

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Mécanique
Filière : Génie Mécanique

Option : Systèmes Energétiques Et Développement Durable
Réf:.....

Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme:

MASTER

Thème

**INFLUENCE DE LA GEOMETRIE DES
NANOPARTICULES DANS UN
NANOFLUIDE
SUR LE TRANSFERT THERMIQUE**

Présenté par :
KROUMA Saadia
Soutenu le : 01 Juin 2017

Devant le jury composé de :

MrC. DERFOUF

Grade MCA

Président

MrN. BELGHAR

Grade MCA

Encadreur

MrA.LAGROUNE

Grade MAA

Examinateur

Année universitaire : 2016 / 2017

Résumé :

Afin d'étudier l'effet de la forme géométrique (sphérique et cylindrique) des nanoparticules d'un nanofluide dans le transfert de chaleur, on a proposé dans cette étude une note de calcul numérique dans le but de comparer l'effet de la forme géométrique sur le refroidissement des composants électroniques dans un micro canal, à cet effet on a utilisé un programme (logiciel) de simulation numérique ANSYS Workbench, dont les résultats obtenus ont montré que la modification de la géométrie des nanoparticules dans un fluide provoque une amélioration de l'échange thermique par convection.

ملخص:

من أجل دراسة مدى تأثير الشكل الهندسي (كروي واسطواني) للجزيئات النانومترية الموجودة في المائع على النقل الحراري، قمنا في هذه المذكرة بدراسة عددية حسابية وذلك من خلال تبريد المكونات الإلكترونية في قناة ميكرومترية، وللوصول لهذا الغرض استخدمنا برنامج المحاكاة العددية ANSYS Workbench، حيث أظهرت النتائج المتحصل عليها بأن التغيير في الشكل الهندسي للجزيئات النانومترية في المائع التبريدي ينتج تحسينا ملحوظا في التبادل الحراري وخاصة الحمل الحراري.

Abstract

In order to study the effect of the geometric (spherical and cylindrical) shape of the nanoparticles in the fluid in heat transfer, a numerical calculation note was proposed in this study to compare the effect of the geometric shape on the cooling of the components Electronics in a micro-canal, for this purpose we used the program ANSYS Workbench of numerical simulation, wich results confirmed that the modification of the geometry of the nanoparticles in a nanofluid leads to an improvement in the exchange of heat by convection.

Dédicace

Je Dédie ce travail à:

Ma très chère mère

(Que Dieu la protège)

L'âme de mon très cher père

(Que Dieu bénisse son âme)

Saadia

Remerciement

La matérialisation de ce travail n'est rendue possible que grâce au soutien et à la bonne volonté de certaines personnes à qui je juge nécessaire de témoigner ma gratitude.

Mes premiers remerciements vont tout naturellement à mon encadreur Dr. N. Belghar, merci infiniment monsieur, sans vous ce travail n'aurait pas pu voir le jour.

Je présente également mes remerciements à Pr. A. Moummi pour sa disponibilité et pour tout le savoir qui m'a enseignée et qui m'était très utile lors de la réalisation de ce présent travail.

Mes remerciements s'adressent aussi aux employés du département de Génie mécanique, surtout WAFI, et à tous mes collègues en Master 2 et spécialement SAAD pour son précieux aides.

Je tiens aussi à remercier ma collègue dans la Direction de L'Energie Mme F. Menadi ainsi le Directeur de l'Energie pour leurs encouragements.

Et finalement...

Je remercie mon très cher ami AZIZ de m'avoir aidée en ce qui concerne la partie informatique.

Que toute personne ayant aidé de près ou de loin soit assuré par ma profonde reconnaissance.

Sommaire

Résumé	
Dédicaces	I
Remerciements	II
Sommaire	III
Liste des figures	V
Liste des tableaux	VII
Nomenclatures	VIII
Introduction générale	1

Chapitre I: Analyse bibliographique

I.1 Introduction	3
I.2 Généralité sur les nanoparticules et les nanofluides	3
I.2.1 Les nanoparticules	4
I.2.2 Les nanofluides	4
I.2.2.1 Préparation des nanofluides	6
I.2.2.2 Caractéristiques thermo physiques des nanofluide	7
I.2.2.3. Les applications des nanofluides	10
I.3 Les microcanaux	10
I.3.1. Utilisation des microcanaux dans l'industrie	11
I. 4 Systèmes de refroidissement des composante électroniques	12
I.4.1 Refroidissement par liquide	13
I.4.2 Refroidissement par air	15
I.4.2 Refroidissement par convection naturelle	15
I.5 Le phénomène de convection	16
I.6 Synthèse bibliographique	17
I.7 Conclusion	20

Chapitre II: Formulation mathématique

II.1. Introduction	21
II.2. Définition géométrique	21
II.3. Formulation mathématique du problème	22
II.3.1. Les hypothèses	22
II.3.2. Equation de continuité	23
II.3.3. Equation de quantité de mouvement	24
II.3.4. Equation de conservation d'énergie	24
II.4. Nombres adimensionnels	25
II.4.1 Nombre de Reynolds (Re):	25
II.4.2 Nombre de Nusselt (Nu)	25
II.4.3 Nombre de Prandtl (Pr)	26
II.4.4 Nombre de Grashof (Gr)	26
II.4.5 Nombre de Rayleigh (Ra)	26
II.5. Equations adimensionnelles du problème	26
II.6. Conditions aux limites	27
II.7. Conclusion	28

Chapitre III: Simulation numérique

III.1 Introduction:	29
III.2 Procédures du calcul	29
III.2.1 Menu principal du logiciel ANSYS Workbench	29
III.2.2 Création de la géométrie	30
III.2.3 Le maillage	36

III.2.4 Configuration	37
III.3 Conclusion	38
Chapitre IV: Résultats et Discussions	
IV.1 Introduction:	39
IV.2 Convergence	40
IV.3 Résultats et interprétation	41
IV. 4 Champ de température pour différent nombre de Re	42
IV.4.1 Champ de température pour la forme sphérique	42
IV.4.2 pour la forme cylindrique	44
IV.5 Profil des lignes de courants pour différent nombre de Re	46
IV.5.1 pour la forme sphérique	46
IV.5.2 pour la forme cylindrique	48
IV.6 Le nombre de Nusselt pour différent nombre de Re	50
IV.6.1 Le nombre de Nusselt pour la forme sphérique	50
IV.6.2 Le nombre de Nusselt pour la forme cylindrique	51
Conclusion générale	53
Référence bibliographique	55

Liste des figures

Figure 1.1	Préparation des nanopoudres	4
Figure 1.2	Quelques différences majeures entre les microparticules et les nanoparticules	5
Figure 1.3	Exemples de nanofluides aqueux et opaques avec seulement 1 % de nanoparticules de diverses natures	6
Figure 1.4	Modèles de microcanaux	11
Figure 1.5	Quelques géométries des microcanaux	11
Figure 1.6	Principe de fonctionnement d'un caloduc	13
Figure 1.7	Quelques exemples de caloducs	13
Figure 1.8	Principe de fonctionnement des boucles fluide	14
Figure 1.9	Chambres de vapeur	15
Figure 1.10	Refroidissement à air (ventilateurs)	15
Figure 1.11	Phénomène de convection	16
Figure 2.1	Présentation de la géométrie du microcanal	21
Figure 2.2	Présentation du mouvement du fluide dans le microcanal en question	22
Figure 2.3	Schéma représentatifs des conditions aux limites	28
Figure 3.1	Menu principal de workbench	29
Figure 3.2	Création d'une analyse(projet) en mécanique de fluide	30
Figure 3.3	Création d'un projet en mécanique de fluide	31
Figure 3.4	Création du modèle géométrique (DesignModler)	31
Figure 3.5	Création du modèle de la géométrie	32
Figure 3.6	Création du modèle (plan de vue)	32
Figure 3.7	Création d'esquisse	33
Figure 3.8	Création d'esquisse	33
Figure 3.10	Définition des cotes du microcanal	34
Figure 3.11	Définition des surfaces	34
Figure 3.12	Définition des surfaces à mailler	35
Figure 3.13	Définition de la zone fluide	35
Figure 3.14	Spécification de la méthode de Maillage avec Meshing	36
Figure 3.15	Maillage	36
Figure 3.16	Spécification des parties soumis au conditions aux limites	37
Figure 3.17	Configuration du Modèle par le solveur FLUENT	38

Figure 4.1	Convergence de la solution	40
Figure 4.2	Champ de la température pour Re =100	42
Figure 4.3	Champ de la température pour Re =1000	43
Figure 4.4	Champ de la température pour Re =3000	43
Figure 4.5	Champ de la température pour Re =100	44
Figure 4.6	Champ de la température pour Re =1000	44
Figure 4.7	Champ de la température pour Re =3000	45
Figure 4.8	Profil des lignes de courant pour Re =100	46
Figure 4.9	Profil des lignes de courant pour Re =1000	47
Figure 4.10	Profil des lignes de courant pour Re =3000	47
Figure 4.11	Profil des lignes de courant pour Re =100	48
Figure 4.12	Profil des lignes de courant pour Re =1000	48
Figure 4.13	Profil des lignes de courant pour Re =3000	49
Figure 4.14	Variation de nombre de Nusselt pour Re =100	50
Figure 4.15	Variation de nombre de Nusselt pour Re =1000	50
Figure 4.16	Variation de nombre de Nusselt pour Re =3000	51
Figure 4.17	Variation de nombre de Nusselt pour Re =100	51
Figure 4.18	Variation de nombre de Nusselt pour Re =1000	52
Figure 4.19	Variation de nombre de Nusselt pour Re =3000	52

Liste des tableaux

Tableau 2.1	Dimensionnement du microcanal étudié	22
Tableau 4.1	Propriétés thermo physiques pour l'eau et le cuivre	39
Tableau 4.2	Propriétés thermo physiques pour le nanofluide (eau-Cuivre) pour la forme sphérique	39
Tableau 4.3	Propriétés thermo physiques pour le nanofluide (eau-Cuivre) pour la forme cylindrique	39
Tableau 4.4	Condition aux limites	44

Nomenclature

- C_p** : la chaleur massique ($J.kg^{-1}.K^{-1}$)
- g** : Accélération de la pesanteur ($m.s^{-2}$)
- h** : le coefficient d'change par convection ($W.m^{-2}.K^{-1}$)
- K** : La conductivité thermique ($W.m^{-1}.K^{-1}$)
- L** : Longueur de cavité (m)
- l** : Le long de la source de chaleur (m)
- m** : La masse (Kg)
- p** : pression du fluide (Pa)
- P** : pression adimensionnelle
- Gr** : Nombre de Grashof
- Pr** : Nombre de Prandtl
- Ra** : Nombre de Rayleigh
- Re** : Nombre de Reynolds
- Nu** : nombre de Nusselt
- T** : la température ($^{\circ}C$) ou (K)
- T_{∞}** : La température du fluide loin de la paroi ($^{\circ}C$)
- 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)
- x,y** : Les coordonnées cartésiennes
- X,Y** : Les coordonnées adimensionnelles
- Symbole Grecque :**
- α** : la diffusivité thermique ($m^2.s^{-1}$)
- β** : coefficient d'expansion thermique (K^{-1})
- ΔT** : la différence de température
- φ** : La fraction volumique
- θ** : Température adimensionnelle
- μ** : La viscosité dynamique ($N.s.m^{-2}$)
- ν** : La viscosité cinématique ($m^2.s^{-1}$)

ρ : La densité (Kg.m^{-3})

Indice :

c : chaude

f : froid

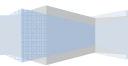
f : Fluide de base

nf : nanofluide

np : nanoparticules

INTRODUCTION

GENERALE



Introduction générale

L'amélioration du transfert de chaleur par convection est l'objet principal de plusieurs travaux, et pour se faire, un grand nombre de chercheurs ont mené une multitude d'essais théoriques, numériques et expérimentaux portant sur la description des phénomènes gérant la convection [1].

Les transferts thermiques convectifs dans une géométrie donnée peuvent être améliorés en changeant la géométrie, par exemple à l'aide de rugosités, d'ailettes, de corrugations, etc...

On peut citer celle qui consiste à augmenter la conductivité thermique des fluides de base (tels que l'éthylène glycol, l'eau et les huiles) par mise en suspension de nanoparticules solides dans ces fluides [2].

Les efforts visant à améliorer les échangeurs thermiques dans de nombreux secteurs industriels (automobile, électronique...) nécessitent l'intensification des transferts de chaleur par convection. De nouvelles voies d'optimisation doivent donc être étudiées [3].

L'utilisation des nanofluides en tant que fluide thermique est un nouveau domaine encore en phase de recherche. L'influence d'un certain nombre de paramètres, tels que la taille et la forme, les phénomènes aux interfaces entre liquide et particules, sont encore mal compris et caractérisés.

Au final, le succès du développement d'un nanofluide industriel demande la résolution simultanée de plusieurs aspects, à commencer par l'amélioration du coefficient d'échange thermique [3].

Le développement considérable récent des recherches traitant des nanofluides est dû au fait qu'il est possible, pour certaines applications, d'accroître de façon appréciable les transferts de chaleur en introduisant dans un fluide pure une faible concentration de nanoparticules.

En énergétique thermique, les nanofluides peuvent être utilisés partout où des flux de chaleur dissipés très importants doivent être évacués par des systèmes bouclés des liquides fermés (refroidissement de composants électriques et électroniques, automobile).

Les nanofluides pourraient apporter un résultat intéressant dans le refroidissement des miroirs, cibles et filtres des lasers et rayons X de forte puissance [3].

Objectif de l'étude

Ce mémoire a pour objectif, d'une étude numérique des échanges de chaleur dans des microcanaux, où circule un nanofluide sous différentes conditions aux limites. La méthode des volumes finis est utilisée pour la discrétisation et la résolution des équations de Navier-Stokes et de l'énergie par l'exploitation d'un logiciel de simulation numérique ANSYS WORKBENCH. Une étude paramétrique est menée en considérant la géométrie des nanoparticules dispersées dans un fluide de base. Il ressort de cette étude que le transfert de chaleur augmente en changeant la géométrie des nanoparticules dispersées.

Organisation du mémoire

Ce mémoire est structuré comme suit :

Le premier chapitre du mémoire présente une synthèse bibliographique permettant une meilleure compréhension des nanofluides, ainsi une étude bibliographique estimant les paramètres thermo-physiques, thermiques et hydrodynamiques, et de décrire les différents modèles de la littérature souvent utilisés pour l'estimation des propriétés thermo-physiques (conductivité thermique, viscosité dynamique, masse volumique...).

Le second chapitre illustre, la modélisation mathématique conduisant à la mise en équation du problème des échanges thermiques de la configuration en question, avec l'hypothèse où le nanofluide est assimilé à un fluide incompressible de caractéristiques thermophysiques particulières.

Nous précisons à la suite dans le troisième chapitre, les conditions aux limites choisies et la méthode numérique de résolution adoptée.

Le quatrième chapitre traite des résultats de simulations numériques de la configuration en 2D de la convection dans un microcanal muni à sa paroi inférieure des composants électronique.

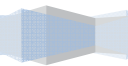
Nous avons utilisés pour cela le logiciel industriel ANSYS WORKBENCH, basé sur une méthode de volume finis (maillage structuré et non structuré).

Enfin, la conclusion où nous relevons les points importants de nos résultats et les perspectives qu'elle offre.

Chapitre I

Etude

Bibliographique



I.1 Introduction

Actuellement, en électronique les composants deviennent de plus en plus puissants et petite, par conséquence la chaleur évacuer devient très important ce qui engendre une réduction de la durée de vie et provoque des contraintes de fonctionnement, il est donc nécessaire d'avoir des systèmes énergétiques efficaces pour assurer un refroidissement de ces composants et par conséquent d'éviter les surchauffes et ou endommagement du système électronique.

Ce besoin d'améliorer les techniques de refroidissement a élargie les recherches concernant le transfert thermique au niveau des composantes électroniques [4].

Les fluides de transfert de chaleur communs tels que l'eau, l'éthylène glycol et l'huile de moteur ont des capacités de transfert de chaleur limités en raison de leurs faibles propriétés de transfert de chaleur. En revanche, les conductivités thermiques des métaux et des oxydes métalliques sont jusqu'à trois fois plus élevées que celles de ces fluides. Donc il est naturellement souhaitable de combiner les deux substances pour produire un milieu de transfert de chaleur qui se comporte comme un liquide, mais qui a la conductivité thermique proche de celle d'un métal. Ces mélanges sont appelés les **nanofluides**.

Ceux sont des suspensions de particules de taille nanométrique (**nanoparticules**) dans un fluide de base sont utilisés pour améliorer le taux de transfert de chaleur par l'intermédiaire de leur conductivité thermique plus élevée par rapport au fluide de base[2].

Ce chapitre présente une synthèse bibliographique des différentes articles et études menés sur les échanges de chaleur des nanofluides et leurs influence sur l'améliorations de transfert thermique après quelques généralités sur les nanofluides, les nanoparticules et les microcanaux.

I.2 Généralité sur les nanoparticules et les nanofluides

Les transferts de chaleur au sein de fluides conduit à de nombreuses applications pratiques et industrielles, y compris dans le transport, l'approvisionnement en énergie, la climatisation et le refroidissement, etc.

L'essor actuel des nanosciences a pour origine la mise en évidence des propriétés spécifiques de la matière aux dimensions nanométriques. Ceci a suscité de nouveaux champs d'étude dans de très nombreux laboratoires et a permis le développement des fluides aux propriétés originales [5].

I.2.1 les nanoparticules:

Les nanoparticules, également appelées particules ultrafines (PUF), sont des molécules dont la taille varie entre 1 et 100 nanomètres ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m} = 0,000000001 \text{ m}$). Elles sont donc plus grandes que des atomes et plus petites qu'une cellule.



Figure 1.1: Préparation des nanopoudres [6]

On distingue les nanoparticules « élaborées », fabriquées artificiellement, et les « émissions secondaires », sous-produits d'une réaction, comme les particules présentes dans la fumée de cigarette ou les émissions de diesel. Les nanoparticules artificielles sont fabriquées soit par fractionnement d'un matériau massif (approche descendante), soit par agglomération d'atomes (approche ascendante).

Leur intérêt réside dans leur taille qui leur confère des propriétés physico-chimiques inédites. Une même molécule peut d'ailleurs être inactive à l'échelle microscopique (10^{-6} m), et devenir très efficace à l'échelle nanoscopique, à cause de leurs situation à la frontière entre l'échelle microscopique et l'échelle atomique ou moléculaire, elles ont un intérêt à la fois fondamental et appliqué et sont très étudiées de nos jours [5].

Les nanoparticules ont de nombreux procédés de préparation qui peuvent être classés en deux catégories:

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

I.2.2 Les nanofluides:

Les nanofluides sont des solutions colloïdales composées de particules de taille nanométrique (nanoparticules) en suspension dans un liquide qui s'appelle un liquide de base.

Si l'idée même d'utiliser des particules solides en suspension pour améliorer un liquide est ancienne, puisqu'elle découle notamment des études analytiques de Maxwell vers 1873, ce n'est que

depuis les années 1990 que l'utilisation de particules d'échelle nanométrique est étudiée. Cela a été rendu possible grâce au développement de procédés de fabrication particuliers et novateurs [6].

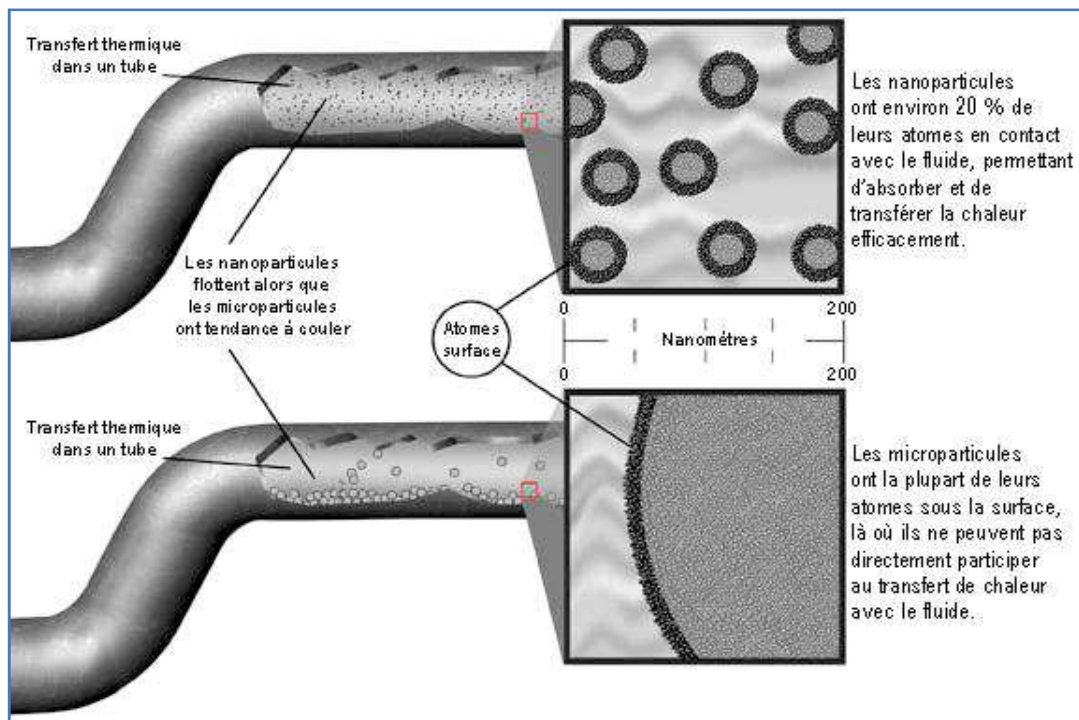


Figure 1.2: Quelques différences majeures entre les microparticules et les nanoparticules[6].

Les études scientifiques antérieures se contentaient de tester des suspensions plus ou moins bien contrôlées de particules de taille millimétrique ou micrométrique, donc 1000 à 1 000 000 de fois plus grosses que des nanoparticules. Celles-ci sont malheureusement par nature bien moins efficaces dans le temps. En effet, elles sédimentent rapidement vu leur masse plus importante et elles réduisent l'efficacité du transfert thermique paroi-fluide en se déposant un peu partout.

Le choix des liquides de base est essentiel pour un nanofluide, il admet d'assurer la stabilité de la suspension dans le temps et d'éviter tout phénomène d'agréations, la sélection d'un telle fluide se fera en fonction de la nature de nanoparticule.

Les nanoparticules utilisées pour obtenir des nanofluides est plusieurs on peut citer parmi les particules suivante les plus utilisées sont:

- ✓ Métalliques : le cuivre (Cu), l'aluminium (Al), l'or (Au), l'argent (Ag).
- ✓ Oxydes : l'oxyde de cuivre (CuO), l'oxyde de l'aluminium (Al₂O₃), le de titane(TiO₂).
- ✓ les nanotubes de carbone.
- ✓ le dioxyde de titane, Ti.

Les liquides de base les plus utilisés sont [7]:

- ✓ l'eau
- ✓ l'éthylène-glycol
- ✓ les huiles
- ✓ le toluène



Figure 1.3: Exemples de nanofluides aqueux et opaques avec seulement 1 % de nanoparticules de diverses natures [6]

I.2.2.1 Préparation des nanofluides

Il y a deux méthodes principales pour obtenir un nanofluide [6] :

- ✓ en une étape : vaporisation d'un matériau solide sous vide, puis condensation directe de sa vapeur dans le liquide
- ✓ en deux étapes : d'abord la fabrication d'une nanopoudre sèche, puis mélange et dispersion de celle-ci dans le liquide

Les procédés de fabrication sont de nature physique ou chimique. Ils 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 et certaines ne sont pas aptes à produire de grandes quantités de nanoparticules pour une production de masse vu les contraintes inhérentes au procédé, notamment les méthodes en une étape.

Les principaux moyens peuvent être [6] :

- la mécanosynthèse (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 assistés 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 (comme pour un usinage par électroérosion)

I.2.2.2 Caractéristiques thermo physiques des nanofluide

Les propriétés thermo physiques (conductivité thermique, masse volumique, la chaleur spécifique, la viscosité dynamique et cinématique, etc.) des fluides de base sont profondément modifiées par l'ajout des nanoparticules. Nous supposons dans notre travail que les nanoparticules sont bien dispersées de façon uniforme et forment une suspension stable dans le fluide de base et qu'elles sont en état d'équilibre thermique avec ce dernier [8].

1. La fraction volumique des nanoparticules (Φ):

Φ est symbole de rapport du volume des nanoparticules sur le volume total (fluide + solide)

$$\Phi = \frac{\text{volume solide}}{\text{volume total du nanofluide}} = \frac{V_{np}}{V_f + V_{np}} \quad (\text{I.1})$$

2. La masse volumique (ρ):

peut être évaluée en utilisant la relation suivante :

$$\rho_{nf} = \frac{m_{nf}}{V_{nf}} = \frac{m_f + m_{np}}{V_f + V_{np}} = \frac{\rho_f V_f + \rho_{np} V_{np}}{V_f + V_{np}} \quad (\text{I.2})$$

ou peut être écrite en fonction de la fraction volumique du nanofluide:

$$\rho_{nf} = (1 - \phi)\rho_f + \phi\rho_{np} \quad (\text{I.3})$$

où ρ_{nf} , m_{nf} , V_{nf} désignent respectivement la masse volumique, la masse et le volume du nanofluide

ρ_f , m_f , V_f la masse volumique, la masse et le volume du fluide de base

ρ_{np} , m_{np} , V_{np} la masse volumique, la masse et le volume des nanoparticules

3. La chaleur spécifique (C_p):

est donnée par deux relations:

$$\text{selon Pak et Cho [9] ont utilise : } (C_p)_{nf} = (1 - \Phi)(C_p)_f + \Phi(C_p)_{np} \quad (\text{I.4})$$

$$\text{selon Xuan et Roetzel [10] ont utilise : } (\rho C_p)_{nf} = (1 - \Phi)(\rho C_p)_f + \Phi(\rho C_p)_{np} \quad (\text{I.5})$$

où $(C_p)_{nf}$, $(C_p)_f$, $(C_p)_{np}$ désignent respectivement les chaleurs spécifiques du nanofluide, du fluide de base et des nanoparticules.

4. La conductivité thermique (K)

La conductivité thermique généralement est une propriété importante, principalement dans notre étude parce qu'elle joue un rôle très important dans le phénomène de transfert de chaleur, elle peut montrer clairement l'efficacité du transfert de chaleur du fluide ou du solide.

En plus de sa variation en fonction de la température, la conductivité thermique du nanofluide varie en fonction de la fraction volumique aussi, la conductivité thermique d'un nanofluide est calculé selon les modèles suivants:

a-Modèle de Maxwell:

Maxwell (1873) a présenté son modèle pour calculer la conductivité thermique d'un nanofluide en fonction de la fraction volumique de nano fluide, ce modèle est acceptable uniquement dans le cas des nanofluides qui comportent des nanoparticules sphériques, est donné par la formule suivante :

$$K_{nf} = \frac{K_{np} + 2K_f + 2(K_{np} - K_f)\phi}{K_{np} + K_f - (K_{np} - K_f)\phi} K_f \quad (\text{I.6})$$

Où

K_{nf} : La conductivité thermique du nanofluide.

K_f : La conductivité thermique du fluide de base.

K_{np} : La conductivité thermique des particules solides.

b-Modèle de Hamilton et Crosser:

Le modèle du Hamilton et Crosser a été développé pour exprimer plus efficace le calcul de la conductivité thermique du nanofluide quelque soit la forme de la nanoparticule.

Elle est donnée par l'expression suivant :

$$K_{nf} = \frac{K_{np} + (n-1)K_f - (n-1)(K_f - K_{np})\phi}{K_{np} + (n-1)K_f + (K_f - K_{np})\phi} K_f \quad (\text{I.7})$$

Où (n) est un facteur de forme empirique,
 $n=3$ pour les particules sphériques (Modèle de Maxwell)
 $n=6$ pour les particules cylindriques.

c-Modèle de Yu et Choi :

Une autre relation pour calculer la conductivité thermique a été introduite par Yu et Choi (2003). Ils ont proposé de modéliser les nanofluides comme un liquide de base et particules solides autres par une couche nanométrique. Cette couche agit comme un pont thermique entre le fluide et les nanoparticules. De plus, ils ont supposé que la conductivité thermique de la couche nanométrique est plus grande que la conductivité thermique de liquide. Le modèle de Yu et Choi est donné par la formule suivante :

$$K_{nf} = \frac{K_{np} + 2K_f + 2(K_{np} - K_f)(1 + \beta)^3 \phi}{K_{np} + 2K_f - 2(K_{np} + K_f)(1 + \beta)^3 \phi} K_f \quad (\text{I.8})$$

Où β est le rapport de l'épaisseur de la couche nanométrique sur le rayon des particules

5. La viscosité dynamique (μ):

La viscosité peut être définie comme étant une propriété d'un fluide pour qu'il résiste aux déformations lorsqu'il est mis en mouvement. On peut donc parler de la viscosité comme présent une mesure du frottement interne d'un fluide. Un liquide très visqueux est un liquide qui présente un frottement interne élevé. La dispersion des nanoparticules dans un liquide a un effet sur la viscosité dynamique de ce dernier. La viscosité obtenue devient la viscosité dynamique du nanofluide qui peut être influencé énormément par la qualité de la dispersion de la nanoparticule dans le fluide de base et de la température. Cette viscosité dynamique peut être calculée à partir de la viscosité du fluide de base et la fraction volumique du nanofluide. Pour ce qui suit nous allons citer deux modèles pour le calcul des viscosités apparentes :

a- Modèle d'Einstein

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

$$\mu_{nf} = \mu_f (1 + 2,5 \phi) \quad (\text{I.9})$$

Où μ_{nf} : La viscosité dynamique du nanofluide.

μ_f : La viscosité dynamique du fluide de base.

ϕ : La fraction volumique des nanoparticules.

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

b-Modèle de Brinkman

Brinkman (1952) a étudié la formule d'Einstein pour couvrir une large plage de concentrations volumiques.

$$\mu_{nf} = \frac{\mu_f}{(1-\phi)^{2,5}} \quad (I.9)$$

6. Le coefficient d'expansion thermique (β) :

peut être déterminé par l'expression suivante [7] :

$$(\beta)_{nf} = (1 - \phi)(\beta)_f + \phi(\beta)_{np} \quad (I.10)$$

Où $(\beta)_{nf}$: Le coefficient d'expansion thermique du nanofluide.

$(\beta)_f$ et $(\beta)_{np}$ désignent respectivement les du fluide de base et des nanoparticules.

1.2.2.3 Les applications des nanofluides :

- ✓ L'échangeur de chaleur
- ✓ Transport (gestion de refroidissement / véhicule moteur thermique)
- ✓ Les refroidissements d'éléments électroniques (produire un nano fluide stable qui est compatible avec des circuits et des composants électroniques).
- ✓ refroidissement des systèmes nucléaires
- ✓ biomédecine
- ✓ Autres applications (caloducs, piles à combustible, le chauffage solaire de l'eau, refroidisseurs, réfrigérateurs domestiques, Diesel combustion, Forage, Lubrifiants, stockage thermique, ...) [7].

I.3 les microcanaux

Le terme "micro-canal" désigne des canaux dont le diamètre hydraulique est compris entre 10 et 100 micromètres. ce sont des échangeurs de petites surfaces qui mènent à un transfert de grosses puissances thermiques vers un fluide caloporteur. Ils sont constitués d'un dissipateur de chaleur fabriqué d'un solide de grande conductivité thermique tel que le silicium ou le cuivre avec les microcanaux usinés au sein du solide. Un dissipateur de chaleur à microcanaux contient

généralement un grand nombre de microcanaux parallèles. 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 [2].

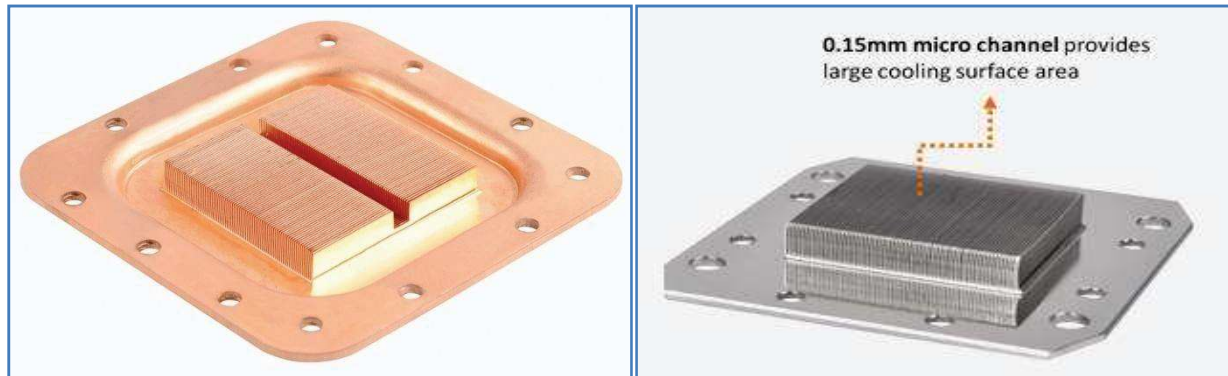


Figure 1.4: Modèles de microcanaux

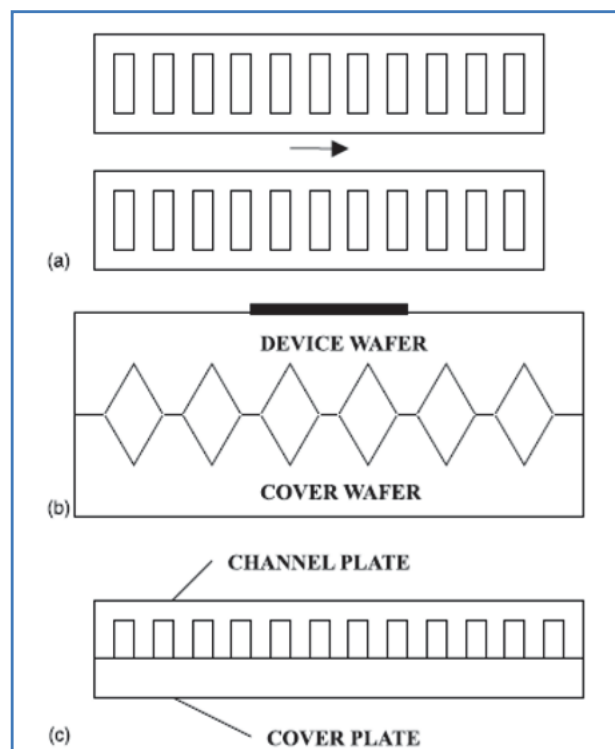


Figure 1.5: Quelques géométries des microcanaux [11]

I.3.1. Utilisation des microcanaux dans l'industrie

Dans les années actuelles, les principales industries telles que l'aéronautique, l'automobile et électronique sont le moteur du développement de la technologie de gestion thermique compacte et

efficace pour les dispositifs électroniques de pointe capables d'augmenter la vitesse de traitement des données. Les microcanaux sont des éléments de refroidissement compacts qui peuvent fournir une augmentation des taux de dissipation de la chaleur et une réduction des gradients de température au sein des composants électroniques. En raison de ses performances à dissiper les quantités importantes de chaleur produites par les processeurs ou d'autres petits appareils électroniques, le dissipateur de chaleur à microcanaux (DCMC) a reçu l'attention de nombreuses études au cours des dernières décennies [2].

I. 4 Systèmes de refroidissement des composants électroniques

Lorsqu'un composant électronique est parcouru par un courant électrique créé par des porteurs de charges, ces derniers interagissent avec les atomes du composant, ce qui induit une résistance au déplacement. Ainsi, pour contrer cette résistance, il faut fournir une puissance suffisante qui est ensuite dissipée sous forme de chaleur lors des interactions entre atomes : c'est l'effet Joule. Cette chaleur doit être évacuée par des méthodes industrielles telles que présentées dans la prochaine section, sous peine de fonte du composant.

chaleur

⚠ à résistance constante
et pour un courant périodique ou continu

$$W_{\text{joule}} = R \cdot I_{\text{eff}}^2 \cdot t$$

énergie dissipée par effet Joule
(joule)
résistance
(ohm)
intensité efficace
(ampère)
durée
(seconde)

$$P_{\text{joule}} =$$

puissance dissipée par effet Joule
(watt \equiv joule/s)

On trouve dans l'industrie trois façons de refroidir les composants électroniques : le refroidissement par liquide, par air ou par convection naturelle [12].

I.4.1 Refroidissement par liquide

- **Le caloduc**

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 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 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 [12].

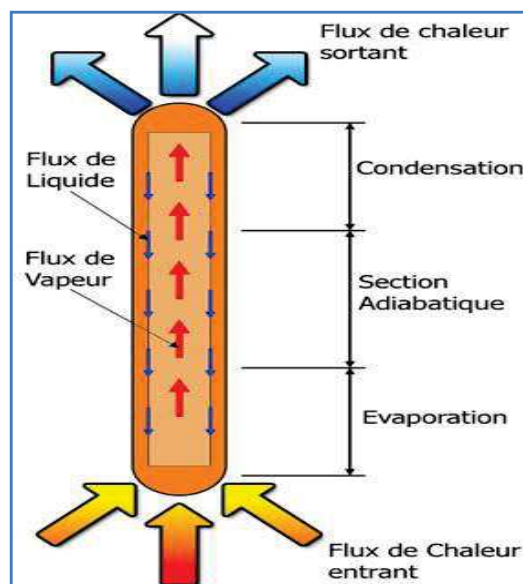


Figure 1.6: Principe de fonctionnement d'un caloduc[12]

Lorsqu'ils sont correctement dimensionnés, les caloducs offrent une conductivité thermique bien plus élevée (jusqu'à $200000 \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) que les métaux usuels, Ex : Cuivre: $386 \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ [13]



Figure 1.7: Quelques exemples de caloducs[13]

- **La boucle fluide diphasique à pompage mécanique**

Ce système est composé d'un ou plusieurs évaporateurs et condenseurs ainsi que d'une pompe permettant la circulation du liquide. Les composants électroniques à refroidir sont placés à proximité de l'évaporateur de la boucle puis le liquide saturé issu de la pompe soutire de la chaleur aux composants. Le liquide devient donc vapeur à partir de la température de saturation, ce qui augmente d'autant plus l'efficacité des transferts thermiques. La vapeur arrive ensuite au condenseur par le biais de la pompe, ce qui permet la liquéfaction de celle-ci [12].

- **la boucle fluide monophasique à pompage mécanique**

La boucle fluide monophasique utilise la chaleur du fluide caloporteur. Ce dernier absorbe la puissance dissipée par les équipements puis la rejette en se refroidissant dans un radiateur sans changer de phase. Le fluide est mis en mouvement par un système de pompage mécanique mais qui peut présenter l'inconvénient d'une durée de vie courte, peu souhaitable lors d'une mission satellitaire[12].

- **la boucle fluide diphasique à pompage capillaire**

Tel le caloduc, ce type passif de boucle fluide utilise les propriétés de changement de phase d'un fluide caloporteur, mais permet le transport de chaleur sur une plus grande distance pouvant aller jusqu'à une dizaine de mètres. Le fluide est mis en mouvement grâce aux forces capillaires s'exerçant au sein d'un milieu poreux[12].

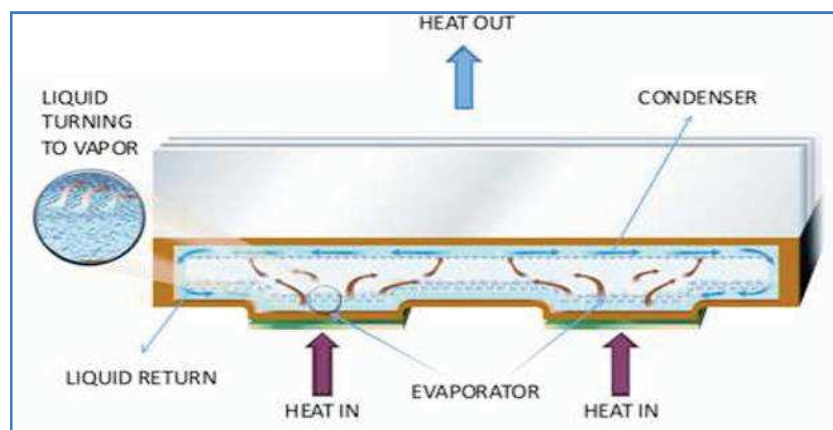


Figure 1.8: Principe de fonctionnement des boucles fluide [13]

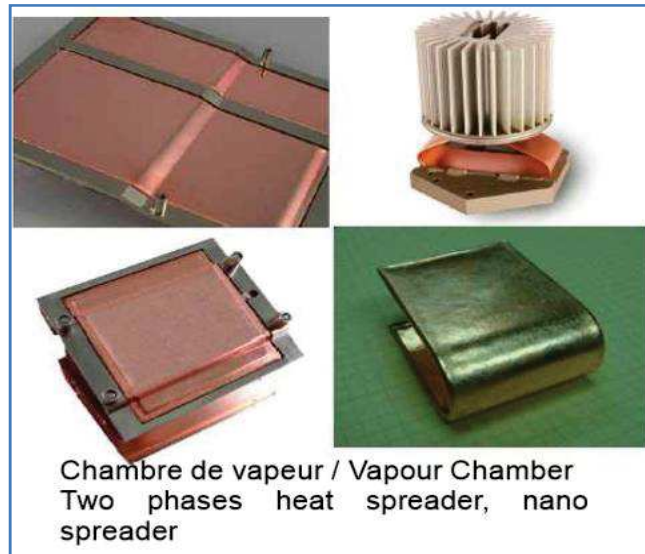


Figure 1.9: Chambres de vapeur [13]

I.4.2 Refroidissement par air

L'avantage du refroidissement de composants par un débit d'air incident par rapport aux caloducs est sa facilité de mise en place, sa fiabilité ainsi que son faible coût. En effet, le refroidissement par liquide peut endommager les composants si une fuite venait à se déclarer dans le système. De plus, une installation en plus pour contrôler et faire circuler le fluide de refroidissement est nécessaire, ce qui pose des problèmes d'encombrement. Le refroidissement par air est généralement mis en place avec un ventilateur[12].



Figure 1.10: Refroidissement à air (ventilateurs) [13]

I.4.3 Refroidissement par convection naturelle

C'est le cas de refroidissement des composantes électroniques, cette dernière dissipe la chaleur et il faut donc contrôler sa température pour éviter un dysfonctionnement. La convection naturelle est bien moins efficace que la convection forcée mais un avantage réside dans l'économie de moyens de refroidissement[12].

I.5 Le phénomène de convection [12]

La convection est un des trois modes de transfert de chaleur avec la conduction et le rayonnement. Le terme de convection fait référence aux transferts de chaleur se produisant entre une surface et un fluide en mouvement lorsque ceux-ci sont à des températures différentes. En plus du transfert d'énergie dû à la diffusion, il y a également transfert par le biais du mouvement du fluide. Ce dernier est associé au fait que de multiples molécules ont un mouvement collectif, ce qui implique un transfert de chaleur dans le cas où il existe un gradient thermique.

La contribution due au mouvement aléatoire des molécules, la diffusion, domine près de la surface où la vitesse du fluide est faible. En effet, à l'interface entre la surface et le fluide, étant donné que la vitesse du fluide est nulle, le seul mode de transfert est la diffusion. La contribution due au mouvement du fluide tient son origine du fait que la couche limite croît au fur et à mesure de l'avancée du fluide sur la surface.

Le transfert thermique par convection est divisé en deux parties suivant la nature de l'écoulement :

- **la convection forcée** apparaît lorsque l'écoulement est engendré par des moyens externes comme un ventilateur ou les vents atmosphériques
- **la convection naturelle** se produit lorsque l'écoulement est induit par une différence de masse volumique qui varie en fonction de la température au sein du fluide

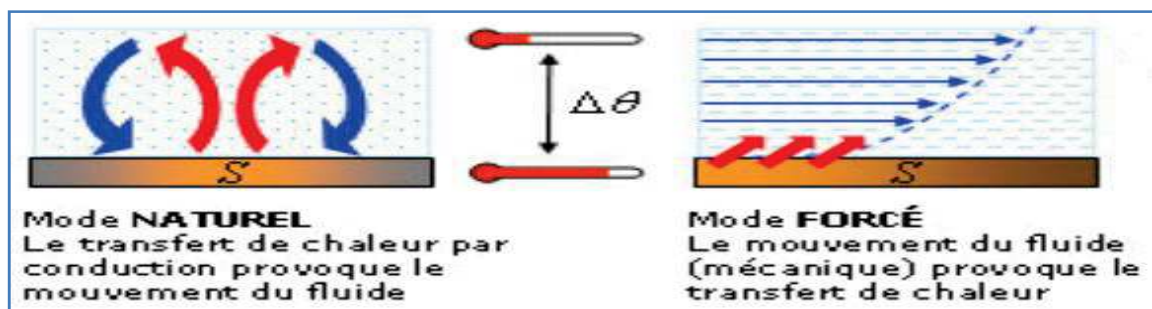


Figure 1.11: Phénomène de convection [12]

I.6 Synthèse bibliographique

Plusieurs travaux numériques et expérimentaux ont été effectués par les chercheurs et les scientifiques concernant le refroidissement par les nanofluides. Parmi lesquels :

REZAIGUIA Issam et KADJA M [2] (2015), ont étudiés numériquement les écoulements convectifs de deux genres : Un écoulement dû à la convection naturelle et l'autre dû à la convection forcée. La première étude a permis d'évaluer l'importance de l'ajout de particules solides au fluide pur dans l'amélioration de l'efficacité de refroidissement de surfaces soumises à des flux thermiques, en provoquant une réduction maximale de la température de ces surfaces.

La deuxième étude s'intéresse au transfert de chaleur dans des microcanaux usinés dans des dissipateurs thermiques. Le fluide utilisé est un nanofluide dont les propriétés sont fonction de la température. La dissipation de l'énergie est évaluée pour différents teneurs en fractions solides ainsi que l'efficacité de refroidissement de ce type moderne d'échangeurs de chaleur. La forme des canaux est également étudiée. Le paramètre d'évaluation utilisée pour la dissipation de l'énergie thermique est le nombre de Nusselt tandis que celui utilisé pour l'efficacité de refroidissement est la chute de pression statique entre l'entrée et la sortie du microcanal.

Les résultats obtenus ont montré une augmentation importante de transfert de chaleur avec la fraction solide au détriment d'une chute de pression accrue, à savoir le coût de pompage élevé (donc une faible efficacité de refroidissement). aussi que la géométrie de la section d'entrée du microcanal contribue considérablement aux valeurs des nombres de Nusselt et de chute de pression. Parmi les géométries testées (elliptique, rectangulaire, trapézoïdale). la section rectangulaire fournit le meilleur compromis entre le transfert de chaleur et l'augmentation des coûts de pompage.[2]

Les résultats obtenus ont permis de tirer les conclusions suivantes:

Le transfert de chaleur est augmenté par des valeurs allant jusqu'à 30% si l'on tient compte de la variation des propriétés du nanofluide avec la température.

Une augmentation du nombre de Reynolds donne lieu à une augmentation des vitesses d'écoulement et par conséquent à une meilleure évacuation de la chaleur.

Les effets de la fraction volumique solide sont perceptibles, en particulier à nombres de Reynolds élevés. La variation de la forme du canal, engendre une augmentation du nombre de Nusselt et la chute de pression .

Glads Bachir, Ragheb Sauli, Chakib Fakih et AbdekaderMojtabi [5] (2010), ont étudié l'intérêt de disposer des nanoparticules dans un fluide pour augmenter le transfert de chaleur par convection naturelle dans la configuration de Rayleigh Bénard.

Il ressort de cette étude que le flux de chaleur transféré en convection naturelle laminaire augmente lorsque la concentration en nanoparticules augmente. L'expérience est faite en plaçant un fluide porteur (eau) dans une cellule de grande extension horizontale chauffé par le bas et en introduisant de différentes concentrations de nanoparticules d' Al_2O_3 pour différentes valeurs de ΔT imposées aux parois horizontales (l'introduction de nanoparticules solides dans un fluide modifie ses propriétés physiques en particulier sa conductivité et sa viscosité)

Les résultats obtenus notent que l'augmentation de la concentration volumique en nanoparticules augmente de façon plus importante la diffusivité thermique (α) que la viscosité cinématique (ν), d'autre part, plus la concentration volumique en nanoparticules est importante plus le ΔT nécessaire au déclenchement de la convection dans la cellule est importante.

En conclusion cette expérimentation numérique ressort que le flux convectif laminaire évacué par un nanofluide dans la configuration de Rayligh – Bénard augmente avec la concentration volumique en nanoparticules mais cette augmentation reste limitée.

LEBBIHI Sasi et BELGHAR N [8] (2014), ont étudiés numériquement le transfert de chaleur par convection naturelle laminaire stationnaire des nanofluides remplies dans une enceinte rectangulaire contenant une source de chaleur isotherme, placé dans différentes positions. Les simulations numériques sont réalisées pour prédire l'effet de la fraction volumique, le nombre de Rayleigh et la position de la source de chaleur sur le transfert thermique, cette étude a montré que l'augmentation de la fraction volumique de nanofluide et le nombre de Rayleigh peut améliorer la performance du transfert de chaleur convective dans une cavité géométrique donnée, et peut considère le nanofluide est un fluide favorable pour les systèmes des refroidissements par rapport les autre fluide (les fluides de base).

Erahimia – Bajestan, A. Javadian – Saraf, H.Niazmand et P.Estellé [14] (2015) ont présenté une étude expérimentale de transfert de chaleur par convection laminaire pour deux types de nanofluide circulant dans un tube chauffé uniformément (nanofluide de l'argent Ag/eau et nanofluide de titane TiO_2 /eau), en utilisant un viscosimètre Lanmon –Fenshea pour mesurer la viscosité et un appareil fonctionne par le principe de la méthode de fil chaud transitoire pour mesurer la conductivité, les nanofluides ainsi que les pertes de charge ont été aussi mesurées.

Les résultats obtenus ont indiqué que l'augmentation du transfert de chaleur des nanofluides est plus notable aux concentrations plus élevées pour différents nombres de Re et concentration. Finalement un critère a été introduit pour les choix des nanofluides appropriés dans les applications de transfert de chaleur.

Sébastien Ferrouillat, André Bontemps, Jean Antoine Gruss, Olivier Poncelet et Olivier Soriano [15], ont réalisé une étude expérimentale sur l'influence du facteur de forme des nanoparticules sur les performances thermiques d'un nanofluide.

L'expérience est faite afin de mesurer les coefficients d'échange thermique en convection forcée pour un nanofluide (silice recouvertes d'argent + eau) à facteur de forme différents (le premier de nanoparticules sphériques de « facteur de forme $n=3$ », le deuxième à des nanoparticules longiligne « facteur de forme $n=4$ à 5 »).

Les performances thermo hydrauliques sont étudiées sur un banc d'essai permettant de modifier le gradient de la température près de la paroi, à la fois en mode chauffage et en mode refroidissement du nanofluide, les essais ont été effectués en comparant avec l'eau déminéralisée.

Les pertes de charge ont été également mesurées pour déterminer le coefficient de performance énergétique (PEC)

Les résultats obtenus ont montré une amélioration du PEC pour les nanofluides avec des nanoparticules à facteur de forme important ($n=4$ à 5) avec une augmentation remarquable des pertes de charge, ce qui conduit à des recherches d'un critère de performance adapté à un meilleur compromis entre une amélioration de transfert thermique et une augmentation raisonnable des pertes de charge.

HADAoui Abdellah [16] (2010), a travaillé sur l'effet de taille et de concentration sur les propriétés thermiques et rhéologiques des nanofluides, les nanoparticules sphériques (et de taille bien définie) ont été préparées par la méthode de synthèse par décomposition thermique, il s'agit des nanoparticules de cuprite qui sont obtenues à partir d'un mélange d'une masse d'acétyl acétonate de cuivre et un volume de l'oleylamine ($C_{18}H_{37}N$) à des températures bien déterminées en ajoutant l'acide oléique ($C_{18}H_{34}O_2$) qui a le rôle de séparer les nanoparticules, le fluide choisie comme milieu caloporteur est le glycérol. Deux tailles différentes de nanoparticules ont été préparées et l'expérience a été effectuée pour différentes concentrations des nanoparticules, les résultats expérimentaux ont montrés que l'inclusion de nanoparticules argenteuses considérablement la plage de températures étudiées, en fonction volumique égales, la taille des nanoparticules est sans influence notable sur la viscosité du nanofluide.

L'efficacité de transfert thermique est amélioré en utilisant de très petit particules tenant compte du mouvement brownien des nanoparticules au sein du liquide.

Salma HALELFADL [17] (2014), a mené une étude expérimentale sur les propriétés thermophysiques des nanofluides testés et sur les performances thermiques dans un échangeur de chaleur. elle a présenté également une analyse des résultats de façon à étudier l'influence de ces paramètres. Les résultats obtenus sont comparés et discutés vis-à-vis des modèles classiques existants, en proposant des améliorations et des interprétations selon les tendances obtenues.

Les résultats de cette étude montrent que l'utilisation des nanofluides à base de nanotubes de carbone offre clairement une amélioration des performances thermiques par rapport aux fluides de base classiques. Les nanofluides à base de NTC peuvent constituer ainsi un passage prometteur des transferts thermiques et présentent de bonnes perspectives et développement.

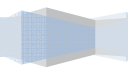
I.7 Conclusion

A travers cette étude et analyse bibliographique, on a vu l'influence des nanofluides sur le transfert thermique, soit en augmentant la concentration des nanoparticules, soit en changeant leurs tailles, etc., dans ce qui suit en va baser sur la géométrie des nanoparticules et voir comment sa influe sur l'échange thermique.

Chapitre II

Formulation

Mathématique



II.1. Introduction

Chaque écoulement causé par la force de flottabilité (convection naturelle) ou les écoulements de convection forcée, est décrit par le champ d'écoulement (composantes de la vitesse), le champ thermique, la distribution de pression et les propriétés locales du fluide. Ces variables sont gouvernées par les lois fondamentales de conservation de la masse, de quantité de mouvement et d'énergie. La solution de cet ensemble des équations gouvernantes dépend des valeurs de plusieurs groupes adimensionnels. Parmi ces groupes nous distinguons les nombres: Rayleigh, Grashof, Prandtl, Reynolds et d'autres nombres adimensionnels figurés par plusieurs propriétés physiques dépendent de la température.

L'importance simultanée des valeurs des nombres adimensionnels dépend des conditions thermiques et des facteurs géométriques.

L'objectif de ce chapitre consiste en premier lieu à donner les équations gouvernantes des cas traités dans cette mémoire puis à présenter la méthode numérique utilisée par le logiciel pour résoudre ces équations.

II.2. Définition géométrique

La configuration étudiée est représentée sur la figure (2.1). Il s'agit d'un micro canal de forme rectangulaire. Ses parois de bas sont maintenues à un flux de chaleur constant ϕ .

Le liquide qui circule dans le microcanal est un nanofluide à base d'eau contenant des nanoparticules cylindriques et/ou sphériques de cuivre.

La configuration géométrique du problème en question est montrée par les figures (2.1) et (2.2).

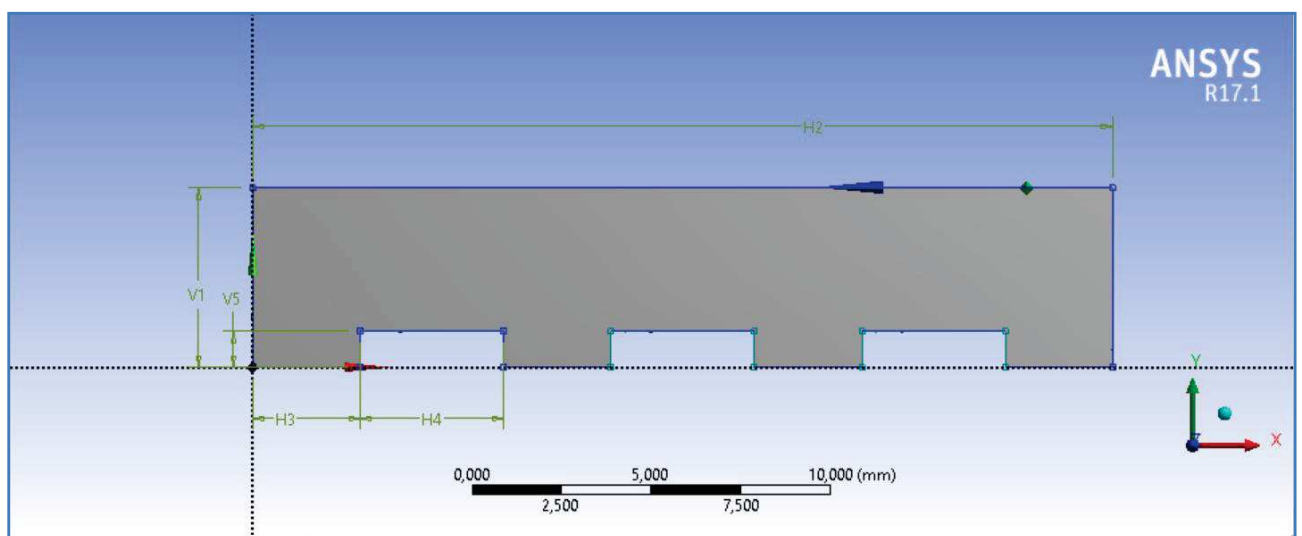


Figure 2.1 : Présentation de la géométrie du microcanal

où :

H2	H3	H4	V1	V5
longueur total (L) est de 24 mm	Largeur du canal 3 mm	Distance entre les canaux est de 4 mm	Hauteur (H) total est de 5 mm	Hauteur du canal est de 1 mm

Tableau 2.1 Dimensionnement du microcanal étudié

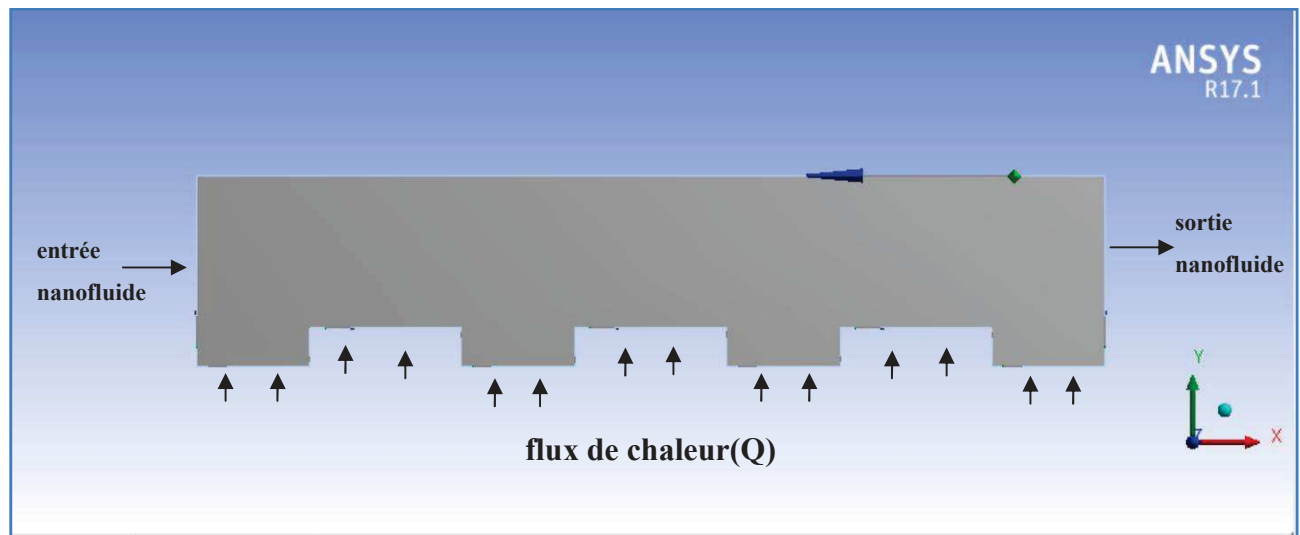


Figure 2.2 : Présentation du mouvement du fluide dans le microcanal en question

Où :

\emptyset : Le flux de chaleur dissipé dans le microcanal

II.3. Formulation mathématique du problème

Une modélisation doit obligatoirement exprimer le comportement du phénomène dans l'espace et dans le temps.

En mécanique des fluides, on suppose que le fluide est un milieu continu, ce qui permet d'utiliser les lois classiques de conservation à savoir :

1. Conservation de masse.
2. La quantité de mouvement.
3. Conservation d'énergie.

II.3.1. Les hypothèses

Il est maintenant nécessaire d'effectuer un certain nombre d'hypothèses afin d'établir un modèle mathématique simple qui décrit la physique de ce problème, donc on adopte les hypothèses suivantes :

- ✓ L'écoulement est stationnaire et bidimensionnel.
- ✓ Le nanofluide 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 ainsi que le transfert de masse.
- ✓ 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 :

$$\rho = \rho_0 [1 - \beta(T - T_0)]$$

D'où: T : Représente la température du fluide en un point donné du système.

T_0 : La température de référence qui correspond généralement à la valeur moyenne de la température dans le système.

ρ : La masse volumique du fluide à la température de référence.

β : Le coefficient d'expansion volumique thermique du fluide, il est donné par :

$$\beta = -\frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p$$

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 μ , la conductivité thermique k et la chaleur massique à pression constante C_p) sont considérées comme constantes et définies à la température de référence ».

Les équations de la continuité de la quantité de mouvement et de l'énergie forment le modèle mathématique de l'écoulement de la convection forcée laminaire.

Dans le cas de l'écoulement bidimensionnel et stationnaire, le système d'équations, relativement à un système de coordonnées cartésiennes s'exprime comme suit :

II.3.2 Equation de continuité

C'est l'équation qui exprime la loi de conservation de la masse pour un volume de contrôle matériel. Elle s'exprime mathématiquement sous la forme suivante :

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

Où ρ est la masse volumique et V est le vecteur de vitesse.

Après d'application des précédentes hypothèses on obtient :

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

u et v étant les composantes du champ de vitesse $V(u,v)$ dans la direction x et y respectivement.

II.3.3 Equation de quantité de mouvement

Le principe de conservation de la quantité de mouvement permet d'établir les relations entre les caractéristiques du fluide lors de son mouvement et les causes qui le produisent. Il indique que le taux de variation de quantité de mouvement contenu dans le volume de contrôle est égal à la somme de toutes les forces extérieures qui lui sont appliquées. Il s'écrit sous la forme suivante :

$$\frac{D}{Dt}(\rho \cdot V) = \rho F - \text{grad}(p) + \mu \Delta V + \frac{1}{3} \mu \text{grad}(\text{div}(V)) \quad (\text{II.3})$$

Où F est une force par unité de volume.

Les équations de quantité de mouvement s'écrivent de la manière suivante :

Suivant x :

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

Suivant y :

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

II.3.4. Equation de conservation d'énergie

L'équation de conservation d'énergie est obtenue à partir du premier principe de la thermodynamique. Ce principe met en relation les différentes formes d'énergie, soit :

$$\frac{D}{Dt}(\rho c_p T) = \Delta(K \cdot T) + q + \beta T \frac{Dp}{Dt} + \mu \Phi \quad (\text{II.6})$$

Avec :

$\frac{D}{Dt}(\rho c_p T)$: La variation totale d'énergie (par accumulation et convection).

$\Delta(K \cdot T)$: La variation d'énergie par conduction.

q : Puissance volumique dissipée.

$\beta T \frac{Dp}{Dt} +$: La variation d'énergie due à la compressibilité.

$\mu\phi$: La dissipation irréversible due au frottement visqueux.

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 :

$$\frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (\text{II.7})$$

II.4 Nombres adimensionnels:

II.4.1 Nombre de Reynolds (Re):

Nombre de Reynolds est également un facteur important qui repose sur lui les régimes d'écoulement, (Re) est proportionnel au rapport entre les forces d'inertie et les forces de viscosité. Il est défini comme suit :

$$Re = \frac{\rho V L}{\mu} \quad (\text{II.8})$$

où: V est la vitesse d'écoulement [m/s]

L la longueur caractéristique [m]

Pour les écoulements internes la dimension caractéristique du système à utiliser dans le calcul du nombre de Reynolds est le diamètre hydraulique[m]qui est donné par:

$$D_h = \frac{4.S}{P}$$

où: S est la surface du tuyau [m²]

P est son périmètre [m].

II.4.2 Nombre de Nusselt (Nu)

Le nombre de Nusselt est le rapport entre le transfert thermique total et le transfert par conduction.

Il peut être exprimé comme :

$$Nu = \frac{hL}{K} \quad (\text{II.9})$$

où : L la longueur selon laquelle se fait l'écoulement [m]

h Le coefficient d'échange thermique [W.m⁻².K⁻¹].

II.4.3 Nombre de Prandtl (Pr)

Le nombre de Prandtl est le rapport entre le diffusivité de quantité de mouvement et la diffusivité thermique. Il peut être exprimé comme

$$Pr = \frac{\mu C_p}{K} \quad (\text{II.10})$$

II.4.4 Nombre de Grashof (Gr)

Le nombre de Grashof est proportionnel au rapport entre les forces de gravité par les forces visqueuse, il s'exprime comme suit:

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot L^3 \cdot \rho^2}{\mu^2} \quad (\text{II.11})$$

Où : g L'accélération de la pesanteur [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$].

ΔT La différence de température [$^{\circ}\text{C}$].

L la longueur selon laquelle se fait l'écoulement [m]

II.4.5 Nombre de Rayleigh (Ra)

Le nombre de Rayleigh est proportionnel entre l'importance relative de la poussée d'Archimède et le produit de la trainée visqueuse par le taux de diffusion thermique. et regroupe aussi les nombres de Prantl et Grashof et est donné par:

$$Ra = \frac{g \cdot \Delta T \cdot L^3}{\alpha \nu} = Gr \cdot Pr \quad (\text{II.12})$$

II.5 Equations adimensionnelles du problème

L'adimensionnalisation ou normalisation consiste à transformer les variables dépendantes et indépendantes en des variables sans dimension, c'est-à-dire qu'elles seront normalisées par rapport à certaines dimension caractéristiques. Cela permet de spécifier les conditions d'écoulement avec un nombre restreint de paramètres de façon à rendre la solution plus générale.

De façon à rendre les équations précédentes adimensionnelles, elles seront transformées par les relations suivantes :

$$X = \frac{x}{L}$$

$$Y = \frac{y}{L}$$

$$U = \frac{u}{\left(\frac{\alpha_{nf}}{L}\right)}$$

$$V = \frac{v}{\left(\frac{\alpha_{nf}}{L}\right)}$$

$$\theta = \frac{T - T_{nf}}{T_c - T_{nf}}$$

$$P = \frac{p}{\rho(\frac{\alpha_{nf}}{L})^2}$$

En introduisant les grandeurs sans dimension dans les équations de conservation de masse (II.2), de mouvement (II.4 et II.5) et d'énergie (II.7), on obtient respectivement :

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0 \quad (\text{II.13})$$

$$U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial X} + \frac{\mu_{nf}}{\rho_{nf}\alpha_{nf}} \left(\frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} \right) \quad (\text{II.14})$$

$$U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial Y} + \frac{\mu_{nf}}{\rho_{nf}\alpha_{nf}} \left(\frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} \right) + \frac{(\alpha\beta)_{nf}}{\rho_{nf}\beta_f} RaPr\theta \quad (\text{II.15})$$

$$U \frac{\partial \theta}{\partial X} + V \frac{\partial \theta}{\partial Y} = \frac{\alpha_{nf}}{\alpha_{nf}} \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} \right) \quad (\text{II.16})$$

II.6. Conditions aux limites

Dans ce travail, les conditions aux limites hydrodynamique et thermique sont choisies comme suit:

- Le régime d'écoulement est laminaire.
- Les deux parois sont soumises à un flux de chaleur de $\varphi = 150 \text{ m} / \text{w}^2$
- La température de fluide utilisé été fixé $T_{in} = 300\text{K}$ à l'entrée de microcanal.
- La vitesse est uniforme unidimensionnelle, qui est appliquée en tant que condition aux limite hydrodynamique à l'entrée de microcanal.

Les conditions aux limites du phénomène étudié sont récapitulées de la manière suivante :

Le fluide écoulé dans le microcanal est un nanofluide de type (eau-cuivre) avec les paramètres physique calculés selon les équations citées ci dessus.

- A l'entrée de canal ($x = 0$) :
 $u = U_{en} ; v = 0 ; T = T_{en}$
- à la sortie de canal ($x = L$) : Les gradients de tous les paramètres sont nuls
 $(\partial u / \partial x = \partial v / \partial x = \partial T / \partial x = 0)$
- à la paroi inférieure ($y = 0$) et
 $u = 0 ; v = 0$
 $\varphi = 10 \sim 350 \text{ w/m}^2$ [13]
- à la paroi supérieure ($y =$) de microcanal : adiabatique $\frac{\partial T}{\partial x} = 0$

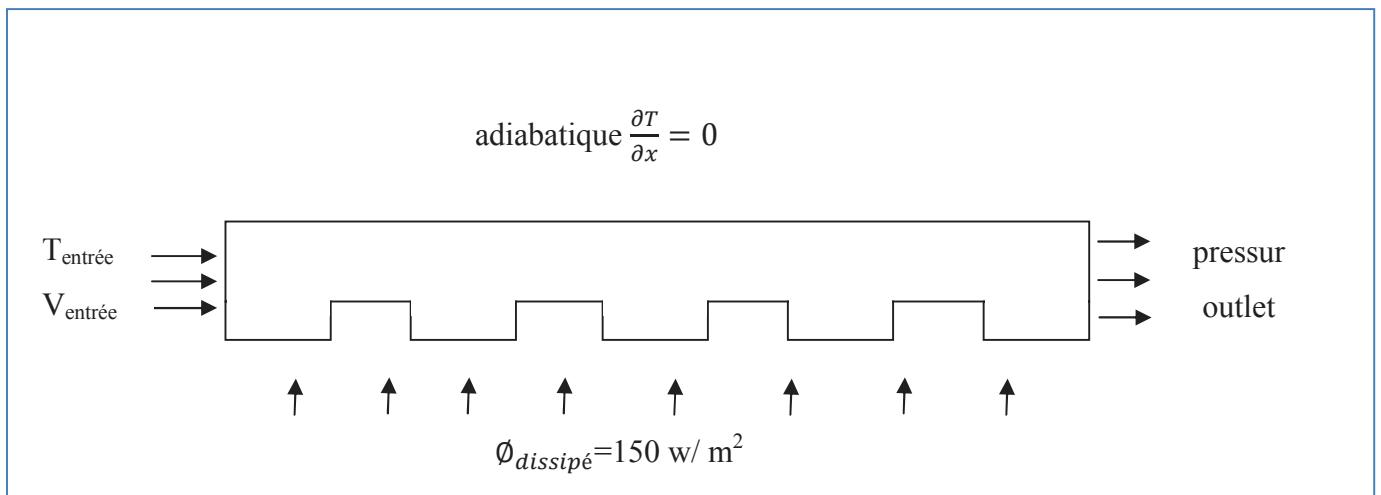


Figure.2 3: Schéma représentatifs des conditions aux limites

II.7 Conclusion :

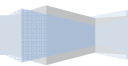
Dans ce chapitre nous avons exposé le modèle physique examiné et les équations qui régissent ce modèle physique de la convection forcée en régime laminaire(turbulent) et stationnaire le long d'un microcanal.

Ensuite, nous avons spécifié les conditions aux limites de tous la frontière du domaine de l'écoulement pour résoudre les équations de la dynamique des fluides qui se font par l'utilisation des méthodes numériques où intervient le concept de la discrétisation.

Chapitre III

Simulation

Numérique



III.1 Introduction:

Dans ce chapitre, on a procédé une simulation numérique en utilisant l'éditeur de logiciels **ANSYS Workbench**, cette plate-forme propose une approche différente dans la construction d'un modèle en réutilisant le code ANSYS initial.

Elle est particulièrement adaptée au traitement de cas à la géométrie complexe (nombreux corps de pièces) et aux utilisateurs non confirmés dans le domaine du calcul.

Dans cet environnement, l'utilisateur travaille essentiellement sur une géométrie et non plus sur le modèle lui-même. La plate forme est donc chargée de convertir les requêtes entrées par l'utilisateur en code ANSYS avant de lancer la résolution.

III.2 Procédures du calcul

III.2.1 Menu principal du logiciel ANSYS Workbench

L'ouverture du logiciel fait apparaître le menu principal présenté ci-dessous:

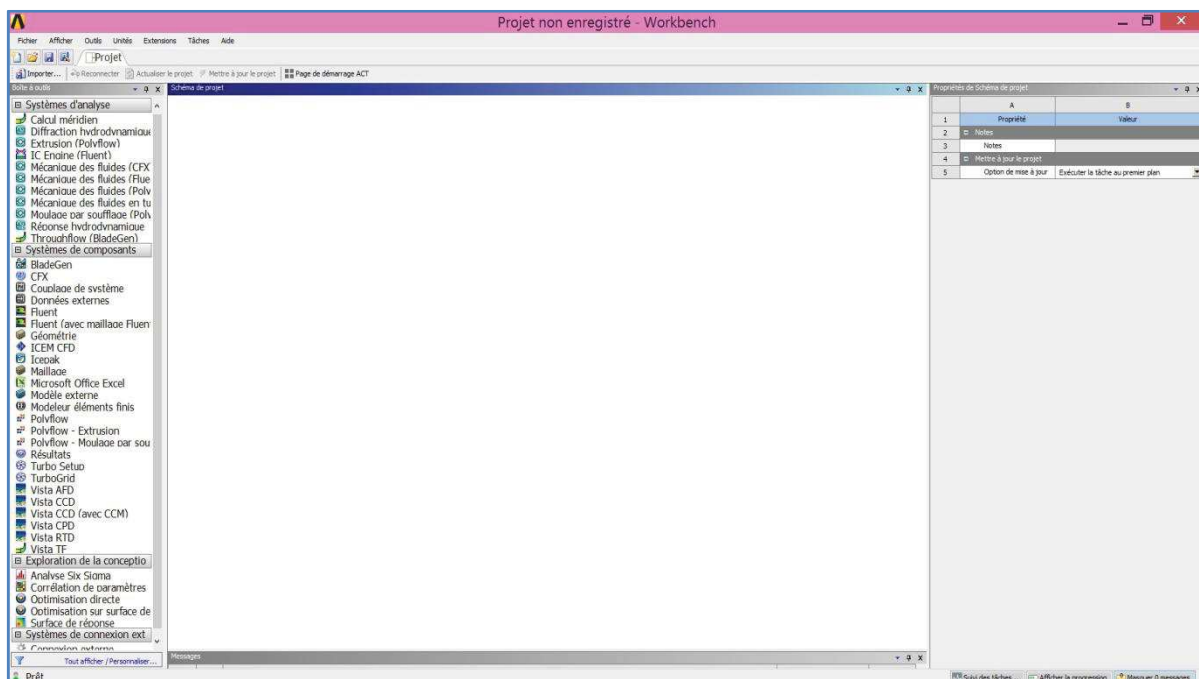


Figure 3.1 Menu principal de workbench

La barre d'outils nous donne accès à plusieurs systèmes d'analyse. Pour débiter une analyse en mécanique des fluide (Fluent) glisser dans schéma de projet (figure 3.2)

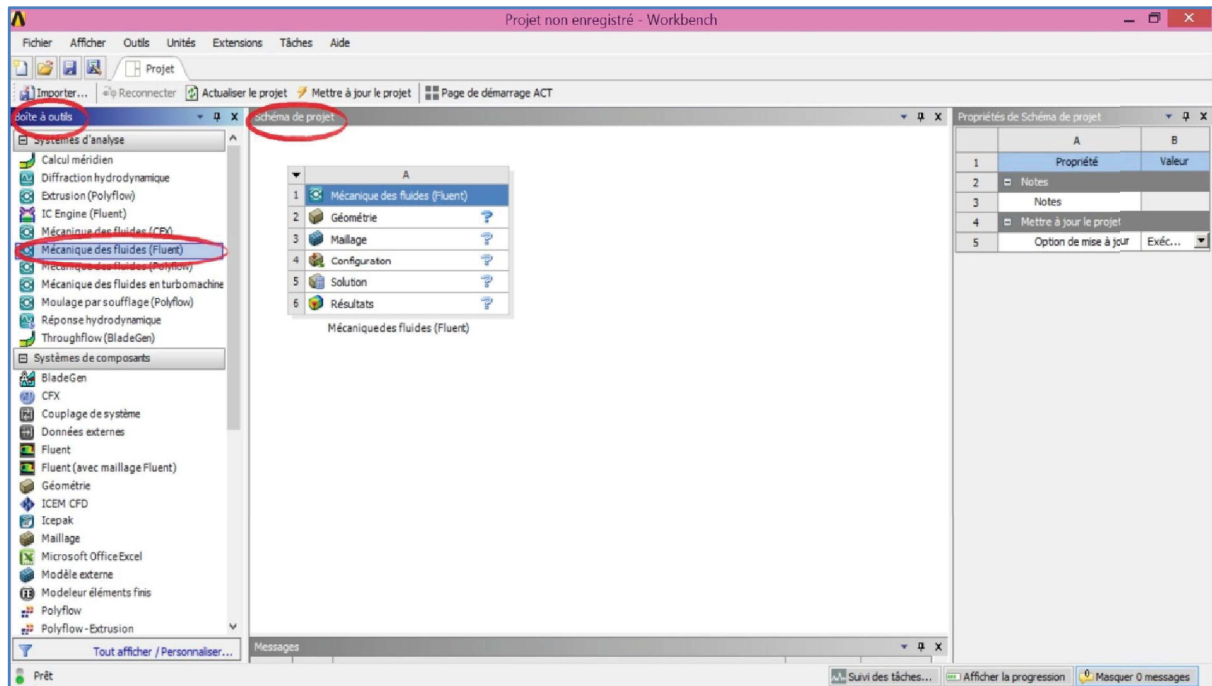


Figure 3. 2 Création d'une analyse (projet) en mécanique de fluide

le tableau créer constitué de 5 étapes :

1. **Géométrie:** Utilisé pour importer, créer, modifier ou mettre à jour un modèle pouvant être utilisé pour une analyse.
2. **Maillage:** cette cellule est associée à la définition de la géométrie, des systèmes de coordonnées, des connections et du maillage dans le module de simulation Mécanique.
3. **Configuration:** permet de définir les chargements, conditions aux limites et autre configuration de l'analyse.
4. **Solution :** La cellule Solution permet d'avoir accès aux données de résolution.
5. **Résultats:** cette cellule regroupe les résultats de l'analyse.

III.2.2 Création de la géométrie:

Pour créer une géométrie avec Ansys Workbench Double clique sur **Géométrie** pour ouvrir le module de création géométrique "**DesignModeler**" (figures: (3.3), (3.4), (3.5))

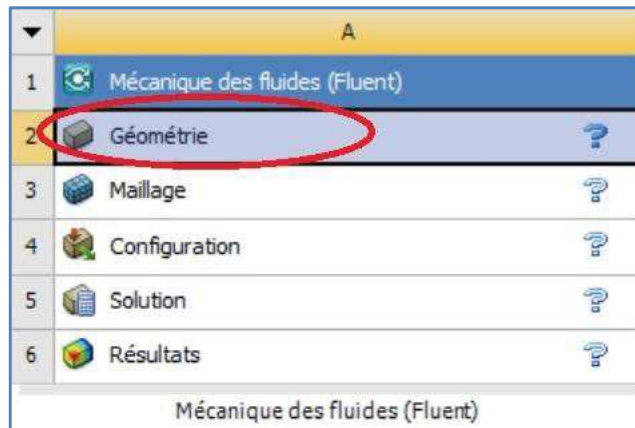


Figure 3. 3 Création d'un projet en mécanique de fluide

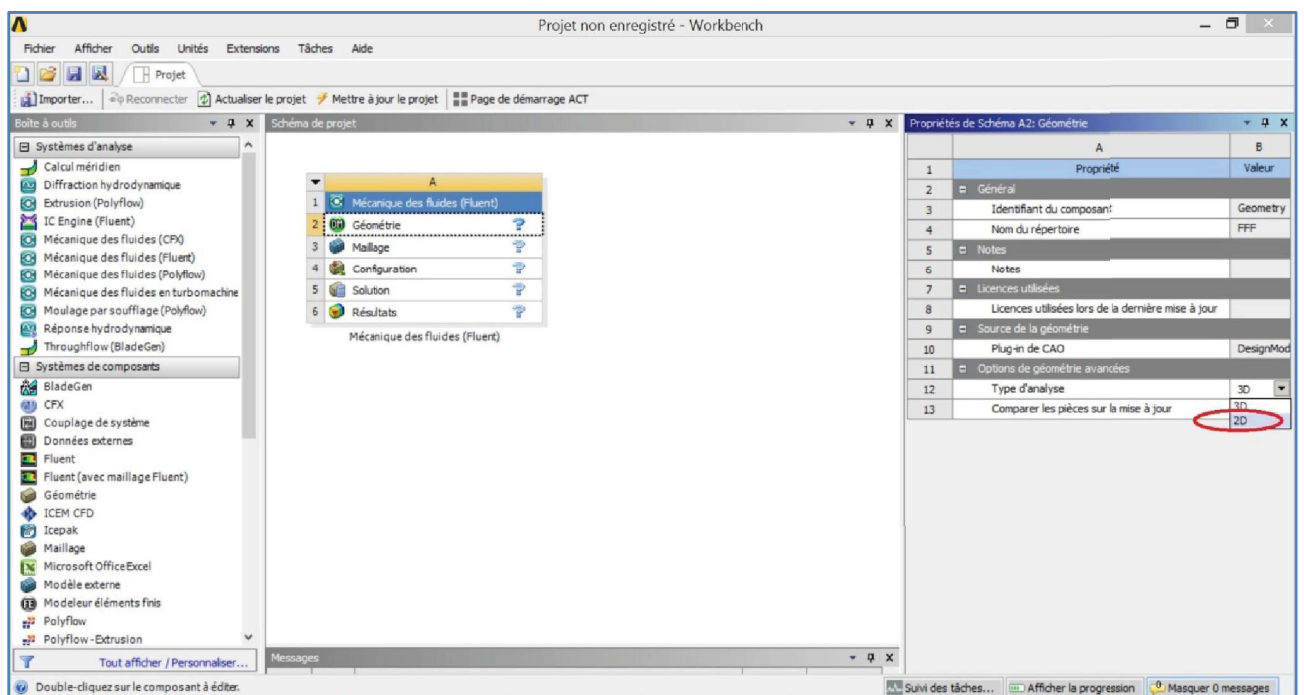


Figure 3. 4 : Création du modèle géométrique (DesignModler)

Il faut modifier le type d'analyse :3D ou 2D

Après le l'ouverture du module de création géométrie, sélectionnez millimètre comme unité de dimension

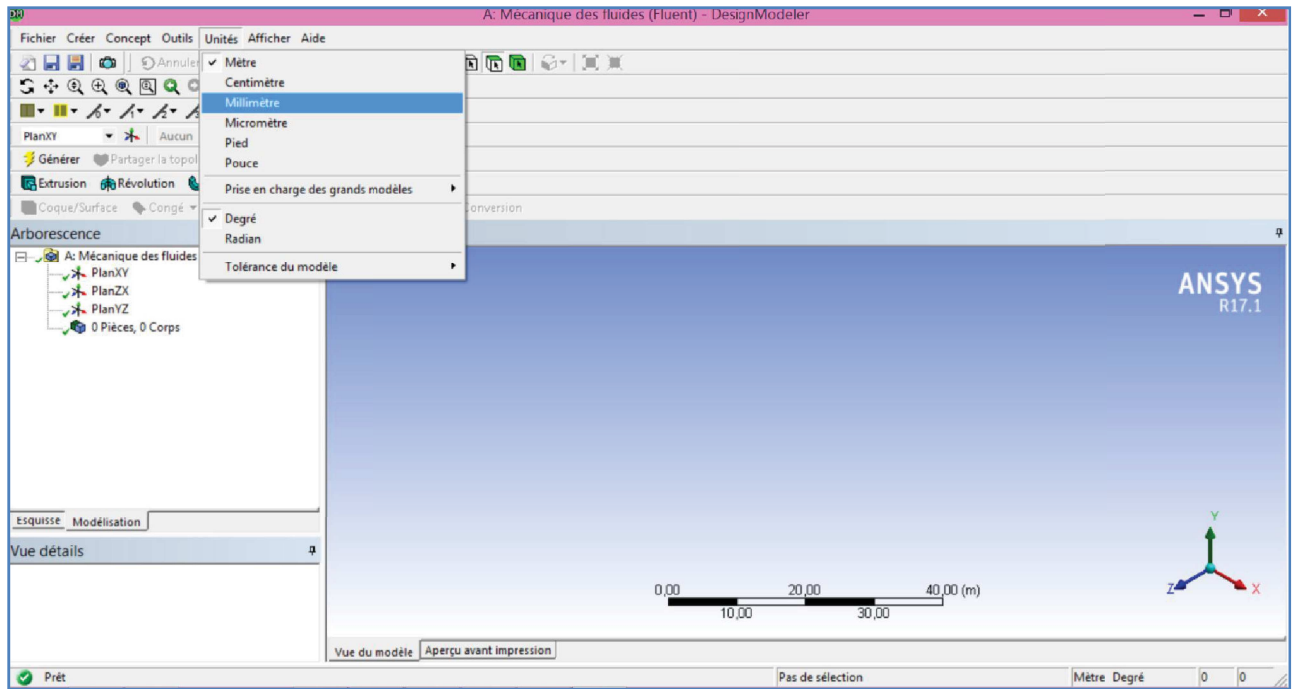


Figure 3.5 Création du modèle de la géométrie

Par la suite, on choisi le plan et la vue sur lequel on va travailler, en cliquant sur le plan XY, et sur



dans la barre d'outils:

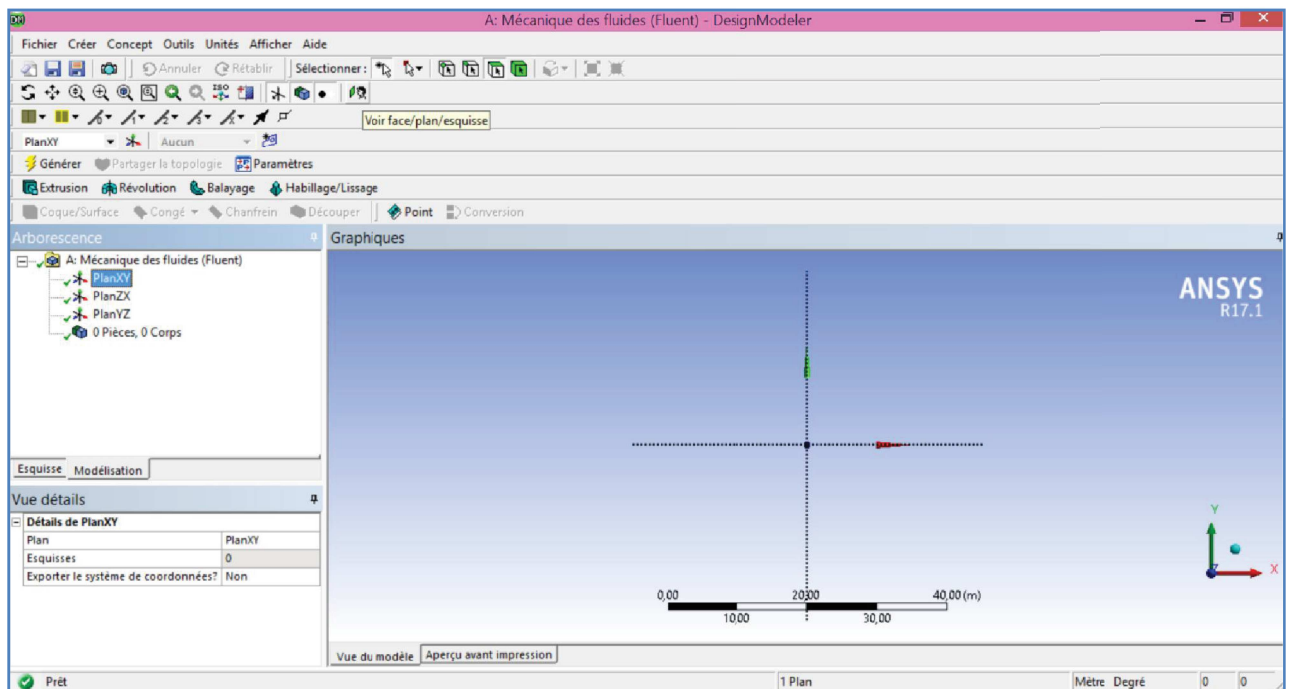


Figure 3.6:Création du modèle (plan de vue)

Pour dessiner l'esquisse on clique sur la boîte à outils Esquisse qui va permet de créer la géométrie, d'y ajouter des dimensions et de la contraindre:

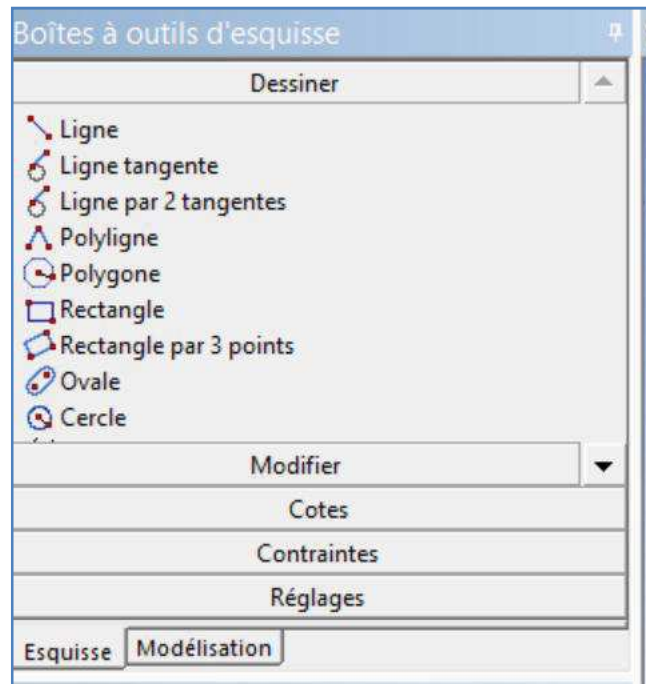


Figure 3.7: Création d'esquisse

On obtient cet esquisse:

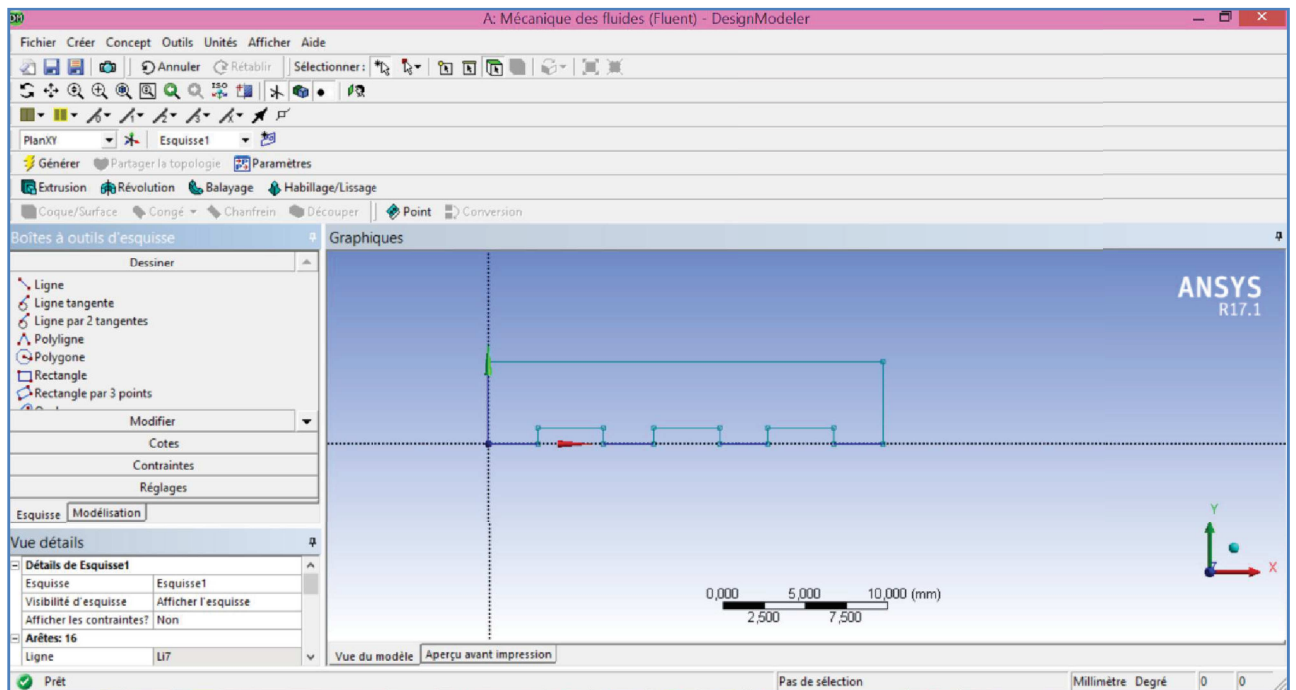


Figure 3.8:Création d'esquisse

Définissant les cotes de la géométrie comme suit:

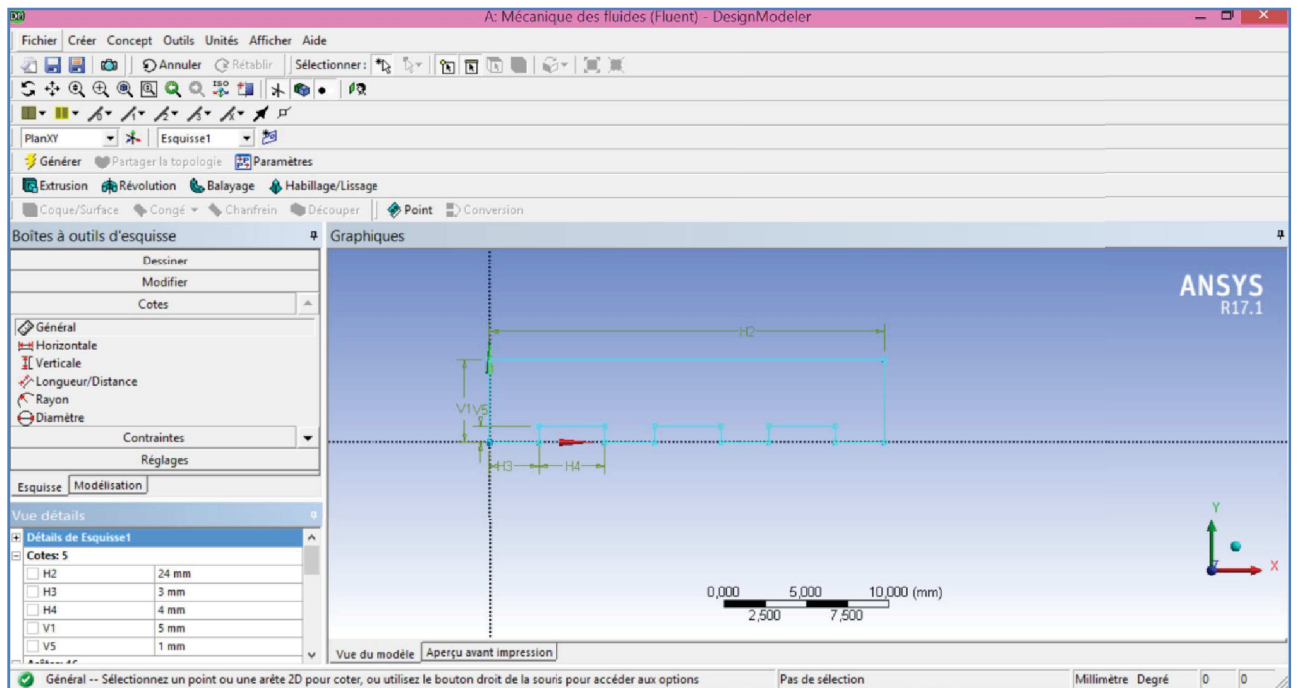


Figure 3.10 :Définition des cotes du microcannal

Maintenant on va créer la zone où le fluide va circuler, c'est la surface délimité par l'esquisse en vert, et c'est la surface concernée par le maillage. La définition des surfaces se fait dans le menu Concept => Surface à partir d'esquisse => Esquisse1 => Appliquer => Générer

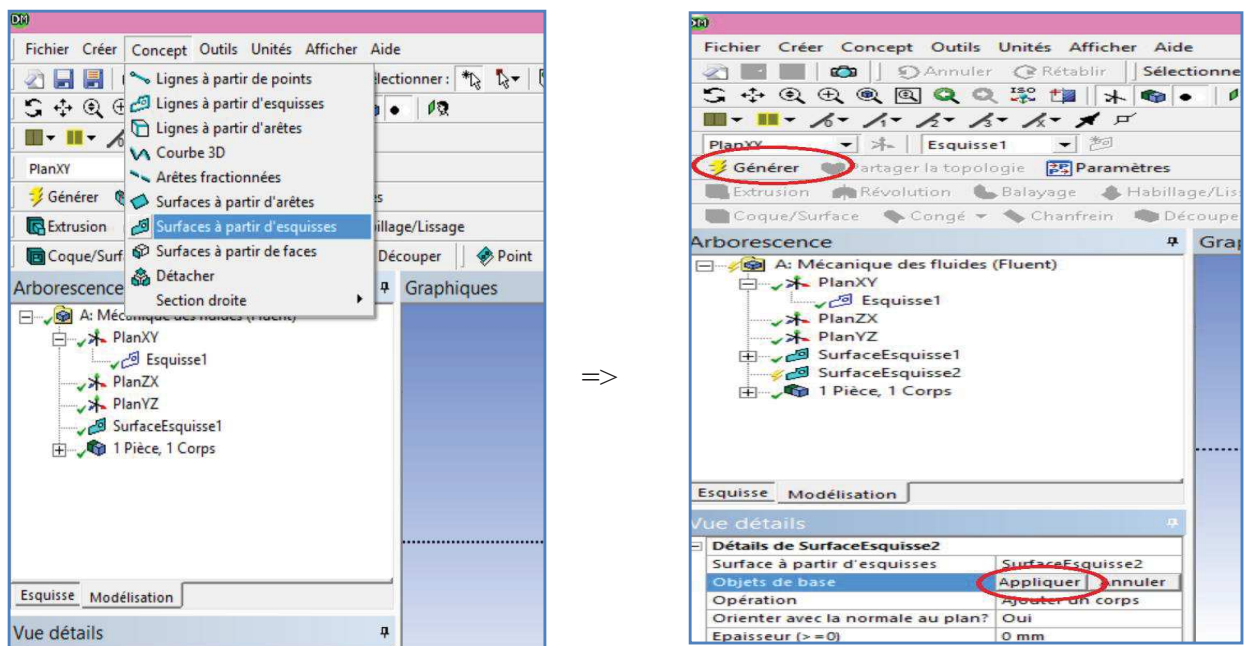


Figure 3.11: Définition des surfaces

En créant les zones d'intérêt. Nous allons convertir notre dessin en linges, elles permettront de créer une surface en sélectionnant un contour fermé constitué de linges.

Pour cela, cliquant dans Concept=>Linges à partir d'esquisse => Esquisse1 =>Appliquer => Générer. Voici ce qu'on obtient (en vert) :

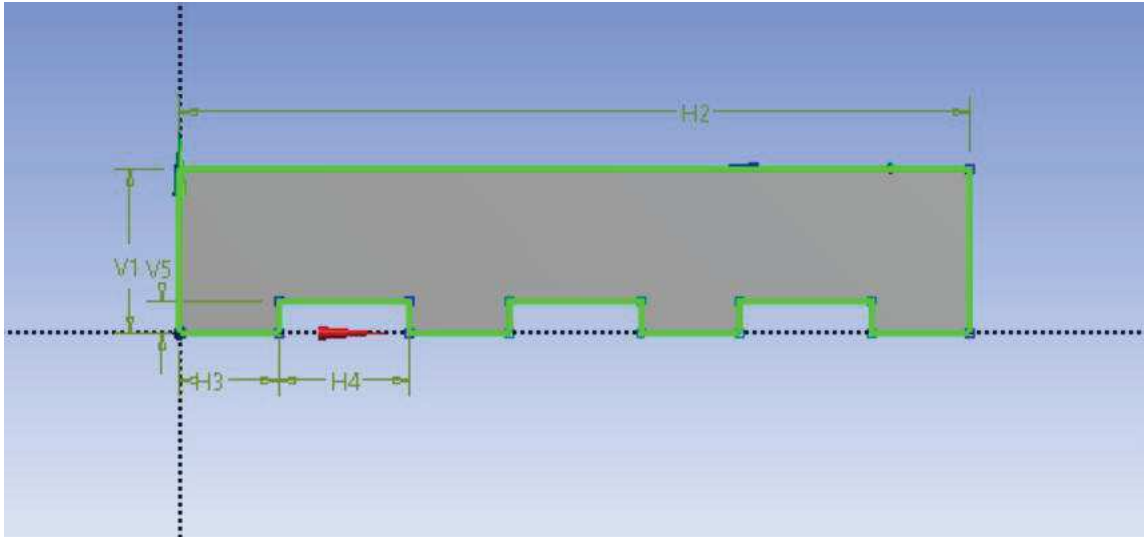


Figure 3.12: Définition des surfaces à mailler

Il reste une dernière chose à faire, préciser que toutes nos surfaces sont en fait à la même zone de fluide.

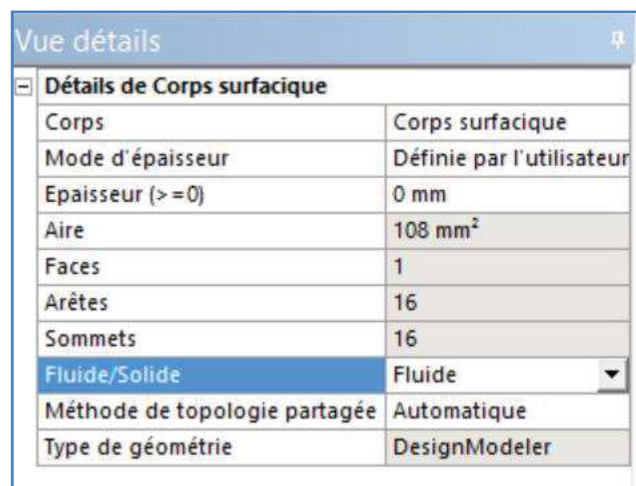


Figure 3.13: Définition de la zone fluide

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

III.2.3 Le maillage :

Pour créer le maillage, on va double cliqué sur Maillage dans la boîte Workbench. Une fois "Meshing " est lancé, on va spécifie la méthode de maillage. comme montre la figure (fig.III.9)

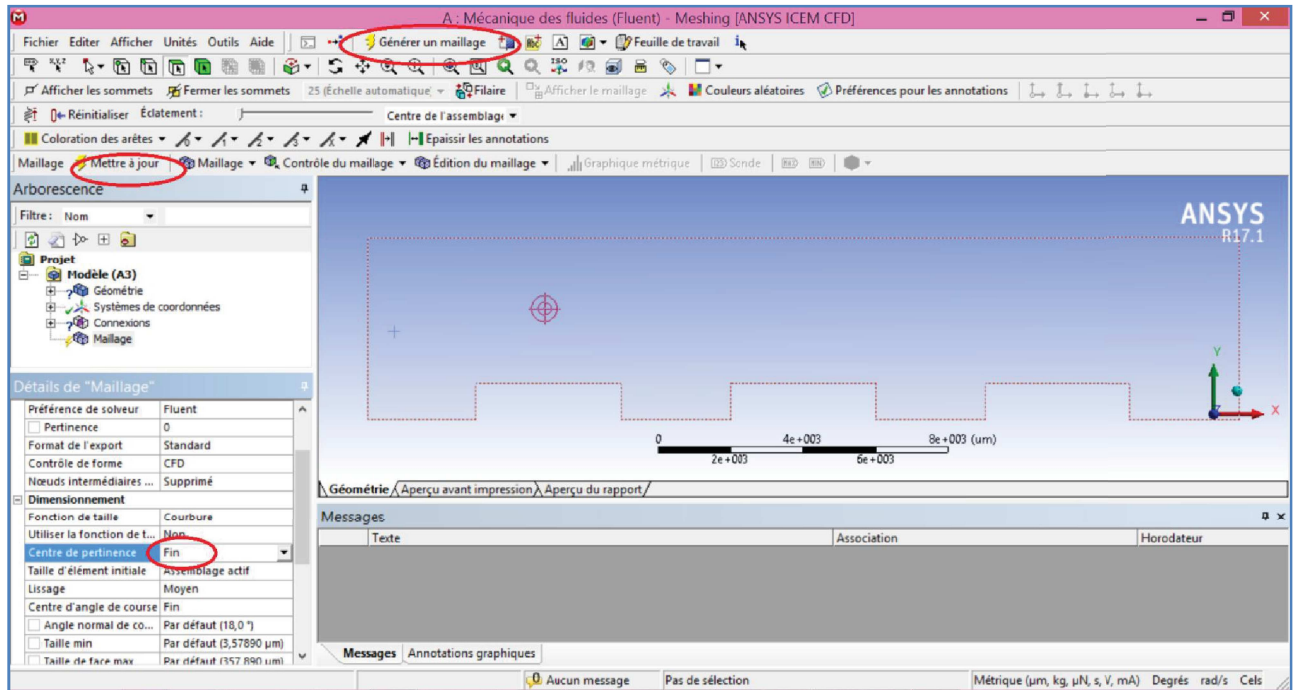


Figure 3.14:Spécification de la méthode de Maillage avec Meshing

Le maillage sera comme suit:

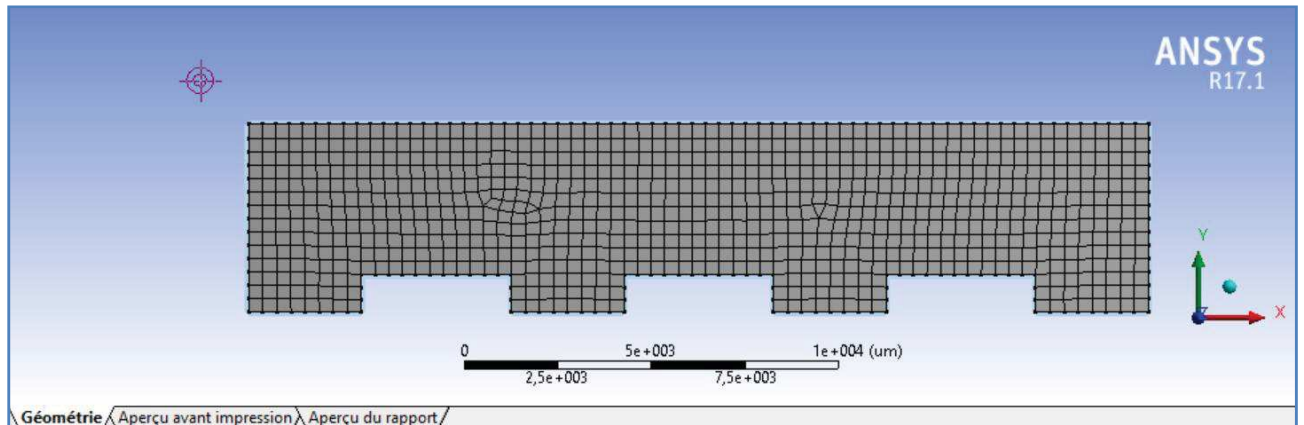




Figure 3.15: Maillage

On passe maintenant à nommé les sélections d'intérêt, pour nommer une partie, il faut la 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 arrêtes.

On peut sélectionner plusieurs éléments en cliquant sur Ctrl.

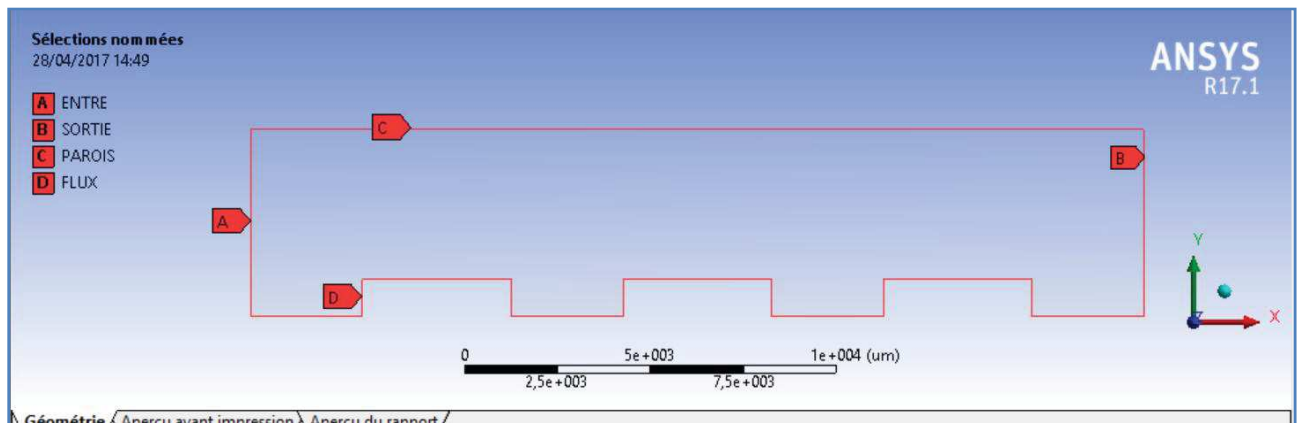


Figure 3.16: Spécification des parties soumis au conditions aux limites

On passe ensuite à l'étape de la modélisation par le solveur " **Fluent**".

III.2.4 Configuration:

Les sélections nommés seront automatiquement apparait, par lesquels on va poser nos conditions aux limites, on va poser les données suivantes (figure 3.17):

1. **Models** : Laminaire, équation de l'énergie active.
2. **Materials**: on change les propriétés thermo physiques pour chaque type de nanofluide (tableaux (4.1), (4.2), et (4.3) chapitre IV)

On change aussi les propriétés du solide par celles de silicium (Si)[18].

3. **Cell zone condition** : on définit le nanofluide dans le corps surfacique
4. **Boundary Conditions**: on définit les conditions aux limites comme suit:

entrée : vitesse, avec température ambiante

parois supérieur: adiabatique

parois inférieur: un flux de chaleur des composantes électroniques

sortie : pression de sortie.

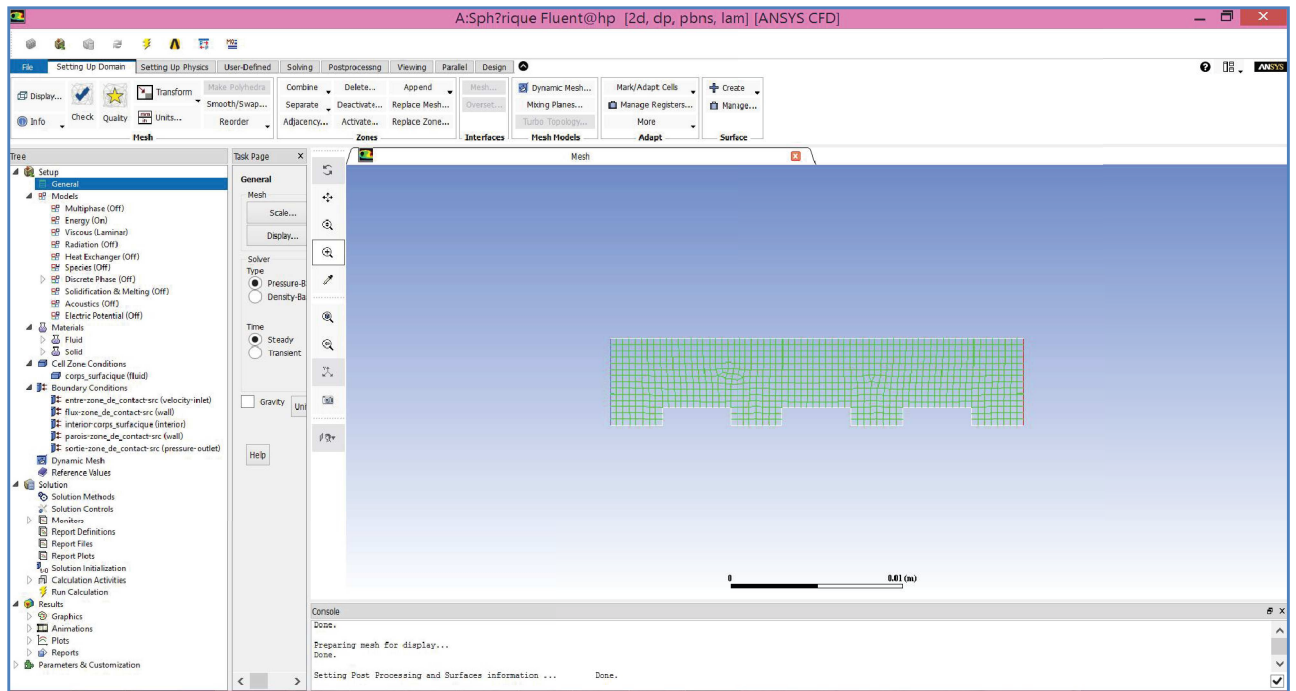


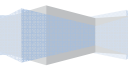
Figure 3.17: Configuration du Modèle par le solveur FLUENT

III.3 Conclusion

A travers ce chapitre, nous avons présenté brièvement les étapes de calcul numérique du modèle mathématique par le logiciel ANSYS Workbench. Nous avons intéressé dans nos résultats par le champ de température, les lignes de courant et le nombre de Nusselt, qui seront affichées, interprétées et discutées dans le chapitre suivant.

Chapitre IV

Résultats et Discussions



IV.1 Introduction:

On s'intéresse, dans ce chapitre les résultats de la simulation numérique obtenus à l'évolution du transfert de chaleur en convection forcée dans un microcanal muni en bas, par des composants électroniques, en utilisant comme un fluide de refroidissement le nano fluide (eau-cuivre).

Nous avons utilisé particulièrement, au niveau de cette simulation numérique, le logiciel industriel ANSYS workbench pour résoudre les trois équations de conservation (continuité, quantité de mouvement et d'énergie), avec les conditions aux limites, voir le tableau (4.4)

Nous présentons pour chaque cas du champ des températures, les lignes de courant et le nombre de Nusselt.

	ρ [kg/m ³]	Cp[J/kgK]	K[w/m.K]	μ [kg/ms]	β [K ⁻¹]
Eau (20°C)	997,1	4178	0,606	0,0008806	21×10^{-5}
Cu (27°C)	8933	385	401	-	$16,6 \times 10^{-6}$

Tableau 4.1 : Propriétés thermo physiques pour l'eau et le cuivre

Fraction volumique du nanofluide (eau Cu)	ρ [kg/m ³]	Cp[J/kgK]	K[w/m.K]	μ [kg/ms]	β [K ⁻¹]
$\phi=0,5$	4965,05	2281,5	2,41488333	0,00498143	0,0001133

Tableau 4.2 Propriétés thermo physiques pour le nanofluide (eau-Cuivre) pour la forme sphérique

Fraction volumique du nanofluide (eau Cu)	ρ [kg/m ³]	Cp[J/kgK]	K[w/m.K]	μ [kg/ms]	β [K ⁻¹]
$\phi=0,5$	4965,05	2281,5	4,17714055	0,00498143	0,0001133

Tableau 4.3 Propriétés thermo physiques pour le nanofluide (eau-Cuivre) pour la forme cylindrique

IV.2 La convergence :

Les calculs sont achevés pour les différents nombres de Reynolds (différentes valeurs de vitesses) pour chaque type géométriques de la nanoparticule ($Re=100$, 1000 et 3000)

On lance le calcul et on fait arrêter les calculs une fois la solution converge.

On remarque que la convergence est atteinte après 300 itérations figure (4.1), elle balance autour des valeurs satisfaisantes :

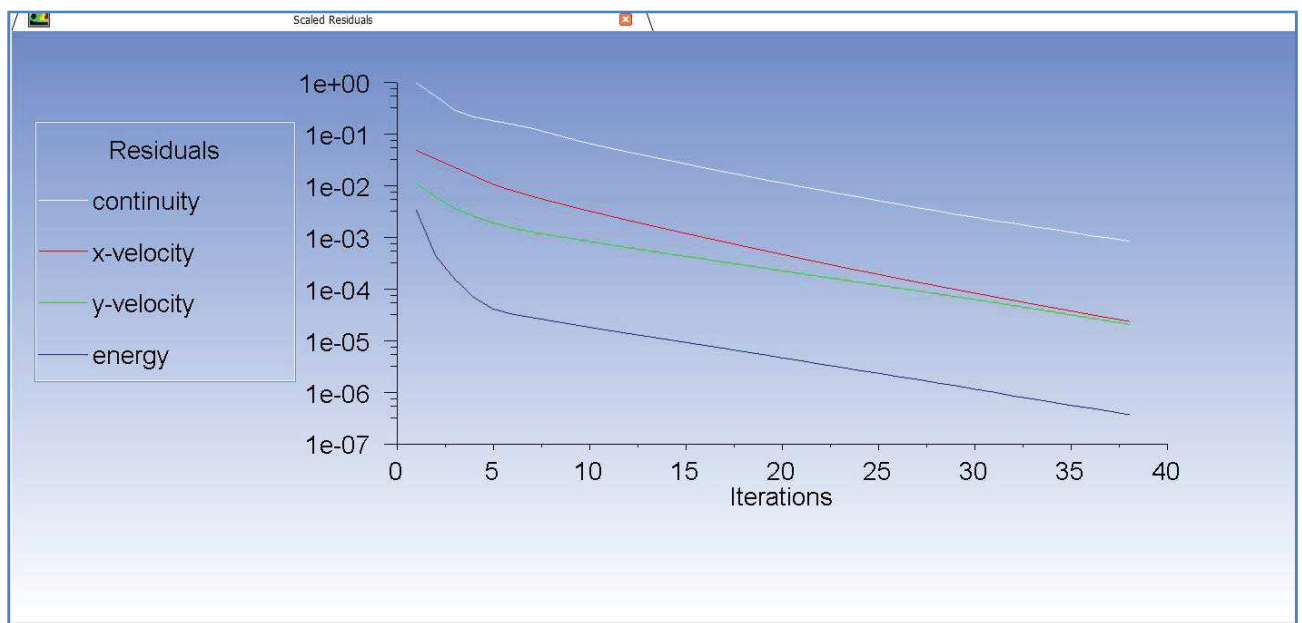


Figure 4.1: Convergence de la solution

IV.3 Résultats et interprétation

On s'intéresse à la simulation numérique bidimensionnelle de la convection forcée d'un écoulement en présence d'un nanofluide (eau- cuivre), dans un microcanal présenté par les figures ((2.1) et (2.2) chapitre II) .

les conditions aux limites utilisées dans le présent travail sont présentées au tableau (4.4).

Type de condition initiale	Géométrie cylindrique des nanoparticules	Géométrie cylindrique des nanoparticules
Vitesse d'entrée	Re = 100 V= 0,0033 m/s Re = 1000 V= 0,03 m/s Re = 3000 V= 0,1 m/s	Re = 100 V= 0,0033 m/s Re = 1000 V= 0,03 m/s Re = 3000 V= 0,1 m/s
Température d'entrée	300 K	300 K
Chaleur densité de flux	150 W/m ²	150 W/m ²

Tableau 4.4 Condition aux limites

Dans notre travail nous avons mené de nombreuses simulations numériques en utilisant la méthode des volumes finis du programme ANSYS WORKBENCH pour illustrer l'évacuation des flux de chaleur du nanofluide à base de nanoparticules sphériques et du nanofluide à base de nanoparticules cylindriques.

La présentation des résultats concernant la température total, les lignes de courants, ainsi que le nombre de Nusselt est comme suit, voir figures 4.2 jusqu'au 4.13

Les résultats numériques sont obtenus pour différentes nombres de Reynolds (Re), pour divers vitesses à une seule valeur de la fraction volumique (concentration volumique).

Sur les graphes N°4.2 jusqu'à 4.7, on remarque une évolution de la température pour les deux types de nanofluides à une seul concentration. Les résultats indiquent que l'augmentation du transfert de chaleur des nanofluides est plus notable aux nombres de Reynolds plus élevées

Il est vrai que l'addition de nanoparticules dans le fluide de base augmente sa conductivité thermique et donc améliore le transfert de chaleur par conduction, et l'augmentation du nombre de Reynolds provoque le transfert de chaleur par convection.

On remarque aussi que la forme géométrique des nanoparticules sphérique augmente le transfert de chaleur par convection, et cela justifié par le mouvement chaotique des particules.

Il ressort de l'expérimentation numérique que le flux convectif évacué par un nanofluide dans la configuration en question augmente avec la concentration et la vitesse de l'écoulement cela justifié par le nombre adimensionnel Nusselt qui explique dans notre étude que le flux convectif est dominant par rapport au flux conductif, voir les figures 4.14 jusqu'à 4.19.

IV.4 Champ de température pour différent nombre de Re:

IV.4.1 Champ de température pour la forme sphérique des nanoparticules:

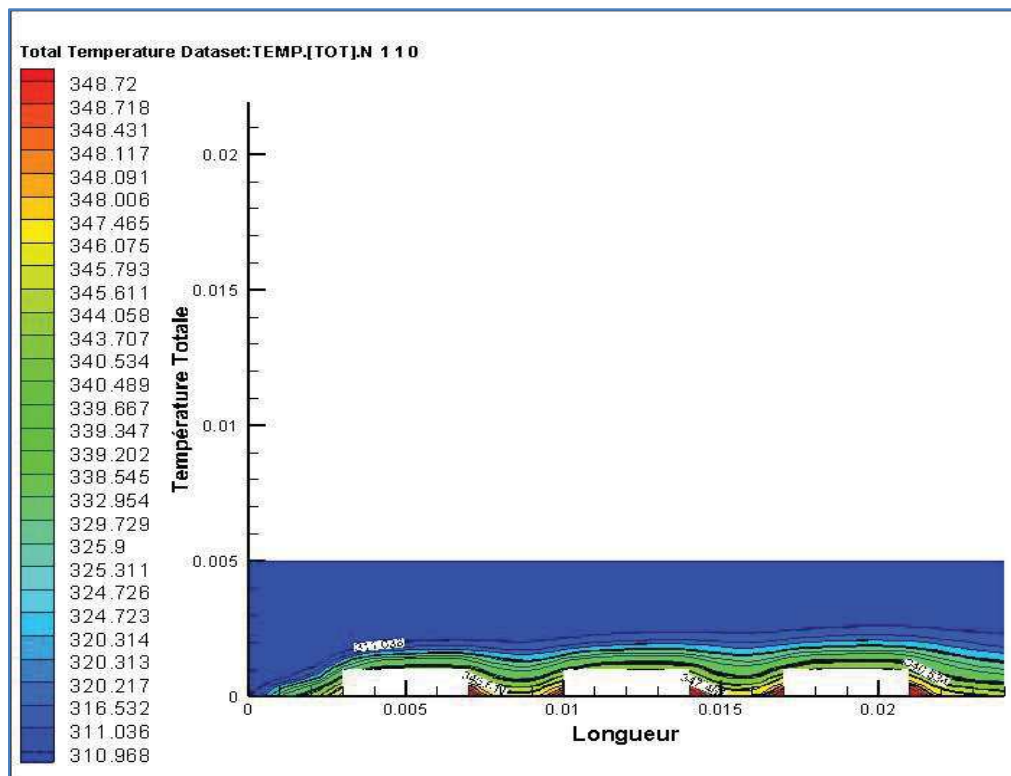


Figure 4.2: Champs de la température pour $Re = 100$

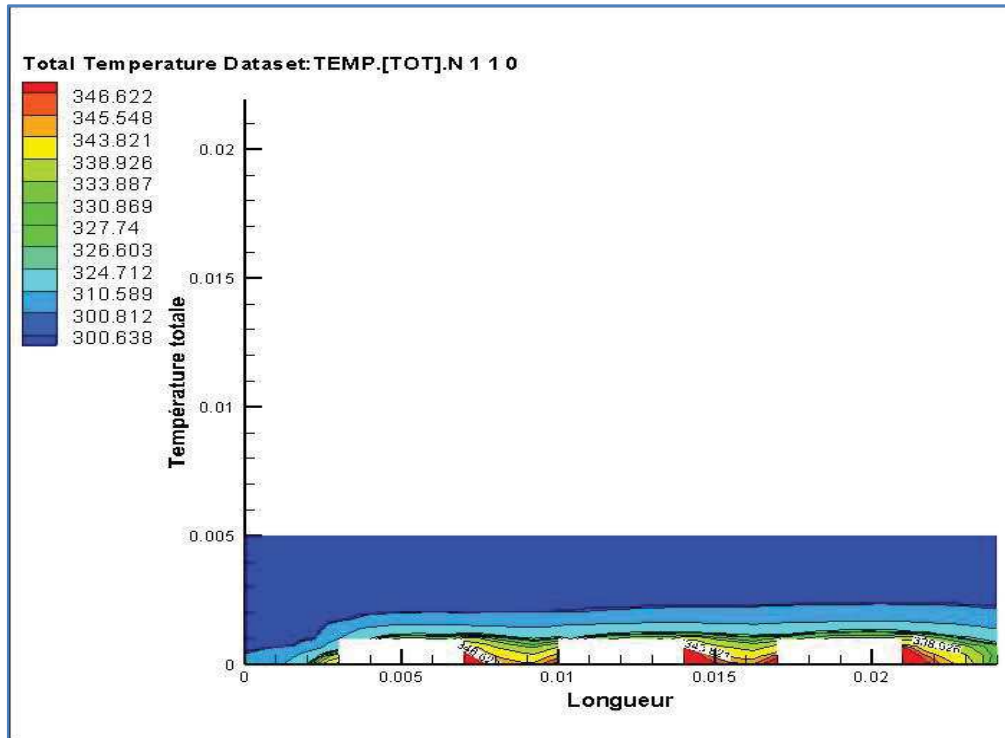


Figure 4.3: Champs de la température pour $Re = 1000$

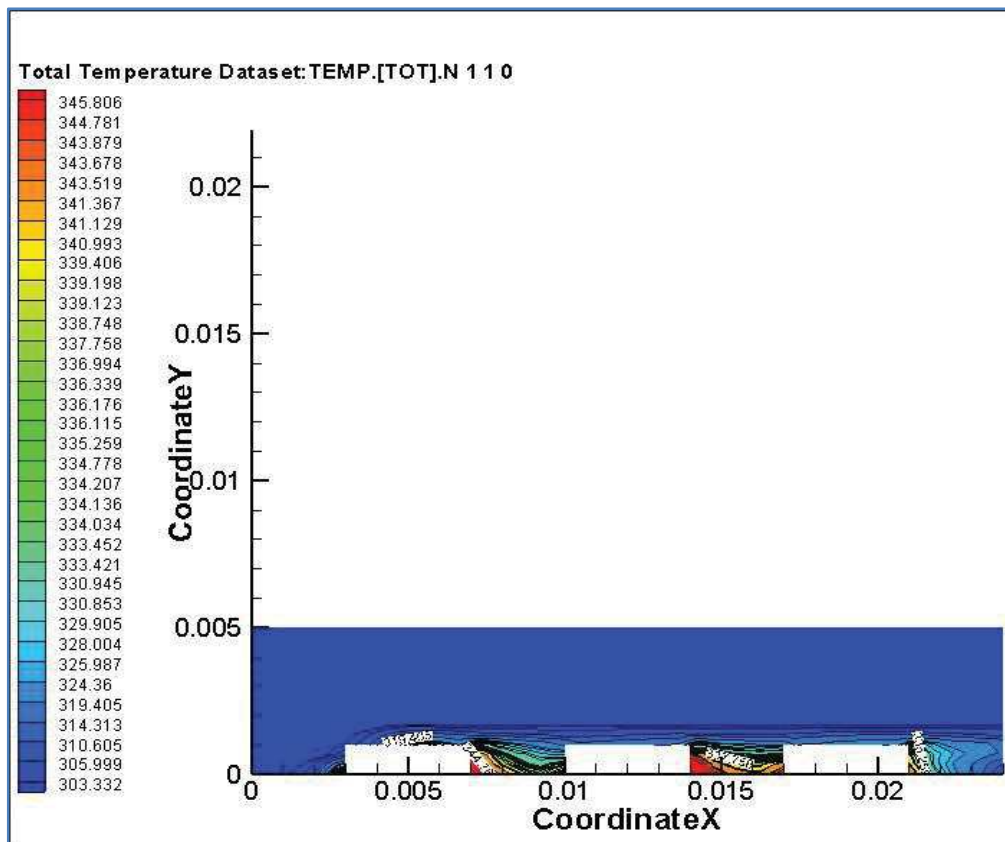


Figure 4.4: Champs de la température pour $Re = 3000$

IV.4.2 Pour la forme cylindrique:

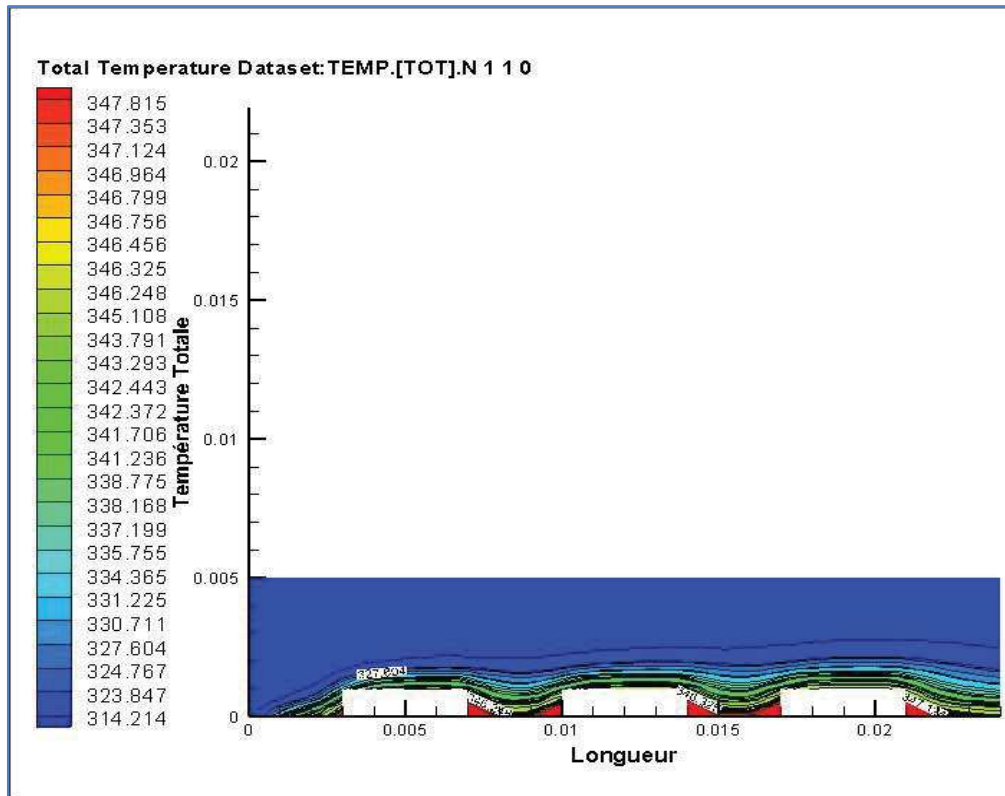


Figure 4.5: Champs de la température pour $Re = 100$

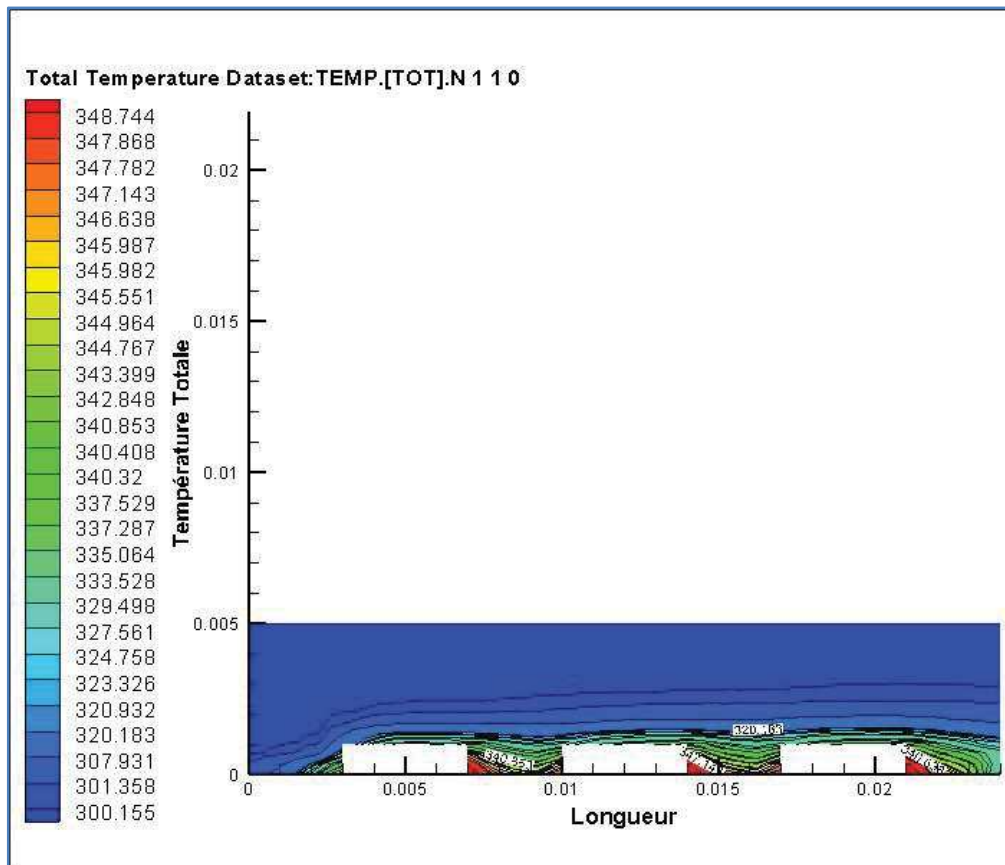


Figure 4.6: Champs de la température pour $Re = 1000$

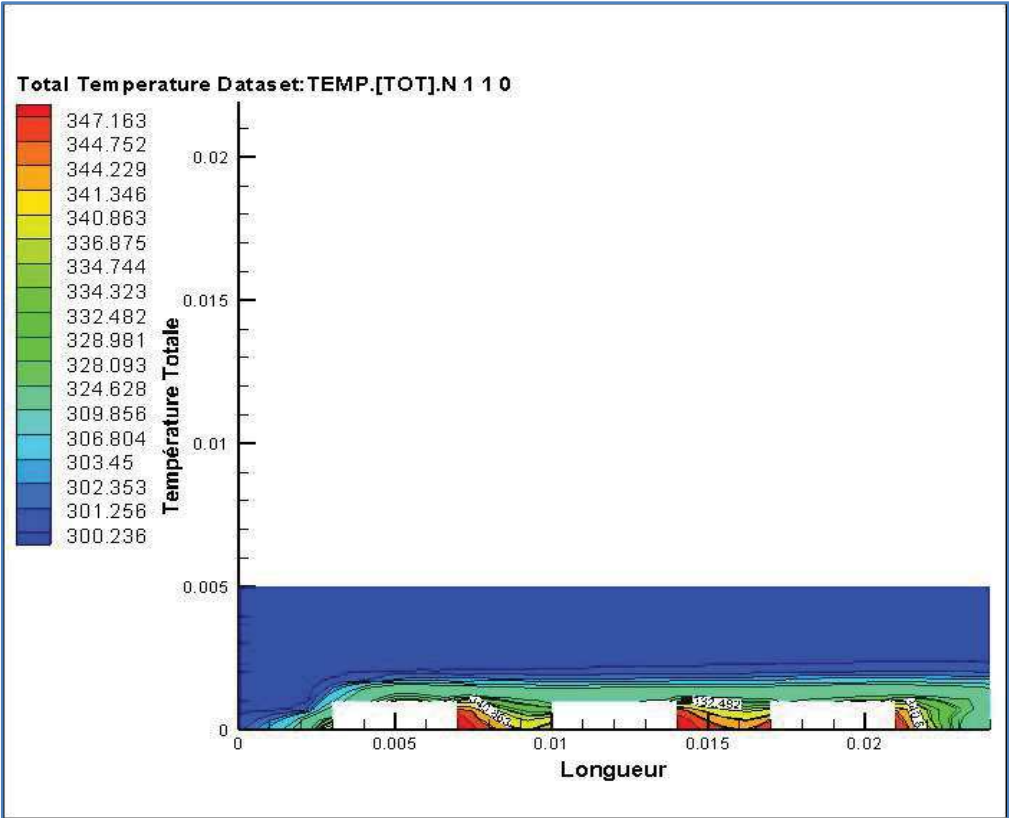


Figure 4.7: Champs de la température pour Re =3000

IV.5 Profil des lignes de courants pour différent nombre de Re:

IV.5.1 Pour la forme sphérique:

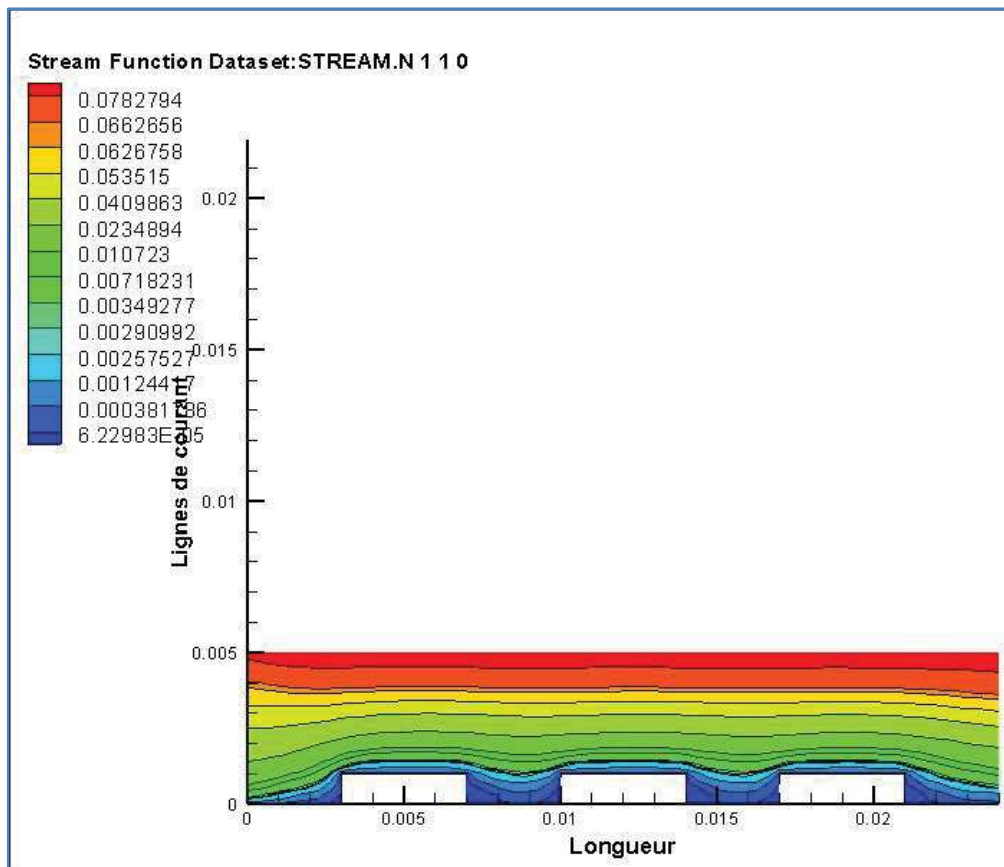


Figure 4.8: Profil des lignes de courant pour Re =100

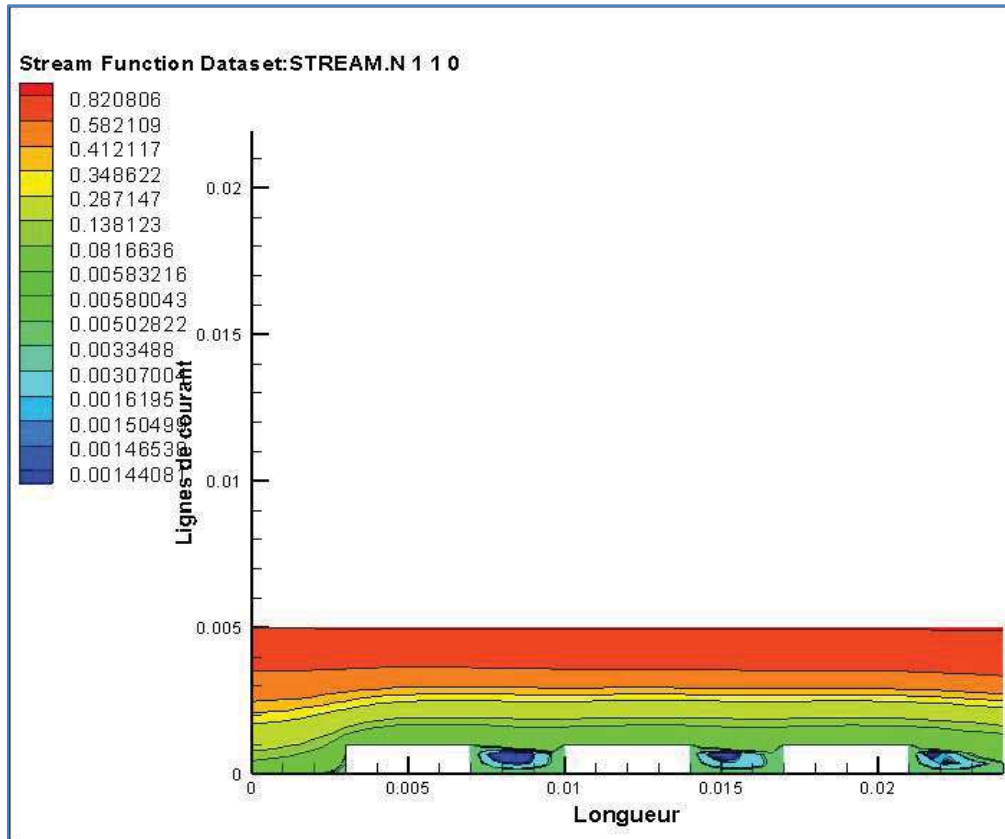


Figure 4.9: Profil des lignes de courant pour $Re = 1000$

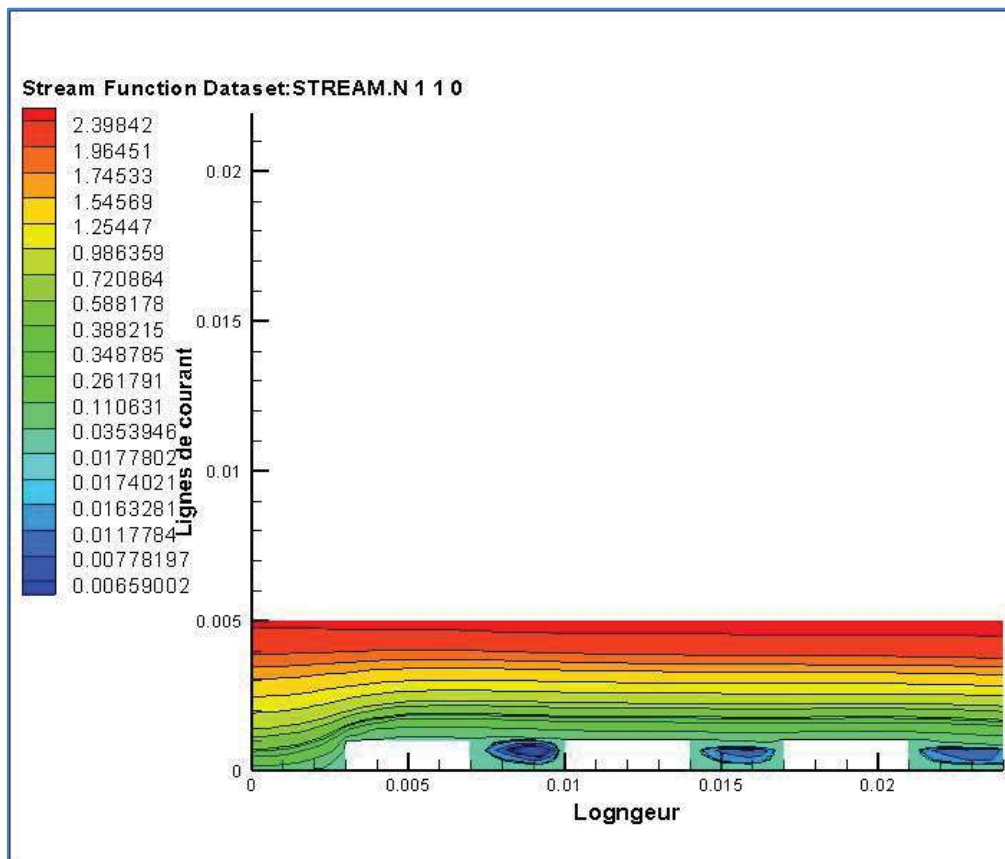


Figure 4.10: Profil des lignes de courant pour $Re = 3000$

IV.5.2 Pour la forme cylindrique:

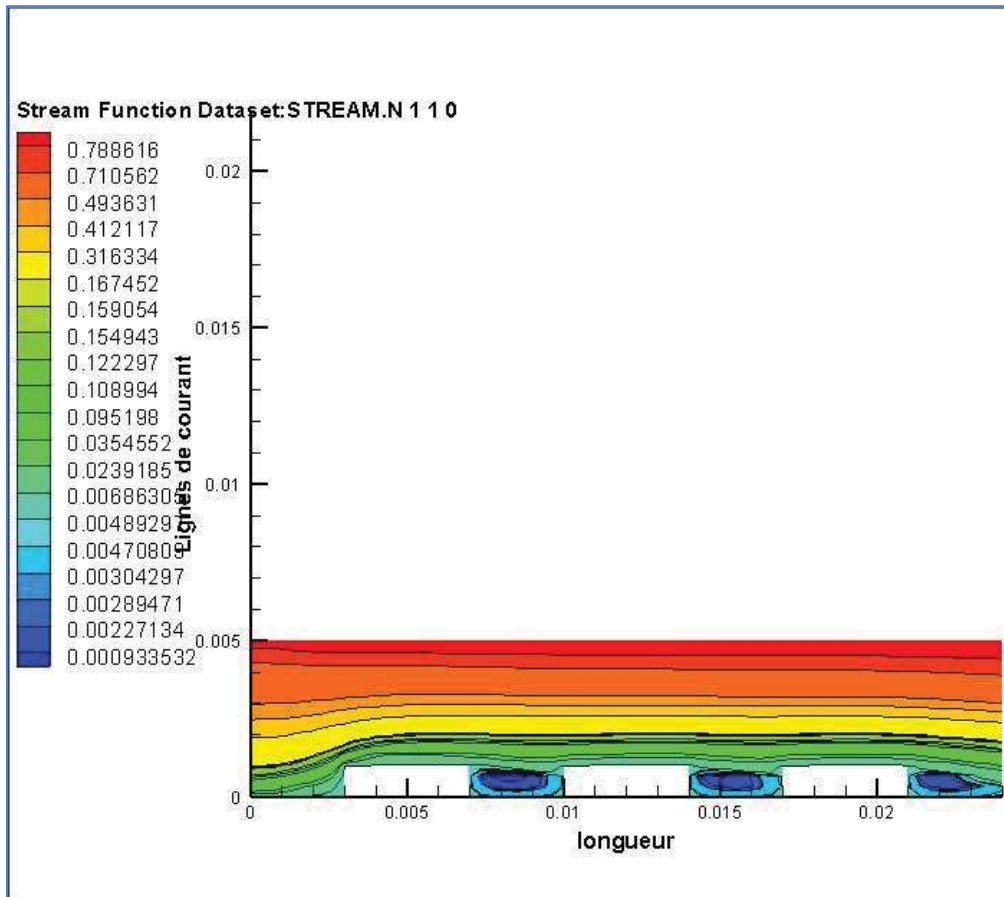


Figure 4.11: Profil des lignes de courant pour $Re = 100$

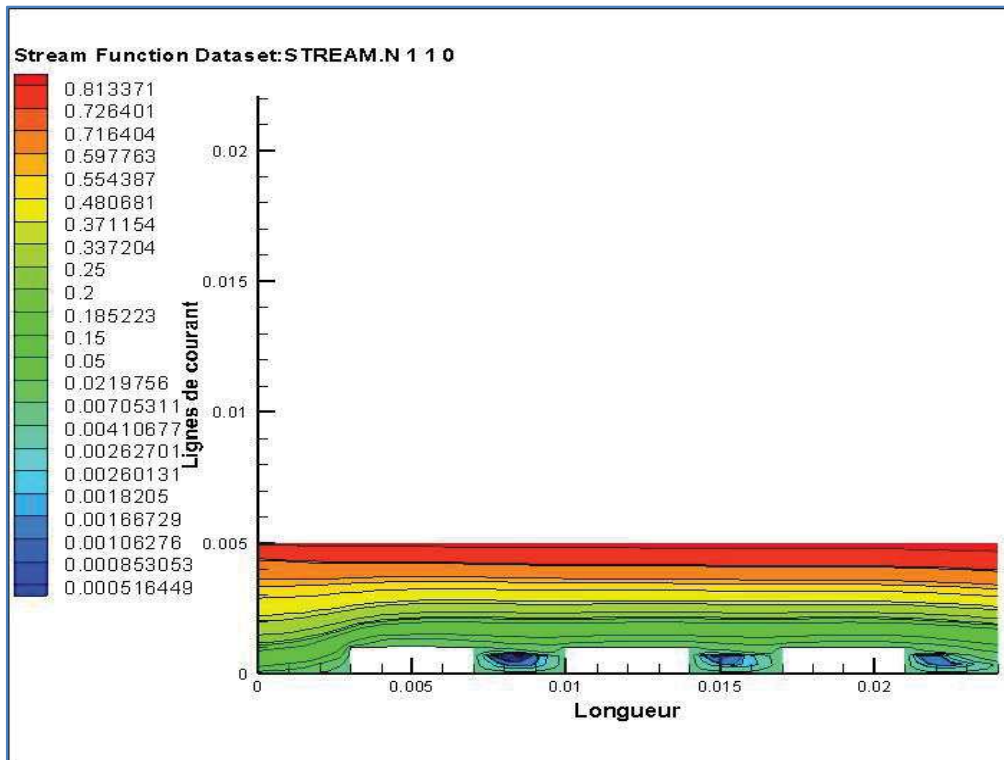


Figure 4.12: Profil des lignes de courant pour $Re = 1000$

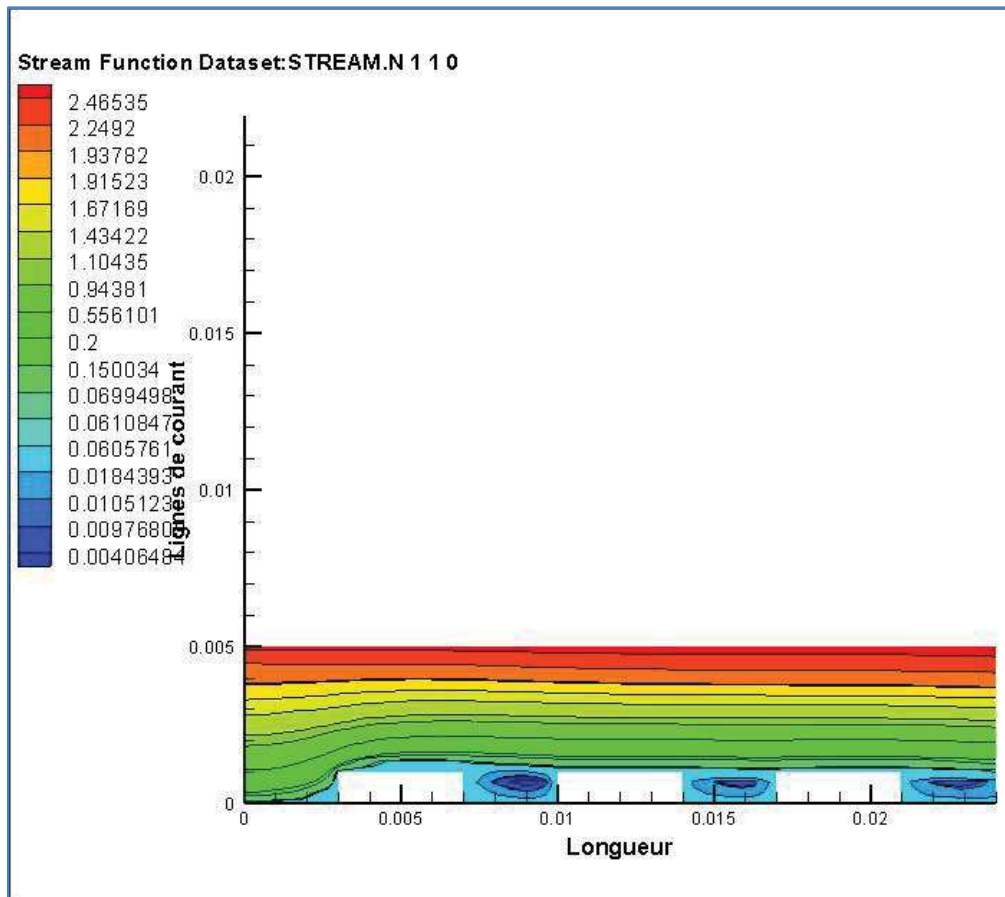


Figure 4.13: Profil des lignes de courant pour $Re = 3000$

IV.6 Le nombre de Nusselt pour différent nombre de Re:

IV.6.1 Le nombre de Nusselt pour la forme sphérique:

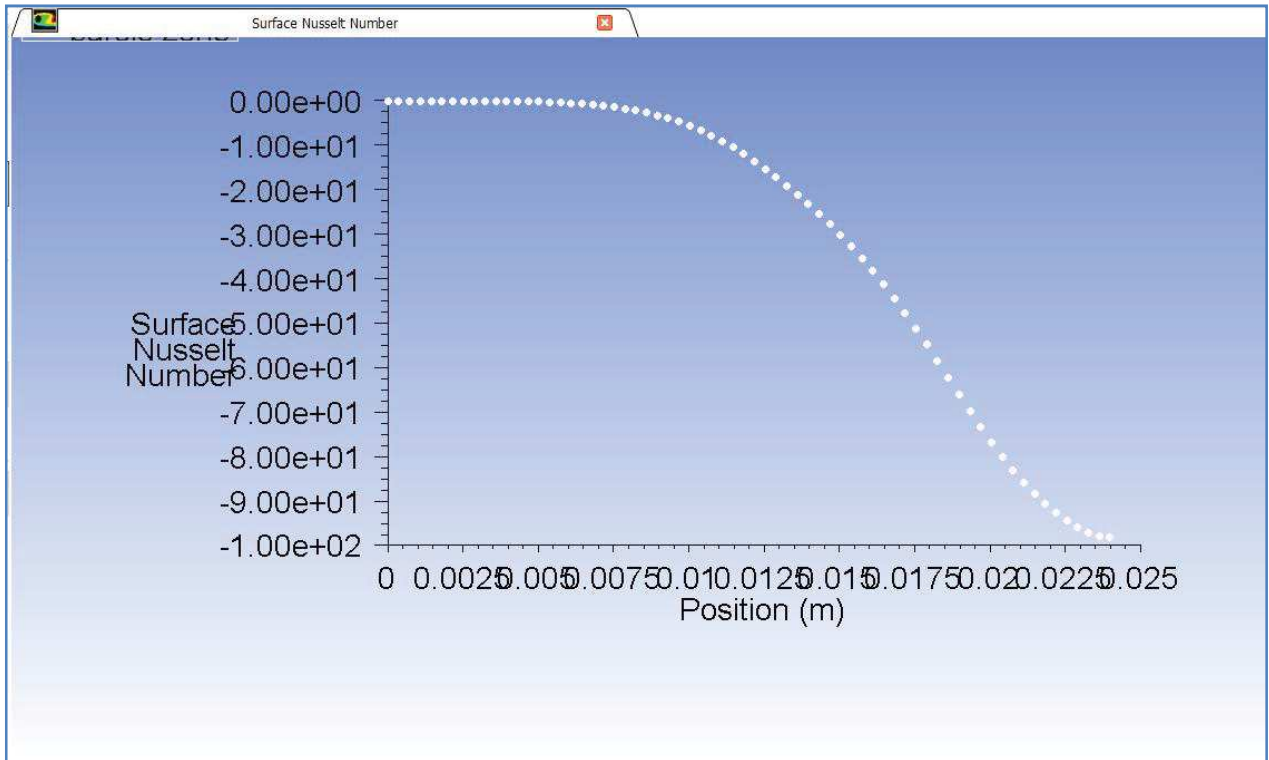


Figure 4.14: Variation de nombre de Nusselt pour **Re =100**

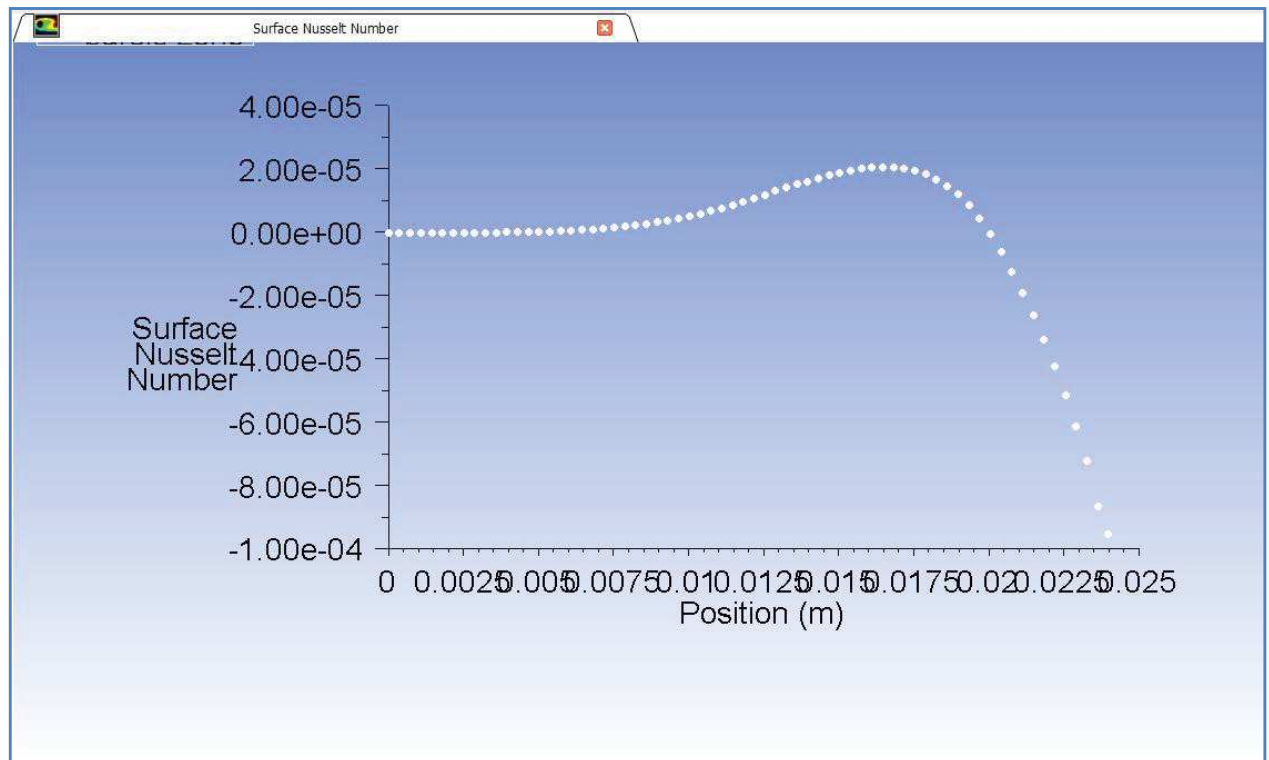


Figure 4.15: Variation de nombre de Nusselt pour **Re =1000**

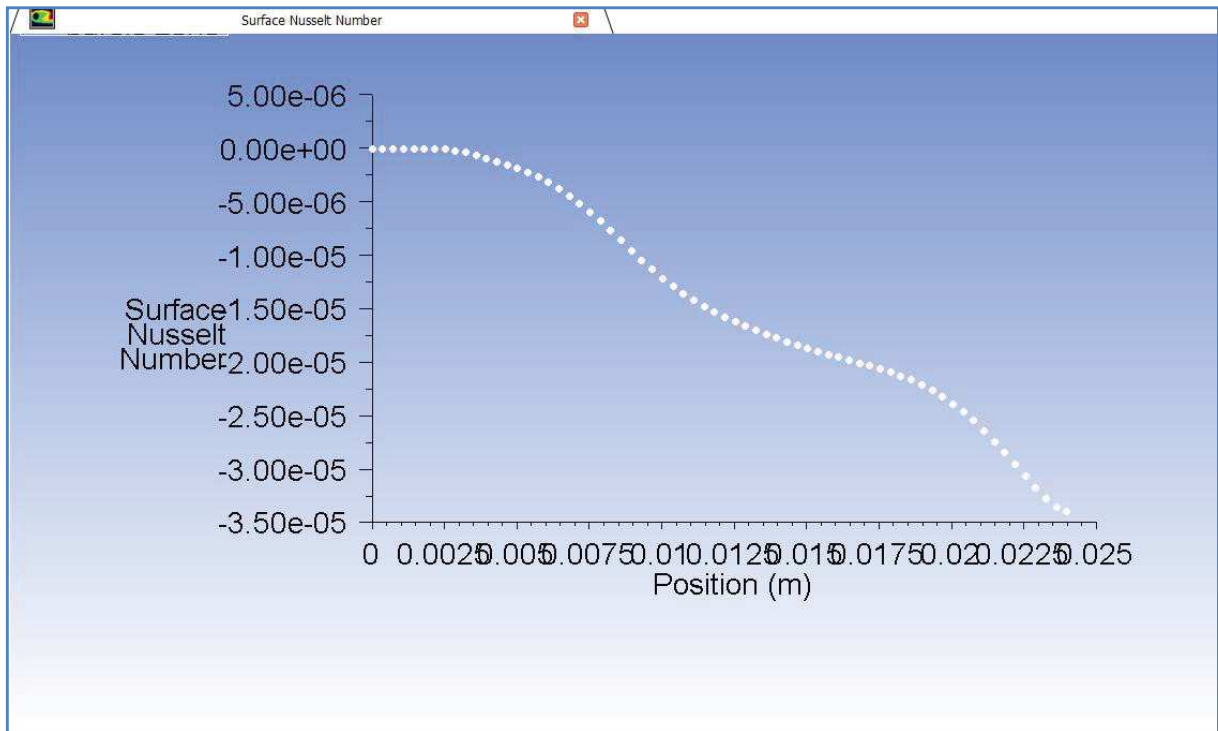


Figure 4.16: Variation de nombre de Nusselt pour $Re = 3000$

IV.6.2 Le nombre de Nusselt pour la forme cylindrique:

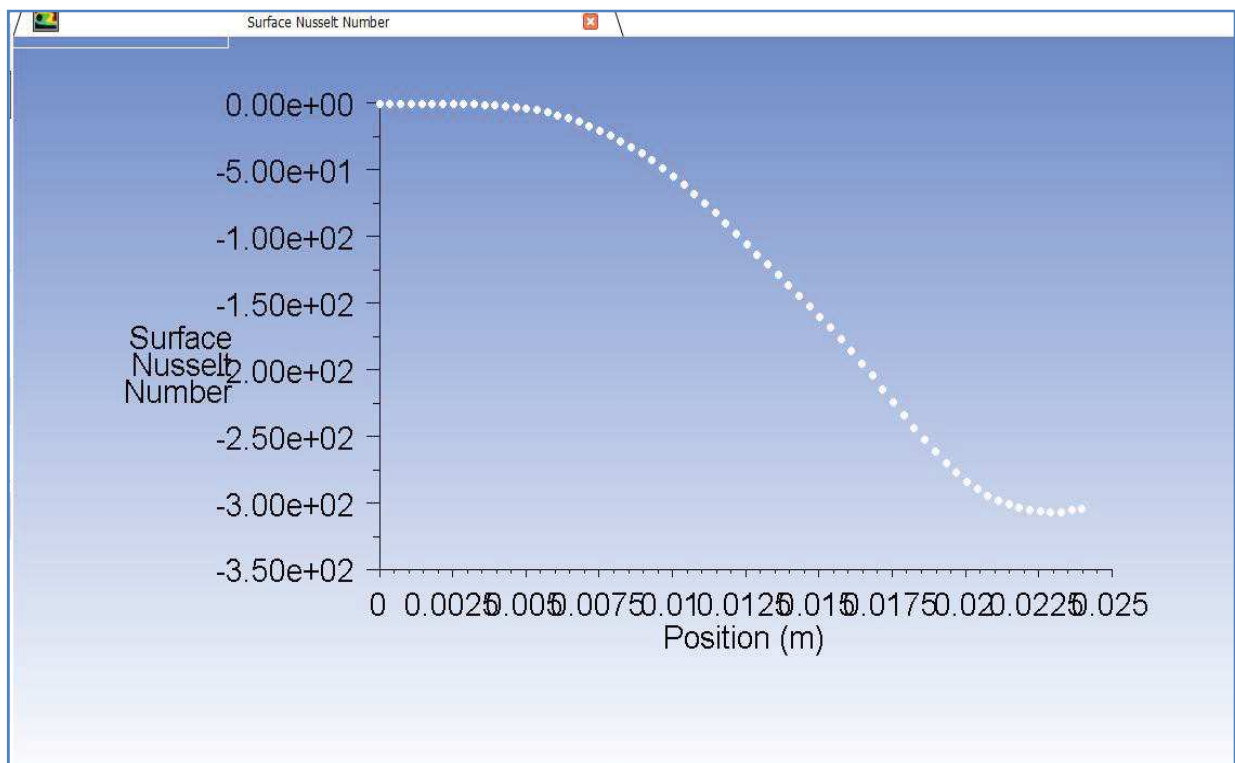


Figure 4.17: Variation de nombre de Nusselt pour $Re = 100$

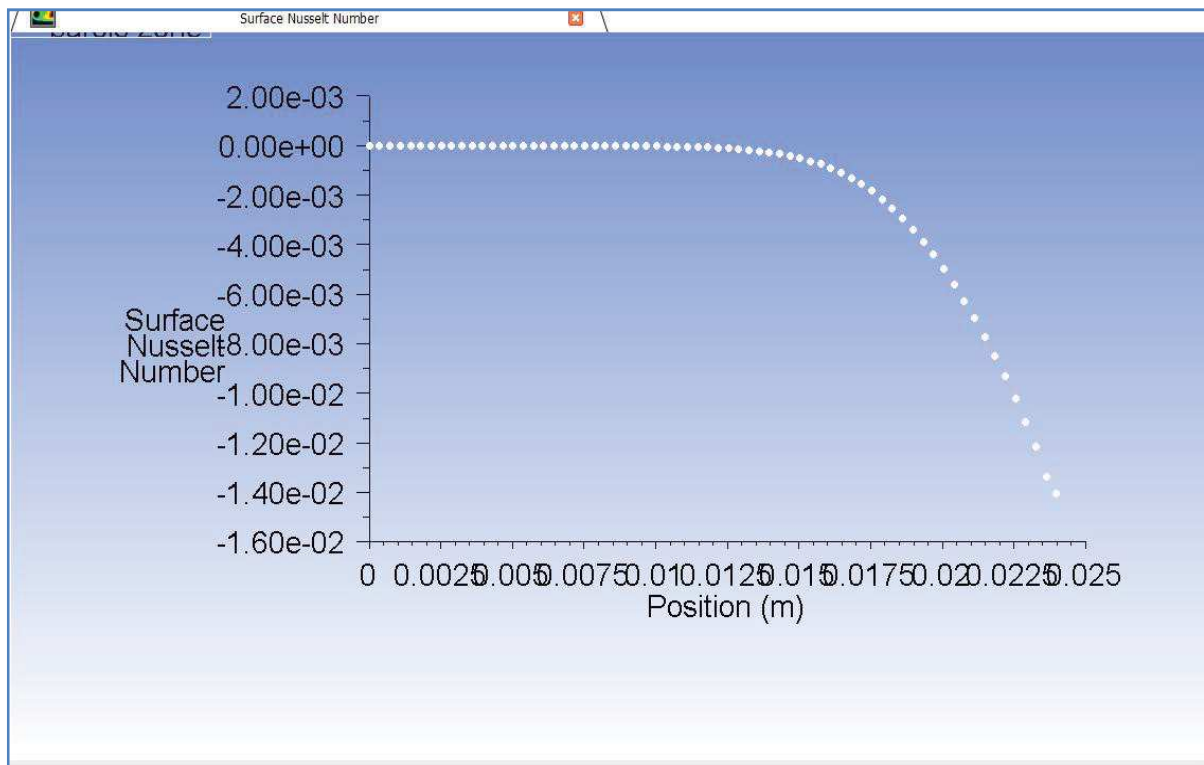


Figure 4.18: Variation de nombre de Nusselt pour $Re = 1000$

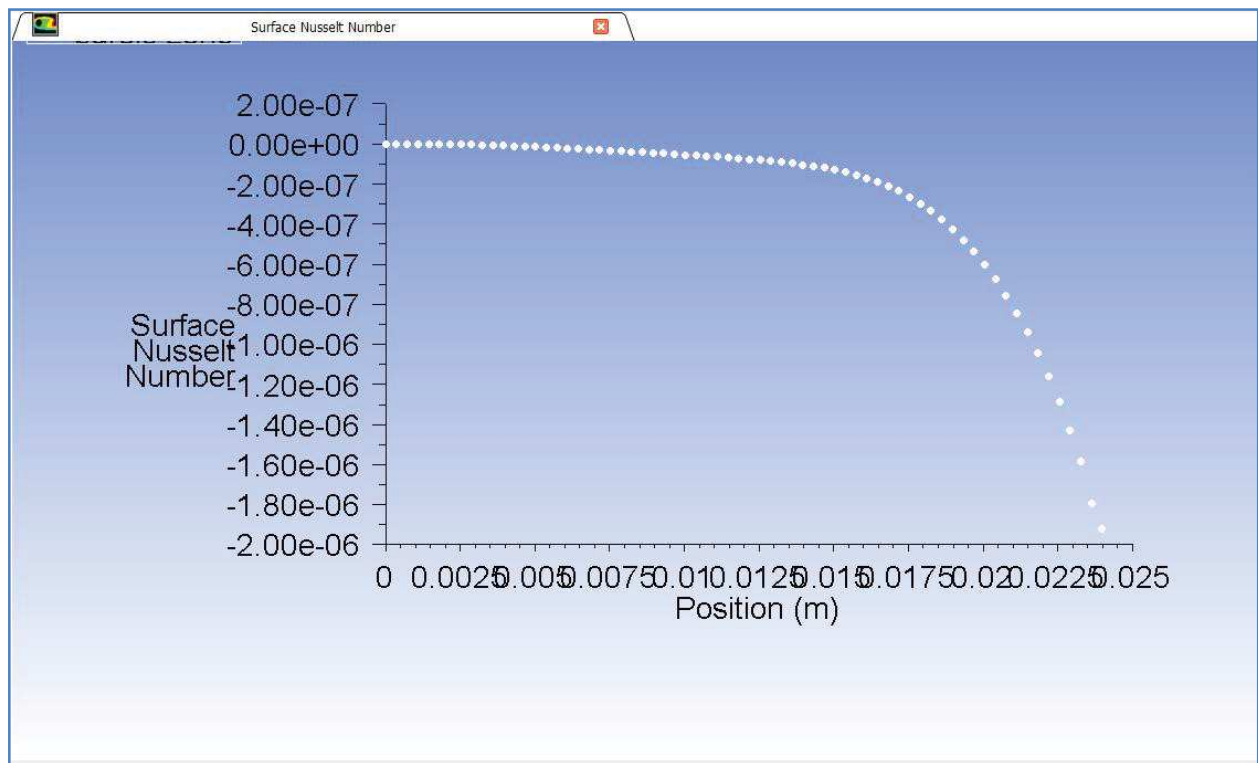
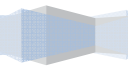


Figure 4.19: Variation de nombre de Nusselt pour $Re = 3000$

CONCLUSION
GENERALE



Conclusion générale

Les études et les actes menés au cours de cette étude numérique ont permis d'analyser en détail des échanges thermiques par des nanofluides 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 aux refroidissement des composants électroniques.

Cette étude a été décomposée en quatre chapitres, dont les primordiales conclusions sont reprises ci-dessous :

La première partie a présenté le contexte des refroidissement par la nouvelle technique de la nano technologiques par l'utilisation des nanofluides en écoulement par convection thermique et a donné un revue bibliographique de l'ensemble des recherches et les travaux en voie de développement concernant la technique de refroidissement en utilisons les propriétés thermo-physiques des nanofluides et de leur utilisation comme fluide caloporteur dans les systèmes énergétiques.

Cette analyse nous a autorisées de mettre un recueil des principaux modèles thermo physique liés à l'utilisation des nanofluides. Ensuite, nous avons dirigé une analyse pour caractériser plus intelligemment les performances thermiques .

En se basant dans la partie suivante, sur des hypothèses de simplification, ainsi que les approximations de Boussinesq, on a choisit le modèle mathématique décrivant notre problème. On a mis également au point un modèle numérique basé sur la méthode de volumes finis (DESIGN MODEL ;MECH) pour discrétiser les équations gouvernantes. On a validé notre procédure de simulation numérique (FLUENT) en arrivant à nos résultats pour un micro-canal équipé par des composants électronique (Applications très diverses, Micro et nanoélectronique) comme des sources dissipent de la chaleur.

Cette étude nous a permis d'évaluer numériquement et d'illustrer les effets des différents paramètres qui peuvent influencer les comportement d'échange thermique par des nanofluides (fraction volumique et forme des nanoparticules, vitesse d'écoulement,.....etc) on a exposé que l'ajout des nanoparticules admet d'améliorer considérablement la conductivité thermique, cependant, cela peut aussi contribuer à une augmentation favorable du coefficient d'échange thermique .

Les résultats principaux se récapitulent dans les points suivants:

- l'ajout des nanoparticules dans un fluide, favorise l'avantage le transfert de chaleur, à cause de l'augmentation de la conductivité thermique.

- la géométrie (forme) des nanoparticules sphérique augmente le transfert de chaleur par convection.
- le transfert thermique en présence des nanofluides, en convection forcée s'améliore relativement à l'augmentation de la vitesse de l'écoulement.

Enfin, la présence des nanoparticules sphériques (eau-cuivre), en suspension liquide favorise l'établissement de l'écoulement et les échanges thermiques par convection.

Références

- [1] **S. LAHLOU , M. ZAYDAN et R.SEHAQUI**, Détermination des propriétés thermophysiques et la comparaison entre les résultats expérimentaux et les modèles théoriques pour différents nanofluides, article, Université Hassan II de Casablanca, Maroc, 2017.
- [2] **REZAIGUIA Issam**, Investigation des échanges convectifs dans diverses configurations, thèse de Doctorat UNIVERSITE CONSTANTINE 1, 2014.
- [3] <http://www.techniques-ingenieur.fr> (consulté le mois de Mai 2017)
- [4] **M.M. Mohammed**, Air cooling characteristics of uniform square modules array for electronic device heat sink, Journal. App. Thermal Engineering, 26, pages: 486-493, 2006.
- [5] **Gladés Bachir**, contribution à l'étude de la convection naturelle dans les nanofluides en configuration de Rayleigh-Bénard, thèse en vue d'obtention du doctorat de l'université de Toulouse, 2010.
- [6] <http://www.cooling-masters.com/articles-46-2.html> (consulté le 1/5/2017)
- [7] **DAGA Abdallah**, Simulation Numérique des échanges Thermique dans des Cavités Fines Ouvertes en Présence d'un Nanofluide, mémoire de master université Mohamed Khider Biskra, 2015.
- [8] **LEBBIHI Sasi**, Refroidissement par convection naturelle d'une source de chaleur localisée au fond d'une enceinte remplie de nanofluide mémoire master , université Med kheidher biskra 2014.
- [9] **B.C. Pak and Y.I. Cho**, Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles. Experimental Heat Transfer, 11(2), 151–170, 1998.
- [10] **Y. Xuan and W. Roetzel**, Conception for heat transfer correlation of nanofluids. International Journal of Heat and Mass Transfer, 43(19), 3701-3707, 2000.
- [11] **Ahlem ARFAOUI OMRANI**, Etude de la convection aux petites échelles : application au refroidissement des composants électroniques, thèse de Doctorat Université de Reims-Champagne Ardenne et de l'Université de Tunis El Manar, 2009.

- [12] <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/bei/beiep/book/export/html/889> (consulté le 14/5/2017)
- [13] Solution de Dissipation thermique Pour LEDs de puissance Gamme2013 r3, BCF MKM Matériel Thermique et Electronique, <http://www.bcfmkm.fr> (consulté le 15/5/2017)
- [14] **EBRAHIMNIA-BAJESTAN, A. JAVADIAN-SARAF, H. NIAZMAND, P. ESTELLÉ**, Caractéristiques hydrodynamiques et transfert de chaleur par convection de nanofluides , article , 22ème Congrès Français de Mécanique, Lyon, 24 au 28 Août 2015.
- [15] **Sébastien FERROUILLAT, André BONTEMPS, Jean Antoine GRUSS, Olivier PONCELET, Olivier SORIANO**, article: Influence du facteur de forme des nanoparticules sur les performances thermiques d'un nanofluide , Université Joseph Fourier, Grenoble.
- [16] **HADAoui Abdellah**, Effet de taille et de concentration sur les propriétés thermiques et rhéologiques des nanofluides, , école doctorale sciences et technologie, Maroc.
- [17] **Salma HALELFADL**, Caractérisation des propriétés thermo-physiques et d'échanges de chaleur des nanofluides à base de nanotubes de carbone , thèse de doctorat de L'INSA de Rennes, Ecole Doctorale : SDLM, 2014.
- [18] **AREELIS Technologies et 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.
- [19] **Bafétigué OUATTARA**, Prise en compte des caractéristiques thermo physiques des parois dans le processus de séparation des constituants d'un mélange binaire ou d'un nanofluide par diffusion thermo gravitationnelle en milieu poreux, thèse de doctorat, université de Toulouse, 2012.
- [20] **S. A. Fadhilah, I. Hidayah, M. Z. Hilwa, H. N. Faizah, R.S. Marhamah**, Thermophysical properties of copper/ Water nanofluid for automotive cooling system – mathematical modeling, Universiti Teknikal Malaysia Melaka, Malaysia, Vol. 5 No. 2 July - December 2013.
- [21] <http://www.polytech-lille.fr/cours-atome-circuit-integre/CstSi.htm> (consulté le 4/3/2017)
- [22] www.gfbienne.ch/physique/OS/OSch_chap2.pdf (consulté le 13/2/2017)

[23] **KESSI Farid et Yahiaoui Mustapha**, Refroidissement des composants électroniques par convection forcée : Simulation numérique, mémoire master, université Akli Mohand Oulhadj de Bouira, 2015.