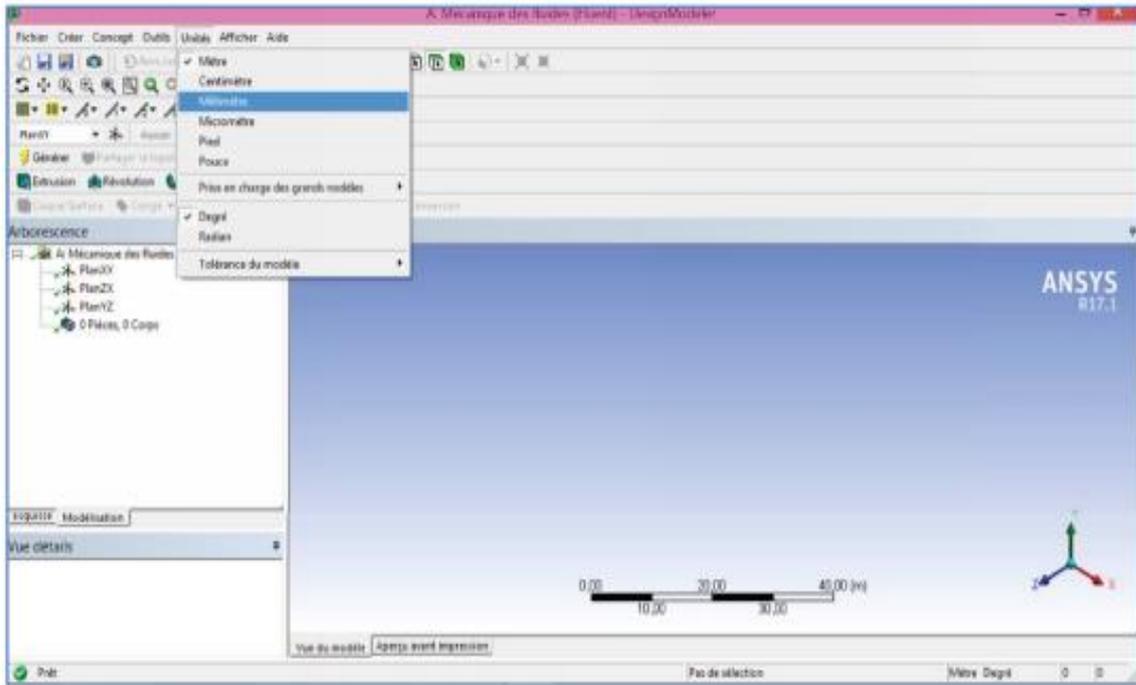


Figure III.6 : Création du modèle de la géométrie.

Plus tard, nous prévoyons et vue sur la façon dont nous travaillons, nous cliquons sur le plan XY.

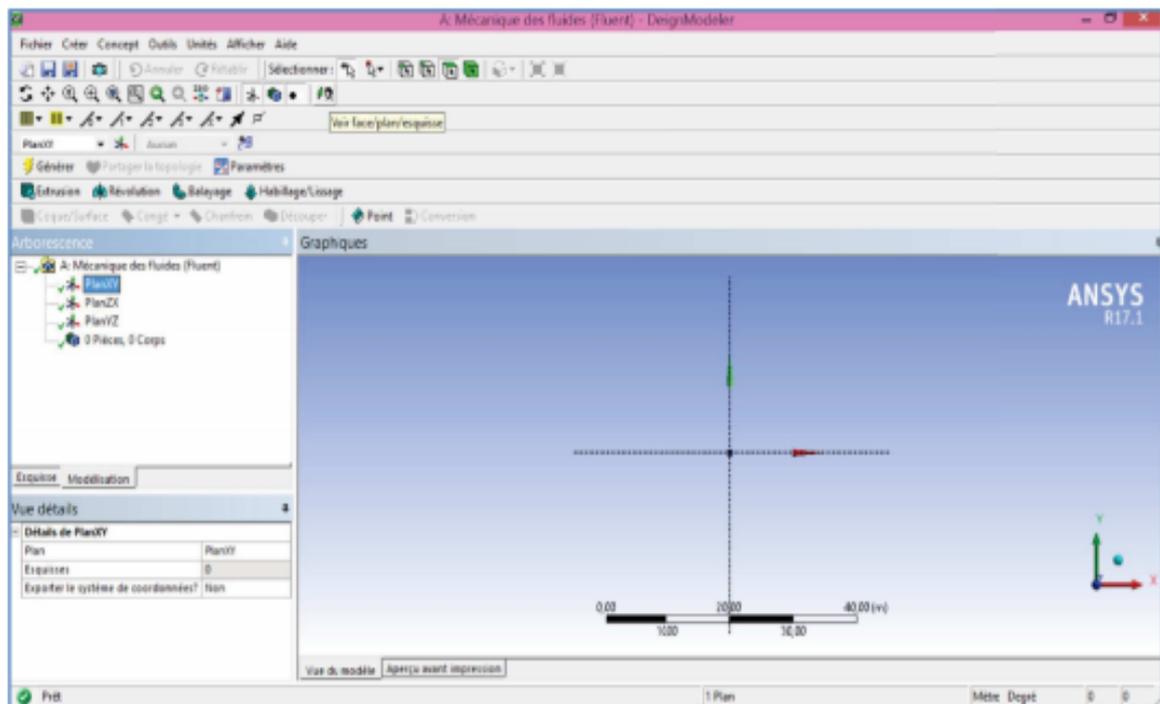


Figure III.7 : Création du modèle (plan de vue).

## Chapitre III : Simulation numérique

Cliquez sur le tirage au sort sur la boîte à outils dessin nous permettra de créer une géométrie, nous indiquons les dimensions et convaincantes ;

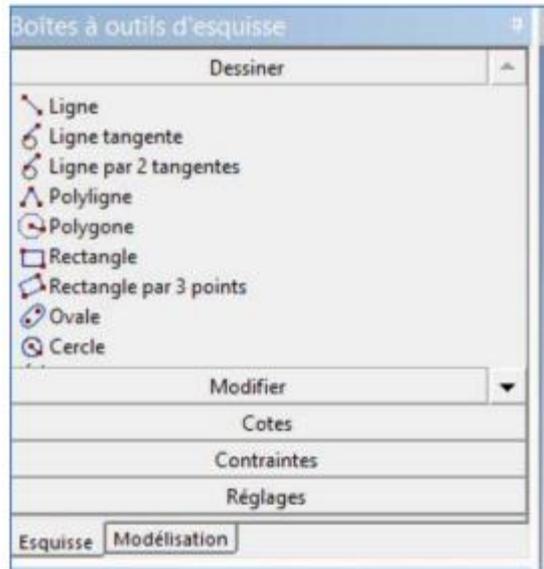


Figure III.8 : Création d'esquisse.

On obtient cette esquisse ;

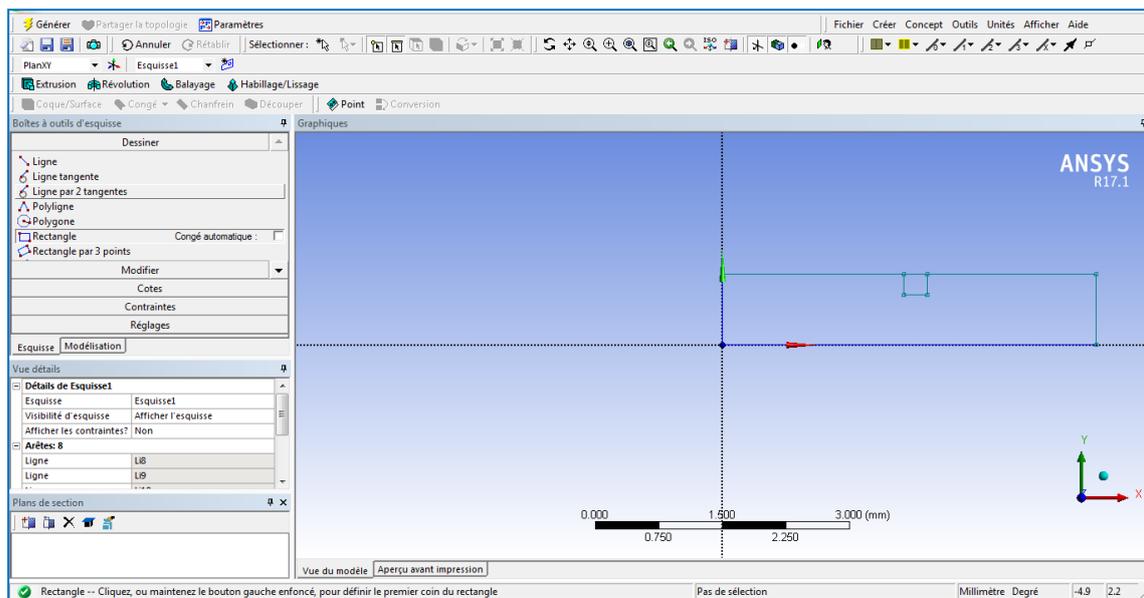


Figure III.9 : Création d'esquisse.

# Chapitre III : Simulation numérique

Sélectionnons les cotes à la géométrie comme suit ;

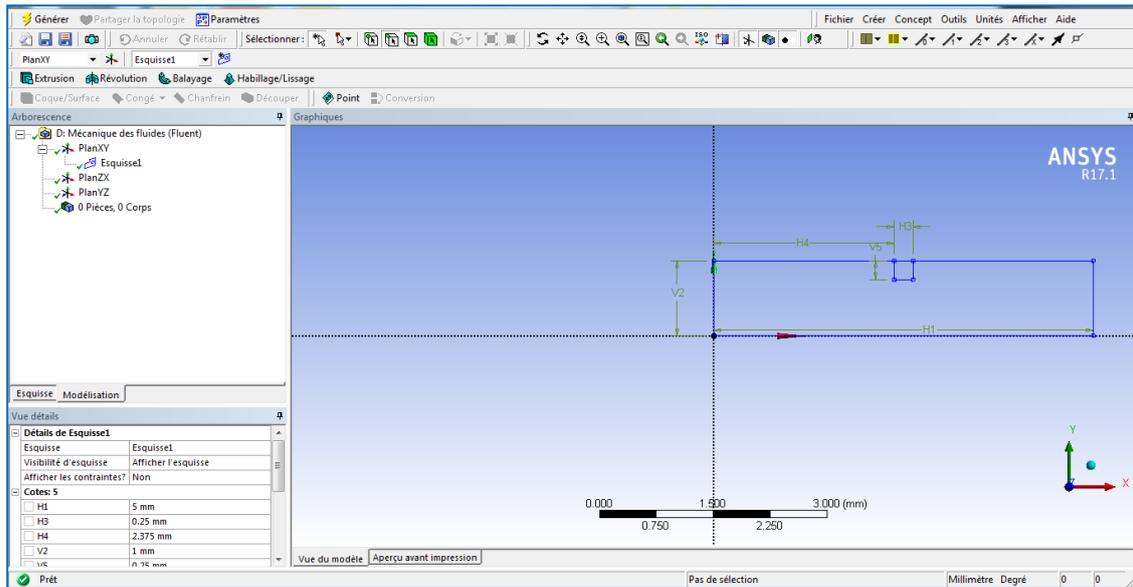


Figure III.10 : Définition des cotes du micro canal un seul composant électronique.

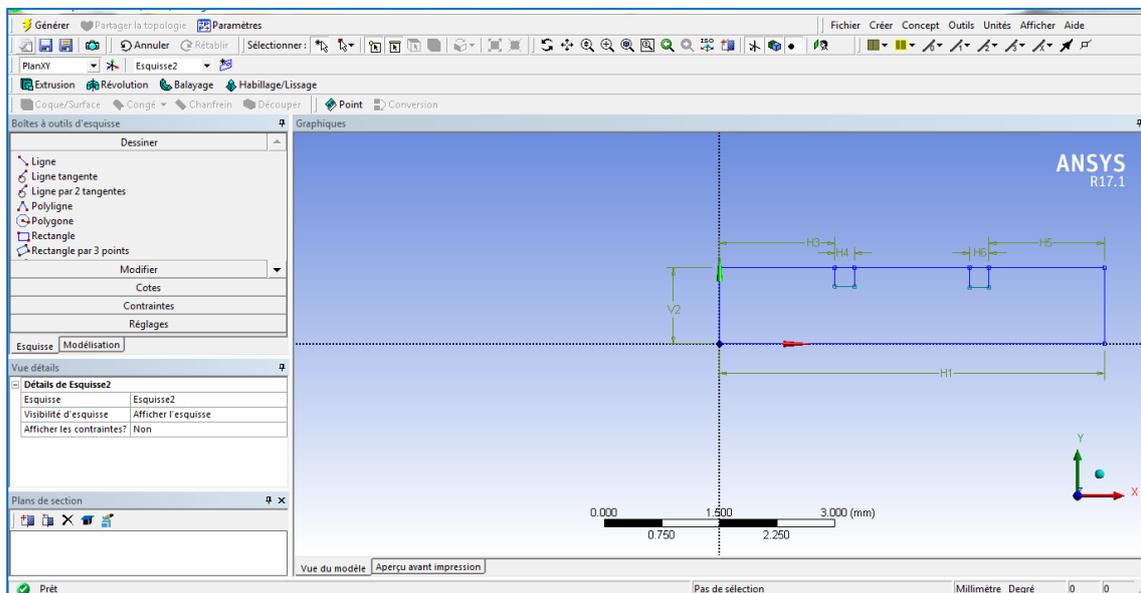


Figure III.11 : Définition des cotes du micro canal deux composants électroniques.

# Chapitre III : Simulation numérique

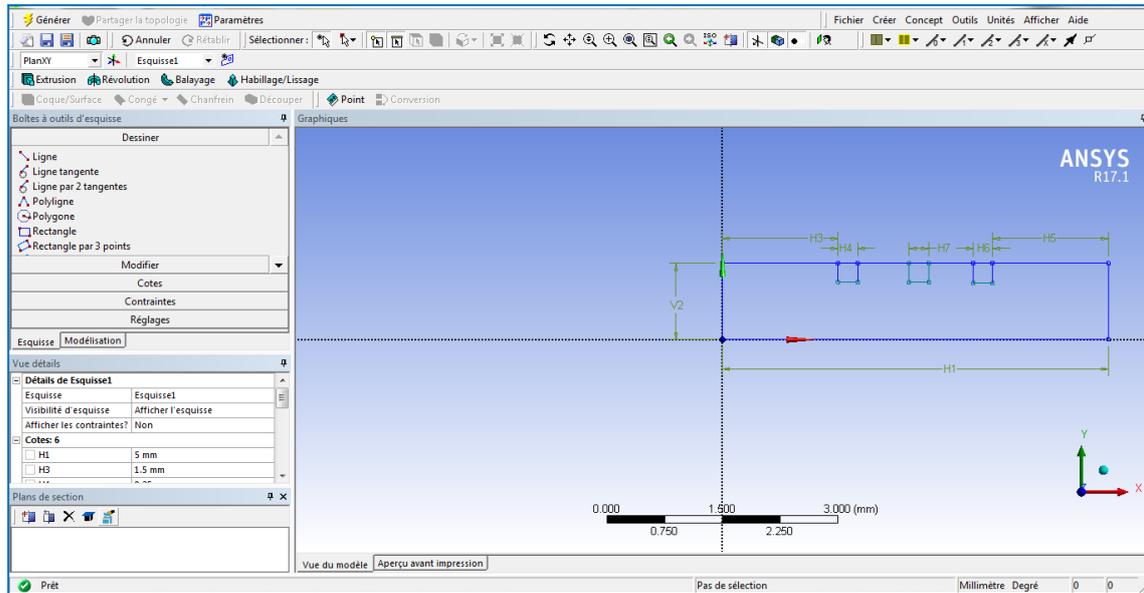


Figure III.12 : Définition des cotes du micro canal trois composants électroniques.

Maintenant nous allons créer vont circuler dans la zone ou le liquide, la surface entourée d'un green fee et préoccupée par la surface non. La définition des sur faces se fait dans le menu Concept → Surface à partir d'esquisse → Esquisse I → Appliquer → Générer.

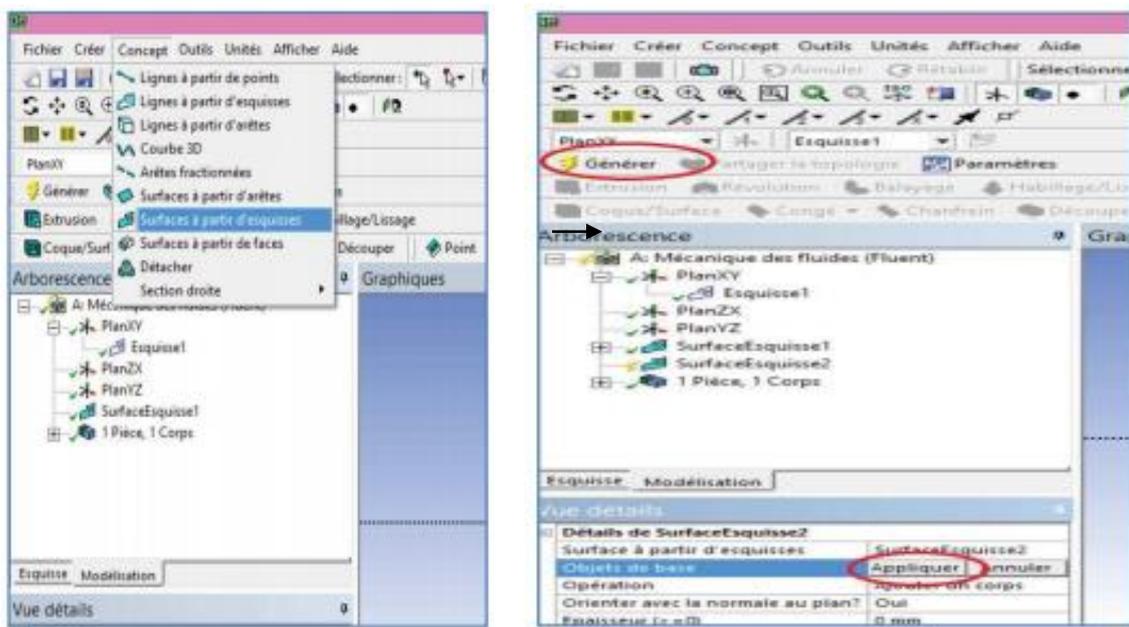


Figure III.13 : Définition des surfaces.

# Chapitre III : Simulation numérique

L'espace vert reflète l'espace occupé par le fluide.

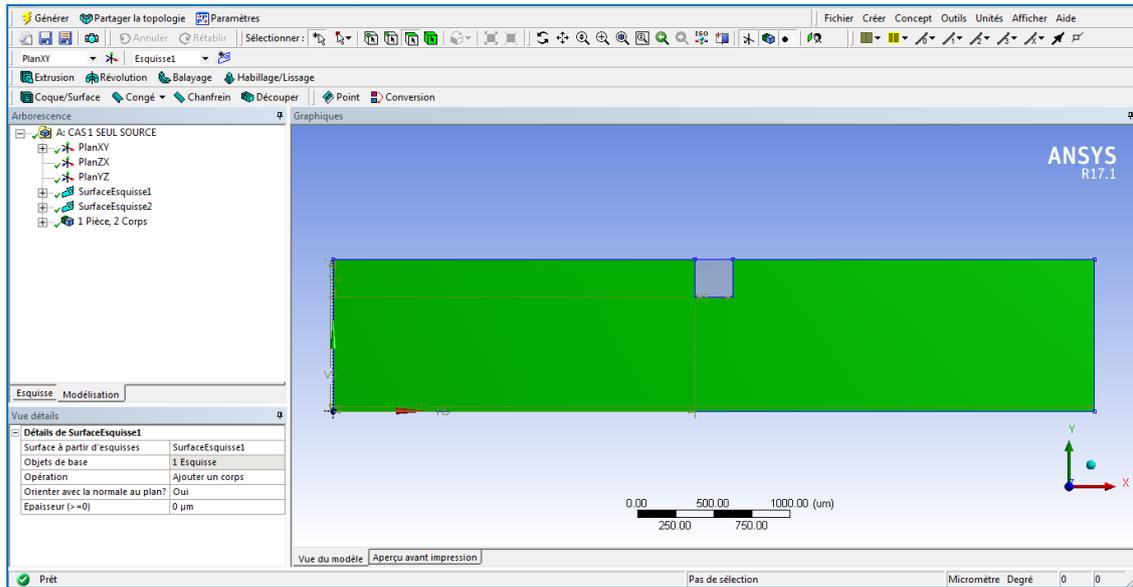


Figure III.14 : Définition des surfaces à mailler un seul composant électronique.

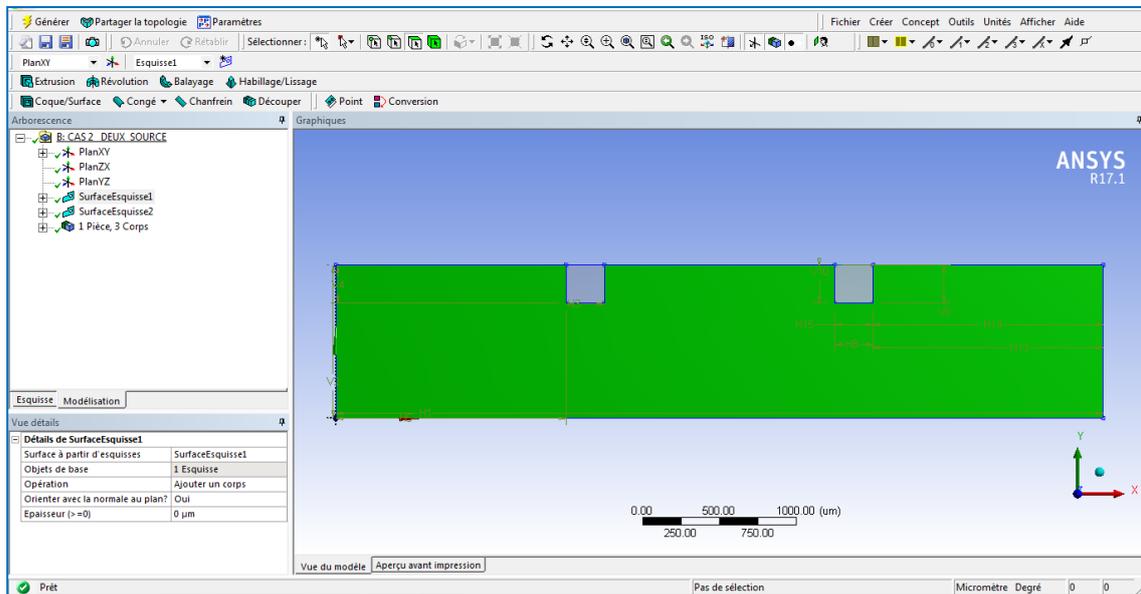
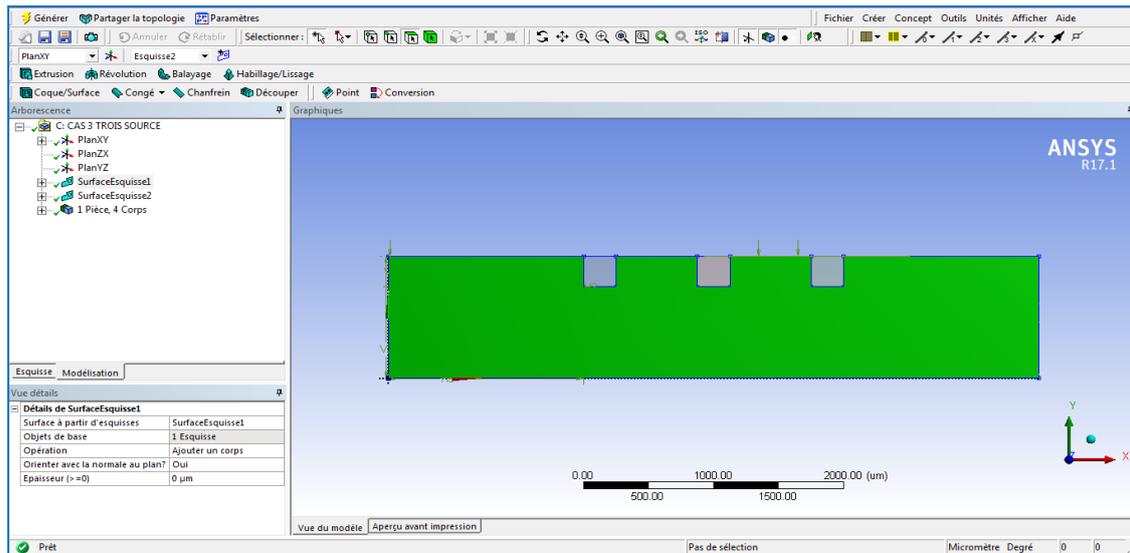


Figure III.15 : Définition des surfaces à mailler deux composants électroniques.

# Chapitre III : Simulation numérique

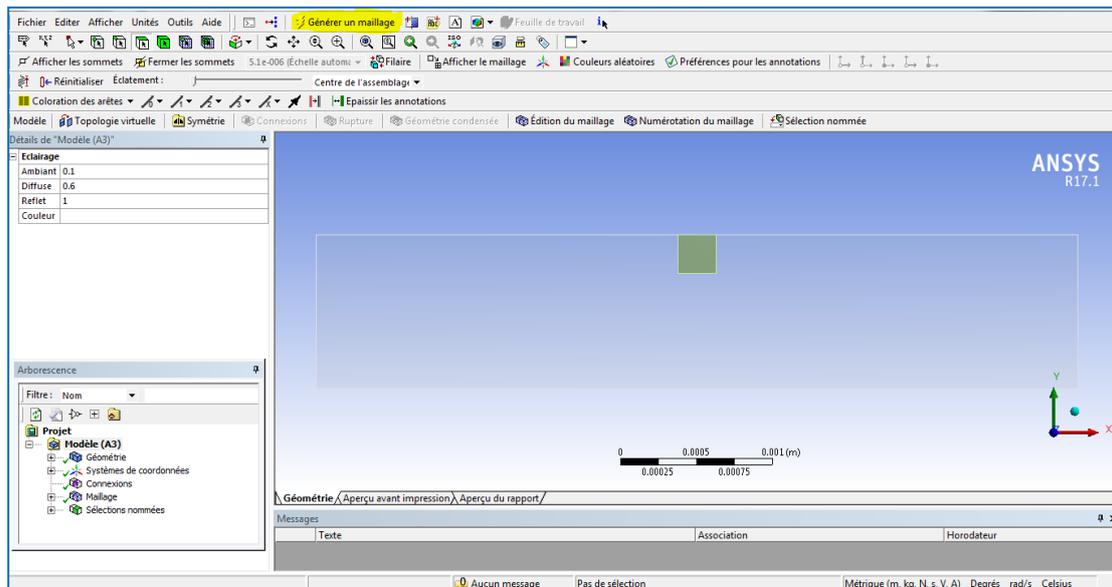


**Figure III.16 :** Définition des surfaces à mailler trois composants électroniques.

Comme ça on a terminé notre géométrie, il suffit de la sauvegarder et quitter Design modeler et nous revenons sous Workbench pour passer à l'étape de maillage.

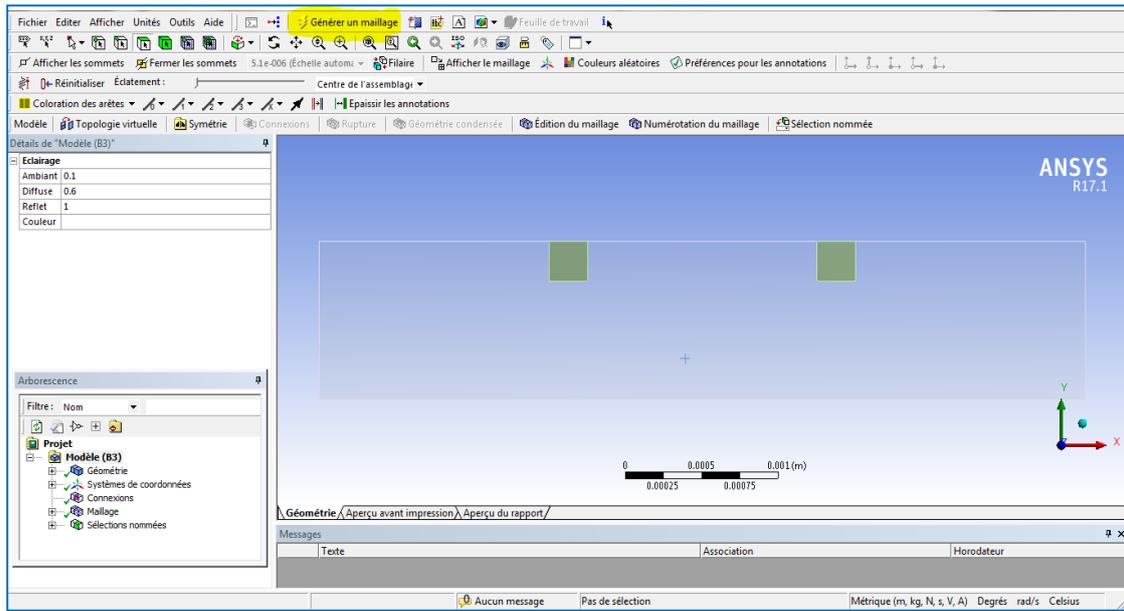
### III.2.3. Le maillage :

Le maillage sous Workbench a été réalisé avec double-cliquer sur le maillage dans la boîte Workbench une fois. « Meshing » est lancé, on va spécifier la méthode de maillage.

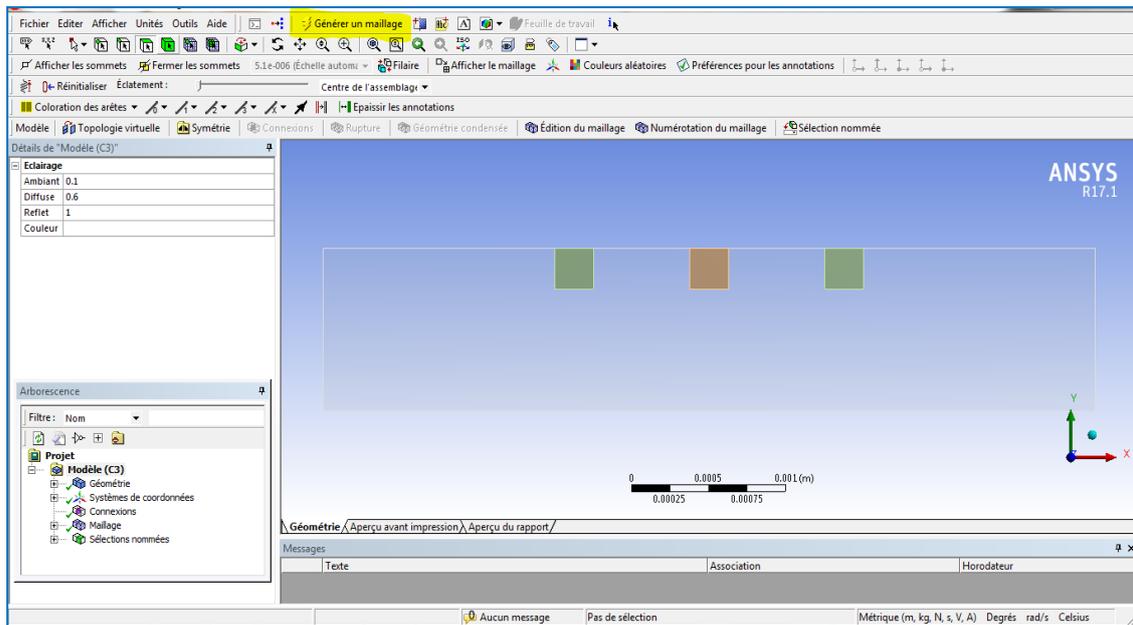


**Figure III.17 :** Spécification de la méthode de Maillage cas d'un seul composant électronique.

# Chapitre III : Simulation numérique



**Figure III.18 :** Spécification de la méthode de Maillage cas deux composants électroniques.



**Figure III.19 :** Spécification de la méthode de Maillage cas trois composants électroniques.

# Chapitre III : Simulation numérique

Le maillage sera comme suit ;

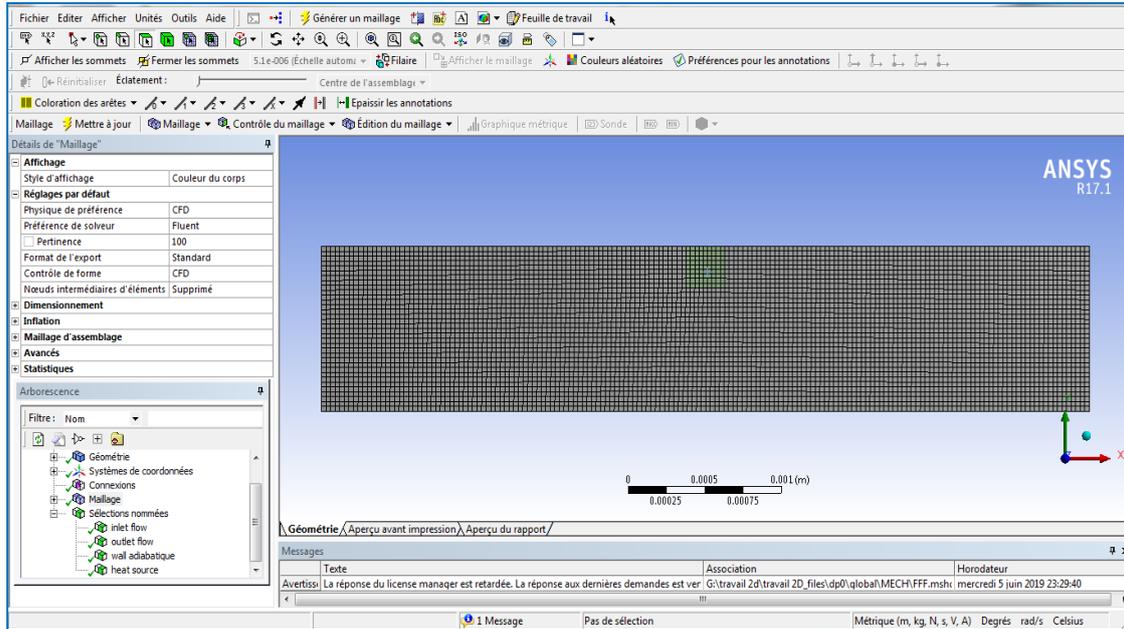


Figure III.20 : Maillage d'un seul composant électronique.

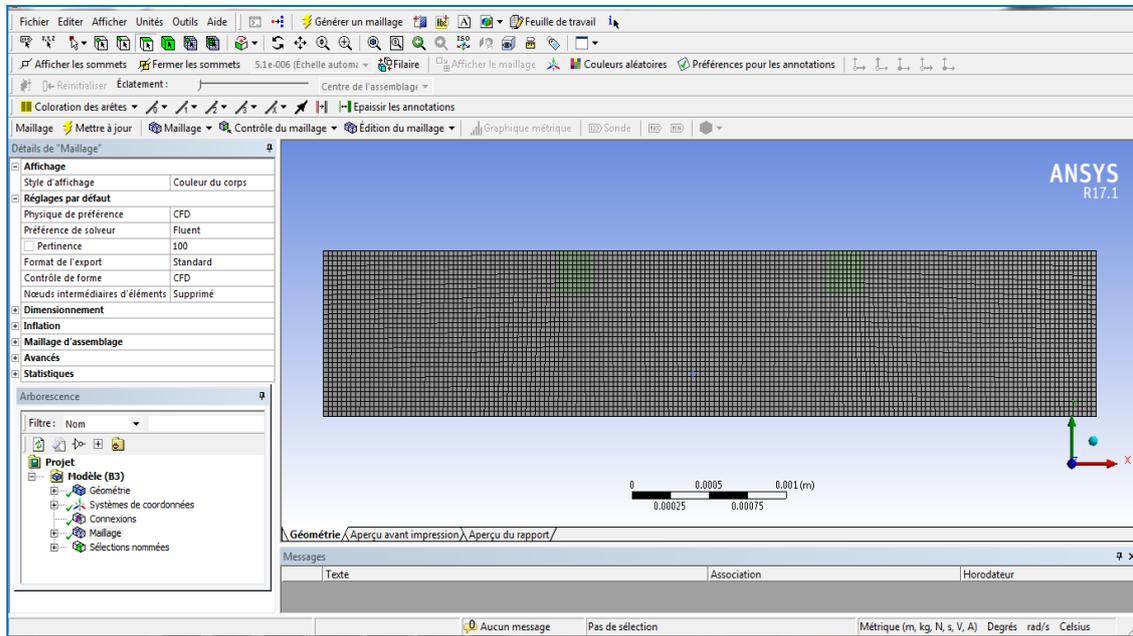
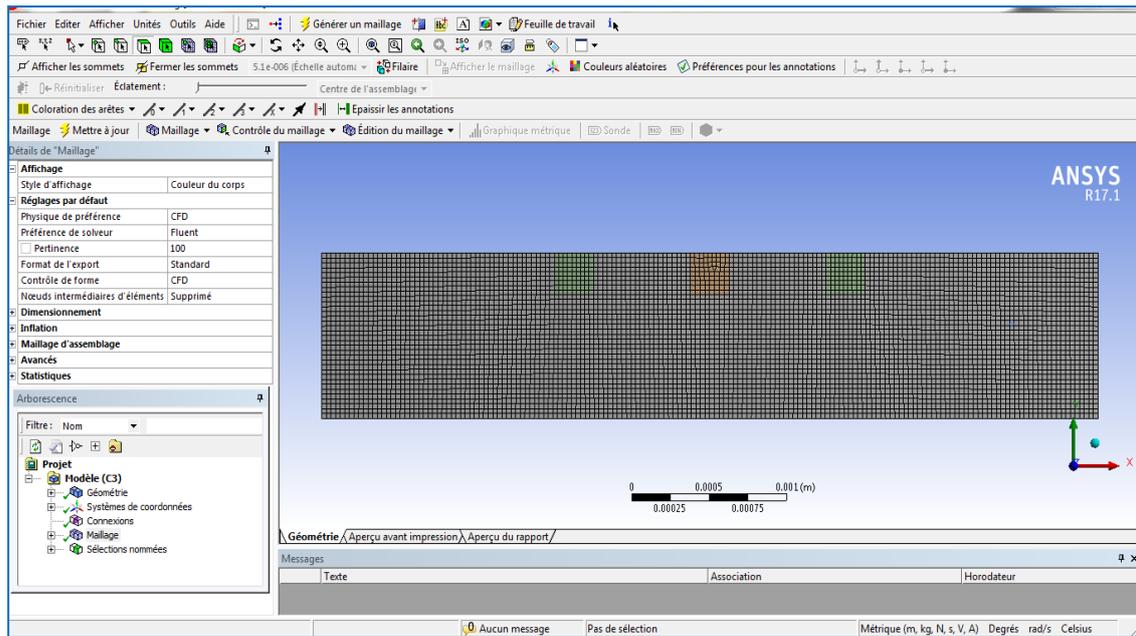


Figure III.21 : Maillage deux composants électroniques.

# Chapitre III : Simulation numérique

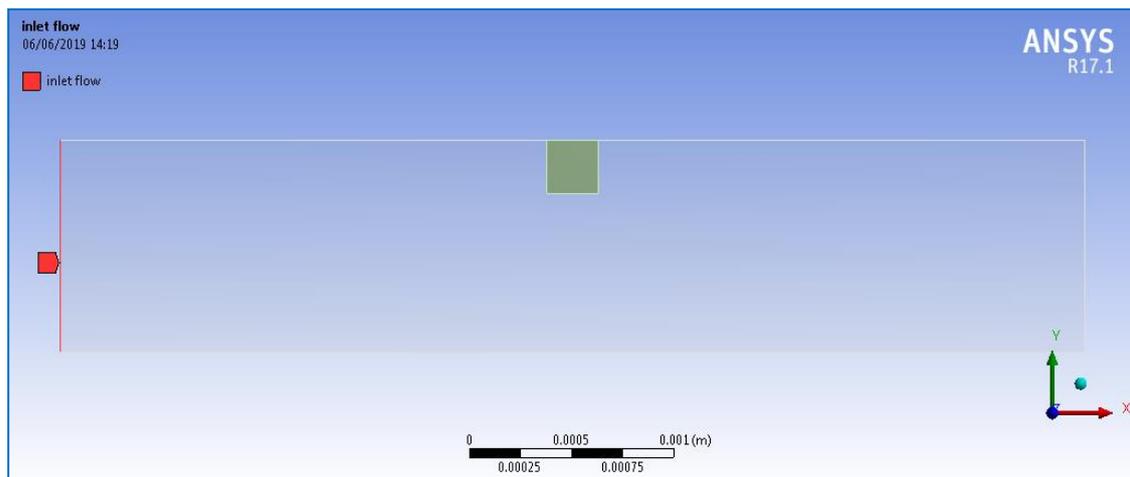


**Figure III.22 :** Maillage trois composants électroniques.

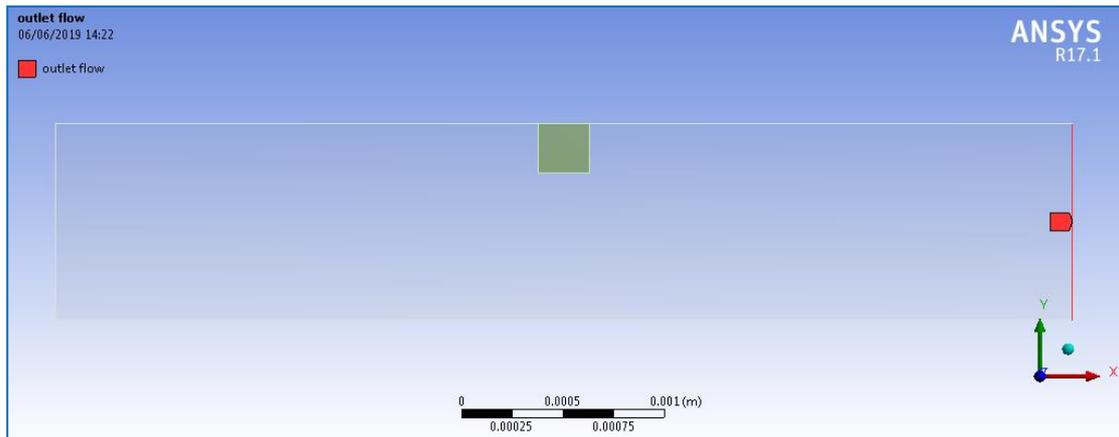
Nous passons désormais le nom de sélections de l'intérêt, le nom d'un parti, il doit sélectionner → Clic droit → Créer la sélection nommée → Lui donner un nom.

Pour sélectionner une partie de la géométrie, il faut avoir l'outil  pour les surfaces, et l'outil  pour les arêtes.

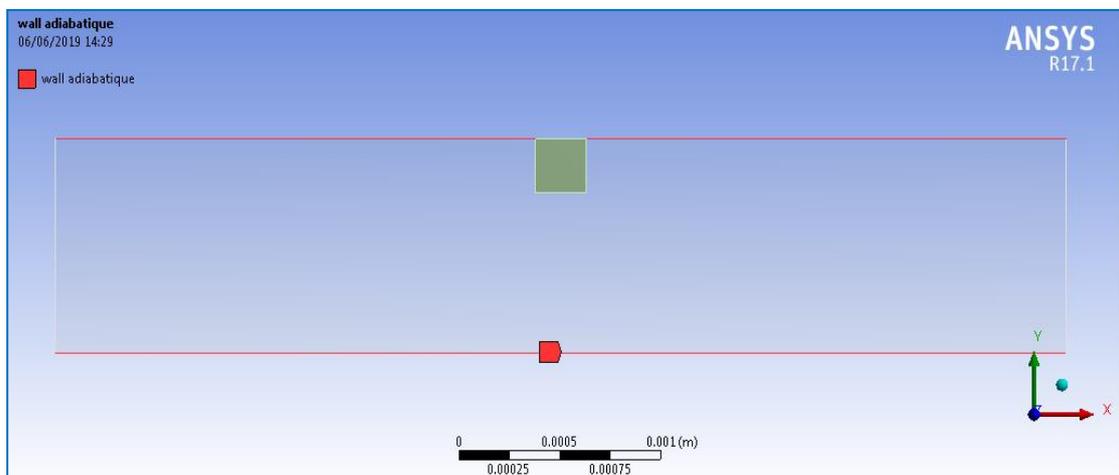
Vous pouvez sélectionner plusieurs éléments en cliquant sur Ctrl.



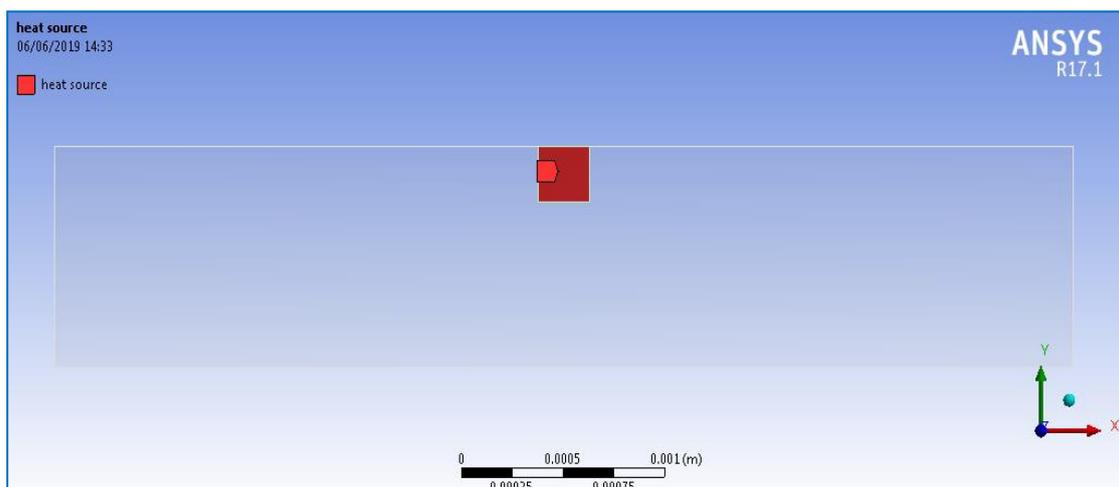
**Figure III.23 :** Spécification des parties soumis aux conditions aux limites (entrée).



**Figure III.24** : Spécification des parties soumis aux conditions aux limites (sortie).



**Figure III.25** : Spécification des parties soumis aux conditions aux limites (parois).



**Figure III.26** : Spécification des parties soumis aux conditions aux limites

(Composant électronique).

## Chapitre III : Simulation numérique

Puis nous allons à l'étape de modélisation avant solveur « fluent ».

### III.2.4. Configuration :

Des sélections nommées s'affichent automatiquement, qui va nous demander de conditions aux limites.

1. **Model** : laminaire, équation de l'énergie.
2. **Matériels** : Nous changeons les propriétés thermiques et physiques pour chaque type de nano fluide. On change les propriétés du solide par celles de silicium.
3. **Cell zone condition** : Nous avons identifié à nano fluide sur la surface du corps.
4. **Boundary Conditions** Nous avons identifié les conditions aux limites suivantes :

entrée : la vitesse, la température ambiante.

parois supérieurs et inférieurs : adiabatique.

sortis : la température de sortie.

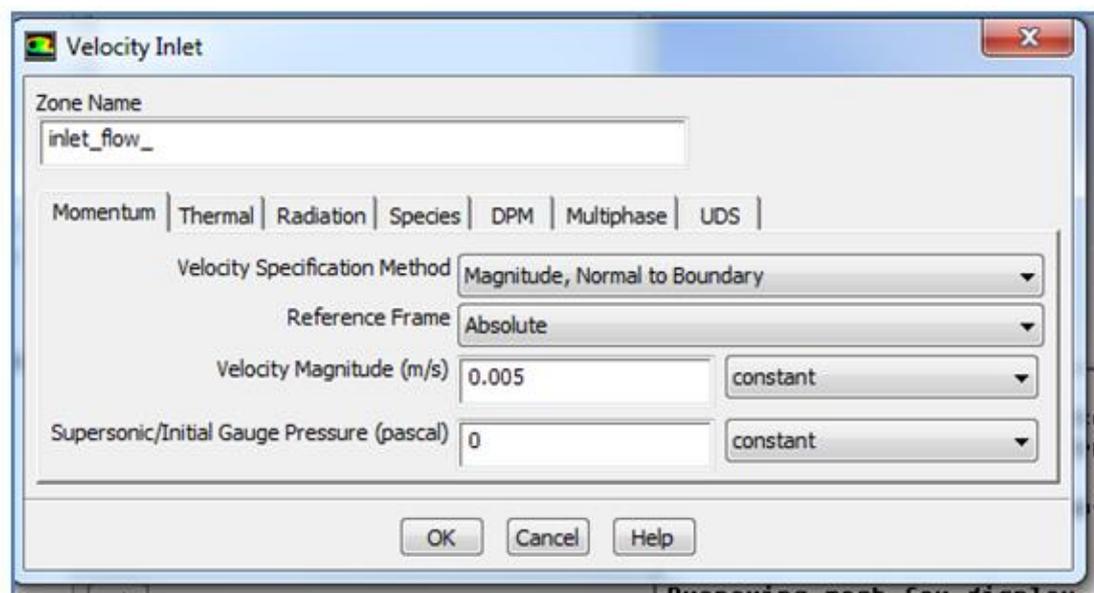


Figure III.27 : Conditions aux limites.

# Chapitre III : Simulation numérique

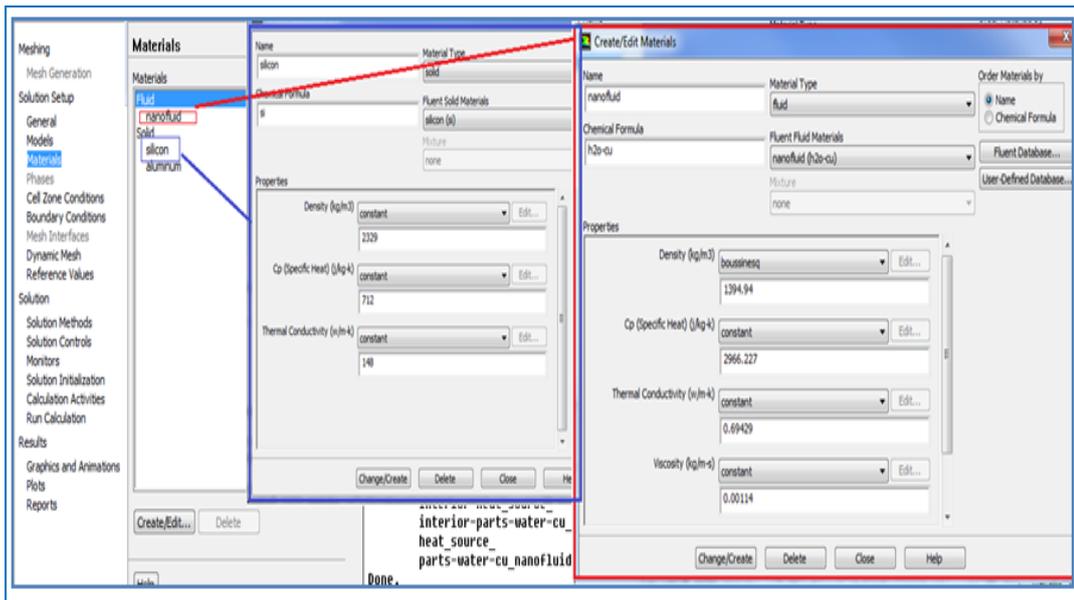


Figure III.28 : Création d un nouveau nano- fluide.

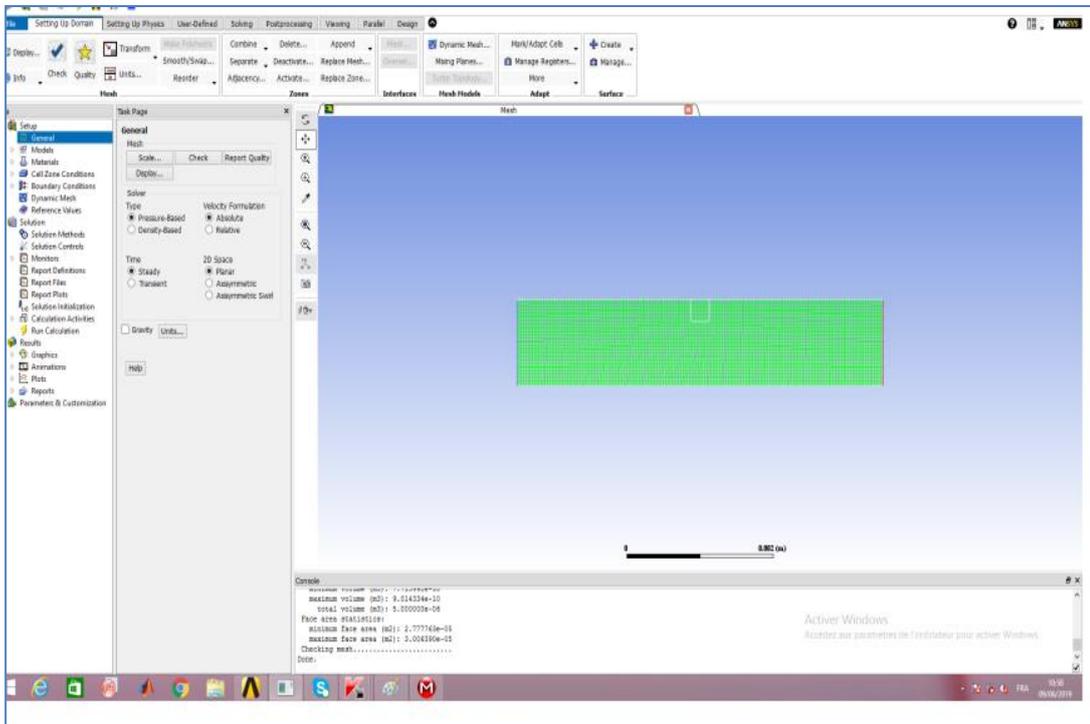


Figure III.29 : Configuration du modèle par le solveur.

### **III.3. Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons présenté les étapes de calcul par le logiciel ANSYS utilisé dans cette simulation numérique CFD.

C'est à partir de là que vont être créés les fichiers, lancés les logiciels et gérées les interactions entre les différents logiciels utilisés pour la géométrie, le maillage, la simulation proprement dite et le post-traitement.

On verra aussi que le Workbench permet d'automatiser les procédures, de comparer les résultats de différentes simulations...etc.

## **CHAPITRE IV**

### **RESULTATS ET DISCUSSION**

### IV.1. Introduction :

Ce chapitre présente les résultats de la simulation numérique de la convection dans un micro canal horizontale contenant un élément électronique (comme une source de chaleur). En utilisons comme un fluide de refroidissement le nano fluide (eau-cuivre). Les résultats obtenus seront discutés en présentant les champs de température, champ de vitesse, lignes de courant et nombre de Nusselt, voir le tableau(IV.3).

### Résultats et interprétation :

Les résultats obtenus seront discutés en présentant les champs de température, champ de vitesses et lignes de courant, nombre de Nusselt. Nous nous proposons d'exposer dans ce chapitre, l'effet du nombre de Reynolds sur le refroidissement du composant électronique pour des valeurs de Reynolds.

Le nombre de Nusselt est défini par le rapport du flux de chaleur convectif sur le flux de chaleur conductivité. Ce nombre caractérise le taux de transfert de chaleur au niveau de l'interface (fluide – solide) de chaque face du composant électronique [1].

Dans ce travail, les conditions aux limites hydrodynamique et thermique sont choisies en se basant sur le travail [21].

**Tableau IV.1 :** Propriétés thermo physiques pour le nano fluide utilisé [14].

	K (W/m.k)	$\mu$ (kg/m.s)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Cp (J/kg.k)	$\beta$ (1/k)
<b>eau</b>	0.593	0.001002	998.2	4181.8	$21 \times 10^{-5}$
<b>Cu</b>	401	-	8954	385	$16.7 \times 10^{-6}$

**Tableau IV.2 :** Propriétés thermo physiques pour le nano fluide (eau-Cu) [11].

Fraction volumique du nano fluide (eau-Cu)	K (W/m.k)	$\mu$ (kg/m.s)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Cp (J/kg.k)	$\beta$ (1/k)
$\phi = 0.05$	0.610	0.0011	1395.99	3991.96	$2.003 \times 10^{-4}$

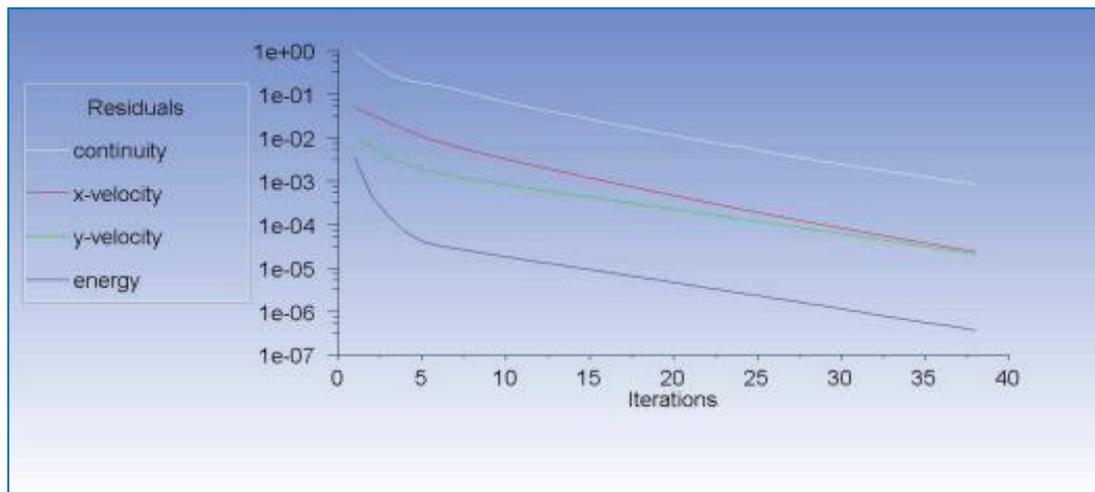
## Chapitre IV : Résultats et Discussion

**Tableau IV.3** : Condition aux limites hydrodynamique et thermique.

Type de condition initial	Température d'entrée	Vitesse d'entrée	Flux de chaleur
	293k	0.005m/s, Re=6.11	150W/m <sup>2</sup>
		0.01m/s, Re= 12.23	
		0.05m/s, Re=24.47	

### IV.2. La convergence :

Nous avons obtenu une stabilité et convergence de modèle étudié pour chaque maillage imposé. Les maillages ont structuré avec des éléments de type quadra été utilisé, On remarque que la convergence est atteinte après 500 itérations figure (IV.1).



**Figure IV.1** : Présentation de l'évolution des résidus de calcul (Convergence de la solution).

### IV.3. Résultats et interprétation :

L'objectif dans ce chapitre, est de présenter les résultats de la simulation et leur interprétation pour les différents paramètres de l'écoulement laminaire d'un fluide qui passe dans un micro canal contenant un composant électronique, deux composants électroniques, trois composants électroniques présenté par les figures (II.1), (II.2), (II.3).

## Chapitre IV : Résultats et Discussion

---

Lors de la simulation numérique de la convection forcée d'un écoulement on utilise comme en fluide de refroidissement, le nano fluide (eau- Cuivre), qui coule dans un micro canal

Les conditions aux limites dans ce travail sont présentées dans les tableaux (IV.3).

Les simulations numériques sont effectuées pour les nombres de composants électroniques (source de la chaleur) avec fraction Volumique pour le fluide  $\varphi=0.05$  et pour le nano fluide (eau-cuivre).

La présentation des résultats concernant les champs de température et vitesse, les lignes de courants, ainsi que le nombre de Nusselt.

On remarque une évolution de la température pour les trois étapes (un seul composant, deux composants, trois composants).

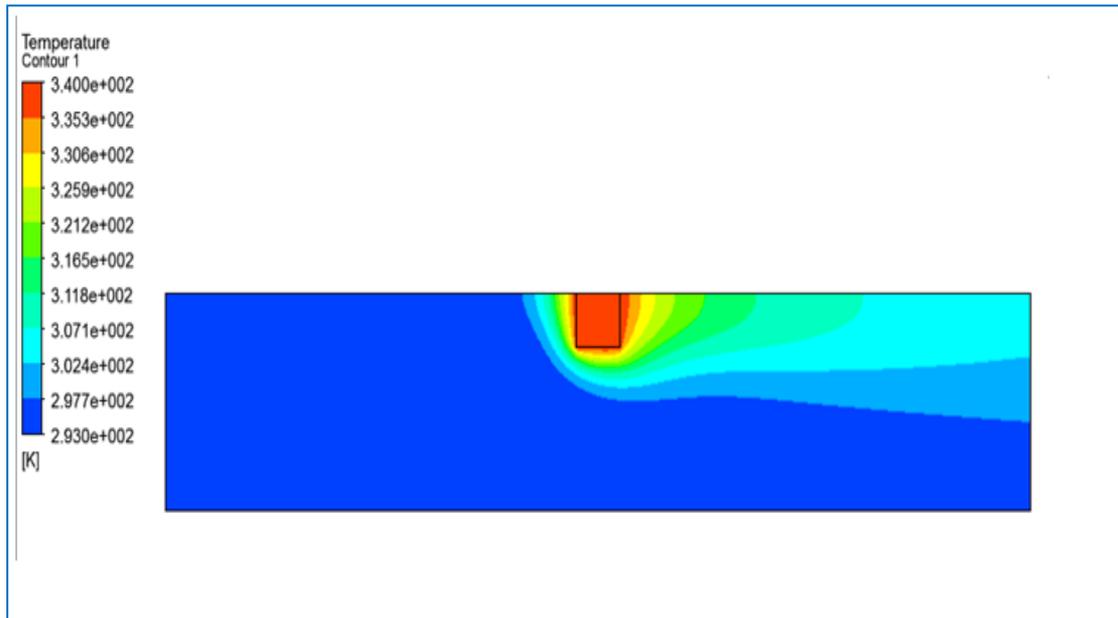
### **IV.3 .1. Interprétation du champ de la température :**

#### **Pour les nombres des composants électroniques :**

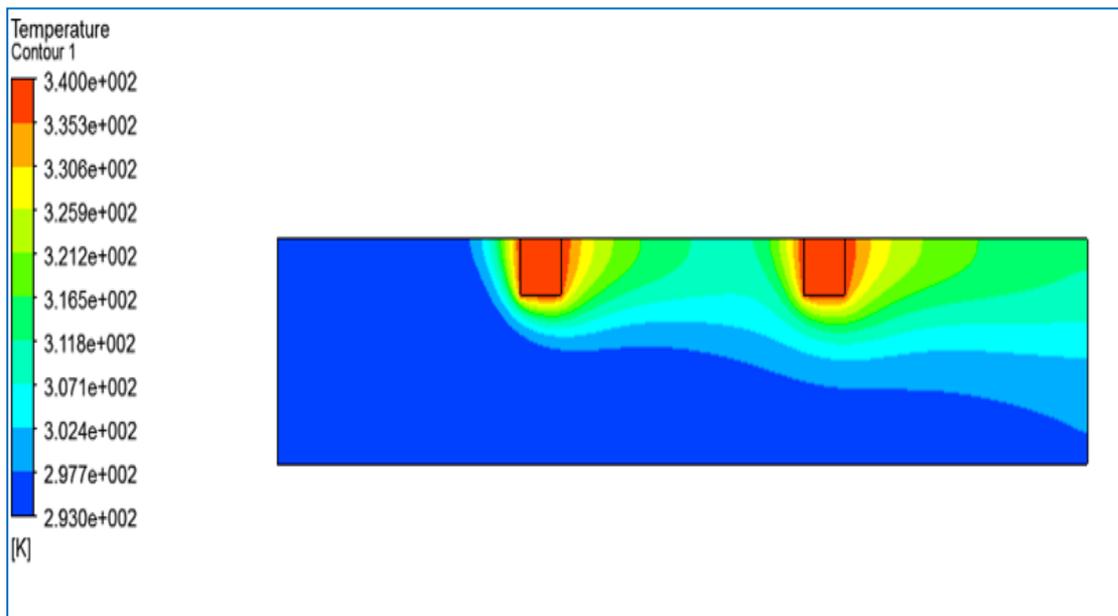
La température est jouée un rôle très important lors de la procédure du calcul, Il est donc nécessaire d'effectuer une idée claire de la température. Nous allons exposer les profils de température le long de la section du micro canal.

Les figures (IV.2, 3, 4) illustre bien l'évolution du champ de la température totale dans les microcanaux, avec une paroi inférieure adiabatique et une paroi supérieure porte d'un à trois composants électroniques, dissipe un flux de chaleur constant. On remarque pour les figures présentées que les parois du micro canal n'ont pas été chauffées à l'entrée pour les trois cas étudiés, après un certain temps le fluide commencé à s'échauffer. On remarque aussi que le fluide s'échauffe bien dans le micro canal porté trois composants plus que les deux autres cas.

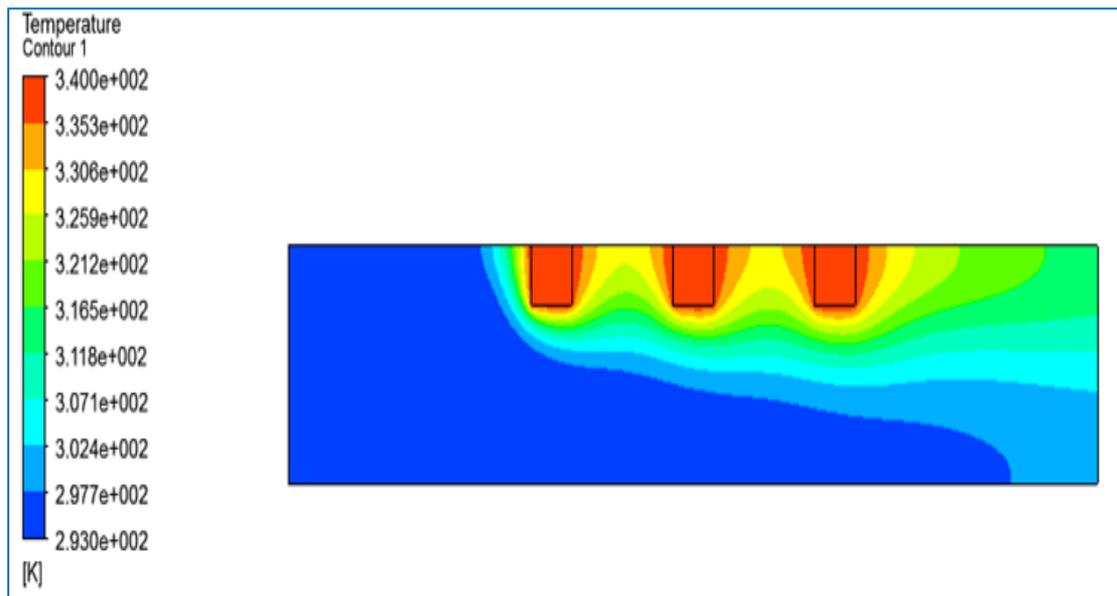
Donc, on conclure que les résultats indiquent que l'augmentation des nombres des composants électroniques provoque un taux de transfert de chaleur plus notable.



**Figure IV.2 :** Champs de la température pour un seul composant électronique.



**Figure IV.3 :** Champs de la température pour deux composants électroniques.



**Figure IV.4 :** Champs de la température pour trois composants électroniques.

### IV.3 .2. Résultats nombres de Reynolds :

les Figures (IV. 5),(IV.6),(IV.7) présentant les contours des isothermes pour différentes valeurs du nombre de Reynolds, montrent clairement l'influence de l'augmentation du nombre de Reynolds sur le champ thermique. Pour  $Re = 6$  (Figure IV.5), nous remarquons que la variation de la température est concentrée autour des composants électroniques, ou il y a une évacuation d'énergie (source de chaleur), formant une couche limite thermique, l'effet de faible nombre de Reynolds est apparu dans la propagation de la température où les isothermes occupant une partie considérable du canal, qui engendre une faible diminution de la température autour des composants.

Tout en augmentant la valeur du nombre de Reynolds (Reynolds = 12 et 24) (Figures (IV.6), (IV.7)), On constate que l'extension des isothermes se réduit et a déformé, et tendent à devenir horizontales et diriger vers la sortie de canal, cela engendre une faible diminution de la couche limite autour du composant électronique (source de chaleur) : cela peut être justifié évacuation de la chaleur vers l'extérieur, et moins serré indiquant un meilleur transfert de chaleur par convection.

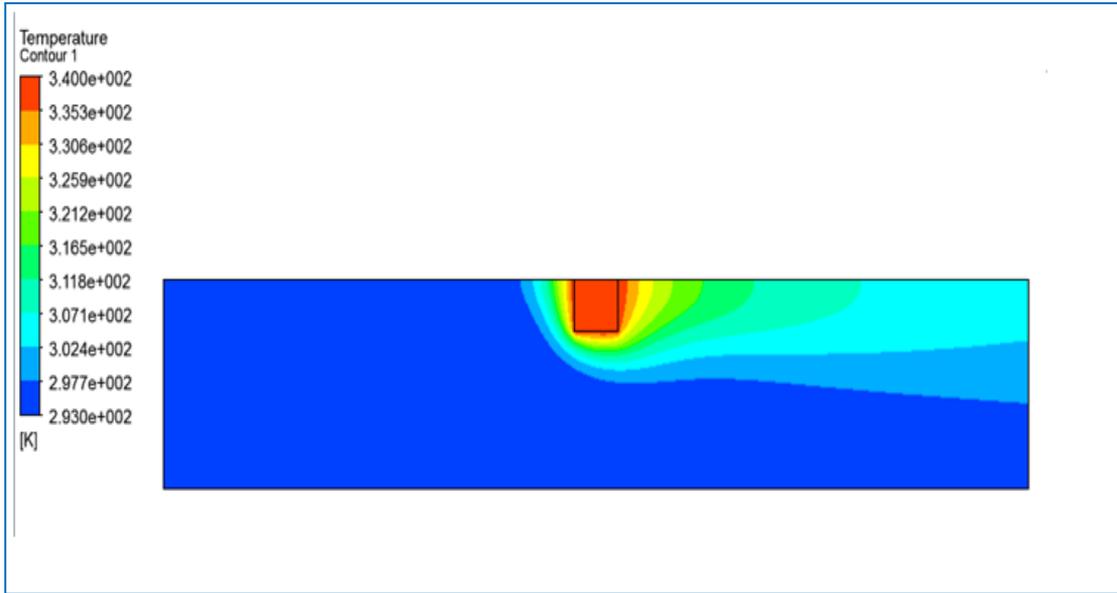


Figure IV.5 : Champs de la température pour  $Re=6$

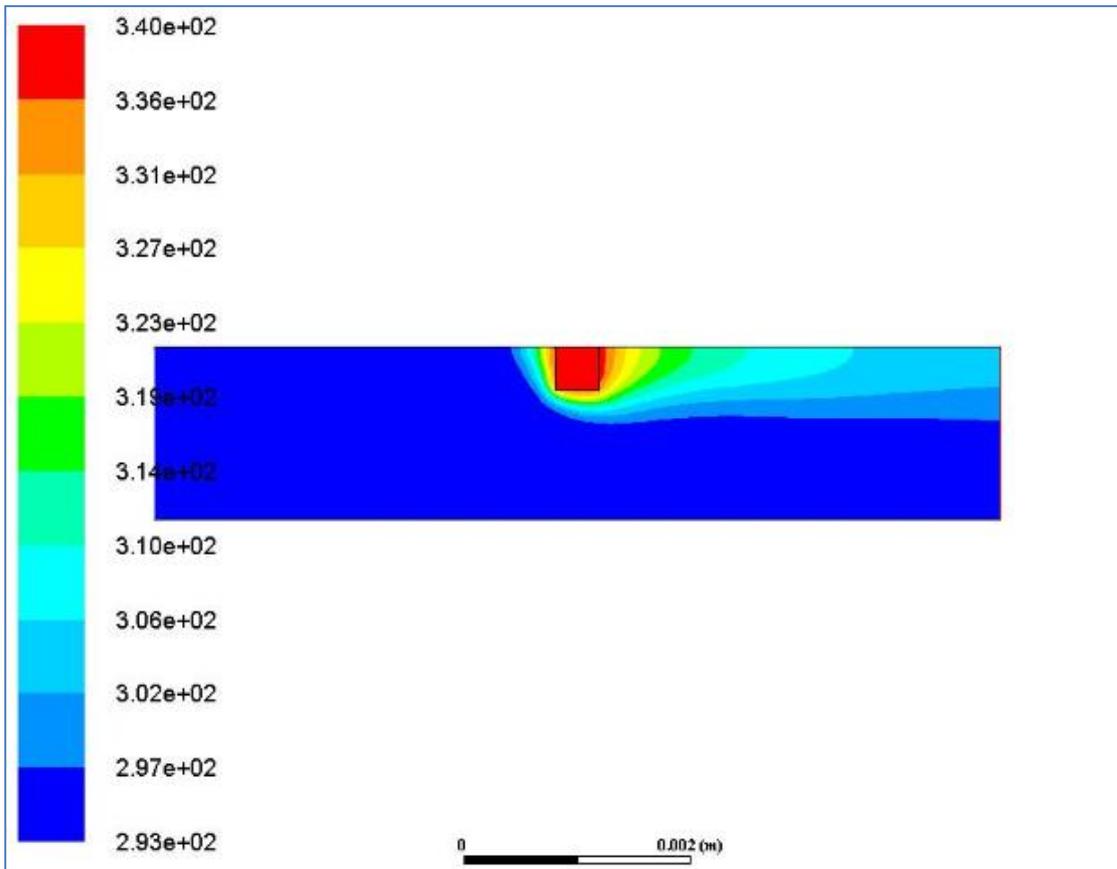
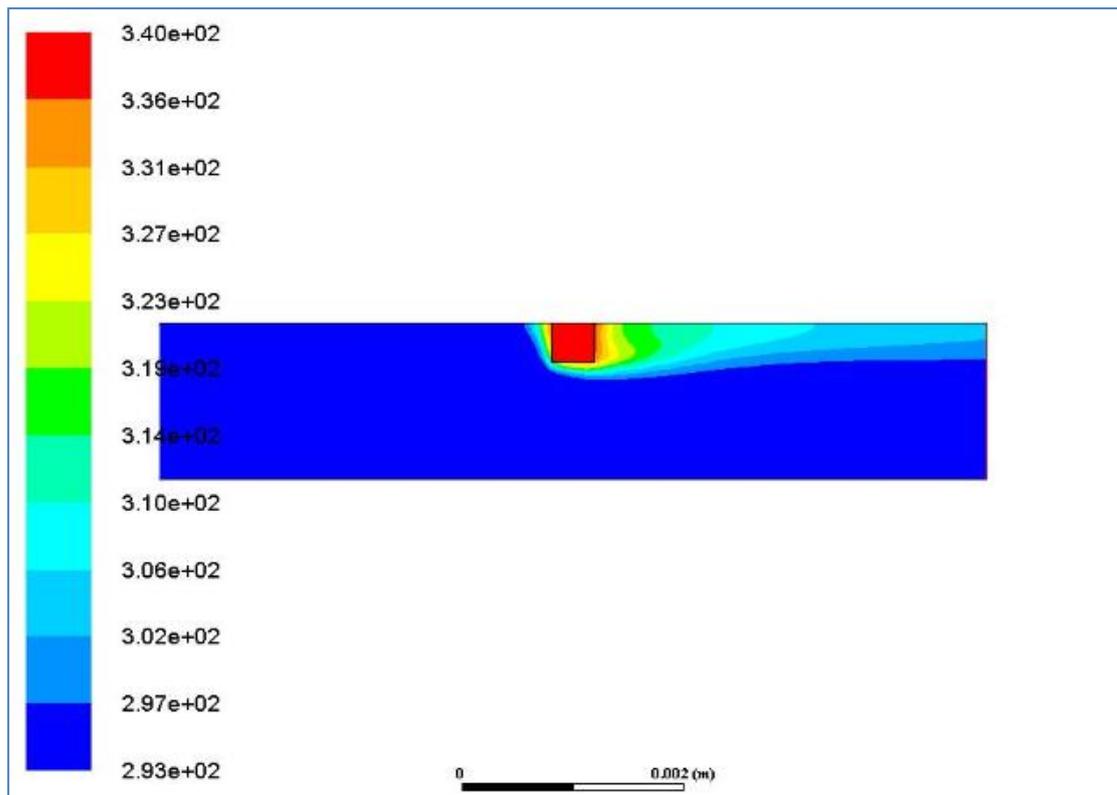


Figure IV.6 : Champs de la température pour  $Re=12$

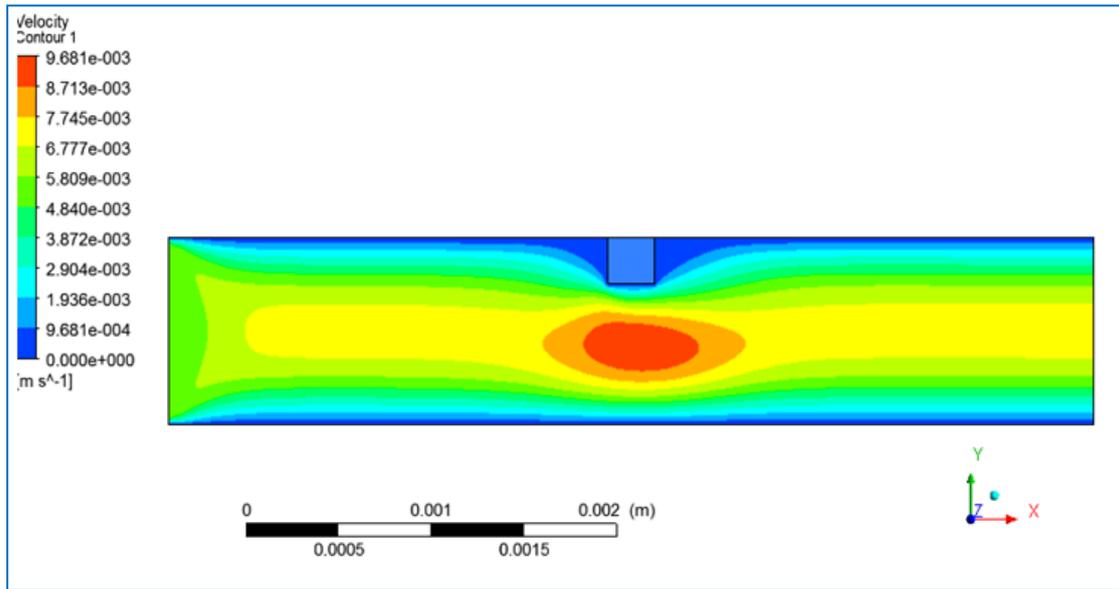


**Figure IV.7 :** Champs de la température pour **Re=24**

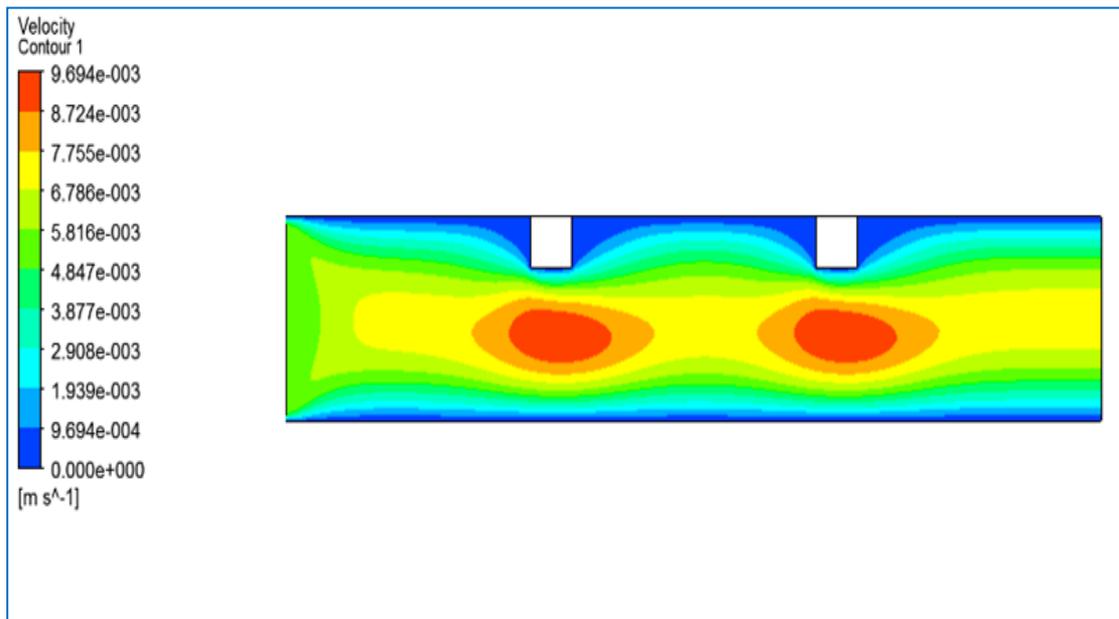
### IV.3.3. Interprétation des champs de la vitesse :

#### **Pour les nombres des composants électroniques :**

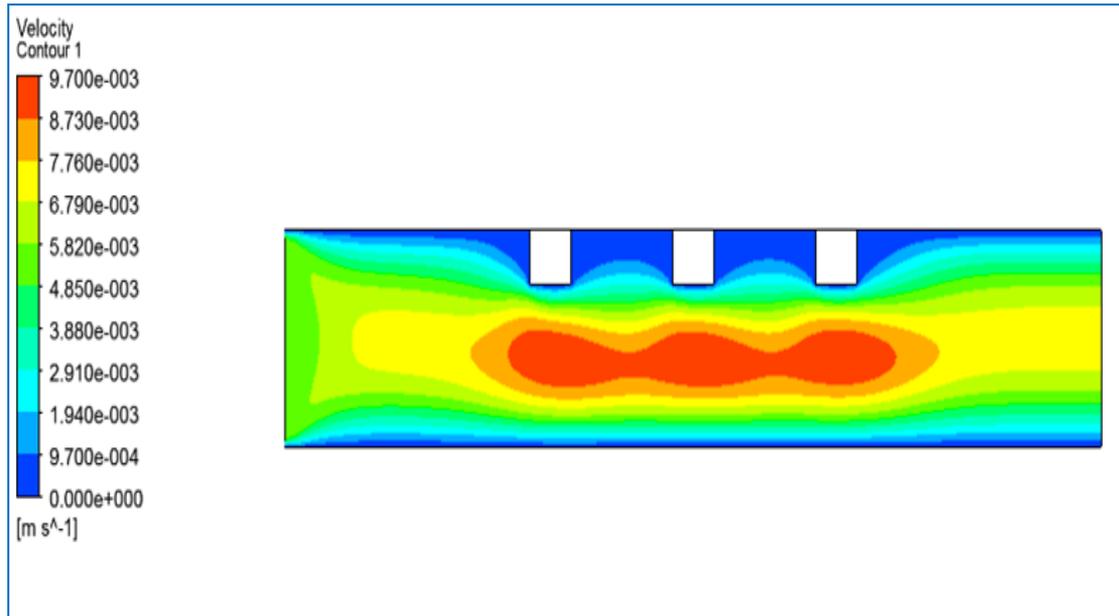
Les figures (IV.8) (IV.9) (IV. 10) montrent les résultats de la distribution des champs de vitesses le long du micro canal .On constate que les valeurs de la vitesse est diminué près de la paroi et elle augmente lorsqu'on dirige vers le centre et on peut expliquer ca par la présence des forces de frottements entre les particules fluide et les parois de la conduite.



**Figure IV.8 :** Champs de la vitesse pour un seul composant électronique.



**Figure IV.9 :** Champs de la vitesse pour deux composants électroniques.

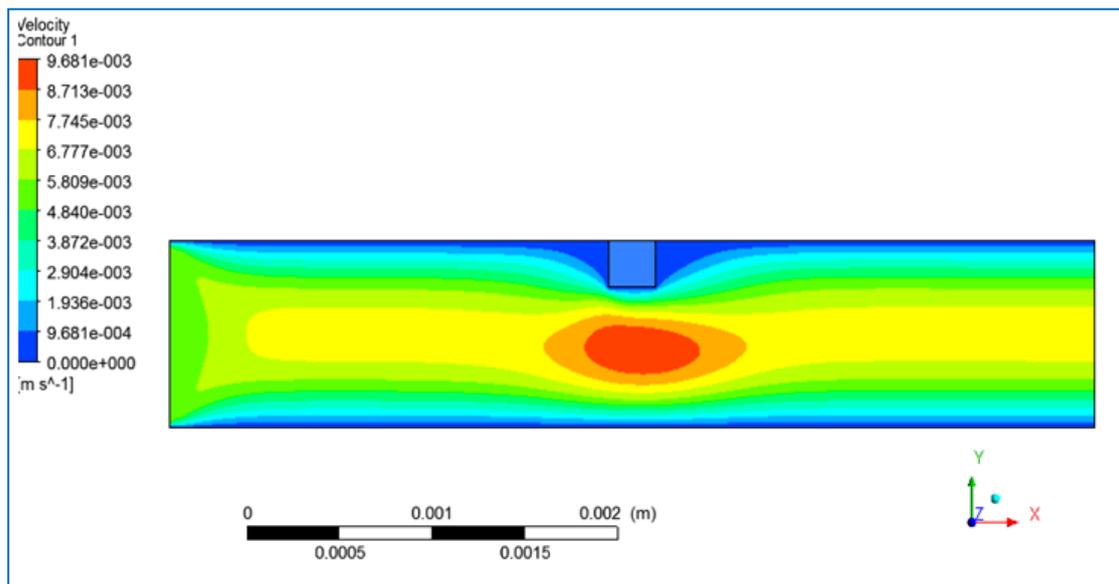


**Figure IV.10** : Champs de la vitesse pour trois composants électroniques.

### IV.3 .4. Pour différents nombres de Reynolds :

Le champ de la vitesse d'écoulement est décrit. Ici on voit bien que la direction d'écoulement est changée à cause de la présence de l'élément électronique. Ainsi, la vitesse d'écoulement s'augmente avec l'augmentation de nombre de Reynolds.

Voir figure IV.11 jusqu'au IV.13



**Figure IV.11** : Champs de la vitesse pour **Re=6**

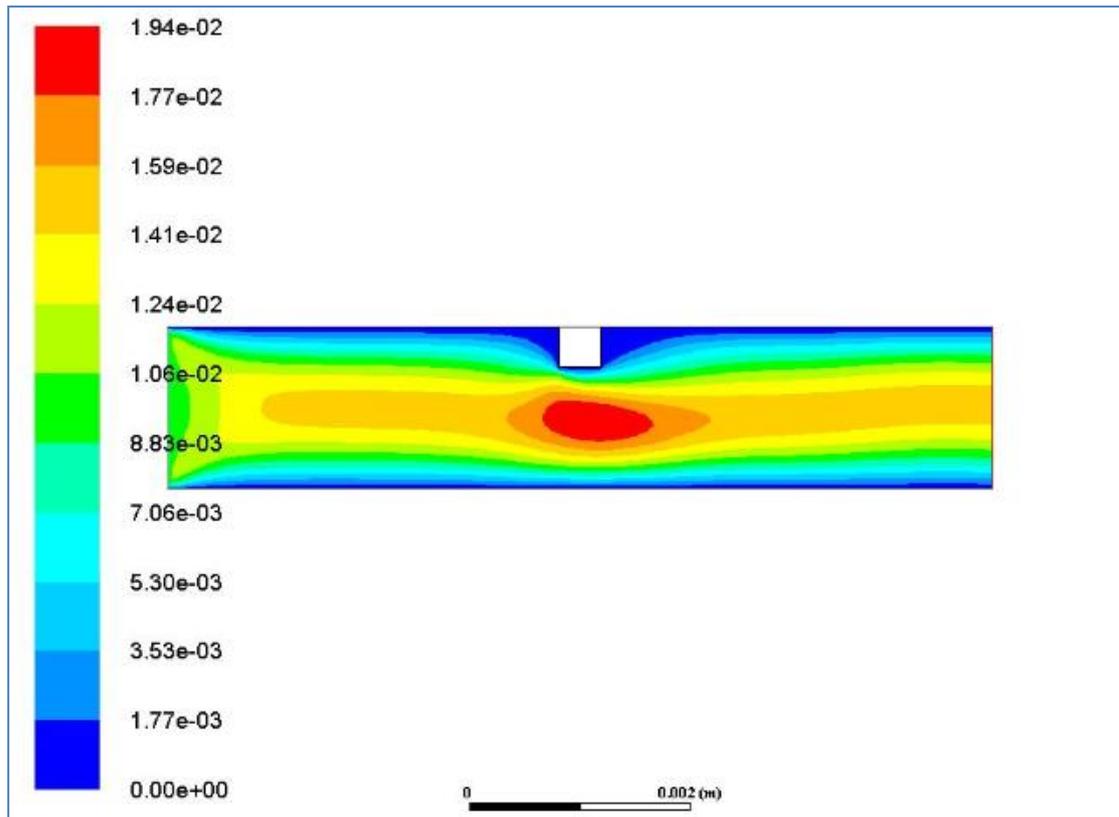


Figure IV.12 : Champs de la vitesse pour  $Re = 12$

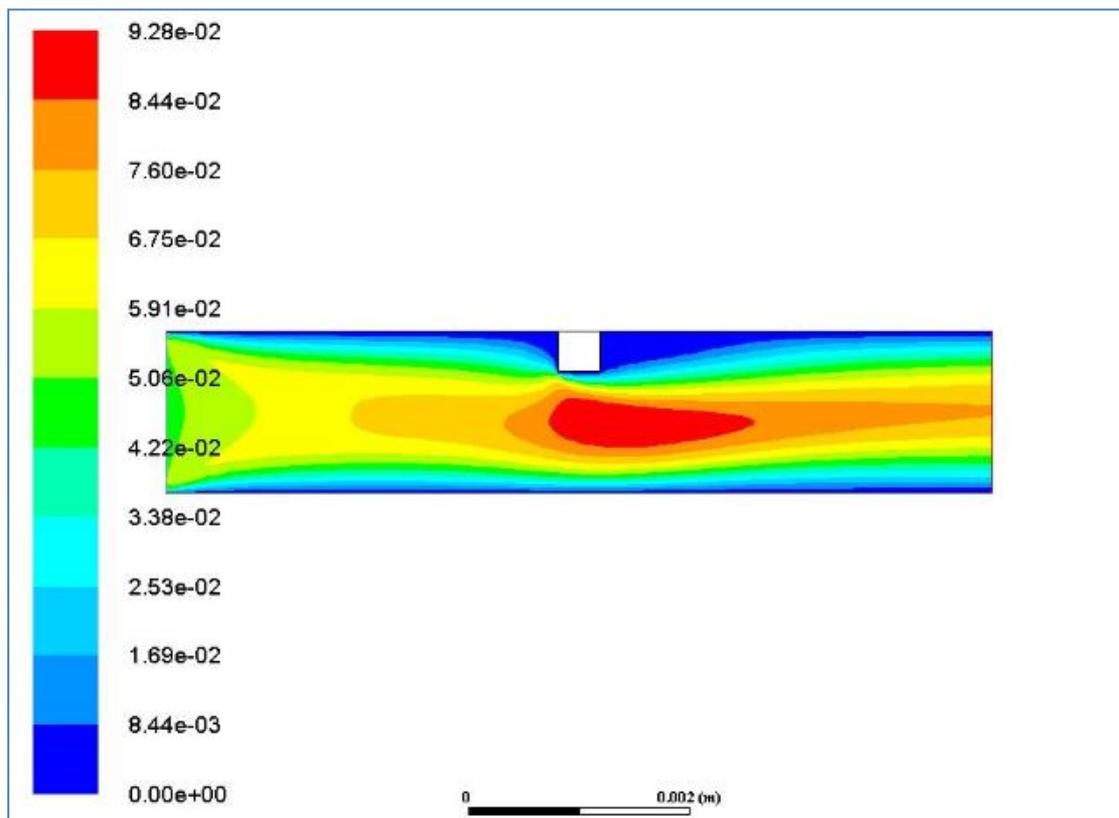


Figure IV.13 : Champs de la vitesse pour  $Re = 24$

### IV.3.5. Champs des lignes de courants :

#### Pour différents nombres de Reynolds :

les résultats montrent que l'intensité des lignes de courants augmente légèrement en effet l'augmentation du nombre de Reynolds. Voir figure IV.14 jusqu'au IV.16

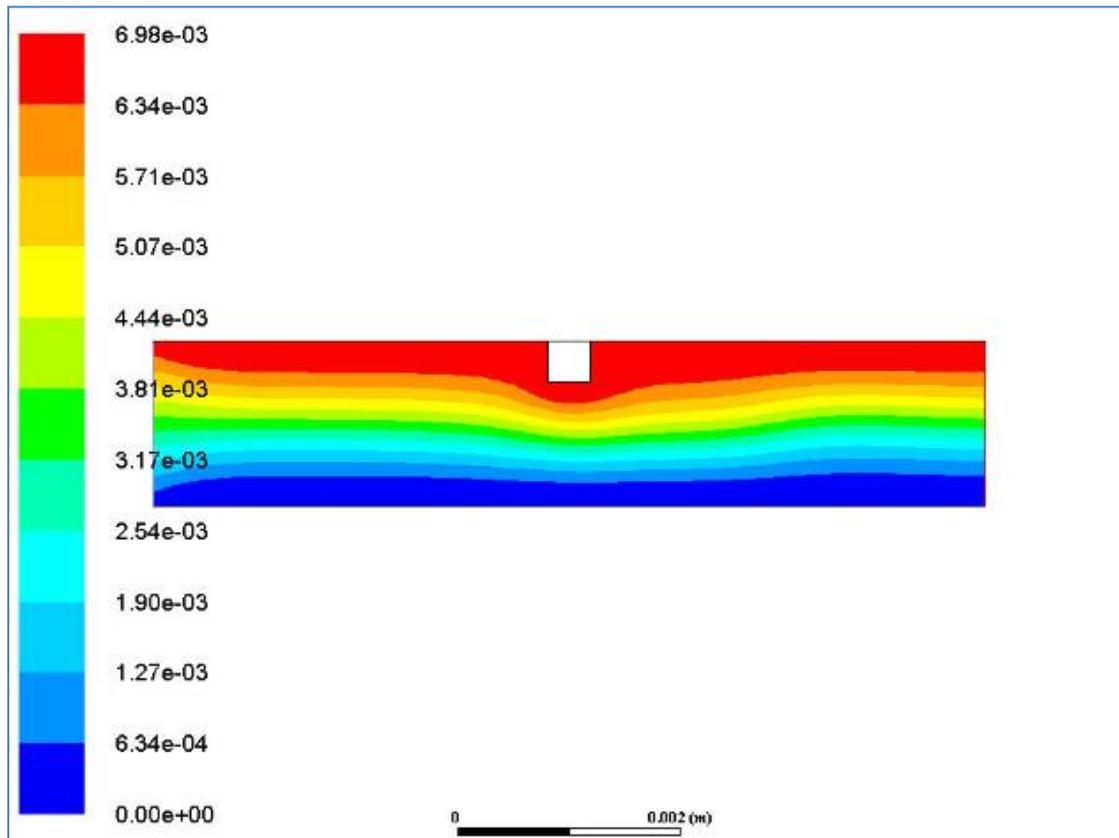


Figure IV.14 : Champs des lignes de courants pour  $Re = 6$

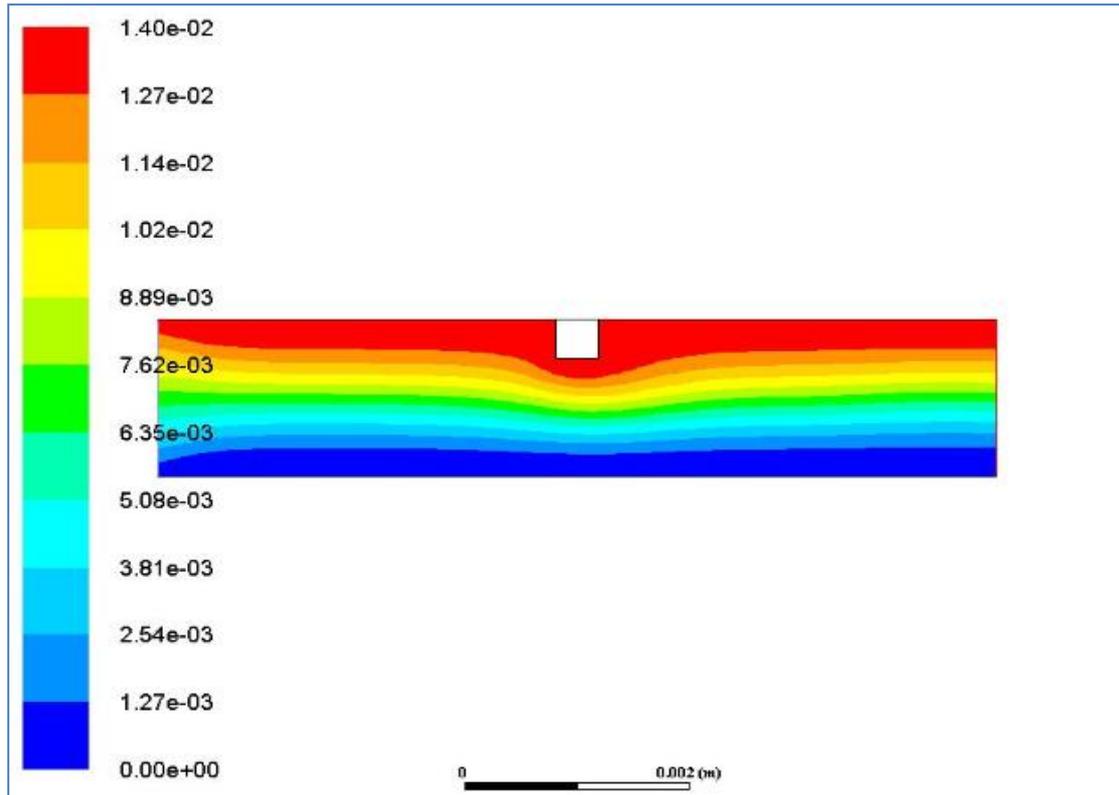


Figure IV.15 : Champs des lignes de courants pour  $Re = 12$

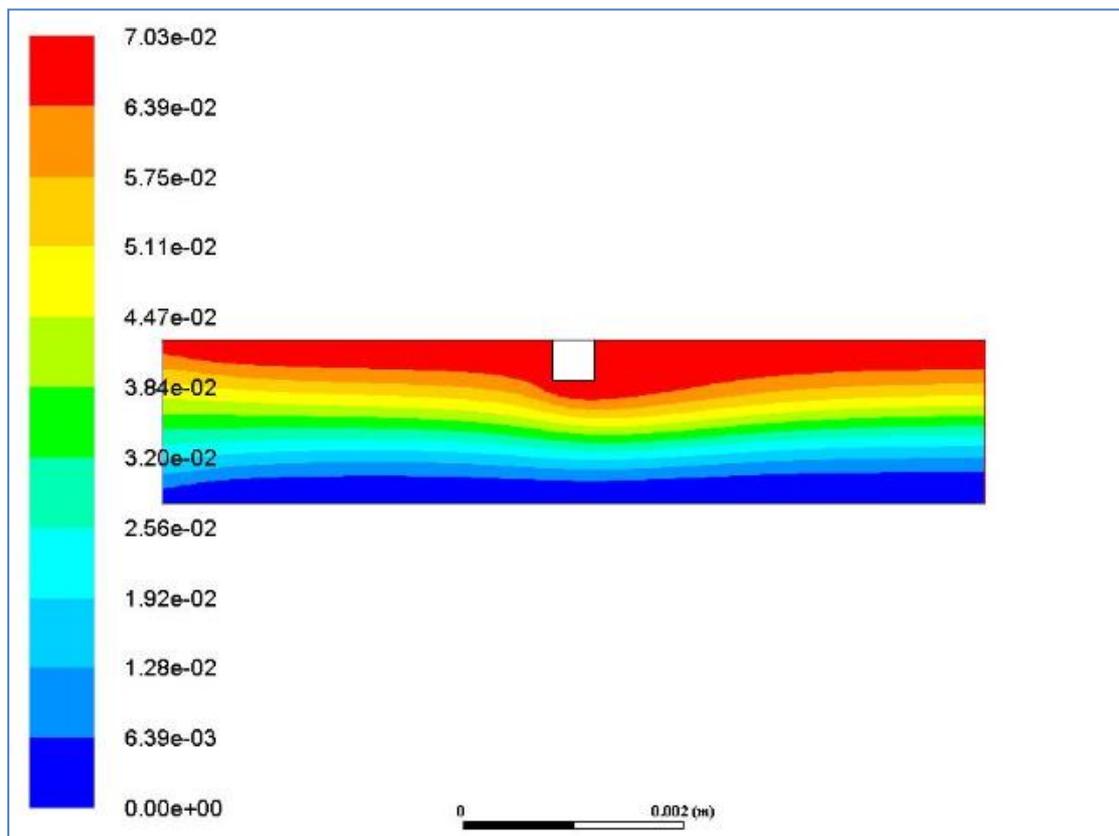
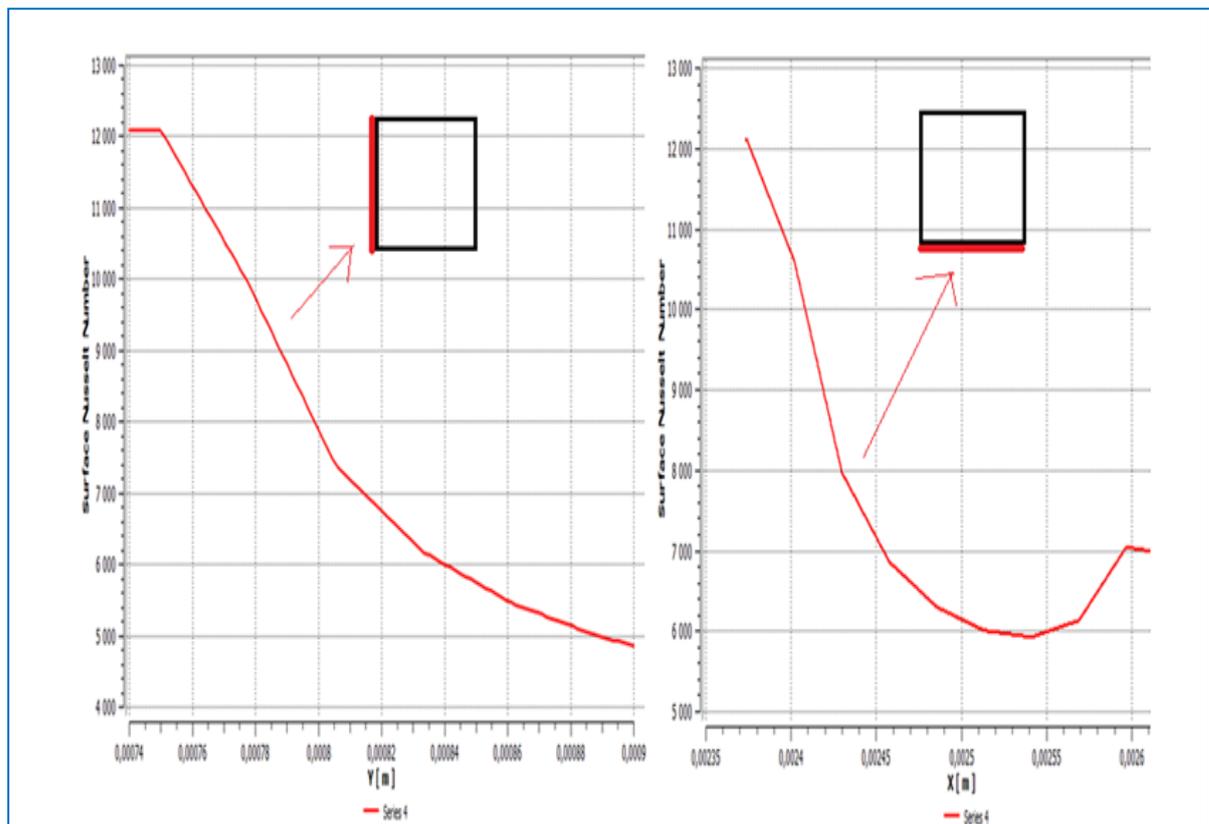


Figure IV.16 : Champs des lignes de courants pour  $Re = 24$

### IV.3.6. Le nombre de Nusselt :

Une description détaillée sur le taux de transfert de chaleur est donnée par à (Figure IV.17), qui illustre les profils de la variation des valeurs du nombre de Nusselt le long des deux faces des composants électroniques.

Il est clair d'après ces profils, que le maximum de transfert de chaleur se situe aux faces verticales de composant provoqué par une recrudescence de la vitesse d'écoulement. Ceci est dû au fait que le composant est situé près de l'entrée du canal. Voilà ce qui rend cette partie la plus refroidir et le transfert convectif très important. La face horizontale, il y a une tendance à la baisse du coefficient de convection, qui est due à la croissance de couche limite thermique dans la face verticale de la composante.



**Figure IV.17 :** présentation du nombre de Nusselt pour les deux faces du composant électronique.

### IV.4. Conclusion

Nous avons présenté un ensemble de résultats obtenus par voie numérique, qui permettent de résoudre numériquement le problème de la convection forcée dans un micro canal rectangulaire un contenant de composant électronique posé sur la paroi horizontale supérieure.

Cette étude consiste à étudier thermiquement et dynamiquement le phénomène de la convection forcée ; en commençant par l'adaptation du maillage avec la nature de l'écoulement. Ensuite nous avons présenté et discuter les résultats.

La convection forcée dans le canal , on a montré que l'augmentation du nombre de Reynolds, accélère l'écoulement et favorise les changes thermiques.

# **CONCLUSION GENERALE**

## Conclusion générale

---

### Conclusion générale

Dans cette étude on a réalisé la simulation numérique des échanges thermiques des éléments électroniques pour refroidissement par convection forcée dans des micro canaux contenant des composants électronique. La simulation numérique, menée en 2D. Cette étude a été décomposée en quatre chapitres :

La première partie présente les recherches antérieures bibliographiques dans ce domaine avec une brève présentation des trois modes de transfert de chaleur ainsi qu'une revue sur les caractéristiques thermo-physiques des nano-fluides.

En se reposant dans la partie suivante, sur la modélisation mathématique de convection dans le micro canal. On y trouve une présentation des équations d'écoulements des nano-fluides, ainsi que les hypothèses et modèles associées à ce type.

Après la création de la géométrie, maillage et condition aux limites par le logiciel ANSYS Workbench, on a passé aux procédés de calcul, les résultats de simulation sont présentés pour différentes nombres des composants électroniques et pour différentes vitesse d'écoulement.

L'étude a consisté à faire varier le nombre d'éléments électroniques dans un premier cas, et le nombre de Reynolds dans un deuxième cas et de voir

l'influence de ces deux paramètres sur les champs de température et champs de vitesses ainsi que sur le nombre de Nusselt, qui caractérise le flux de chaleur transféré au sein de la conduite.

L'augmentation du transfert de chaleur doit être lorsque le nombre d'éléments électriques est beaucoup. L'augmentation de la vitesse d'écoulement doit être lorsque le nombre d'éléments électriques est multiple.

Les résultats obtenus montrent que l'augmentation de nombre de Reynolds, entraîne l'augmentation du transfert de chaleur.

## Conclusion générale

---

On peut conclure enfin que le nombre des composants électronique ont une influence considérable sur le transfert de chaleur. Conséquent, une augmentation de la vitesse d'écoulement.

Finalement la présence de nano fluide (eau-cuivre), en favorise de l'écoulement et les échanges thermiques par convection.

# Bibliographique

---

## Bibliographique

[1] **F. KESSI, M. Yahiaoui**, Refroidissement des composants électroniques par convection forcée : Simulation numérique. Mémoire master, université Akli Mohand Oulhadj de Bouira 2015.

[2] **FERROUILLAT Sébastien et al**, ‘‘Intensification des échanges thermiques par l’utilisation de nano fluides SiO<sub>2</sub> /eau ‘thermal Issues in Emerging Technologies, theory and applications 2008.Proceedings-ThETA2, ThETA ’08. Second International Conference on Cairo, Egypt Dec 17th-20th 2008 Page(s):261-270.

[3] **GLADES Bachir**, ‘Contribution à l’étude de la convection naturelle dans les nano fluides en configuration de Rayleigh-Bénard’, Thèse en vue d’obtention du doctorat de l’université de Toulouse, 2010.

[4] **Mohamed EL HATTAB, Rachid MIR, Youness EL HAMMAMI, Touria MEDIOUNI**, ‘Simulation numérique de la convection naturelle des nano fluides dans une enceinte carrée chauffée par une source de chaleur’, Revue internationale d’héliotechnique, Ecole National des Sciences appliquées, B.P. 1136, Agadir, Maroc, 2013.

[5] **Salma Halefadi**, ‘Caractérisation des propriétés thermo-physiques et d’échanges de chaleur des nano fluides à base de nanotubes de carbone’. Génie mécanique [physics.class-ph]. INSA de Rennes, 2014. Français

[6] **LEBBIHI Saci**, Refroidissement par convection naturelle d’une source de chaleur localisée au fond d’une enceinte remplie de nano fluide. Mémoire master, université Mohamed Khider Biskra 2014.

[7] **A.DAAS, S. DERFOUF, N. BELGHAR, M. FALEK**, Simulation numérique de l’échange thermique dans une enceinte rectangulaire, article, Third International conference on Energy, Materials, Applied Energetics and Pollution. ICEMAE p 2016, October 30-31, 2016 Constantine, Algeria.

[8] **BOULAHIA Zoubaire et al**, article : Modélisation de l’échange thermique des nano fluides dans une enceinte rectangulaire avec une paroi munie d’un bloc, Université Hassan II de Casablanca, Maroc.

## Bibliographique

---

- [9] **k. Najid, F. Dahami, Z. Boulahia et R. Sehaqui**, Modélisation de l'échange thermique par convection naturelle de nano fluide (Cu-eau) dans une enceinte à paroi ondulée, article, 13ème Congrès de Mécanique, Meknès, 11 au 14 Avril 2017.
- [10] **Mme TABET Sara**, 'Etude numérique de la convection naturelle dans une enceinte fermée partiellement chauffée', Thèse de doctorat Université d'Oran 2 Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle, 2017.
- [11] **KROUMA Saadia**, Influence de la géométrie des nanoparticules dans un nano fluide sur le transfert thermique, mémoire de master université de Mohamed Khider Biskra, 2017.
- [12] **HADAoui Abdellah**, Effets de taille et de concentration sur les propriétés thermiques et rhéologiques des nano fluides, Thèse Université d'Orléans, 2010.
- [13] **Zhongda ZHANG**, Gestion thermique des composants d'électronique de puissance -Utilisation du diamant CVD, Thèse en vue d'obtention du doctorat de l'université de Toulouse, 2012.
- [14] **KHIDER fatma Zohra**, Amélioration de la convection mixte en utilisant des ailettes cylindriques avec des ouvertures au niveau de la base, mémoire de master université de M'sila, 2016.
- [15] **Amrid MAMMARI**, 'Amélioration des performances énergétiques des systèmes de refroidissement industriels : Application aux serveurs informatiques', Doctorat Paris Tech, l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Paris, 2014.
- [16] **SALHI Hicham**, Etude numérique de la convection naturelle dans les enceintes: nano fluides, thèse université de Batna, 2015.
- [17] **Asma LAMRI ZEGGAR**, Contribution à l'Etude Théorique des Transferts Thermiques Convectifs dans un Nano fluide. Application aux Modèles Monophasique et Diphasique, mémoire de magister Université de Frères Mentouri, 2014.
- [18] **KHENTOUL Moussa**, Étude Numérique de la Convection Mixte dans un Canal Horizontal Contenant des Ailettes, Thèse de doctorat de l'université de Frères Mentouri- Constantine, 2016.

## Bibliographique

---

[19] **João-Paulo RIBEIRO, Jean-Antoine GRÜSS**, article, Nanofluides pour les applications thermiques, 2009.

[20] **AREELIS Technologies LUSAC** (Laboratoire Universitaire des Sciences Appliquées de Cherbourg), Dissipation thermique dans les composants/systèmes électroniques, un enjeu pour la fiabilité des Composants/Systèmes électroniques, NAE-1214-01-R1A, 27/07/2015.

[21]<http://hmf.enseeiht.fr/travaux/bei/beiep/book/export/html/889>

(Consulté 26/03/2019).

[22] **Adel HAMOUCH**, Refroidissement à air des composants électroniques par convection mixte, mémoire de magister de l'université de Frères Mentouri-Constantine, 2007.

[23]<https://www.electrolube.fr/articles-techniques/gestion-thermique-des-appareils-electroniques/> (consulté 09/04/2019).

[24] **REZAIGUIA Issam**, Investigation des échanges convectifs configurations, Thèse de doctorat de l'université Constantine, 2014.

[25] <http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/6275/2/Benladghem2.pdf> (consulté 08/06/2019).

[26] **Mansour TAWK**, Etude et réalisation d'un système de refroidissement pour l'électronique de puissance basé sur la mise en mouvement d'un fluide conducteur électrique, Thèse de doctorat de l'université Grenoble, 2006.

[27]<https://www.lactualitechimique.org/Materiaux-pour-l-electronique-presentation> (consulté 04/05/2019).

[28]<http://www.legi.grenoble-inp.fr/people/Philippe.Marty/cours-convection-M2.pdf>(consulté (consulté 12/05/2019).

## Résumé

On a proposé dans cette étude une simulation numérique dans le but de comparer l'effet du nanofluide (eau- Cuivre), nombre de composant électronique et le nombre de Reynolds sur le refroidissement des composants électroniques dans un micro canal, à cet effet on a utilisé un logiciel de simulation numérique ANSYS Workbench, dont les résultats obtenus ont montré que l'augmentation des composants électronique nécessite l'augmentation du nombre de Reynolds, qui provoque une amélioration de l'échange thermique dans un nanofluide, par convection.

**Mots clés :** Nanofluide, Convection, refroidissement des composants électroniques.

## ملخص

تم اقتراح محاكاة عددية في هاته الدراسة من أجل مقارنة تأثير مادة النانوفلويد (الماء- النحاس) وعدد المكونات الإلكترونية ورقم رينولدز على تبريد المكونات الإلكترونية في قناة متناهية الصغر ، ولهذا الغرض تم استخدام برنامج محاكاة ANSYS Workbench ، والذي يتسبب في تحسين التبادل الحراري في النانو فلويد ، بواسطة الحمل الحراري.

**الكلمات المفتاحية :** نانوفلويد, الحمل الحراري, تبريد المكونات الإلكترونية.

## Abstract

A numerical simulation was proposed in this study in order to compare the effect of the nanofluid (water-Copper), the number of electronic components and the Reynolds number on the cooling of electronic components in a micro-channel, for this purpose a simulation software was used ANSYS Workbench, whose results have shown that the increase of electronic components requires the increase of the number of Reynolds in a fluid causes an improvement of the convective heat exchange.

**Keys words:** Nanofluid, convection, Cooling electronic components.

