



Université Mohamed Khider de  
Biskra Faculté 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 :

**KALFALI Mahmoud**

Le :

## Etude de la convection thermique dans des cavités par l'utilisation des nano- fluides hybrides

---

### Jury :

<b>Mr. GUERIRA Belhi</b>	MCA	Université de Biskra	Président
<b>Mr. BELGHAR Nouredine</b>	Pr	Université de Biskra	Rapporteur
<b>Mr. MOUMMI Nouredine</b>	Pr	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2020 - 2021

---

# *Dédicace*

Citation dit:

{ العائلة أولا ثم المقربون قلبا لا دما و أصحاب المواقف لا سنين المعرفة }

Je dédie ce modeste travail à :

Ce qui aime et apprécie son soutien continu tout au long de ma vie et mon étude.

Qui était mon amie et mon collègue de vie, mon très cher père ;

À la femme le symbole de l'amour, qui m'est la plus noble et la plus chers du monde, pour leur soutien moral et l'encouragement dans toute ma vie. Ma très chère et douce mère.

Ma très chère soeur Wassila sa fille Amani, sans oublier ma petite soeur Nadjla, mon très cher frère A. El haffide.

Je n'oublierai pas de citer mes collègues et amis avec qui j'ai toujours vécu les plus beaux moments:

Meilleur ami du monde Djamel.

Plus cher est Haythem, qui était mon ami dans une étude qui a partagé avec nous les plus beaux moments de l'université, ainsi que Hani Seif El-Islam.

Je mentionne spécifiquement Salah et Walid, El Khansa, Abdel wahab et Lazhari. Parce que je les aime.

Le meilleur photographe Wail.

*Mahmoud. K*

---

## 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. GUERIRA Belhí** et **Mr. MOUMMI Noureddine** pour avoir accepté d'examiner ce travail et participer au jury. J'exprime ma sincère faculté st pour son aide. Enfin, je veux remercier toute personne ayant aidé de près ou loin pour la réalisation de ce travail.*

*Je tiens à remercier à la fois le technicien en charge du laboratoire de génie mécanique, **trira Boubacar** et doctorant **Momen Samí***

*Saleh.*

GRAND MERCI À TOUS

## Table de matières

<b>Dédicace</b>	i
<b>Remerciements</b>	ii
<b>Table de matières</b>	iii
<b>Liste des tableaux</b>	vi
<b>Liste des figures</b>	vii
<b>Nomenclature</b>	x
<b>Introduction générale</b>	1

### Chapitre I : Revue bibliographique

I.1. Introduction	3
I.2. Synthèse bibliographique	4
I.3. Conclusion	13

### Chapitre II : Généralité sur les techniques d'amélioration le transfert thermique par les nano fluides

II.1.Introduction	15
II.2.Généralités sur Nano fluides hybride	15
II.2.1. Les Nano-Fluides	15
II.2.2. Nano-fluide hybride	16
II.2.3. Les applications des nano fluides hybride	18
II.2.4. Synthèse de nanoparticules hybrides	19
II.2.4.1. Synthèse de $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /MWCN	19
II.2.4.2. Synthèse de la poudre nano-composite Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Cu	19
II.2.4.3. Synthèse de GO-Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	20
II.2.5. Méthodes de préparation des nano fluides hybrides	20
II.2.5.1. Méthode en une seule étape	22
II.2.5.2. Méthode en deux étapes	22
II.3.Généralités sur la magnétohydrodynamique	23
II.3.1. Définition de la magnétohydrodynamique	24
II.3.2. Modèle mathématique	25
II.3.2.1. Loi de la force de Lorentz	26
II.3.2.2. Les équations de Maxwell	26
II.3.2.3. L'équation de Navier-Stokes	26

<b>II.3.2.4. La loi d'Ohm</b>	27
<b>II.4. Généralité sur le transfert de chaleur</b>	28
<b>II.4.1. Transfert de chaleur par conduction</b>	28
<b>II.4.2. Transfert de chaleur par rayonnement</b>	29
<b>II.4.3. Transfert de chaleur par convection</b>	30
<b>II.4.4. Les nombres sans dimension</b>	30
<b>II.4.4.1. Nombre de Reynolds</b>	30
<b>II.4.4.2. Nombre de Prandtl</b>	31
<b>II.4.4.3. Nombre de Nusselt</b>	31
<b>II.4.4.4. Nombre de Grashof</b>	31
<b>II.4.4.5. Nombre de Rayleigh</b>	31
<b>II.4.4.6. Nombre de Hartmann</b>	32
<b>II.4.5. Techniques d'Amélioration le transfert de chaleur</b>	32
<b>II.5. Conclusion</b>	34

### **Chapitre III : Modélisation Mathématique et propriété thermo physique**

<b>III.1. Introduction</b>	36
<b>III.2. Equations générales en régime laminaire</b>	36
<b>III.2.1. Equation de continuité</b>	36
<b>III.2.2. Equation de quantité de mouvement</b>	37
<b>III.2.3. Equation de conservation d'énergie</b>	37
<b>III.3. La géométrie du problème étudié</b>	38
<b>III.3.1. Hypothèses simplificatrices</b>	38
<b>III.4. Equations du problème</b>	39
<b>III.5. Les propriétés thermo physiques des nano fluides hybrides</b>	40
<b>III.5.1. la masse volumique</b>	41
<b>III.5.2. La fraction volumique</b>	41
<b>III.5.3. la capacité calorifique</b>	42
<b>III.5.4. La conductivité thermique</b>	42
<b>III.5.5. Le Coefficient d'expansion volumique</b>	43
<b>III.5.6. La Viscosité dynamique</b>	43
<b>III.6. Conclusion</b>	43

## Chapitre IV : Formulation Numérique

<b>IV.1. Introduction</b>	45
<b>IV.2. Procédure de la simulation</b>	45
<b>IV.2.1. Logiciel ANSYS Workbench</b>	45
<b>IV.2.2. Menu principal du logiciel d'ANSYS Workbench</b>	42
<b>IV.2.3. Création de la géométrie</b>	47
<b>IV.2.4. Le maillage</b>	51
<b>IV.2.5. Configuration</b>	53
<b>IV.3. Conclusion</b>	56

## Chapitre V : Résultats et discussions

<b>V.1. Introduction</b>	58
<b>V.2. Résultats et interprétation</b>	58
<b>V.3. La convergence</b>	59
<b>V.4. Interprétation des résultats de la vitesse</b>	60
<b>V.4.1. Effet de la fraction volumique des nanoparticules (<math>\phi</math>)</b>	62
<b>V.5. Interprétation des résultats de la température</b>	65
<b>V.6. Effet de champ magnétique</b>	67
<b>V.7. Nombre de Nusselt</b>	70
<b>V.8. Nombre de Nusselt moyen</b>	70
<b>V.9. Conclusion</b>	71
<b>Conclusion générale</b>	73
<b>Référence</b>	

## Liste des Tableau

### Chapitre III : Modélisation Mathématique et propriété thermo physique

**Tableau III.1** : Les propriétés thermo physique de nanoparticules et fluide de base. 41

### Chapitre V : Résultats et discussions

**Tableau V.1** : Propriétés thermo physiques pour le nano fluide. 59

# Liste des Figures

## Chapitre I : Revue bibliographique

<b>Figure I.1</b> : Cavité étudiée par Saha et al [4].	3
<b>Figure I.2</b> : Schéma de la cavité sous champ magnétique, <b>Kasaeipoor et al.</b> [5]	4
<b>Figure I.3</b> : Schéma et conditions aux limites pour l'étude d' <b>Ismael et al.</b> [6]	5
<b>Figure I.4</b> : Géométrie du problème étudiée par <b>Eiyad Abu-Nada et al</b> [7]	5
<b>Figure I.5</b> : Géométrie considérée par <b>Bakar et al.</b> [8]	6
<b>Figure I.6</b> : Géométrie de l'enceinte étudiée qu' <b>Ahmed Kadhim Hussein et all.</b> [9]	7
<b>Figure I.7</b> : Géométrie du problème étudiée par <b>KADJA et al.</b> [10]	7
<b>Figure I.8</b> : Géométrie initiale des particules solides dans une cavité carrée à ailettes <b>Abdelraheem M. Aly et all.</b> [11]	8
<b>Figure I.9</b> : Schémas de l'enceinte carrée inclinée étudiée par <b>Khanafer et Chamkha.</b> [12]	9
<b>Figure I.10</b> : Géométrie des travaux actuels <b>M. Molana et all.</b> [13]	9
<b>Figure I.11</b> : Modèle physique et système de coordonnées. <b>A.S. Dogonchi et all.</b> [14]	10
<b>Figure I.12</b> : Géométrie étudiée par <b>Sarris et al.</b> [15]	11
<b>Figure I.13</b> : Modèle physique étudiée par <b>Qi et al.</b> [16]	11
<b>Figure I.14</b> : Problème physique considéré par <b>Seif-Eddine Ouyahia et al.</b> [17]	11
<b>Figure I.15</b> : Domaine physique étudiée par <b>Farid Berrahil et al.</b> [18]	12
<b>Figure I.16</b> : Géométrie du problème dans l'étude de <b>Munshi et al.</b> [19]	12
<b>Figure I.17</b> : Géométrie du problème dans l'étude de <b>Darabi et al.</b> [20]	13

## Chapitre II : Généralité sur les techniques d'amélioration le transfert thermique par les nano fluides

<b>Figure II.1</b> : illustration microscopique des nano-fluides électronique : a) éthylène glycol + cuivre 0.5% ; b) eau +nanotube ; c) eau + alumine ; d) eau + or à 2nm. [31]	17
<b>Figure II.2</b> : Méthodes de production descendantes et ascendantes pour fabriquer différents types de nanostructures. [34]	21
<b>Figure II.3</b> : Distribution différente des particules dans le fluide de base. (A) avant la formation des nanoparticules, (B) après la formation des nanoparticules. [35]	21
<b>Figure II.4</b> : Images optiques des nano fluides hybrides ACG/EG à différentes concentrations (a) 0,02 %, (b) 0,04 % et (c) 0,06 % [40].	23
<b>Figure II.5</b> : Courant induit dans un fluide conducteur en présence d'un champ magnétique. [43]	24



<b>Figure II.6 :</b> (a et b) Effet du champ magnétique sur l'écoulement du fluide conducteur ; Loi de la main droite. (Ligne bleue : champ magnétique, ligne mauve : courant, ligne verte : mouvement). [43]	25
<b>Figure II.7 :</b> le mouvement en présence d'un champ magnétique. [43]	25
<b>Figure II.8 :</b> Répulsion stérique et répulsion électrostatique. [44]	27
<b>Figure II.9 :</b> Structure d'une onde électromagnétique. [45]	27
<b>Figure II.10 :</b> Un schéma microscopique de la génération de propriétés magnétiques dans les nanoparticules. [44]	27
<b>Figure II.11 :</b> Effet d'accumulation sur l'amélioration de la conductivité thermique des nano fluides. [44]	33
<b>Figure II.12 :</b> Structure d'écoulement près du mur. [44]	33

### Chapitre III : Modélisation Mathématique et propriété thermo physique

<b>Figure III.4 :</b> La géométrie en question et les conditions aux limites du phénomène.	38
--	----

### Chapitre IV : Formulation Numérique

<b>Figure IV.1 :</b> Fenêtre lancement du logiciel.	46
<b>Figure IV.2 :</b> Menu principal de Workbench.	46
<b>Figure IV.3 :</b> Création d'une analyse (projet) en mécanique de fluide.	47
<b>Figure IV.4 :</b> Création d'un projet en mécanique de fluide.	48
<b>Figure IV.5 :</b> Création du modèle de la géométrie.	48
<b>Figure IV.6 :</b> Création du modèle (plan de vue).	49
<b>Figure IV.7 :</b> Création d'esquisse.	49
<b>Figure IV.8 :</b> Création d'esquisse.	50
<b>Figure IV.9 :</b> Concept surface à partir d'esquisse.	50
<b>Figure IV.10 :</b> Définition de la zone du fluide.	51
<b>Figure IV.11:</b> le maillage utilisé.	52
<b>Figure IV.12:</b> le nombre des nœuds et les éléments.	52
<b>Figure IV.13 :</b> Volume de contrôle bidimensionnel.	53
<b>Figure IV.14 :</b> Model (laminaire, équation de l'énergie, électrique potentielle).	54
<b>Figure IV.15 :</b> Condition aux limite –Wall Coll- Température imposé.	55
<b>Figure IV.16:</b> Condition aux limite –Wall Coll- le champ mantique.	55

<b>Figure IV.17</b> : Condition aux limite –Wall Heat- Température imposé.	55
<b>Figure IV.18</b> : Création les données du nano fluide hybride.	56
<b>Chapitre V : Résultats et discussions</b>	
<b>Figure V.1</b> : Présentation de l'évolution des résidus de calcul (Convergence de la solution).	60
<b>Figure V.2</b> : Profil la vitesse U le long des sections ( $y= 0.25$ ; $y= 0.5$ , $y= 0.75$ ) pour $\phi = 0$ (Cu– Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Eau).	61
<b>Figure V.3</b> : Profil de la vitesse le long des sections de l'enceinte ( $y= 0.25$ $y= 0.5$ $y= 0.75$ ) pour $Ra=10^6$ et pour $\phi = 0, 05$ . (Cu– Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / Eau).	61
<b>Figure V.4</b> : Profil de la vitesse le long de la section médiane de l'enceinte ( $y= 0.5$ ) pour $Ra=10^5$ et $Ra =10^6$ .	62
<b>Figure V.5</b> : Les contours des lignes de courant pour $Ra=10^3$ .	63
<b>Figure V.6</b> : Les contours des lignes de courant pour $Ra=10^4$ .	63
<b>Figure V.7</b> : Les contours des lignes de courant pour $Ra=10^5$ .	64
<b>Figure V.8</b> : Les contours des lignes de courant pour $Ra=10^6$ .	64
<b>Figure V.9</b> : Profil de la température $\theta$ et la vitesse U le long de la section ( $y= 0.25$ ; $y= 0.5$ , $y= 0.75$ ) pour $\phi = 0$ (Cu– Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / Eau).	65
<b>Figure V.10</b> : Profil de la température le long de la section médiane de l'enceinte ( $y= 0.5$ ) pour différentes nombre de Rayleigh.	66
<b>Figure V.11</b> : Profil de la température le long des sections de l'enceinte ( $y= 0.25$ $y= 0.5$ $y= 0.75$ .) Pour $Ra =10^6$ et pour $\phi = 0, 05$ . (Cu– Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / Eau).	66
<b>Figure V.12</b> : Les contours des Isothermes pour $Ra=10^3$ .	68
<b>Figure V.13</b> : Les contours des Isothermes pour $Ra=10^4$ .	68
<b>Figure V.14</b> : Les contours des Isothermes pour $Ra=10^5$ .	69
<b>Figure V.15</b> : Les contours des Isothermes pour $Ra=10^3$ .	69
<b>Figure V.16</b> : Nombre de Nusselt local.	70
<b>Figure V.17</b> : Présentation du Nombre de Nusselt moyen.	71

## Nomenclatures

- *Symboles latins :*

$B$	Champ magnétique [teslas].
$C_p$	La chaleur spécifique à pression constante [J/ (kg · K)].
$D_h$	Diamètre hydraulique [m].
$E$	Champ électrique [V].
$F$	Force de Lorentz [N].
$g$	l'accélération de pesanteur [m. s <sup>-2</sup> ].
$H$	Hauteur de la cavité [m].
$j$	Densité volumétrique de courant [A/m <sup>3</sup> ].
$K$	Conductivité thermique [W/m.K].
$L$	Longueur de la cavité[m].
$p$	Pression du fluide [Pa].
$P$	Pression adimensionnelle [-].
$T_p$	Température de la paroi [°C].
$T_\infty$	Température du milieu environnant la surface [°C].
$T_a$	Température du fluide loin de la surface du solide [°C].
$T_s$	Température de surface du solide [°C].
$u, v$	Composantes de la Vitesse [m/s].
$U, V$	Composantes de la vitesse adimensionnelle [-].
$q$	Puissance volumique dissipée [W/m <sup>3</sup> ].
$x, y$	Coordonnées cartésiennes [m].
$X, Y$	Coordonnées cartésiennes adimensionnelle [-].

- ***Nombres adimensionnels***

<i>Pr</i>	Nombre de Prandtl [-]
<i>Gr</i>	Nombre de Grashof [-]
<i>Ra</i>	Nombre de Rayleigh [-]
<i>Re</i>	Nombre de Reynolds [-]
<i>Ha</i>	Nombre de Hartmann [-]

- ***Symboles grecs :***

$\alpha$	Diffusivité thermique du fluide [m <sup>2</sup> /s].
$\beta$	Coefficient d'expansion thermique [1/K].
$\Theta$	Température adimensionnelle [-].
$\mu$	Viscosité dynamique du fluide [kg/m.s].
$\nu$	Viscosité cinématique du fluide [m <sup>2</sup> /s].
$\rho$	Masse volumique [kg/m <sup>3</sup> ].
$\emptyset$	Fraction volumique solide.
$\sigma$	Conductivité électrique de fluide.

- ***Indices et exposants :***

<i>f</i>	fluide pur.
<i>nf</i>	Nanofluide.
<i>nfh</i>	Nanofluide hybride.
<i>p</i>	Nanoparticules.
<i>0</i>	indices de référence.

- ***Abréviations***

<b>MHD</b>	Magnétohydrodynamiques.
------------	-------------------------

# INTRODUCTION GÉNÉRALE

## *Introduction générale*

Le besoin d'améliorer les transferts thermiques des fluides a donné naissance au développement d'une nouvelle classe, dite les nano fluides ou nano fluides hybride. Ces derniers sont des solutions contenant des nanoparticules en suspension dans un fluide de base. Grâce à leurs propriétés qui permettent d'améliorer les performances thermiques, les nano fluides hybride peuvent être utilisés dans une multitude d'applications domestiques et industrielles. Cependant, la principale difficulté rencontrée avec les nano fluides hybride est de disperser de manière stable dans le temps les nanoparticules dans le liquide de base à cause de leur agglomération, due soit à la gravité ou à la précipitation dépendant de la température. Dans le cas de la convection thermique au sein des cavités en présence d'un nano fluides hybride, qui sont généralement bons conducteurs, à la fois thermiques et électriques, et en présence d'un champ magnétique, le nano fluide est soumis à deux forces de volume à savoir : la force de flottabilité et celle de Lorentz. Cette dernière peut induire de la magnétohydrodynamique (MHD) [1,2].

Le travail que nous développons dans ce mémoire concerne une étude numérique de la convection en présence d'un nano fluide hybride dans une cavité carré, avec effet d'un champ magnétique. La simulation numérique a été procédée pour prédire l'effet des nombres de Rayleigh, Hartmann et de la fraction volumique des nanoparticules.

Ce mémoire s'organise autour de cinq chapitres et achevé par une conclusion générale :

- ✓ Le 1<sup>er</sup> chapitre comporte une étude bibliographique concernant les principaux recherches antérieures des chercheurs.
- ✓ La 2<sup>ème</sup> chapitre est consacré des donner des notions sur les nano fluide hybride et la magnétohydrodynamique avec les techniques d'applications l'amélioration de transfert de chaleur, par des nano fluides hybride.
- ✓ Le 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> chapitre sont consacrés a permis de décrire le modèle mathématique correspondant au phénomène de la convection dans une cavité soumise à un champ magnétique constant et en présence d'un nano fluide hybride ainsi une présentation détaillée du logiciel a été illustré.
- ✓ 5<sup>ème</sup> chapitre présente en détailles les résultats de la simulation avec leurs interprétations.

CHAPITRE I:  
REVUE  
BIBLIOGRAPHIQUE

---

# Chapitre I

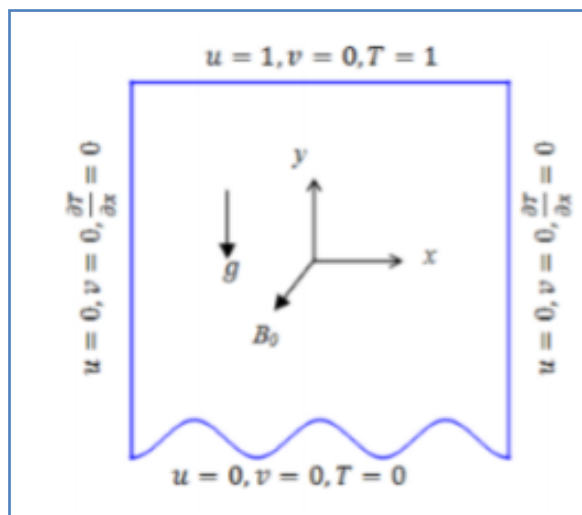
## Revue bibliographique

### I.1. Introduction

Plusieurs recherches sur le transfert de chaleur ont été menées au cours des dernières décennies, liées au développement de nouvelles techniques susceptibles d'améliorer les performances thermiques. Ainsi, l'introduction d'additifs métalliques ou non métalliques dans les fluides de base est l'une des techniques utilisées pour augmenter la conductivité thermique du mélange. Les suspensions qui en résultent peuvent être utilisées dans une multitude d'applications, telles que le refroidissement des réacteurs nucléaires et l'optimisation du transfert de chaleur dans un échangeur de chaleur [3].

Il y a aussi des études sur l'influence de plusieurs paramètres sur le transfert de chaleur et la génération d'entropie par convection en présence d'un champ magnétique à l'intérieur de cavité remplie de nano fluide, qui sont directement liées à notre étude.

### I.2. Synthèse bibliographique



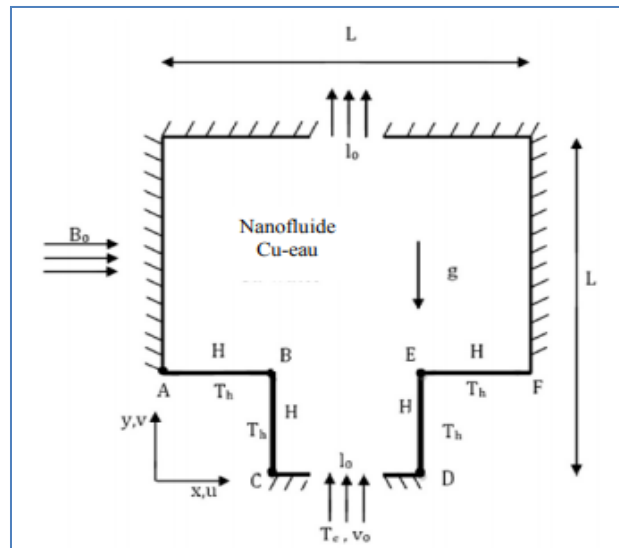
**Figure I.1** : Cavité étudiée par Saha et al [4].

*Saha et al* [4]. Ont étudié la convection mixte en présence de champ magnétique dans une cavité entraînée, Figure I 4. La surface supérieure supposée chaude se déplace avec une vitesse uniforme, alors que la surface inférieure immobile est ondulée et maintenue à une température froide. Les parois verticales de la cavité sont adiabatiques.

Un champ magnétique est appliqué dans la direction perpendiculaire à la cavité.

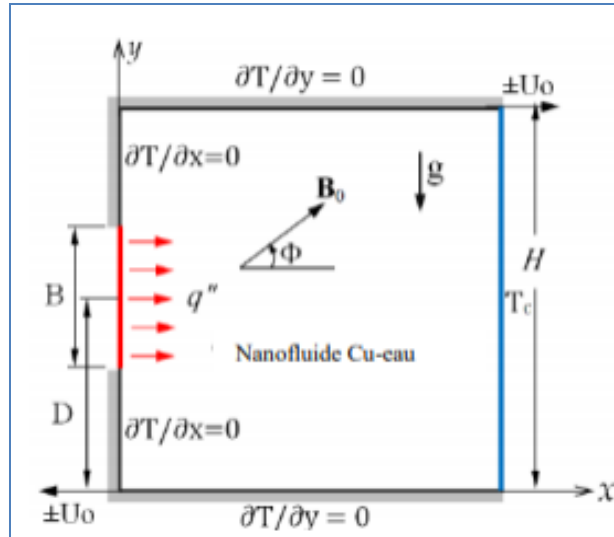


Les équations gouvernantes ont été résolues en utilisant la méthode des éléments finis. Les résultats sont présentés en termes de lignes de courant et d'isothermes pour différents nombres de Reynolds, de Grashof, de Hartmann et du nombre d'ondulations. Ils ont analysé les effets de ces paramètres sur le nombre de Nusselt local. Ce qui a permis de constater qu'un champ magnétique perpendiculaire associé à des amplitudes de surface plus grandes et des nombres de Richardson faibles favoriserait le transfert de chaleur.



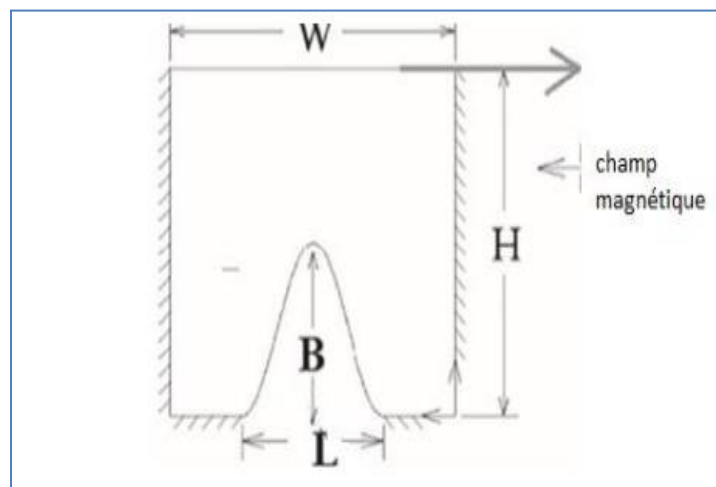
**Figure I.2 :** Schéma de la cavité sous champ magnétique, **Kasaeipoor et al.** [5]

**Kasaeipoor et al** [5]. Ont présenté les résultats d'une étude numérique sur la convection mixte du nano fluide Cu-eau dans une cavité en forme de T en présence d'un champ magnétique uniforme. Certaines sections de la paroi de fond de la cavité sont chauffées à une température constante et les autres parois sont isolées thermiquement. Le nano fluide à une température relativement basse entre par le bas de la cavité. Les effets de paramètres tels que les nombres de Reynolds  $10 \leq Re \leq 400$ , de Richardson  $0,01 \leq Ri \leq 10$ , de Hartmann  $0 \leq Ha \leq 80$ , la fraction volumique du solide  $0 \leq \phi \leq 0,06$  et le rapport d'aspect de la cavité  $0,1 \leq AR \leq 0,4$  sur l'écoulement du fluide et les performances thermiques de la cavité ont été étudiés. Les résultats indiquent que la présence de nanoparticules améliore le transfert de chaleur, sauf à  $Re = 100$  et  $Ha < 10$  ainsi que  $Re = 400$  et  $Ha < 60$ , où l'eau pure a un taux de transfert de chaleur légèrement plus élevé par rapport au nano fluide. En outre, l'influence du nano fluide sur l'augmentation du transfert de chaleur augmente à mesure que le rapport d'aspect augmente. Pour  $Ri = 0,01$  et 1, le taux de transfert de chaleur maximal est obtenu à  $AR = 0,4$ ; cependant, pour  $Ri = 10$ , le taux de transfert de chaleur maximal se produit à  $AR = 0,1$  (figure I. 2).



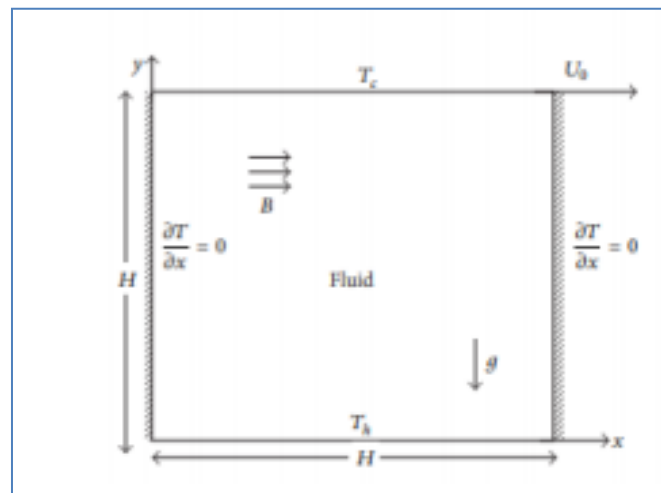
**Figure I.3 :** Schéma et conditions aux limites pour l'étude d'Ismael et al. [6]

La convection mixte dans une cavité carrée remplie de nano fluide Cu-eau et soumise à un champ magnétique incliné a été considérée par **Ismael et al** [6], Figure I.3. Les parois horizontales de la cavité sont entraînées en sens inverse. Une source de chaleur constante est insérée dans la paroi gauche, alors que la paroi verticale droite est refroidie à température uniforme. Les autres parois de la cavité sont supposées adiabatiques. Les effets des nombres de Richardson, de Hartmann, de la fraction volumique des nanoparticules, de l'angle d'inclinaison du champ magnétique, de la position et de la direction de la source de chaleur ont été analysés. Les résultats ont montré que l'orientation du champ magnétique joue un rôle important dans la convection. D'autre part, l'intensité de la convection naturelle diminue avec l'augmentation de la longueur de la source de chaleur pour toutes les valeurs des paramètres étudiés.



**Figure I.4 :** Géométrie du problème étudiée par Eiyad Abu-Nada et al [7]

Un autre travail numérique a été conduit par **Eiyad Abu-Nada et al** [7] sur la convection mixte dans une cavité entraînée par son couvercle et à parois partiellement chauffée et ondulée. Elle est soumise à un flux magnétique horizontal en présence d'un nano fluide, Figure I 6. La méthode des différences finies est utilisée pour résoudre les équations gouvernantes pour différents paramètres dont le nombre de Hartmann, le nombre de Richardson et le débit volumique des nanoparticules. Leur résultat ont mis en évidence un taux de transfert de chaleur qui décroît avec l'augmentation du nombre de Hartmann. Il peut tout aussi être amélioré ou réduit en augmentant la fraction volumique des nanoparticules.



**Figure I.5** : Géométrie considérée par **Bakar et al.** [8]

L'effet du champ magnétique sur le transfert de chaleur dans une cavité carrée bidimensionnelle est analysé numériquement par **N. A. Bakar et al** [8], Figure I.7. Les parois verticales sont isolées, la paroi supérieure est maintenue à une température froide  $T_c$ , tandis que la paroi inférieure est maintenue à une température chaude,  $T_h$  où  $T_h > T_c$ . Les équations gouvernantes sans dimension sont résolues en utilisant la méthode du volume fini. Les lignes de courant et les isothermes ainsi que la variation des nombres de Nusselt sur la paroi chaude et froide sont présentées.

C'est avec la méthode de Lattice Boltzmann (LBM) qu'**Ahmed Kadhim Hussein et al** [9], ont étudié numériquement la convection naturelle magnétohydrodynamique bidimensionnelle dans une cavité carrée remplie d'un fluide électriquement conducteur (figure I.6). Leurs résultats montrent que le nombre de Hartmann, le nombre de Rayleigh et le nombre de Prandtl influencent le débit et les caractéristiques thermiques du fluide. Ils ont aussi constaté que lorsque le nombre de Hartmann accroit, le nombre moyen de Nusselt diminue.

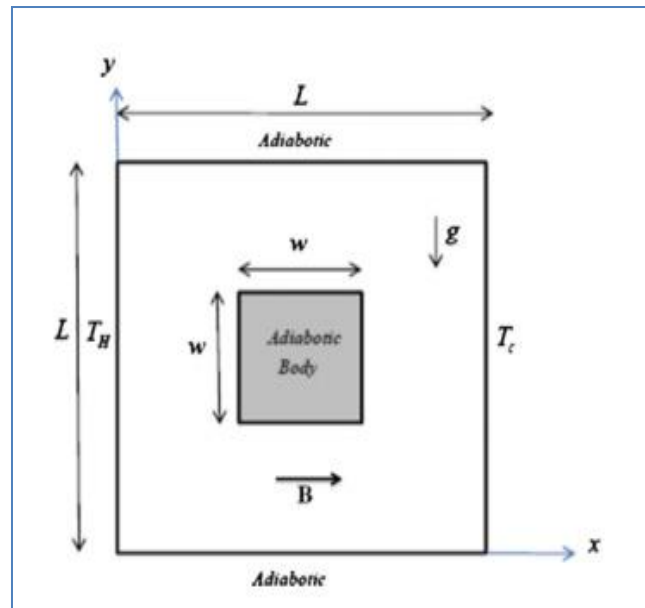


Figure I.6 : Géométrie de l'enceinte étudiée qu'Ahmed Kadhim Hussein et al. [9]

KADJA, M et al. [10] se sont intéressé au phénomène de transfert de chaleur par convection mixte dans une cavité carrée remplie par un fluide conducteur de l'électricité et soumise à un champ magnétique externe, Figure I.7. La méthode des volumes finis est utilisée pour discrétiser le système d'équations de conservation. Le couplage Pression-Vitesse est assuré. Une étude paramétrique est effectuée afin d'examiner l'effet des forces de flottabilité (nombre de Richardson Ri) et l'intensité du champ magnétique (nombre de Hartmann Ha) sur l'écoulement et le transfert de chaleur à l'intérieur de la cavité. Ils ont constaté une augmentation du taux de transfert de chaleur en augmentant le nombre de Richardson et une diminution considérable avec l'augmentation du nombre de Hartmann. Pour des valeurs du nombre de Hartmann supérieur à 50, le transfert de chaleur à l'intérieur de la cavité est purement conductif indépendamment des valeurs du nombre de Ri.

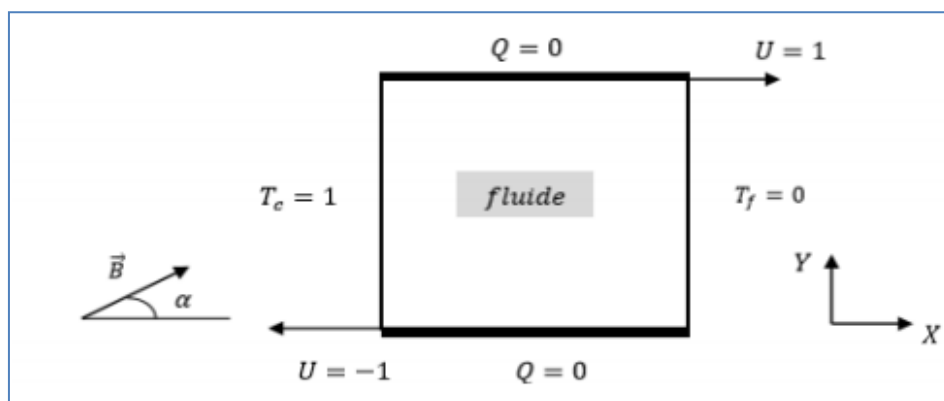
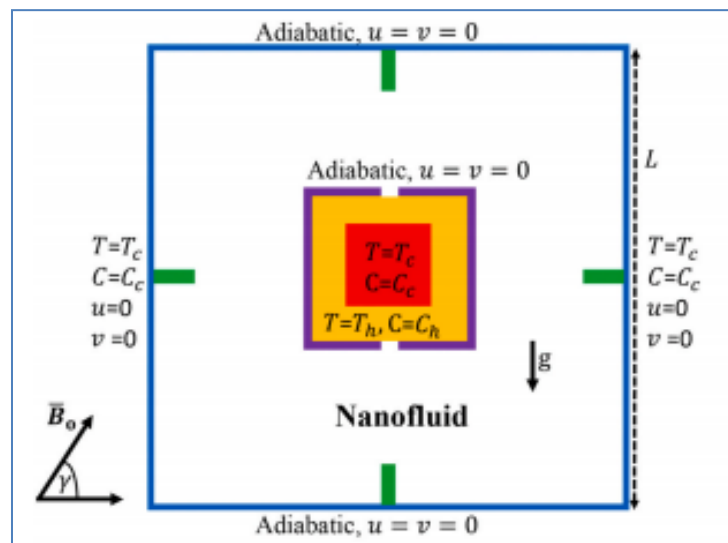


Figure I.7 : Géométrie du problème étudié par KADJA et al. [10]

**Abdelraheem M. Aly et al.** [11] La méthode ISPH est utilisée pour analyser les influences d'un champ magnétique sur la convection thermosolutive des particules solides s'étendant dans une cavité à ailettes. La cavité remplie de nano fluides contient quatre ailettes verticales et une forme carrée intégrée impliquait des particules solides sur un blocage carré. Les équations gouvernant le flux de nano fluide et la diffusion des particules solides ont été résolues conjointement par la méthode ISPH. Les parois verticales, quatre ailettes et un blocage carré intérieur sont maintenus à  $T_c$  et  $C_c$ . La forme carrée encastrée avec les portes et les parois planes sont adiabatiques. Les particules solides sont conservées à  $T_h$  et  $C_h$  pendant toute la durée de la simulation. La propagation des particules solides et les contours de l'isotherme, de l'iso concentration et des lignes de courant sous les impacts des paramètres pertinents sont examinés. Les simulations réalisées ont rappelé que les particules solides se propageant se déplacent souvent vers la zone supérieure d'une cavité. En conséquence, la nageoire sur la paroi supérieure agit comme un outil efficace pour ajuster la propagation des particules solides. Le mélange entre les particules solides et fluides est affecté par un incrément dans le paramètre Hartman. Les valeurs de Soret et de Dufour ( $Sr = 2$  et  $Du = 0,03$ ) réduisent le mélange des particules solides dans un flux nano fluide.



**Figure I.8 :** Géométrie initiale des particules solides dans une cavité carrée à ailettes

**Abdelraheem M. Aly et al.** [11]

**Khanafer et Chamkha** [12] ont étudié numériquement la convection hydromagnétique (MHD) d'un fluide générateur de chaleur dans une cavité carrée inclinée et saturée par un fluide électriquement conducteur, Figure I 9. Ils ont constaté que le taux de transfert de chaleur est réduit par l'effet du champ magnétique.

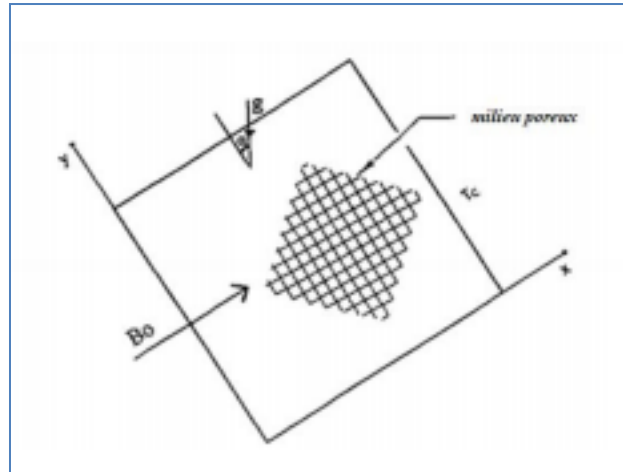


Figure I.9 : Schémas de l'enceinte carrée inclinée étudiée par **Khanafer et Chamkha**. [12]

**M. Molana et al.** [13] Une nouvelle forme de cavité remplie de nano fluides d'eau de  $Fe_3O_4$  et de milieux poreux associés à la convection naturelle sous un champ magnétique incliné constant a été étudiée. Un nouveau modèle de viscosité appelé viscosité dépendante du champ magnétique (MFD) est appliqué. Les effets des nombres de Darcy, Hartmann et Rayleigh, de l'angle d'inclinaison et du rapport d'aspect de cavité sur les caractéristiques des champs de chaleur et d'écoulement ont été examinés. Les résultats montrent que plus le taux de transfert thermique n'a été limité avec n'importe quel incrément dans le nombre de Hartmann et donc, le champ magnétique peut être utilisé comme un excellent contrôleur du transfert de chaleur. En outre, il est inféré que plus les valeurs du rapport d'aspect ne donnent toujours un plus grand nombre moyen de Nusselt, à un Ra donné.

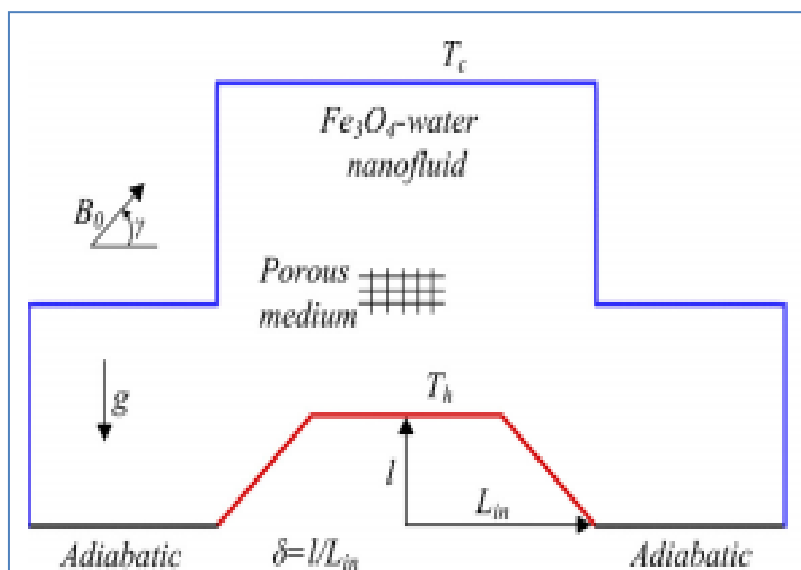
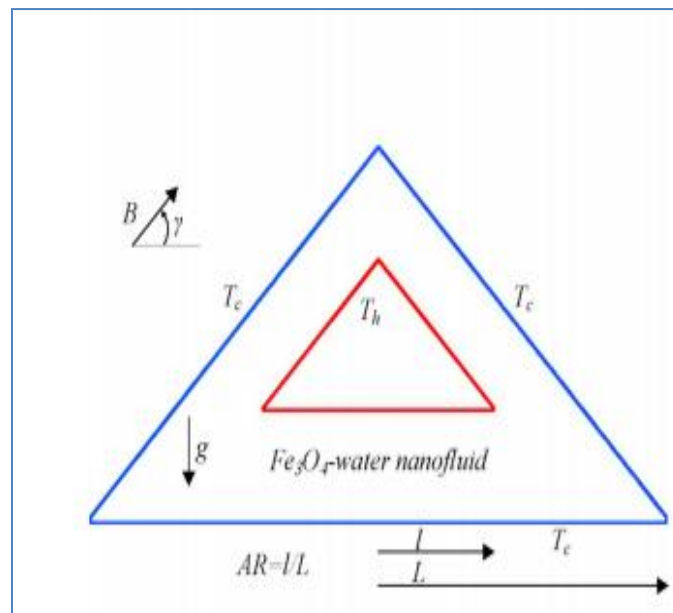


Figure I.10 : Géométrie des travaux actuels **M. Molana et al.** [13]

**A.S. Dogonchi et al** [14]. Dans la présente analyse, la convection naturelle nano fluide dans un anneau triangulaire est discutée numériquement par une technique numérique robuste basée sur CVFEM. Ce schéma numérique est essentiellement une combinaison de FVM et de FEM. La viscosité MFD est prise en compte pour simuler la viscosité de Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>- nano fluide d'eau. Effets du paramètre émergent, c.-à-d. source de chaleur Les résultats obtenus révèlent que la force du flux de convection est fonction croissante de Ra et Rd, mais c'est une fonction et RA. Les résultats illustrent davantage que le nombre moyen de Nusselt augmente avec Hs, Ra, Rd et  $\phi$  et il réduit avec un forte magnétique champ. Par conséquent, les valeurs appropriées de ces paramètres impliqués sont dans structures bien conçues, nos fluides offrent une excellente constance dans leurs plages de température prévues et de livrer des années de facilité indolore avec le moins de temps d'arrêt.



**Figure I.11** : Modèle physique et système de coordonnées. **A.S. Dogonchi et all.** [14]

**Sarris et al** [15] ont étudié la convection naturelle d'un fluide électriquement conducteur dans une cavité carrée chauffée latéralement et volumétriquement sous l'influence d'un champ magnétique, Figure I.12. Ils ont conclu qu'une augmentation du paramètre de génération de chaleur interne favoriserait le transfert de chaleur, mais aucun effet significatif du champ magnétique n'est observé en raison de la petite gamme des nombres de Hartmann considérés.

Le cas de la convection naturelle dans une cavité partiellement chauffée par le bas en présence d'un champ magnétique non uniforme est analysé par **Qi et al** [16], Figure I.13. Ils ont constaté que la vitesse diminue avec l'augmentation de l'intensité du champ magnétique.

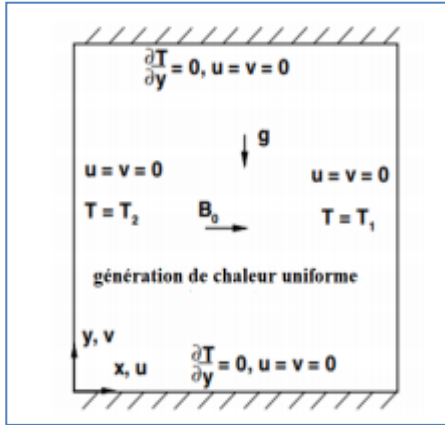


Figure I.12: Géométrie étudiée par Sarris et al. [15]

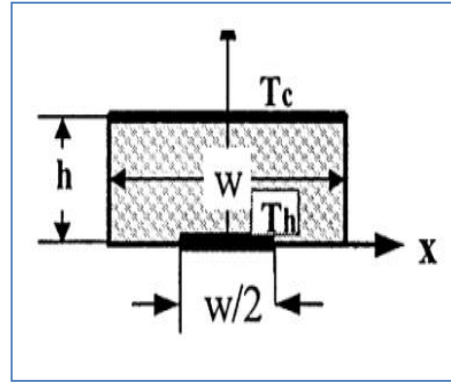


Figure I.13 : Modèle physique étudié par Qi et al. [16]

Seif-Eddine Ouyahia et al [17] ont mené une étude numérique sur la magnétohydrodynamique en régime de convection naturelle, laminaire et stationnaire au sein d'une cavité carrée remplie d'un nano fluide  $Al_2O_3$ -eau, Figure I 14. Cette cavité est soumise à un champ magnétique horizontal, constant et uniforme. Les parois verticales sont différenciellement chauffées tandis que les parois horizontales sont isolées thermiquement. L'étude porte sur les effets de paramètres physiques tels que le nombre de Rayleigh ( $10^3 \leq Ra \leq 10^6$ ), le nombre de Hartmann ( $0 \leq Ha \leq 100$ ), la fraction volumique des nanoparticules ( $0,0 \leq \phi \leq 0,1$ ) et d'un paramètre d'inclinaison par rapport à l'horizontale ( $0^\circ \leq \omega \leq 60^\circ$ ). Les résultats obtenus ont montré que les nombres de Rayleigh et de Hartmann ont un effet considérable sur les champs hydrodynamique et thermique. En outre, l'ajout des nanoparticules suscite des améliorations des performances thermiques de l'enceinte. Par ailleurs, les champs hydrodynamique et thermique dépendent fortement de l'inclinaison de la cavité.

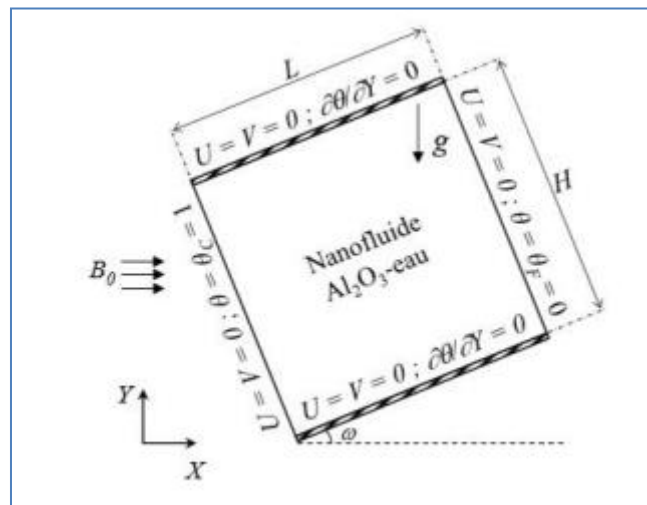
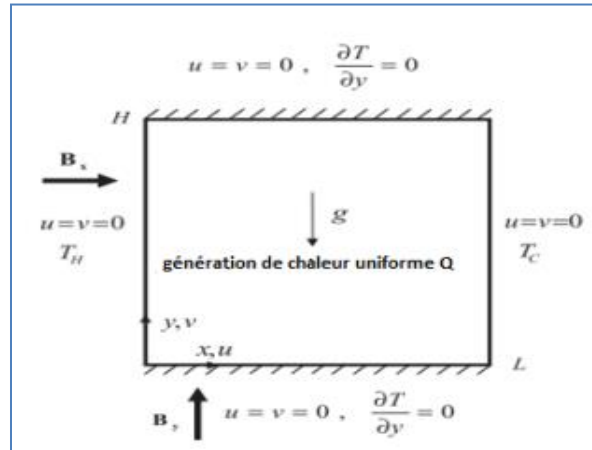


Figure I.14 : Problème physique considéré par Seif-Eddine Ouyahia et al. [17]

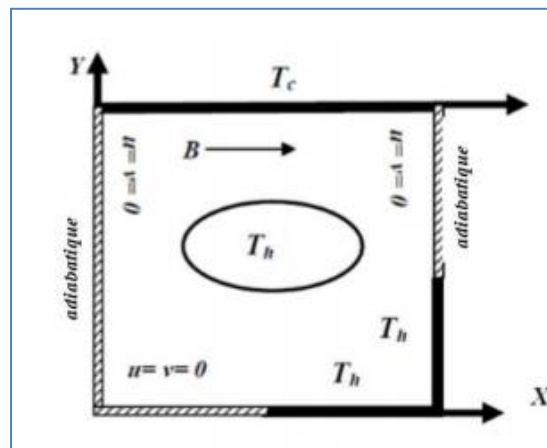


**Rashad et al** [18] ont conduit une étude numérique sur la génération d'entropie et la convection naturelle dans une cavité poreuse carrée inclinée en présence d'un champ magnétique (MHD) et en mettant l'accent sur les effets d'un dissipateur thermique figure I.15 La paroi inférieure comporte une source de chaleur uniforme alors qu'une partie de la paroi supérieure de l'enceinte est maintenue à une température froide. Les résultats ont montré que le transfert de chaleur diminue avec l'augmentation de la concentration en volume des nanoparticules ainsi qu'avec le nombre de Hartmann.



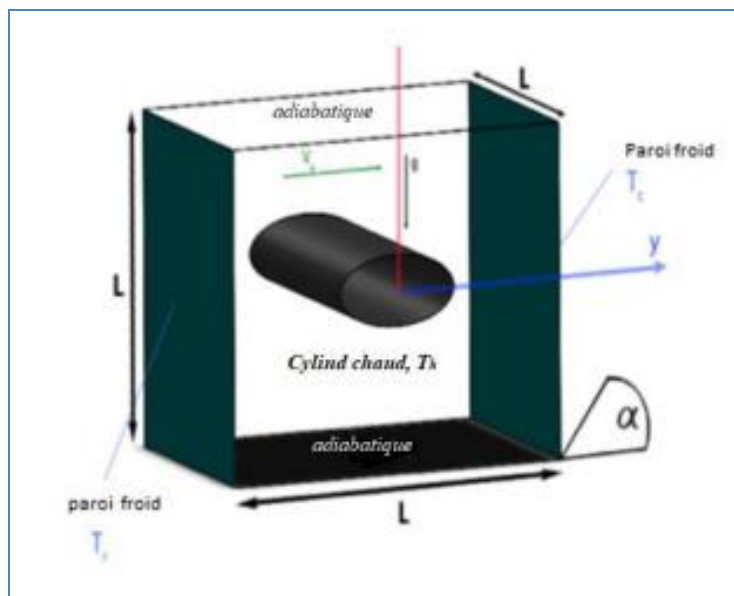
**Figure I.15** : Domaine physique étudié par **Farid Berrahil et al.** [18]

**Munshi et al** [19] de leurs côtés se sont intéressés à la magnétohydrodynamique dans une cavité carrée entraînée comprenant un bloc chauffant de forme elliptique avec l'approche de la méthode des éléments finis. L'enceinte est chauffée par des radiateurs d'angle, Figure I.16. Un champ magnétique uniforme est appliqué le long de la direction horizontale. L'étude est réalisée pour différents nombres de Grashof et de Hartmann pour  $Re = 100$  et un nombre de Prandtl  $Pr = 0,71$  correspondant à celui de l'air. Une analyse détaillée de la configuration d'écoulement montre que la convection mixte est basée à la fois sur les paramètres  $Gr$  et  $Ha$ .



**Figure I.16** : Géométrie du problème dans l'étude de **Munshi et al.** [19]

Le refroidissement d'un obstacle chaud à l'intérieur d'une cavité rectangulaire dont toutes les parois sont isolées et en présence d'un nano fluide (eau-CuO) a été examiné numériquement par **Darabi et al** [20], Figure I 24. La méthode du volume fini est utilisée pour résoudre les équations gouvernantes. Les effets de l'inertie du fluide, de l'intensité du champ magnétique, de la fraction volumique des nanoparticules et de la position de la sortie sur le taux de transfert de chaleur ont été analysés pour  $Re=1-100$ ,  $Ha=0-40$ , et  $\varphi =0-4$  %. Les résultats ont indiqué que lorsque la sortie est située au fond de la cavité, la vitesse de transfert de chaleur est maximale. De plus, une augmentation du nombre de Reynolds et de la fraction volumique des nanoparticules améliore le nombre de Nusselt moyen.



**Figure I.17** : Géométrie du problème dans l'étude de **Darabi et al.** [20]

### I.3. Conclusion

Nous avons consacré ce chapitre pour présenter des différents travaux expérimentaux et numériques disponibles dans la littérature, que nous avons exposé dans la section recherche bibliographique, ont été réalisés afin de comprendre les caractéristiques de l'écoulement, le transfert de chaleur par convection en présence des nano fluide et du champ magnétique à l'intérieur de différentes cavité.

**CHAPITRE II:**  
**GÉNÉRALITÉ SUR LES TECHNIQUES D'AMÉLIORATION LE**  
**TRANSFERT THERMIQUE PAR LES NANO FLUIDES**

# *Généralité sur les techniques d'amélioration le transfert thermique par les nano fluides*

## **II.1. Introduction**

Le transfert de chaleur est un processus d'une grande importance dans le domaine de l'industrie et des technologies. Bien qu'il se manifeste sous divers trois modes (rayonnement, conduction et convection), cette dernière est la plus répandue dans certains domaines bien spécifique tels que le refroidissement des processeurs et composants électroniques, les radiateurs et les échangeurs de chaleurs, etc. [21]

L'efficacité de tels processus est souvent limitée par les propriétés thermo physiques des fluides utilisés.

Il ressort clairement d'une étude des propriétés thermiques que le fluide de transfert de chaleur par convection comme l'eau; l'éthylène glycol et l'huile possèdent une faible conductivité thermique par rapport aux métaux solides. Compte tenu de ce qui précède, de nombreuses recherches ont été consacrées à l'amélioration des propriétés de transport thermique des fluides. Une des techniques possibles pour améliorer le transfert de chaleur consiste à ajouter des particules millimétriques ou micrométriques dans les fluides. Ces dernières années, les nano fluides, inventés par Choi [21], ont été identifiées comme un candidat idéal pour améliorer le transfert de chaleur.

Les nano fluides sont de nouveaux fluides obtenus par dispersion de nanoparticules dans un fluide de base afin d'améliorer les caractéristiques thermiques du fluide de base [22]. On a observé que le nano fluide donnait de meilleures performances que le fluide de transfert de chaleur par convection (huile, éthylène glycol et eau) [23].

Le nano fluide hybride est une composition de deux nanoparticules ou plus synthèse et dispersion dans un fluide de base. L'avantage de l'amélioration du transfert de chaleur des nano fluides hybrides est dû à son effet synergique par rapport aux nano fluides contenant une nanoparticule. On croit que le nano fluide hybride pourrait offrir de bonnes caractéristiques thermiques par rapport au fluide de base et au nano fluide contenant des nanoparticules simples [24,25]. Dans ce chapitre, nous discuterons de la définition du nano fluide hybride, de la connaissance de ses propriétés thermo physiques et de sa méthode de préparation, et nous mentionnerons des généralités sur le transfert thermique par convection.

## **II.2. Généralités sur Nano fluides hybrides**

### **II.2.1. Les Nano-Fluides**

Les nano fluides sont des suspensions colloïdales de nanoparticules solides dans un liquide. Les expériences menées récemment ont indiqué que les nano fluides ont une conductivité thermique sensiblement plus élevée que les fluides de bases. Parmi les nombreux avantages des nano fluides par rapport aux suspensions solides-liquides conventionnelles, il convient de mentionner que la surface spécifique est plus élevée, stabilité plus élevée de la suspension colloïdale, puissance de pompage inférieure requise pour atteindre un taux de transfert de chaleur équivalent. Ensuite, la réduction du colmatage des particules par rapport aux colloïdes congénitaux et un niveau de contrôle plus élevé de la thermodynamique et des propriétés de transport en faisant varier le matériau, la concentration, la taille et la forme des particules [26,27].

Bien que des tentatives aient été faites pour expliquer les raisons physiques de cette amélioration dans les nano fluides, il existe encore beaucoup d'inconvénients.

Remarquables. Il y a au moins quatre raisons pour lesquelles une théorie définitive sur les nano fluides n'existe pas toujours [28].

- Le comportement thermique est trop différent des composites solide-solides ou des suspensions solides-liquides standards.
- Le transport thermique dans les nano fluides, en plus d'être étonnamment efficace par rapport aux suspensions solides-liquides standards, dépend des variables non traditionnelles telles que la taille, la forme et la surface de la particule.
- La compréhension de la physique derrière les nano fluides nécessite une approche multidisciplinaire.
- Probablement, la difficulté la plus redoutable est liée à des problèmes multi scalaires.

En fait, les nano fluides impliquent au moins quatre échelles :

L'échelle moléculaire, la micro-échelle, la méso-échelle et la macro-échelle. La difficulté principale réside dans le fait de mettre en relation et d'optimiser l'interaction entre ces échelles.

### **II.2.2. Nano-fluide hybride**

Un matériau hybride est une combinaison de propriétés physiques et chimiques de deux ou plusieurs matériaux. Les deux nanoparticules ou plus sont dispersées dans un fluide de base

## Chapitre II : Généralité sur les techniques d'amélioration le transfert thermique par les nano fluides

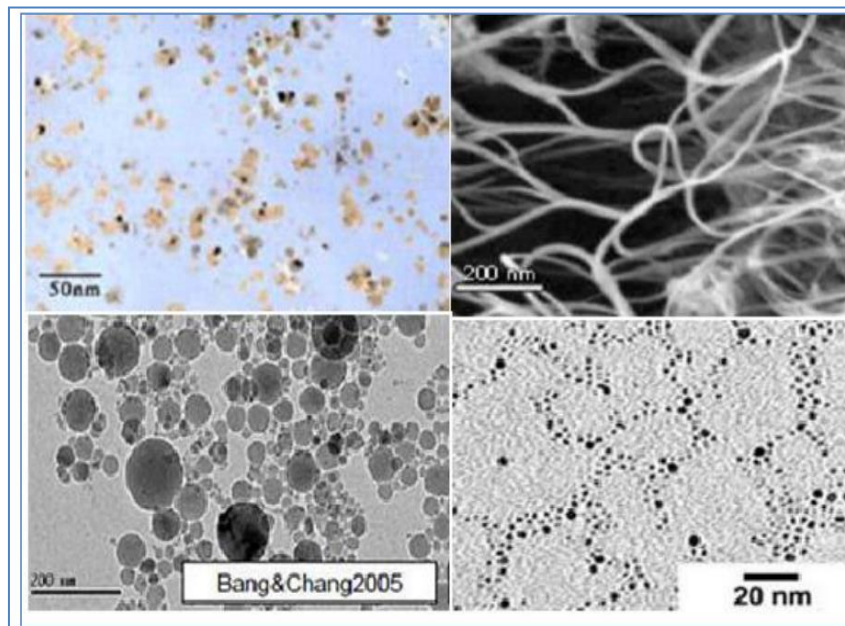
pour obtenir les propriétés souhaitées pour des applications individuelles. La fabrication de nano fluides avec deux ou plusieurs nanoparticules similaires ou différentes est populaire en tant que nano fluide hybride. Les travaux sur les nano fluides hybrides sont peu nombreux. De nombreuses études expérimentales sur les nano fluides hybrides restent encore à faire.

Le nano fluide hybride est un nouveau domaine de recherche pour les chercheurs en génie thermique pour obtenir un système de refroidissement amélioré.

Le nano fluide [29] peut être utilisé pour diverses applications différentes. Ces utilisations n'affectant pas complètement le transfert d'énergie, elles peuvent réduire le besoin de base en carburant conventionnel, en énergie électrique ou en gaz. Lisons quelques applications importantes des nano fluides

Les nano fluides hybrides peuvent remplacer les nano fluides simples puisqu'ils fournissent plus d'amélioration de transfert de chaleur en particulier dans les domaines de l'automobile, électromécanique, processus de fabrication et énergie solaire. [30]

Le nano fluide hybride est une nouvelle classe de nano fluides conçus en dispersant deux nanoparticules différentes dans un fluide de transfert de chaleur conventionnel. Les nano fluides hybrides sont des fluides potentiels qui offrent une meilleure performance de transfert de chaleur et des propriétés thermo-physiques que les fluides de transfert de chaleur par convection (huile, eau et éthylène glycol) et les nano fluides à nanoparticules simples.



**Figure II.1** : illustration microscopique des nano-fluides électronique : a) éthylène glycol + cuivre 0.5% ; b) eau +nanotube ; c) eau + alumine ; d) eau + or à 2nm. [31]

### II.2.3. Les applications des nano fluides hybride

Le nano fluide peut être utilisé pour diverses applications différentes. Ces utilisations n'affectant pas complètement le transfert d'énergie, elles peuvent réduire le besoin de base en carburant conventionnel, en énergie électrique ou en gaz. Lisons quelques applications importantes des nano fluides

#### - **Refroidissement des appareils électroniques**

Les recherches en cours sur l'électronique suggèrent que l'utilisation de nano fluides peut effectuer un transfert de chaleur supérieur. La chambre à vapeur utilise des nano fluides pour un meilleur transfert de chaleur.

#### - **Fluide de chemise-eau dans le générateur d'électricité**

La gestion de l'espace des machines est le principal problème de tout véhicule automobile. La taille du composant (refroidissement) ne peut être réduite que si nous améliorons les performances de transfert de chaleur des pièces. Le nano fluide est celui de l'option pour améliorer les performances de la pièce et développer la compacité.

#### - **Énergie solaire - système d'énergie thermique**

Pour absorber le rayonnement solaire, le fluide de travail passe à travers le système d'énergie thermique solaire. L'énergie absorbée par le fluide est envoyée à l'échangeur de chaleur à d'autres fins. L'énergie solaire absorbée par le fluide de travail est généralement transférée à l'échangeur de chaleur pour d'autres applications.

#### - **Huile de refroidissement dans le transformateur**

Le transformateur est un équipement électrique de transmission de puissance. La chaleur générée dans le transformateur est absorbée par l'huile. Si nous ajoutons des nanoparticules dans l'huile de refroidissement. Les performances du transformateur peuvent être améliorées.

Autre utilisation du nano fluide dans le domaine de l'amélioration du transfert de chaleur:

Processus de réfrigération.

Le processus de réfrigération travaille sur différents cycles thermodynamiques. Le fluide de travail dans ce processus est le réfrigérant. Les propriétés thermiques de certains réfrigérants peuvent être améliorées par l'utilisation de nanoparticules [29].

### - Refroidissement système d'énergie nucléaire

L'énorme quantité de chaleur est produite par la fission nucléaire. Il est nécessaire d'organiser un refroidissement adéquat du système. Le nano fluide est un fluide d'avance qui peut être utilisé dans un système de refroidissement nucléaire [29].

### II.2.4. Synthèse de nanoparticules hybrides

La synthèse de nanoparticules est la première étape pour obtenir un bon nano fluide hybride. Les méthodes de synthèse des différentes nanoparticules hybrides sont résumées ci-dessous.

#### II.2.4.1. Synthèse de $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/MWCNT

Le MWCNT pur a été fonctionnalisé en le traitant avec de l'acide nitrique. La suspension nitrique-MWCNT a été refléée puis agitée pendant 4h. La suspension a été ultrason fiée dans un bain d'eau à ultrasons pendant 4h à 600c. L'échantillon ci-dessus est ensuite lavé dans de l'eau distillée afin d'obtenir un pH neutre et enfin séché à 900°C pendant 24h. La poudre d'acétate d'aluminium a été dissoute dans de l'éthanol sous agitation vigoureuse à température ambiante pendant 30 min. Les MWCNT fonctionnalisés et les MWCNT purs sont ensuite ajoutés à la suspension aluminium-éthanol à température ambiante à l'aide d'un ultrason capteur puis placés sous vide (50cmHg) pendant 24h. Une solution d'ammoniac a été ajoutée lentement au mélange pour ajuster le pH au-dessus de et obtenir ainsi de fines particules de boehmite.

La solution a ensuite été transférée dans une chambre autoclave en acier inoxydable revêtue de téflon de 350 ml, où la synthèse solvo-thermale a été réalisée. La pression de 16 bars a été maintenue dans l'autoclave pour la synthèse et la solution a été conservée pendant 24h à 2000c. L'autoclave a été laissé refroidir à la température ambiante et le précipité recueilli a été lavé à fond avec de l'éthanol pour obtenir un pH neutre, puis aspiré à 600c pendant 6h. La poudre obtenue est finalement chauffée en atmosphère d'argon pendant 1h à 5000c. Le nano fluide hybride de  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/MWCNT est alors finalement obtenu en dispersant la nano poudre hybride ci-dessus dans de l'eau dés ionisée qui contient peu de gomme arabique. [32]

#### II.2.4.2. Synthèse de la poudre nano-composite Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Cu

Des nitrates solubles de cuivre (Cu (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.3H<sub>2</sub>O) et d'aluminium (Al (NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>.9H<sub>2</sub>O) ont été dissous dans l'eau. Les proportions des sels susmentionnés ont été déterminées de manière à avoir une proportion relative prédéfinie d'alumine et d'oxyde de cuivre dans le mélange de



poudre. La solution a été séchée par pulvérisation à 180 °C pour obtenir la poudre précurseur. La poudre précurseur a ensuite été chauffée à 900 °C dans l'atmosphère pendant 60 minutes pour former un mélange de poudre d'oxyde de cuivre et d'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> stable. Un four tubulaire a été utilisé pour chauffer le mélange à 400 °C pendant 1heure dans l'atmosphère d'hydrogène. L'échantillon de poudre a ensuite été placé dans un bateau d'alumine et ensuite conservé dans un tube d'alumine placé horizontalement du four qui a été chauffé par des éléments chauffants en carbure de silicium. Le CuO a été réduit préférentiellement dans l'hydrogène au cuivre métallique alors que l'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> reste inchangé. Le mélange de poudre a finalement été broyé à la bille à 400 tours par minute pendant 1 h. afin d'obtenir une poudre composite homogène Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Cu. [33]

### II.2.4.3. Synthèse de GO-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>

Des flocons d'oxyde de graphène ont été dissous dans 100 ml d'eau distillée par ultrasonication. FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O et FeCl<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O dans un rapport de 1,75 ont été mélangés avec de l'eau distillée et le mélange a été agité avec une solution d'oxyde de graphène pendant 45min. L'hydroxyde de sodium a été ajouté en goutte et un précipité noir a été obtenu. Le précipité a ensuite été lavé à l'eau distillée et a finalement été lyophilisé pendant 24h pour obtenir l'hybride GO-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> [33]. L'acide chlorhydrique et l'acide nitrique dans un rapport molaire de 1:3 ont été mélangés à la CNT à l'aide d'un agitateur magnétique pendant 72h à 60 °C. Le mélange ci-dessus a été lavé avec de l'eau distillée et de l'acétone, puis séché au four à 80 °C pendant 24h. Ce processus donne lieu à la formation de groupe carboxyle dans la surface CNT qui facilite son hybridation. Le CNT carboxyle a été dispersée dans 50 ml d'eau distillée pendant 1 heure. Par agitation magnétique, des sels de FeCl<sub>3</sub><sup>+</sup>/FeCl<sub>2</sub><sup>+</sup> dans le rapport molaire de 2 ont été ajoutés au mélange. L'hydroxyde de sodium aqueux a été additionné graduellement pour ajuster le pH à 12, puis remué pendant 30 minutes. Enfin le précipité est ensuite lavé à l'eau distillée, acétone et séché pendant 24h à 80°C. [32]

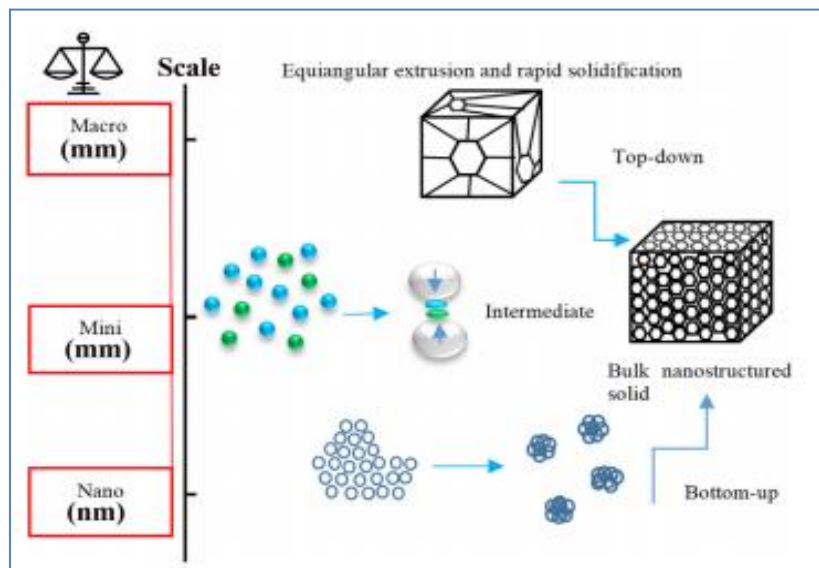


Figure II.2 : Méthodes de production descendantes et ascendantes pour fabriquer différents types de nanostructures. [34]

### II.2.5. Méthodes de préparation des nano fluides hybrides

Les nano fluides hybrides sont généralement préparés par une méthode en une ou deux étapes. La méthode en une seule étape convient à la production à petite échelle, tandis que la méthode en deux étapes est bon marché pour la production de masse.

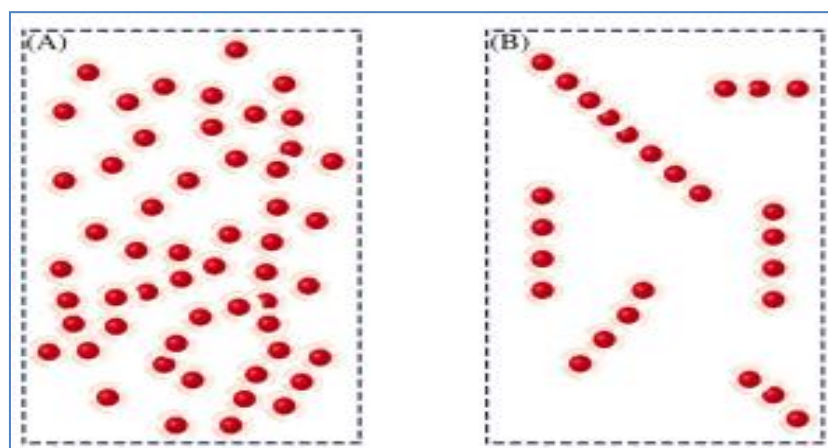


Figure II.3 : Distribution différente des particules dans le fluide de base. (A) avant la formation des nanoparticules, (B) après la formation des nanoparticules. [35]

### II.2.5.1. Méthode en une seule étape

La méthode en une seule étape PWE (évaporation de fil d'impulsion) est la méthode la plus importante de produire des nano fluides. L'appareil se compose d'un banc de condensateurs, d'une alimentation CC haute tension, d'une chambre de condensation et d'un interrupteur d'écart haute tension. Le procédé consiste à diriger l'impulsion de haute tension (300V) à travers un fil mince et à la suite du chauffage de non-équilibre dans les microsecondes le fil s'évapore dans le plasma. Le plasma est ensuite mis en contact avec du gaz inerte Ar ou N<sub>2</sub> en condensant le plasma en poudre de nano taille. Le nano fluide avec une concentration de volume donnée est ensuite versé dans une bouteille explosive contenue dans l'instrument PWE et ensuite mélangé avec la poudre de nano taille ci-dessus pour obtenir un nano fluide hybride. Ce procédé est la méthode la plus prometteuse pour la préparation de nano fluides à faible coût [36]

**Lee et al**, [36] ont indiqué que la taille des nanoparticules dépend du degré de surchauffe appliqué au fil : avec l'augmentation de la surchauffe, la taille des particules diminue. La taille des particules diminue avec l'augmentation de la pression du gaz inerte et la taille des particules diminue considérablement avec la diminution du diamètre du fil.

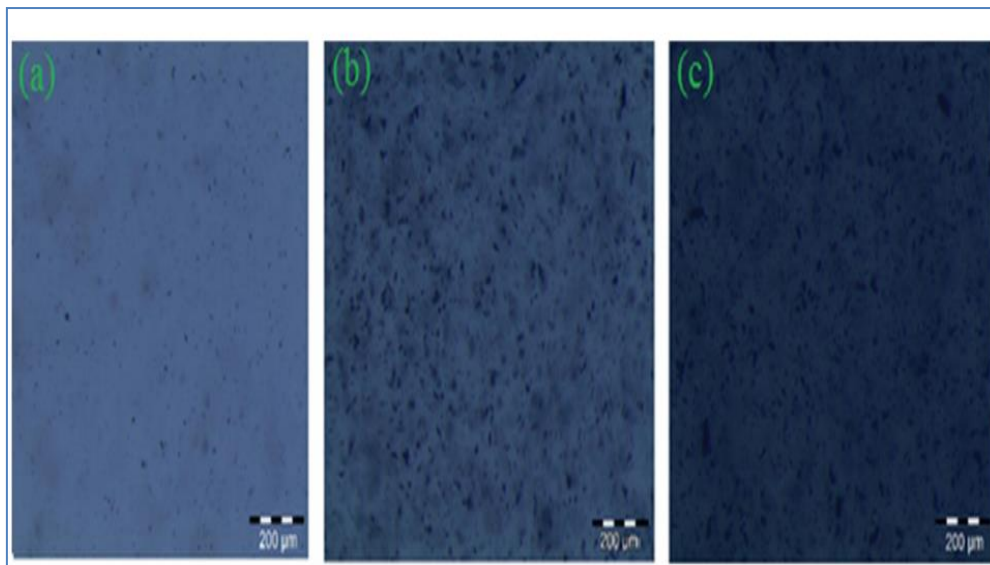
**Munkhbayar et al**, [37] ont utilisé ce processus pour préparer un nano fluide hybride de nanotube de carbone argenté/à parois multiples (Ag/MWCNT).

### II.2.5.2. Méthode en deux étapes

Dans cette méthode, la nano poudre hybride est tout d'abord produite par des procédés chimiques, physiques ou mécaniques tels que le broyage, le broyage, ainsi que le processus de gel ou la méthode en phase vapeur. Deuxièmement, la nano poudre hybride préparée est ensuite dispersée dans le fluide de base à l'aide d'un équipement de mélange de cisaillement élevé ou ultrason cation à l'aide d'un vibromasseur à ultrasons. Ce procédé est très bon marché pour la production de masse de nano fluide hybride.

**Baby et Sundara** [39] utilisé cette méthode pour produire un nano fluide hybride contenant de l'argent et de fonctionnaliser graphène. **Chopkar et al**, [39] ont utilisé une méthode en deux étapes pour préparer un nano fluide hybride d'Al<sub>2</sub>Cu et d'Ag<sub>2</sub>Al avec de l'éthylène glycol et de l'ID comme fluides de base. Les poudres composites ont été obtenues par alliage mécanique. La figure 3 montre le schéma de synthèse de CuO/HEG et de fabrication de nano fluides avec le composite. Le HEG subit un traitement acide afin d'introduire le groupe

fonctionnel carboxyle et hydroxyle sur le graphène, le graphène fonctionnalisé a été utilisé pour décorer les nanoparticules CuO.



**Figure II.4** : Images optiques des nano fluides hybrides ACG/EG à différentes concentrations (a) 0,02 %, (b) 0,04 % et (c) 0,06 % [40].

### II.3. Généralités sur la magnétohydrodynamique

La magnétohydrodynamique (M.H.D.) est une branche de la physique consacrée à l'étude des mouvements des fluides conducteurs de l'électricité en présence de champs magnétiques. Elle s'applique aux métaux liquides (mercure, métaux alcalins fondus), aux gaz faiblement ionisés et aux plasmas.

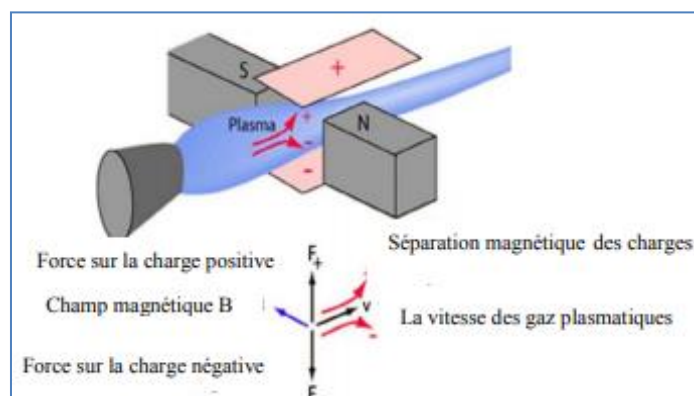
Lorsqu'un fluide conducteur se déplace dans un champ magnétique, il est le siège d'un champ électrique qui y produit des courants électriques ; ceux-ci modifient le champ magnétique initial ; d'autre part, les forces de Laplace appliquées à la matière le long des lignes de courant modifient le mouvement du fluide. Ainsi apparaît une interaction des effets électromagnétiques et hydrodynamiques qui constitue le domaine d'étude de la M.H.D. L'importance de l'interaction est caractérisée par un nombre sans dimension  $R_M$  appelé nombre de Reynolds magnétique ;  $R_M$  est proportionnelle à la conductivité électrique du fluide, à sa vitesse et aux dimensions de l'écoulement. L'interaction est généralement faible ( $R_M < 1$ ) dans les métaux liquides et les gaz faiblement ionisés et forte ( $R_M > 1$ ) dans les plasmas. Le champ magnétique peut être considéré comme un fluide mélangé au fluide matériel et exerçant sur lui des efforts de « pression magnétique » proportionnels au carré de l'induction magnétique  $B$ . Si l'interaction champ-matière est forte, ces deux fluides se

déplacent solidairement : le champ magnétique est « gelé » dans la matière. Le milieu peut alors propager des ondes spéciales de basse fréquence appelées ondes magnétohydrodynamiques : les plus simples d'entre elles sont les ondes d'Alfvén, qui se propagent parallèlement aux lignes de forces magnétiques ; ce sont des ondes transversales qui peuvent être considérées comme des oscillations des tubes de force, ceux-ci se comportant comme des cordes vibrantes chargées par la matière entraînée [41].

Un écoulement MHD peut différer significativement d'un écoulement hydrodynamique ordinaire équivalent. Le mouvement des particules du métal à travers des lignes de champ magnétique produit un courant électrique qui agit réciproquement avec le champ magnétique pour produire une force motrice électromagnétique (EM), qui s'oppose au mouvement du liquide. Même un champ magnétique faible fournit assez de force EM d'amortissement pour éliminer la turbulence et l'instabilité dans la plupart du mouvement concerné, éliminant ainsi beaucoup de micro-défauts dans le cristal. Le taux d'amortissement dépendra en vertu de la force du champ magnétique appliqué aussi bien que son orientation en ce qui concerne la circulation convective. [42]

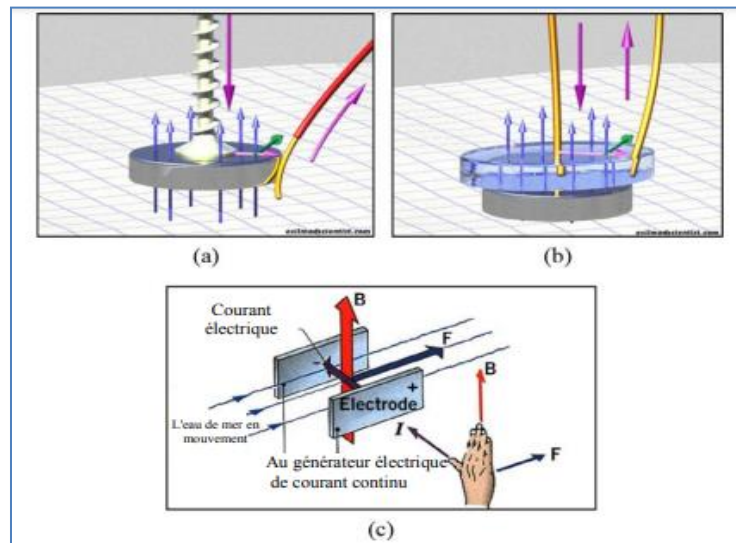
### II.3.1. Définition de la magnétohydrodynamique

Le mot magnétohydrodynamique (MHD) a trois sections qui sont le champ magnétique moyen, le liquide et le mouvement. La figure (II.5) représente l'idée de base de la MHD. L'illustre le mécanisme d'influence de la force de Lorentz sur le mouvement du fluide. La loi de la main droite est montrée dans cette figure, qui détermine la direction des forces de Lorentz. Afin de simuler la MHD, les équations de Maxwell devraient être résolues et couplées aux équations de Navier-Stokes.



**Figure II.5 :** Courant induit dans un fluide conducteur en présence d'un champ magnétique.

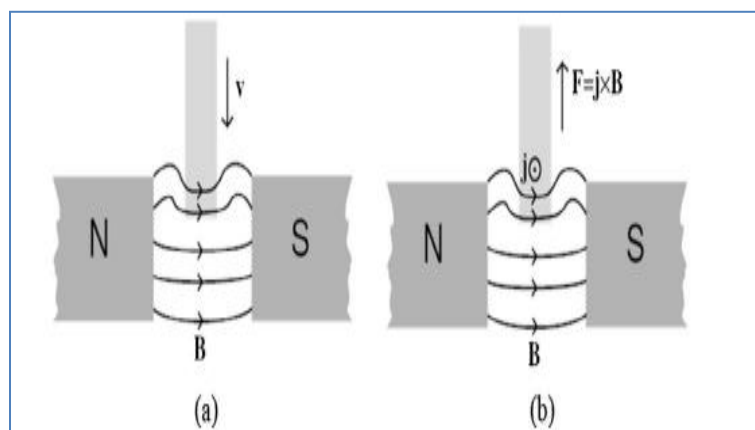
[43]



**Figure II.6 :** (a et b) Effet du champ magnétique sur l'écoulement du fluide conducteur ; Loi de la main droite. (Ligne bleue : champ magnétique, ligne mauve : courant, ligne verte : mouvement). [43]

### II.3.2. Modèle mathématique

Afin d'atteindre le modèle mathématique, la conductivité est considérée comme un scalaire constant. **La figure II.6** montre deux effets importants: la loi de Lenz et la loi de Lorentz.



**Figure II.7 :** le mouvement en présence d'un champ magnétique. [43]

La **Figure II.7**, présente Les deux effets physiques clés se produisant dans la MHD. (a) Un conducteur en mouvement modifie le champ magnétique en semblant faire glisser les lignes de champ avec lui. Lorsque la conductivité est infinie, les lignes de champ semblent être gelées dans le conducteur en mouvement. (b) Lorsque le courant électrique qui traverse le

conducteur traverse les lignes du champ magnétique, il y aura une force de Lorentz qui accélérera le fluide. [43]

### II.3.2.1. Loi de la force de Lorentz

Comme une particule transportée dans le champ magnétique, elle subit une force qui peut être calculée comme:

$$\vec{F} = q(\vec{U} \cdot \vec{B}) \quad (\text{II.1})$$

Où  $U, q$  sont la vitesse et la charge de la particule.

### II.3.2.2. Les équations de Maxwell

Les formules qui gouvernent sont:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho_c \quad (\text{II.2})$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (\text{II.3})$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (\text{II.4})$$

$$\frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{j} = \vec{\nabla} \times \vec{H} \quad (\text{II.5})$$

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E}, \vec{B} = \mu \vec{H} \quad (\text{II.6})$$

Où  $\mu, \epsilon$  sont la permittivité du milieu et la perméabilité magnétique.

### II.3.2.3. L'équation de Navier-Stokes

L'équation de quantité de mouvement est:

$$\rho \left( \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \vec{u}(\vec{\nabla} \cdot \vec{u}) \right) = -\vec{\nabla} P + \mu \nabla^2 \vec{u} + d'autre\ force \quad (\text{II.7})$$

Et en présence du champ électrique et magnétique, nous avons:

$$\rho \left( \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \vec{u}(\vec{\nabla} \cdot \vec{u}) \right) = -\vec{\nabla} P + \mu \nabla^2 \vec{u} + \rho_c \vec{E} + \vec{j} \times \vec{B} + d'autre\ force \quad (\text{II.8})$$

### II.3.2.4. La loi d'Ohm

Selon cette loi, la formule de  $j$  est comme suit:

$$\vec{j} = \sigma(\vec{E} + \vec{u} \times \vec{B}) \quad (\text{II.9})$$

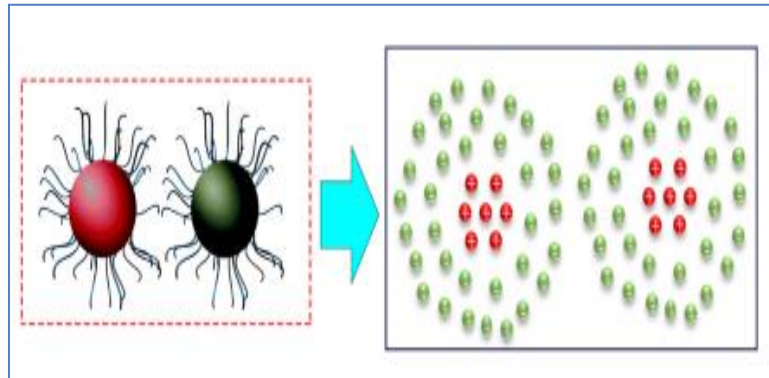


Figure II.8 : Répulsion stérique et répulsion électrostatique. [44]

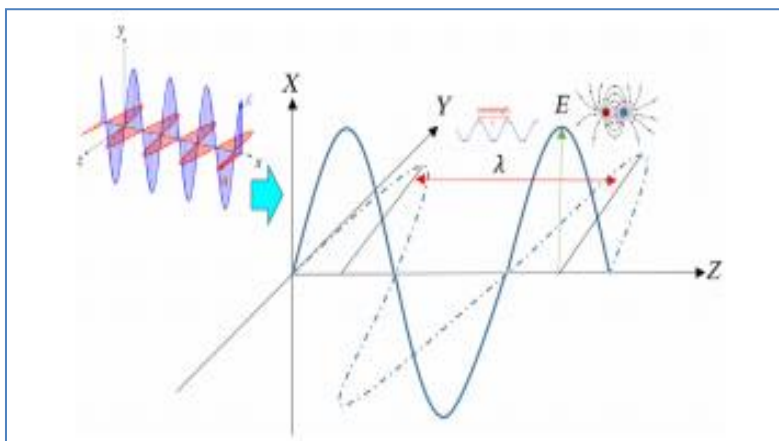


Figure II.9 : Structure d'une onde électromagnétique. [45]

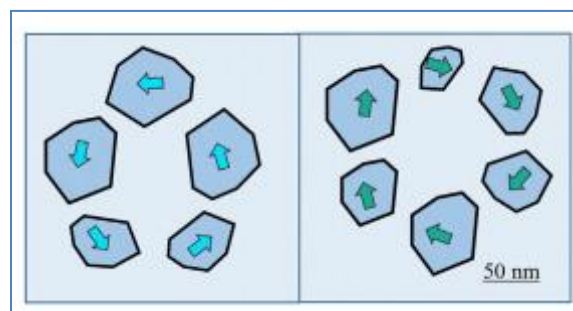


Figure II.10 : Un schéma microscopique de la génération de propriétés magnétiques dans les nanoparticules. [44]



## **II.4. Généralité sur le transfert de chaleur**

La chaleur c'est une forme d'énergie, elle est causée par l'agitation, au sein de la matière, des molécules et des atomes. Donc " l'énergie thermique" ou bien la chaleur est l'énergie associée au mouvement désordonné des particules contenues dans une substance. [45]

On distingue habituellement trois modes de transfert de chaleur :

- **Conduction** : la chaleur passe d'un corps à un autre, par contact.
- **Convection** : un corps qui se déplace emmène avec lui, la chaleur qu'il contient. La quantité de chaleur ainsi transportée peut être importante, surtout dans le cas d'un changement de phase.
- **Rayonnement (radiation)** : l'ensemble des corps émettent de la lumière, selon leur température, et sont eux-mêmes aient par la lumière qu'ils absorbent.

### **II.4.1. Transfert de chaleur par conduction**

La conduction est une transmission de chaleur dans la matière sans mouvement qui fait passer la chaleur des zones chaudes vers les zones froides à l'aide de deux mécanismes (vibration moléculaire, diffusion électronique). Elle concerne surtout les solides, mais aussi les liquides et les gaz pour lesquels elle est souvent négligeable par rapport à la convection ou au rayonnement. [46]

La loi fondamentale de ce mode de transfert (Loi de Fourier) exprime le flux de chaleur transmis dans un milieu de conductivité thermique  $K$  ( $Wm^{-1} \text{ } ^\circ K^{-1}$  Ou  $Wm^{-1} \text{ } ^\circ C^{-1}$ ) à travers une surface  $S$ , établie mathématiquement par Jean-Baptiste Biot en 1804 puis expérimentalement par Fourier en 1822 [47].

Le flux de chaleur par conduction est proportionnel au gradient de température.

Sous forme algébrique et suivant la direction  $x$  perpendiculaire à la surface  $S$ , le flux s'écrit :

$$\phi = -k.S.\frac{dT}{dx} \quad (\text{II.10})$$

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

$K$  : Conductivité thermique du milieu ( $W.m^{-1}.K^{-1}$  Ou  $W.m^{-1}.\text{ } ^\circ C^{-1}$ ).

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

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

### II.4.2. Transfert de chaleur par rayonnement

Le rayonnement thermique correspond à un transfert de chaleur ne nécessitant aucun support matériel, c'est ainsi que la terre est "chauffée" par le rayonnement thermique du soleil qui s'est propagé dans le vide, de la surface solaire, qui l'a émis, jusqu'à la terre qui l'absorbe. [42]

Le flux de chaleur échangé entre la surface S et l'environnement est donné par loi de Stefan-Boltzmann :

$$\Phi = \sigma' \varepsilon p S (T_p^4 - T_{\infty}^4) \quad (\text{II.11})$$

Avec :

$\Phi$  : Flux de chaleur transmis par rayonnement (w).

$\sigma'$  : Constante de Stéphan Boltzmann ( $5,67 \times 10^{-8} \text{Wm}^{-2} \text{K}^{-4}$ ).

$\varepsilon p$  : Facteur d'émission de la surface (l'émissivité de la surface).

$T_p$  : Température de la surface (k).

$T_{\infty}$  : Température du milieu environnant la surface (k). S : Aire de la surface ( $\text{m}^2$ ).

### II.4.3. Transfert de chaleur par convection

La convection est un mode de transport d'énergie par l'action combinée de la conduction, de l'accumulation de l'énergie et de mouvement de milieu, elle est considérée comme le mécanisme le plus important de transport de l'énergie entre une surface solide et un liquide ou gaz.

Le transport d'énergie par convection d'une surface dont la température est supérieure à celle du fluide qui l'entoure s'effectue en plusieurs étapes.

D'abord la chaleur s'écoule par conduction de la surface aux molécules du fluide adjacent. L'énergie ainsi transmise sert à augmenter la température est l'énergie interne de ces molécules du fluide. Ensuite les molécules vont se mélanger avec d'autres molécules et transférer une partie de leur énergie. Dans ce cas l'écoulement transporte simultanément, le fluide et l'énergie. L'énergie est à présent, emmagasinée dans les molécules du fluide et elle est transportée sous l'effet de leur mouvement. [48]

- **La convection libre** : En convection libre, le mouvement résulte de l'existence d'un gradient de température dans le fluide.
- **La convection Forcée** : La convection forcée suppose la présence d'un dispositif pour mettre en mouvement le fluide (pompe, compresseur...).

- La puissance transférée par convection est donnée par la relation :

$$\Phi = h S (T_s - T_a) \quad (\text{II.12})$$

Avec

$\Phi$  : Flux de chaleur transmis par convection (W)

$h$  : Coefficient de transfert de chaleur par convection ( $\text{W m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ )

$S$  : Aire de la surface de contact solide/fluide ( $\text{m}^2$ ).

$T_s$ : Température de surface du solide ( $^\circ\text{C}$ )

$T_a$  Température du fluide loin de la surface du solide ( $^\circ\text{C}$ ).

### II.4.4. Les nombres sans dimension

L'étude des problèmes de transfert de chaleur par convection implique la résolution d'équations différentielles qui décrivent la mécanique des fluides, les échanges d'énergie, les transferts de masse. Ces équations sont généralement liées et difficiles à résoudre théoriquement, ce qui conduit à associer à la théorie l'expérimentation permettant de trouver les valeurs des grandeurs recherchées.

L'expérimentation est souvent menée à une échelle différente de la réalité industrielle. La nécessité de définir des corrélations qui soient applicables à des appareils de tailles différentes opérant dans des situations différentes conduit à l'utilisation de paramètres adimensionnels qui permettent de définir des similitudes. [45]

#### II.4.4.1. Nombre de Reynolds

Reynolds c'est une ingénieure anglaise spécialiste de l'hydrodynamique qui introduit ce nombre qui est constamment utilisé dans les calculs des régimes d'écoulements.

$$Re = \frac{\text{forces d'inertie}}{\text{forces de viscosité}} \quad (\text{II.13})$$

$$Re = \frac{Fa}{F\mu} = \frac{U \cdot Dh}{\nu} \quad (\text{II.14})$$

Où

$U$  : La vitesse moyenne [ $\text{m s}^{-1}$ ].

$Dh$  : Diamètre hydraulique [m].

$\nu = \mu / \rho$  : La viscosité cinématique du fluide [ $\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$ ] et  $\mu$  : La viscosité dynamique [Pa.s]

#### **II.4.4.2. Nombre de Prandtl**

Le nombre de Prandtl est défini comme le rapport entre la diffusivité de quantité de mouvement et la diffusivité thermique. Il caractérise l'importance relative des effets thermiques et visqueux, Il peut être exprimé comme :

$$Pr = \frac{\mu C_p}{K} \quad (II.15)$$

Où  $C_p$  : La chaleur spécifique à pression constante [J/ (kg · K)].

$K$  : La conductivité thermique [ $Wm^{-1} K^{-1}$ ].

#### **II.4.4.3. Nombre de Nusselt**

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

$$Nu = \frac{hL}{K} \quad (II.16)$$

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

#### **II.4.4.4. Nombre de Grashof**

Le nombre de Grashof est défini comme le rapport entre les forces de gravité par les forces visqueuse, Il peut être exprimé comme :

$$Gr = \frac{\text{forces de gravité}}{\text{forces de viscosité}} \quad (II.17)$$

$$Gr = \frac{F_g}{F_\mu} = \frac{g\beta\Delta T.L^3.\rho^2}{\mu^2} \quad (II.18)$$

#### **II.4.4.5. Nombre de Rayleigh**

Le nombre de Rayleigh est défini comme le rapport entre l'importance relative de la poussée d'Archimède et le produit de la trainée visqueuse par le taux de diffusion thermique, Il peut être exprimé comme :

$$Ra = \frac{g}{v\alpha} (T_s - T_\infty).L^3 = Gr.Pr \quad (II.19)$$

Où

$T_s$  : La température de la paroi [°C].

$T_\infty$  : La température du fluide loin de la paroi [°C].

$v$  : La viscosité cinématique du fluide [ $m^2 s^{-1}$ ].

$\alpha$  : La diffusivité thermique =  $K \rho C_p$  [ $m^2 s^{-1}$ ].

### II.4.4.6. Nombre de Hartmann

Le nombre de Hartmann ( $Ha$ ) est un nombre sans dimension utilisé en magnétohydrodynamique pour caractériser le mouvement de fluides conducteurs en présence d'un champ magnétique. Il représente le rapport entre la force de Laplace et les forces visqueuses.

$$Ha = B \cdot L \cdot \sqrt{\frac{\sigma}{\mu}} \quad (\text{II.20})$$

$B$  : Champ magnétique [teslas].

$L$  : Longueur caractéristique [m].

$\mu$  : viscosité dynamique [Pas.s].

$\sigma$  : Conductivité électrique [siemens.m<sup>-1</sup>].

### II.4.5. Techniques d'Amélioration le transfert de chaleur

#### ❖ Avec les nano fluides

L'augmentation de la conductivité thermique du fluide caloporteur permet d'améliorer l'efficacité du processus de transfert thermique associé. Lorsque la convection forcée dans les échangeurs compacts ou la convection naturelle dans les enceintes est considérée, il est prévu que le coefficient de transfert de chaleur s'améliore en utilisant les nano fluides et que l'amélioration est principalement due à la conductivité thermique du nano fluide, en raison de la définition de nombre de Nusselt.

Cependant, la recherche sur le transfert de chaleur par convection de nan fluide sa indiqué que l'amélioration du coefficient de transfert de chaleur dépasse l'amélioration de conductivité thermique des nano fluides.

#### ❖ Avec les nano fluides hybride

Les nano fluides hybrides peuvent remplacer les nano fluides simples puisqu'ils fournissent plus d'amélioration de transfert de chaleur. Le nano fluide hybride est une nouvelle classe de nano fluides conçus en dispersant deux nanoparticules différentes dans un fluide de transfert de chaleur conventionnel qui l'augmentation doublement de la conductivité thermique du fluide caloporteur permet d'améliorer l'efficacité du processus de transfert thermique associé.

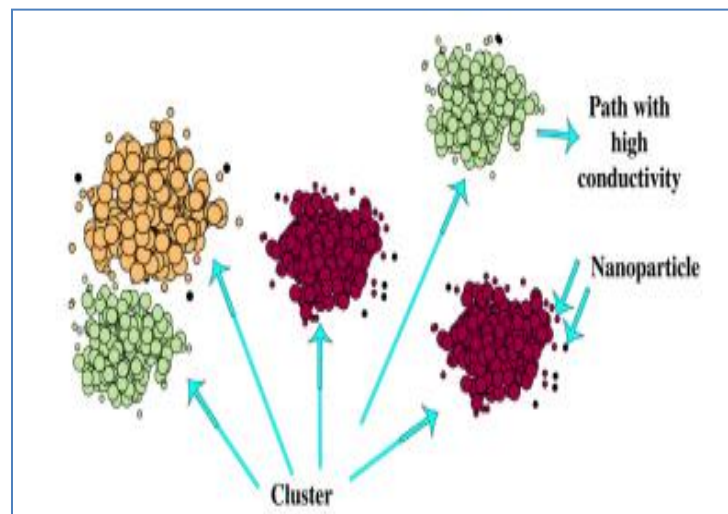


Figure II.11 : Effet d'accumulation sur l'amélioration de la conductivité thermique des nano fluides. [44]

❖ Avec les la magnétohydrodynamique

L'augmentation les nano fluide et le champ magnétique d'améliorer l'efficacité du processus de transfert thermique le mécanisme d'influence de la force de Lorentz sur le mouvement du fluide. Lorsque la convection forcée dans les échangeurs compacts ou la convection naturelle dans les enceintes est considérée, il est prévu que le coefficient de transfert de chaleur s'améliore en utilisant le champ magnétique et que l'amélioration est principalement due à la conductivité thermique du nano fluide, en raison de la définition de nombre de Hartmann.

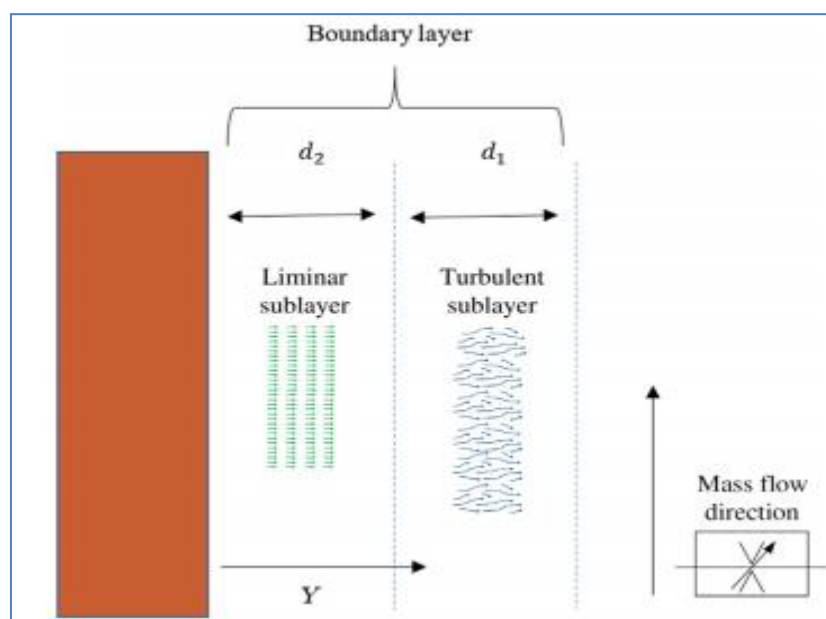


Figure II.12 : Structure d'écoulement près du mur. [44]

## **II.5. Conclusion**

Les développements dans divers domaines de la science et de la technologie montrent très clairement aux scientifiques que le monde futur a sûrement besoin d'appareils de plus en plus compacts avec (figure II.12) Structure d'écoulement près du mur. Le nano fluide hybride est une nouvelle classe de nano fluides conçus en dispersant deux nanoparticules différentes dans un fluide de transfert de chaleur conventionnel. A travers ce chapitre, les généralités des nano fluides, nano fluide hybride, la magnétohydrodynamique et leur relation avec l'amélioration de transfert thermique.

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

CHAPITRE III:  
MODÉLISATION MATHÉMATIQUE  
ET PROPRIÉTÉ THERMO PHYSIQUE



## *Modélisation Mathématique et propriété thermo physique*

### **III.1. Introduction**

Dans les écoulements causés par la force de flottabilité (convection naturelle), le comportement du fluide est complètement 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 sans dimensions représentés par plusieurs propriétés physiques dépendantes de la température. L'importance mutuelle 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 modélisant le phénomène physique traité dans ce mémoire.

### **III.2. Equations générales en régime laminaire**

La formulation mathématique des phénomènes de la convection pour un problème donné bidimensionnel ou tridimensionnel, transitoire ou permanent, repose sur les équations liant les différents paramètres à savoir : la vitesse, la pression et la température. Ces équations sont obtenues comme cas particuliers à partir des équations générales suivantes :

#### **III.2.1. 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:

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

Où

$\rho$  : est la masse volumique

$V$  : est le vecteur vitesse.

**III.2.2. 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 :

$$\frac{D(\rho \cdot V)}{Dt} = \rho F - \text{grad}(p) + \mu \Delta V + \frac{1}{3} \mu \text{grad}(\text{div}(V)) = 0 \quad (\text{III.2})$$

Où

$F$  est une force par unité de volume.

$\mu$  est la viscosité dynamique.

Et en présence du champ électrique et magnétique, nous avons:

$$\rho \left( \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \vec{u}(\vec{\nabla} \cdot \vec{u}) \right) = -\vec{\nabla} P + \mu \nabla^2 \vec{u} + \rho_c \vec{E} + \vec{j} \times \vec{B} \quad (\text{III.3})$$

**III.2.3. 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 :

$$\frac{D(\rho c_p T)}{Dt} = \Delta(KT) + q + \beta T \frac{Dp}{DT} + \mu \phi = 0 \quad (\text{III.4})$$

Avec :

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

$\Delta(KT)$ : 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.

Les coefficients  $c_p, K, \beta$  sont respectivement, la capacité calorifique, la conductivité thermique et le coefficient de dilatation isobare du fluide.

$\frac{D(\rho \cdot V)}{Dt}$  : La variation de la masse volumique, qui est estimée par l'hypothèse de Boussinesq.

### III.3. La géométrie du problème étudié

La configuration étudiée est représentée sur la figure (II.1). Il s'agit d'une enceinte carrée. Ses parois sont maintenues à une température constante (froide), tandis que sa paroi inférieure est soumise partiellement à un flux de chaleur constant,  $q''$ . Nous effectuons un champ magnétique de côté de la cavité. Le liquide qui circule dans la cavité est un nano fluide hybride à base d'eau contenant des nanoparticules de Cu et  $Al_2O_3$ .

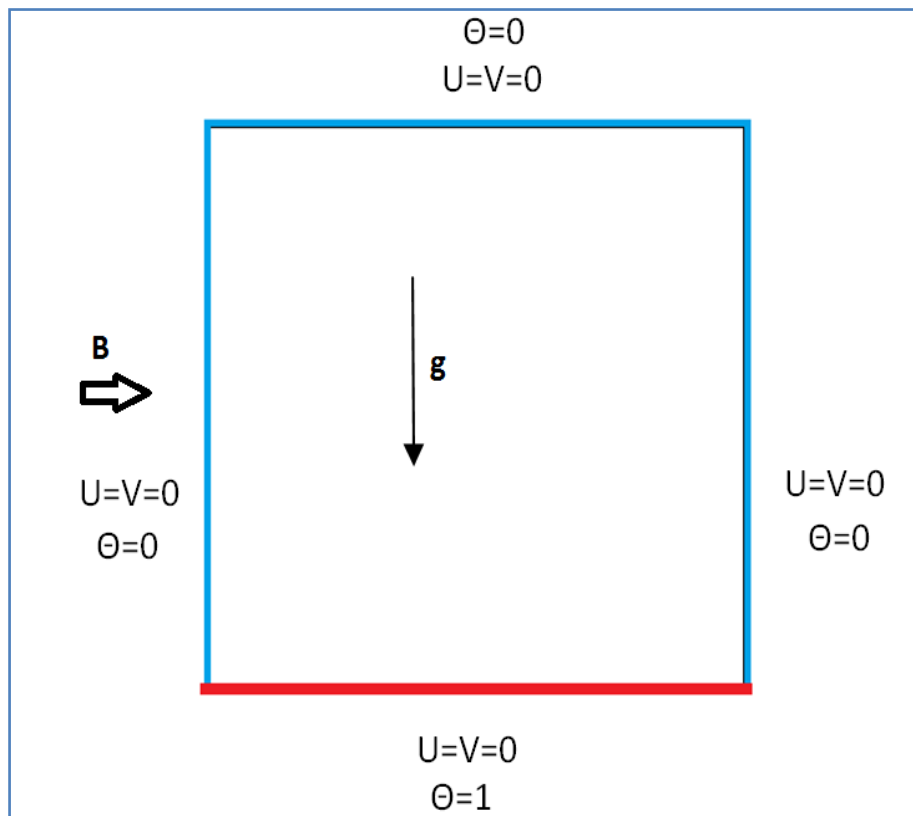


Figure III.4 : La géométrie en question et les conditions aux limites du phénomène.

#### III.3.1. Hypothèses simplificatrices

Pour la modélisation du problème, nous adoptons les hypothèses suivantes :

- ✓ Les transferts de chaleur par convection libre.
- ✓ Le nano fluide hybride étudié est un fluide newtonien incompressible.
- ✓ L'écoulement et le transfert de chaleur sont bidimensionnels.
- ✓ L'écoulement laminaire permanent.
- ✓ La dissipation visqueuse est négligée dans l'équation de l'énergie.
- ✓ Les propriétés thermo-physiques du nano fluide hybride sont constantes, sauf pour la variation de la masse volumique, qui est estimée par l'hypothèse de Boussinesq.

**APPROXIMATION DE BOUSSINESQ**

Elle consiste à considérer que les variations de la masse volumique sont négligeables aux niveaux de tous les termes des équations de quantité de mouvement ( $\rho = \rho_o$ ), sauf au niveau du terme de gravité. Un développement de  $\rho$  au premier ordre en fonction de la température est donné comme suit (Bejan, (1993) [49] :

$$\rho = \rho_o[1 - \beta (T - T_o)] \tag{III.5}$$

Avec  $T_o$  : Température de référence.

$\beta$  : Le coefficient d'expansion thermique à pression constante.

$\rho_o$  : Masse volumique du fluide à  $T_o$

**III.4. Equations du problème**

Après introduction des hypothèses données ci-dessus, on peut établir les différentes équations nécessaires à la résolution du problème considéré dans cette étude comme suit:

➤ **Equation de continuité**

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \tag{III.6}$$

➤ **Equations de quantité de mouvement**

Suivant  $x$ :

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{-1}{\rho_{nfh}} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu_{nfh} \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \tag{III.7}$$

Suivant  $y$ :

$$\frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = \frac{-1}{\rho_{nfh}} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu_{nfh} \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + (\rho\beta)_{nfh} (T - T_c) g - \frac{\sigma_{nfh} B_0^2}{\rho_{nfh}} \nu_{nfh} \tag{III.8}$$

➤ **Équation de l'énergie :**

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha_{nfh} \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \tag{III.9}$$

Les paramètres non dimensionnels suivants peuvent être utilisés pour convertir les équations déterminantes dans forme non dimensionnelle :

$$X = \frac{x}{L}, \quad Y = \frac{y}{L}, \quad U = \frac{uL}{v_{nfh}}, \quad V = \frac{vL}{v_{nfh}}, \quad P = \frac{pL}{(\rho v)_{nfh}}, \quad \theta = \frac{T - T_c}{T_h - T_c}$$

$$Ha = B_0 \cdot L \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{nfh}}{\mu_{nfh}}} \quad Pr = \frac{\mu_{nfh} C_{p_{nfh}}}{K_{nfh}} \quad Ra = \frac{g}{v_{nfh} \alpha_{nfh}} (T_s - T_\infty) \cdot L^3$$

Les équations différentielles de la continuité, de la quantité de mouvement et de l'énergie forment le modèle mathématique de la convection naturelle.

➤ **Les équations sous formes adimensionnelles**

- **Equation de continuité**

$$U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = 0 \tag{III.10}$$

- **Equation de quantité de mouvement**

$$U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial X} + \left( \frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} \right) \tag{III.11}$$

$$U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial Y} + \left( \frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} \right) + \frac{Ra}{Pr} \theta - (Ha)^2 V \tag{III.12}$$

- **Equation d'énergie :**

$$U \frac{\partial \theta}{\partial X} + V \frac{\partial \theta}{\partial Y} = \frac{1}{Pr} \left( \frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} \right) \tag{III.13}$$

**III.5. Les propriétés thermo physiques des nano fluides hybrides**

Les propriétés thermo physiques, pour le fluide de base et de l'oxyde de Cu et Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sont présentées dans le tableau (III.1). La densité effective, la diffusivité thermique, la capacité thermique et le coefficient de dilatation thermique de la nano fluide hybride sont calculés en utilisant les expressions suivantes:

**Tableau III.1** : Les propriétés thermo physique de nanoparticules et fluide de base.

	<b>water</b>	<b>Cu</b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>
<b>C<sub>p</sub></b>	4179	385	765
<b>K</b>	0,613	401	40
<b>β</b>	2,10E-04	1,67E-05	8,50E-06
<b>ρ</b>	997,1	8933	3970
<b>viscosité dynamique μ</b>	1,00E-03	--	--
<b>Conduction électrique σ</b>			

### III.5.1. la masse volumique

Pour calculer la masse volumique d'un nano-fluide que nous supposerons parfaitement homogène (bonne dispersion des nanoparticules dans le fluide de base) en fonction de la fraction volumique ( $\phi$ ) a une température  $T$  donnée. La masse volumique de ce mélange est définie comme suite :

$$\rho_{nf} = \phi \rho_p + (1 - \phi) \rho_f \quad (III.14)$$

L'équation (III.14) a été initialement introduite. [50] pour déterminer la densité et ensuite largement utilisé dans les littératures. Par conséquent, la densité de nano fluide hybride est spéculée par Eq. (III.15) :

$$\rho_{nfh} = \phi_{Al_2O_3} \rho_{Al_2O_3} + \phi_{Cu} \rho_{Cu} + (1 - \phi) \rho_f \quad (III.15)$$

### III.5.2. La fraction volumique

La fraction volumique est la propriété la plus importante pour les nano-fluides, puisque les calculs de toutes les autres propriétés sont basés sur la fraction volumique. On peut la définir comme étant le rapport sans dimension entre deux volumes, le volume de solide ou particule (nanoparticules) sur le volume total (nanoparticules + fluide de base). La valeur de la fraction volumique est variée entre 0 (fluide de base pure) et 1. La fraction volumique est donnée par la relation suivant :

$$\phi_p = \frac{\text{volume solide}}{\text{volume total nano fluide}} = \frac{V_{np}}{V_f + V_{np}} \quad (\text{III.16})$$

Où est la concentration volumique globale de deux types différents de nanoparticules dispersées dans un fluide de base dans le nano fluide hybride et est obtenue à l'aide du calcul suivant :

$$\phi = \phi_{Al_2O_3} + \phi_{Cu} \quad (\text{III.17})$$

### III.5.3. la capacité calorifique

La chaleur spécifique est la capacité calorifique par unité de masse d'une substance ou d'un système homogène  $C_p = \frac{dQ}{m dT}$ . 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 a retrouvé suivant les auteurs l'une ou l'autre des deux relations suivantes. [51].

$$(\rho \cdot CP)_{nf} = (1 - \Phi)(\rho \cdot CP)_f + \Phi(\rho \cdot CP)_{np} \quad (\text{III.18})$$

L'équation (III.9) qui est utilisée pour spécifier la capacité calorifique a été utilisée pour la première fois, puis a été utilisé dans de nombreux. Selon l'éq. (III.9), la capacité calorifique du nano-fluide hybride est déterminée comme suit [50]:

$$(\rho \cdot C_p)_{nfh} = (\phi \cdot \rho \cdot C_p)_{Al_2O_3} + (\phi \cdot \rho \cdot C_p)_{Cu} + (1 - \phi)(\rho \cdot C_p)_f \quad (\text{III.19})$$

### III.5.4. La conductivité thermique

La conductivité thermique est définie comme une variation de température et une conductivité thermique différente due à la fraction volumique et aux nano fluides, en fonction des nanoparticules, la conductivité thermique d'un nano-fluide est calculée :

$$K_{nf} = \frac{K_{np} + 2K_f + 2(K_{np} - K_f)\Phi}{K_{np} + 2K_f - (K_{np} - K_f)\Phi} K_f \quad (\text{III.20})$$

Le modèle de Maxwell éq. (III.20) qui est une équation générale pour trouver la conductivité thermique d'un mélange composé d'un fluide de base et de particules solides dispersées est développé dans cette étude pour déterminer la conductivité thermique d'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Cu :

$$K_{nfh} = \frac{\frac{(\phi \cdot K)_{Al_2O_3} + (\phi \cdot K)_{Cu}}{\phi} + 2K_f + 2[(\phi \cdot K)_{Al_2O_3} + (\phi \cdot K)_{Cu}] - 2\phi K_f}{\frac{(\phi \cdot K)_{Al_2O_3} + (\phi \cdot K)_{Cu}}{\phi} + 2K_f - [(\phi \cdot K)_{Al_2O_3} + (\phi \cdot K)_{Cu}] + \phi K_f}$$

(III.21)

### III.5.5. Le Coefficient d'expansion volumique

On déduit l'expression suivante :

$$\beta_{nf} = (1 - \Phi)\beta_f + \Phi\beta_{np} \quad (III.22)$$

$$\beta_{nfh} = \frac{(1 - \phi_{Cu}) \cdot (\rho \cdot \beta)_f}{\rho_{nfh}} \left[ (1 - \phi_{Al_2O_3}) + \phi_{Al_2O_3} \frac{(\rho \cdot \beta)_{Al_2O_3}}{(\rho \cdot \beta)_f} \right] + \frac{\phi_{Cu} \cdot (\rho \cdot \beta)_{Cu}}{\rho_{nfh}} \quad (III.23)$$

### III.5.6. La Viscosité dynamique

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 nano-fluide 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 nano-fluide. Pour ce qui suit nous allons citer deux modèles pour le calcul des viscosités apparentes :

$$\mu_{nf} = \frac{\mu_f}{(1 - \Phi)^{2,5}} \quad (III.24)$$

La viscosité dynamique du nano fluide hybride :

$$\mu_{nfh} = \frac{\mu_f}{(1 - \Phi_{Al_3O_3})^{2,5} (1 - \Phi_{Cu})^{2,5}} \quad (III.25)$$

## III.6. Conclusion

Ce chapitre nous a permis de décrire le modèle mathématique correspondant au phénomène de convection dans une cavité soumise à un champ magnétique constant et en présence d'un nano fluide hybride et connaître ses propriétés thermo physique.



# CHAPITRE IV: FORMULATION NUMÉRIQUE

### *Formulation 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.

La résolution des équations d'un phénomène physique de convection thermique se fait par l'utilisation d'une méthode numérique. Ces types des phénomènes sont généralement modélisés par des équations aux dérivées partielles (E.D.P) non-linéaires. Cette dernière consiste à développer les moyens de la résolution de ces équations. A cette étape, intervient le concept de la discrétisation. Pour obtenir une solution numérique, le modèle mathématique constitué par une équation différentielle aux dérivées partielles (EDP) ou par un système d'EDP est transformé, à l'aide d'une méthode de discrétisation en système d'équations algébriques. Il existe plusieurs schémas de discrétisations des équations aux dérivées partielles (E.D.P) : les différences finies, les éléments finis et les volumes finis. [52]

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.

#### **IV.2. Procédure de la simulation**

##### **IV.2.1. Logiciel ANSYS Workbench**

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



Figure IV.1 : Fenêtre lancement du logiciel.

### IV.2.2. Menu principal du logiciel d'ANSYS Workbench

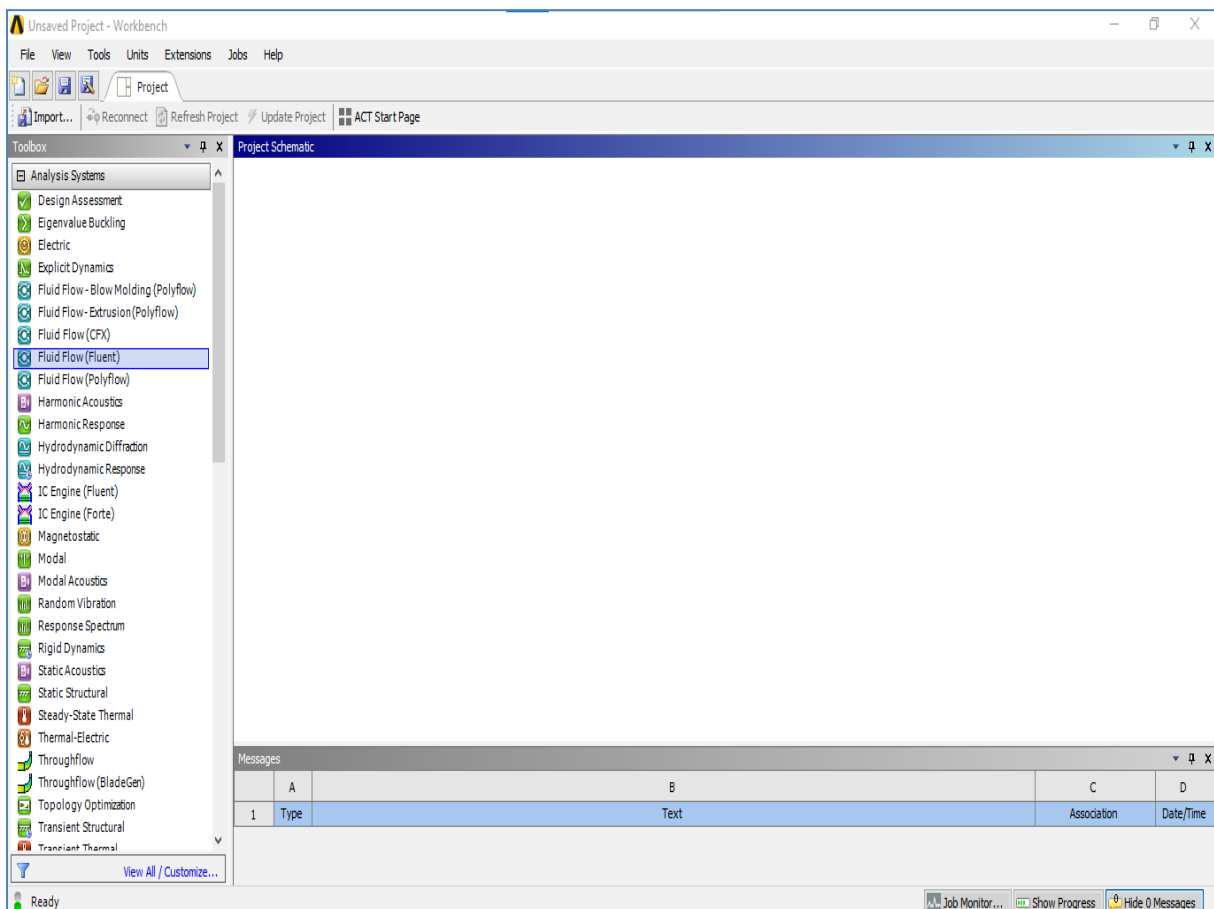
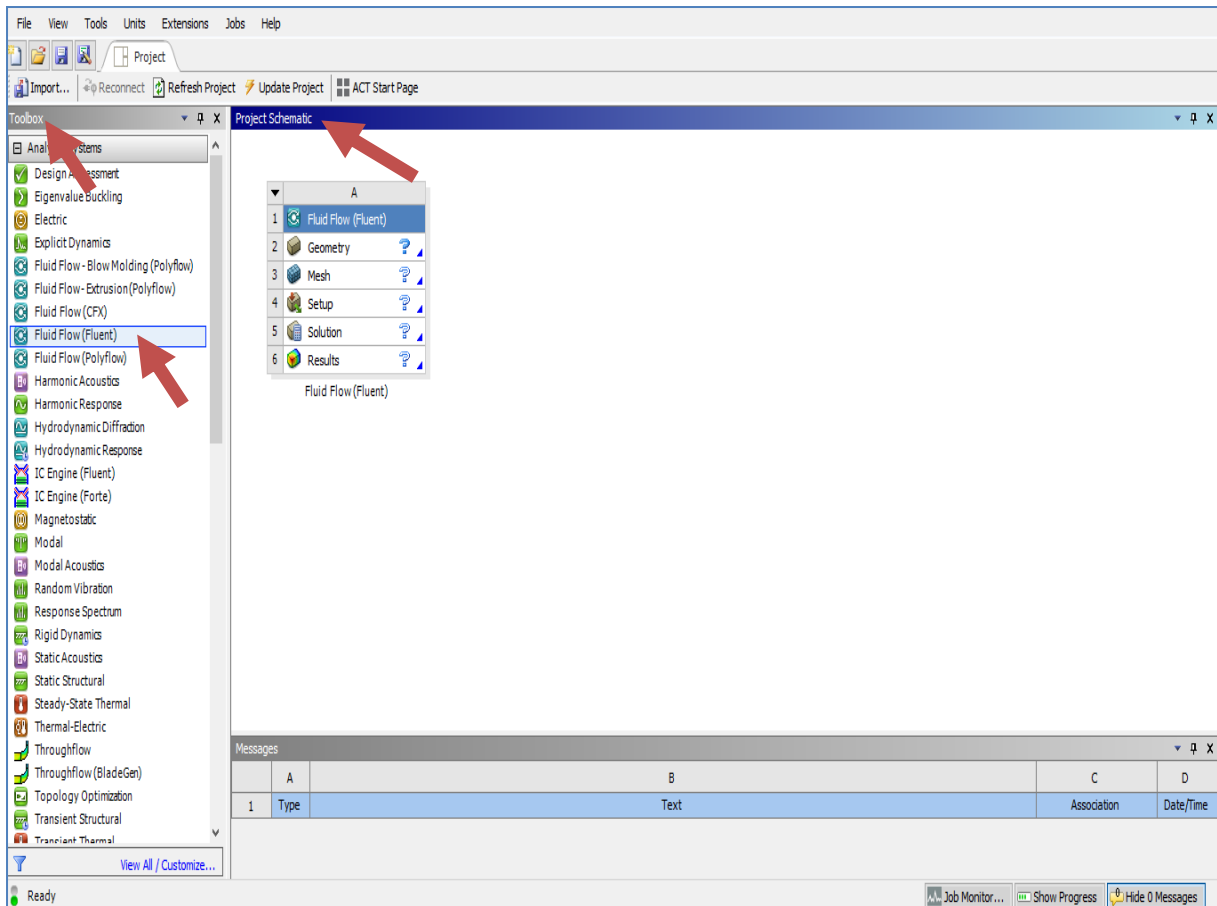


Figure IV.2 : Menu principal de Workbench.



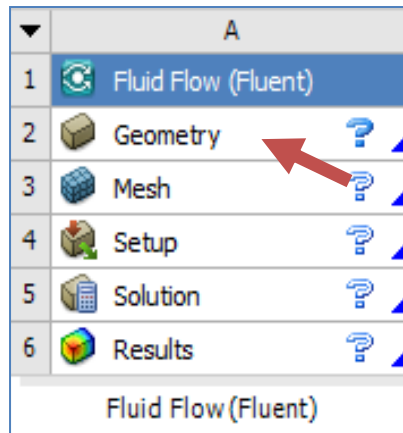
**Figure IV.3 :** Création d'une analyse (projet) en mécanique de fluide.

Les étapes de calcul se composent de 5 étapes :

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

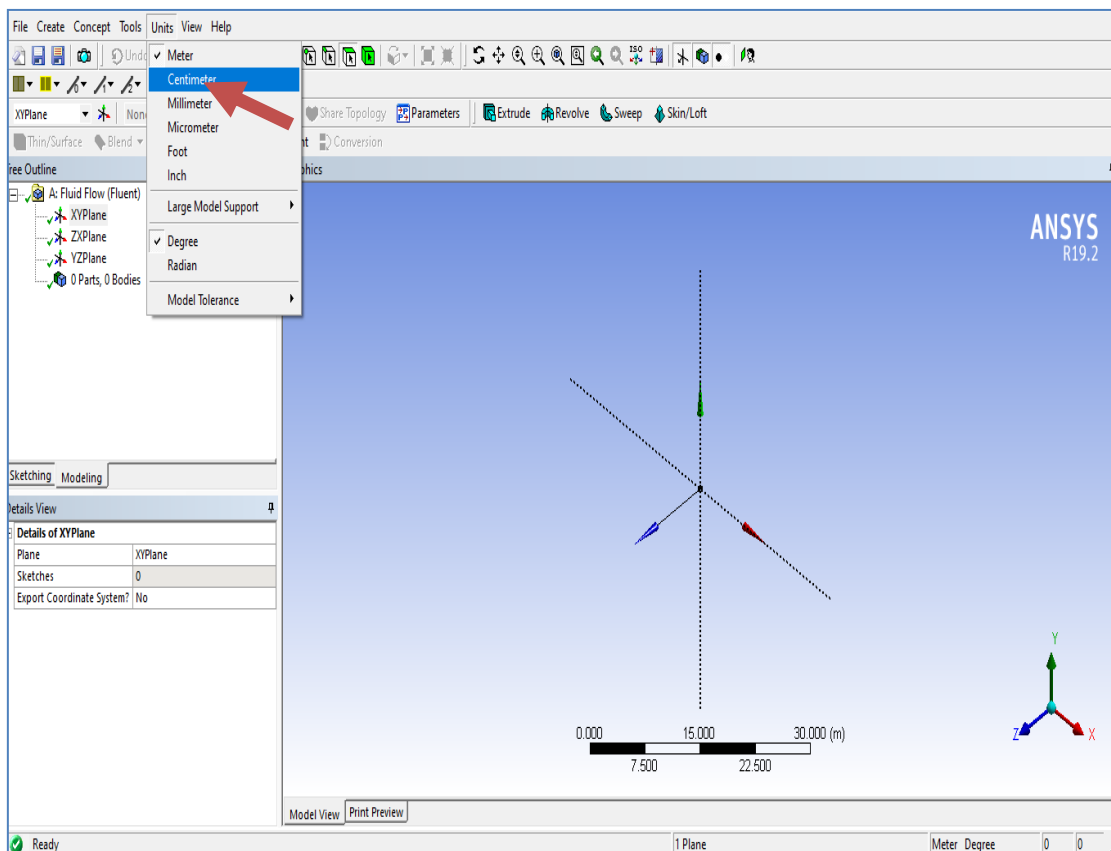
### IV.2.3. Création de la géométrie

Pour créer une géométrie avec ANSYS Workbench double-clique sur la géométrie pour ouvrir le module de création géométrique (Design Modeler).




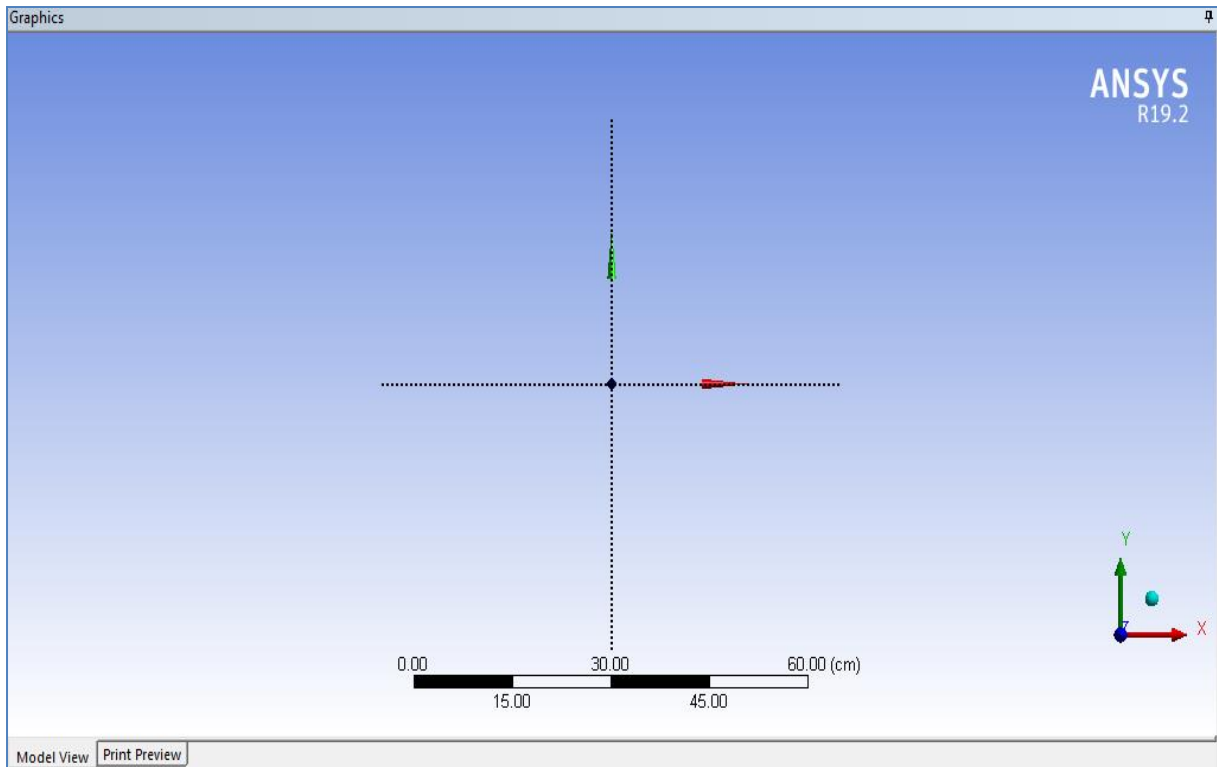
**Figure IV.4 :** Création d'un projet en mécanique de fluide.

Il faut choisir le type d'analyse 2D OU 3D. Après l'ouverture du module de création une géométrie, nous sélectionnons à partir la liste du « Unités » le centimètre (m) comme unité de dimension.



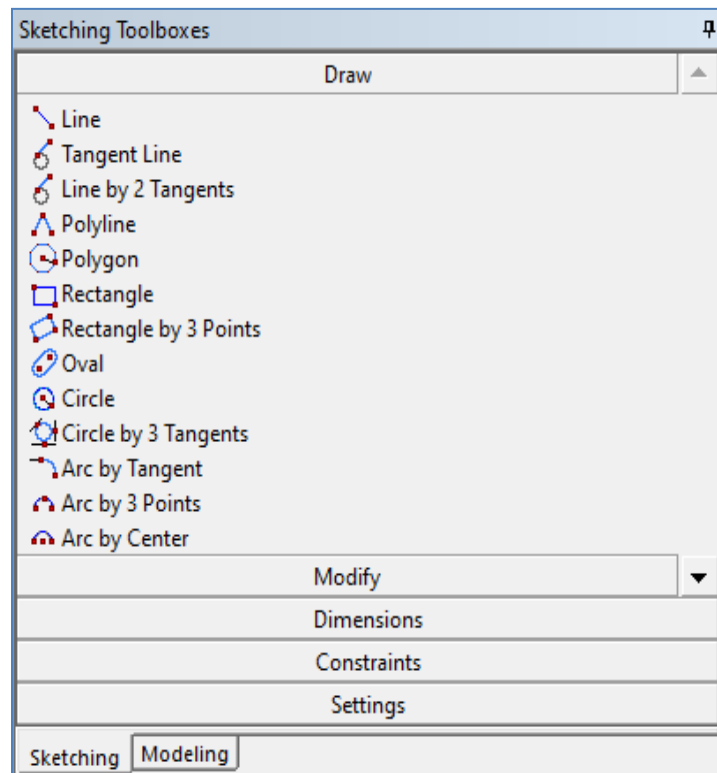
**Figure IV.5 :** Création du modèle de la géométrie.

Par la suite, On choisit le plan et la vue sur laquelle on va travailler. En cliquant sur le plan XY, et sur  dans la barre d'outils.



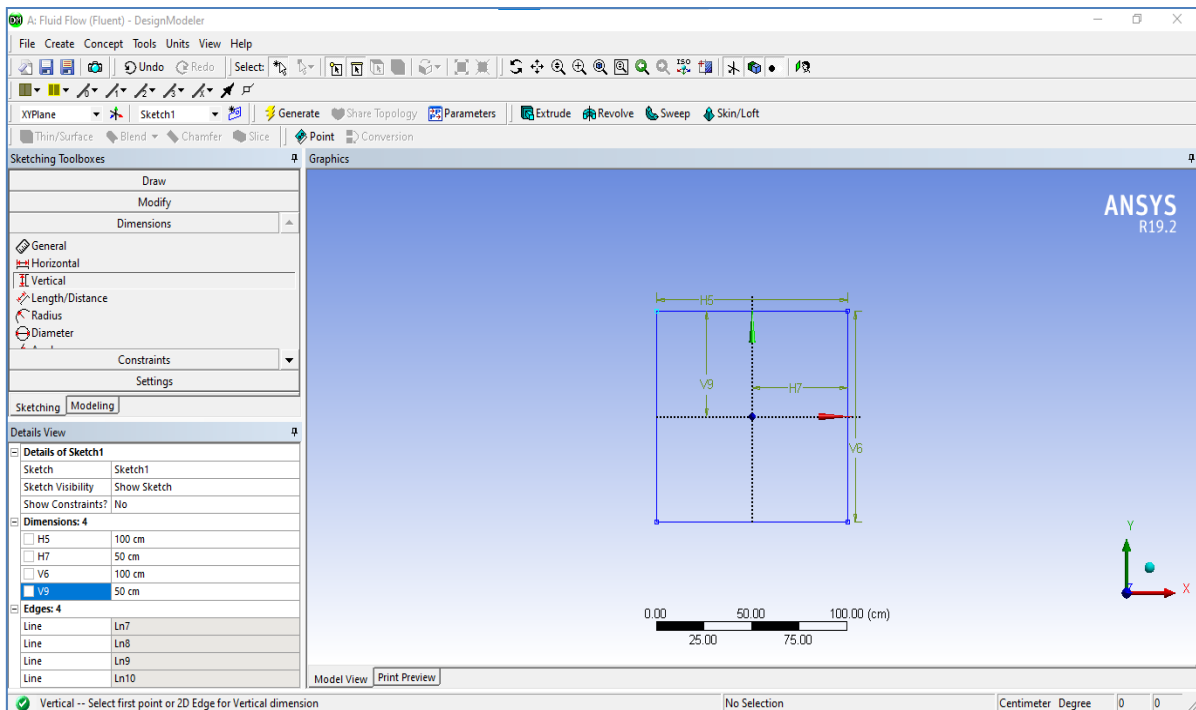
**Figure IV.6 :** Création du modèle (plan de vue).

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 IV.7 :** Création d'esquisse.

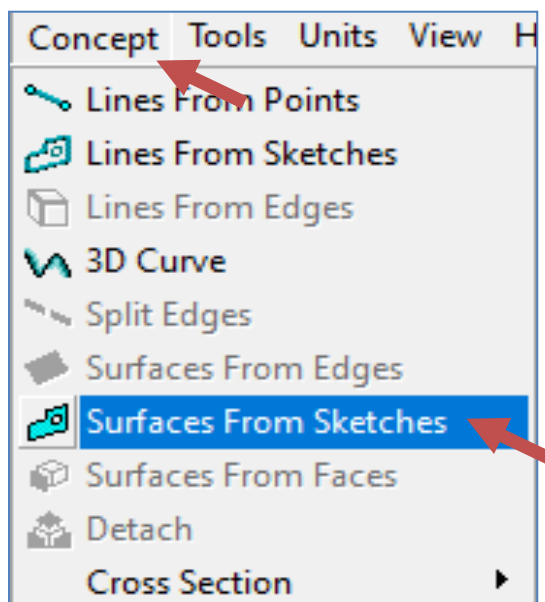
On obtient cette esquisse :



**Figure IV.8 :** Création d'esquisse.

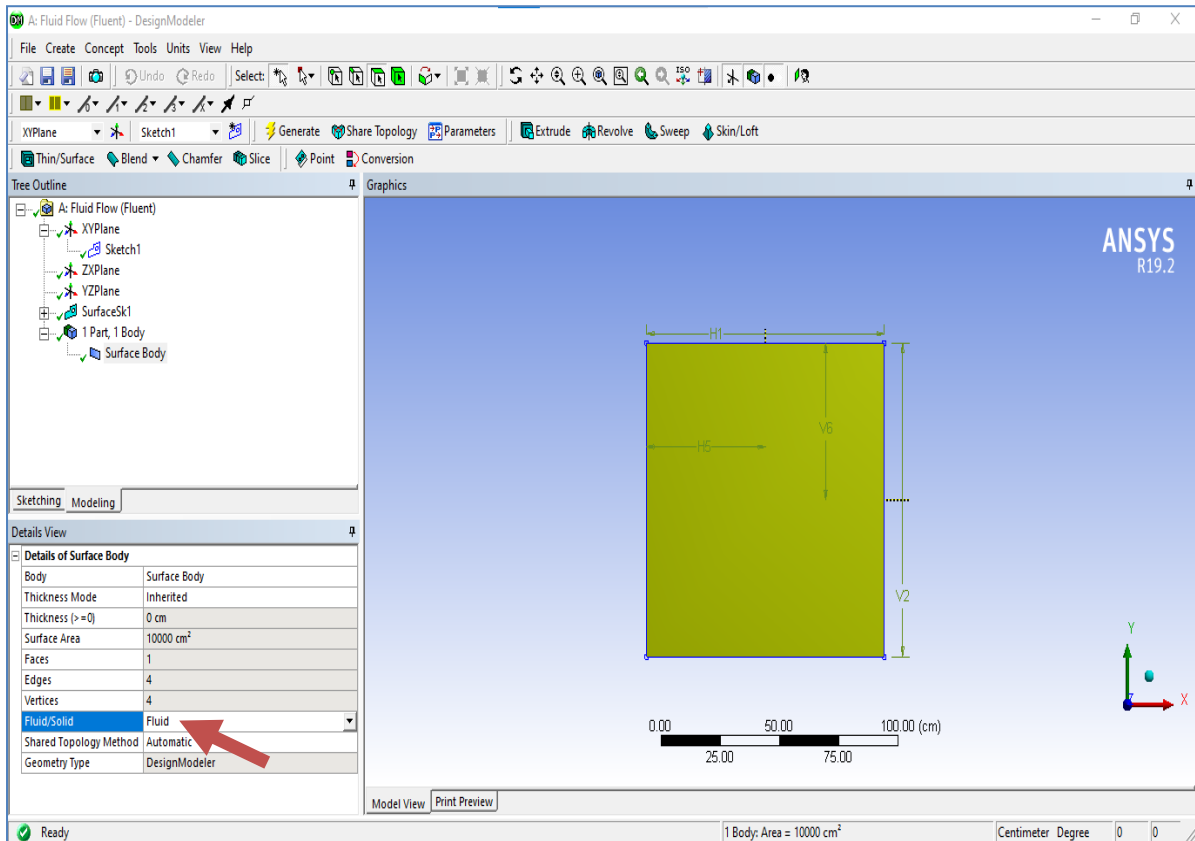
Maintenant la définition des surfaces se fait dans le menu :

- Concept surface à partir d'esquisse.
- Esquisse.
- Appliquer générer.



**Figure IV.9 :** Concept surface à partir d'esquisse.

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



**Figure IV.10** : 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.

### IV.2.4. Le maillage

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

Dans l'étape de maillage, il y a deux points importants à considérer :

- La surnommations des éléments qui construit la géométrie pour réaliser cette dernière étape ; Sélectionner une partie de la géométrie à l'aide de ces deux icones :



: Pour sélectionner les surfaces.



: Pour sélectionner les arrêtes.

Après on clique droit sur l'élément que nous voulons surnomme et on choisi Créer "une sélection nommée" ou directement on clique sur "N", puis Lui donner un nom comme le montre la figure suivante :



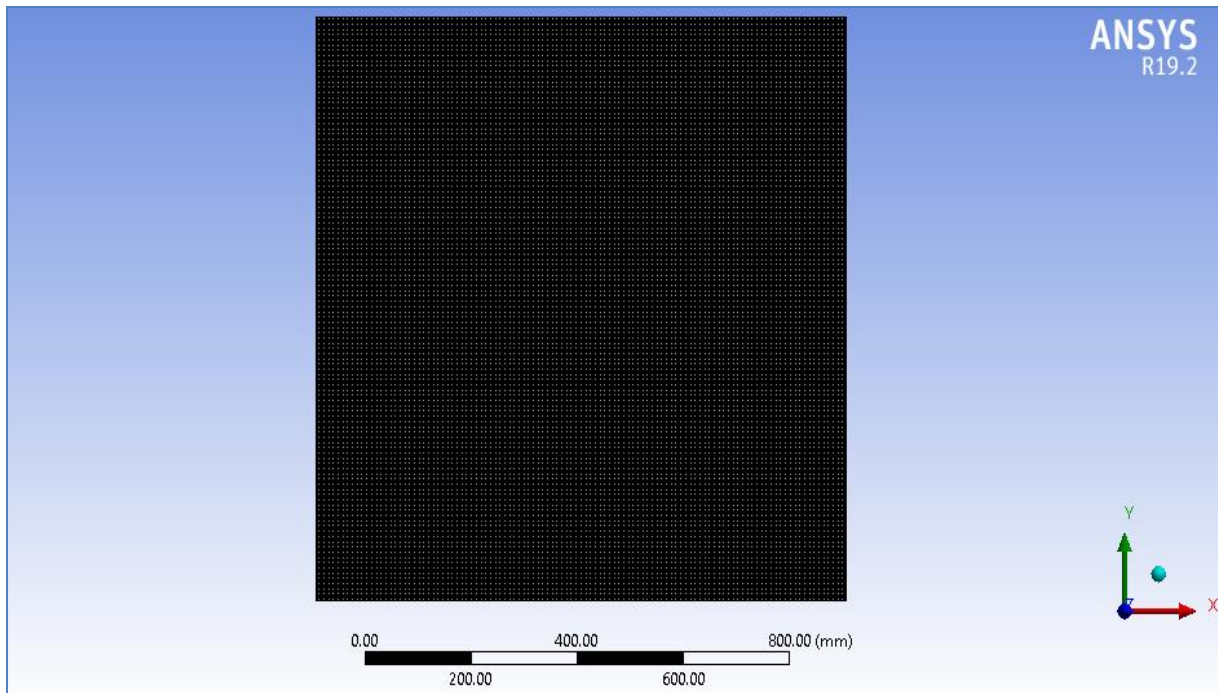


Figure IV.11: le maillage utilisé.

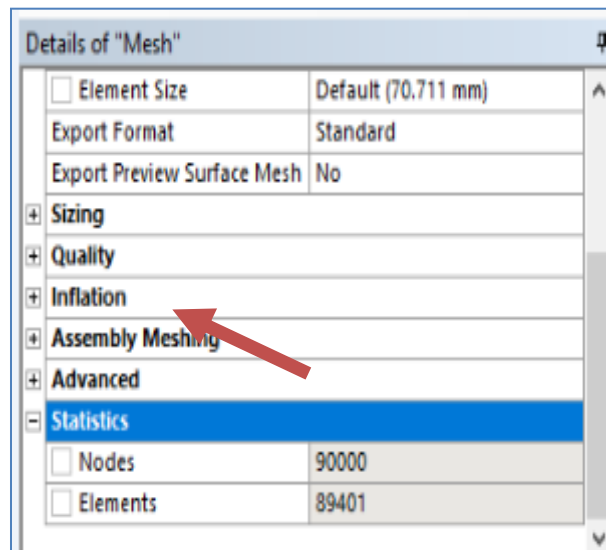


Figure IV.12: le nombre des nœuds et les éléments.

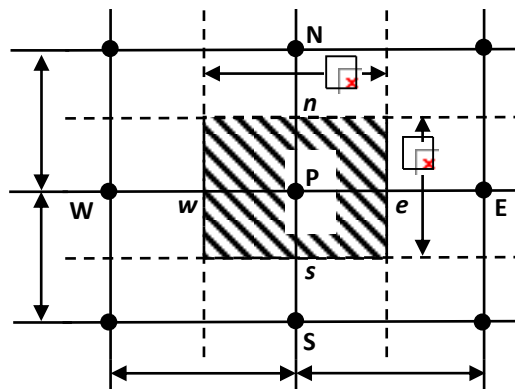
### ✓ Méthode des volumes finis

La méthode des volumes finis a été décrite pour la première fois en 1971 par Patankar et Spalding et publiée en 1980 par **Patankar** [53]; le principe de cette méthode repose sur une technique de discrétisation, qui convertit les équations différentielles aux dérivées partielles en équations algébriques non linéaires, qui peuvent par la suite être résolues numériquement. Elle se distingue par la fiabilité de ses résultats, son adaptation au problème physique, sa possibilité de traiter des géométries complexes, sa garantie pour la conservation de masse et

de quantité de mouvement et de tout scalaire transportable sur chaque volume de contrôle, dans tout le domaine de calcul, ce qui n'est pas le cas pour les autres méthodes numériques.

Le domaine de calcul est divisé en un nombre fini de sous-domaines élémentaires, appelés volumes de contrôle, Chacun de ces derniers englobe un nœud, dit nœud principal, comme il est indiqué sur la **Figure (IV.12)**. La technique des volumes finis consiste à intégrer les équations aux dérivées partielles pour obtenir les équations discrétisées, qui conservent toutes les grandeurs physiques sur chaque volume de contrôle. Elle comporte essentiellement les étapes suivantes :

- La division du domaine considéré en volumes de contrôle;
- La formulation intégrale des équations différentielles aux dérivées partielles;
- Ecriture des équations algébriques aux nœuds du maillage ;
- Résolution du système algébrique non linéaire obtenu.



**Figure IV.13** : Volume de contrôle bidimensionnel.

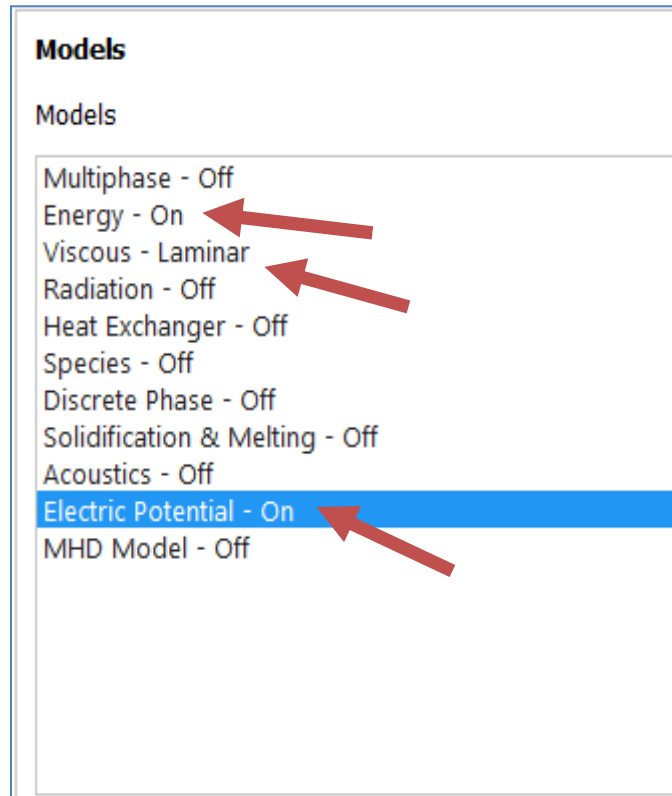
Pour un nœud principal P, les points E et W (Est et Ouest) sont des voisins dans la direction x, tandis que N et S (Nord et Sud) sont ceux dans la direction y. Le volume de contrôle entourant P est montré par des lignes discontinues, alors que les faces sont localisées aux points  $e$  et  $w$  dans la direction x,  $n$  et  $s$  dans la direction y. Dans ce mémoire, la résolution du problème est effectuée par le logiciel FLUENT, qui est basé sur la méthode des volumes finis, en utilisant le schéma « loi de puissance » pour la discrétisation de l'équation de quantité de mouvement et de l'énergie.

### IV.2.5. Configuration

La configuration sous Workbench on a été réalisé avec double-clic sur la configuration dans la boîte Workbench dans cette étapes les sélections nommées seront affichées

automatiquement, on va pose nos conditions aux limites et on va pose les données comme montre les figures suivantes :

- **Model** : laminaire, équation de l'énergie, électrique potentielle.
- **Matériels** : On ajoute les matériels utilisé dans notre étude et changeons les propriétés thermiques et physiques (la masse volumique, la chaleur spécifique, la conductivité thermique et la viscosité dynamique) pour le nano fluide hybride.
- **Cell zone conditions** : Nous avons identifié le nano fluide hybride dans la cavité.
- **Boundary Conditions**: Nous avons identifié les conditions aux limites suivantes :
  - ✓ Wall Coll : Température imposée (Température Froids) avec le champ mantique.
  - ✓ Wall Heat : Température imposée (Température chauds).



**Figure IV.14** : Model (laminaire, équation de l'énergie, électrique potentielle).

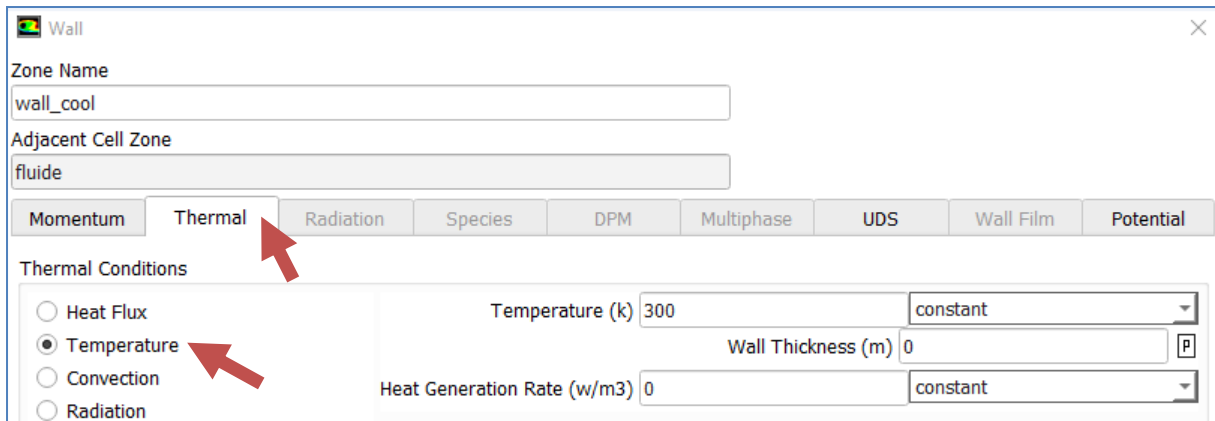


Figure IV.15 : Condition aux limite –Wall Coll- Température imposé.

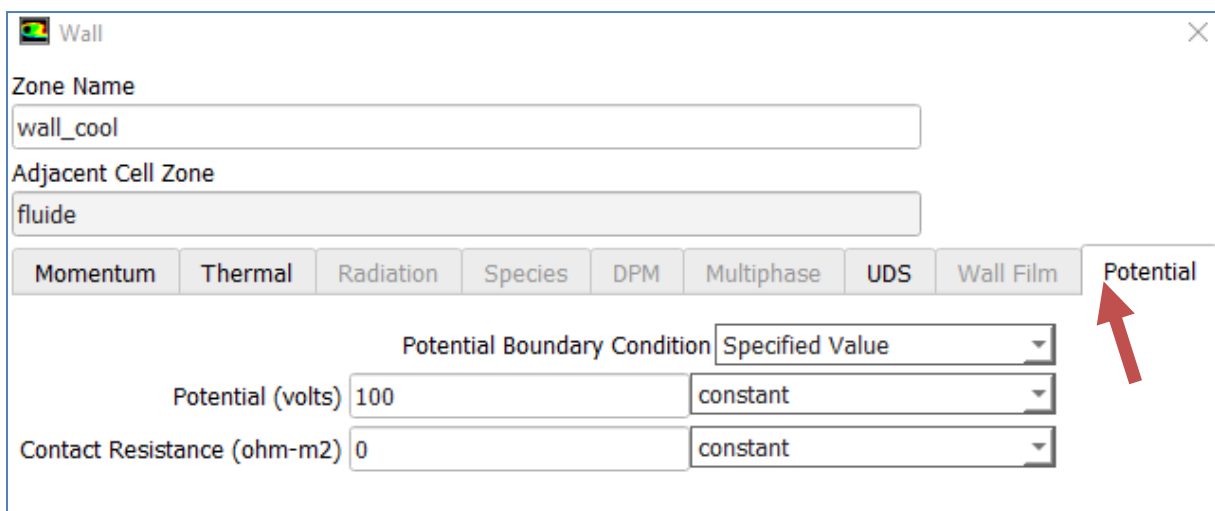


Figure IV.16: Condition aux limite –Wall Coll- le champ mantique.

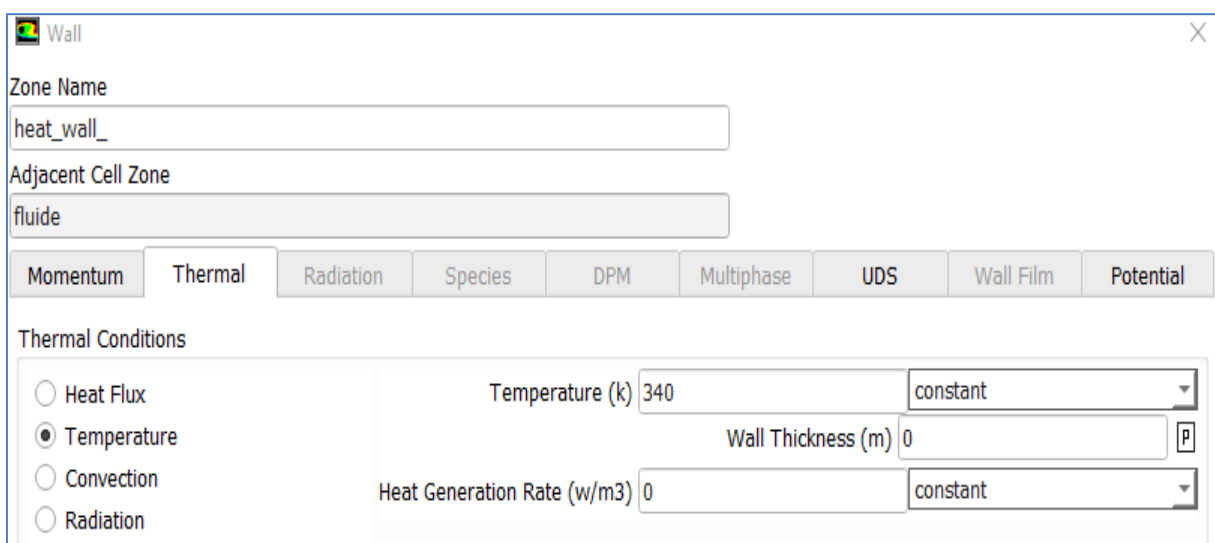
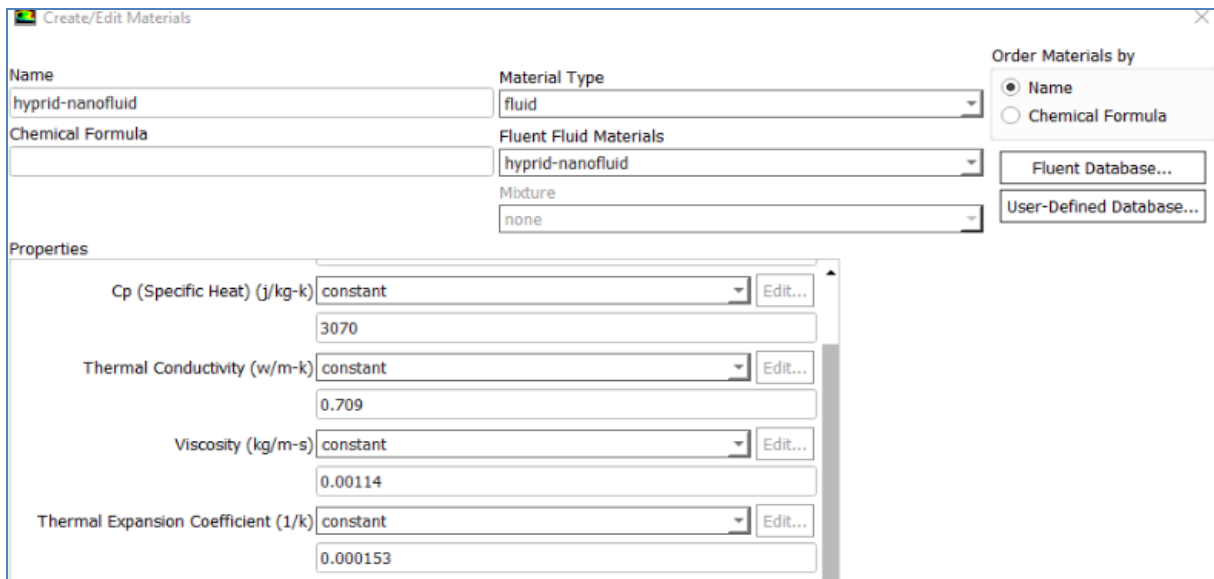


Figure IV.17 : Condition aux limite –Wall Heat- Température imposé.



**Figure IV.18** : Création les données du nano fluide hybride.

### IV.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 DISCUSSIONS

### Résultats et discussions

#### V.1. Introduction

Dans ce chapitre nous avons étudié l'influence de certains paramètres sur le transfert de chaleur par convection libre bidimensionnelle dans une cavité en présence d'un nano fluide hybride (Cu+ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-eau). Les parois sont maintenues à une température constante (froide), tandis que sa paroi inférieure est subit partiellement à une température constante (chaude). Nous effectuons un champ magnétique de côté de la cavité.

Nous présentons dans cette section, l'effet du maillage sur la solution numérique. Les résultats en termes de lignes de courant, d'isothermes, de profils des vitesses, le nombres de Nusselt moyen sont analysés pour différentes valeurs des nombres de Rayleigh et Hartmann de la fraction volumique.

#### V.2. Résultats et interprétation

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 leurs interprétations pour les différents paramètres de l'écoulement d'un nano- fluide hybride qui circule dans une cavité carrée. Dans ce qui va suivre on exposera les résultats de la simulation numérique sur la convection dans une cavité carrée ventilée avec un courant ascendant d'un nano fluide hybride (Cu+ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-eau) et soumise à un champ magnétique. Dans ces simulations la fraction volumique des nanoparticules est un facteur clé, elle varie entre  $\phi = 0$  et 0.05 ; alors que les nombres de Rayleigh et d' Hartmann varient respectivement de  $10^3$  à  $10^6$  et de 0 à 100. Et comme fluide dans notre simulation numérique, le nano-fluide hybride (Cu+ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-eau).les résultats de la simulation sont illustrés clairement par des graphes portent : les résultats du nombre de Nusselt, la variation du coefficient de transfert en fonction du nombre de Rayleigh.....etc. Les résultats obtenus seront analysés et discutés en présentant les champs de température, coefficient de transfert de chaleur par convection distribution des températures , la distribution de vitesse et le nombre de Nusselt en fonction  $Ra$  et la variation du coefficient de transfert  $h$  en fonction  $Ra$  On peut remarquer que par rapport à la température qu'un changement la valeur de la fraction du nano fluide hybride se produit un changement du processus de

refroidissement car chaque valeur du nanoparticule à une conductivité thermique différente de l'autre. De cela, nous concluons que le changement de la valeur de la fraction volumique du nano-fluide hybride ou l'augmentation 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, de plus, l'effet du champ magnétique sur le nano fluide entraîne une augmentation L'effets de nombre Ha sur l'écoulement du fluide et le comportement de transfert de chaleur.

### ❖ Propriétés thermo-physiques

Dans nos calculs nous avons utilisés le nano fluide (Eau-Cu et Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), les propriétés thermo-physiques sont déterminées à partir des modèles mentionné au chapitre trois.

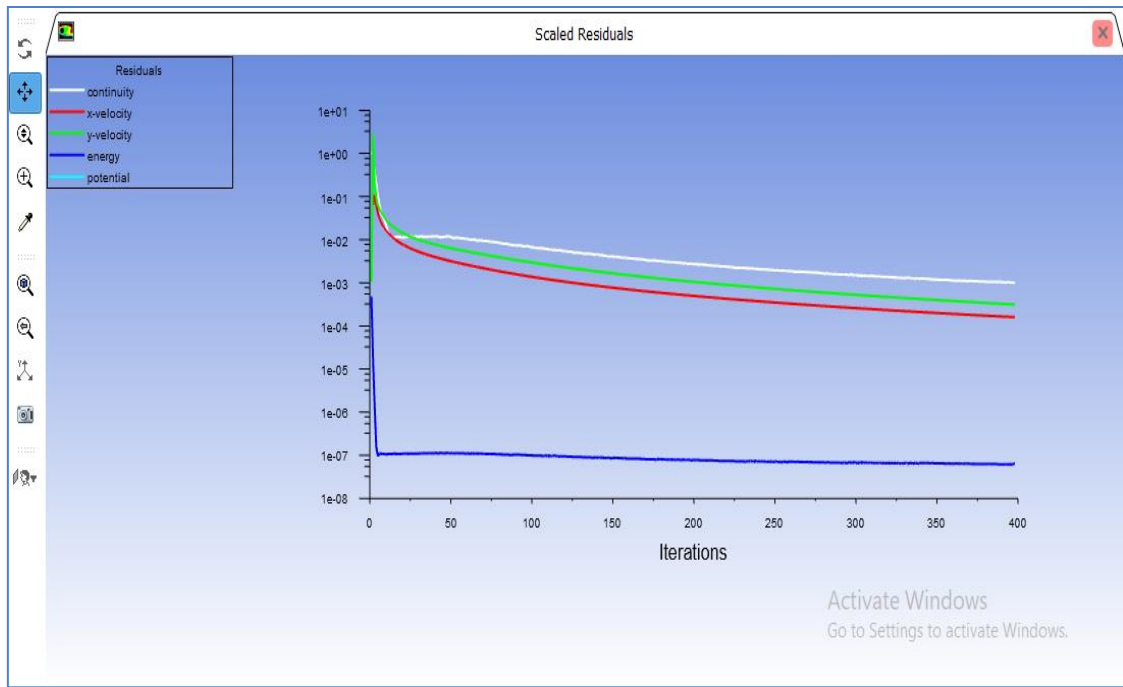
**Tableau V.1** : Propriétés thermo physiques pour le nano fluide.

Fraction volumique du nano fluide hybride	K (W/m. K)	$\mu$ (Kg/m.s)	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	Cp (J/kg. K)	$\beta$ (1/k)	$\sigma$ (Seime/m)
$\phi = 0.05$	0.709	0.00114	1395.99	3070	$1.53 \times 10^{-4}$	-

### V.3. La convergence

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





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

### V.4. Interprétation des résultats de la vitesse

Les graphes de la fig. V.3 montrent les profils de vitesse (a) et de température (b) pour  $Y = 0, 0.2, 0.25, 0.5, 0.75$  et  $1$ . On constate qu'à mesure qu'on s'éloigne de l'entrée le pic de vitesse diminue le long de l'axe de symétrie verticale. Le phénomène inverse est observé dans les couches limites le long des parois verticales conformément à l'analyse des lignes de courant faite ci-dessus. Le constat est moins contrastant pour les profils de températures relevés pour les mêmes positions, où l'on observe clairement le développement des couches limites thermiques sur les parois verticales.

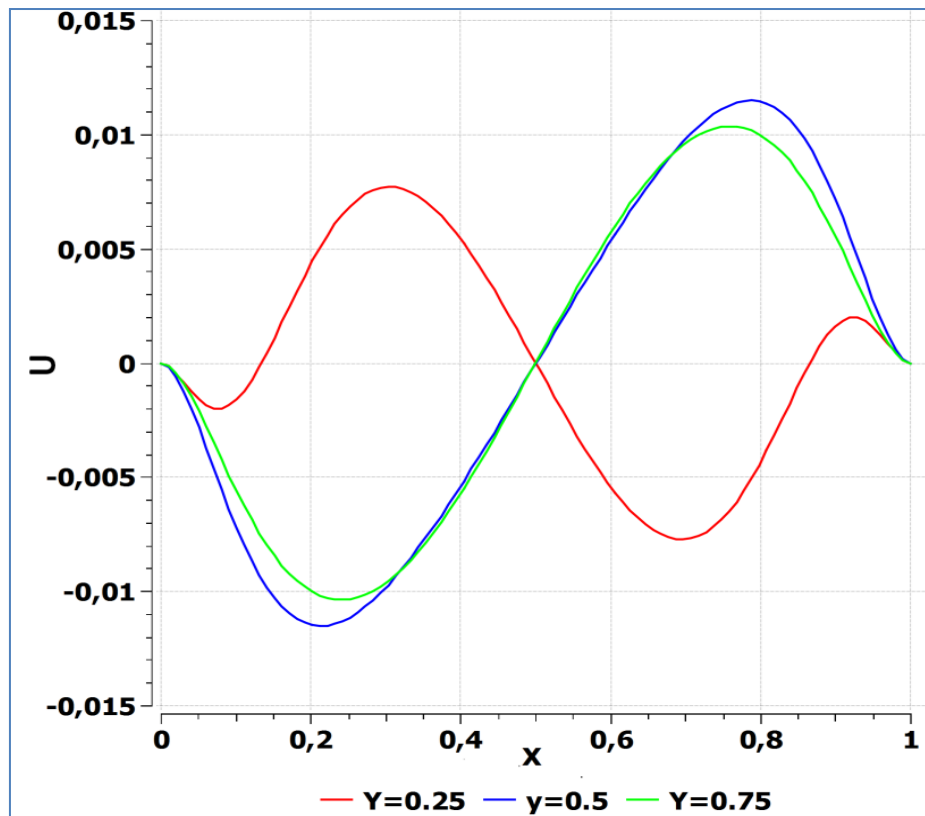


Figure V.2 : Profil la vitesse  $U$  le long des sections ( $y= 0.25 ; y= 0.5, y= 0.75$ ) pour  $\phi = 0$  (Cu-  $Al_2O_3$  /Eau).

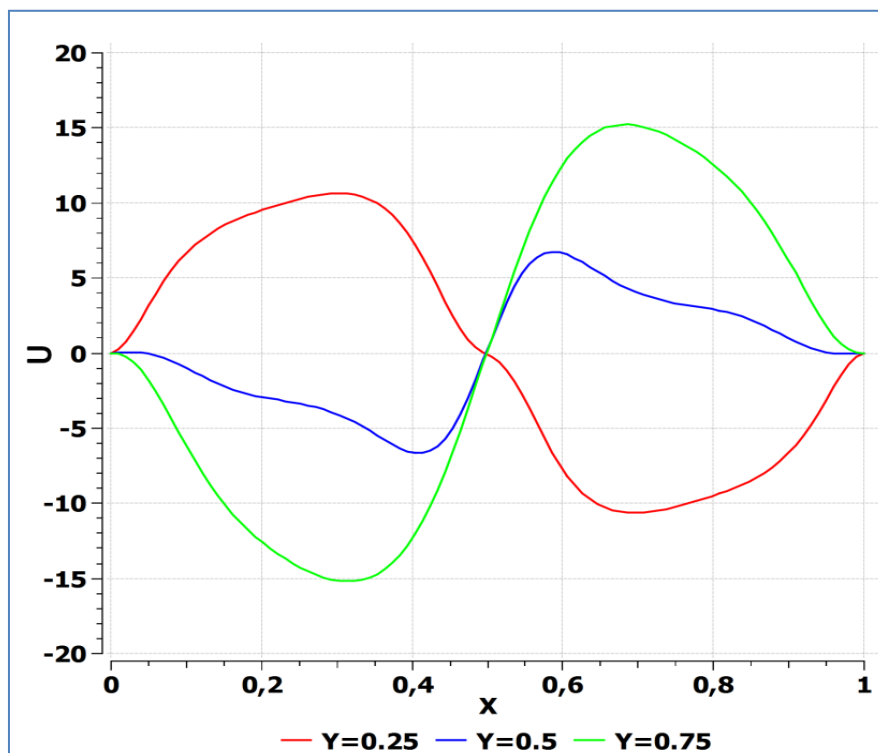
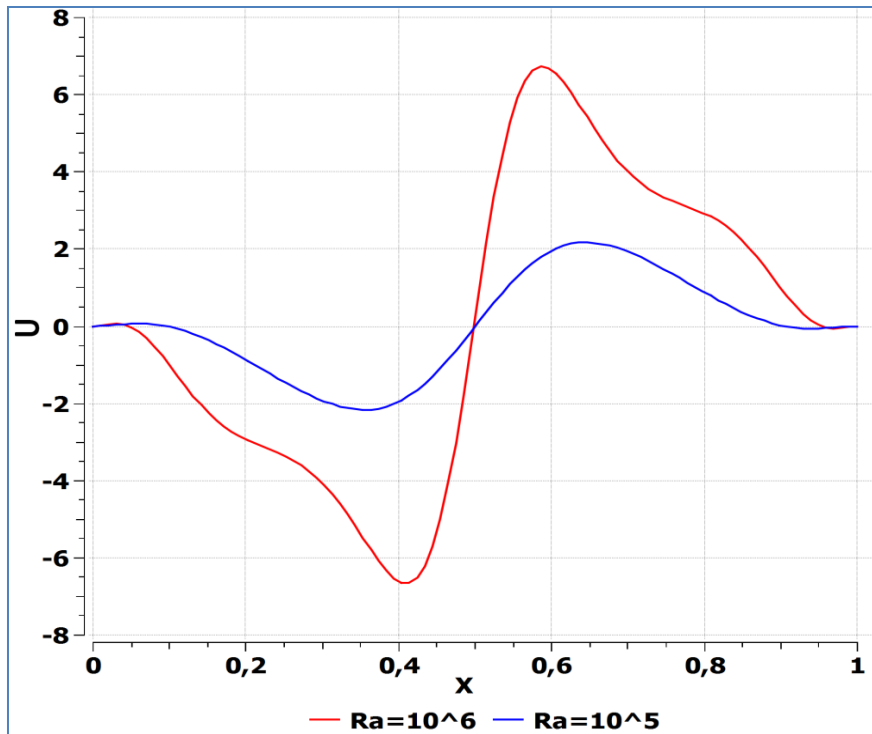


Figure V.3 : Profil de la vitesse le long des sections de l'enceinte ( $y= 0.25 y= 0.5 y= 0.75$ ) pour  $Ra=10^6$  et pour  $\phi = 0, 05$ . (Cu-  $Al_2O_3$  / Eau).



**Figure V.4 :** Profil de la vitesse le long de la section médiane de l'enceinte ( $y=0.5$ ) pour  $Ra=10^5$  et  $Ra=10^6$ .

#### V.4.1. Effet de la fraction volumique des nanoparticules ( $\phi$ )

Les figures (V. 2) et (V. 3) respectivement, illustrent les variations de la vitesse verticale  $V$  et de la température  $T$ , en fonction de la coordonnée horizontale  $X$ . Les profils sont tracés pour différentes valeurs de la fraction volumique et des nombres de Rayleigh et Hartmann suivants:  $Ra=10^3$  à  $10^6$  et  $Ha=0$  à  $100$ . On peut voir que la fraction volumique a un effet considérable sur les profils de vitesse. Une analyse des profils de vitesse montre plusieurs extremums, la valeur maximale est située dans la partie centrale de la cavité correspondant à une fraction volumique de  $\phi = 0$  à  $0.05$ . Cette augmentation est due à l'augmentation de la conductivité thermique du nano fluide hybride.

La fraction volumique a également un effet significatif sur les profils de température comme indiqué sur la Fig. V. 4 qui montre ces profils le long de l'axe médiane verticale ( $Y$ ) de la cavité cela pour différentes concentrations volumiques du nano fluide hybride.

#### ➤ Les contours des lignes de courant

Les contours des lignes de courant dans l'enceinte du  $(Cu-Al_2O_3/eau)$  pour différentes nombre de Rayleigh.

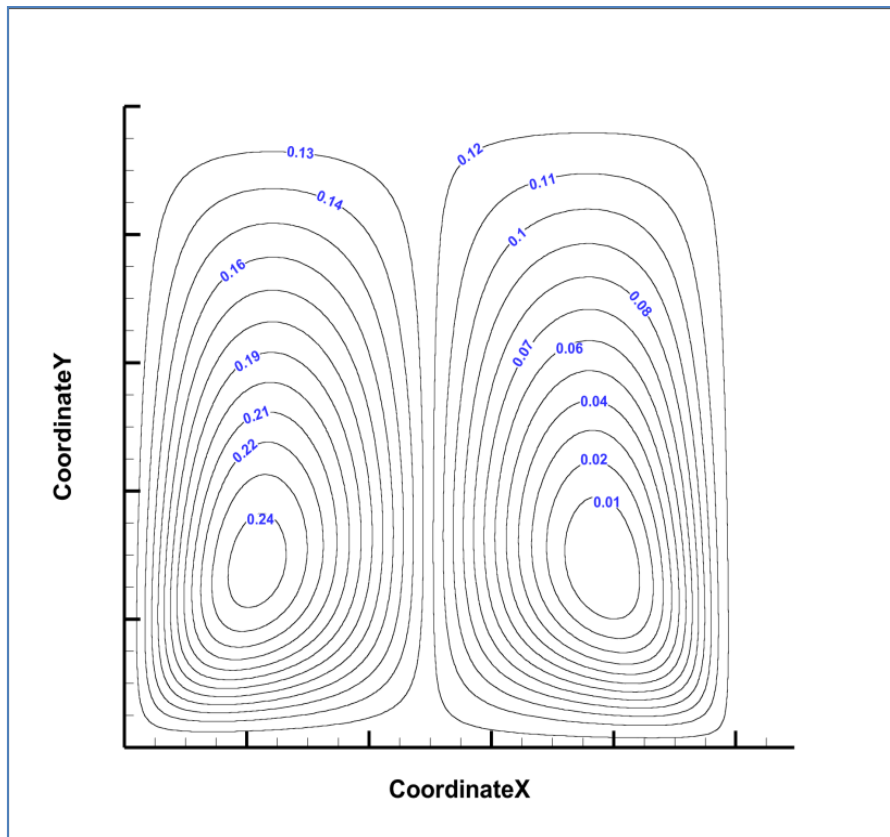


Figure V.5 : Les contours des lignes de courant pour  $Ra=10^3$

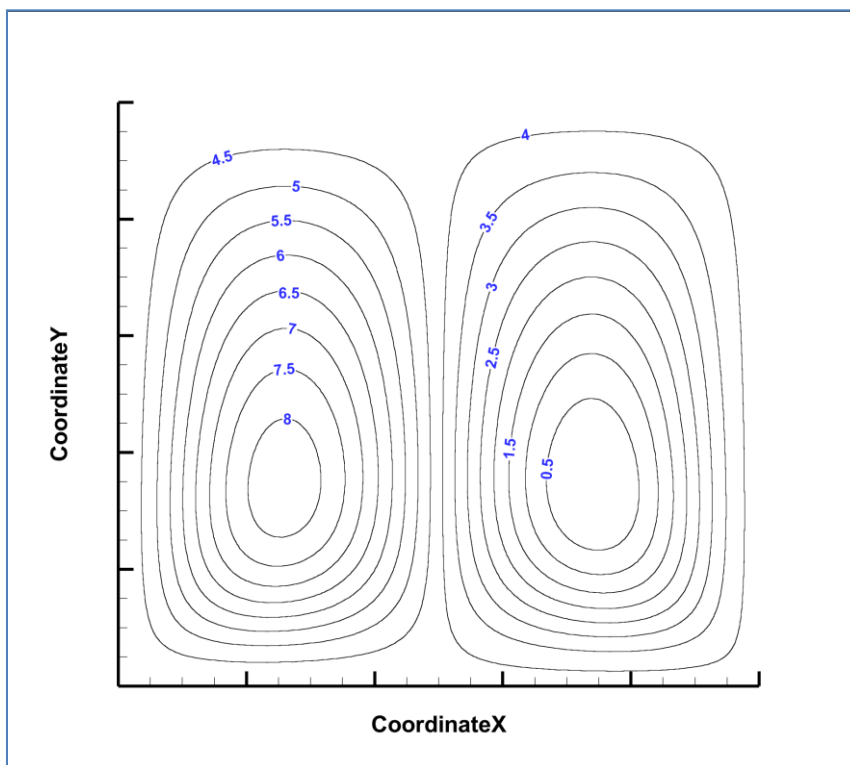


Figure V.6 : Les contours des lignes de courant pour  $Ra=10^4$

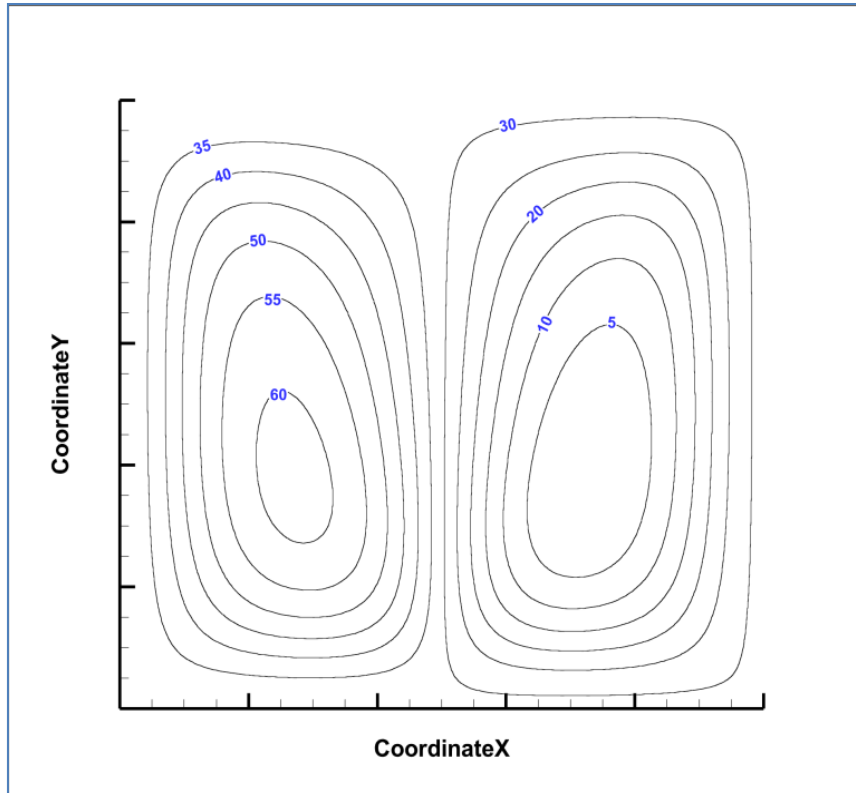


Figure V.7 : Les contours des lignes de courant pour  $Ra=10^5$

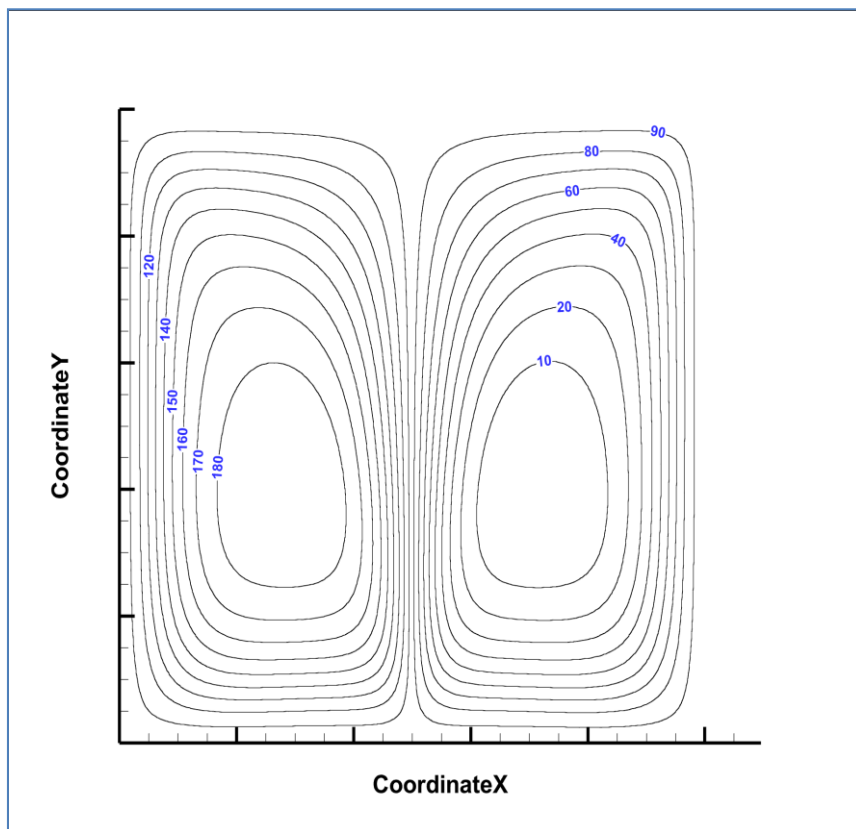
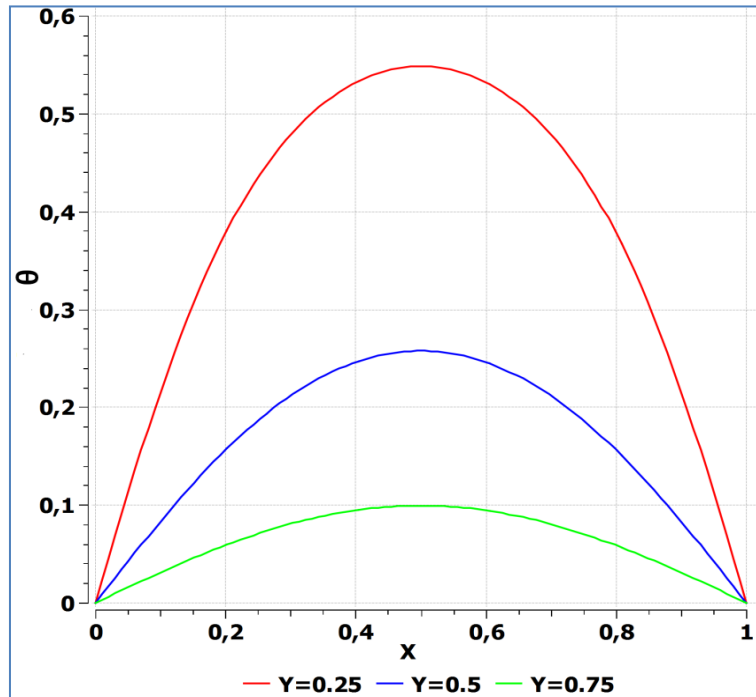


Figure V.8 : Les contours des lignes de courant pour  $Ra=10^6$

### V.5. Interprétation des résultats de la température

La température joue un rôle très important lors de la procédure du calcul, Il est donc nécessaire d'effectuer une idée claire de la température, la figure. V.9 jusqu'a fig. V.11 illustre bien l'évolution du champ de la température totale dans la cavité.



**Figure V.9 :** Profil de la température  $\theta$  et la vitesse  $U$  le long de la section ( $y= 0.25 ; y= 0.5, y= 0.75$ ) pour  $\phi = 0$  (Cu-  $Al_2O_3$  / Eau).

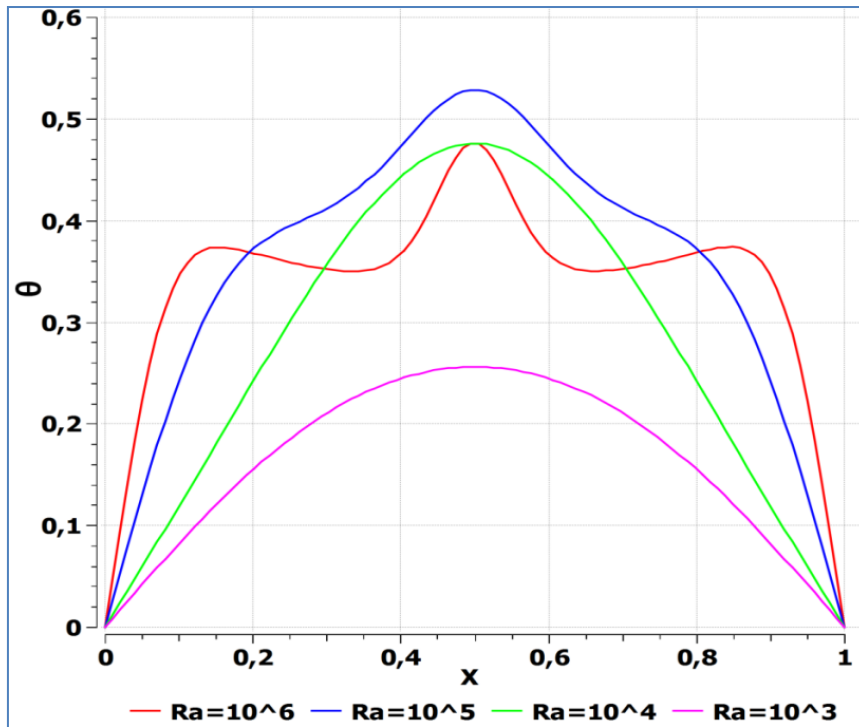


Figure V.10 : Profil de la température le long de la section médiane de l'enceinte ( $y=0.5$ ) pour différents nombre de Rayleigh.

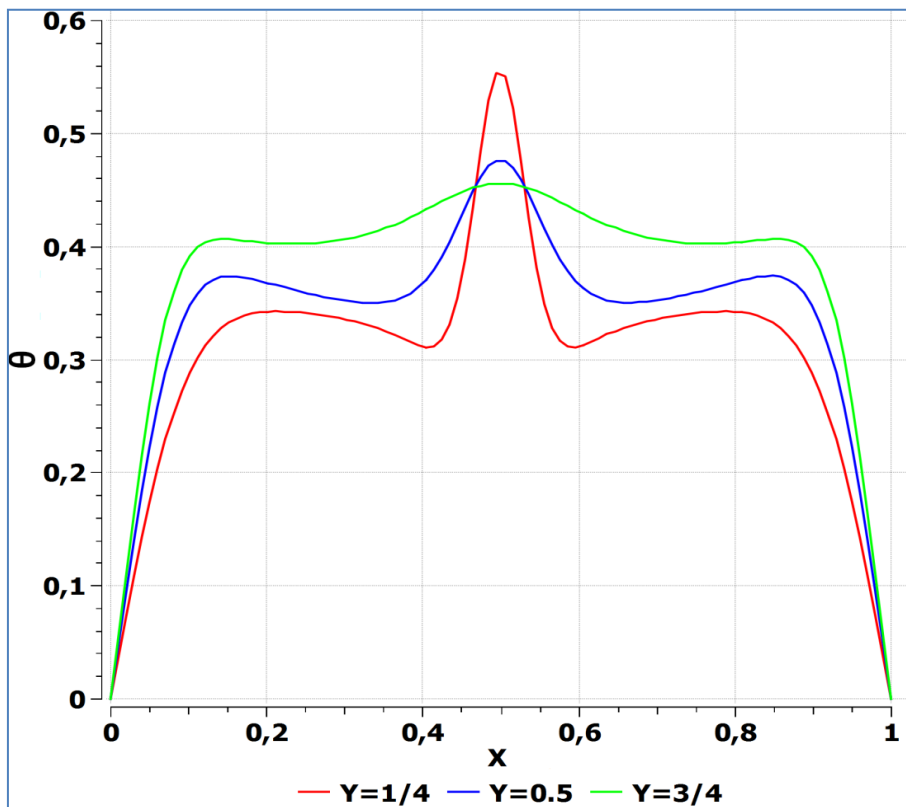


Figure V.11 : Profil de la température le long des sections de l'enceinte ( $y=0.25, 0.5, 0.75$ .) Pour  $Ra=10^6$  et pour  $\phi=0.05$ . (Cu-  $Al_2O_3$  / Eau).

### V.6. Effet de champ magnétique

Pour cela, On a appliqué un champ magnétique uniforme et constant (sens de x) et on a fait varier le nombre de Hartmann dans la gamme.

L'application d'un champ magnétique entraîne un changement notable dans la structure hydrodynamique et thermique de l'écoulement. Les courants de convection diminuent en intensité au fur et à mesure qu'on augmente le nombre de Hartmann. A ce titre, les cellules ou tourbillons au même titre que le panache thermique s'affaiblissent pour disparaître pour des nombres de Hartmann élevés  $Ha=60$  et  $100$ . L'écoulement est alors totalement stratifié. On passe d'un écoulement dont le transfert de chaleur est contrôlé par la convection à celui contrôlé par le processus de diffusion. Les champs dynamiques et thermiques restent toujours symétriques.

Dans cette partie, on s'intéresse à l'effet d'un champ magnétique externe sur la convection dans une cavité carrée, constante selon l'axe  $OX$ . Pour des différentes valeurs du nombre d'Hartmann ( $0 < Ha < 100$ ). Le régime de l'écoulement au sein de la cavité est multicellulaire. L'application de ce champ entraîne des changements remarquables sur la structure hydrodynamique et thermique de l'écoulement. Lorsqu'on augmente le nombre d'Hartmann  $Ha$ , l'écoulement s'organise au fur et à mesure en formant presque deux cellules symétriques par rapport au milieu de la cavité et les lignes de courant se concentrent après la paroi horizontale. Ce résultat est justifié par la naissance de la force de Lorenz résultante qui agit dans la direction perpendiculaire à l'axe  $OX$  et dans le sens contraire de la force de flottabilité.

#### Les contours des Isothermes du Nano fluide hybride

On constate que la présence d'une température chaude sur la paroi inférieure nano fluide hybride ( $Cu-Al_2O_3 / Eau$ ), une fraction  $\phi = 0,05$ , pour différentes nombre de Rayleigh  $Ra=10^3$  à  $Ra=10^6$ , provoque une augmentation du taux de transfert de chaleur dans l'enceinte. Cela justifié par les couches isothermes fluides supérieures dans l'enceinte. Cet effet détermine également la forme des lignes profilées ayant une valeur maximale dans le centre haut de l'enceinte, **Figure V.12 à Figure V.15**.



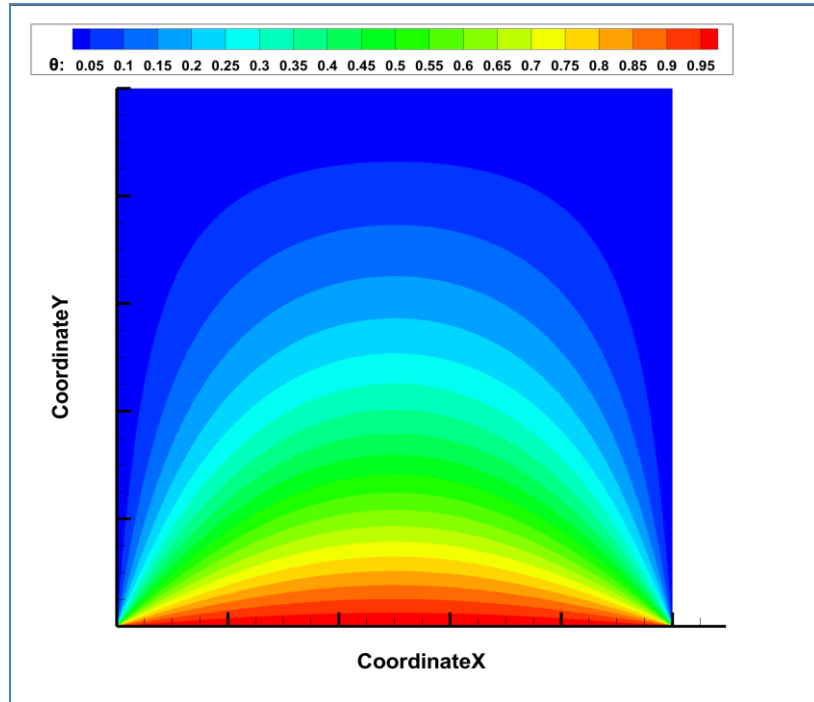


Figure V.12 : Les contours des Isothermes pour  $Ra=10^3$

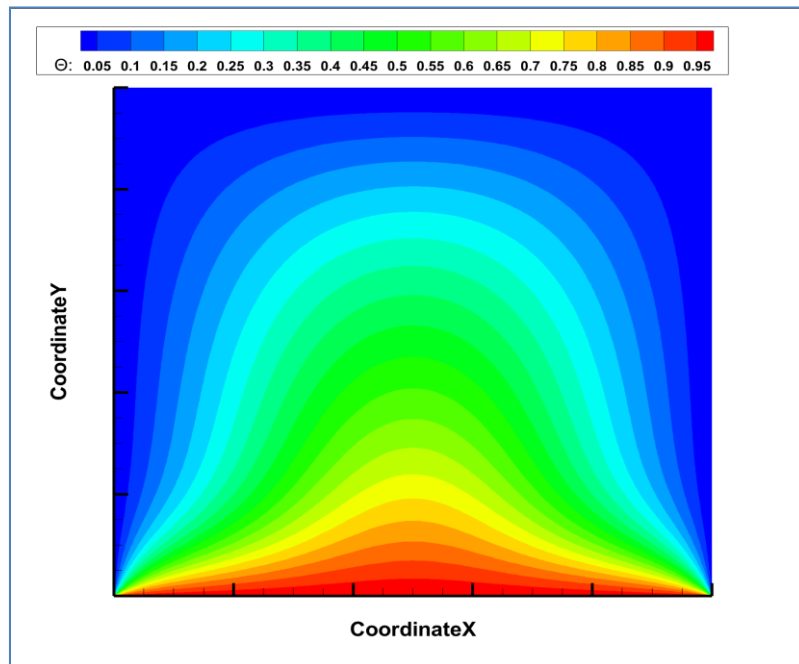


Figure V.13 Les contours des Isothermes pour  $Ra=10^4$

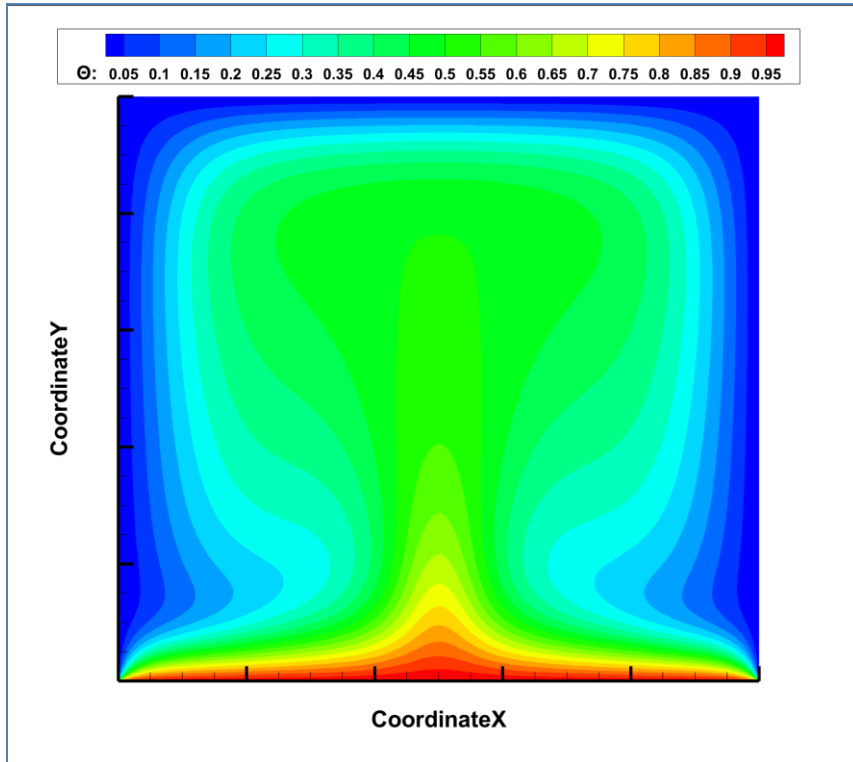


Figure V.14 : Les contours des Isothermes pour  $Ra=10^5$

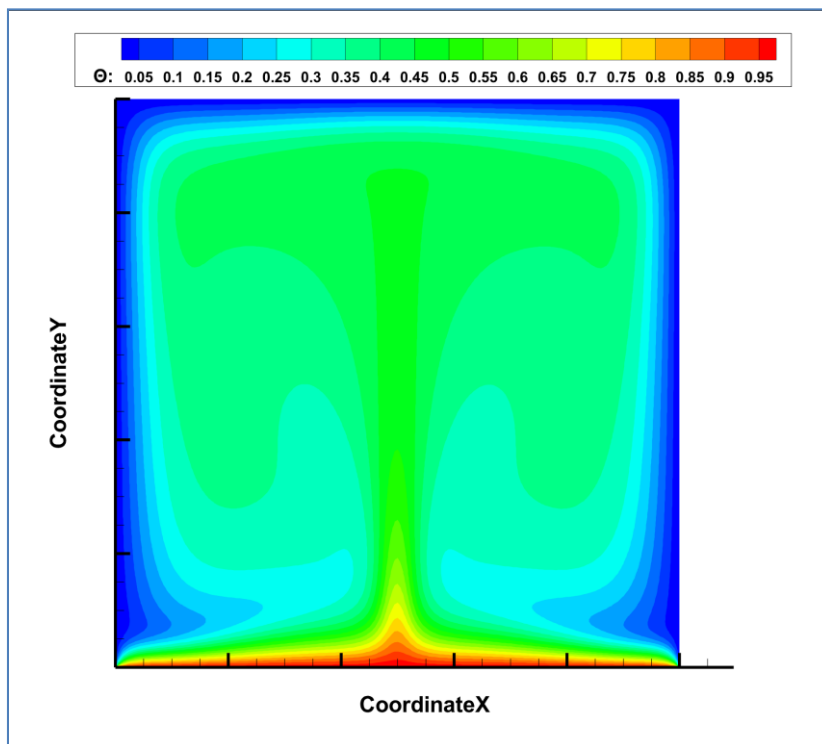


Figure V.15 : Les contours des Isothermes pour  $Ra=10^6$

## V.7. Nombre de Nusselt

### V.7.1. Nombre de Nusselt local le long de la paroi chaude

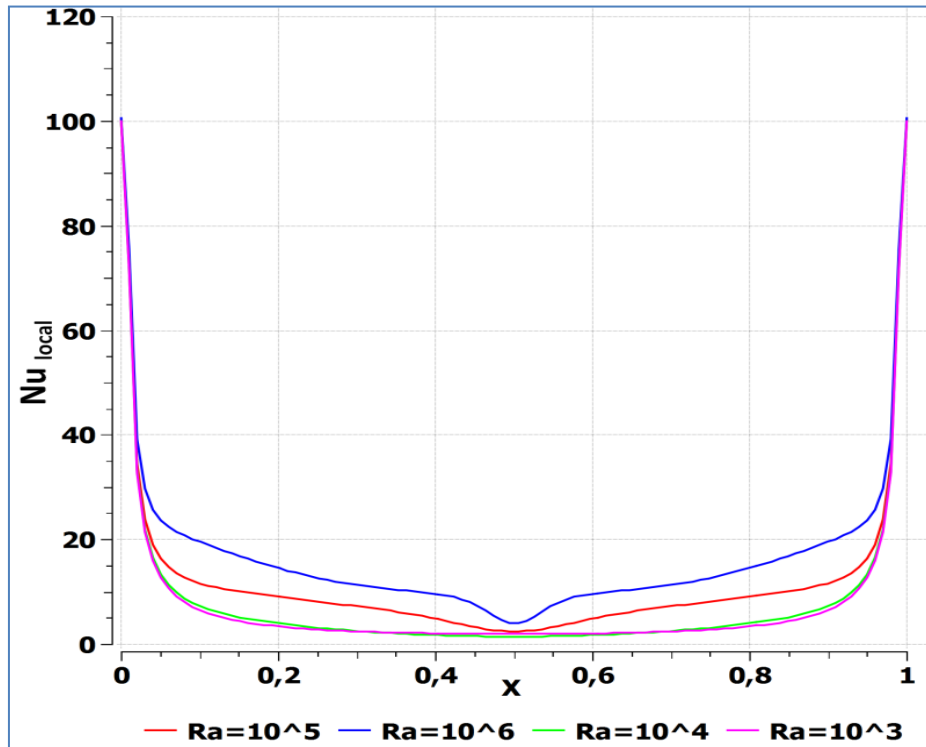


Figure V.16 : Nombre de Nusselt local.

#### ➤ Effet de Nombre de Nusselt local

La **figure V. 16** montre les lignes de courant et les isothermes pour  $\phi = 0$  et  $\phi = 0.05$  ;  $Ra= 10^3$  et  $10^6$ . Nous pouvons voir que l'écoulement est symétrique par rapport à l'axe de symétrie vertical de la cavité ; ceci est dû à la symétrie de la géométrie et des conditions aux limites. De plus, lorsque le nombre de Rayleigh augmente de  $10^3$  à  $10^6$  l'écoulement est accéléré à cause de l'accroissement des forces de flottabilité, donc l'écoulement est plus intense. Des symétries similaires sont observées pour les isothermes.

### V.7.2. Nombre de Nusselt moyen

L'allure du nombre du Nusselt moyen au long de la paroi chaude de l'enceinte pour différents nombres de Rayleigh ( $Ra$ ) est présenté dans la **figure V.17**.

On remarque clairement qu'avec l'augmentation du nombre de Rayleigh le nombre augmente aussi ce que justifié par l'augmentation du coefficient d'échange thermique.

D'une manière générale, les valeurs du nombre de Nusselt moyen pour le nanofluide hybride sont plus élevés que celles relatives au nanofluide simple. En d'autres termes, l'augmentation

de la concentration totale en nanoparticules favorise les échanges thermiques, étant donné l'effet de la conductivité thermique du fluide.

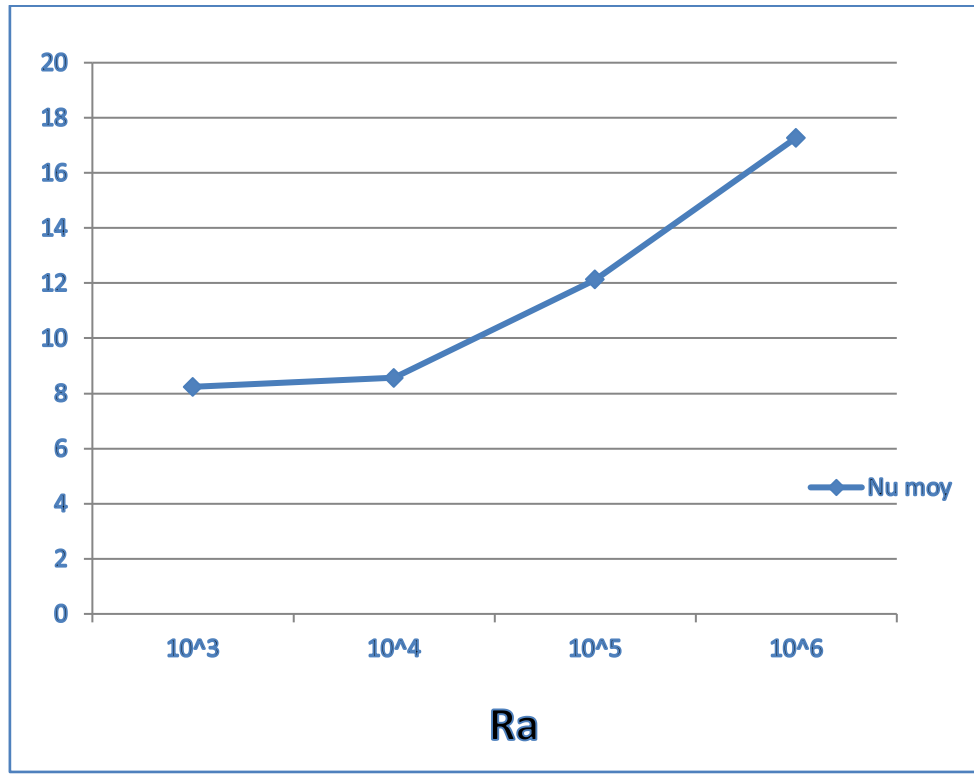


Figure V.17 : Présentation du Nombre de Nusselt moyen.

### V.8. Conclusion :

Dans la présente étude, la convection dans une cavité à couvercle rempli d'un nano fluide hybride en présence d'un champ magnétique est étudiée numériquement en utilisant la méthode des volumes finis. La paroi inférieure est chauffée par une température constante et L'autre paroi à température constante. Les effets de  $Ra$  et  $Ha$  sur l'écoulement du fluide et le comportement de transfert de chaleur sont présentés.

# CONCLUSION GENERALE

## *Conclusion générale*

On a montré dans ce mémoire, qu'une application d'un champ magnétique pouvait modifier complètement l'écoulement de la convection thermique dans une cavité chauffée par sa paroi inférieur, remplie par un nano fluide hybride (Cu+ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-eau).

Les études numériques effectuées par le logiciel ANSYS, à différents nombres de Rayleigh et nombres de Hartmann ainsi que celui de la fraction volumique totale en nanoparticules sur les caractéristiques Hydrodynamique et thermique au sein de la cavité. Les résultats obtenus ont permis de faire ressortir les remarques suivantes.

1. Une augmentation de la fraction volumique solide des nanoparticules améliore le transfert de chaleur.
2. Une augmentation des nombres de Rayleigh produit un taux de transfert de chaleur nettement plus élevé.
3. Les simulations effectuées à différentes valeurs des nombres d'Hartmann ont mis en évidence l'existence d'une valeur du champ pour laquelle l'écoulement est ralenti.

D'une façon générale, l'ajout de plusieurs types des nanoparticules permet d'améliorer le transfert thermique.

## *Référence*

- [1] Sadaoui, D., & Boumoula, B. (2020). Nanofluide: Magnétodynamiques: Champ magnétique (Doctoral dissertation, Université Abderahmane MIRA de Bejaia).
- [2] Zaidat, K. (2005). Influence d'un champ magnétique glissant sur la solidification dirigée des alliages métalliques binaires (Doctoral dissertation, INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE GRENOBLE).
- [3] Abdelkader BOUTRA et All « Convection mixte au sein d'une cavité carrée entraînée remplie d'un nanofluide et munie d'un bloc générateur de chaleur », Conference: SFT 2016At: France, Project: Heat and mass transfer within enclosures filled with viscoplastic fluids.
- [4] Saha, L. K., Somadder, M. C., & Roy, N. C. (2015): Hydro-magnetic mixed convection flow in a lid-driven cavity with wavy bottom surface. *American J. App. Math*, 3(1), 8-19.
- [5] Kasaeipoor, A., Ghasemi, B., & Aminossadati, S. M. (2015): Convection of Cu-water nanofluid in a vented T-shaped cavity in the presence of magnetic field. *International Journal of Thermal Sciences*, 94, 50-60.
- [6] Ismael, M. A., Mansour, M. A., Chamkha, A. J., & Rashad, A. M. (2016): Mixed convection in a nanofluid filled-cavity with partial slip subjected to constant heat flux and inclined magnetic field. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 416, 25-36.
- [7] Öztop, H. F., Sakhrieh, A., Abu-Nada, E., & Al-Salem, K. (2017) : Mixed convection of MHD flow in nanofluid filled and partially heated wavy walled lid-driven enclosure. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 86, 42-51.
- [8] Bakar, N. A., Karimipour, A., & Roslan, R. (2016): Effect of magnetic field on mixed convection heat transfer in a lid-driven square cavity. *Journal of Thermodynamics*, 2016.
- [9] EL KHAOUDI FATIMA, GUERAOUI KAMAL, b,MAN-LAYAKHAF SAMIR : LA CONVECTION NATURELLE DES NANOFUIDES EN CAVITÉ RECTANGULAIRE VERTICALE, 12ème Congrès de Mécanique 21-24 Avril 2015 - Casablanca (Maroc).
- [10] Kadja, M., Zaatri, A., Nemouchi, Z., Bessaih, R., Benissaad, S., & Talbi, K : ÉTUDE DE LA CONVECTION A L'INTÉRIEUR D'UNE CAVITE REMPLIE PAR UN FLUIDE CONDUCTEUR ET SOUMISE A UN CHAMP MAGNÉTIQUE EXTERNE.
- [11] Abdelraheem M. Aly , Ehab Mahmoud Mohamed , Noura Alsedais: The magnetic field on a nanofluid flow within a finned cavity containing solid particles, *Case Studies in Thermal Engineering* 25 (2021) 100945.
- [12] Khanafer, K. M., & Chamkha, A. J. (1998): Hydromagnetic natural convection from an inclined porous square enclosure with heat generation. *Numerical Heat Transfer, Part Applications*, 33(8), 891-910.
-

- [13] M. Molana, A.S. Dogonchi, T. Armaghani, Ali J. Chamkha, D.D. Ganji, Iskander Tlili: Investigation of Hydrothermal Behavior of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O Nanofluid Natural Convection in a Novel Shape of Porous Cavity Subjected to Magnetic Field Dependent (MFD) Viscosity. *Journal of Energy Storage* 30 (2020) 101395.
- [14] A.S. Dogonchi, Zeeshan Asghar, M. Waqas: CVFEM simulation for Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O nanofluid in an annulus between two triangular enclosures subjected to magnetic field and thermal radiation. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 112 (2020) 104449.
- [15] Sarris, I. E., Kakarantzas, S. C., Grecos, A. P., & Vlachos, N. S. (2005): MHD natural convection in a laterally and volumetrically heated square cavity. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 48(16), 3443-3453.
- [16] Qi, J., Wakayama, N. I., & Yabe, A. (1999): Attenuation of natural convection by magnetic force in electro-nonconducting fluids. *Journal of crystal growth*, 204(3), 408-412.
- [17] S. Bouabdallah, A. Medjelled, A. Benchatti & A. Hamini (2011) : Convection Mixte dans une Cavité Carrée Contenant des Portes d'entrée et de Sortie d'air.
- [18] Berrahil, F., Benissaad, S., Chérifa, A., & Médale, M. (2014): Natural convection with volumetric heat generation and external magnetic field in differentially heated.
- [19] Munshi, M. J. H., Alim, M. A., Bhuiyan, A. H., & Ali, M. (2017): Hydrodynamic mixed convection in a lid-driven square cavity including elliptic shape heated block with corner heater. *Procedia engineering*, 194, 442-449.
- [20] Al-Rashed, A. A., Shahsavari, A., Akbari, M., Toghraie, D., Akbari, M., & Afrand, M. (2019): Finite Volume Simulation of mixed convection in an inclined lid-driven cavity filled with nanofluids: Effects of a hot elliptical centric cylinder, cavity angle and volume fraction of nanoparticles. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 527, 121122.
- [21] Lounes Benkezim, « Simulation numérique de la convection naturelle d'un nanofluide dans une cavité rectangulaire », Thèse de magistère, Université M'hamed Bougara-Boumerdes, 2013.
- [22] Lee, S., SU-S. Choi, S, and Li, and J. A. Eastman. "Measuring thermal conductivity of fluids containing oxide nanoparticles." (1999): 280-289.
- [23] Khattak, M. A., A. Mukhtar, and S. Kamran Afaq. "Application of nano-fluids as coolant in heat exchangers: a review." *J. Adv. Rev. Sci. Res* 22, no. 1 (2016): 1-11.
- [24] Sidik, NA Che, and O. Adnan Alawi. "Computational investigations on heat transfer enhancement using nanorefrigerants." *J. Adv. Res. Des.* 1, no. 1 (2014): 35-41.
- [25] Sarkar J, Ghosh P, Adil A. A review on hybrid nanofluids: recent research, development and applications. *Renew Sustain Energy Rev* 2015;43:164–77.
-



- [26] Sinz C, Woei H, Khalis M, Abbas SA. Numerical study on turbulent force convective heat transfer of hybrid nanofluid, Ag/HEG in a circular channel with constant heat flux. *J Adv Res Fluid Mech Therm Sci* 2016;24:1–11.
- [27] Choi, S. Eastman, JA. - Enhancing thermal conductivity of fluids with nano-particles. *ASME-Publications-FED*.1995; 231:99–106.
- [28] Saidur, R. Leong, K. Y, Mohammad, H A.—A review on applications and challenges of nanofluids. *Renew Sust Energ Rev*.2011; 15, no.3: 1646–1668.
- [29] <https://fr.lambdageeks.com/nanofluid/> date de consultation.2/.6/2021
- [30] Das, SK. Choi, S U S. Yu, W.Pradeep, T. *Nanofluids: Science and Technology*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2007.
- [31] Nor Azwadi Che Sidika, , Muhammad Mahmud Jamilb , Wan Mohd Arif Aziz Japara , Isa Muhammad Adamu. A review on preparation methods, stability and applications of hybrid nanofluids. *Renwable ande sustianable Energy reviews* 80 (2017) 1112-1122.
- [32] Amrid MAMMERI, ‘Amélioration des performances énergétiques des systèmes de refroidissement industriels : Application aux serveurs informatiques’, Doctorat Paris Tech, l’École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Paris, 2014.
- [33] Abbasi, Saloumeh Mesgari, Alimorad Rashidi, Ali Nemati, and Kaveh Arzani. "The effect of functionalisation method on the stability and the thermal conductivity of nanofluid hybrids of carbon nanotubes/gamma alumina." *Ceramics International* 39, no. 4 (2013): 3885-3891.
- [34] S. Witharana, H. Chen, Y. Ding, Stability of nanofluids in quiescent and shear flow fields, *Nanoscale Res. Lett.* 6 (1) (2011) 231.
- [35] W. Evans, J. Fish, P. Keblinski, Rôle de l'hydrodynamique du mouvement brownien sur la conductivité thermique des nanofluides, *Appl. Phys. Lett.* 88 (9) (2006) 093116.
- [36] Suresh, S., K. P. Venkataraj, and P. Selvakumar. "Synthesis, Characterisation of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Cu Nano composite powder and water based nanofluids." In *Advanced Materials Research*, vol. 328, pp. 1560-1567. Trans Tech Publications Ltd, 2011.
- [37] Sundar, L. Syam, Manoj K. Singh, and Antonio CM Sousa. "Thermal conductivity of ethylene glycol and water mixture based Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanofluid." *International communications in heat and mass transfer* 49 (2013): 17-24.
- [38] Lee, Geun Hee, Joong Hak Park, Chang Kyu Rhee, and Whung Whoe Kim. "Fabrication of Al nano powders by pulsed wire evaporation (PWE) method." *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 9, no. 1 (2003): 71-75.
-

- [39] Lee, P. Y., K. Ishizaka, H. Suematsu, W. Jiang, and K. Yatsui. "Magnetic and gas sensing property of nanosized NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> powders synthesized by pulsed wire discharge." *Journal of Nanoparticle Research* 8, no. 1 (2006): 29.
- [40] Munkhbayar, B., Md Riyad Tanshen, Jinseong Jeoun, Hanshik Chung, and Hyomin Jeong. "Surfactant-free dispersion of silver nanoparticles into MWCNT-aqueous nanofluids prepared by one-step technique and their thermal characteristics." *Ceramics International* 39, no. 6 (2013): 6415-6425.
- [41] Baby, Tessy Theres, and Sundara Ramaprabhu. "Synthesis and nanofluid application of silver nanoparticles decorated graphene." *Journal of Materials Chemistry* 21, no. 26 (2011): 9702-9709.
- [42] Chopkar, Manoj, S. Kumar, D. R. Bhandari, Prasanta K. Das, and Indranil Manna. "Development and characterization of Al<sub>2</sub>Cu and Ag<sub>2</sub>Al nanoparticle dispersed water and ethylene glycol based nanofluid." *Materials Science and Engineering: B* 139, no. 2-3 (2007): 141-148.
- [43] Hwang Y, Lee J, Lee C, Jung Y, Cheong S, Lee C, et al. Stability and thermal conductivity characteristics of nanofluids. *Thermochim Acta* 2007;455:70–4.
- [44] S. Jana, A. Salehi-khojin, W.H. Zhong, Amélioration de la conductivité thermique des fluides par l'ajout de nano-additifs simples et hybrides, *Thermochim. Acte* 462 (1 2) (2007) 45 55.
- [45] A. Ijam, R. Saidur, Nanofluid as a coolant for electronic devices (cooling of electronic devices), *Appl. Therm. Eng.* 32 (2012) 76 82.
- [46] Soufi, E., H., (2013): Application des nanofluides pour le refroidissement : étude d'un cas d'une géométrie simple, Thèse de Master en Génie Chimique, Université Kasdi Merbah d'Ouargla.
- [47] Melle Nehal Sara, Contribution à l'étude des transferts thermiques dans les échangeurs, mémoire de master université de Université A. MIRA-BEJAIA, 2017.
- [48] KHIDER fatma Zohra, Amélioration de la convection mixte en utilisant des ailettes cylindriques avec des ouvertures au niveau de la base, mémoire de master université Mohamed Boudiaf-Mssila 2016.
- [49] Bejan, A., and Al M. Morega. "Optimal arrays of pin fins and plate fins in laminar forced convection." (1993): 75-81.
- [50] Pak, B. C., & Cho, Y. I. (1998). Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles. *Experimental Heat Transfer an International Journal*, 11(2), 151-170.
-

[51] Bianco, V., Manca, O., & Nardini, S. (2014). Entropy generation analysis of turbulent convection flow of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–water nanofluid in a circular tube subjected to constant wall heat flux. *Energy Conversion and Management*, 77, 306-314.

[52] REZAIGUIA Issam, investigation des échanges convectifs dans diverses configuration, thèse de Doctorat UNIVERSITE CONSTANTIN 1, 2014.

[53] Athmani, B. (2014). Analyse expérimentale et numérique du déversoir en touche de piano «PK-WEIR» (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider Biskra).

---

---

## RÉSUMÉ

On a montré dans cette étude numérique, qu'une présence d'un champ magnétique dans un sens pouvait modifier complètement l'écoulement de la convection thermique dans une cavité carrée chauffée par sa paroi inférieure, remplie par un nano-fluide hybride (Cu+ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-eaux). Les études numériques effectuées par le logiciel ANSYS VERSION2019, à différents nombres de Rayleigh et nombre d'Hartmann ainsi que celui de la fraction volumique totale en nanoparticules sur les caractéristiques Hydrodynamique et thermique au sein de la cavité. Les résultats obtenus ont permis de faire ressortir les remarques suivantes.

Une augmentation de la fraction volumique solide des nanoparticules améliore le transfert de chaleur, une augmentation des nombres de Rayleigh produit un taux de transfert de chaleur nettement plus élevé, les simulations effectuées à différentes valeurs des nombres d'Hartmann ont mis en évidence l'existence d'une valeur du champ pour laquelle l'écoulement est ralenti. D'une façon générale, l'ajout de plusieurs types des nanoparticules permet d'améliorer le transfert thermique.

Mots clés :

Transfert de chaleur convectif, Nanofluide, Nanofluide hybride, magnétodynamiques.

---

## ABSTRACT

It was shown in this numerical study, that a presence of a magnetic field in one direction could completely modify the flow of thermal convection in a square cavity heated by its lower wall, filled with a hybrid nano-fluid (Cu + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> -waters).

The numerical studies carried out by the ANSYS VERSION2019 software, at different Rayleigh numbers and Hartmann numbers as well as that of the total volume fraction in nanoparticles on the hydrodynamic and thermal characteristics within the cavity. The results obtained made it possible to bring out the following remarks.

An increase in the solid volume fraction of nanoparticles improves heat transfer, an increase in Rayleigh numbers produces a significantly higher heat transfer rate, simulations performed at different values of Hartmann numbers have shown the existence a value of the field for which the flow is slowed down. In general, adding more types of nanoparticles improves heat transfer.

Keywords:

Convective heat transfer, Nanofluid, Hybrid nanofluid, magnetodynamics.

---