

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Installation énergétique et turbomachine

Par :

- **IGHENNOUSSEN Lyes**
- **BOULEDOUAR Noamane**
- **DJEBARA Walid**

Thème

➤ **Convection mixte dans une cavité carrée remplie de nanofluide.**

Soutenu le **22/09/2022** devant le jury composé de :

Mr. M.BOUTALBI	MCB	Président
Mr. M.ADNANI	MAB	Rapporteur
Mr. M.ALIAGHA	MCA	Examineur

Année Universitaire 2021-2022



Déclaration sur l'honneur
Engagement pour respecter les règles d'authenticité
scientifique dans l'élaboration d'un travail de recherche

*Arrêté ministériel n° 1082 du 27 Décembre 2020,
Fixant les règles relatives à la prévention et la lutte contre le plagiat*

Je soussigné,

Nom : DJEBARA
Prénom : Walid
Matricule : 161633005037
Spécialité et/ou Option : Installation énergétique et turbomachine.
Département : Génie mécanique.
Faculté : Sciences et technologies.
Année universitaire : 2021/2022.

et chargé de préparer un mémoire de (*Licence, Master, Autres à préciser*) : Master.

Intitulé: Convection mixte dans une cavité carrée remplie de nanofluide.

déclare sur l'honneur, m'engager à respecter les règles scientifiques, méthodologiques, et les normes de déontologie professionnelle et de l'authenticité académique requises dans l'élaboration du projet de fin de cycle cité ci-dessus.

Fait à Béjaïa le 22/09/2022

Signature de l'intéressé

Lu et approuvé

.....



Déclaration sur l'honneur
Engagement pour respecter les règles d'authenticité
scientifique dans l'élaboration d'un travail de recherche

*Arrêté ministériel n° 1082 du 27 Décembre 2020,
Fixant les règles relatives à la prévention et la lutte contre le plagiat*

Je soussigné,

Nom : IGHENNOUSSEN
Prénom : Lyes
Matricule : 161633012116
Spécialité et/ou Option : Installation énergétique et turbomachine.
Département : Génie mécanique.
Faculté : Sciences et technologies.
Année universitaire : 2021/2022.

et chargé de préparer un mémoire de (*Licence, Master, Autres à préciser*) : Master.

Intitulé: Convection mixte dans une cavité carrée remplie de nanofluide.

déclare sur l'honneur, m'engager à respecter les règles scientifiques, méthodologiques, et les normes de déontologie professionnelle et de l'authenticité académique requises dans l'élaboration du projet de fin de cycle cité ci-dessus.

Fait à Béjaïa le 22/09/2022

Signature de l'intéressé

Lu et approuvé

.....



Déclaration sur l'honneur
Engagement pour respecter les règles d'authenticité
scientifique dans l'élaboration d'un travail de recherche

*Arrêté ministériel n° 1082 du 27 Décembre 2020,
Fixant les règles relatives à la prévention et la lutte contre le plagiat*

Je soussigné,

Nom : BOULEDOUAR
Prénom : Noamane
Matricule : 171733009463
Spécialité et/ou Option : Installation énergétique et turbomachine.
Département : Génie mécanique.
Faculté : Sciences et technologies.
Année universitaire : 2021/2022.

et chargé de préparer un mémoire de (*Licence, Master, Autres à préciser*) : Master.

Intitulé: Convection mixte dans une cavité carrée remplie de nanofluide.

déclare sur l'honneur, m'engager à respecter les règles scientifiques, méthodologiques, et les normes de déontologie professionnelle et de l'authenticité académique requises dans l'élaboration du projet de fin de cycle cité ci-dessus.

Fait à Béjaïa le 22/09/2022

Signature de l'intéressé

Lu et approuvé

.....

Remerciements

Suite à l'élaboration de ce travail, et avant tous chose nous tenons à remercier le bon dieu de nous avoir donné le courage, la volonté ainsi la patience pour mener ce travail jusqu'à sa fin.

Le présent travail n'est pas seulement le fruit de nos efforts, mais également celui de bien des personnes à qui nous devons l'expression de nos vifs remerciements.

Nous adressons notre plus haut respect et notre sincère gratitude à notre promoteur ADNANI pour son soutien et ses conseils.

Nous voudrions également lui témoigner notre gratitude pour sa patience et son soutien qui nous a été précieux afin de mener notre travail à bon port.

Je remercie également les membres de jury d'avoir accepté d'évaluer ce travail.

Nous voudrions aussi exprimer notre reconnaissance envers les amis et collègues qui nous ont apporté leur soutien moral et intellectuel tout au long de notre démarche.

Nous remercions également tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'achèvement de notre travail et à l'ensemble de personnel.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à celle qui nous a donné à la vie, qui s'est sacrifié pour notre bonheur et notre réussite, à nos : « Mères », « Pères », qu'ils étaient notre ombre durant toutes les années des études, qui ont veillé à nous donner l'aide, à nous encourager et à nous protéger, que dieu les gardes et les protège. A nos : « adorable sœur et frères », « nos très chères nièces », tous nos familles et nos très chers amis.

Table des matières

Remerciements	i
Dédicaces	ii
Sommaire	iii
Liste des figures	v
Liste des tableaux	vii
NOMENCLATURE	viii
Introduction Générale.....	01
Chapitre I :Généralité sur les transfert de chaleur et les nanofluides	02
I.1. Introduction	02
I.2. Généralité sur le transfert de chaleur.....	02
I.2.1. Modes de transfert de chaleur	02
I.2.2. Transfert par convection.....	02
I.2.3. Convection naturelle	03
I.2.4. Convection forcée	04
I.2.5. Convection mixte	04
I.3. Nanofluides	05
I.3.1. Application des nanofluides dans l'industrie	06
I.3.2. Avantages et inconvénients des nanofluides	07
I.3.3. Propriétés thermo physique des nanofluides	07
I.3.4. Fraction volumique	08
I.3.5. Conductivité thermique	08
I.3.6. Viscosité dynamique	08
I.3.7. Masse volumique.....	09
I.4. Synthèses bibliographiques	09
I.5. Conclusion.....	13

Chapitre II :Formulation mathématique et position du problème.....	
II.1. Introduction	14
II.2. Formulation physique	14
II.2.1. Spécification du modèle utilisé	14
II.3. Position du problème et hypothèses simplificatrices.....	15
II.3.1. Position du problème.....	15
II.3.2. Hypothèses simplificatrices.....	15
II.4. Variables adimensionnelles et échelles caractéristiques.....	16
II.4.1. Nombre de Prandtl (Pr)	16
II.4.2. Nombre de Grashof (Gr)	16
II.4.3. Nombre de Rayleigh (Ra)	17
II.4.4. Nombre de Nusselt (Nu)	17
II.5. Formulation mathématique.....	17
II.5.1. Equations gouvernantes dimensionnelles.....	17
II.5.2. Equations gouvernantes adimensionnelles.....	18
II.5.3. Conditions aux limites.....	18
II.5.4. Méthode numérique.....	19
II.6. Conclusion	19
Chapitre III : Résultats et interprétations	
III.1. Introduction	20
III.2. Choix du maillage	20
III.3. Validation des résultats numériques.....	21
III.4. Résultats et discussions	24
III.4.1. Influence de nombre de Grashof	24
III.4.2. Influence de la fraction volumique.....	26
III.5. Conclusion.....	29
Conclusion Générale	30
Références Bibliographiques	31
Résumé/Abstract	

Liste des figures

Figure I.1 : Présentation des modes de transfert thermique.....	02
Figure I.2 : Présentation de la convection dans une casserole... ..	03
Figure I.3 : Présentation d'un modèle de convection forcée.....	04
Figure I.4 : nanoparticules métalliques... ..	06
Figure I.5 : Domaine physique d'Ismaëlet <i>al...</i>	09
Figure I.6 : Schématisation de problème physique et des conditions aux limites Ehsanetal.....	10
Figure I.7 : Configuration étudiée par Samir Houat et al... ..	11
Figure I.8 : Configuration étudiée par M. M. Rahman et al... ..	11
Figure I.9 : Configuration étudiée par M. Adnani et al... ..	12
Figure I.10 : Effet du diamètre (D) sur le nombre moyen de Nusselt et sur la température moyenne du fluide dans la cavité à $K= 5,0$	12
Figure II.1 : Domaine physique étudié.....	14
Figure III.1 : étude de l'indépendance du maillage pour un nanofluide (Al_2O_3 -eau), avec $\phi=0.04$, $Gr=10^3$ et $Re=100$	21
Figure III.2 : lignes de courants et isothermes pour $Da=10^{-5}$, $Ra=10^6$: (a) Lignes de courant, (b)Isothermes.....	22
Figure III.3 : lignes de courants et isothermes pour $Da=10^{-4}$, $Ra=10^6$: a) Lignes de courant, b)Isothermes.....	23
Figure III.4 : lignes de courants et isothermes pour $Da=10^{-3}$, $Ra=10^6$: a) Lignes de courant b)Isothermes.....	24
Figure III.5 : Les lignes de courants pour différentes nombre de Grashof a un $Re=100$ et $\phi=0.04$	25

Figure III.6 : les lignes isotherme pour différentes nombre de Grashof.($10^2, 10^3, 10^4$).....	25
Figure III.7 : variation du nombre de Nusselt en fonction de nombre de Grashof....	26
Figure III.8 : Les lignes de courants pour différentes fraction volumiques $Re = 100$ et $Gr = 10^2$, $10^3, 10^4$	27
Figure III.9 : les lignes d isothermes pour différentes fraction volumique $Re = 100$ et Gr ($10^2, 10^3, 10^5$).....	28
Figure III.10 : variation du nombre de Nusselt en fonction de la fraction volumique....	29

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Avantages et inconvénients des nanofluides.....	07
Tableau I.2 : Propriétés thermo-physique des nanoparticules.....	07
Tableau III.1 : Nusselt moyen pour différentes grilles.....	20

NOMENCLATURE

Symboles	Définition	Unité (SI)
C_p	: Chaleur spécifique à pression constante	$J.kg^{-1} .K^{-1}$
g	: Accélération de la pesanteur	$m. s^{-2}$
h	: Coefficient de transfert de chaleur par convection	$W. m^{-2}. K^{-1}$
L	: Largeur dimensionnelle de l'enceinte	m
p	: Pression dimensionnelle	Pa
S	: Surface de l'enceinte	m^2
T	: Température dimensionnelle	K
t	: Temps dimensionnel	s
D	: Le diamètre de nanofluides	m
$u.v$: Composantes des vitesses dimensionnelles	$m.s^{-1}$
$x.y$: Coordonnées cartésiennes dimensionnelles	m
ΔT	: Différence de température	K
Δx	: Pas d'espace suivant l'axe x	m
Δy	: Pas d'espace suivant l'axe y	m

Symboles grecs

α	: Diffusivité thermique	$m^2 s^{-1}$
β	: Coefficient d'expansion thermique à pression constante	K^{-1}
ε	: La porosité du milieu poreux	-
θ	: Température adimensionnelle	K
λ	: Conductivité thermique	$W.m^{-1}.K^{-1}$
μ	: Viscosité dynamique	$Pa.s^{-1}$
ν	: Viscosité cinématique	$m^2.s^{-1}$
ρ	: Masse volumique	$kg.m^{-3}$
ϕ	: Flux de chaleur	W

Nombres adimensionnels

Nu	: Nusselt	-
Nu_{moy}	: Nusselt moyen	-
Pr	: Nombre de Prandtl	-
Ra	: Nombre de Rayleigh	-

Gr	: Nombre de Grashof	-
Ri	: Nombre de Richardson	-
Re	: Nombre de Reynolds	-
Da	: Nombre de Darcy	-

Introduction Générale

Introduction Générale

Les écoulements et les transferts de chaleur par convection dans les milieux poreux ne cesse de susciter l'intérêt de plus en plus de chercheurs vu leurs application dans des domaines variés comme le stockage et le traitement des déchets, la diffusion souterraine des polluants, l'isolation thermique, la métallurgie, l'extraction du pétrole, le séchage et le stockage de certains produits agricoles et refroidissement des composantes électronique...etc.). C'est pourquoi une meilleure connaissance et maîtrise de ces milieux sont vitales à l'avenir.

La présence du milieu poreux permet la modification de l'écoulement et l'amélioration du transfert de chaleur. Toute fois les conditions d'écoulement et de transfert thermique dans de telles structures sont difficilement quantifiables par les différents phénomènes intervenant et la présence de deux phases solide et fluide.

La présente étude porte la convection mixte dans une cavité carrée remplie de nanofluides. Le principal objectif est de cerner l'influence de certains paramètres jugés essentiels sur la structure de l'écoulement et les transferts de chaleur dans la cavité.

Le présent travail est structuré de la façon suivante :

Le premier chapitre est dédié aux notions de base sur le transfert de chaleur par convection et les principales caractéristiques des milieux poreux. Par la suite nous avons exposé certains travaux expérimentaux, théoriques et numériques antérieurs relatifs à la thématique étudiée et rappeler les principaux modèles rencontrés dans la littérature.

Le second chapitre concerne la formulation mathématique du problème, ainsi nous avons posé les équations gouvernantes, les hypothèses simplificatrices, et les conditions aux frontières associées.

Dans le troisième chapitre une étude de la sensibilité de maillage ainsi qu'une validation du code de calcul sont présentées et discutées des résultats numériques obtenus lors de la simulation pour déterminer les paramètres adéquats pour un meilleur refroidissement. Nous étudierons plus particulièrement l'effet du nombre de Richardson et fraction volumique.

Finalement, on terminera par une conclusion générale de ce manuscrit qui sera accompagnée d'un ensemble de perspectives à retenir pour des développements futurs.

Chapitre I

Généralité sur le transfert de chaleur et les nanofluides.

I.1 Introduction

Dans le premier chapitre le but c'est de présenter une vue sur le transfert de chaleur, les nanofluides et leurs application afin d'introduire les notions de base de notre travail.

La partie synthèses bibliographique sera consacrée à l'étude numérique de la convection mixte dans les enceintes et particulier avec présence des nanofluides.

I.2. Généralités sur le transfert de chaleur

I-2.1 modes de transfert de chaleur

Le transfert de chaleur est la science qui cherche à étudier le transfert d'énergie qui peut avoir lieu entre les corps matériels en raison d'une différence de température, les trois modes de transfert de chaleur sont :

- Conduction.
- Convection.
- Rayonnement.

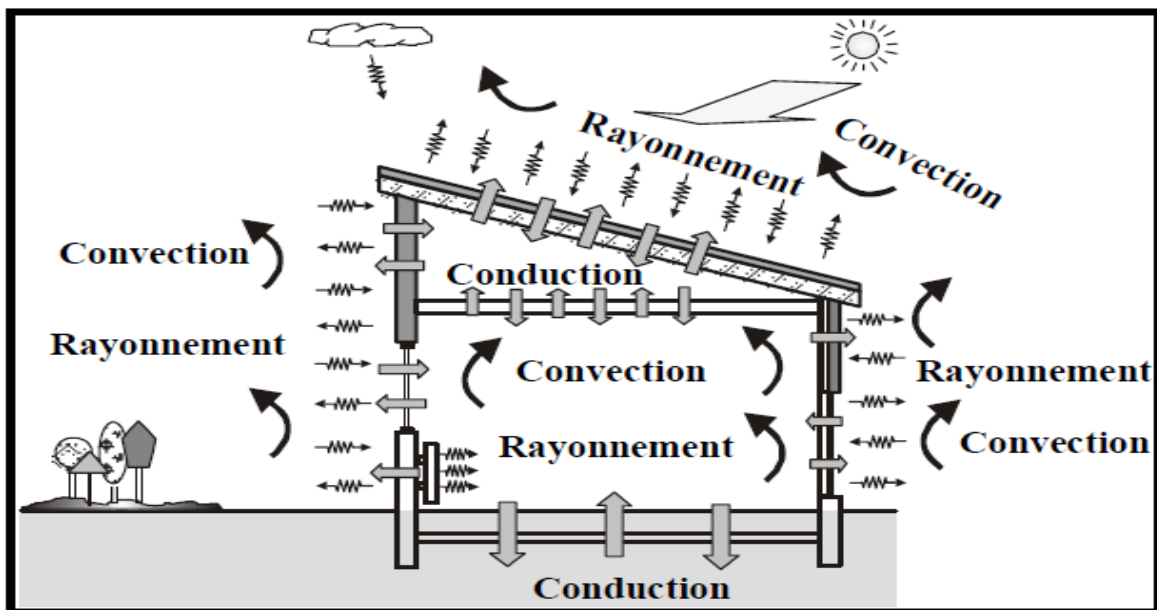


Figure I.1. Présentation des modes de transfert thermique [1]

I.2.2. Transfert par Convection

Le phénomène de convection se réfère au transfert thermique qui a lieu entre une surface solide et un fluide (liquide ou gaz) en mouvement.

La convection est le processus de transfert thermique déterminé par le mouvement des particules élémentaires d'un fluide entre des zones ayant des températures différentes.

Ce mouvement entraîne un mélange intense des particules fluides, qui échangent de l'énergie (chaleur) entre elle compte tenu des forces qui produisent le mouvement de fluide, on a trois types de convection : la convection naturel, force et mixte.

La loi de newton introduit la relation entre le flux échangé et la surface d'échange, elles'exprime comme suit :

$$\phi = h(T_P - T_f) \quad (\text{I.1})$$

I.2.3. Convection naturelle

La convection naturelle(ou libre) est un phénomène important de la mécanique des fluides. Elle est due au contact du fluide avec une paroi plus chaude ou plus froide et donc à des variations de la masse volumique, liées à la distribution non uniforme de la température et de la concentration des espèces dans un mélange. En effet, la mise en mouvement du fluide crée un champ de forces gravitationnelles qui conditionne les déplacements des particules fluide.

On distingue trois modes de transmission de chaleur par convection naturelle : la convection naturelle dans des enceintes fermées, La convection naturelle entre deux cylindres et La convection naturelle double diffusive.

On retrouve dans plusieurs applications industrielles de ce mode de transfert de chaleur, à savoir, dans les échangeurs de chaleur où deux fluides en mouvement, séparés par une paroi solide s'échange de l'énergie.

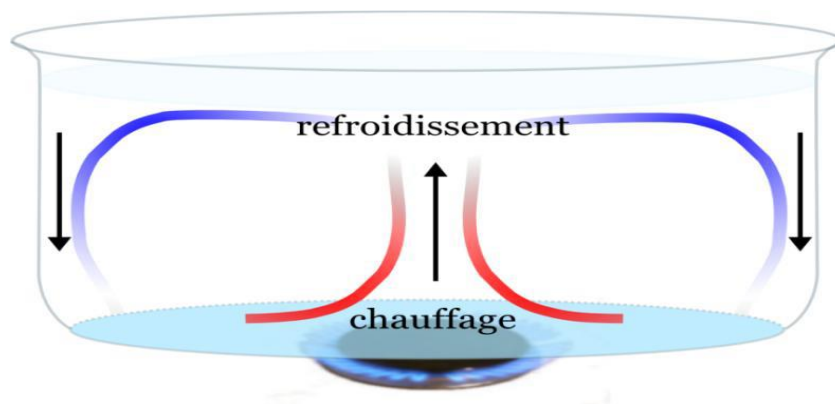


Figure I.2. Présentation de la convection dans une casserole [2].

I.2.4. Convection forcée

La convection forcée dans laquelle le mouvement est provoquée par un procédé mécanique indépendant des phénomènes thermiques ; c'est donc un gradient de pression extérieur qui provoque les déplacements des particules du fluide. L'étude de la transmission de chaleur par convection est donc étroitement liée à celle de l'écoulement des fluides.

La convection est dite forcée quand il existe une cause du mouvement autre que les variations de températures du fluide, cette cause étant la seule à prendre en compte en raison de son importance relative. [2]

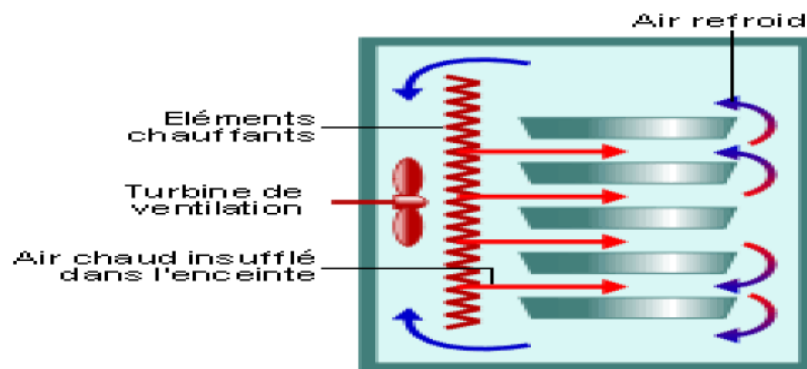


Figure I.3. Présentation d'un modèle de convection forcée [2]

I.2.5 Convection mixte

Les flux de convection mixte, ou les flux de convection forcée et libre combiné, surviennent dans de nombreux processus de transport dans les dispositifs d'ingénierie et dans la nature. Ces écoulements sont caractérisés par le paramètre de flottabilité $\lambda = Gr/Re^n$, où Re est le nombre de Reynolds, Gr est le nombre de Grashof et $n (> 0)$ est une constante qui dépend de la configuration de l'écoulement et des conditions d'échauffement de surface.

Le régime de convection mixte est généralement défini comme la plage de λ $\lambda_{min} \leq \lambda \leq \lambda_{max}$, où λ_{min} et λ_{max} sont respectivement les limites inférieure et supérieure du régime d'écoulement de convection mixte. Le paramètre A fourni une mesure de l'influence de la convection libre par rapport à celle de la convection forcée sur l'écoulement du fluide. En dehors de la région de convection mixte, $\lambda_{min} \leq \lambda \leq \lambda_{max}$, l'analyse de convection forcée pure ou de convection libre pure peut être utilisée pour décrire avec précision le flux ou le champ de température.

La convection forcée est le mode dominant de transport de la chaleur lorsque $Gr/Re \rightarrow 0$, alors que la convection libre est le mode dominant lorsque $Gr/Re \rightarrow \infty$, ou encore $Re/Gr \rightarrow 0$.

Les forces de flottabilité peuvent améliorer le taux de transfert de chaleur de surface lorsqu'elles assistent l'écoulement forcé, et vice versa.

Les forces de flottabilité jouent également un rôle important dans l'apparition d'instabilités d'écoulement et elles peuvent être responsables du retard ou de l'accélération de la transition d'un écoulement laminaire à un écoulement turbulent [3]. La Convection mixte correspond au couplage des deux phénomènes précédents (convection naturelle et forcée) quand les vitesses d'écoulement, fictives, dues aux deux types de convections sont considérées séparément, du même ordre de grandeur [4].

$$R_i = \frac{Gr}{Re^2} \quad (\text{I.2})$$

I.3. Nanofluides

Les nanofluides sont des solutions colloïdes composées de particules de taille nanométrique en suspension dans un fluide conventionnel.

Un fluide conventionnel est tout corps qui n'est pas à l'état solide, donc constitue d'une seule phase : liquide ou gazeux. Le terme nanofluide est proposé premièrement par Choi [5], en 1995, pour désigner la suspension des nanoparticules solides dans un liquide de base.

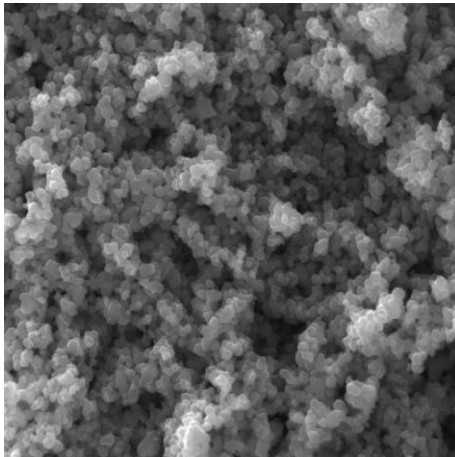
Il a trouvé que la conductivité thermique effective du mélange eau- Al_2O_3 augmente de 20% pour une concentration en volume entre 1% à 5% de Al_2O_3 .

Les nanoparticules les plus utilisées :

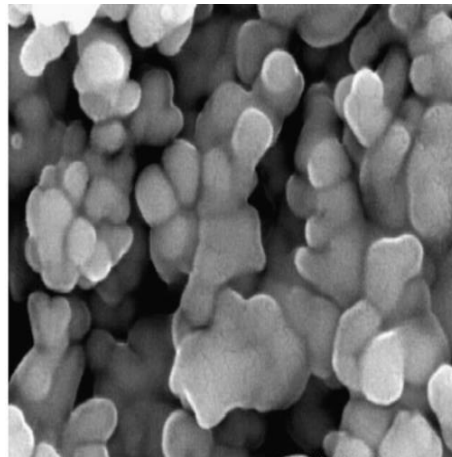
- L'oxyde d'aluminium (Al_2O_3).
- Le cuivre (Cu).
- L'oxyde de cuivre (CuO).
- Le dioxyde de titane (TiO_2).

Les fluides de base les plus utilisés sont :

- L'eau,
- Les huiles,
- Le Toluène,
- L'éthylène-



Nanoparticule(Cu)[6]



Nanoparticule (Ag) [6]

Figure I.4 : nanoparticules métalliques (Ag et Cu).

I.3.1 Application des nanofluides dans l'industrie

Les nanofluides peuvent être employé pour améliorer le transfert de chaleur et l'efficacité énergétique dans plusieurs systèmes thermiques .dans cette section, quelques ex amples seront présentés.

*Refroidissement des systèmes électroniques

Dans les circuits intégrés, les nanofluides ont été considéré comme fluides de refroidissement.

Pour cela, plusieurs études ont été effectuées.

*Refroidissement des systèmes militaires

Les exemples des applications militaires incluent le refroidissement de l'électronique de puissance et les armes d'énergie dirigée qui impliquent des flux thermique très élevé .l'efficacité des nanofluides a bien refroidir ses systèmes a était bien prouvée et s'est élargie pour inclure aussi les véhicules militaires, le somma-raine et les diodes lasers a haute puissance.

I.3.2. Avantages et inconvénients des nanofluides

Tableau I-1 : Avantages et inconvénients des nanofluides [7]

Avantages	Inconvénients
-Haute dispersion et stabilité avec prédominance du mouvement Brownien des particules.	-viscosité supérieure, chaleur spécifique basse.
-une grande surface de transfert de chaleur entre les particules et les fluides.	-difficultés dans le processus de production.
-particules réduites de colmatage par rapport aux boues conventionnelles, favorisant ainsi la minimisation du système.	-la coute élevé des nanofluides.

I.3.3 Propriétés thermo physiques des nanofluides

Des nombreuses recherches ont été menées lors de ces dernières décennies en vue de mieux caractériser les propriétés thermo physiques des nanofluides mais cette caractérisation est encore loin d'être satisfaisante.

Propriétés physiques	Eau pure	Cuivre Cu	Argent Ag	Aluminium Al ₂ O ₃
P (kg.m ⁻³)	997.1	8933	10500	3970
Cp (J.kg ⁻¹ .k ⁻¹)	4179	385	235	765
K (W.m ⁻¹ .k ⁻¹)	0.613	400	429	40
B (k ⁻¹).10 ⁻⁵	21	1.67	1.89	0.85

Tableau.I.2 : propriétés thermo-physique des nanoparticules.

I.3.4 Fraction volumique

La fraction volumique est le rapport entre le volume de la diode et le volume total sa valeur est variée entre 0 et 1.

$$\Phi = \frac{V_s}{V_s + V_f} \quad (\text{I.3})$$

I.3.5 Conductivité thermique

Etant donné que les nanoparticules à haute conductivité thermique suspension dans le fluide de base qui a une faible conductivité thermique, augmentent remarquablement la conductivité thermique de nano fluides. Les chercheurs ont développé plusieurs modèles pour prédire l'estimation de la conductivité du nano fluide et de nombreuses expériences ont été menées pour comparer les données expérimentales avec ces modèles analytiques, constitués par des éléments très réguliers tels que les nanoparticules sphériques. Les modelés décrits dans la littérature sont des outils de prédictions développés, afin d'appréhender les mécanismes de transfert thermique au sein des nano fluides. Nous présenterons dans cette partie les modèles les plus utilisés dans le cas des nano fluides. [8]

I.3.6 Viscosité dynamique

La viscosité dynamique est la résistance d'un fluide aux déformations lorsqu'il mit en mouvement, comment étant une mesure de froment interne d'un fluide.

La dispersion des nanoparticules dans le liquide de base a un effet sur la viscosité dynamique, cette dernière peut être influence par la qualité de la dispersion de la nanoparticule dans le fluide.

La viscosité dynamique d'un nanofluide donne par Einstein pour un mélange content des suspensions diluées de particules fines sphériques et rigides est la suivante :

$$\mu_{nf} = \mu_f (1 + 2.5 \phi) \quad (\text{I.4})$$

Par contre, Brinkman a étendu la formule d'Einstein pour couvrir une large plage concentration volumique :

$$\mu_{nf} = \frac{\mu_f}{(1 - \phi)^{2.5}} \quad (\text{I.5})$$

En prenant en compte l'effet de l'interaction hydrodynamique entre deux nanoparticules sphériques, Batchelor a montré que la viscosité n'est pas seulement une fonction linéaire de ϕ comme l'indique la relation d'Einstein mais une fonction non linéaire avec la présence d'un terme :

$$\mu_{nf} = \mu_f (1 + 5\phi + K_H\phi^2) \quad (\text{I.6})$$

I.3.7 Masse volumique

La densité effective d'un nanofluide est calculée comme suit :

$$\rho_{nf} = (1 - \phi) \rho_f + \phi \rho_s \quad (\text{I.7})$$

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

$$\phi = \frac{\text{volume des nanoparticules}}{\text{volume total de nanofluide}} = \frac{V_p}{V_p + V_f} \quad (\text{I.8})$$

I.4. Synthèses bibliographiques

De nombreuses études ont été menées sur le transfert de chaleur par convection mixte dans une enceinte carrée sous diverses conditions thermiques. Cette modification introduit de nombreuses autres complexités qui modifient la nature du champ d'écoulement et le transfert de chaleur, conséquence des forces de flottabilité entraînées par des gradients de température, qui tendent à augmenter le transfert de chaleur. On cite :

Ismaël et al. [9] ont fait une étude sur la convection mixte dans une cavité carrée dont la cavité est doublement entraînée par les deux parois supérieures et inférieures et les paramètres étudiés sont : le déplacement des parois mobiles et le nombre de Richardson, ils ont montré que la convection est minimale pour des valeurs critiques du paramètre pareil du glissement.

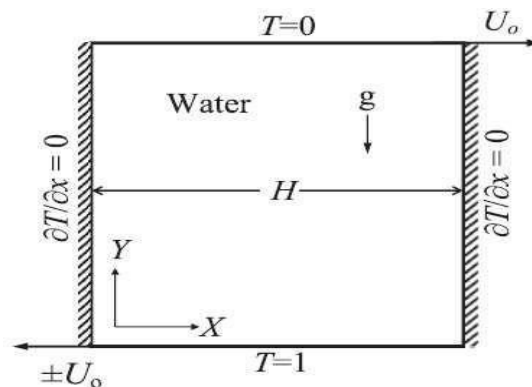


Figure I.5 : Domaine physique d'Ismaël et al. [9].

Ehsanetal.[10] ont étudié l'effet de type de nanoparticules (Cu et Al_2O_3) sur les caractéristiques hydrodynamiques et thermiques du fluide caloporteur, contenu au sein d'une cavité carrée à parois horizontales différentielles chauffées. L'effet du nombre de Rayleigh ainsi que celui de la fraction volumique en nanofluides ont également été investigués. Les résultats montrent que le taux de transfert thermique est une fonction croissante du nombre de Rayleigh et de la fraction volumique. Par ailleurs, l'utilisation de nanoparticules de type métaux solides a permis d'optimiser l'échange thermique au sein de l'enceinte.

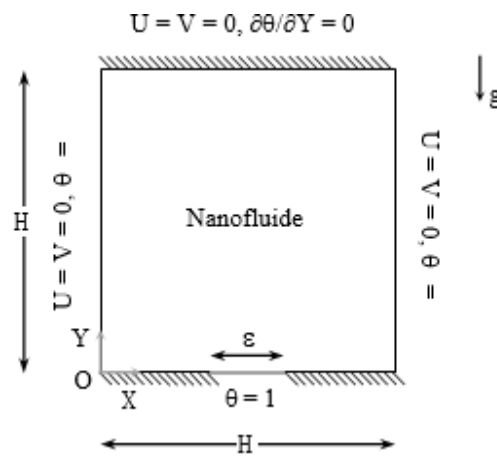


Figure I.6 : Schématisation de problème physique et des conditions aux limites

Ehsanetal.[10]

Samir Houat et al [11] ont mené une étude numérique sur la convection mixte laminaire dans une cavité carrée ouverte, elle sera présentée ici. Pour la résolution de ce problème, la méthode de Boltzmann avec le modèle thermique de double population a été utilisée. Un code informatique a été développé pour déterminer l'ensemble de la structure de flux. Les résultats sont présentés sous forme de champs de vitesse et de température.

Les résultats obtenus sont comparés à ceux obtenus par la méthode conventionnelle, en particulier méthode des volumes finis. Cela démontre une bonne concordance entre les deux méthodes y compris une bonne stabilité numérique et la capacité de gérer le transfert de chaleur globale par problèmes de convection.

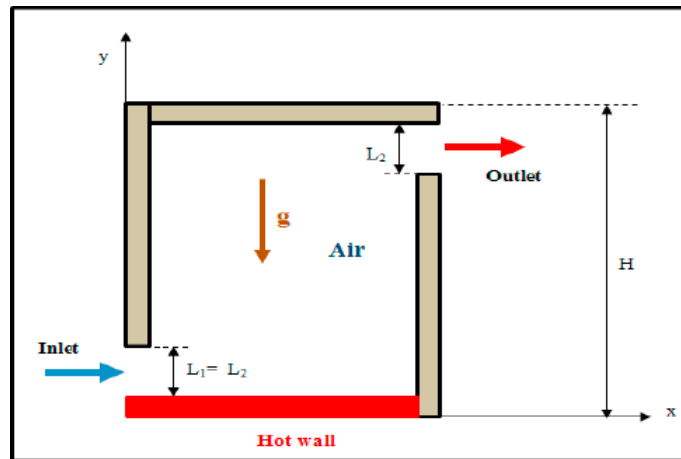


Figure I.7 : Configuration étudiée par Samir Houat et al [11].

M. M. Rahman et al [12] ont réalisé une étude numérique sur la convection mixte dans une enceinte ventilée à l'aide de la méthode par élément fini. Diverses configurations de ports d'entrée (la paroi gauche, isolée verticale) et ceux de sortie fixée au sommet (la paroi droite, verticale et chaude) sont examinés en profondeur avec le changement des paramètres de régulation.

Une enquête détaillée sur le transfert de chaleur en matière de température et du nombre moyen de Nusselt ont été entreprises avec les différentes valeurs des positions d'entrée (h_i), Ri , Re et Pr . Les solutions numériques démontrent l'augmentation de la valeur de Re conduit à un coefficient de transfert de chaleur plus élevé. La température plus élevée de la source de chaleur et recirculation.

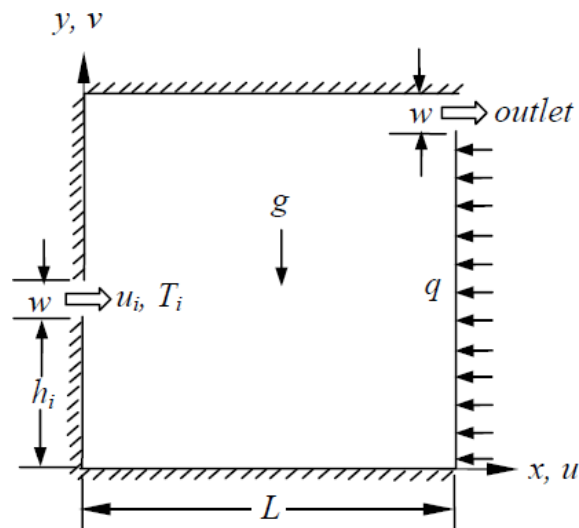


Figure I.8 : Configuration étudiée par M. M. Rahman et al [12].

M. ADNANI *et al* [13] ont mené une étude numérique de la convection mixte dans une cavité carrée en présence d'un bloc froid à l'intérieur de la cavité (Figure I.6). Dans toutes les simulations présentées, trois cas de configuration pour les deux parois inférieure et supérieure ont été étudiées dont les nombres de Reynolds et de Prandtl sont fixés à $Re = 100$, $Pr = 0,71$ respectivement.

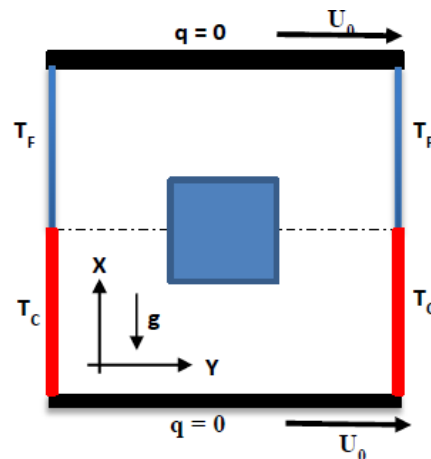


Figure I.9 : Configuration étudiée par M. Adnani *et al* [13].

M.A.H. Mamun *et al* [14] ont conduit une étude numérique de la convection mixte à l'intérieur d'une cavité carrée ventilée en présence d'un cylindre creux.

Ils ont également mené une analyse détaillée sur la distribution des profils isothermes, le nombre moyen de Nusselt ainsi que la température moyenne du fluide dans la cavité.

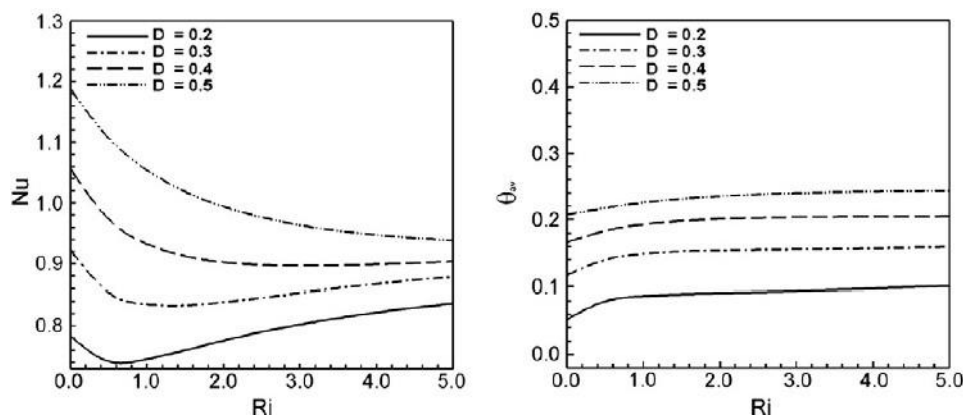


Figure I.10 : Effet du diamètre (D) sur le nombre moyen de Nusselt et sur la température moyenne du fluide dans la cavité à $K=5,0$ [14].

I.5. Conclusion

Ce chapitre nous a permis de reformuler les idées principales sur le transfert de chaleur (convection) et les nanofluides et leurs propriétés thermo physiques.

Nous avons présenté dans ce chapitre une revue des différentes notions sur le transfert de chaleur ainsi qu'une étude détaillée sur les nanofluides utilisés au cours de cette décennie, leurs propriétés physiques ainsi que leur application dans de nombreux problèmes.

Enfin, une synthèse bibliographique a été nécessaire afin de nous initier aux travaux de modélisation et de simulation numérique de la convection mixte en présence d'un nanofluide.

Chapitre II

Formulation mathématique et position du problème.

II.1 Introduction

Dans ce chapitre nous découvrons et formulons le modèle physique et mathématique et les hypothèses simplificatrices ainsi que les conditions aux limites appropriées pour notre modèle qui est une cavité carrée remplie de nanofluides.

II.2 formulation physique

Le domaine physique est une cavité carrée fermée bidimensionnelle de longueur L remplie de nanofluides, les deux parois parallèles gauches froides T_f et les deux parois parallèles droites chaudes T_c .

II.2.1 Spécification du modèle utilisé

Le problème physique considéré est schématisé en figure II.1. Il s'agit d'une cavité carrée bidimensionnelle, dont le fluide newtonien incompressible et le flux de la source de chaleur est constant par rapport au temps de côté H , remplie de nanofluide, de longueur L chauffée en paroi gauche et refroidie à la paroi droite, les deux parois horizontales sont adiabatiques.

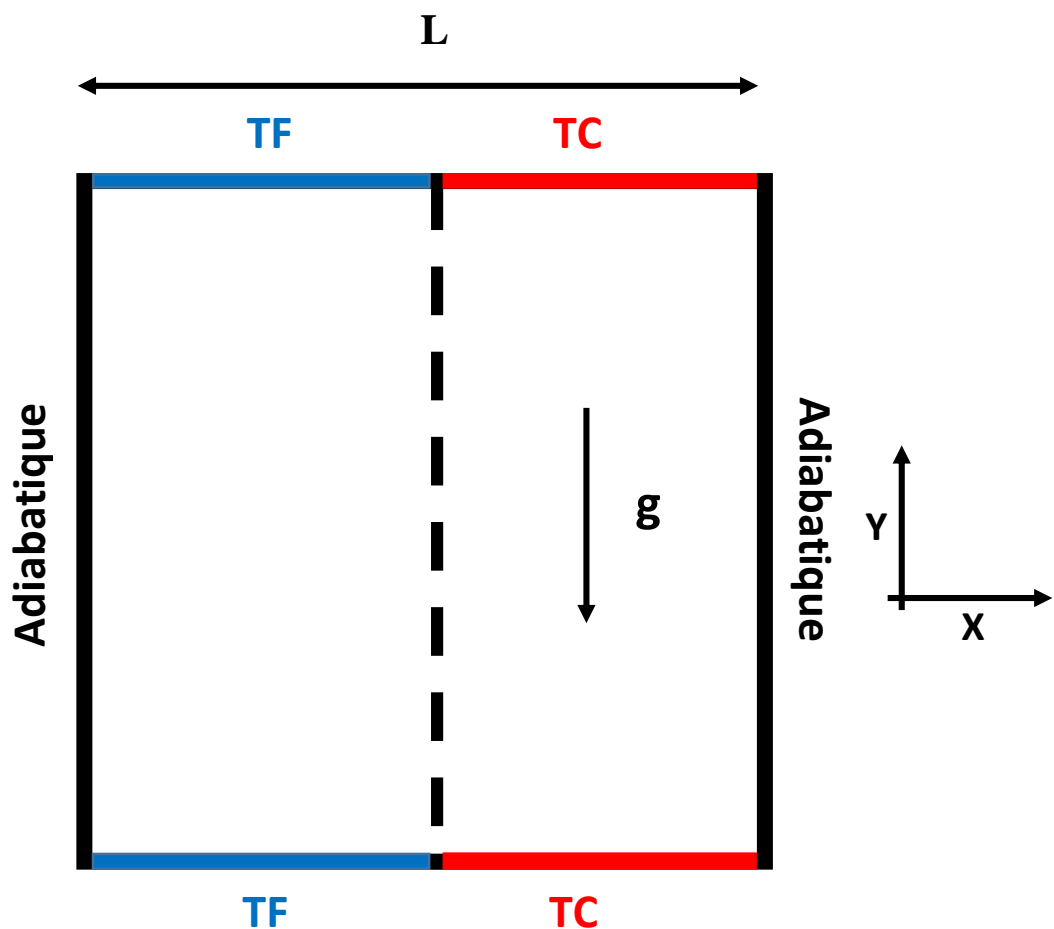


Figure II.1 : Domaine physique étudié.

II. 3 Position du problème et hypothèses simplificatrices

II.3.1 Position du problème

Notre travail présente une étude de convection mixte dans une cavité remplie de nanofluides, les parois verticales sont chauffées différemment, respectivement température chaude T_c et température froide T_f .

La force de flottabilité induite par le gradient de température au sein de la cavité crée un mouvement de convection naturelle qui perturbe l'écoulement forcé causé par la force de cisaillement due à la mobilité des parois.

Le résultat de cette compétition dans cette étude donne une naissance à une convection mixte dans la cavité.

II.3.2 Hypothèses simplificatrices

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

- Le fluide est newtonien.
- L'écoulement bidimensionnel.
- Le transfert de chaleur par rayonnement est négligeable.
- La dissipation visqueuse est négligeable dans l'équation d'énergie.
- L'écoulement et le transfert thermique sont indépendants de temps.

- Dans le cas où les variations de température sont prises comme suffisamment faibles pour que les propriétés physiques du fluide (tels que sa dilatibilité thermique, sa diffusivité thermique et sa viscosité cinématique) puissent être considérées comme constantes, les variations de la masse volumique au sein du fluide sont faibles. Ainsi, il est possible de considérer le fluide comme quasi incompressible. Les variations de ρ sont négligées partout, exceptées dans le terme de poussée à l'origine du mouvement. L'hypothèse de Boussinesq suppose que la densité du fluide dans le terme des forces de volume, varie linéairement avec la température, ce qui amène à la relation suivante : [15]

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

Avec :

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

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

Dans les procédés de transfert de chaleur par convection naturelle, la formulation en variables adimensionnées est importante pour simplifier les équations, qui régissent l'écoulement et pour guider les expérimentations, qui doivent être effectuées.

De façon à rendre les équations précédentes sous forme adimensionnelle, on introduit les variables caractéristiques suivantes :

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

II.4 Variable adimensionnels et échelles caractéristique

II.4.1 Le nombre de Prandtl (Pr)

C'est un nombre adimensionnel. Il représente le rapport entre la diffusivité de quantité de mouvement (ou viscosité cinématique) et la diffusivité thermique.

On le définit de la manière suivante :

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad (\text{II.3})$$

II.4.2 Le nombre de Grashof (Gr)

C'est un nombre sans dimension, utilisé en mécanique des fluides pour caractériser la convection naturelle dans un fluide.

Il correspond au rapport des forces de gravité sur les forces visqueuses. On le définit par:

$$Gr = \frac{g \beta \Delta T L^3}{\nu^2} \quad (\text{II.4})$$

II.4.3 Nombre de Rayleigh (Ra)

Le nombre de Rayleigh est un nombre sans dimension, et il a été introduit pour classer les trois régimes d'écoulement, habituellement générés par les mouvements convectifs en cavité : écoulement laminaire stationnaire, écoulement de transition et écoulement turbulent.

On le définit par :

$$Ra = Gr \cdot Pr \quad (\text{II.5})$$

II.4.4 Nombre de Nusselt (Nu)

Le nombre de Nusselt mesure l'efficacité de la convection. C'est le rapport adimensionné entre le flux de chaleur vertical en surface du fluide et le flux que l'on mesurerait s'il n'y avait pas de convection dans la couche de ce fluide.

Si $Nu = 1$ pas de convection. Plus le nombre de Nusselt est grand, plus le refroidissement par convection est efficace. En d'autres termes, le nombre de Nusselt peut être calculé par la formule suivante :

$$Nu = \frac{h.L}{\lambda} \quad (\text{II.6})$$

II.5. Formulation mathématique :

II.5.1. Equations gouvernantes dimensionnelles :

- Equation de continuité :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (\text{II.7})$$

- Equation de quantité de mouvement :

Suivant x :

$$\left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = \frac{1}{\rho_{nf}} \left[-\frac{\partial p}{\partial x} + \mu_{nf} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \right] \quad (\text{II.8})$$

Suivant y :

$$\left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = \frac{1}{\rho_{nf}} \left[-\frac{\partial p}{\partial y} + \mu_{nf} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + (\rho\beta)_{nf} g(T - T_0) \right] \quad (\text{II.9})$$

- Equation d'énergie :

$$\left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = \frac{K_{nf}}{(\rho c_p)_{nf}} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (\text{II.10})$$

Le α_{nf} est le coefficient de diffusion thermique du nanofluide et il décrit comme suit :

$$\alpha_{nf} = \frac{K_{nf}}{(\rho c_p)_{nf}} \quad (\text{II.11})$$

Donc l'équation d'énergie devient :

$$\left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y}\right) = \alpha_{nf} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right) \quad (\text{II.12})$$

II.5.2. Equations gouvernantes adimensionnelles :

- Equation de continuité :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (\text{II.13})$$

- Equation de quantité de mouvement :

Suivant X :

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

Suivant Y :

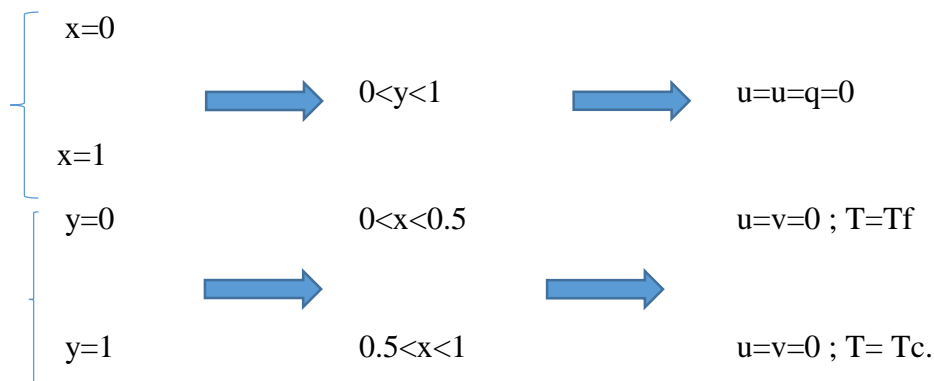
$$U \frac{\partial V}{\partial X} + v \frac{\partial V}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial Y} + \frac{\mu_{nf}}{\rho_{nf} \alpha_f} \left(\frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2}\right) + \frac{\rho_f \beta_{nf}}{\rho_{nf} \beta_f} * Ra * Pr * \theta \quad (\text{II.15})$$

- Equation d'énergie :

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

II.5.3. Conditions aux limites

Les différentes conditions aux limites sous forme adimensionnelles peuvent être Résumées comme suit :



II.5.4. Méthode numérique

Il existe plusieurs méthodes numériques pour la résolution ce genre de problème :

- la méthode des éléments finis.
- la méthode des différences finis.
- la méthode des volumes finis.

II.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons construit un modèle mathématique constitué d'un système d'équations et les conditions aux limites complètes.

Le phénomène physique a été décrit mathématiquement par les différentes équations de conservation. Une présentation des regroupements adimensionnels nombre de Prandtl, nombre de Grashof, et nombre de Rayleigh ainsi que le nombre de Nusselt tous cela a été fait en prévision de les utiliser dans la suite comme des paramètres de contrôle de la présente étude.

Chapitre III

Résultats et interprétations.

III.1 Introduction

Dans cette partie nous allons intéresser à la présentation des différents résultats ressortis de l'étude numérique de la convection mixte dans une cavité carrée remplie de nanofluide. On a effectuées une étude de la sensibilité au maillage ainsi que une confrontation des résultats .le but principal de cette étude est d'examiner influence de la variation de certain paramètres tels que l'effet du nombre de Richardson et le nombre de Grashof sur les caractéristiques de l'écoulement et de l'amélioration de transfert de chaleur. Les résultats essentielles sont présentés en termes de lignes courant d isotherme et le nombre de Nusselt moyen.

III.2 Choix du maillage

Pour examiner et évaluer l'indépendance du maillage sur la solution numérique, huit maillage uniforme sont considérés : 20*20,40*40,60*60, 80*80, 100*100, 120*120, 140*140, 160*160, 180*180, nœuds, pour un nanofluides (Al₂O₃-eau), avec $\phi=0.04$, $Gr=10^3$ et $Re = 100$.

Le tableau IV.1 et la figure IV.1, montrent que le du Nusselt moyen obtenue pour les différents cas varie peu à partir d'une grille de 120×120. De ce fait, pour des raisons de précision et du cout (temps de calcul) nous avons adopté dans la présente étude un maillage de 120×120 points.

Maillage	Nu _{moy}
20×20	1,805871
40×40	1,883163
60×60	1,903274
80×80	1,910523
100×100	1,9133292
120×120	1,914282
140×140	1,914445
160×160	1,9142756
180×180	1,913965

Tableau III.1- Nusselt moyen pour différentes grilles.

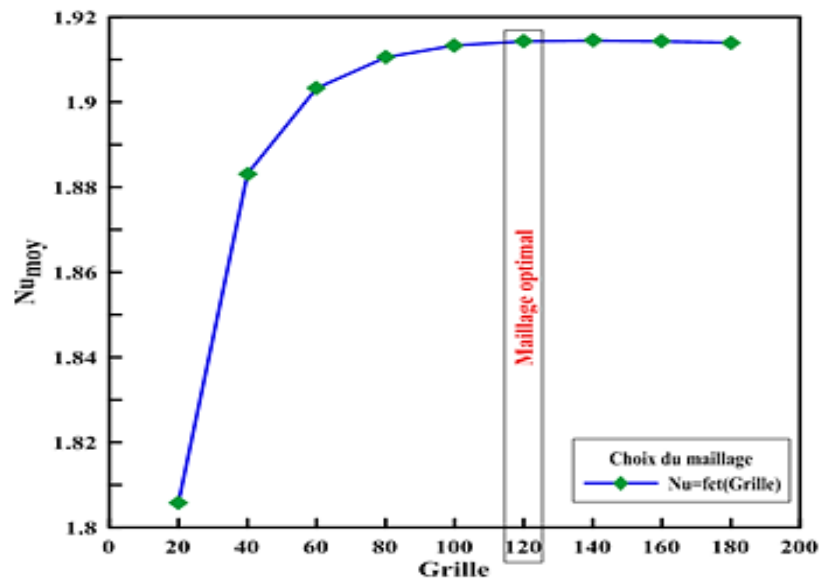


Figure III. 1 : étude de l'indépendance du maillage pour un nanofluide (Al₂O₃-eau), avec $\phi=0.04$, $Gr=10^3$ et $Re=100$.

Les résultats de l'effet de maillage sur le nombre Nusselt moyen sont présentes dans la figure III.1. On remarque que l'augmentation du maillage augmente le nombre adimensionnelle Nu_{moy} et aussi la variation de nombre Nusselt moyen reste presque constante à partir du maillage 120*120 nœuds. Par conséquent pour des raisons de compromis de pression et de temps de calcul.

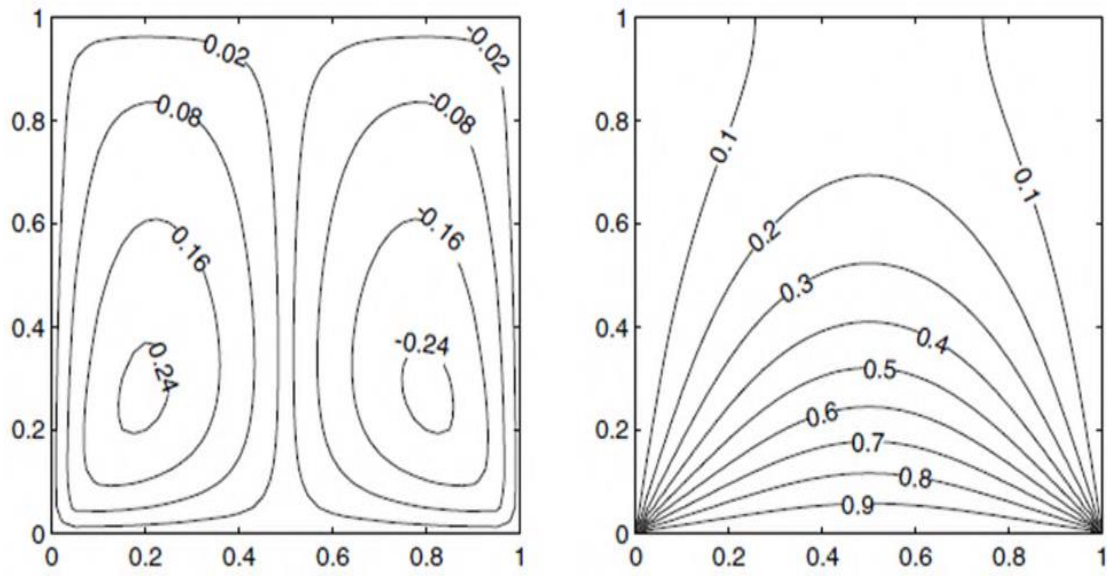
Dans ce mémoire nous avons optées pour un maillage 120*120 nœuds des pour tous nos calculs comme montre l la figure III.1.

III.3. Validation des résultats numériques

Dans cette validation, les résultats sont comparés avec ceux de **Tanmay Basak [29]**.

Les lignes de courant sont représentées pour : $Pr=0.71$, $Ra=10^6$, $Ri=0.1$, $\varepsilon=1$, $T_h=313.15K$ et $T_c=293.15K$. Les propriétés thermo-physiques de l'air sont pris à température de référence 293.15K. Les comparaisons montrent un bon accord entre les résultats des simulations et de la référence [17], Figures III.2 à III.5.

A : Travail de référence [17].



B : Résultats de la présence étude.

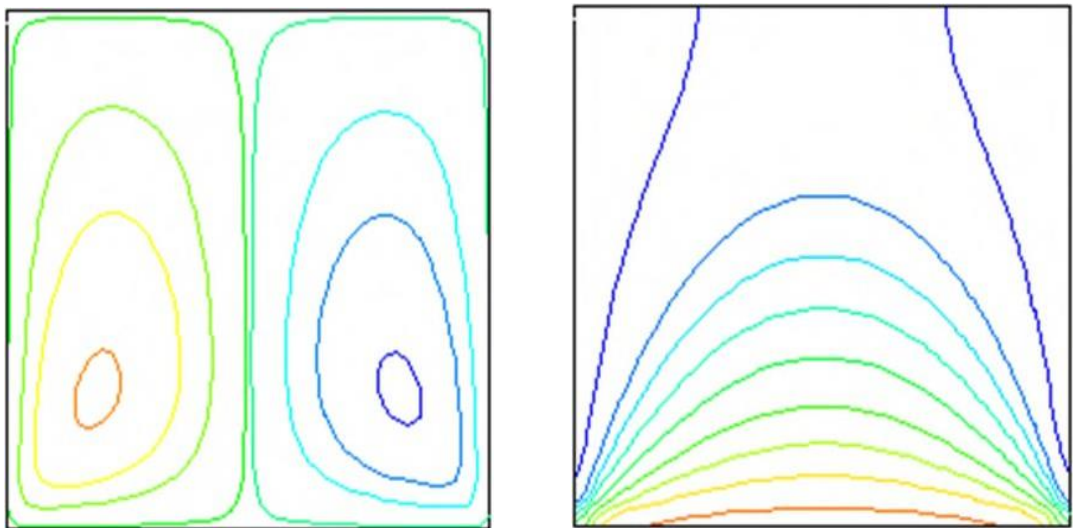
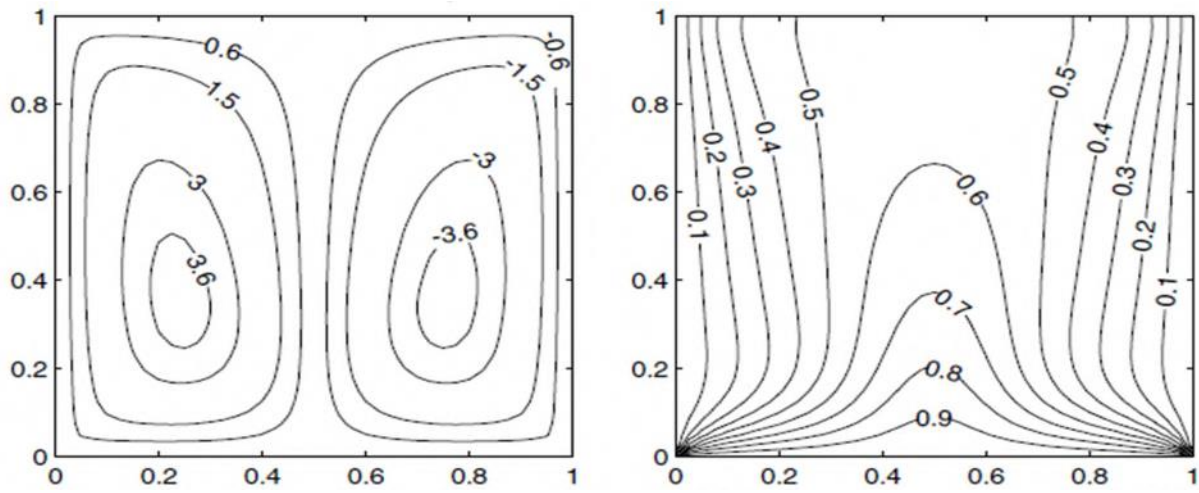


Figure III.2 - lignes de courants et isothermes pour $Da=10^{-5}$, $Ra=10^6$:

- a) Lignes de courant, b) Isothermes.

A : travail de référence [17].



B : Résultats de la présente étude.

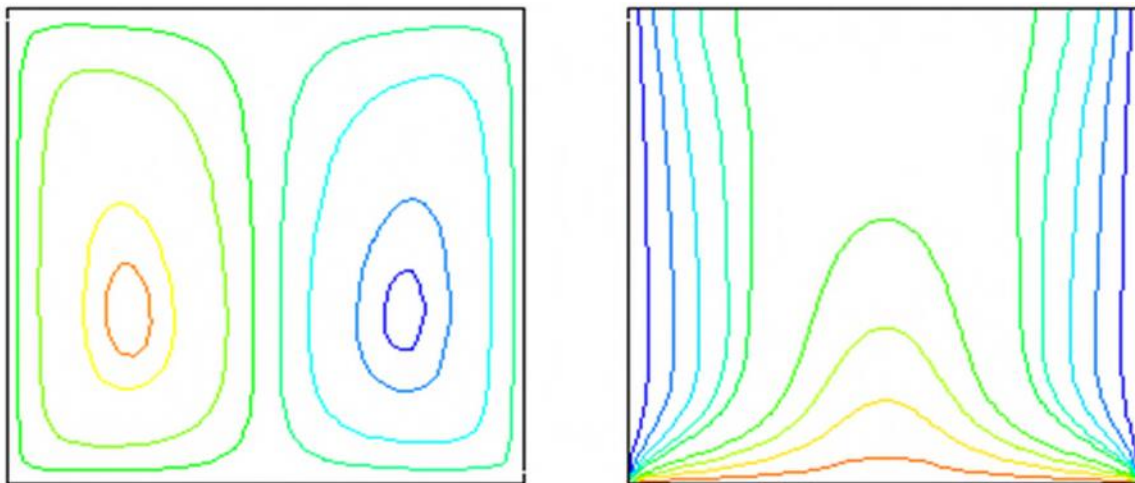
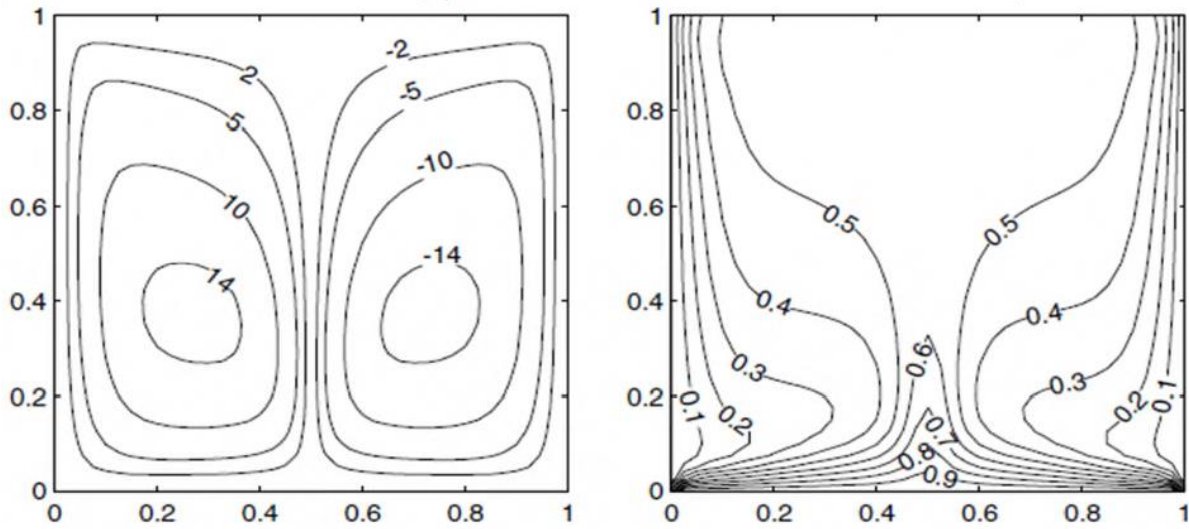


Figure III.3 - lignes de courants et isothermes pour $Da=10^{-4}$, $Ra=10^6$:

a) Lignes de courant,

b) Isothermes.

A : travaille de référence [17]



B : Résultats de la présence étude.

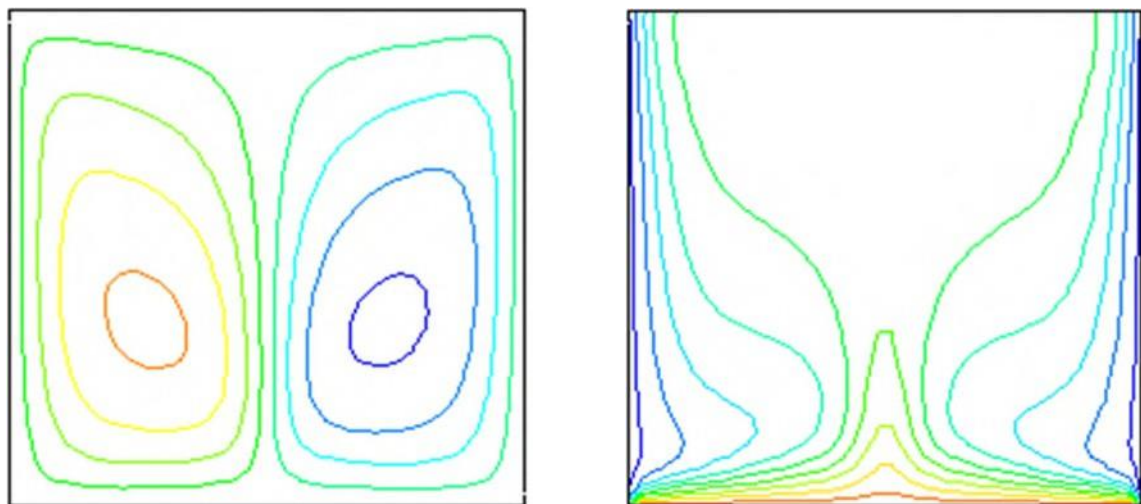


Figure III.4 - lignes de courants et isothermes pour $Da=10^{-3}$, $Ra=10^6$:
 a) Lignes de courant b) Isothermes

III.4. Résultat et discussion

III.4.1. Influence de nombre de Grashof

Pour étudier l'effet de nombre de Grashof, sur l'écoulement et le transfert de chaleur, une analyse bidimensionnelle a été effectuée sur le comportement du nanofluide au sein d'une cavité carrée pour différentes valeurs du nombre de Grashof, ($Gr=10^2$, $Gr=10^3$, $Gr=10^4$) a un $Re=100$ et $\phi=0.04$.

La Figure III.5 représente les contours de courant pour les différents nombre de Grashof.

On constate, que les isothermes et les lignes de courant dépendent du régime d'écoulement, les lignes de courant apparaissent comme des cercles concentriques et équidistants entre elles caractéristiques d'un régime dominé par la conduction dans le fluide.

On remarque un énorme changement enregistré aux lignes d'écoulement lors de $Gr=10^3$.

A) Champs de l'écoulement

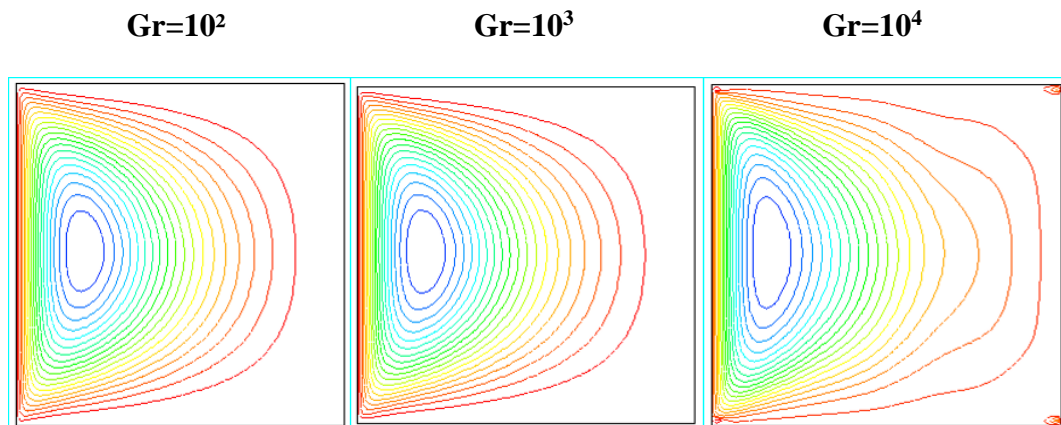


Figure III.5 : Les lignes de courants pour différentes nombre de Grashof a un $Re=100$ et $\phi=0.04$.

B) champs thermiques

La figure III.6 représente les lignes d'isothermes, pour trois nombres de Grashof ($Gr=10^2, 10^3, 10^4$).

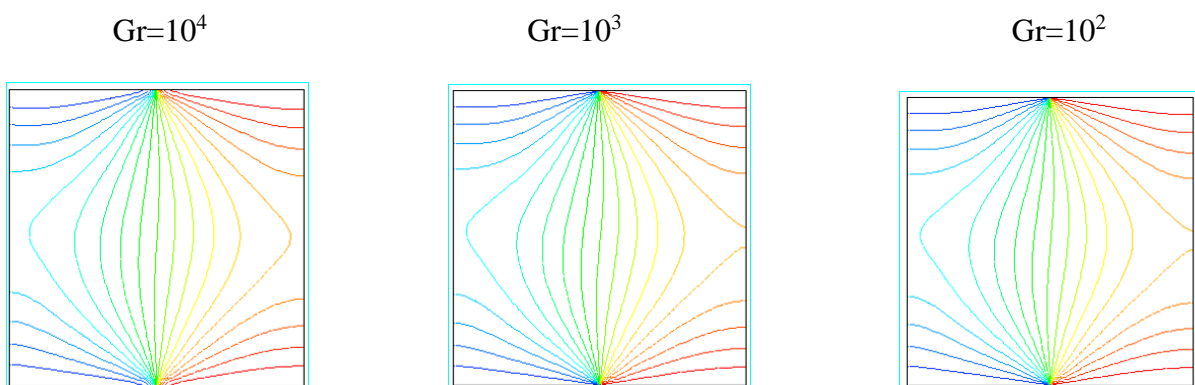


Figure III.6 : les lignes isotherme pour différentes nombre de Grashof. ($10^2, 10^3, 10^4$).

C) Nombre Nusselt

L'impact de la variation du nombre de Grashof sur le transfert thermique dans la cavité est illustré sur la figure, à travers l'évolution du nombre Nusselt $\phi = 0.2$, $\phi = 0.4$, $\phi = 0.6$.

On remarque la relation parallèle entre l'accroissement de nombre Nusselt avec l'accroissement de nombre de Grashof quelle que soit la fraction volumique.

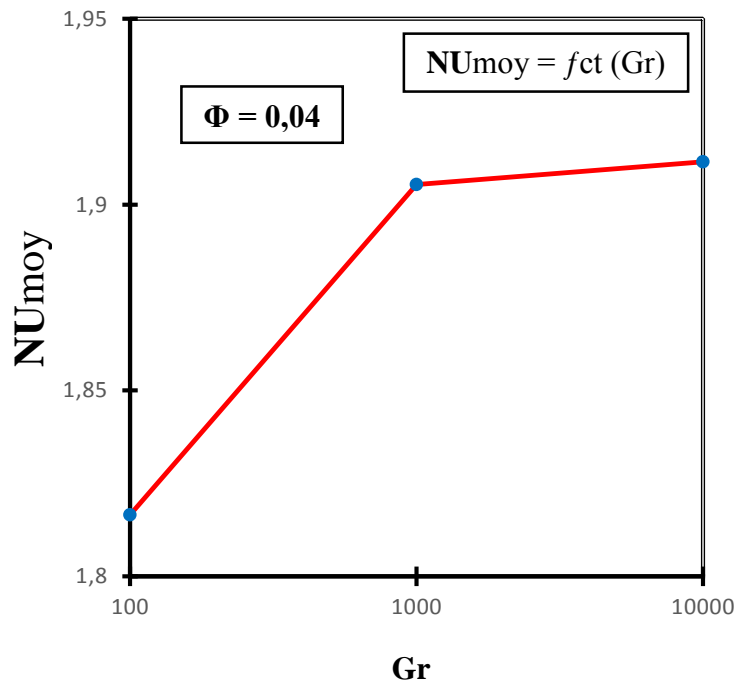


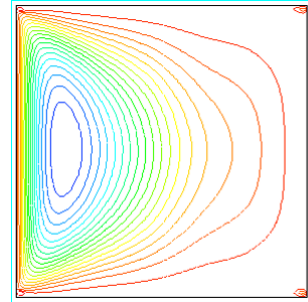
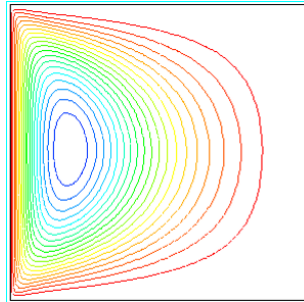
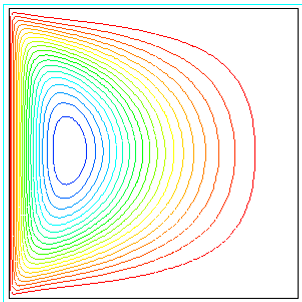
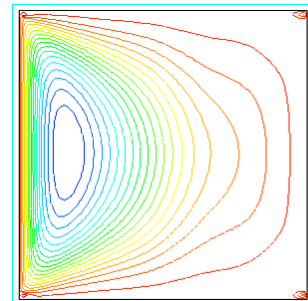
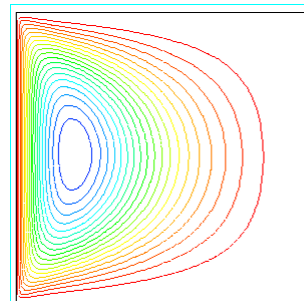
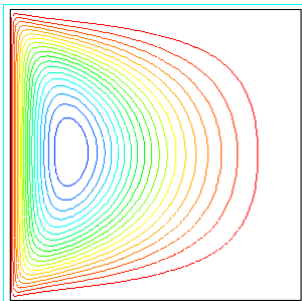
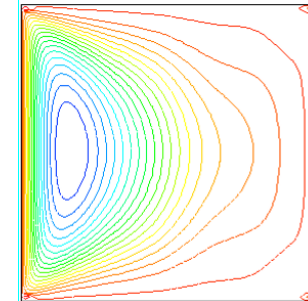
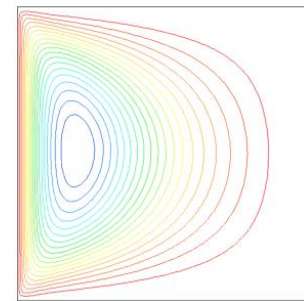
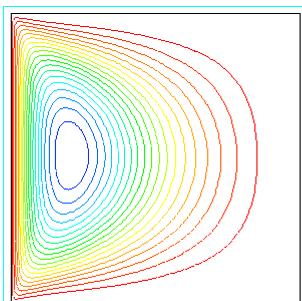
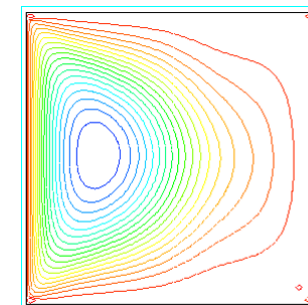
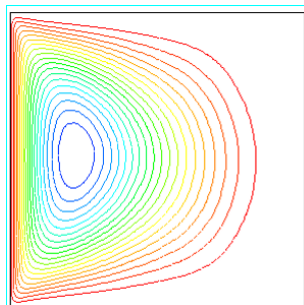
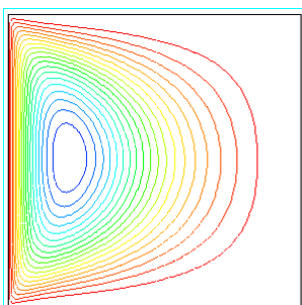
Figure III.7 : variation du nombre de Nusselt en fonction de nombre de Grashof.

III.4.2. Influence de la fraction volumique :

Les effets de la fraction volumique sur les champs d'écoulement et le champ thermique sont illustrés dans les figures. (8 et 9). Pour un $Re = 100$, $Gr (10^3, 10^4, 10^5)$.

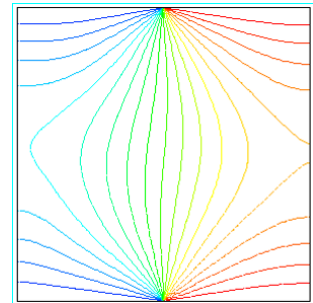
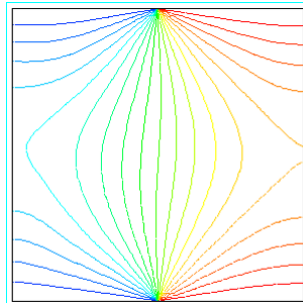
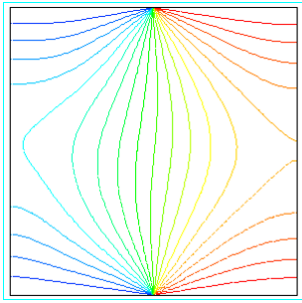
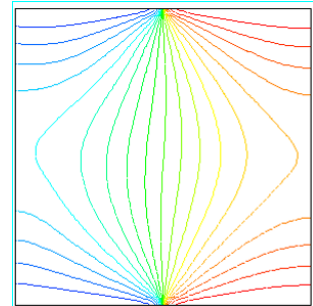
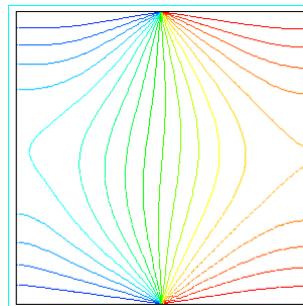
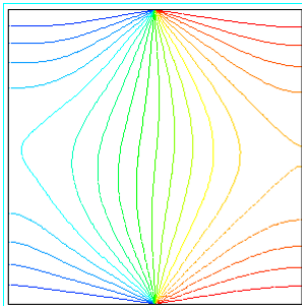
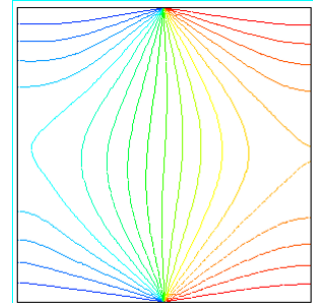
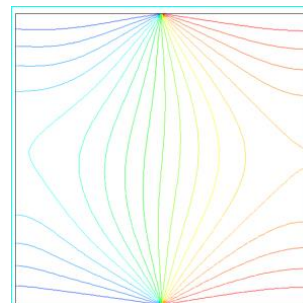
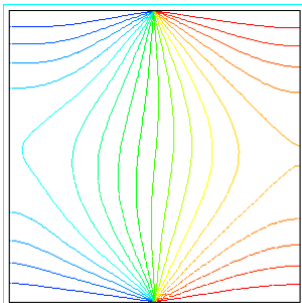
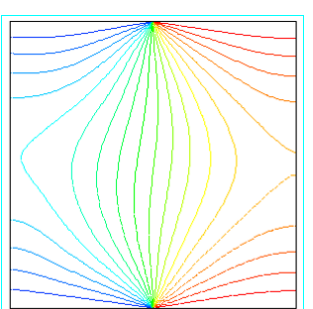
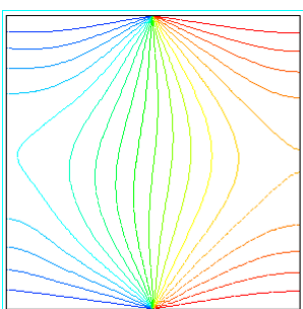
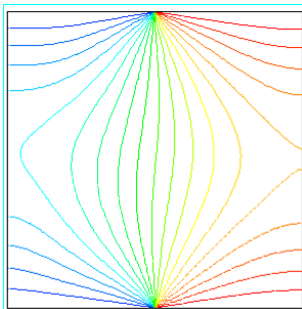
L'influence de la fraction volumique des nanoparticules sur les champs dynamique et champs thermiques sont mis en évidence sur la figure III.8 ET la figure III.9 à travers les lignes isothermes et courant.

A) champs d'écoulement

 $\Phi=0.02$  $\Phi=0.4$  $\Phi=0.06$  $\Phi=0.08$ 

La figure III. 8 : Les lignes de courants pour différentes fraction volumiques $Re = 100$ et $Gr = 10^2, 10^3, 10^4$.

B) champs thermique

 $\Phi=0.02$  $\Phi=0.04$  $\Phi=0.06$  $\Phi=0.08$ **Figure III.9** : les lignes d'isothermes pour différentes fraction volumiqueRe = 100 et Gr (10², 10³, 10⁵).

C) Nombre Nusselt

On prend le nombre de Reynold à (100) et On remarque que le nombre de Nusselt augmente lorsque la fraction volumique augmente.

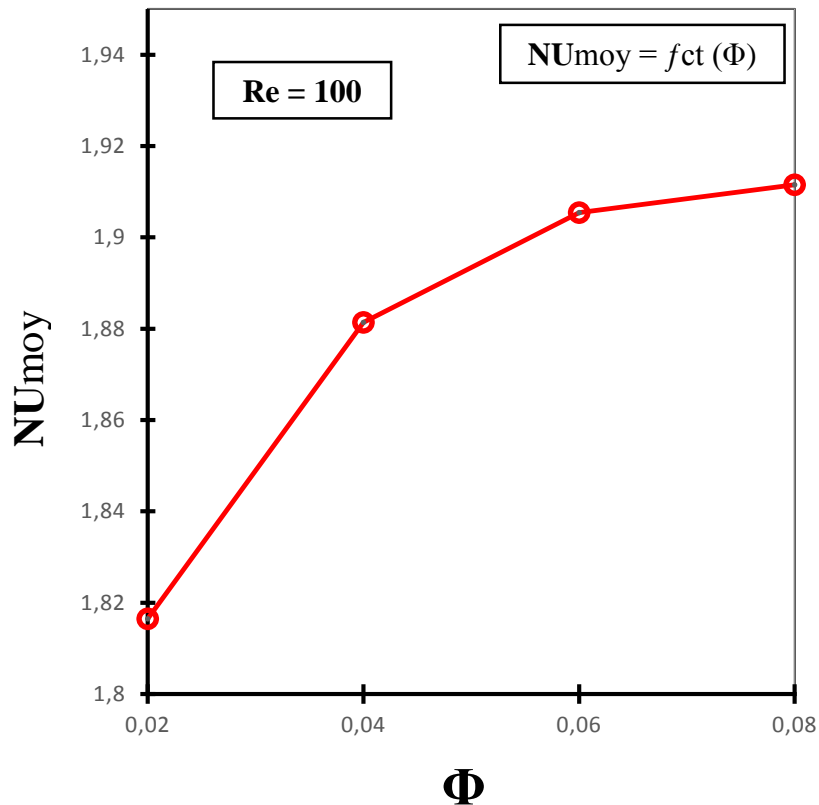


Figure III. 10 : variation du nombre de Nusselt en fonction de la fraction volumique.

III.5 Conclusion

Dans cette partie de travail ont étudié les effets des nombre Richardson et le nombre de Grashof et la variation de la fraction volumique sur l'écoulement de fluide et la performance thermique.

Les résultats de l'analyse numériques conduisant aux conclusions suivantes :

- L'augmentation du nombre de Grashof entraine une amélioration du transfert de chaleur.
- L'augmentation de la fraction volumique du nanofluide favorise davantage le transfert de chaleur.

Enfin on peut assurer que les paramètres géométriques et les paramètres thermo-physique du fluide ont un grand effet sur le transfert de chaleur.

Conclusion Générale

Dans ce mémoire, on a présenté une étude numérique du transfert de chaleur la convection mixte dans une cavité carre remplie de nanofluide (l'Eau et Al₂O₃).

La configuration géométrique du modèle physique étudié est une cavité carrée avec des conditions aux limites.

Les simulations numérique sont effectuée pour différentes nombres de Grashof (10^2 , 10^3 , 10^4), et différentes fraction volumique ($\phi=0, 02 / 0, 04 / 0, 06 / 0, 08$). Et le nombre de Reynolds = 100.

On s'est basé sur le modèle mathématique utilisant l'approximation de Boussinesq et on utilise un code de calcul (fluent). on a validé nos résultat en les comparants avec ceux d'autre références.

Les résultats principaux résumés :

- ➔ L'augmentation de la fraction volumique augmente le transfert de chaleur.
- ➔ L'effet du nanofluide sur le transfert de chaleur se manifeste particulièrement pour un nombre de Grashof élevé.

Références Bibliographiques

- [1].TABET Sara, « Etude numérique de la convection naturelle dans une enceinte fermée partiellement chauffée », thèse de doctorat, université d'Oran 2 (2017).
- [2].Hasna Louahlia & Sébastien Yon, « Dissipation thermique dans les composants/systèmes électroniques », Laboratoire Universitaire des Sciences Appliquées de Cherbourg (2014).
- [3].IOAN POP, DEREK B. INGHAM “Mixed convection boundary-layer flow along a vertical flat plate”, *Convective Heat Transfer* (Chap II), 2001.
- [4]. AYAD FERIEL MOHAMADI TARIK Mémoire PFE « Etude de l'influence des effets de flottabilité thermique et massique sur l'écoulement impactant sur une paroi chauffée » Université Abderrahmane MIRA Bejaia Filière génie mécanique spécialité énergétique 2017.
- [5].U. S. C. Stephen and J. A. Eastman, “Thermal Conductivity of Fluids. Ethane,” in *ENHANCING THERMAL CONDUCTIVITY OF FLUIDS WITH NANOPARTICLES*, 1995, vol. 8, no. 3, pp. 281–285, doi: 10.1021/je60018a001.
- [6].Olivier Doche, Jean-Antoine Gruss & Olivier Soriano .Une nouvelle technologie pour les échangeurs thermiques: Le Nanofluide 2007.
- [7].soufi 2013 Application des nano-fluides pour le refroidissement : étude d'un cas d'une géométrie simple, Thèse de Master en Génie Chimique, Université KasdiMerbah d'Ouargla.
- [8].KHENTOUL Moussa Thèse Doctorat « Étude Numérique de la Convection Mixte dans un Canal Horizontal Contenant des Ailettes » 18 / 09 / 2016
- [9].M. A. Ismael, I. Pop, A. J. Chamkha, « Mixed convection in a lid-driven square cavity with a partial slip », *Int. J. of Thermal Sciences* 82, 47-61, (2014).
- [10].F. Ehsan F. Mousa, S. Kurosh, N. Hasan, Lattice Boltzmann simulation of natural convection heat transfer in nanofluids, *Int. J. Thermal Sciences*, Volume 52, Pages 137-144, 2012.
- [11].S. Houat and Z. E. Bouayed, “The lattice Boltzmann method for Mixed Convection in a Cavity,” *Energy Procedia*, vol. 139, pp. 186–191, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.11.194.
- [12].M. M. Rahman, M. A. Alim, M. A. H. Mamun, M. K. Chowdhury, and A. K. M. S. Islam, “Numerical Study of Opposing Mixed Convection,” *Network*, vol. 2, no. 2, pp. 25–36, 2007.
- [13].M. Adnani, B. Meziani, and O. Ourrad, “Convection Mixte Dans Une Cavité Carrée En Présence D'un Bloc Soumis à une Température Froide,” no. February, pp. 25–26, 2017.

[14].M. A. H. Mamun, M. M. Rahman, M. M. Billah, and R. Saidur, “A numerical study on the effect of a heated hollow cylinder on mixed convection in a ventilated cavity,” *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, vol. 37, no. 9, pp. 1326–1334, 2010, doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2010.07.019.

[15].Fohano, G.Polidori, and C, POpa, 'Nanofluide et transfert de chaleur par convection naturelle plan de l 'expose, '2012.

[16]. FAID Hananeey et al, étude numérique de la convection naturelle dans une cavité différentiellement chauffée remplie de nanofluide, mémoire présenté pour l'obtention de master académique, Université MOUHAMED BOUDIAF MSILA (2020).

[17]. T. Basak, S. Roy, T. Paul I, Pop, Natural convection in a square cavity filled with a porous medium: Effects of various thermal boundary conditions, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 49 (2006) 1430–1441.

Résumé

Dans ce travail, nous présentons une étude numérique du phénomène de la convection mixte dans une cavité carrée remplie de nanofluides, dont les deux parois inférieures et supérieures sont soumises à une température différente, tandis que les autres parois sont considérées comme adiabatiques. Les équations régissant ce phénomène ont été discrétisées par la méthode des volumes finis et un code de calcul a été développé pour déterminer toute la structure de l'écoulement.

Les résultats obtenus montrent que les paramètres précédents ont une influence sur le transfert de chaleur qui s'améliore en augmentant le Grashof.

Mots clés : Convection mixte(1), Méthode des volumes finis(2), Cavité carrée(3), nano fluide(4).

Abstract

In this work, we present a numerical study of the phenomenon of mixed convection in a square cavity filled with nanofluids, where the two bottom and top walls are subjected to different temperatures, while the other walls are considered adiabatic. The governing equations of this phenomenon were discretized using the finite volume method, and a computational code was developed to determine the entire flow structure.

The obtained results demonstrate that the aforementioned parameters have an influence on heat transfer, which improves as the Grashof number increases.

Keywords : Mixed Convection (1), Finite volume Method (2), square Cavity (3), Fluid Nano (4).