



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des sciences et de la technologie
Département de génie mécanique

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Energétique

Réf. :

Présenté et soutenu par :
Djihane Hadi

Le : jeudi 17 septembre 2020

Etude de la convection d'un nano-fluide dans des microcanaux verticaux

Jury :

Mr	Djebloun Youcef	MCB	Université de Biskra	Président
Mr	Noureddine Belghar	Pr	Université de Biskra	Rapporteur
Mr	Nacer Chouchane	MCA	Université de Biskra	Examineur

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

- ❖ *Mes très chers parents, qui m'ont éclairés le chemin en me donnant la main tout au long de mes années d'étude. Toutes les expressions de gratitude ne remplissent pas leur droit.
«Que dieu me les gardes»*
- ❖ *Mes deux chers frères Heythem et Ihab.*
- ❖ *Tous mes chers et fidèles amis sans exception
Fatima, Besma, Fatiha, Hiba, Ikhlas, Nesserine et Batoul.*
- ❖ *Tous mes maitres.*
- ❖ *Toute la promotion de génie mécanique énergétique.*
- ❖ *Tous ceux qui me sont chers et proche de mon cœur.*
- ❖ *A tous ceux qui ont sacrifié leur temps pour la science et à tous ceux qui utilisent la science pour le bien et la prospérité de l'humanité.*

Djihane

Remerciement

Je veux remercier tout d'abord mon dieu Allah le tout puissant de m'avoir donné la force pour survivre, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés.

J'ai le grand plaisir que j'ai eu l'occasion de réaliser mon mémoire de Master ceux la direction de **Pr. Noureddine Belghar** qui je précise le premier et le très grand remerciement à lui, j'ai particulièrement apprécié ses encouragements, ses conseils, et sa disponibilité durant la réalisation de ce travail.

Mes remerciements s'adressent aussi **Mr.Nacer Chouchane** et **Mr.Youcef Djeboun** pour avoir accepté d'examiner ce travail et participer au jury.

J'exprime mes sincères remerciements à **Mr.Djehara Housseem-Eddine** pour son aide et ces conseils.

Enfin, je veux remercier toute personne ayant aidé de près ou loin pour la réalisation de ce travail.

Grand merci à tous

Table de matières

Dédicace	I
Remerciements	II
Table de matières	III
Liste des figures	VI
Liste des tableaux	VIII
Nomenclatures	IX
Introduction générale	1
<i>Chapitre I : Revue bibliographique</i>	
I.1. Introduction	3
<i>Chapitre II : Généralités sur les propriétés des nano-fluide</i>	
II.1. Introduction	8
II.2. généralités sur la nanotechnologie	8
II.2.1. Définition d'un nano-fluide	8
II.2.2. Nanoparticules et les fluides porteurs	9
II.2.3. Préparation des nano-fluides	10
II.2.4. Les applications des nano-fluides	11
II.2.5. Caractéristiques thermo-physiques des nano-fluides	11
II.2.6. Les avantage des nano-fluides	16
II.2.7. Les inconvénients des nano-fluides	16
II.3. Généralités sur le transfert de chaleur	17
II.3.1. Le transfert par conduction	17
II.3.2. Le transfert par rayonnement	17
II.3.3. Le transfert par convection	18
II.3.4. Les nombres sont dimensions	19
II.4. Le refroidissement des microcanaux par convection	21

TABLE DE MATIERES

II.4.1. Introduction aux microcanaux	21
II.4.2. Définition des microcanaux	22
II.4.3. Classification des microcanaux basée sur le diamètre hydraulique	22
II.4.4. Utilisation des microcanaux dans l'industrie	23
II.4.5. Matériaux des composants électroniques pour refroidissement	23
Chapitre III : Modélisation mathématique	
III.1. Introduction	25
III.2. Description de la géométrie	25
III.2.1. La géométrie du problème	25
III.2.2. Présentation des conditions aux limites	26
III.3. Formulations mathématique du problème	27
III.3.1. les équations généralisées	27
a. Équation de continuité	27
b. Equation de quantité de mouvement	27
c. Equation de conservation d'énergie	28
III.3.2. les hypothèses de l'écoulement dans les microcanaux	28
III.3.3. les équations du problème	29
a. Équation de continuité	29
b. Equation de quantité de mouvement	29
c. Equation de l'énergie	30
III.3.4. les conditions aux limites	30
III.4. Conclusion	31
Chapitre IV : simulation numérique	
IV.1. Introduction	32
IV.2. Procédures du calcul	32
IV .2.1. Menu principale de logiciel ANSYS Workbench	32

TABLE DE MATIERES

IV.2.2. Création de la géométrie	33
IV.2.3. Le maillage	39
IV.2.4. Configuration	40
II.3.Conclusion	41
<i>Chapitre V : résultats et discussion</i>	
V.1. Introduction	42
V.2. propriétés thermo physique des nano-fluides utilisés	42
V.3. Géométrie étudiée avec les conditions aux limites	43
V.4. Interprétation et discussion des résultats	44
V.4.1 Distribution du champ de température	45
V.4.2 Résultats de la distribution du contour des vitesses	47
V.4.3. Variation du coefficient de transfert thermique moyen en fonction des nano-fluides (CuO-eau, TiO ₂ -eau et Ag –eau) pour différents valeurs de Reynolds	49
V.4.4. Nombre de Nusselt moyen	49
V.5. Conclusion	50
Conclusion générale	51
Références bibliographiques	52
Résumé	54

Liste des figures

Figure I.1 : Ecoulement dans un canal à section rectangulaire.....	4
Figure II.1 : Présentation des nano-fluides, vue au microscope électronique.	9
Figure II.2 : Exemples des nano-fluides aqueux et opaques avec 1 % de nanoparticules de diverses natures.	10
Figure II.3 : procédé de synthèse de nano-fluide en une seule étape.....	11
Figure II.4 : exemples des microcanaux.....	21
Figure II.5 : exemples sur le type les microcanaux.....	22
Figure III.1 : présentation de la géométrie des microcanaux en 3Dimensions.....	25
Figure III.2 : présentation de la géométrie des microcanaux.....	26
Figure III.3.Présentation de la circulation de nano fluide dans les microcanaux.....	27
Figure IV.1 : Menu principal de workbench.....	32
Figure IV.2 : Création d'un projet en mécanique de fluide.....	33
Figure IV.3 : Création d'un projet en mécanique de fluide.....	34
Figure IV.4 : Création du modèle de la géométrie.....	34
Figure IV.5 : Création du modèle (plan de vue).....	35
Figure IV.6 : le choix d'un nouvel plan.	35
Figure IV.7 : plan 4.....	36
Figure IV.8 : Création d'esquisse.....	36
Figure IV.9 : Création d'esquisse.....	37
Figure IV.10 : Définition des côtes du micro canaux un seul composant électronique.....	37
Figure IV.11 : Création d'extrusion.....	38
Figure IV.12 : Schéma que nous avons après extrusion 2 et extrusion 3.....	38
Figure IV.13 : Définition de la zone du fluide.....	39
Figure IV.14 : Choix le type de maillage.....	39
Figure IV.15 : Conditions aux limites à propos des vitesses.....	40
Figure IV.16 : Conditions aux limites à propos des températures.....	41
Figure IV.17 : Création les données du nano-fluide.....	41
Figure V.1 : Spécification des parties soumis aux conditions aux limites (Symmetry, flux).....	43

LISTE DES FIGURES

Figure V.2 : Spécification des parties soumis aux conditions aux limites (Entrée, sortie, flux).....	43
Figure V.3 : Distribution des températures pour fraction volumique de Ag =0.02 et Re=200.....	45
Figure V.4 : Distribution des températures de CuO pour $\phi =0.02$ et Re=200.....	46
Figure V.5 : Distribution de la température pour le nano-fluide Ag - eau dans les sections de canal pour Re=200.....	46
Figure V.6 : Distribution de la température pour le nano-fluide CuO-eau dans les sections du canal pour Re=200.....	47
Figure V.7 : Distribution du contour de la vitesse pour le nano-fluide Ag - eau dans les sections avec une fraction volumique =0.02 et pour nombre de Reynolds Re=200.....	48
Figure V.8 : Distribution du contour de la vitesse pour le nano-fluide Ag - eau dans les Sections avec une fraction volumique =0.02 et pour nombre de Reynolds Re=800.....	48
Figure V.9 : Variation du coefficient de transfert thermique moyen en fonction des nano-fluides (CuO-eau, TiO ₂ -eau et Ag –eau) pour différentes valeurs de Reynolds.....	49
Figure V.10 : Variation du nombre de Nusselt moyen en fonction des nano-fluides (CuO-eau, TiO ₂ -eau et Ag –eau) pour différentes valeurs de Reynolds.....	49

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Classification des canaux en fonction de leurs diamètres.....22
Tableau III.1 : présentation des dimensions de la géométrie des microcanaux.....26
Tableau V.1 : Caractéristiques thermo physique des nano-fluides.....42

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)
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, w : Composantes de la vitesse dans les directions x, y, z ($m.s^{-1}$)
 U, V, W : Composantes de la vitesse adimensionnelle
 V : Le volume (m^3).

Symbole grecque :

- α : La diffusivité thermique ($m^2 s^{-1}$)
 β : Coefficient d'expansion thermique (k^{-1})
 ΔT : La différence de température
 ε : Facteur d'émission de la surface.
 μ : La viscosité dynamique ($N.s.m^{-2}$)
 ν : La viscosité cinématique ($m^2 s^{-1}$)
 ρ : La densité ($Kg.s^{-1}$)
 ρ_0 : La masse volumique du fluide
 σ : Constante de Stéphan Boltzmann ($W.K^{-4}.m^{-2}$)

NOMENCLATURE

ϕ : La fraction volumique

\emptyset : Le flux de chaleur

Indice :

f : Fluide de base

nf : Nano-fluides

s : Nanoparticules

t : Totale

Introduction
générale

Introduction générale :

Durant ces dernière années, le développement des nanotechnologies constitue un challenge pour les scientifiques ou les nano fluides ont des propriétés qui sont utiles dans des nombreuses applications en générale est dans le transfert thermique en particulier.

Tous les secteurs sont touchés par le développement de cette technologie et surtout le domaine de refroidissement des systèmes énergétiques.

Les composants électroniques deviennent de plus en plus puissants et de plus en plus petits. En conséquence, la chaleur à évacuer devient très importante dans le domaine de l'électronique. Les performances des composants électroniques diminuent fortement avec l'augmentation de leur température.

Avec l'augmentation continue de la puissance dissipée par les composants et les systèmes électroniques, le marché de l'électronique de puissance a besoin de nouvelles techniques de refroidissement plus robustes et plus fiables. Les techniques de refroidissement standards utilisées aujourd'hui sont parfois insuffisantes à cause des propriétés physiques des fluides caloporteurs et plus particulièrement à cause de leur faible conductivité thermique. D'où la nécessité de faire circuler un fluide dont les propriétés thermiques est plus élevée. [1]

Les fluides purs ont des faibles conductivités thermiques, tous simplement l'ajout des nanoparticules d'un matériau à un fluide de base augmentent la conductivité et l'amélioration de refroidissement.

Les nanofluides sont des dispersions de particules de taille nanométrique (dont le diamètre est typiquement inférieur à 100 nm), appelées nanoparticules, dans un fluide de base afin d'en améliorer certaines propriétés.

L'utilisation de nano-fluides en tant que fluide thermique est un nouveau domaine qui est encore en phase de recherche.

Des améliorations d'échange thermique de l'ordre de plusieurs dizaines de pour-cent semblent possibles, notamment pour certaines applications : moteurs thermiques et refroidissement électronique. Néanmoins, compte tenu de l'augmentation de viscosité due aux nanoparticules, le bilan énergétique reste encore mitigé. [2]

Objectif de l'étude

Dans ce travail, on s'intéresse sur l'étude numérique de la convection libre d'un nano fluide dans des micro canaux verticaux, on utilise trois différentes nano fluides. La résolution et la discrétisation des équations par l'exploitation d'un logiciel de simulation numérique Ansys Workbench.

Organisation du mémoire

Ce mémoire est divisé comme suit :

Le premier chapitre représente une synthèse bibliographique des études effectuée par le passé rencontres lors de l'étude de convection par les nano fluides, pour une compréhension le domaine de notre problématique en question.

Le deuxième chapitre consacré à une modélisation thermophysique, consiste un rappel sur les nano fluides (préparation, application, et les propriétés thermophysiques des nano fluides), le transfert par convection et le refroidissement par microcanaux.

Dans le troisième chapitre, nous présentons une modélisation mathématique consiste des équations de problème avec les hypothèses et les conditions aux limites utilisant dans la configuration en question par logiciel de simulation (Ansys Workbench version 2019)

Le quatrième chapitre, nous illustrons une description de la méthode de la résolution numérique par l'utilisation de l'Ansys.

Le cinquième chapitre, traite les résultats de la simulation numérique obtenus pour les trois nano fluides utilisés dans cette étude, de refroidissement par convection des microcanaux de la configuration 3D, placés verticalement.

Enfin, une conclusion générale clarifier les points essentiels et les résultats finales de notre étude.

Chapitre I

Revue bibliographique

I. Introduction :

Au cours des dernières années plusieurs études ont été réalisées sur la convection d'un nano fluide dans des micro-canaux verticaux. Ce chapitre s'intéresse de présenter une synthèse bibliographique de certaines des études effectuées précédemment et qui sont en relation directe avec notre cas d'étude.

GLADES Bachir(2010) [3], a mené une étude théorique et numérique en vue de quantifier l'influence de la concentration en nanoparticules (Al_2O_3 , CuO, Cu, Ag et Au) dispersées dans un fluide de base sur le transfert de chaleur par convection naturelle dans une cellule horizontale chauffée par le bas (configuration de Rayleigh-Bénard).

Pour une cellule expérimentale donnée et à différence de température fixée l'ajout de nanoparticules dans un fluide porteur conduit à une diminution du nombre de Rayleigh dans le nano fluide obtenu comparé à celui dans le fluide porteur seul. L'apparition de la convection est donc retardée dans le nano fluide.

Les résultats montrent que la présence de nanoparticules solides dans un fluide porteur peut réduire le transfert de chaleur au lieu de l'augmenter. Le transfert de chaleur est plus important dans un nano-fluide que dans le fluide de base qu'en régime de conduction et pour les grandes valeurs du nombre de Rayleigh.

CHAREF KHOUDJA Nabila(2010) [4], à présenter une étude numérique des écoulements dans les microcanaux. Le but de ce travail est de simuler l'écoulement et le transfert thermique de l'eau à travers un microcanal rectangulaire. La simulation est effectuée à l'aide du code de calcul l'Ansys (fluent) qui est basé sur la méthode des volumes finis. Les résultats obtenus au cours des différentes simulations comparés avec ceux théoriques et expérimentaux obtenus par Gao et all.

Enfin de cette étude, Les résultats montrent que les valeurs de Nusselt sont en bon accord avec les lois théorique, le coefficient de transfert thermique est plus affecté que le facteur de frottement par la réduction de la taille du canal. Donc les résultats obtenus sont en bon accord avec les résultats expérimentaux (obtenus par Gao).

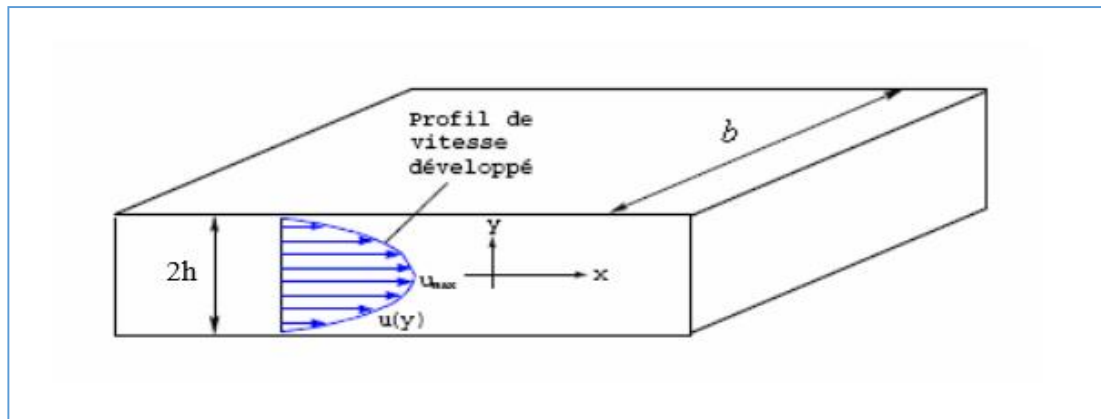


Figure I.1: Ecoulement dans un canal à section rectangulaire.

Belhadje et al(2014) [5], ont mené une étude thermo-énergétique de la convection forcée dans différentes géométries des microcanaux en utilisant un code CFD (l'ANSYS Fluent). Cette étude numérique comporte à progresser les performances thermo- dynamiques d'un écoulement avec un transfert de chaleur dans des microcanaux avec un changement périodique dans la section transversale.

Les résultats obtenus montrent que les microcanaux avec les sections triangulaires sans les plus efficaces que celle avec les fossettes et que le microcanal avec des sections additives dans la paroi supérieur et le plus rendable par rapport aux autres, donc le transfert de chaleur dans les microcanaux a été améliorer.

LEBBIHI Saci et al (2014) [6], à présenter une étude théorique et numérique de refroidissement par convection libre laminaire stationnaire dans une cavité rectangulaire placé dans différentes positions remplie d'un nano-fluide (eau-cuivre). Les simulations numériques sont réalisés en utilisant logiciel CFD (L'ANSYS FLUENT) pour étudiée l'effet de la fraction volumique, nombre de Rayleigh et la position de la source de chaleur sur l'échange par convection.

Les résultats montrent que l'ajout des nanoparticules provoque une amélioration du transfert de chaleur par convection, à partir de ce travail le nano-fluide utilisé est un fluide favorable par rapport les fluides de base pour les systèmes de refroidissement.

SALHI et al (2015) [7], ont étudiée numérique de la convection naturelle laminaire stationnaire dans une enceinte inclinée (carrée et ondulée) chauffée par une température aléatoire (basée sur la fonction de Random) et remplie d'un mélange d'eau et des nanoparticules (Ag et TiO_2). Les équations gouvernantes ont été discrétisées par la méthode des volumes finis en utilisant un schéma hybride. Les champs thermique et

dynamique ont été obtenus ainsi que le nombre de *Nusselt*. Notre procédure de simulation a été validée en comparant les résultats qu'on obtient avec ceux d'autres travaux. Les simulations numériques sont effectuées pour les nombres de Rayleigh ($Ra=103, 104, 105, 106$), l'angle d'inclinaison ($\gamma = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ$), différentes fractions volumiques pour le fluide pure ($\phi = 0$) et pour les nanoparticules (*Ag* et *TiO2*, ϕ égale à 0.1, 0.2), et les paramètres de la géométrie complexe ondulée (longueur d'onde, le rapport d'amplitude de la surface ondulée). Les résultats obtenus montrent que le transfert de chaleur est influencé par la température aléatoire, l'angle d'inclinaison et la fraction volumique, Particulièrement à un nombre de *Rayleigh* élevé. Les paramètres de la géométrie complexe ondulée (longueur d'onde et le rapport d'amplitude) peuvent améliorer le transfert de chaleur

A.BOUHELAL et al(2016) [8], ont mené une étude numérique de la convection naturelle pour le refroidissement d'une source de chaleur intégrée sur la paroi inférieure d'une enceinte remplie d'un nano-fluide(eau-cuivre) supposé newtonien, incompressible et laminaire.

La température des parois supérieure et verticale de l'enceinte est relativement basse. Les équations de transport sont discrétisées par la méthode des volumes finies et sont résolues numériquement en utilisant CFD " Ansys Fluent ». Trois positions différentes de la source ont été étudiées. Les positions considérées sont : à droite, milieu et à gauche. Les effets des différents paramètres pertinents sont étudiés tels que le nombre de Rayleigh, l'emplacement de la source de chaleur, la fraction volumique du nano-fluide sur la performance de refroidissement.

Les résultats montrent que les performances de refroidissement sont améliorées à cause l'ajout de nanoparticules dans l'eau pure en particulier pour les faibles nombres de Rayleigh. Grâce à cette étude, nous avons constaté que la température maximale d'une source de chaleur est Significativement affectée par son emplacement.

TALBI Nadhir et al (2016) [9], à présenter une étude numérique de la convection mixte laminaire autour de composantes électroniques montées entre deux plaques planes verticales en présence d'un nano-fluide (eau-cuivre). Les simulations numériques sont effectuées pour différents nombre de Reynolds ($Re= 20, 40$ et 60), pour différents fraction volumique ($\Phi=0, 0.1$ et 0.2), et pour deux cas concernant la direction de l'écoulement, premièrement écoulement descendant et aussi écoulement ascendant. Pour cette étude le nombre de Rayleigh est fixé de l'ordre $Ra=10^5$. Le problème a été résolu numériquement, en utilisant la méthode des volumes finis par logiciel l'Ansys« FLUENT ».

Pour tous les cas d'étude les résultats obtenus montrent que L'augmentation de la fraction volumique des nanoparticules de cuivre dans l'eau pure n'affecte pas l'amélioration du transport par convection mixte. A cause de la longueur très petite de la source de chaleur ($l=20$ mm). Donc, Il est recommandé d'utiliser l'eau pure comme un fluide de refroidissement pour le refroidissement des composantes électroniques, surtout de petite taille.

E.BELHAMADI et al(2016) [10], ont présenté une simulation numérique bidimensionnelle sur la convection mixte laminaire dans un canal vertical à plaque parallèle avec un courant ascendant du nano-fluide eau-cuivre. L'objectif de ce travail est d'étudier les effets de la fraction volumique du solide, de nombre de Reynolds et du nombre de Grashof sur le transfert de chaleur. Logiciel l'Ansys fluent utilisé pour résoudre les équations régissant.

Les résultats obtenus montrent que l'augmentation de la fraction volumique des nanoparticules cause une augmentation de la conductivité thermique effective du nano-fluide qui se traduit par un meilleur transport thermique du fluide à l'intérieur du canal, et une meilleure transmission de chaleur. L'augmentation de nombre de Reynolds et de nombre de Grashof améliore le transfert de chaleur.

KROUMA Saadia et al (2017) [11], mené une simulation numérique sur la géométrie des nanoparticules dans les nano-fluides, afin d'étudier l'influence de la forme de géométrie (sphérique et cylindrique) sur le transfert thermique, ce travail utilise logiciel de simulation numérique ANSYSWORKBENCH pour simuler numériquement le refroidissement des composantes électroniques dans un micro canal.

Les résultats montrent que l'addition des nanoparticules dans le fluide de base augmente la conductivité thermique, et surtout dans la présence des nanoparticules sphérique (eau-cuivre) qui favorise l'établissement de transfert thermique par convection.

ABDEDDAIM Amel et al (2019) [12], a réalisé une étude numérique des échanges thermiques par convection forcée dans des micro-canaux, dans le but de comparer l'influence du nano fluide, nombre de Reynolds (Re) et le nombre des composantes électroniques sur le refroidissement de ces derniers dans un micro canal en utilisant l'Ansys (fluent).

Les résultats obtenus montrent que l'augmentation de transfert de chaleur par convection doit être lorsque le nombre de Reynolds augmente et le nombre des éléments

électroniques est inférieur. Alors que la vitesse augmente lorsque le nombre des éléments électroniques est multiple.

N. Charef-Khodja et al 2019) [13], ont mené une étude numérique sur le comportement hydrodynamique et des transferts thermiques par convection forcée de l'eau circulant dans un micro canal rectangulaire de hauteur allant de 100 μm à 1 mm. Le nombre de Reynolds est compris entre 50 et 10000. La simulation a été effectuée à l'aide du code de calcul "Fluent" qui est basé sur la Méthode des Volumes Finis. L'étude numérique indique que l'évolution numérique du coefficient de frottement, pour des écoulements laminaires et turbulents dans des microcanaux lisses, est bien prévue par les lois classiquement utilisées aux échelles conventionnelles. Les résultats ont également confirmé que le nombre de Nusselt est en bon accord avec les valeurs théorique, sauf pour les canaux de moins de 200 μm de hauteur où il a été noté une forte diminution des valeurs de Nu.

Chapitre II

*Généralités sur les
propriétés des nano-fluides*

II.1. Introduction :

Durant ces dernières années, dans le domaine de refroidissement des composants électriques les scientifiques développés la technique des nano-fluides pour améliorer les propriétés thermo physiques des fluides caloporteurs par l'agitation des nanoparticules pour augmenter l'efficacité et la surface d'échange entre le fluide et la paroi.

Les systèmes de refroidissement par convection des échangeurs à microcanaux constituent une méthode innovante efficace pour le transfert de grandes quantités de chaleur à partir de très petites surfaces de l'ordre du centimètre carré vers un fluide caloporteur puis vers le milieu environnant.

Ce chapitre est donné comme un petit rappel sur les notions de base concernant les nano-fluides et le transfert de chaleur par convection, et un petit rappel sur le refroidissement par microcanaux.

II.2. Généralités sur la nanotechnologie :

Le développement technologique dans le XXI^e siècle est déjà connu de nombreux changements dans presque tous les secteurs. La célèbre phrase Le physicien Richard Feynman lauréat du prix Nobel en 1959 «De nombreux espaces au fond» suggérant le concept de micromachines, s'inspire à une nouvelle technologie appelé nanosciences. En 1974, le terme «nanotechnologie» a été utilisé pour la première fois par le scientifique Norio Taniguchi.

Après cela, en 1995, le scientifique Choi of Argonne Laboratoire (États-Unis) a préparé avec succès un nano-fluide. Après l'établissement d'un tel point de repère dans l'histoire de la nanoscience, les nano-fluides retiennent l'attention de la plupart des chercheurs du monde entier. Au cours des dernières années, l'engouement pour la recherche sur les nano-fluides a atteint un tel engouement qu'au cours de la seule année 2011, le terme «nano-fluide» a été utilisé dans près de 700 articles. Montre une croissance exponentielle de la recherche sur les nano-fluides. [14]

II.2.1. Définition d'un nano-fluide :

Les nano-fluides sont dispersions de particules de taille nanométrique dont le diamètre est typiquement inférieur à 100 nm, appelées nanoparticules, dans un fluide de base afin d'en améliorer certaines propriétés. [9]

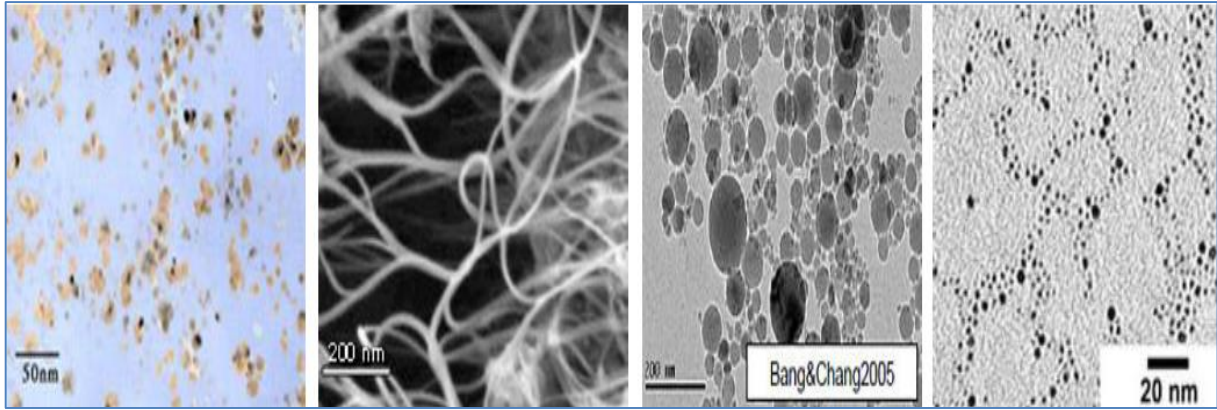


Figure II.1 : Présentation des nano-fluides, vue au microscope électronique. [6]

II.2.2. Nanoparticules et les fluides porteurs :

Une nanoparticule est un assemblage de quelques centaines à quelques milliers d'atomes, Conduisant à un objet dont au moins l'une des dimensions est de taille nanométrique (1 à 100 nm). Les nanoparticules se situent 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. De nombreux physiciens et chimistes les synthétisent, d'autres physiciens les étudient afin de comprendre la physique de ces objets nanométriques et des biologistes les utilisent comme marqueurs cellulaires. [3]

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

➤ **Les nanoparticules métalliques :**

1. L'aluminium (Al)
2. Le cuivre (Cu)
3. L'or (Au)
4. L'argent (Ar)

➤ **Les nanoparticules des oxydes métalliques :**

1. l'oxyde de l'aluminium (Al_2O_3),
2. l'oxyde de cuivre (CuO),
3. l'oxyde de silicium (SiO_2)
4. L'oxyde de titane (TiO_2).

➤ **Les nanoparticules non-métalliques :**

1. Les nanotubes de carbone (CNT)
2. le diamant (C)

✚ Les fluides de base les plus utilisés :

- L'éthylène glycol, EG

- Les huiles
- Le toluène
- Les fluides de réfrigération (R12.R22...). [15]
- Dans cette étude en utilisant l'eau comme fluide de base.

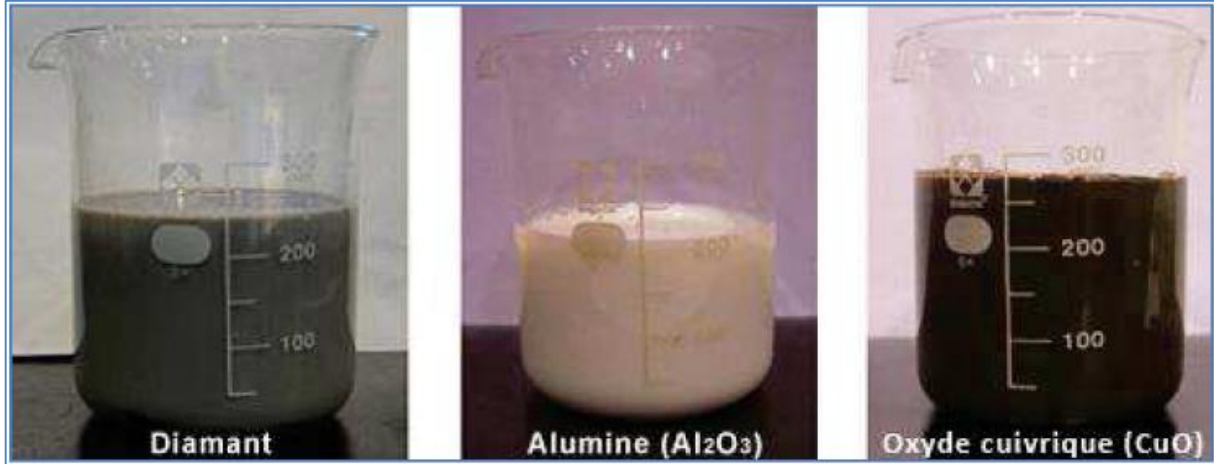


Figure II.2 : Exemples des nano-fluides aqueux et opaques avec 1 % de nanoparticules de diverses natures. [11]

II.2.3. Préparation des nano-fluides :

Il existe de nombreux procédés de fabrication de nanoparticules. Ils peuvent être classés en deux catégories :

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

En outre, il existe deux méthodes principales pour produire des nano-fluides :

a. La méthode en une seule étape : Moins industrielle, elle n'est utilisable que pour certains nano-fluides, les nanoparticules sont produites dans le fluide de base. Cette méthode permet d'éviter l'agglomération et améliore la conductivité thermique du mélange. Néanmoins, pour une famille de nano-fluides donnée, les résultats de la littérature présentent une dispersion assez forte. Cette dispersion peut être attribuée au mode de synthèse des nano-fluides et/ou à la méthode de mesure. [6]

b. La méthode en deux étapes : consiste à produire les nanoparticules 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. [12]

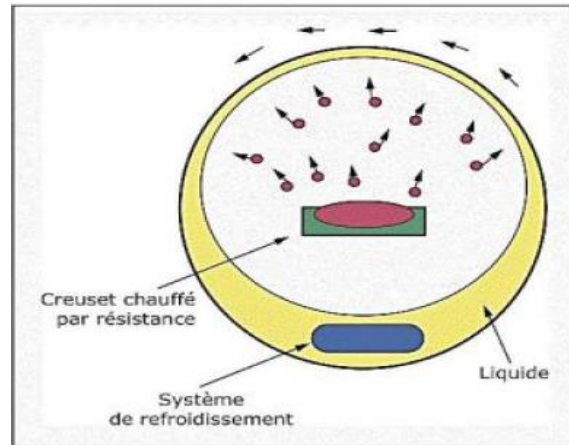


Figure II.3 : procédé de synthèse de nano-fluide en une seule étape. [12]

II.2.4. Les applications des nano-fluides :

Les nano-fluides peuvent être employés pour améliorer le transfert de chaleur et l'efficacité énergétique dans plusieurs systèmes thermiques. Les dispersions de nanoparticules trouvent déjà de nombreux domaines d'applications :

- ✓ le refroidissement des systèmes thermiques.
- ✓ le refroidissement des systèmes militaires.
- ✓ La biomédecine.
- ✓ L'échangeur de chaleur.
- ✓ le refroidissement des systèmes électroniques
- ✓ Nanoparticules pour l'efficacité des réfrigérateurs (formulations de lubrifiants et liquides de refroidissement mélangés avec des nanoparticules pourraient entraîner une augmentation de l'efficacité énergétique des réfrigérateurs)
- ✓ Aéronautique et spatial.
- ✓ Refroidissement des systèmes nucléaire.
- ✓ Transport (gestion de refroidissement / véhicule moteur thermique).
- ✓ Autres applications (caloducs, piles à combustible, le chauffage solaire d'eau, forage, stockage thermique). [6]

II.2.5. Caractéristiques thermo-physiques des nano-fluides :

Les propriétés thermophysiques qui caractérisant les nano fluides sont différentes selon la nature des nanoparticules. Ces caractéristiques sont :

- La masse volumique ρ
- La fraction volumique ϕ
- La conductivité thermique K
- Le coefficient d'expansion volumique β

- La chaleur spécifique C_p
- La viscosité dynamique μ

II.2.5.1. La Masse volumique ρ :

Pour calculer la masse volumique d'un nano-fluide que nous supposons parfaitement homogène (bonne dispersion des nanoparticules dans le fluide) en fonction de la fraction volumique φ à une température T donnée, nous revenons à la définition de la masse volumique de ce mélange.

$$\rho_{nf} = \left(\frac{m}{V}\right)_{nf} = \frac{m_f + m_s}{V_f + V_s} = \frac{\rho_f V_f + \rho_s V_s}{V_f + V_s} \quad (\text{II.1})$$

II.2.5.2. La fraction volumique φ :

Des nanoparticules, notée φ désigne le rapport du volume des nanoparticules sur le volume total (fluide + solide).

$$\varphi = \frac{\text{Volume solide}}{\text{Volume totale du nanofluide}} = \frac{V_s}{V_s + V_f} \quad (\text{II.2})$$

On en déduit alors la masse volumique du nano-fluide :

$$\rho_{nf} = (1 - \varphi)\rho_f + \varphi\rho_s \quad (\text{II.3})$$

Où :

ρ_{nf} : La masse volumique du nano-fluide,

ρ_f : La masse volumique du fluide de base

ρ_s : La masse volumique des nanoparticules solides. [3]

II.2.5.3. La conductivité thermique :

Les nanoparticules à haute conductivité thermique suspension dans le fluide de base qui a une faible conductivité thermique, augmentent remarquablement la conductivité thermique de nano-fluides. Les chercheurs ont développé plusieurs modèles pour prédire l'estimation de la conductivité du nano-fluide et de nombreuses expériences ont été menées pour comparer les données expérimentales avec ces modèles analytiques, constitués par des éléments très réguliers tels que les nanoparticules sphériques. Les modèles décrits dans la littérature sont des outils de prédictions développés, afin d'appréhender les mécanismes de transfert thermique au sein des nano-fluides. Nous présenterons dans cette partie les modèles les plus utilisés dans le cas des nano-fluides.

a. Modèle de Maxwell (1881) :

Maxwell fait partie des chercheurs qui se sont intéressés au calcul de la conductivité thermique d'un fluide contenant des particules sphériques en suspension. Pour aboutir à

l'estimation de cette dernière, il a supposé que le fluide renferme plusieurs particules sphériques de même diamètre D_p .

La formule de Maxwell est donnée par :

$$K_{nf} = \frac{K_s + 2K_f + 2\varphi(K_s - K_f)}{K_s + 2K_f + \varphi(K_f + K_s)} K_f \quad (\text{II.4})$$

k_{nf} , k_f , k_s désignent respectivement les conductivités thermiques du nano-fluide, du fluide de base et des particules solides.

Le modèle de Maxwell est satisfaisant pour les suspensions contenant des particules sphériques de concentrations volumiques relativement faibles mais ne tient pas compte de l'effet de la taille ni de la forme des particules. Il est à noter aussi que l'effet des interactions inter-particules est négligé dans ce modèle.

b. Modèle de Hamilton-Crosser (1962) :

Le modèle de Hamilton et Crosser a été établi pour résoudre la limite de modèle de Maxwell. Puisque ce dernier n'a valable que dans le cas des particules sphériques une chose qui rend le modèle non efficace pour la description du phénomène étudié, pour cela le modèle du Hamilton et Crosser a été développé pour rendre plus efficace le calcul de la conductivité thermique du nano-fluide quel que soit la forme de la nanoparticule, et ça en introduisant la notion du facteur géométrique appelé la sphéricité (ψ). Ce facteur est défini comme étant le rapport de la surface de la sphère ayant le même volume que les nanoparticules sur la surface d'une nanoparticule. La conductivité thermique apparente du milieu est donnée par l'expression suivante :

$$K_{nf} = \frac{K_s + (n-1)K_f - (n-1)(K_f - K_s)\varphi}{K_s + (n-1)K_f + (K_f - K_s)\varphi} K_f \quad (\text{II.5})$$

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

$n = 3$ pour les particules sphériques et $n = 6$ pour les particules cylindriques.

Pour $\psi = 1$ (particules sphériques), le modèle de Hamilton-Crosser est identique au modèle de Maxwell.

c. Modèle de Yu et Choi (2003)

Une autre expression pour calculer la conductivité thermique a été introduite par Yu et Choi (2003). Ils ont proposé de modéliser les nano-fluides comme un liquide de base et des particules solides séparent 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,

$$K_{nf} = \frac{K_s + 2K_f + 2(K_s - K_f)(1 + \beta)^3 \varphi}{K_s + 2K_f - (K_s - K_f)(1 + \beta)^3 \varphi} K_f \quad (\text{II.6})$$

Où :

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

d. Modèle de Bruggeman (1935) :

Le modèle propose par Bruggeman (1935) semble mieux approximer certains résultats expérimentaux compare aux autres modelés pour le cas des nanoparticules sphérique avec aucune limitation concernant les concentrations des nanoparticules. [16]

$$K_{nf} = \frac{(3\varphi - 1) \frac{K_p}{K_f} + \{3((1 - \varphi) + \sqrt{\Delta})\}}{4} K_f \quad (\text{II.7})$$

Avec :
$$\Delta = \left[(3\varphi - 1) \left(\frac{K_s}{K_f} \right)^2 + (2 - 3\varphi)^2 + 2(2 + 9\varphi - 9\varphi^2) \left(\frac{K_s}{K_f} \right) \right]$$

II.2.5.4. Coefficient d'expansion volumique (β) :

Pour calcul la valeur de ce coefficient pour les nano-fluides, de très nombreux auteur ont utilisé à la suite des premiers travaux sur les nano-fluides et par analogie avec la relation (I.12), on déduit l'expression suivante :

$$\beta_{nf} = (1 - \varphi)\beta_f + \varphi \quad (\text{II.8})$$

Où :

β_{nf} : Le coefficient de dilatabilité du nano-fluide.

β_f : Le coefficient de dilatabilité du fluide de base.

β_s : Le coefficient de dilatabilité des nanoparticules. [9]

II.2.5.5. La chaleur massique (Cp) :

La chaleur massique ou la chaleur spécifique est la capacité calorifique par unité de masse d'une substance ou d'un système homogène

La chaleur spécifique correspond à l'apport de chaleur nécessaire pour élever la température de l'unité de substance de 1 K lors de la transformation considérée. Pour la détermination de la chaleur spécifique d'un nano-fluide, on peut citer les deux modèles suivantes :

a. **Modèle du Pak et Cho** : Pak et Cho (1998) ont utilisé la formule suivante :

$$(C_p)_{nf} = (1 - \varphi)(C_p)_f + \varphi(C_p)_s \quad (\text{II.9})$$

b. **Modèle du Xuan et Roetzel** : Xuan et Roetzel (2000) ont utilisé la formule suivante [4] :

$$(\rho C_p)_{nf} = (1 - \varphi)(\rho C_p)_f + \varphi(\rho C_p)_s \quad (\text{II.10})$$

II.2.5.6. La viscosité dynamique :

La viscosité caractérise l'aptitude d'un fluide à s'écouler. L'ajout des nanoparticules permet d'augmenter et d'améliorer la conductivité thermique du nano-fluide, mais cela peut aussi conduire à une augmentation défavorable de la viscosité dynamique. De nombreuses études théoriques et expérimentales ont été menées afin d'estimer ou de mesurer la viscosité dynamique des nano-fluides, et de quantifier l'importance des principaux paramètres qui l'influencent. Plusieurs modèles théoriques ont été développés pour prédire l'évolution de la viscosité dynamique des suspensions sous certaines conditions. Dans cette partie, nous nous intéresserons aux modèles les plus utilisés dans le cas des nano-fluides.

a. **Modèle d'Einstein (1906)** :

Einstein a déterminé l'énergie dissipée autour d'une seule particule dans un fluide en associant son énergie au travail réalisé pour la faire avancer relativement au fluide. A partir de ce résultat, il a déterminé l'expression décrivant une dépendance linéaire de la viscosité des suspensions dans un fluide avec la concentration :

$$\mu_{nf} = \mu_f(1 + 2.5\varphi) \quad (\text{II.11})$$

La formule d'Einstein a depuis été vérifiée expérimentalement et est considérée satisfaisante pour des suspensions très diluées de particules sphériques (browniennes ou non browniennes), typiquement pour des concentrations volumiques inférieures à 1%. Il est à noter que ce modèle ne tient pas compte des effets de la taille des particules et des interactions interparticules.

b. **Modèle de Brinkman (1952)** :

La formule de Brinkman (1952) complète le modèle d'Einstein jusqu'à une concentration volumique inférieure à 4% :

$$\mu_{nf} = \frac{\mu_f}{(1-\varphi)^{2.5}} \quad (\text{II.12})$$

On remarque que cette relation décrit une évolution non linéaire de la viscosité dynamique avec la concentration volumique mais ne tient pas compte de la collision entre les particules.

c. Modèle de Batchelor (1976) :

En effet, l'écoulement autour de chaque particule est influencé par la présence éventuelle d'autres particules à proximité et par les collisions entre particules. Ainsi, cela se traduit par la prise en compte d'un terme ϕ^2 dans le modèle de Batchelor (1976),

$$\mu_{nf} = \mu_f(1 + \eta\phi + K_H\phi) \quad (\text{II.13})$$

Où :

η : est la viscosité intrinsèque et k_H est le coefficient de Huggins. La valeur de η et k_H est de 2.5 et 6.5 respectivement pour des particules sphériques.

d. Modèle Maiga et al. (2005) :

D'autres relations ont été proposées dans la littérature limitée à des applications bien précises. Maiga et al. (2005) à partir de résultats de mesures ont proposé la corrélation

$$\mu_{nf} = \mu_f(123\phi^2 + 7.3\phi + 1) \quad (\text{II.14})$$

En comparant cette corrélation aux modèles d'Einstein et de Brinkman, on trouve que ces deux dernières approches sous-estiment les valeurs expérimentales de la viscosité des nano-fluides.

e. Modèle Pack et Cho (1998) :

Pack et Cho (1998) ont proposé, quant à eux une corrélation pour les nanoparticules Al_2O_3 disperses dans l'eau donnée par [16] :

$$\mu_{nf} = \mu_f(533.9\phi^2 + 39.11\phi + 1) \quad (\text{II.15})$$

II.2.6. Les avantages des nano-fluides :

- Une grande surface de transfert de chaleur entre les particules et les fluides.
- Haute dispersion et stabilité avec prédominance mouvement brownien des particules.
- Réduit par rapport au liquide pur pour obtenir équivalent intensification de transfert de chaleur.
- Particules réduites de colmatage par rapport aux conventionnelles boues, favorisant ainsi la miniaturisation du système.
- Propriétés ajustables, dont la conductivité thermique et la mouillabilité de la surface, en faisant varier les concentrations de particules en fonction de différentes applications.

II.2.7. Les inconvénients des nano-fluides :

- Fortes pertes de charge.
- Erosion.
- Sédimentation.

- Bouchons dans les écoulements.
- Le coût élevé des nano-fluides.
- Difficultés dans le processus de production. [6]

II.3. Généralités sur le transfert de chaleur :

Le transfert de chaleur est une discipline riche en phénomènes physiques et en applications pratiques relatives à notre quotidien. Elle fait partie des sciences de l'ingénieur.

Le deuxième principe de la thermodynamique admet que la transmission de la chaleur ne peut se faire que d'un corps chaud vers un corps froid, c'est-à-dire d'un corps à température donnée vers un autre à température plus basse. Le transfert de chaleur se produit suivant trois modes :

II.3.1. Le transfert par conduction :

Ce mode d'échange tend à une distribution homogène, c'est la propagation de la chaleur d'une molécule à une autre ou d'un corps ou plusieurs contigus sans qu'il y ait mouvement de ce milieu, c'est le mode le plus simple. Le mécanisme de transfert de chaleur par conduction a lieu à l'échelle microscopique.

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

La relation est donnée comme suit :

$$d\phi = -KS \frac{dT}{dx} dt \quad (\text{II.16})$$

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

K : Conductivité thermique du milieu ($\text{Wm}^{-1}\text{c}^{-1}$).

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}).

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

II.3.2. Le transfert par rayonnement :

Tout corps, quel que soit son état (solide, liquide ou gazeux) émet un rayonnement de nature électromagnétique, dès que celui-ci est à une température supérieure au zéro degrés kelvin. Exprimer la relation suivante :

$$\phi = \varepsilon\sigma S(T_s^4 - T_a^4) \quad (\text{II.17})$$

ϕ : Flux thermique (W).

σ : Constante de Stéphan Boltzmann $5,67.10^{-8}(\text{Wk}^{-4}\text{m}^{-2})$.

ε : 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). [12]

II.3.3. Le transfert par convection :

La convection caractérise la propagation de chaleur dans un fluide, gaz ou liquide dont les molécules sont en mouvement. [9]

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 :

$$\Phi = hS(T_H - T_S) \quad (\text{II.18})$$

Φ : flux de chaleur en (W).

h : coefficient de convection en ($W/m^2.k$).

S : La surface d'échange entre le solide et le fluide en (m^2). [12]

On distingue trois types de convection par la suite :

II.3.3.1. Convection forcée :

La convection forcée dans laquelle le mouvement est provoqué par un procédé mécanique (pompe, ventilateur, etc.) indépendant des phénomènes thermiques, c'est donc un gradient de pression extérieur qui provoque les déplacements des particules du fluide.

II.3.3.2. Convection mixte :

La convection mixte correspond au couplage des deux phénomènes précédents (convection naturelle et forcée) quand les vitesses d'écoulement, fictives, dues aux deux types de convections sont considérées séparément, du même ordre de grandeur. [6]

II.3.3.3. Convection naturelle (libre) :

En convection naturelle, les mouvements du fluide sont provoqués par des gradients de densité due au non uniformité du champ de température. Les couches chaudes, donc de poids spécifique plus faible, sont soumises à des forces dirigées vers le haut, suivant un mécanisme analogue à celui de la poussée d'Archimède. Dans les régions à température élevée, le fluide prend donc un mouvement ascendant. Le phénomène inverse de courants descendants se produit pour les parties du fluide dont la température est inférieure à celle du fluide chaud. [7]

On s'intéresse dans cette étude au transfert thermique en convection naturelle d'un nano-fluide dans des microcanaux verticaux.

II.3.4. Les nombres sont dimensions :

Une grandeur sans dimension (ou grandeur adimensionnelle) est une quantité permettant de décrire une caractéristique physique sans dimension ni unité explicite d'expression. Elle est constituée du produit ou rapport de grandeurs à dimensions, de telle façon que le rapport des unités équivaut à un. Ces grandeurs sans dimension interviennent particulièrement en mécanique des fluides et pour la description de phénomène de transfert lorsqu'on utilise la similitude de modèles réduits ou théorie des maquettes et construit l'interprétation des résultats d'essais. Elles portent le nom de nombres sans dimension, nombres adimensionnels, ou encore de nombres caractéristiques. [7]

Les nombres adimensionnels les plus utilisés dans le domaine de la convection sont :

II.3.4.1. Nombre de Reynolds :

Le nombre de Reynolds est proportionnel au rapport entre les forces d'inertie et les forces de viscosité. Il peut être exprimé comme :

$$\frac{F_a}{F_\mu} = \frac{\text{forces d'inertie}}{\text{forces de viscosité}} = \frac{\rho L^2 V^2}{\mu L V} = \frac{\rho V L}{\mu} = Re \quad (\text{II.19})$$

V : La vitesse moyenne [m/s].

L : La longueur caractéristique [m].

Le nombre de Reynolds permet de quantifier les écoulements laminaires et turbulents. Les écoulements à nombre de Reynolds élevé sont généralement turbulents, alors que les écoulements où les forces d'inertie sont faibles par rapport aux forces visqueuses sont plus souvent laminaires. [9]

II.3.4.2. Nombre de Prandtl :

Le Nombre de Prandtl qui est le rapport de la viscosité cinématique ν et la diffusivité thermique α , il caractérise l'importance relative des effets thermiques et visqueux,

Ce nombre porte le nom de Ludwig Prandtl, physicien allemand : $Pr = \frac{\nu}{\alpha}$

Le nombre de Prandtl compare la rapidité des phénomènes thermiques et des phénomènes hydrodynamiques dans un fluide. Un nombre de Prandtl élevé indique que le profil de température dans le fluide sera fortement influencé par le profil de vitesse. Un nombre de Prandtl faible indique que la conduction thermique est tellement rapide que le profil de vitesse a peu d'effet sur le profil de température. [7]

II.3.4.3. Le nombre de Nusselt :

Le nombre de Nusselt est proportionnel au rapport entre le transfert thermique total et le transfert par conduction. Il peut être exprimé comme :

$$Nu = \frac{hL}{K} \quad (\text{II.20})$$

Où :

h : Le coefficient d'échange thermique [$\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$].

On distingue deux différentes formes du nombre de Nusselt :

a. Le nombre de Nusselt local :

Représente les taux de transfert locaux de chaleur. Il est défini par :

$$Nu_x = \frac{qL}{K(T_c(x) - T_f)} \quad (\text{II.21})$$

q : Le Flux de chaleur [W].

b. Le nombre de Nusselt moyen :

Représente le taux moyen. Il est défini par :

$$\overline{Nu} = \frac{\int_0^L Nu_x dx}{\int_0^L dx} \quad (\text{II.22})$$

II.3.4.4. Le nombre de Rayleigh :

Est proportionnel entre l'importance relative de la poussée d'Archimède et le produit de la traînée visqueuse par le taux de diffusion thermique. Il peut être exprimé comme :

$$Ra = \frac{g}{\nu\alpha} (T_s - T_\infty)L^3 \quad (\text{II.23})$$

Où :

T_s : La température de la paroi [$^\circ\text{C}$].

T_∞ : La température du fluide loin de la paroi [$^\circ\text{C}$].

Le nombre de Rayleigh donné en fonction de flux de chaleur q s'écrit comme suit [8] :

$$Ra = \frac{g\beta L^4 q}{\nu\alpha K} \quad (\text{II.24})$$

II.3.4.5. Nombre de Grashof :

Le Nombre de Grashof est un nombre sans dimension utilisé en mécanique des fluides pour caractériser la convection naturelle dans un fluide. Il correspond au rapport des forces de gravité sur les forces visqueuses. Ce nombre porte le nom de Franz Grashof, ingénieur allemand. On le définit de la manière suivante :

$$Gr = \frac{g\beta\theta L^3}{\nu^2} \quad (\text{II.25})$$

Avec :

g : Accélération de la pesanteur.

β : Coefficient de dilatation. [7]

II.4. Le refroidissement des microcanaux par convection :

II.4.1. Introduction aux microcanaux :

Les systèmes de refroidissement par des échangeurs à microcanaux constituent une méthode innovante efficace pour le transfert de grandes quantités de chaleur à partir de très petites surfaces de l'ordre du centimètre carré vers un fluide caloporteur puis vers le milieu environnant [17]. Le concept des microcanaux n'est pas nouveau puisqu'il a été introduit vers 1980 par les chercheurs Tuckerman et Pease.

Les échangeurs à microcanaux/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 techniques complexes de micro-fabrication tel 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 1mm à 0.001mm 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 mL/min à 1L/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. [4]

Voici ci-dessous, quelques exemples des microcanaux/ microstructures

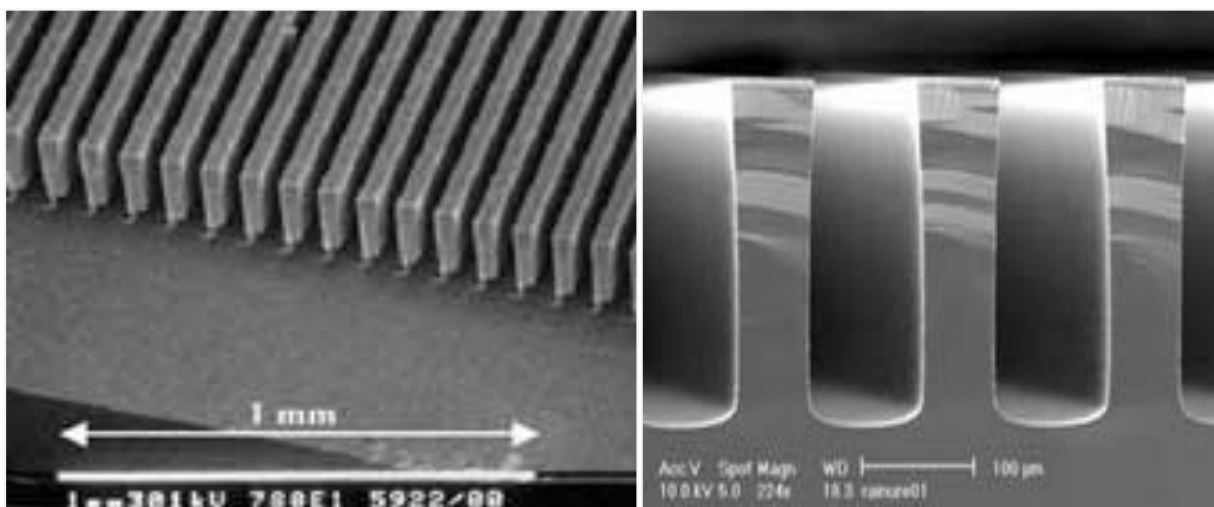


Figure II.4 : exemples des microcanaux.

II.4.2. Définition des 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. [11]

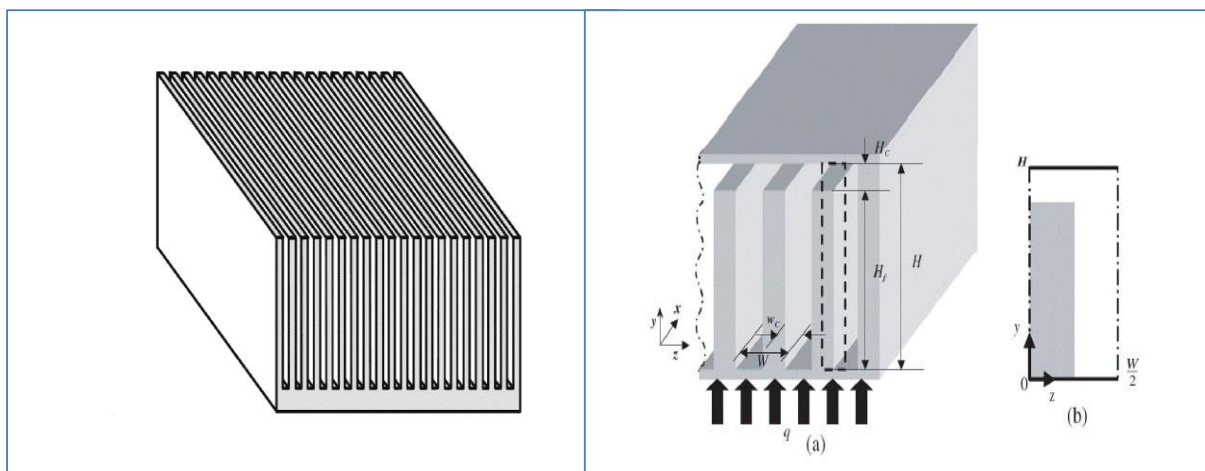


Figure II.5 : exemples sur le type des microcanaux. [16]

II.4.3. Classification des microcanaux basée sur le diamètre hydraulique :

Les différentes microstructures sont classées par ordre de grandeur du diamètre canaux, Kandlikar a proposé la classification suivante :

Tableau II.1 : Classification des canaux en fonction de leurs diamètres.

Canaux conventionnels	$D_h > 3 \text{ mm}$
Minicanaux	$200 \mu\text{m} \leq D_h \leq 3 \text{ mm}$
Microcanaux	$10\text{m} \leq D_h \leq 200 \mu\text{m}$

II.4.4. 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 à microcanaux (DCMC) a reçu l'attention de nombreuses études au cours des dernières décennies. [11]

II.4.5. 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 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, audiovidéo...etc.).[12]

Chapitre III

Modélisation mathématique

III.1. Introduction :

En convection naturelle, les mouvements des particules de fluide ont pour origine les différences de masse volumique induites par un gradient de température imposé, en présence du champ de gravité. En convection naturelle le transfert de chaleur global reste pour l'ingénieur une grandeur importante à caractériser. L'intérêt pour l'étude de ce problème est également son implication dans l'amélioration du refroidissement des composants électroniques. En plus de cet aspect pratique l'étude des écoulements convectifs dans un nano-fluide présente un intérêt certain du point de vue recherche fondamentale.

Le but de ce chapitre consiste à présenter la géométrie de notre cas d'étude suivie par les équations du problème où les équations de continuité, quantité de mouvement et l'équation de la conservation d'énergie, ainsi que les conditions aux limites et les hypothèses simplificatrices du phénomène en question.

III.2. Description de la géométrie :

III.2.1. La géométrie du problème :

La géométrie étudiée représente des microcanaux placés verticalement, illustrés en 3 dimensions, soumis à un flux de chaleur constant. Le fluide circulant dans les microcanaux est un nano-fluide, notre choix dans ce travail, différentes nano-fluides (eau + Ag, eau + CuO, eau + TiO₂).

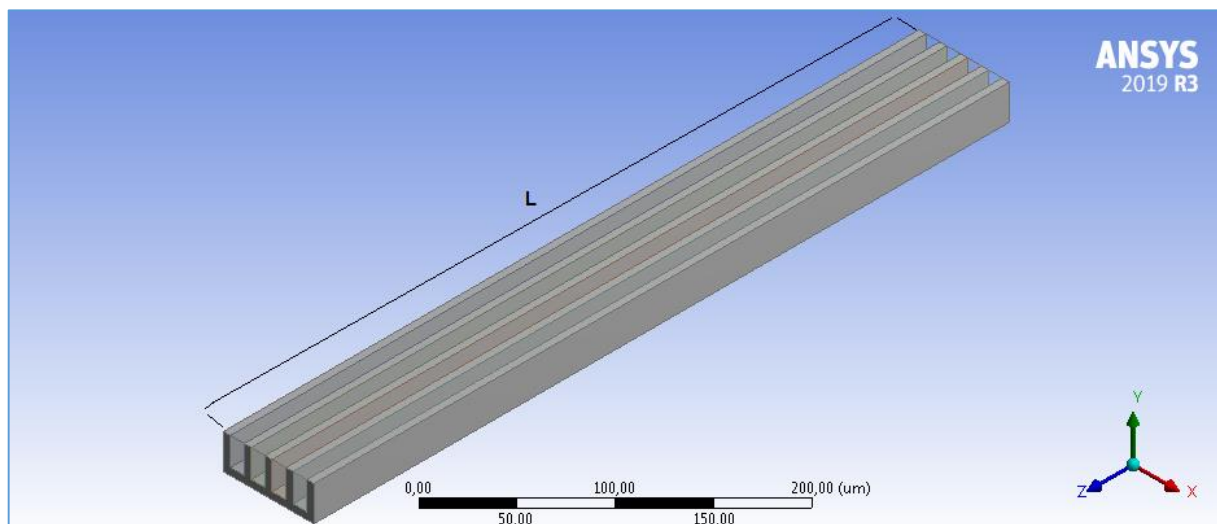


Figure III.1 : présentation de la géométrie des microcanaux en 3Dimensions.

Le dimensionnement des microcanaux étudié, est montré dans la figure et le tableau ci-dessous :

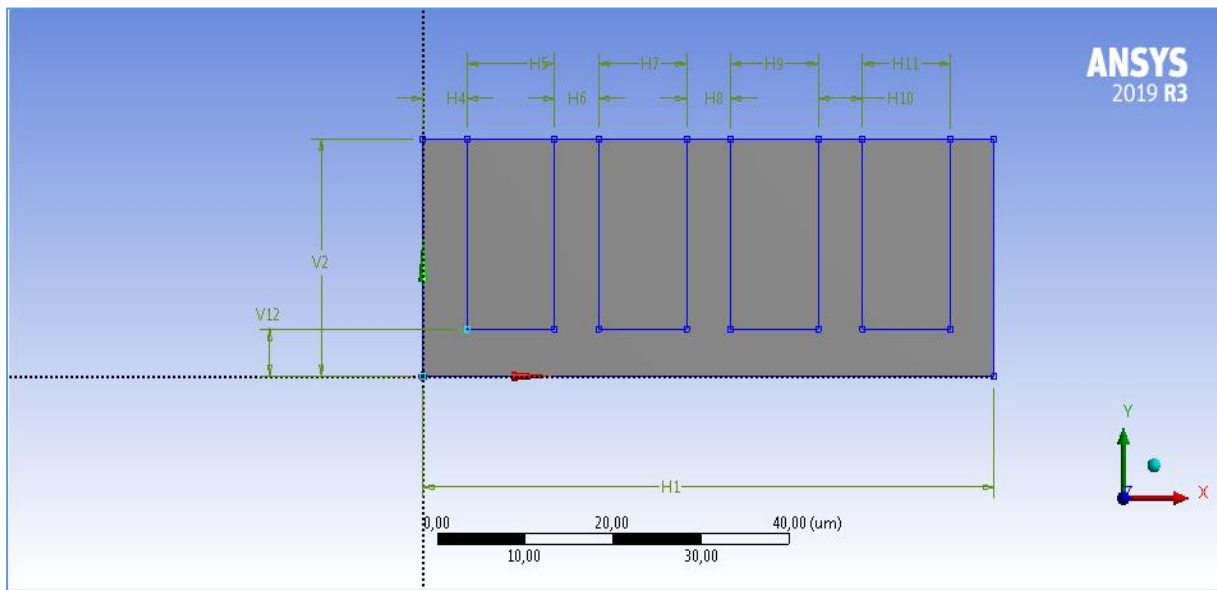


Figure III.2 : présentation de la géométrie des microcanaux.

Tableau III.1 : présentation des dimensions de la géométrie des microcanaux.

H1	V2	L
1 mm Longueur totale du canal (L)	2 mm hauteur totale (H)	15 mm Profondeur de micro canaux

III.2.2. Présentation des conditions aux limites :

Le mouvement de nano fluide est montré dans la figure ci-dessous :

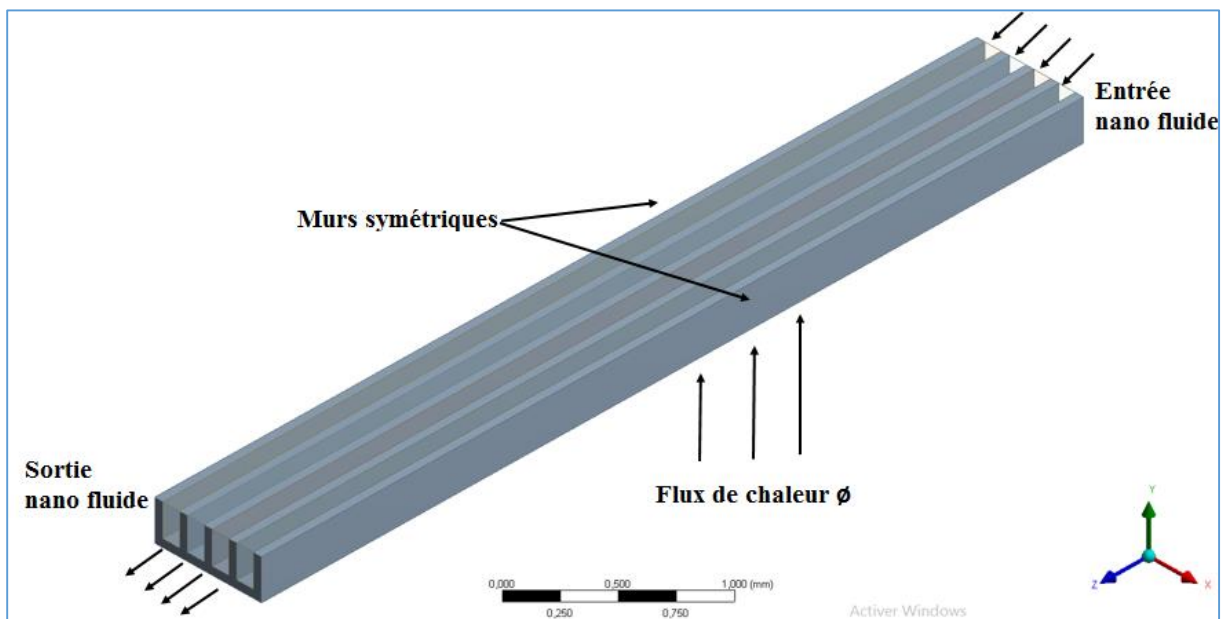


Figure III.3. Présentation de la circulation de nano fluide dans les microcanaux

III.3. Formulations mathématique du problème :

III.3.1. les équations généralisées :

a. Équation de continuité :

En mécanique des fluides, la loi de conservation de masse pour un volume de contrôle matériel peut exprimer par l'équation de continuité. L'équation s'exprime par la relation suivante :

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

Où ρ : la masse volumique.

Et V : le vecteur de vitesse.

b. Equation de quantité de mouvement :

En mécanique des fluides, 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. L'équation s'écrit de la manière suivante :

$$\frac{D}{Dt}(\rho \cdot V) = \rho F - \text{grad}(p) + \mu \Delta V + \frac{1}{3} \mu \text{grad}(\text{div}(V)) \quad (\text{III.2})$$

Où F : force par unité de volume.

Et μ : viscosité dynamique.

c. 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 :

$$\frac{D}{Dt}(\rho C_p T) = \Delta(K \cdot T) + q + \beta T \frac{Dp}{Dt} + \mu \Phi \quad (\text{III.3})$$

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.

III.3.2. les hypothèses de l'écoulement dans les microcanaux :

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

- ✓ L'écoulement est stationnaire et tridimensionnel.
- ✓ L'écoulement engendré est laminaire.
- ✓ Le nano fluide est Newtonien et incompressible.
- ✓ La puissance volumique dissipée est négligeable.
- ✓ 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.
- ✓ Les propriétés thermo physiques du nano fluide (K, C_p, μ, ρ) sont constantes.
- ✓ Ecoulement dans une géométrie 3D, maillages adaptifs non structurés.
- ✓ 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 :

$$\rho = \rho_0 [1 - \beta(T - T_0)] \quad (\text{III.4})$$

D'où

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

T_0 : La température de référence.

ρ_0 : La masse volumique du fluide.

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

$$\rho = -\frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right) p \quad (\text{III.5})$$

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 naturelle laminaire.

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

III.3.3. les équations du problème :

a. Équation de continuité :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (\text{III.6})$$

b. Equation de quantité de mouvement :

Equation de la conservation de quantité de mouvement suivant x :

$$U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + W \frac{\partial U}{\partial z} = \frac{1}{\rho_{nf}} \left(-\frac{\partial p}{\partial x} + \mu_{nf} \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} \right) \right) \quad (\text{III.7})$$

Equation de la conservation de quantité de mouvement suivant y :

$$U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + W \frac{\partial V}{\partial z} = \frac{1}{\rho} \left(-\frac{\partial p}{\partial y} + \mu_{nf} \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} \right) - g(\beta\rho)_{nf}(T - T_0) \right) \quad (\text{III.8})$$

Equation de la conservation de quantité de mouvement suivant z :

$$U \frac{\partial W}{\partial x} + V \frac{\partial W}{\partial y} + W \frac{\partial W}{\partial z} = \frac{1}{\rho} \left(-\frac{\partial p}{\partial z} + \mu_{nf} \left(\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial z^2} \right) \right) \quad (\text{III.9})$$

c. 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, y et z comme suit :

$$U \frac{\partial T}{\partial x} + V \frac{\partial T}{\partial y} + W \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha_{nf} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (\text{III.10})$$

III.3.4. les 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 $\phi=1000000 \text{ w/m}^2$
- ✓ La température du nano fluide utilisé été fixé $T_{in}=293\text{K}$ à l'entrée des micro-canaux.
- ✓ La vitesse est appliquée comme condition de la limite hydrodynamique lors de l'entrée dans les micro-canaux est $v=2.36 \text{ m/s}$.

Les nano fluides utilisés sont (eau + Ag, eau + CuO, eau + TiO₂) sont les fluides qui traversent micro-canaux.

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

Les types de nano-fluides circulés dans le microcanal (eau + Ag, eau + CuO, eau + TiO₂) 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 ($\partial u/\partial x = \partial v/\partial y = \partial w/\partial z = \partial T/\partial x = 0$)

À la paroi inférieure ($y = 0$) et

$$u = 0 ; v = 0$$

III.4. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons exposé le modèle physique examiné et les équations qui régissent ce modèle physique, ensuite le phénomène de la grossesse dans un micro canaux 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 IV

Simulation numérique

IV.1. Introduction :

Après des années le développement des ordinateurs a encouragé les scientifiques à résoudre des problèmes de plus en plus complexes pour lesquelles les solutions analytiques ne peuvent être trouvées.

Ces types de problèmes sont généralement modélisés par des équations aux dérivées partielles (E.D.P) non-linéaires.

Ce chapitre est dédié à la modélisation de l'écoulement et du transfert thermique dans les Micro canaux. 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 resaluent par des méthodes numériques. Les équations de continuité, de quantité de mouvement et d'énergie sont résolues par la méthode des volumes finis, en utilisant le code de calcul FLUENT.

Nous avons choisi la méthode des volumes finis qui développée par Patankar.

IV.2. Procédures du calcul :

IV .2.1. Menu principale de logiciel ANSYS Workbench :

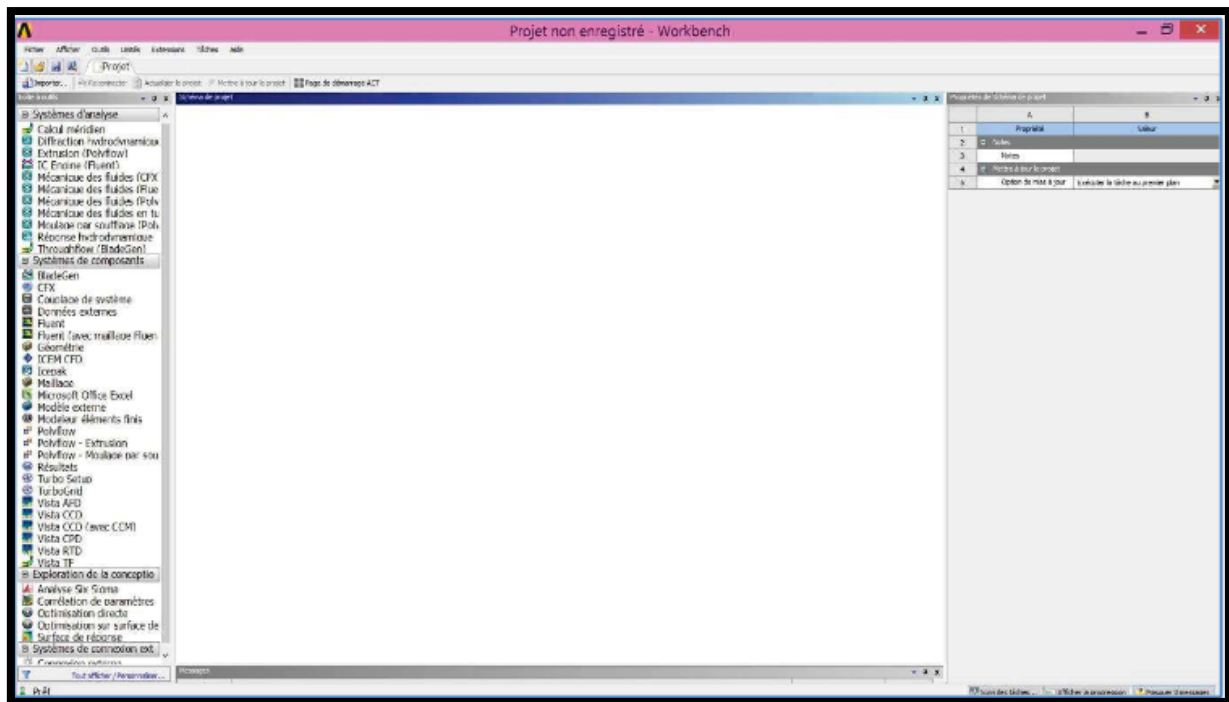


Figure IV.1 : Menu principal de workbench

La barre d'outils nous donne accès à plusieurs systèmes d'analyse.

Pour débiter une analyse en mécanique des fluides (Fluent) glissé dans schéma de projet (Figure IV.2)

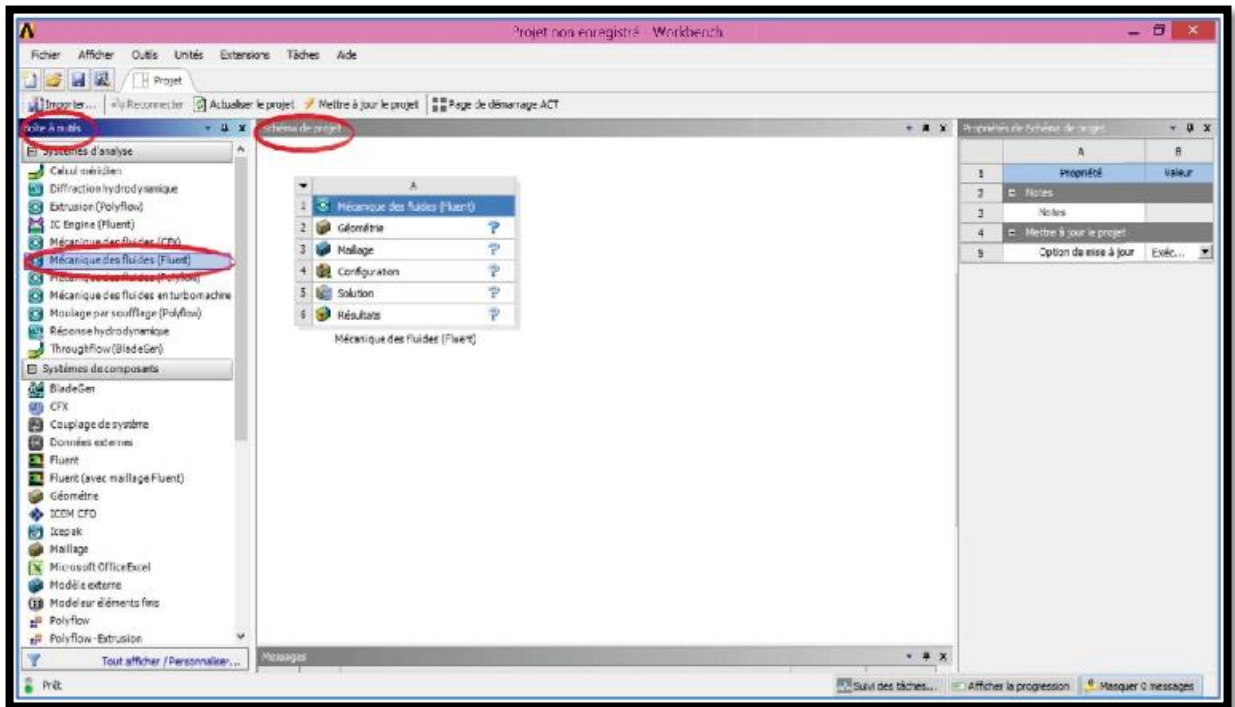


Figure IV.2 : Création d'un projet en mécanique de fluide

Le tableau créé 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.

IV.2.2. Création de la géométrie :

Pour créer une géométrie avec Ansys Workbench Double clic sur **Géométrie** pour ouvrir le module de création géométrique "**Design Modeler**" (figures: (IV.3), (IV.4), (IV.5)).

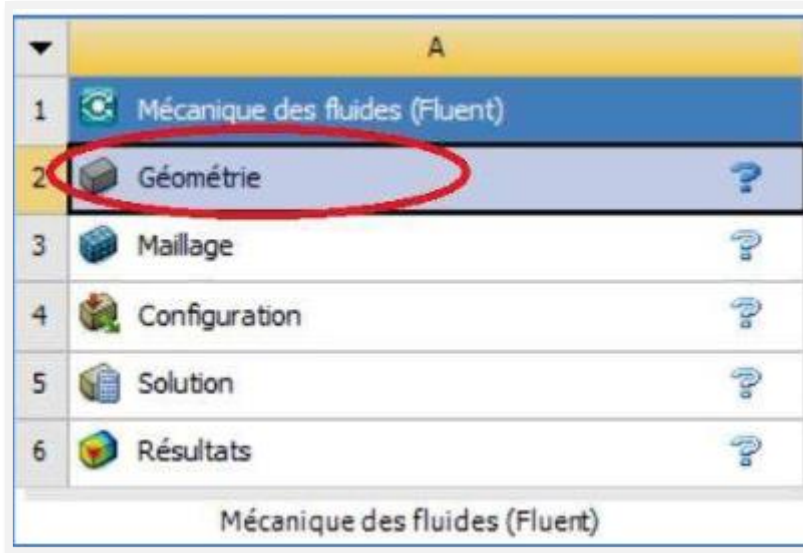


Figure IV.3 : Création d'un projet en mécanique de fluide

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

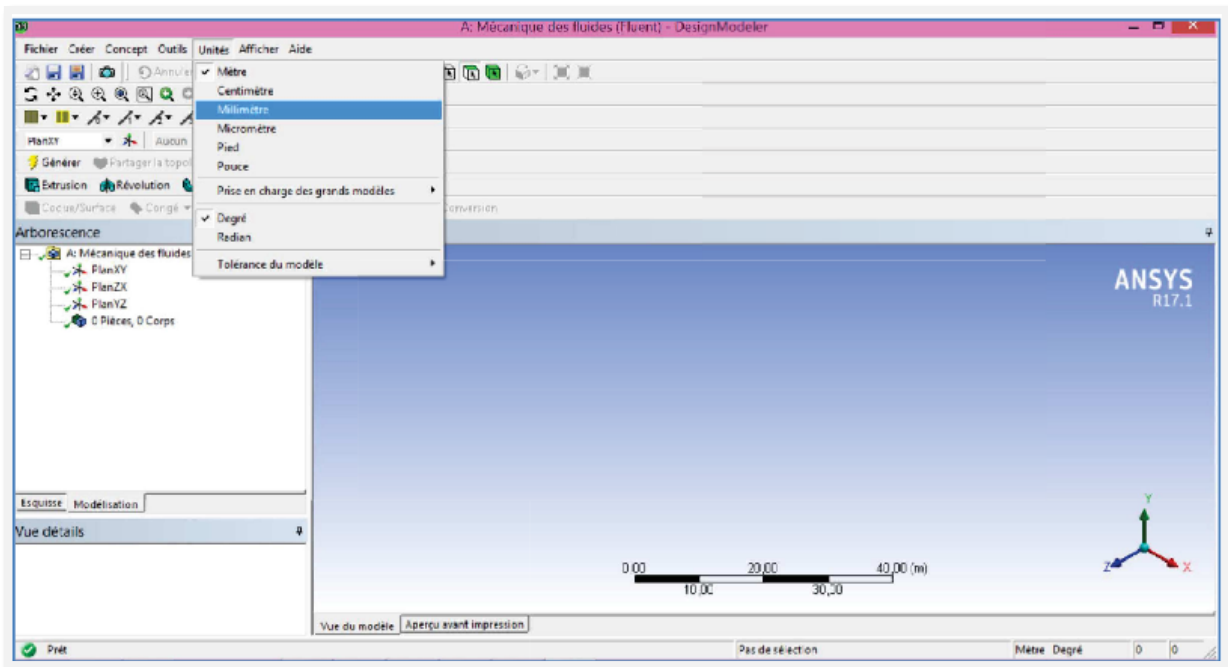


Figure IV.4 : Création du modèle de la géométrie

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

et sur  dans la barre d'outils :

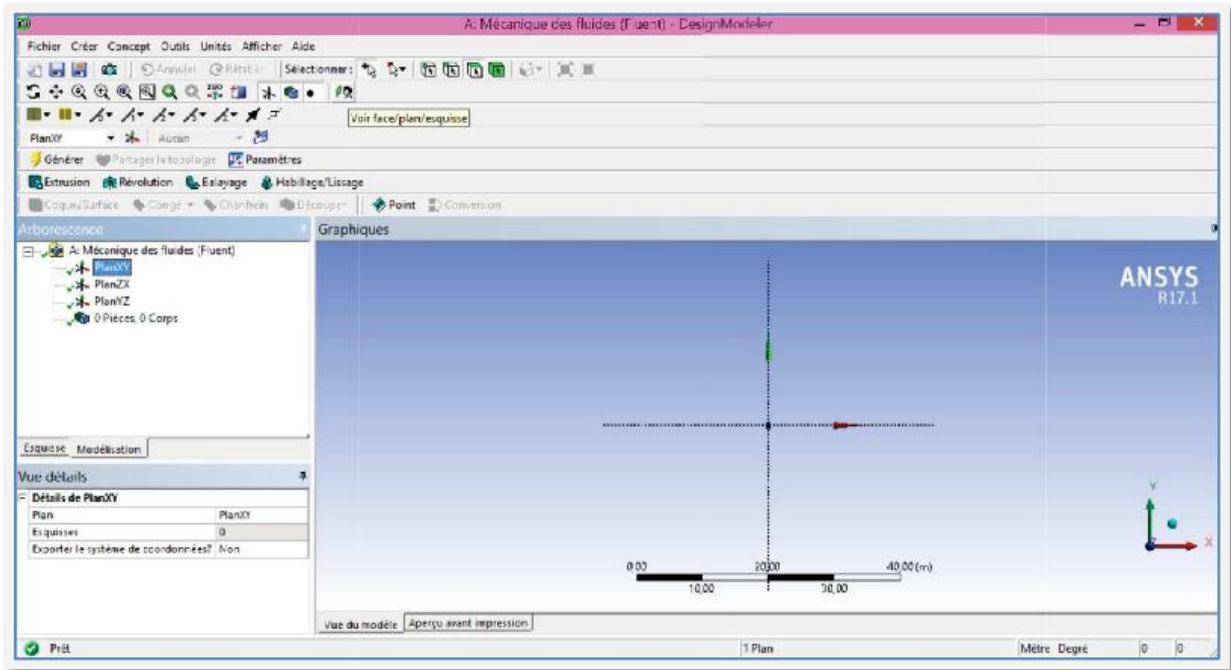


Figure IV.5 : Création du modèle (plan de vue)

Pour le cas que nous étudions, nous créons un nouveau plan horizontal que nous définissons, selon les étapes suivantes :

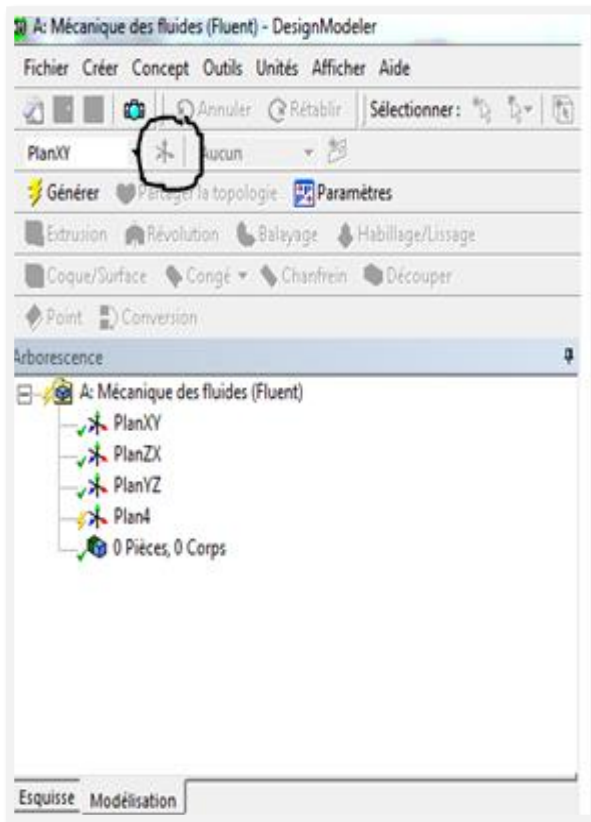



Figure IV.6 : le choix d'un nouvel plan.

Le processus de dessin de cet enseignant, nous cliquons sur  dans la barre d'outils :

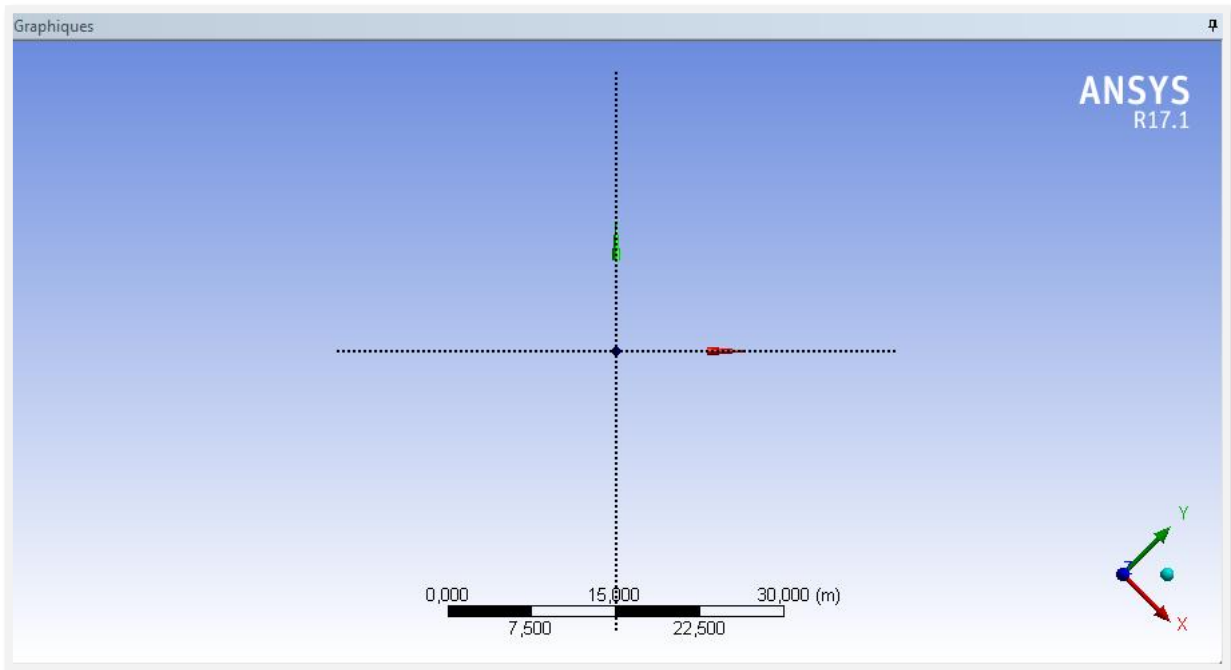


Figure IV.7 : plan 4

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 :

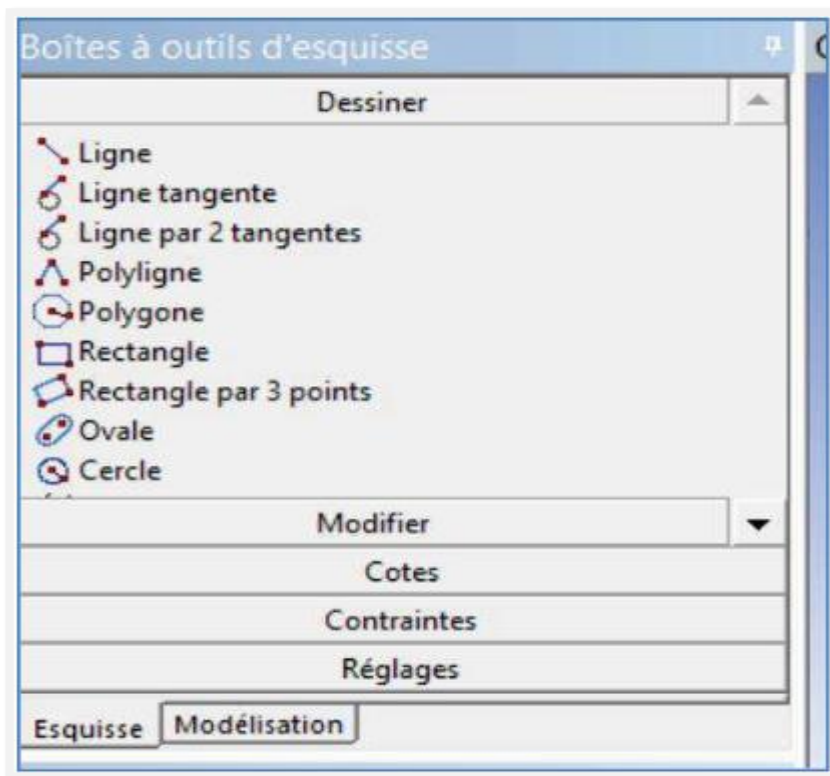


Figure IV.8 : Création d'esquisse.

On obtient cette esquisse :

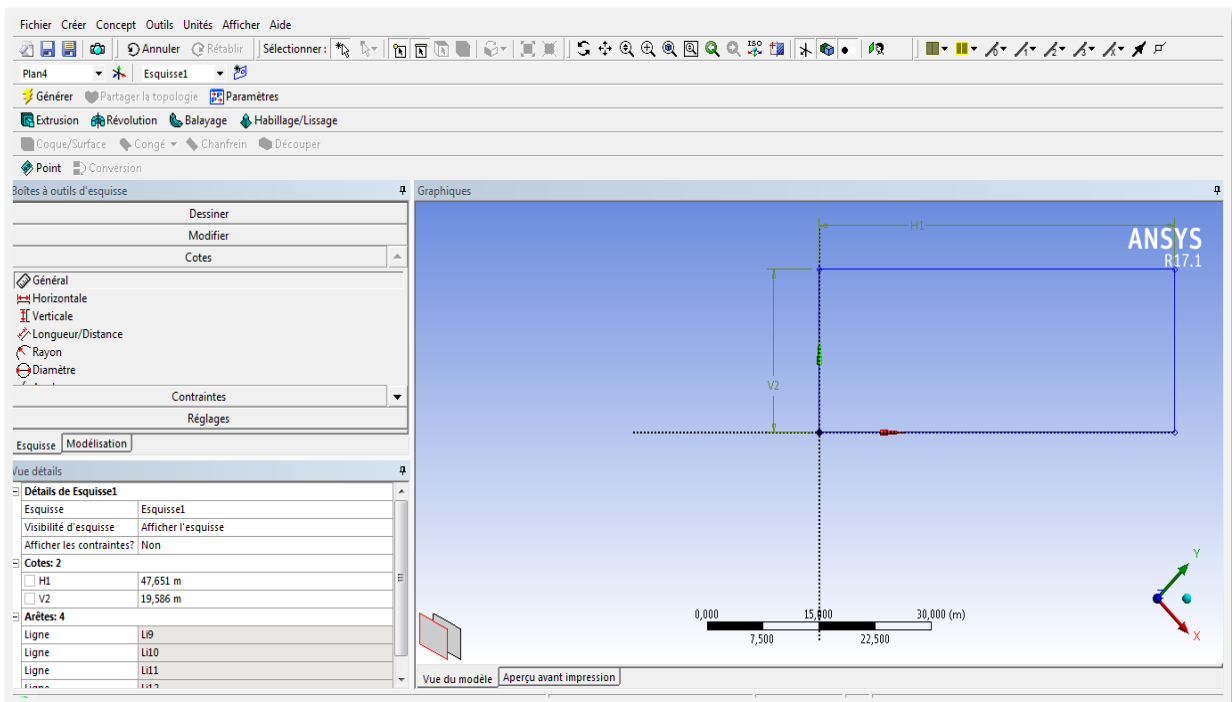


Figure IV.9 : Création d'esquisse.

Sélectionnons les cotes à la géométrie comme suit :

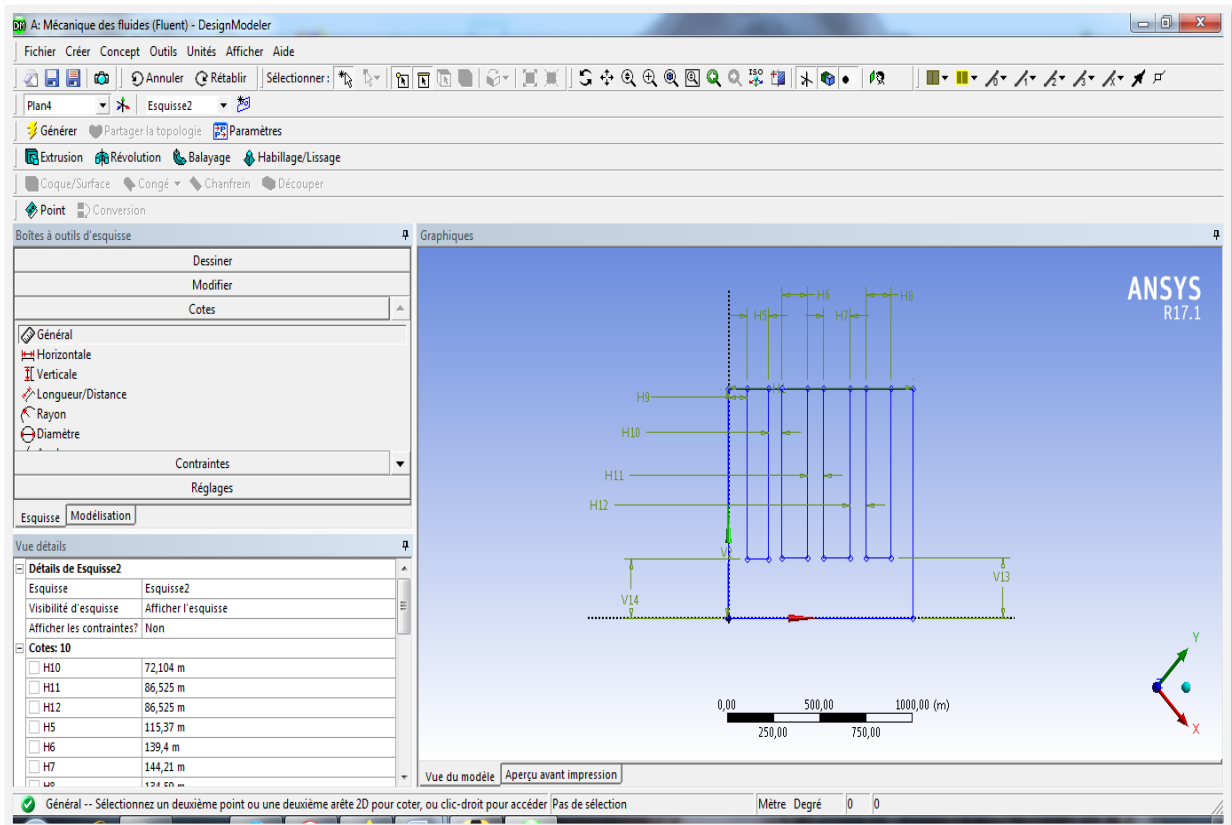


Figure IV.10 : Définition des côtes du micro canaux un seul composant électronique.

Maintenant, nous allons Extrusion1 pour Esquisse1 pour obtenir une géométrie en 3D

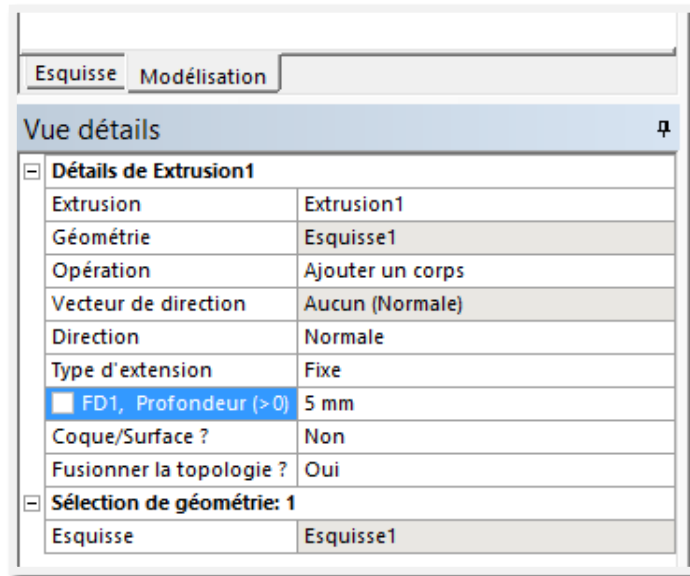


Figure IV.11 : Création d'extrusion

Et notre Extrusion2 → Esquisse2 pour Enlevez de la matériel et indique dans les composante électronique le fluide qui entré ; Extrusion3 → Esquisse2 pur ajouté un coure bloque (fluide)

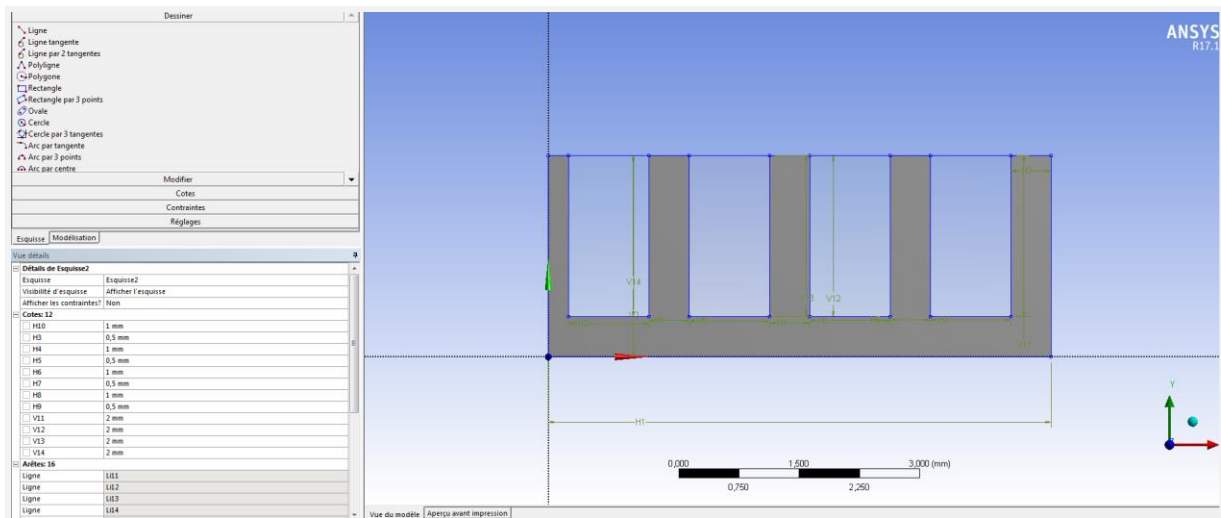


Figure IV.12 : Schéma que nous avons après extrusion 2 et extrusion 3

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

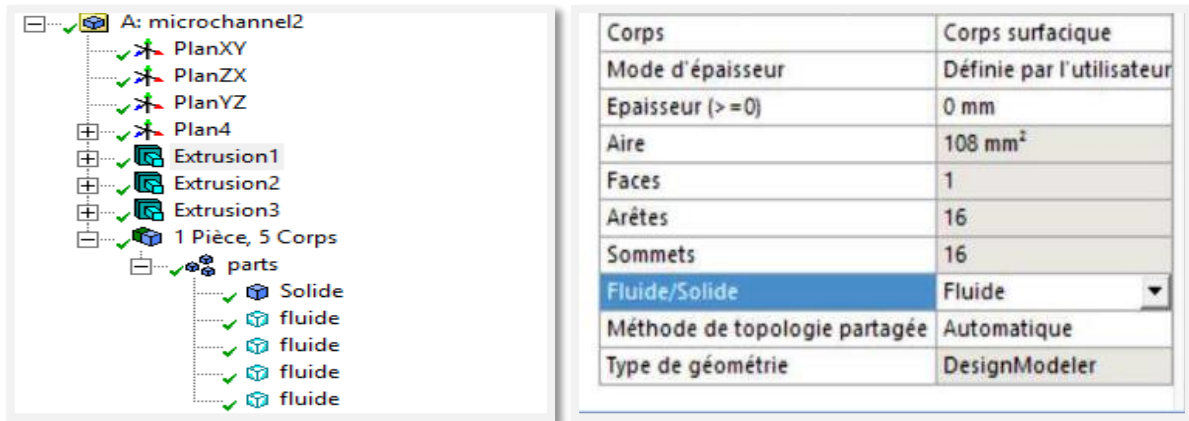


Figure IV.13 : Définition de la zone du fluide

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 :

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.

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 donne un nom.

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

l'outil  pour les arrêtes.

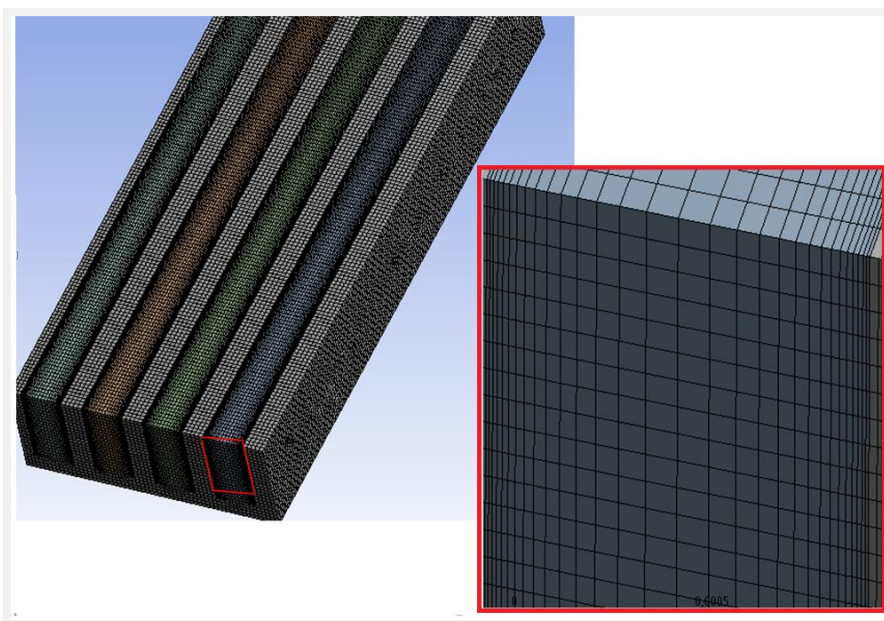


Figure IV.14 : Choix le type de maillage

- 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.
Wall hot : un flux de chaleur des composantes électroniques.

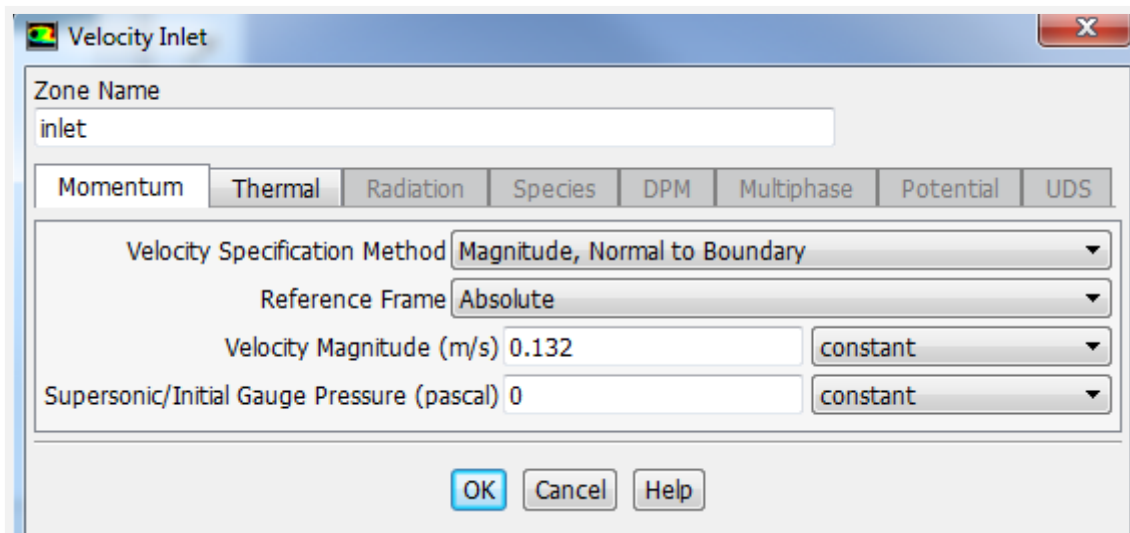


Figure IV.15 : Conditions aux limites à propos des vitesses.

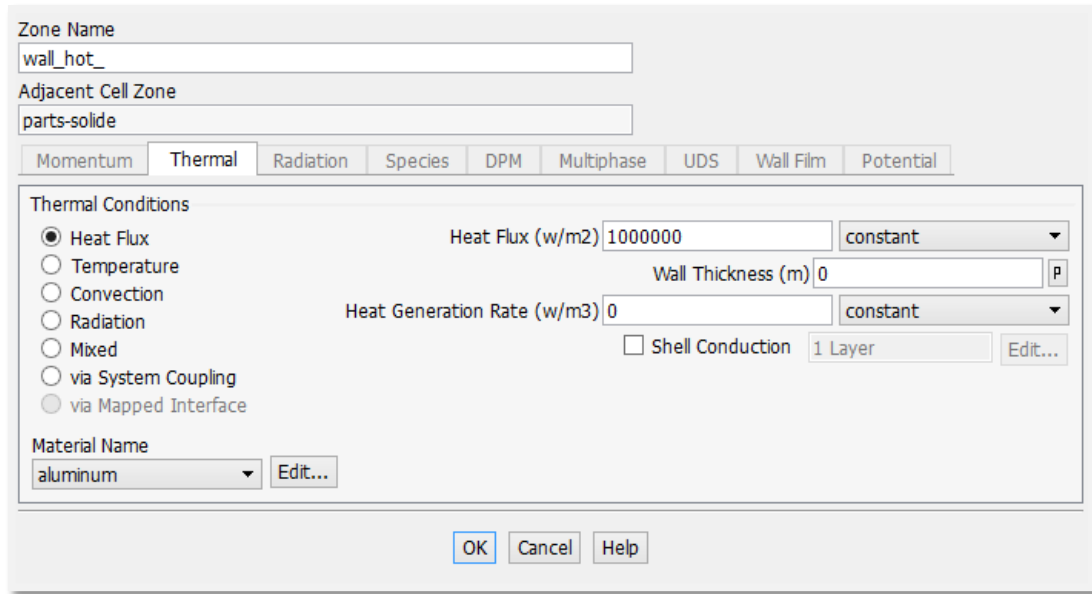


Figure IV.16 : Conditions aux limites à propos des températures.

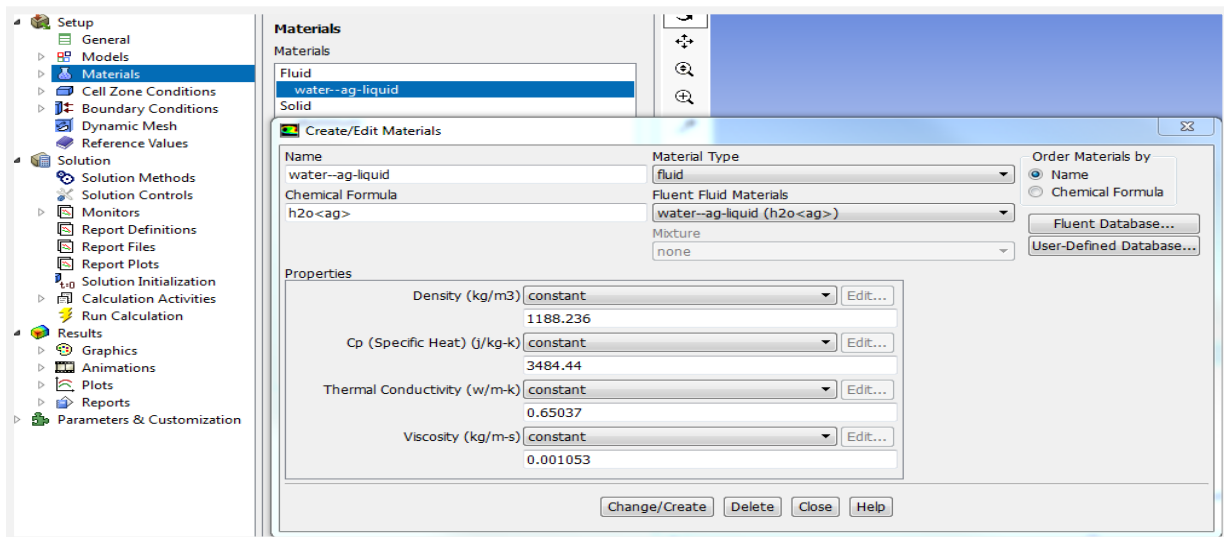


Figure IV.17 : Création les données du nano-fluide.

II.3.Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté une explication détaillée de Ansys et comment l'utiliser, les étapes de calcul par le logiciel utilisant la simulation numérique par CFD.

Nous avons intéressé dans nos résultats par le champ de température, les lignes de courant et le nombre de Nusselt, qui sera affichées, interprétées et discutées dans le chapitre suivant.

Chapitre V

Résultats et interprétations

V.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats de l'étude numérique de la convection naturelle, stationnaire et tridimensionnelle d'un écoulement d'un nano-fluide dans des microcanaux verticaux.

L'étude est basée, d'une part, sur les influences de changement de nano fluide sur le refroidissement des microcanaux.

V.2. propriétés thermo physique des nano-fluides utilisés :

La littérature traite majoritairement de la problématique concernant les modèles mathématiques des nano-fluides .Dans ce qui suit on a choisi un modèle pour établir les caractéristiques montrés dans le tableau suivant :

Propriétés	Nanoparticule (Argent)	Fluide de base (H ₂ O)	Nano fluide (Ag-H ₂ O)
			φ =2%
ρ (Kg/m ³)	10.500	998.2	1188.236
Cp (J/Kg K)	235	4182	3484.44
K (W/m K)	429	0.613	0.65037
μ (Ns/m ²)		0.001003	0.00105315
Propriétés	Nanoparticule (Oxyde de titan)	Fluide de base (H ₂ O)	Nano fluide (TiO ₂ -H ₂ O)
			φ =2%
ρ (Kg/m ³)	4250	998.2	1063.236
Cp (J/Kg K)	686.2	4182	3902.53
K (W/m K)	8.9538	0.613	0.64364
μ (Ns/m ²)		0.001003	0.00105315
Propriétés	Nanoparticule (Oxyde de cuivre)	Fluide de base (H ₂ O)	Nano fluide (CuO-H ₂ O)
			φ =2%
ρ (Kg/m ³)	6500	998.2	1108.236
Cp (J/Kg K)	535.6	4182	3754.26
K (W/m K)	20	0.613	0.64722
μ (Ns/m ²)		0.001003	0.00105315

Tableau V.1 : Caractéristiques thermo physique des nano-fluides

V.3. Géométrie étudiée avec les conditions aux limites

Les dimensions du canal sont : Longueur= 15mm Largeur : 1mm hauteur=2mm
 La valeur de température d'entrée du canal est de 293 K.

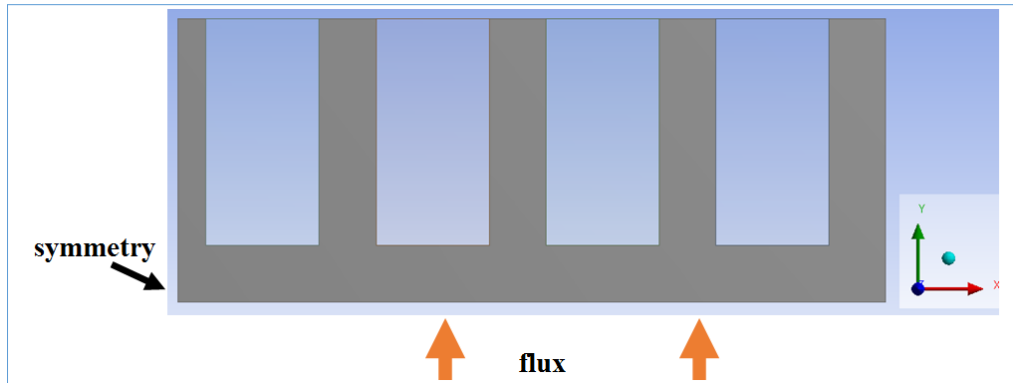


Figure V.1 : Spécification des parties soumis aux conditions aux limites
 (Symmetry, flux)

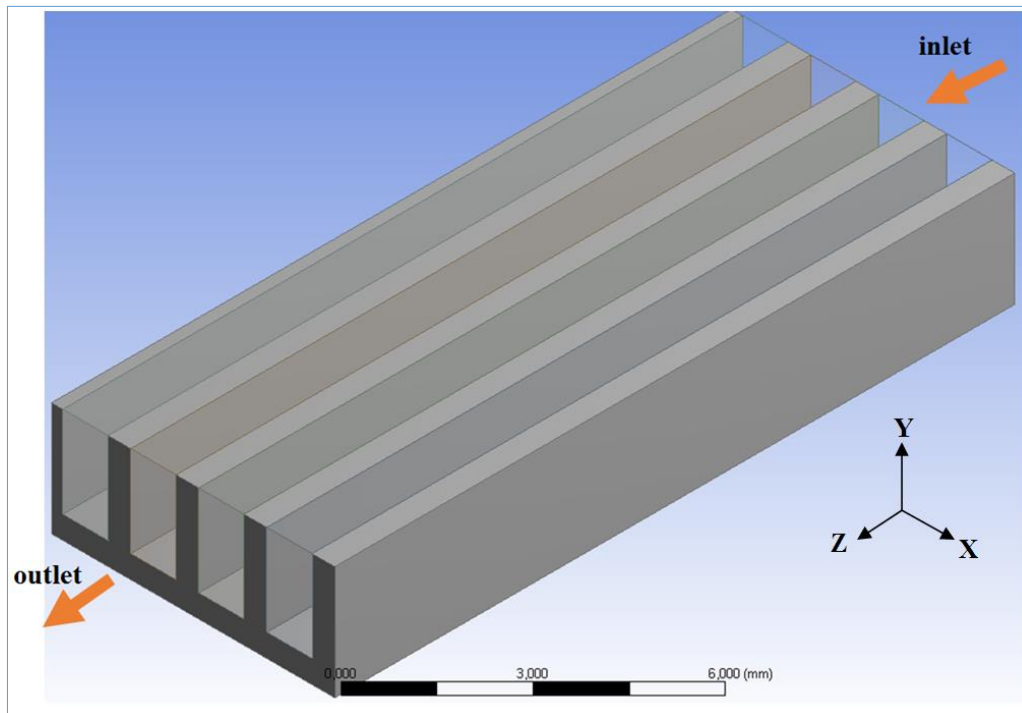


Figure V.2 : Spécification des parties soumis aux conditions aux limites
 (Entrée, sortie, flux)

V.4. Interprétation et discussion des résultats :

Dans ce chapitre nous avons mené de nombreuses simulations numériques en utilisant la méthode des volumes finis (Mech) du programme ANSYS WORKBENCH, version 2019 est de présenter les résultats de la simulation et leur interprétation pour les différents paramètres de l'écoulement d'un nano- fluide qui passe dans un micro canal, dans cette simulation numérique on utilise comme un fluide de refroidissement, des nano-fluides (CuO-eau, TiO₂-eau et Ag –eau), qui circule dans un micro canal.

Pour la simulation on trouve les conditions aux limites, Les simulations numériques sont effectuées pour une fraction Volumique ($\varphi = 0.02$) pour les 03 trois nano fluides, on présente les résultats dans la distribution de température et la vitesse.

Et on effectuées notre simulation numériques pour différentes nano-fluides ((eau-CuO),(eau-TiO₂),(eau-Ag)) pour illustre clairement les graphes concernant le nombre Nusselt ainsi les résultats du nombre de Nusselt , la variation du coefficient de transfert en fonction de nombre de Reynolds.

Les résultats obtenus seront discutés en présentant les champs de température, coefficient de transfert de chaleur par convection distribution des températures (de la surface et dans la section du canal), la distribution de vitesse et le nombre de Nusselt en fonction R_e et la variation du coefficient de transfert h en fonction R_e

On peut remarquer par rapport à la température qu'un changement le type du nano-fluide se produit un changement du processus de refroidissement car chaque nanoparticule à une conductivité thermique différente de l'autre(0.65037pour Ag + eau, 0.64364 pour TiO₂-H₂O et 0.64722 pour CuO-H₂O) , voir les figure (5.3) jusqu'à (5.7), (en fonction de $R_e = 200$).

De cela, nous concluons que le changement du type de nano-fluide ou l'augmentation de la de la conductivité thermique des nanoparticules dans le fluide de base qui est responsable du processus de refroidissement ce qui mène l'augmentation de conductivité de fluide de base, ce qui se traduit par un bon processus de refroidissement.

On remarque une augmentation de variation du coefficient de transfert thermique moyen en fonction des nano fluides pour différents Reynolds, coïncidant avec une augmentation du rapport de Reynolds pour les trois nano fluides ((eau-CuO), (eau-TiO₂), (eau-Ag)), car la progression pour les trois nano fluides est la même voir la Figure (5.8).

On remarque une augmentation de nombre de Nusselt, coïncidant avec une augmentation du rapport de Reynolds pour les trois nano fluides ((eau-CuO), (eau-TiO₂), (eau-Ag)), car la progression pour les trois nano fluides est la même voir le Figure (5.9).

De là, nous concluons qu'une augmentation de nombre de Reynolds se traduit par une amélioration et une augmentation de (nombre de Nusselt moyen et du coefficient de transfert thermique moyen) ce qui signifie Renforcer les changes thermiques, et en retour, nous concluons qu'une modification du nano fluide ne limite aucune différence dans le processus de refroidissement.

V.4.1 Distribution du champ de température :

V.4.1.1 Distribution du champ de température pour le nano-fluide Ag - eau :

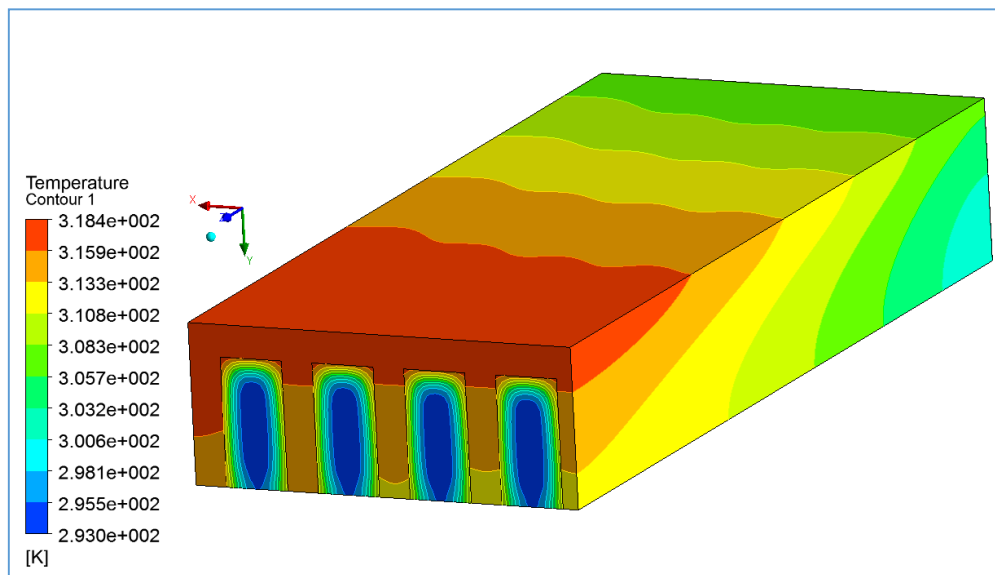


Figure V.3 : Distribution des températures pour fraction volumique de Ag =0.02 et Re=200

V.4.1.2 Distribution du champ de température pour le nano-fluide CuO -

eau :

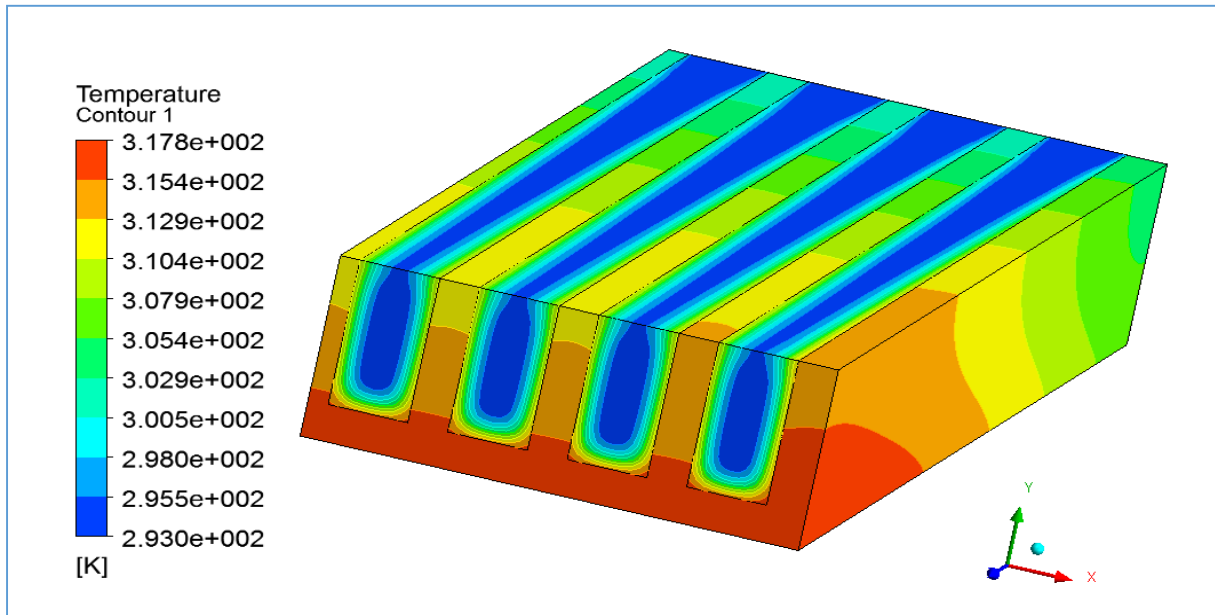


Figure V.4 : Distribution des températures de CuO pour $\phi = 0.02$ et $Re=200$

V.4.1.3 Distribution du champ de température pour différentes sections de canal nano-fluide Ag - eau (fraction volumique =0.02)

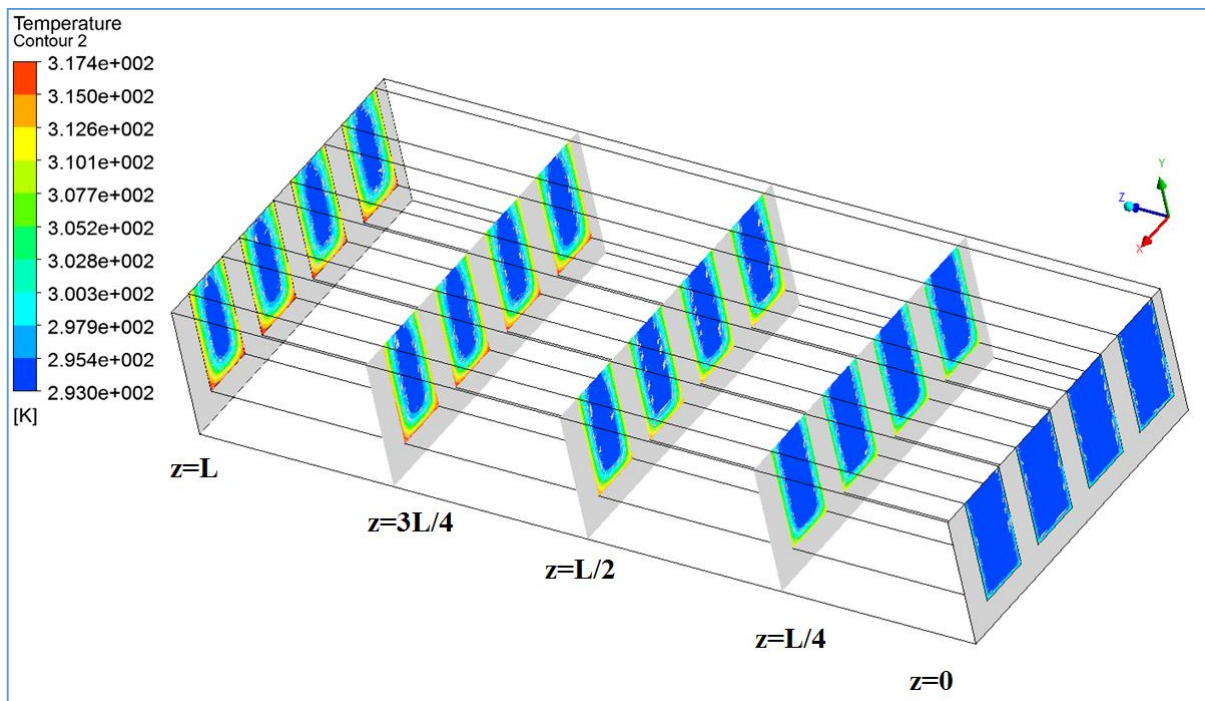


Figure V.5 : Distribution de la température pour le nano-fluide Ag - eau dans les sections de canal pour $Re=200$

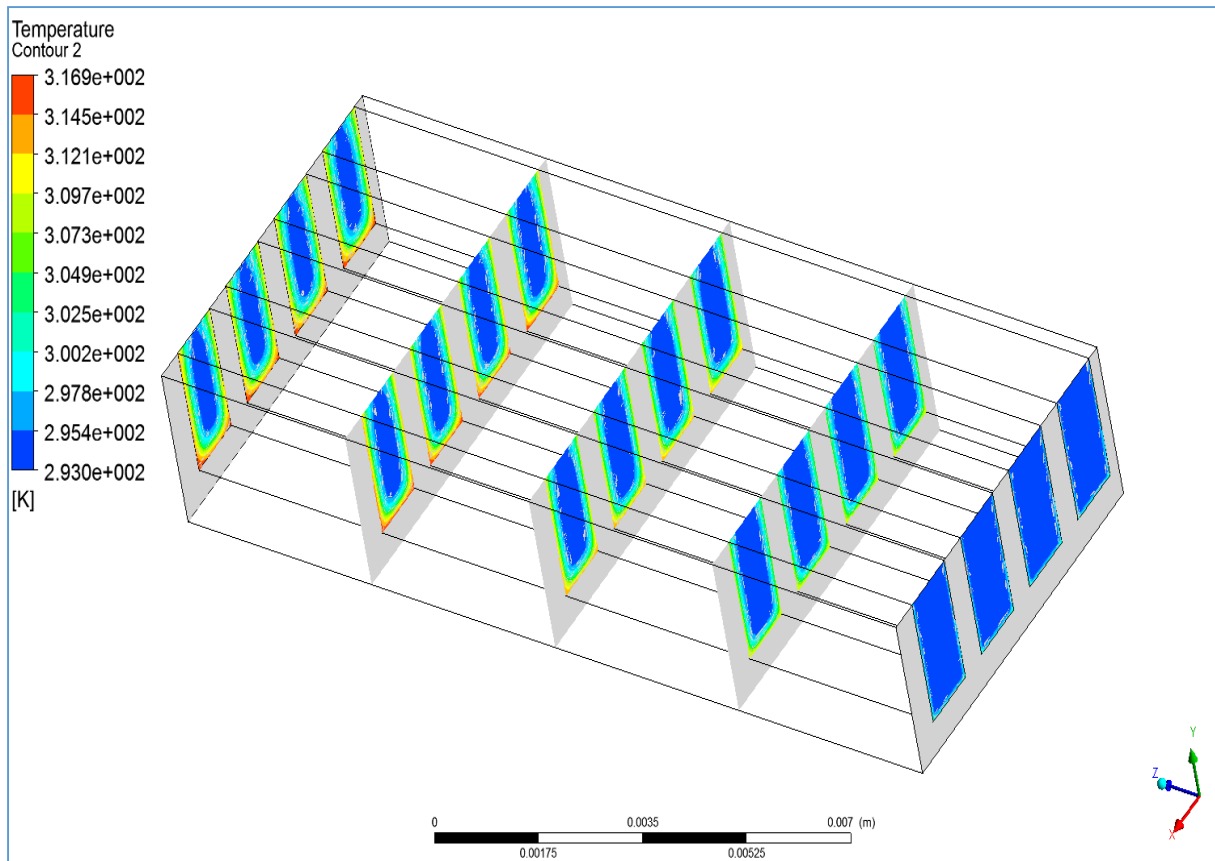


Figure V.6 : Distribution de la température pour le nano-fluide CuO-eau dans les sections du canal pour $Re=200$

V.4.2 Résultats de la distribution du contour des vitesses :

Le nano-fluide utilisé est l'argent + eau (Ag - eau), avec une fraction volumique $\phi=0.02$ et pour nombre de Reynolds $Re=200$

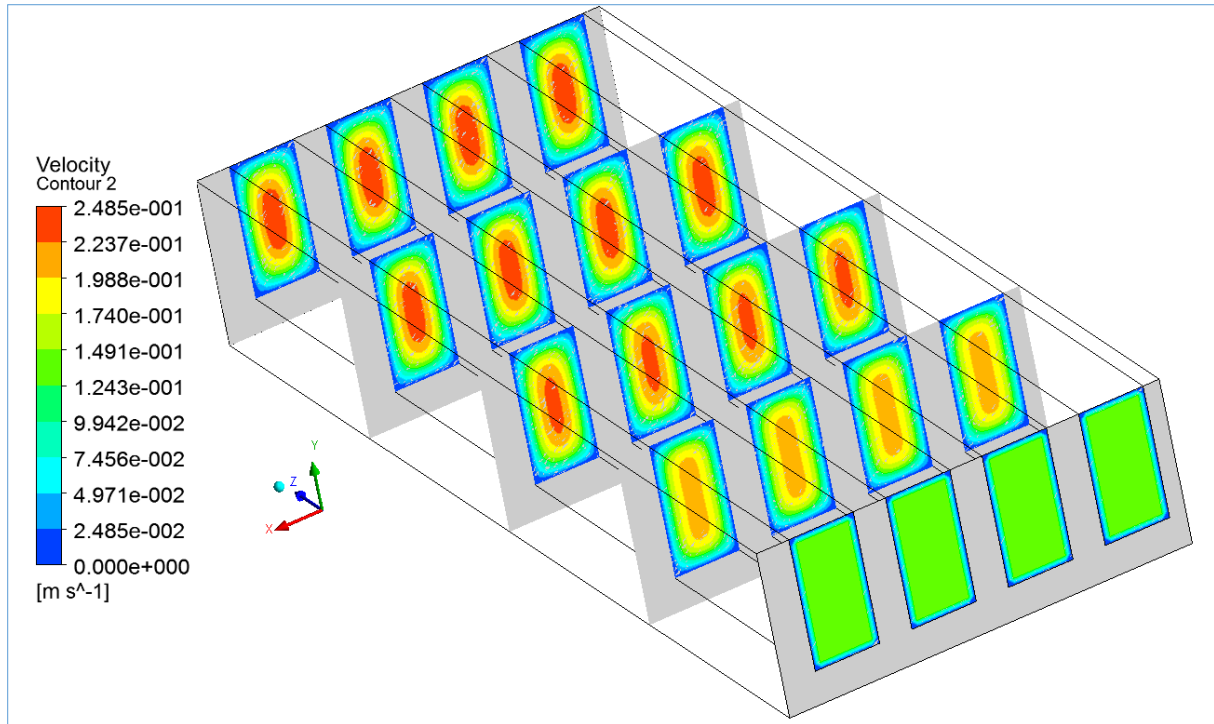


Figure V.7 : Distribution du contour de la vitesse pour le nano-fluide Ag - eau dans les sections avec une fraction volumique =0.02 et pour nombre de Reynolds $Re=200$

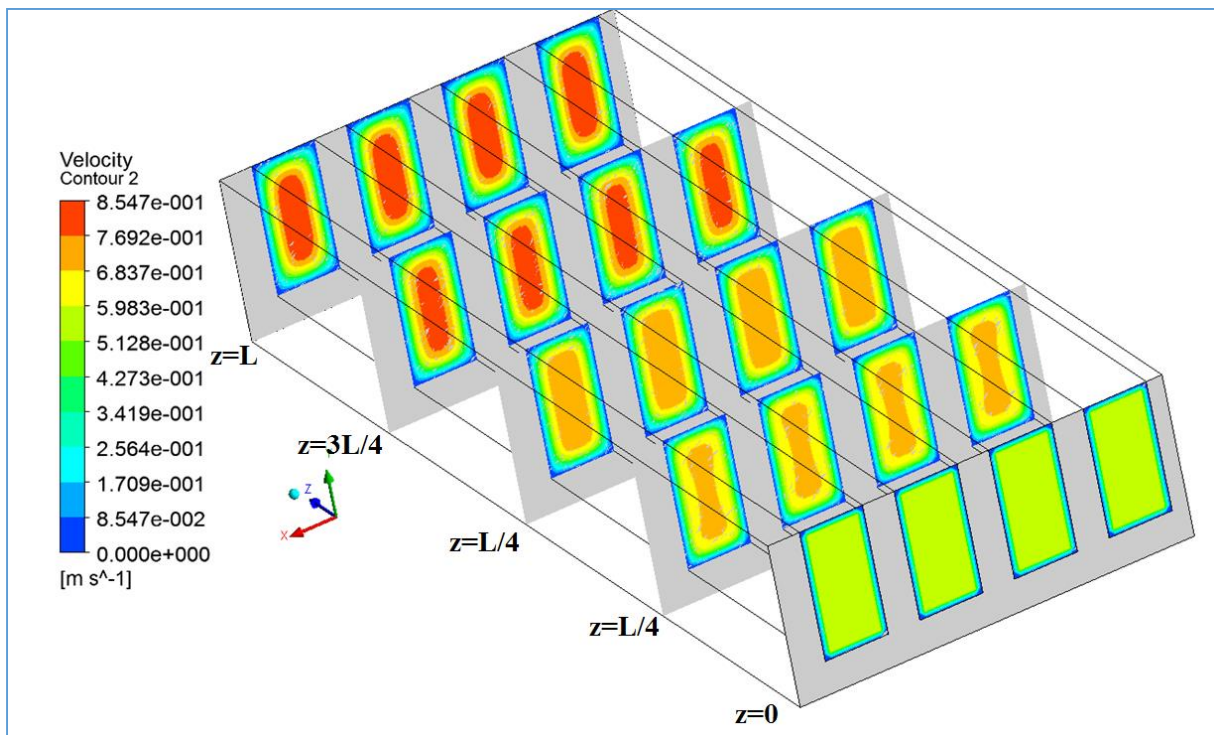


Figure V.8 : Distribution du contour de la vitesse pour le nano-fluide Ag - eau dans les sections avec une fraction volumique =0.02 et pour nombre de Reynolds $Re=800$

V.4.3. Variation du coefficient de transfert thermique moyen en fonction des nano-fluides (CuO-eau, TiO2-eau et Ag –eau) pour différents valeurs de Reynolds :

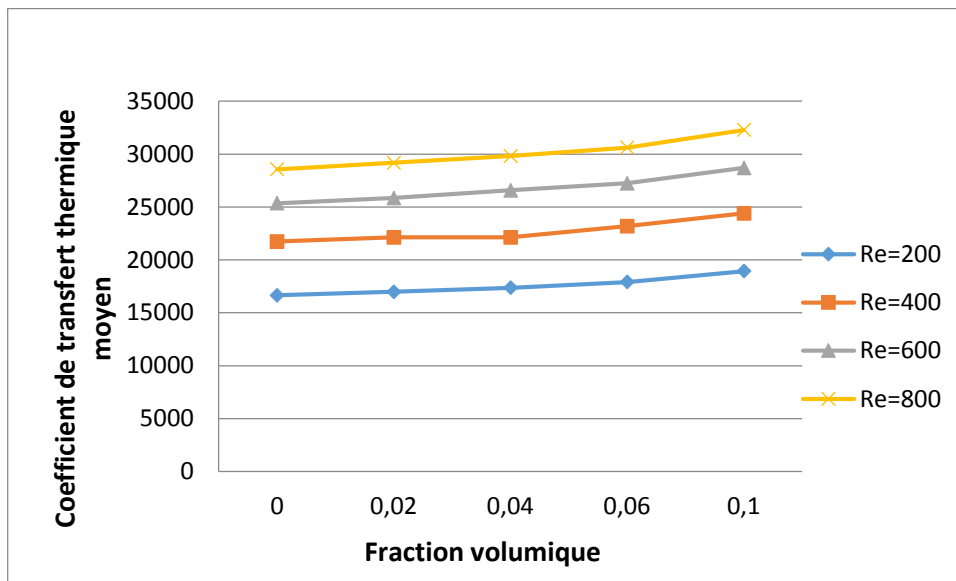


Figure V.9 : Variation du coefficient de transfert thermique moyen en fonction des nano-fluides (CuO-eau, TiO2-eau et Ag –eau) pour différentes valeurs de Reynolds.

V.4.4. Nombre de Nusselt moyen :

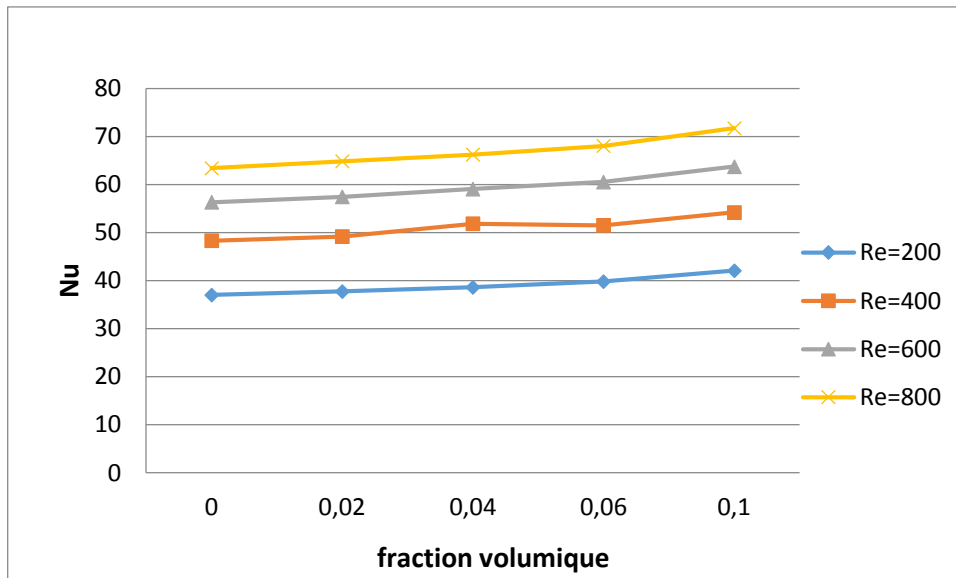


Figure V.10 : Variation du nombre de Nusselt moyen en fonction des nano-fluides (CuO-eau, TiO2-eau et Ag –eau) pour différentes valeurs de Reynolds.

Conclusion

Nous avons montré un ensemble de résultats numérique et graphique de notre étude obtenus par le logiciel de la simulation numérique ANSYS WORKBENCH, version 2019 qui permettent d'en exprimer de toutes parts (thermiquement et dynamiquement), le problème que nous étudions est de la convection dans des micro canaux placés verticalement et nous illustrons les résultats tels que la distribution de température et profil de vitesse, nombre de Nusselt en fonction du nombre de Reynolds ainsi en fonction des fractions volumiques des nano fluides .

*Conclusion
générale*

Conclusion Générale

Dans ce travail de mémoire nous avons mené une étude numérique en vue de modérer l'effet du transfert de chaleur convective dans des microcanaux placés verticalement. Le calcul numérique, est mené en 3 dimensions.

Le problème a été abordé selon une approche numérique, basée sur la méthode des volumes finis en utilisant un logiciel CFD (ANSYS Workbench version 2019),

Cette étude a été décomposée en cinq chapitres, dont les principales conclusions sont relances ci-dessous :

- ✓ La première partie présente une analyse bibliographique dans ce domaine de recherche qui est le refroidissement par les nano-fluides.
- ✓ En se reposant dans la partie suivante avec une brève description de la modélisation thermo-physique des nano fluides.
- ✓ En se reposant ensuite dans cette étape, la modélisation mathématique de convection dans les micros canaux incline et trouve une présentation des équations d'écoulements des nano-fluides, ainsi que les conditions ou limite qui applique sur cette opération.
- ✓ Après la création de la géométrie, maillage et condition aux limites par le logiciel ANSYS Workbench, on a terminé par les procédés de calcul, les résultats graphiques de la simulation sont présentés pour différentes fraction volumiques et nano fluides.
- ✓ L'étude a consisté à faire varier le type le nano-fluide dans un premier cas, et de voir l'influence de ces nano-fluides sur les champs de température et contours de vitesses
- ✓ En deuxième cas on fait varier les nano fluides (CuO-eau, TiO₂-eau et Ag-eau) et de voir l'influence de ces paramètres sur le nombre de Nusselt moyen et le coefficient d'échange thermique.
- ✓ On peut conclure enfin l'augmentation des échanges thermique doit être lorsque l'augmentation de la conductivité thermique du nano-fluide. Les résultats obtenus montrent que l'augmentation de la conductivité thermique du nano-fluide donne une amélioration dans le refroidissement des micro-canaux (la température et la vitesse), et l'augmentation de nombre de Reynolds (qui entraîne l'augmentation du transfert de chaleur) mène à l'évolution de nombre de Nusselt moyen (qui caractérise le flux de chaleur transféré au sein du canal) et variation du coefficient de transfert thermique moyen.

Références bibliographiques

- [1] Mansour Tawk ,Yvan Avenas, Afef Kedous-Lebouc et Jean Chevalet, Etude d'un système de refroidissement de composants électroniques de puissance par métal liquide, article, journal ASME, 2010.
- [2] <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/innovationth10/nanotechnologies-pour-l-energie-l-environnement-et-la-sante-42514210/nanofluides-pour-les-applications-thermiques-nm5115/conclusion-nm5115niv10007.html> ,site WEB consulté le 20/03/2020
- [3] GLADES Bachir, Contribution à l'étude de la convection naturelle dans les nano-fluides en configuration de Rayleigh-Bénard, Thèse en vue de l'obtention du doctorat de l'université de Toulouse, 2010.
- [4] CHAREF KHOUDJA Nabila, Etude numérique des écoulements dans les microcanaux, Mémoire de magistère en physique dans l'université de Batna, 2010.
- [5] A.Belhadje et al, Etude thermo-énergétique de la convection forcée dans les microcanaux avec un changement périodique de la section transversale, Article, Université de Abou Bekr Belkaid Tlemcen, Algérie, 2014.
- [6] LEBBIHI Saci, Refroidissement par convection naturelle d'une source de chaleur localisée au fond d'une enceinte remplie de nano-fluide, Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de master de l'université de Biskra, 2014.
- [7] SALHI Hicham, Etude numérique de la convection naturelle dans les enceintes : nano-fluide, Thèse pour l'obtention du diplôme de doctorat de l'université de Batna, 2015.
- [8] A.Bouhelal et al, Simulation de la convection naturelle autour d'une source de chaleur localisée au fond d'une enceinte remplie de nano-fluide, Article, Université de Biskra, Algérie, 2016.
- [9] TALBI Elnadhir, Etude numérique de la convection autour des composants électroniques montés entre deux plaques planes verticales en présence d'un nano-fluide, Mémoire en vue de l'obtention de diplôme de master de l'université de Biskra, 2016.
- [10] E.Belahmadi, R.Bessaih, Etude numérique de la convection mixte d'un canal vertical rempli d'un nano-fluide, Article, Université des frères Mentouri- Constantine, Algérie, 2016.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- [11] KROUMA Saadia, Influence de la géométrie des nanoparticules dans un nano-fluide sur le transfert thermique, Mémoire de master de l'université de Biskra, 2014.
- [12] ABDEDDAIM Amel, Gestion des échanges thermiques des composants électroniques, Mémoire de master de l'université de Biskra, 2019.
- [13] CHAREF-KHOUDJA Nabila et al, Etude numérique des écoulements dans un microcanal rectangulaire, Article, Université Hadj Lakhdar, Batna, Algérie, 2019.
- [14] Sayantan Mukherjee, Somjit Paria, Preparation and stability of Nano-fluids- A review, Article, KIIT University, Odisha, India, 2013.
- [15] MAOUASSI Ammar, Intensification des échanges de chaleur par l'utilisation des nano fluides, Mémoire de magistère de l'université M'Hamed Bougara Boumerdes, 2012.
- [16] KHENTOUL Moussa, Etude numérique de la convection mixte dans un canal horizontal contenant des ailettes, Thèse de doctorat de l'université des frères Mentouri Constantine, 2016.
- [17] Adjim Mohammed, modélisation TLM du transfert thermique dans les microcanaux, thèse de doctorat d'état en mécanique des fluides dans l'université Abou Beker Belkaid de Tlemcen, 2007.

Résumé

Cette étude présente un calcul de la simulation numérique du refroidissement par convection dans un microcanal placé verticalement, tridimensionnelle dans le but de comparer l'effet du changement le type des nanoparticules dans les nano-fluides ((eau-CuO),(eau-TiO₂),(eau-Ag) pour ($\phi = 0.02$) sur la distribution des vitesses et de température, ainsi une étude comparative des trois nano-fluides ((eau-CuO),(eau-TiO₂),(eau-Ag)) sur la variation du nombre de Nusselt moyen et du coefficient de transfert thermique moyen en fonction du nombre de Reynolds, pour cette étude on a utilisé un logiciel de simulation numérique ANSYS Workbench (version 2019), dont les résultats obtenus ont montré que l'augmentation de la conductivité thermique du nano-fluide provoque une amélioration de l'échange thermique dans le Processus du refroidissement par convection.

ملخص

تقدم هذه الدراسة حساباً للمحاكاة العددية للتبريد بالحمل الحراري في قناة صغيرة ثلاثية الأبعاد موضوعة رأسيًا من أجل مقارنة تأثير تغيير نوع الجسيمات النانوية في السوائل النانوية (ماء - Ag), (ماء - CuO), (ماء - TiO₂) ل ($\phi=0.02$) على توزيع السرعات و درجة الحرارة, و بالتالي القيام بمقارنة بين السوائل النانوية الثلاثة (ماء - Ag), (ماء - CuO), (ماء - TiO₂) على التباين في رقم نيسالت المتوسط ومعامل انتقال الحرارة بدلالة رقم رينولدز في هذه الدراسة استخدمنا برنامج المحاكاة الرقمية Ansys Workbench (اصدار 2019) و التي أظهرت نتائجها ان الزيادة في التوصيل الحراري للسائل النانوي يسبب تحسنا في التبادل الحراري في عملية التبريد بالحمل الحراري.

Abstract

This study presents a computation of the numerical simulation of convection cooling in a vertically placed, three-dimensional microchannel in order to compare the effect of changing the type of nanoparticles in nanofluids ((water-CuO), (water-TiO₂), (water-Ag) for ($\phi = 0.02$) on the distribution of velocities and temperature, thus a comparative study of the three nanofluids ((water-CuO), (water-TiO₂), (water-Ag)) on the variation of mean Nusselt number and the mean heat transfer coefficient as a function of the Reynolds number, for this study we used an ANSYS Workbench numerical simulation software (version 2019), the results of which showed that the increase in thermal conductivity nanofluid causes an improvement in heat exchange in the process of convection cooling.