

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA
FACULTÉ DE TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE

MEMOIRE

PRÉSENTÉ POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE
MASTER

FILIÈRE : GÉNIE MÉCANIQUE

SPÉCIALITÉ : ÉNERGÉTIQUE
PAR :
BACHA ELHOCINE

SPÉCIALITÉ : INSTALLATIONS
ÉNERGÉTIQUES ET TURBOMACHINES
PAR :
BACHA SALAS
YAHIAOUI ABDELMADJID

Thème

Etude numérique de l'effet du champ magnétique sur la convection mixte dans une cavité entraînée et remplie d'un nanofluide (H₂O-Cu).

Soutenu le 21/09/2022 devant le jury composé de :

Mr.	F.MENDIL	Président
Mr.	A.SAHI	Rapporteur
Mr.	M.HAMDI	Examineur

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2021-2022

Remerciements

Notre profonde gratitude et nos remerciements les plus chaleureux vont particulièrement à notre encadreur Mr SAHI Adel enseignant à l'Université Abderrahmane Mira à Bejaia, de nous avoir suivi et dirigé tout au long de la réalisation de ce travail. Aussi, nous le remercions pour sa disponibilité permanente, pour son orientation efficace et pour ses idées originales qui ont servi à enrichir ce mémoire, Nous remercierons chacun des membres du jury pour l'intérêt porté à notre travail en acceptant de l'examiner et de l'enrichir avec leur proposition

Enfin, nous tenons à remercier très sincèrement tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Je tiens à dédier cet humble travail à

Mon père et ma Mère qui ont toujours été là pour moi

Ma petite sœur que j'ai su trouver dans les moments difficiles

Toute ma famille pour son soutien inconditionnel

Mes amis avec qui j'ai fait ce travail : Madjid et Salas

Tous mes amis que je me suis fait dans ma vie : Arab, Inasse, Loucif...

Bacha Elhocine

Dédicaces

Je tiens à dédier ce modeste travail à :

A ma tendre mère et très cher père

A mes frères et mes sœurs

A mon binôme : Hocine, Salas

A mes meilleurs amis : Areslan, Hamza, Fares , Saci ...

A Tous mes amis d'enfance et du long parcours scolaire et universitaire.

A Toute ma famille

Tous ceux qui m'aiment et que j'aime

YAHIAOUI Abdelmadjid

Sommaire

Remerciements	i
Dédicaces	ii
Sommaire	iv
Liste des figures	vi
Liste des tableaux	ix
Nomenclature	x
Introduction Générale	1
Chapitre I : Généralités et synthèse bibliographique	3
I.1. Introduction	3
I.2. Généralités sur les nanofluides	3
I.3. Généralités sur la magnétohydrodynamique	5
I.4. Synthèse bibliographique	6
I.5. Conclusion	11
Chapitre II : Position du problème	12
II.1. Introduction	12
II.2. Configuration étudié	12
II.3. Hypothèses simplificatrices	13
II.4. Formulation mathématique	13
i. Forme dimensionnelle des équations	14
ii. Forme adimensionnelle des équations	16
II.5. Groupements adimensionnels	18
II.6. Conclusion	19

Chapitre III : Convection mixte MHD d'un nanofluide dans une cavité entraînée	20
III.1. Introduction	20
III.2. Choix du maillage.....	20
III.3. Validation des résultats.....	21
III.4. Résultats et discussion.....	22
i. Influence du nombre de Reynolds.....	22
ii. Influence du nombre de Grashof.....	26
iii. Influence de la concentration des nanoparticules.....	29
iv. Influence de l'intensité du champ magnétique.....	33
v. Influence de l'inclinaison du champ magnétique.....	38
III.5. Conclusion.....	41
Conclusion Générale	43
Références Bibliographiques	44
Résumé/Abstract	

Liste des figures

Figure I.1: Configuration étudié par Chu et Churchill.....	7
Figure I.2: Configuration étudié M.A.Mansour et al.....	8
Figure I.3: Configuration étudié Khanafer et al.....	9
Figure I.4 : Configuration étudié IWATSU et al.....	10
Figure I.5 : Configuration étudié par Munshi et al.....	11
Figure II.1 : Esquisse de la géométrie et du système de coordonnées de la cavité.....	12
Figure III .1 : Lignes d'isothermes, à gauche réalisée à partir des études d'Iwatsu à droite réalisée à partir des études actuelles.....	22
Figure III .2 : Lignes de courant, à gauche réalisée à partir des études d'Iwatsu,à droite réalisée à partir des études actuelles.....	22
Figure III.3 : lignes de courant pour différents Reynolds (a) $Re=10$, (b) $Re=100$, (c) $Re=500$, (d) $Re=1000$ avec $Ha=10$, $Gr=1000$, $\phi=0,05$, $\Phi=0^\circ$	23
Figure III.4 : lignes d'isothermes pour différents Reynolds (a) $Re=10$, (b) $Re=100$, (c) $Re=500$, (d) $Re=1000$ avec $Ha=10$, $Gr=1000$, $\phi=0,05$, $\Phi=0$	24
Figure III.5 : Nusselt en fonction de Reynolds pour différents Grashof (a) $\phi=0,2$; (b) $\phi=0,05$. Avec $Ha=10$ et $\Phi=0$	25
Figure III.6 : : Nusselt en fonction du nombre de Reynolds pour différentes inclinaisons du champ magnétique Φ , avec (a) $Ha=10$ et (b) $Ha=50$ et $\phi=0,05$, $Gr=1000$	25
Figure III.7 : lignes de courant pour différents nombre de Grashof (a) $Gr=10^2$; (b) $Gr=10^3$; (c) $Gr=10^4$; (d) $Gr=10^5$; avec $Ha=10$; $Re=100$; $\phi=0,05$; $\Phi=0^\circ$ champ magnétique Φ , avec (a) $Ha=10$ et (b) $Ha=50$ et $\phi=0,05$, $Gr=1000$	27

Figure III.8 : lignes d'isothermes pour différents Grashof (a) $Gr=10^2$; (b) $Gr= 10^3$;(c) $Gr=10^4$; (d) $Gr=10^5$ avec $Ha=10$; $Re=10$; $\phi=0,05$28

Figure III.9 : Nusselt en fonction du nombre de Grashof pour différentes concentrations (a) et inclinaison du champ magnétique (b) avec $Ha=10$; $Re=10$; $\phi=0,05$ pour (b) et $\Phi=0^\circ$ pour (a).....29

Figure III.10 : Nusselt en fonction du nombre de Grashof pour différentes Hartmann (a) et Reynolds (b) avec $\phi=0,05$ et $\Phi=0^\circ$ et $Ha=10$ pour (b) ; $Re=10$ pour (a).....29

Figure III.11 : lignes de courants pour différentes concentrations (a) $\phi=0,05$, (b) $\phi=0,1$, (c) $\phi=0,15$, (d) $\phi=0,2$ avec $Ha=10$, $Gr=10^5$, $Re=1000$, $\Phi=0^\circ$31

Figure III.12: lignes d'isothermes pour différentes concentrations (a) $\phi=0,05$, (b) $\phi=0,1$, (c) $\phi=0,15$, (d) $\phi=0,2$ avec $Ha=10$, $Gr=10^5$, $Re=1000$, $\Phi=0^\circ$32

Figure III.13 : Nusselt en fonction de la concentration pour différents Grashof (a) $Re=100$ et (b) $Re=1000$ avec $Ha=10$, $\Phi=0^\circ$33

Figure III.14 : Nusselt en fonction de la concentration pour différentes inclinaison (a) $Ha=10$ et (b) $Ha=50$ avec $Gr=1000$, $Re=100$33

Figure III.15 : lignes de courant pour différents Hartmann (a) $Ha=0$, (b) $Ha=10$, (c) $Ha=20$, (d) $Ha=50$ avec $Gr=1000$, $Re=100$, $\Phi=0^\circ$, $\phi=0,05$35

Figure III.16 : lignes d'isothermes lignes de courant pour différents Hartmann (a) $Ha=0$, (b) $Ha=10$, (c) $Ha=20$, (d) $Ha=50$ avec $Gr=1000$, $Re=100$, $\Phi=0^\circ$, $\phi=0,05$36

Figure III.17 : Nusselt en fonction de Hartmann pour différentes concentration (a) $Re=100$ et (b) $Re=1000$ avec $Gr=1000$, $\Phi=0^\circ$, $\phi=0,05$37

Figure III.18 : Nusselt en fonction de Hartmann pour différentes inclinaison (a) $Gr=1000$ et (b) $Gr=100000$ avec, $\phi =0,05$, $Re=100$37

Figure III.19 : lignes de courant pour différentes inclinaison du champ magnétique avec: $Re=100$, $Gr=1000$, $Ha=50$, $\phi=0.05$39

Figure III.20 : lignes d'isothermes pour différentes inclinaison du champ magnétique avec: $Re=100$, $Gr=1000$, $Ha=50$, $\phi=0.05$40

Figure III.21 : Nusselt en fonction de l'inclinaison pour différents Hartmann (a) $Gr=10^3$ et

(b) $Gr=10^5$ avec $Re=100$ $\phi=0.05$41

Figure III.22 : nombre de Nusselt en fonction de l'inclinaison du champ magnétique et du régime d'écoulement (a) $Ha=10$ et (b) $Ha=50$ avec $Gr=1000$, $\phi=0.05$41

Liste des tableaux

Tableau III.1: Résultats de l'étude du nombre de nusselt pour l'eau et le nanofluide avec $Ri=1$, $\phi=0.05$	20
Tableau III.2 : comparaison des différents nombres de Nusselt à la paroi supérieure pour différentes valeurs de Re avec $Pr=0.71$, $Gr=100$	21

NOMENCLATURE

Symboles	Définition	Unité (SI)
q''	: Flux de chaleur	-
B_0	: Intensité du champ magnétique (Induction magnétique)	T
C	: Chaleur spécifique	$J\ kg^{-1}\ K^{-1}$
g	: Accélération de la pesanteur	$m\ s^{-2}$
k	: Conductivité thermique	$W\ m^{-1}\ K^{-1}$
p	: Pression	Pa
H	: dimension caractéristique	m
U_0	: vitesse caractéristique du fluide	$m\ s^{-1}$

Symboles grecs

α	: Diffusivité thermique	$m^2\ s^{-1}$
ϕ	: Fraction volumique des nanoparticules	-
β	: coefficient d'expansion thermique des particules solides	K^{-1}
μ	: viscosité dynamique	$kg\ m^{-1}\ s^{-1}$
Γ	: Coefficient de diffusion	$m^2\ s^{-1}$
σ	: conductivité électrique	$S\ m^{-1}$
μ_m	: Perméabilité magnétique	$V\ A^{-1}\ s\ m^{-3}$
ν	: Viscosité cinématique	$m^2\ s^{-1}$
ρ	: Masse volumique	$kg\ m^{-3}$
θ	: Source de chaleur	-

Indices

H, C	: Surface chaude, surface froide
f	: fluide pure
nf	: nanofluide

p : particules solides

Abréviations

MHD : Magnétohydrodynamiques

Introduction Générale

INTRODUCTION GENERALE

Dans un champ de gravitation, toute différence de température dans un liquide ou un gaz modifie sa densité. Un mouvement prend naissance au sein du fluide du fait de la poussée d'Archimède. Dans ce mouvement les parties les plus chaudes du fluide ont tendance à s'élever et les parties froides et denses à descendre, cela s'appelle convection. Ce mouvement du fluide peut être soit naturel ou forcé en fonction du nombre de Richardson. Si le mouvement est dû uniquement à des différences de températures on dit que c'est une convection naturelle contrairement à la convection forcée, elle est obtenue en soumettant le fluide à une augmentation de pression, cependant il existe un grand nombre de situations où les mécanismes de la convection forcée et la convection naturelle coexistent avec des ordres de grandeurs comparables, on est là dans le véritable cas général de la convection qu'on qualifie de convection mixte.

En raison de l'importance qu'ils représentent dans la pratique industrielle et dans notre quotidien, les transferts de chaleur par convection mixte ont fait l'objet de nombreuses investigations. En effet, ce type de convection est présent dans de nombreux systèmes et processus industriels comme par exemple de cette mixité on cite ; les écoulements lents en canalisations ou le long d'une paroi comme dans les radiateurs à eau, les jets anisothermes dans le cas du chauffage ou climatisation des locaux mais aussi dans la technologie des réacteurs nucléaires et le refroidissement des composants électroniques etc.

Cependant l'efficacité du processus de transfert thermique exige une perpétuelle amélioration des performances en raison des puissances thermiques dissipées au sein des appareillages, mais elle est généralement limitée par les propriétés thermo-physiques des fluides ou les méthodes conventionnelles utilisées. Toutefois Pour dépasser ces contraintes, une technique innovante a été développée par Choi [1] au laboratoire d'Argonne en U.S.A. en 1995 se basant sur l'utilisation des nanoparticules solides dans le fluide de base. Cette nouvelle génération de fluides porte le nom de nanofluides. L'adjonction des particules métalliques dotées d'une bonne conductivité thermique dans un fluide a mis en évidence une nette amélioration des capacités thermiques de celui-ci. Le plus souvent l'utilisation des nanofluides est accompagnée par l'application d'un champ magnétique qui influence le comportement des fluides et les écoulements.

Dans le présent travail, nous nous intéressons à l'étude l'influence du champ magnétique sur la convection mixte dans une cavité carrée entraînée et remplie d'un nanofluide.

Ce travail est organisé en trois chapitres ; le premier chapitre est consacré aux généralités sur les nanofluides et la magnétohydrodynamique ainsi que la synthèse bibliographique, le second chapitre traite la mise en équation du problème de la convection ainsi que les modèles mathématiques régissant les écoulements de fluides avec transfert de chaleur par convection. Le dernier chapitre est consacré à la présentation et discussion des résultats numériques obtenus lors de la simulation.

CHAPITRE I

Généralités et synthèse bibliographique

Chapitre I

Généralités et synthèse bibliographique

I.1 Introduction

Dans une perspective d'économie d'énergie. L'amélioration des performances de transfert de chaleur dans les systèmes est devenu un sujet majeur. C'est principalement ce qui a donné naissance au développement d'une nouvelle classe de fluide caloporteur, dit les nanofluides, qui permettent grâce à leurs propriétés d'améliorer les performances thermiques Ils peuvent être utilisés dans une multitude d'applications domestiques et industrielles. Et par ailleurs un autre phénomène a reçu autant d'attention, il s'agit de la magnétohydrodynamique. Cela est dû à sa grande variété d'application dans les domaines de l'ingénierie mais surtout dans le transfert de chaleur.

I.2 Généralités sur les nanofluides

I.2.1 Définition de nanofluide

Le nanofluide est un fluide dans lequel des suspensions colloïdales formés de nanoparticules sont ajoutées dans un fluide de base. Dans les fluides caloporteurs, un des paramètres à prendre en compte afin d'évaluer le potentiel d'échange thermique est la conductivité thermique. Or, les fluides habituellement utilisé particulièrement l'eau, l'huile ou l'éthylène-glycol dispose d'une conductivité thermique faible par rapport à celle des solides cristallins. D'où l'idée d'insertion de nanoparticules dans un fluide de base, est venue. Montrant des aptitudes particulièrement intéressantes du fait d'une meilleure conductivité thermique et d'un coefficient d'échange convectif significativement accru.

Le choix des liquides de base est primordial pour un nanofluide, il permet d'assurer la stabilité de la suspension dans le temps et d'éviter tout phénomène d'agréations, la sélection d'un tel fluide se fera en fonction de la nature de nanoparticule. Les fluides de base les plus utilisés sont :

- L'eau
- Les huiles
- L'éthylène glycol « EG ».
- Le Toluène.

I.2.2 Définition des nanoparticules

Les nanoparticules sont un assemblage de quelques centaines à quelques milliers d'atomes dont les 3 dimensions sont dans la gamme 1-100 nm environ. Les nanomatériaux sont des objets dont au moins une de leurs trois dimensions est nanométrique, ils se situent à la frontière entre l'échelle microscopique et l'échelle atomique. C'est-à-dire inférieure à 100 nm. Cette définition est cependant encore en discussion et certaines définitions parlent de nanoparticules dès qu'une ou deux de leurs dimensions est inférieure à 100nm. Ces solides ont généralement une conductivité thermique plus élevée que celle des liquides. Par exemple, le cuivre (Cu) a une conductivité thermique 700 fois supérieure à celle de l'eau et 3000 fois supérieure à celle de l'huile de moteur.

I.2.3 Classification des nanoparticules

Les nanoparticules sont déviser en plusieurs types en fonction de leurs caractéristiques physiques, chimiques et leurs morphologie. On cite quelques types :

- Nanoparticules a base de carbone
- Nanoparticules Metalliques
- Nanoparticules Ceramiques
- Nanoparticules Semiconducteurs
- Nanoparticules Polymeriques

Mais les plus utilisées dans la préparation des nanofluides sont généralement constituées de métaux, On l'es nome nanoparticules métallique :

- L'or « Au »
- l'argent « Ag »
- le cuivre « Cu »
- l'aluminium « Al »

On utilise également Les nanoparticules des oxydes métalliques :

- l'oxyde de silicium « SiO₂ »
- l'oxyde d'aluminium « Al₂O₃ »
- l'oxyde de cuivre « CuO »
- l'oxyde de titanium « TiO₂ »

Les nanoparticules non métalliques

- les nanotubes de carbone « CNT »

- le diamant « C »

I.2.4 Les inconvénients des nanofluides

- Difficultés dans le processus de production
- Le coût élevé des nanofluides
- Sédimentation
- Bouchons dans les écoulements
- Fortes pertes de charge

I.3 Généralités sur la magnétohydrodynamique :

I.3.1 Qu'est-ce que la magnétohydrodynamique ?

La magnétohydrodynamique ou MHD appelée aussi hydromagnétique, est une discipline très particulière de la mécanique des fluides qui concerne les écoulements de fluides conducteurs électriques en présence ou non d'un champ magnétique.

La magnétohydrodynamique concerne en réalité 99.9% de la matière universelle c'est la frontière entre deux sciences, l'électromagnétisme et la mécanique des fluides Il établit un couplage entre les équations de Navier-Stokes pour la dynamique des fluides et les équations de Maxwell pour l'électromagnétisme. Le concept principal de la magnétohydrodynamique est que les champs magnétiques peuvent induire des courants dans un fluide conducteur en mouvement, qui à leur tour créent des forces sur le fluide et influencent le champ magnétique lui-même.

Il est important de noter que la force centrale à la compréhension des phénomènes MHD est la force de Lorentz :

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (\text{I.1})$$

Où :

F : est la force subie par une particule de charge **q**

V : la vitesse de mouvement de la particule

E : Champ électrique

B : Champ magnétique

C'est la combinaison de cette force - à partir de laquelle on définit le champ magnétique et de l'équation de Navier-Stokes que l'on décrit les équations de la magnétohydrodynamique.

I.3.2 Comprendre la magnétohydrodynamique

La MHD concerne la dynamique des fluides conducteurs électriques comme les métaux liquides et les plasmas. L'hypothèse initiale de la MHD est que les courants à l'origine des champs électriques et magnétiques sont portés par la matière et qu'il y a donc une interaction entre la dynamique des champs électromagnétique et l'hydrodynamique.

Avec les mains le mécanisme des phénomènes MHD est assez simple.

Un fluide conducteur est en mouvement dans un champ magnétique \mathbf{B}_0 , il crée alors par l'intermédiaire de la loi d'Ohm un courant électrique :

$$\mathbf{j}_{\text{induit}} = \sigma \mathbf{v} \times \mathbf{B}_0 \quad (\text{I.2})$$

Ces courants induits génèrent à leur tour un champ induit

$$\text{rot} \mathbf{B}_{\text{induit}} = \mu_0 \mathbf{j}_{\text{induit}} \quad (\text{I.3})$$

Qui modifie le champ magnétique total

$$\mathbf{B}_{\text{total}} = \mathbf{B}_0 + \mathbf{B}_{\text{induit}} \quad (\text{I.4})$$

On voit ici comment l'hydrodynamique va modifier le champ électromagnétique.

Par ailleurs la force de Laplace :

$$\mathbf{d}_F = \mathbf{j}_{\text{induit}} \times \mathbf{B}_0 \quad (\text{I.5})$$

Va agir sur le fluide pour s'opposer au mouvement initial. On voit ici comment les champs électromagnétiques vont modifier l'hydrodynamique. [2]

I.4 Synthèse bibliographique :

Le transfert de chaleur par convection mixte qui se développe dans les cavités carrées, trouve plusieurs applications dans différents domaines et phénomènes naturels tels que ; les centrales thermiques, l'industrie pétrochimique, l'aérospatiale, la construction, les capteurs solaires etc. De ce fait de nombreuses études ont été publiées sur le transfert de chaleur par convection mixte dans une enceinte carrée sous diverses conditions.

Les premiers travaux portant sur la convection naturelle ont été entrepris, dans les années 60 du 20^{ème} siècle, par Vahl Davis et al [3] et [4], ces auteurs ont utilisé la méthode des différences finies pour résoudre le problème de convection naturelle dans une cavité carrée chauffée. Ces études ont eu le mérite de lancer une compétition internationale sur le sujet. Elles ont montré que la distribution de température à mi-hauteur de la cavité est presque

linéaire et le gradient thermique vertical tend vers zéro pour les valeurs du nombre de Rayleigh inférieures à 10^4 .

Chu et Churchill [5], qui ont étudié la convection naturelle au sein d'une enceinte rectangulaire bidimensionnelle munie d'une source de chaleur discrète. Avec des parois horizontales thermiquement isolées, une paroi verticale froide isotherme et une source de chaleur installée sur l'autre paroi verticale, ils ont obtenu numériquement la position de la source qui optimise le transfert thermique, en fonction du nombre de Rayleigh. Cette position optimale se trouve près du centre de la paroi verticale, mais glisse légèrement vers le bas à mesure que le nombre de Rayleigh augmente.

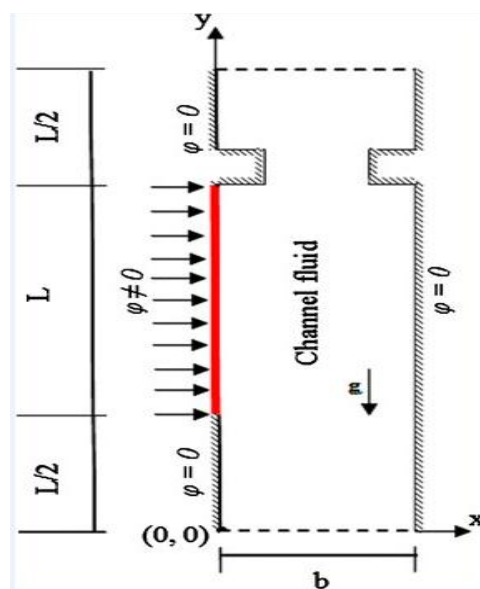


Figure I.1 : Configuration étudiée par Chu et Churchill [5]

Marie-Laure [6], une étude de la convection naturelle dans une enceinte confinée comportant une source de chaleur dont la position et la forme varient est réalisée afin d'avoir une meilleure compréhension des phénomènes rencontrés. Cette étude a permis également de tester l'outil numérique Fluent en régime laminaire. Après une analyse des paramètres de similitude intervenant dans cette configuration, une maquette est définie et réalisée en similitude du cas industriel. Cette maquette comprend un élément chauffant placé sur le côté de la cavité et une rampe de jets positionnée perpendiculairement, qui sont représentatifs d'un pack de conditionnement d'air avec le système de ventilation associé. L'ensemble de ces résultats constitue une base de données sur les écoulements de convection dans des enceintes confinées comportant une source de chaleur ventilée. En vue d'une étude paramétrique, ces

données expérimentales ont permis une première vérification du code de calcul Fluent en convection naturelle. Cette première étape constitue une approche dans la détermination de corrélations de transfert de chaleur sur ce type d'écoulements.

Sarris et al [7], ont effectué une étude numérique de la convection naturelle dans les réservoirs rectangulaires chauffés localement au-dessous. Base sur des prévisions numériques, les effets du nombre de Rayleigh et la géométrie de la source de chauffage et du réservoir sur les structures d'écoulement et le transfert thermique ont été étudiés pour le nombre de Rayleigh dans la gamme 10^2 à 10^7 . Leur étude a indiqué que l'augmentation de l'intensité de circulation d'écoulement augmente avec l'augmentation de longueur de la source de chauffage.

Hamad [8], étudie analytiquement la convection d'un nanofluide sur une plaque plane en présence d'un champ magnétique. Il trouve que pour une valeur donnée de la concentration des nanoparticules le transfert de chaleur diminue quand l'intensité du champ magnétique augmente.

M.A.Mansour et al[9], ont publié une étude sur le mécanisme de transport de la convection mixte laminaire dans une cavité carée remplie d'un nanofluide « Cu-H₂O » en présence d'un flux de chaleur. Ils ont montré que le nombre de Nusselt augmente à l'augmentation du nombre de Reynolds et qu'il diminue à la diminution du nombre de Hartmann.

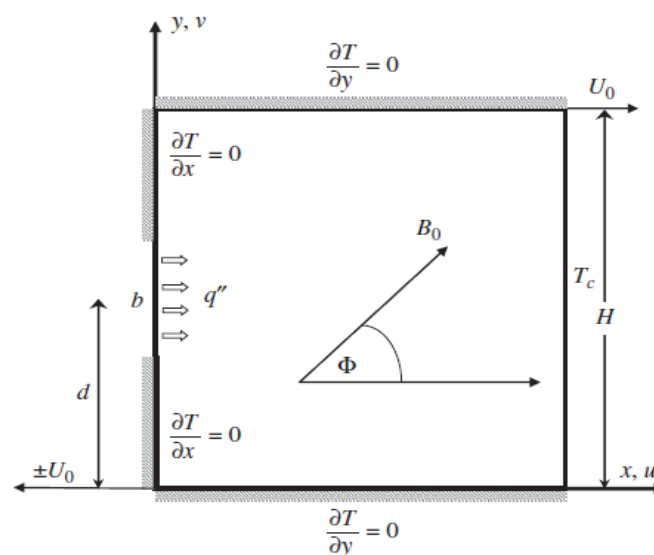


Figure I.2 : Configuration étudiée M.A.Mansour et al[9].

Heris et Coll [10] ont examiné des nanoparticules d'oxyde de cuivre (CuO) et de trioxyde d'aluminium (Al₂O₃), dispersés à différentes concentrations dans l'eau. L'ensemble constituant un nanofluide est testé en écoulement convectif laminaire dans un tube circulaire horizontal maintenu à température constante. Les résultats expérimentaux montrent que l'augmentation du coefficient de transfert convectif est plus importante pour le mélange (eau/Al₂O₃) que celui du mélange (eau/Cu) et ceci est plus significatif pour les grandes concentrations volumiques en nanoparticules, et pour un optimum compris entre 2.5 et 3%.

Palm et Coll [11] ont étudié un écoulement radial de nanoparticules de trioxyde d'aluminium (Al₂O₃) suspendues dans l'eau. Le montage étudié est sous forme de deux disques coaxiaux parallèles dont l'inférieur est chauffé uniformément. Le nanofluide est alimenté en haut à travers le disque supérieur. Pour un pourcentage de 4% de nanoparticules, l'augmentation du facteur de transfert convectif est de 25 % relativement au fluide de base.

Khanafer et al [12], ont mené une étude numérique sur l'amélioration du transfert de chaleur due à l'ajout de nanoparticules dans une enceinte chauffée de façon différentielle. Ils ont testé différents modèles de densité de nanofluides, de viscosité et de coefficients de dilatation thermique. Il a été constaté que le nombre de Nusselt est considérablement augmenté avec l'augmentation de la fraction volumique à tout nombre de Grashof donné.

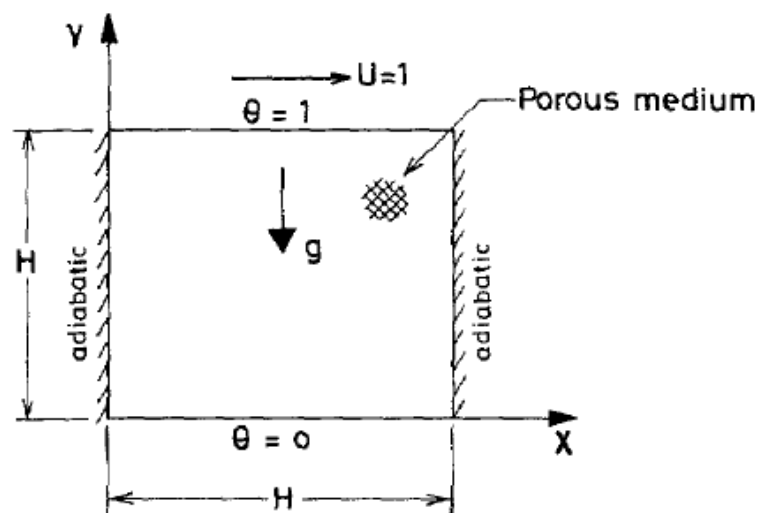


Figure I.3 : Configuration étudiée par Khanafer et al [12].

Ghasemi et al [13], ont étudié l'influence du champ magnétique horizontal sur la convection naturelle dans une cavité carrée remplie de nanofluide. Leurs résultats ont montré

que le taux de transfert de chaleur augmente avec une augmentation du nombre de Rayleigh mais il diminue avec une augmentation du nombre de Hartmann.

Mahmoudi et al [14] étudient numériquement la génération d'entropie et l'augmentation du transfert de chaleur dans un nanofluide remplissant une cavité trapézoïdale en présence d'un champ magnétique. Ils trouvent que pour deux valeurs de Rayleigh l'augmentation des nombres de Nusselt due à la présence des nanoparticules est plus importante avec l'augmentation de Hartmann, mais pour les nombres de Rayleigh plus importants une réduction est enregistrée.

IWATSU et al[15], ont réalisé une étude paramétrique approfondies sur l'écoulement et le transfert de chaleur d'un fluide visqueux contenu dans une cavité carrée.

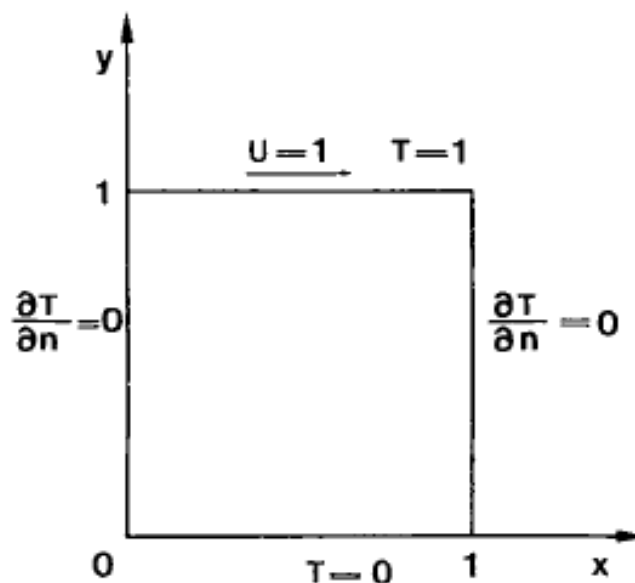


Figure I.4 : Configuration étudiée IWATSU et al[15].

Mahmoudi et al [16], ont étudié l'effet de la MHD avec un nanofluide « Al₂O₃-Eau » en convection naturelle dans une enceinte carrée. Ils ont remarqué que l'augmentation du nombre de Rayleigh améliore le transfert thermique. En revanche, l'augmentation du nombre de Hartmann le défavorise. Ils ont montré en outre, que le transfert thermique dépend de la direction du champ magnétique.

Munshi et al [17] de leur côté 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 22. 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 .

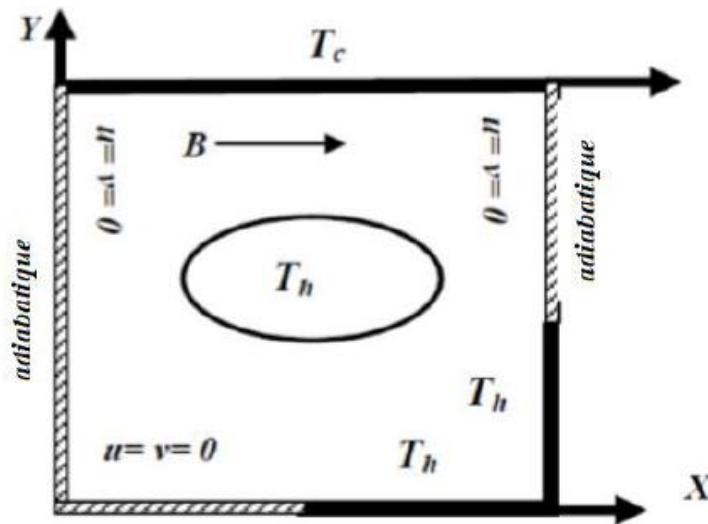


Figure I.5 : Configuration étudiée par Munshi et al [17].

Lorentz. Nematy et al [18], étudient l'effet du champ magnétique sur la convection naturelle dans une cavité rectangulaire en utilisant le modèle de Lattice-Boltzmann. Leurs résultats indiquent que le nombre de Nusselt moyen augmente avec l'augmentation de la fraction volumique des nanoparticules, mais en présence d'un champ magnétique d'intensité importante le nombre de Nusselt moyen diminue.

A.Zahiri et al [19], ont présenté une étude analytique et numérique sur l'effet d'un champ magnétique sur la convection mixte dans une cavité rectangulaire doublement entraînée. Ils ont trouvé que l'augmentation de nombre de Hartmann engendre une diminution sur le transfert de chaleur.

I.5 Conclusion :

Tout au long de ce chapitre nous avons abordé des notions de base sur les nanofluides et la magnétohydrodynamique ainsi qu'une synthèse bibliographique. Cela dans le but d'avancer une première idée afin de bien saisir les prochains chapitres.

Chapitre II

Position du Problème

Chapitre II

Position du problème

II.1.Introduction

Ce chapitre est consacré à la mise en équation du problème étudié. Nous introduisant directement les équations de transport des fluides purs, pour les nanofluides. Ces équations contiennent l'ensemble des connaissances nécessaires pour reproduire le phénomène considéré.

L'objectif principal du présent travail est d'examiner numériquement l'influence du champ magnétique sur la convection mixte dans une cavité carrée entraînée et remplie d'un nanofluide (Cu-H₂O).

II.2.Configuration Etudiée

Ce travail a été entrepris en vue d'une étude sur l'effet du champ magnétique sur la convection mixte dans une cavité carrée entraînée et remplie de nanofluide (Cu-H₂O). Avec les parois supérieures et inférieures de la cavité, thermiquement isolées et se déplaçant avec une vitesse constante dans leur propre plan. En néglige l'effet d'adhérence aux parois ainsi que la génération ou l'absorption de chaleur interne. Une source de chaleur constante est fixée sur une partie de la paroi gauche tandis que le reste de la paroi est isotherme. La paroi droite est supposée maintenue à une température inférieure.

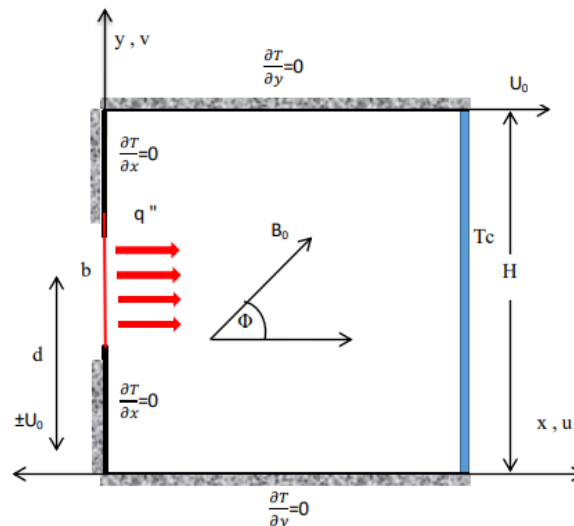


Figure II.1: Esquisse de la géométrie et du système de coordonnées de la cavité.

II.3.Hypothèses simplificatrices

Le processus de la convection mixte dans une enceinte carrée est gouverné par un ensemble d'équations qui traduisent la conservation des différentes propriétés physicochimiques mises en jeu. La résolution des équations gouvernantes nécessite un certain nombre d'hypothèses simplificatrices, on admet à cet effet :

- Le fluide de base est supposé newtonien, incompressible et satisfait l'hypothèse de Boussinesq
- Le régime d'écoulement est laminaire et stationnaire.
- La cavité est considérée suffisamment longue dans la direction longitudinale (z) pour considérer un écoulement bidimensionnel plan (x, y).
- On néglige la génération ou l'absorption de chaleur interne.
- On suppose que le nanofluide est incompressible et que ses propriétés thermophysiques sont constantes.
- Le champ magnétique induit par le mouvement du nanofluide électriquement conducteur est négligeable par rapport au champ magnétique appliqué
- L'approximation de Boussinesq est valable

II.4.Formulation Mathématique

Pour donner plus de clarification sur le phénomène de transfert de chaleur qui se développe dans une cavité, nous avons considéré une cavité carrée bidimensionnelle de taille H comme illustré sur la figure II.1. L'origine du système de coordonnées cartésiennes se trouve dans le coin inférieur gauche de la cavité. La direction de l'axe des x correspond à la longueur de la cavité et celle de l'axe des y est le long de la hauteur de la cavité. Les composantes de vitesse u et v sont présentes respectivement dans les directions x et y . La cavité est considérée comme remplie d'une suspension de nanoparticules de cuivre dans l'eau. Le haut et le bas des parois sont isolés thermiquement et se déplacent à vitesse constante U_0 dans leur propre plan, en négligeant l'effet de glissement partiel imposé sur ces parois. On considère, qu'une source de chaleur constante q'' est localisée sur une partie de longueur $b=0.5$ de la paroi gauche de la cavité, avec $d=0.5$ et le reste de la paroi isotherme. La paroi verticale droite de la cavité est conservée à une température constante inférieure T_c . On suppose également que le champ magnétique généré par le mouvement du nano fluide est négligeable par rapport au champ magnétique appliqué. Le champ magnétique est appliqué de manière uniforme avec une

grandeur constante B_0 avec un angle Φ par rapport à l'horizontal. On suppose en outre que le fluide de base et les nanoparticules sont en équilibre thermique.

Compte tenu des hypothèses précédentes, le système d'équation régissant le modèle peut être réduit sous la forme dimensionnelle suivante :

i. Formes dimensionnelles des Equations :

Les équations gouvernantes sont l'équation de continuité, les équations de conservation de la masse et l'équation d'énergie pour le fluide et pour le solide en coordonnées cartésiennes à deux dimensions s'écrivent comme suit :

▪ Equation de continuité

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (\text{II.1})$$

▪ Equation de quantité de mouvement (ou équation de Navier-Stokes)

$$\frac{u\partial u}{\partial x} + \frac{v\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho_{nf}} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu_{nf} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \frac{\sigma_n B_0^2}{\rho_{nf}} (v \sin \Phi \cos \Phi - u \sin^2 \Phi) \quad (\text{II.2})$$

$$\frac{u\partial v}{\partial x} + \frac{v\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho_{nf}} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu_{nf} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \frac{\sigma_n B_0^2}{\rho_{nf}} (u \sin \Phi \cos \Phi - v \cos^2 \Phi) + \frac{(\rho\beta)_{nf}}{\rho_{nf}} g (T - T_C) \quad (\text{II.3})$$

▪ Equation de conservation de l'énergie

$$\frac{u\partial T}{\partial x} + \frac{v\partial T}{\partial y} = \alpha_{nf} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (\text{II.4})$$

Où u et v sont les composantes de vitesse le long des axes x et y respectivement, T est la température du fluide, P est la pression du fluide, g est l'accélération de la pesanteur, ρ_{nf} est la densité, μ_{nf} est la viscosité dynamique, ν_{nf} est la viscosité cinématique. L'indice nf indique les propriétés de nano-fluide.

▪ Les conditions aux limites

A la paroi gauche :

$$- \quad x=0 \quad (d - 0,5b) \leq y \leq (d + 0,5b)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = -\frac{q''}{k_{nf}} \quad u = v = 0 \quad (\text{II.5})$$

- $x=0$, $0 \leq y \leq (d - 0,5b)$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0 \quad u = v = 0 \quad (\text{II.6})$$

- $x=0$, $(d + 0,5b) \leq y \leq H$

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

A la paroi droite :

Pour $x = H$, $0 \leq y \leq H$

$$u = v = 0 \quad T = T_c \quad (\text{II.8})$$

A la paroi supérieure :

Pour $0 \leq x \leq H$, $y = H$

$$\text{On a } \frac{dT}{dy} = 0 \quad v = 0 \quad u = u_0 \quad (\text{II.9})$$

A la paroi inférieure :

Pour $0 \leq x \leq H$, $y = 0$

$$\text{On a } \frac{\partial T}{\partial y} = 0 \quad v = 0 \quad u = u_0 \quad (\text{II.10})$$

i.1. Propriétés thermophysiques des nanofluides

De nombreuses formulations des propriétés thermophysique des nanofluides sont proposées, nous adoptons les relations qui dépendent de la fraction volumique des nanoparticules uniquement et qui ont été prouvées et utilisées dans de nombreuses études.

- La masse volumique effective du nanofluide parfaitement homogène (bonne dispersion des nanoparticules dans le fluide) en fonction de la fraction volumique ϕ à une température T donnée, se fait à partir de la définition de la masse volumique d'un mélange.

Dans le cas d'un mélange la masse volumique est donnée par la relation suivante :

$$\rho_{nf} = (1 - \phi)\rho_f + \phi \rho_p \quad (\text{II.11})$$

- La capacité thermique du nanofluide est donnée par khanfer :

$$(\rho Cp)_{nf} = (1 - \phi)(\rho Cp)_f + \phi(\rho Cp)_p \quad (\text{II.12})$$

- Le coefficient de dilatation thermique du nanofluide est donné :

$$(\rho\beta)_{nf} = (1-\phi)(\rho\beta)_f + \phi(\rho\beta)_p \quad (\text{II.13})$$

- La diffusivité thermique du nanofluide α_{nf} est définie par :

$$\alpha_{nf} = \frac{k_{nf}}{(\rho C p)_{nf}} \quad (\text{II.14})$$

- k_{nf} : La conductivité thermique effective du nanofluide d'après le model de Maxwell-Garnetts qui s'écrit comme suite :

$$\frac{k_{nf}}{k_f} = \frac{(k_p + 2k_f) - 2\phi(k_f - k_p)}{(k_p + 2k_f) - \phi(k_f - k_p)} \quad (\text{II.15})$$

- La viscosité dynamique effective du nanofluide d'après le model de Brinkman :

$$\mu_{nf} = \frac{\mu_f}{(1-\phi)^{2.5}} \quad (\text{II.16})$$

- La conductivité électrique du nanofluide est donnée par la relation de Maxwell-Garents :

$$\frac{\sigma_{nf}}{\sigma_f} = \frac{3\left(\frac{\sigma_p}{\sigma_f} - 1\right)\phi}{\left(\frac{\sigma_p}{\sigma_f} + 2\right) - \left(\frac{\sigma_p}{\sigma_f} - 1\right)\phi} \quad (\text{II.17})$$

ii. Formes Adimensionnelles des Equations :

Les variables et les opérateurs adimensionnés pour les grandeurs caractéristiques du système :

$$X = \frac{x}{H} \quad Y = \frac{y}{H} \quad U = \frac{u}{U_0} \quad V = \frac{v}{U_0}$$

$$P = \frac{p}{\rho_{nf} U_0} \quad \theta = \frac{T - T_c}{q''} k_f$$

- **Equation de continuité Adimensionnel**

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0 \quad (\text{II.18})$$

▪ **Equations de quantités de mouvements Adimensionnel**

$$\frac{U\partial U}{\partial X} + \frac{V\partial U}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial X} + \frac{1}{Re} \left(\frac{\nu_{nf}}{\nu_f} \right) \left(\frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} \right) + \frac{Ha^2}{Re} \left(\frac{\rho_f}{\rho_{nf}} \right) \left(\frac{\sigma_{nf}}{\sigma_f} \right) \times (V \sin \Phi \cos \Phi - U \sin^2 \Phi) \quad (\text{II.19})$$

$$\frac{U\partial V}{\partial X} + \frac{V\partial V}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial Y} + \frac{1}{Re} \left(\frac{\nu_{nf}}{\nu_f} \right) \left(\frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} \right) + \frac{Ha^2}{Re} \left(\frac{\rho_f}{\rho_{nf}} \right) \left(\frac{\sigma_{nf}}{\sigma_f} \right) \times (U \sin \Phi \cos \Phi - V \sin^2 \Phi) + \frac{Gr}{Re^2} \frac{(\rho\beta)_{nf}}{\rho_{nf}\beta_f} \theta \quad (\text{II.20})$$

▪ **Equation de conservation de l'énergie Adimensionnel**

$$\frac{U\partial\theta}{\partial X} + \frac{V\partial\theta}{\partial Y} = \left(\frac{1}{Pr.Re} \right) \left(\frac{\alpha_{nf}}{\alpha_f} \right) \left(\frac{\partial^2\theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2\theta}{\partial Y^2} \right) \quad (\text{II.21})$$

▪ **Les conditions aux limites adimensionnée**

- A la paroi gauche :

- $X = 0, (D - 0,5B) \leq Y \leq (D + 0,5B)$

$$\frac{\partial T}{\partial X} = -\frac{q''}{k_{nf}} \quad U = V = 0 \quad (\text{II.22})$$

- $X = 0, 0 \leq Y \leq (D - 0,5B)$

$$\frac{\partial T}{\partial X} = 0 \quad U = V = 0 \quad (\text{II.23})$$

- $X = 0, (D + 0,5B) \leq Y \leq H$

$$\frac{\partial T}{\partial X} = 0 \quad U = V = 0 \quad (\text{II.24})$$

- A la paroi droite :

$X = H, 0 \leq Y \leq H$

$$U = V = 0 \quad T = T_c \quad (\text{II.25})$$

- A la paroi supérieure :

$0 \leq X \leq H, Y = H$

$$\frac{\partial T}{\partial Y} = 0 \quad V = 0 \quad U = U_0 \quad (\text{II.26})$$

- A la paroi inférieure :

$0 \leq X \leq H, Y = 0$

$$\frac{\partial T}{\partial Y} = 0 \quad V = 0 \quad U = U_0 \quad (\text{II.27})$$

II.5 Groupement Adimensionnelle

- Nombre de Nusselt

C'est un nombre adimensionnel utilisé dans les opérations de transfert thermique. Il représente le rapport entre le transfert thermique convectif et le transfert thermique conductif à travers une surface. On le définit de la manière suivante :

$$\text{Nusselt local :} \quad Nu = \frac{1}{\theta} \quad (\text{II.28})$$

- Nombre de Richardson

Nombre adimensionné développé par Lewis Fry Richardson, c'est le rapport entre l'énergie potentielle gravitationnelle d'une parcelle de fluide et son énergie cinétique. On le définit de la manière suivante :

$$Ri = \frac{Gr}{Re^2}$$

- Nombre de Reynolds

Représente le rapport entre les forces d'inertie et les forces visqueuses. Ce nombre sans dimension apparaît naturellement en dimensionnant les équations de Navier-Stokes. On le définit de la manière suivante :

$$Re = \frac{U_0 H}{\nu_f}$$

- Nombre de Grashof

Nombre sans dimension utilisé en mécanique des fluides comme rapport des forces de gravité sur les forces visqueuses il est défini par :

$$Gr = \frac{g \beta_f H^4 q''}{\nu_f^2 k_f}$$

- Nombre de Prandtl

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

$$Pr = \frac{\nu_f}{\alpha_f}$$

- Nombre d'Hartmann

Utilisé en magnétohydrodynamique pour traiter, caractériser le mouvement des fluides conducteurs en présence d'un champ magnétique. Sa formule est la suivante :

$$Ha = B_0 H \sqrt{\frac{\sigma_f}{\mu_f}}$$

II.6. Conclusion

Le phénomène physique a été décrit mathématiquement par les différentes équations de conservation de masse et de quantité de mouvement décrites par les équations de Navier-Stokes et l'équation de l'énergie. Une présentation des groupements adimensionnels a été faite ainsi qu'une analyse adimensionnelle pour les équations, pour une meilleure approche de la réalité du phénomène physique. Cependant avec la méthode analytique l'obtention des résultats qui reflètent le comportement du champ magnétique et thermique ainsi que l'écoulement pour notre configuration sont souvent très difficile à déterminer voire impossible, alors pour pallier à ce problème on aura recours à la simulation numérique considéré comme de véritable expérience, puisqu'elle permet de prédire le comportement d'un phénomène dans son environnement et permettrait l'obtention directe des résultats. Pour cela nous allons utiliser principalement deux logiciels, dans un premier temps un logiciel afin de créer la géométrie et le maillage de l'étude surtout qu'il offre une grande précision, ensuite la géométrie sera exportée sur l'autre logiciel pour simuler l'écoulement du fluide.

Chapitre III

Convection mixte MHD d'un nanofluide dans une cavité entraînée

Chapitre III

Convection mixte MHD d'un nanofluide dans une cavité entraînée

III.1 Introduction

Toutes les étapes ultérieures n'étaient que le prélude pour arriver à ce chapitre, qui nous permet d'étudier les caractéristiques du nanofluide cuivre-eau avec plusieurs paramètres pour déterminer ses domaines d'application ainsi que ses paramètres optimaux.

Nous y allons étudier notamment l'influence du régime d'écoulement en faisant varier le nombre de Reynolds, l'influence de la gravité en variant le nombre de Grashof, l'influence de la concentration de nanoparticule, l'influence de l'intensité du champ magnétique ainsi que de son inclinaison.

III.2 Choix du maillage

Dans le tableau ci-dessous nous avons retranscrit les résultats obtenus de l'étude du nombre de Nusselt Nu (calculés depuis la paroi gauche avec la source de chaleur) pour l'eau et le nano-fluide NF avec différents maillages. Le champ magnétique est appliqué à un angle $\Phi = 0^\circ$.

maillage	40x40	60x60	80x80	100x100	120x120	140x140	160x160	180x180	200x200
Nu(eau)	4.400	4.401	4.402	4.404	4.405	4.404	4.402	4.398	4.392
Nu(nf)	4.766	4.768	4.770	4.772	4.774	4.773	4.770	4.765	4.759

Tableau III.1: Résultats de l'étude du nombre de Nusselt pour l'eau et le nanofluide avec $Ri=1$, $\phi=0.05$

Les résultats de Nu dans le tableau nous montrent que le maillage uniforme 120x120 est adéquat car la différence dans les résultats des divers maillages est négligeable.

Nous avons constaté, indépendamment du maillage, que le nombre de Nusselt pour le nano-fluide est systématiquement supérieur à celui de l'eau dû à l'amélioration apportée par les nanoparticules de cuivre en étant mélangé dans l'eau (qui est le fluide de base), pour former le nano-fluide Cu- H₂O.

III.3 Validation des résultats

Comparaison quantitative

Dans le but de s'assurer de la précision de la méthode en vigueur, on compare les résultats obtenus aux résultats d'Iwatsu, Khanafer et Mansour en matière de nombre de Nusselt au niveau de la paroi supérieure pour différentes valeurs de Reynolds. Et comme nous pouvons le constater sur le tableau ci-dessous les résultats trouvés sont très rapprochés.

Re	Iwatsu et al[15]	Khanafer et Chamkha [12]	Mansour et al[9]	Étude actuelle
100	1.94	2.01	1.93	2.02
400	3.84	3.91	3.91	4.04
1000	6.33	6.33	6.31	6.49

Tableau III.2 : comparaison des différents nombres de Nusselt à la paroi supérieure pour différentes valeurs de Re avec Pr=0.71, Gr=100

Donc en comparant les résultats obtenus dans le tableau III.1 par Iwatsu, Khanafer et Mansour avec les nôtres, nous déduisant que nous avons approximativement trouvé les mêmes résultats.

Comparaison qualitative

Des figures III.1 et III.2 nous constatant la similitude entre les lignes de courants et d'isothermes qu'on a trouvé et celles d'Iwatsu ce qui prouve la validité de nos calculs.

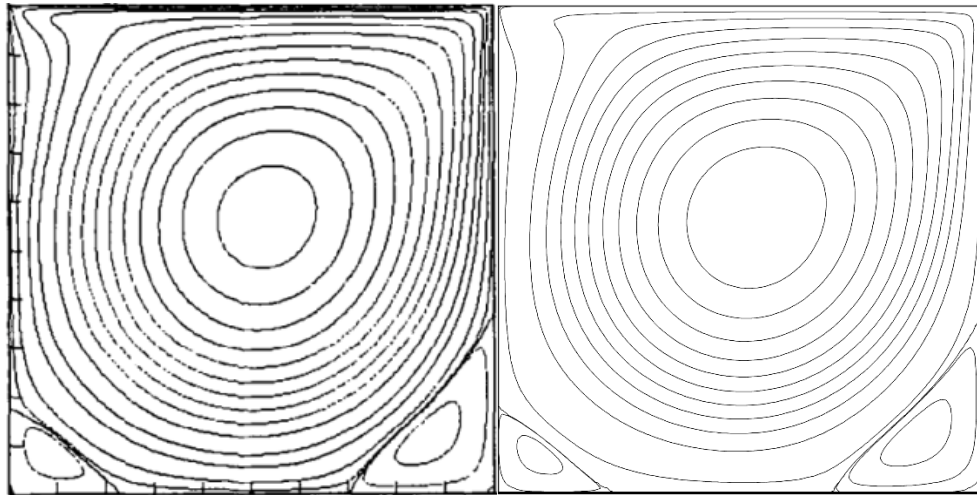


Figure III .1 : Lignes de courant, à gauche réalisée à partir des études d'Iwatsu
à droite réalisée à partir des études actuelles

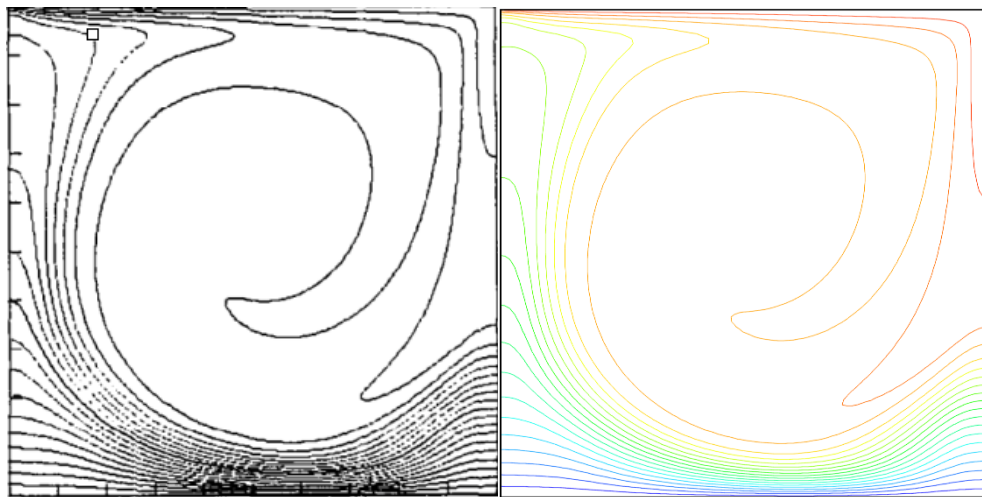


Figure III .2 : Lignes d'isothermes, à gauche réalisée à partir des études d'Iwatsu,
à droite réalisée à partir des études actuelles.

III.4 Résultats et discussion

i. Influence du nombre de Reynolds

Pour étudier l'influence du régime d'écoulement nous faisons varier le nombre de Reynolds entre 10 et 1000 pour différentes valeurs de Gr , Re , Ha , ϕ et Φ .

Les figures III.3, 4 montrent les lignes de courants générés par l'écoulement, on remarque que le nano-fluide proche du centre de la paroi droite froide se divise en deux flux qui se déplacent vers la paroi gauche, ce qui donne naissance à deux cellules contrarotatives. Le flux du haut tourne dans le sens des aiguilles d'une montre contrairement à celui du bas qui tourne dans le sens inverse et cela est dû au sens de glissement de la paroi supérieure et

inferieur. Ce déplacement du fluide entrant en contact avec le flux de chaleur au centre de la paroi gauche, engendre le transport d'une quantité de chaleur par convection forcée le long des extrémités des parois adiabatique. Sur la figure III.5 nous observent qu'on dépit de la différence de concentration pour les deux cas (a) et (b) en dessous de $Re=100$ et pour $Gr=10^5$ la convection naturelle influe sur l'échange de chaleur contrairement à toutes les valeurs de $Re>100$ où la convection forcée est prédominante. Sur la figure III.6 on voit que dans le cas (a) $Ha=10$ l'influence de l'inclinaison est négligeable, contrairement au cas (b) $Ha=50$ influe fortement l'échange de chaleur. On constate alors qu'indépendamment des paramètres appliqués que plus le nombre de Reynolds augmente le nombre de Nusselt augmente également, ce qui explique l'augmentation de la quantité de chaleur transporté de l'enceinte.

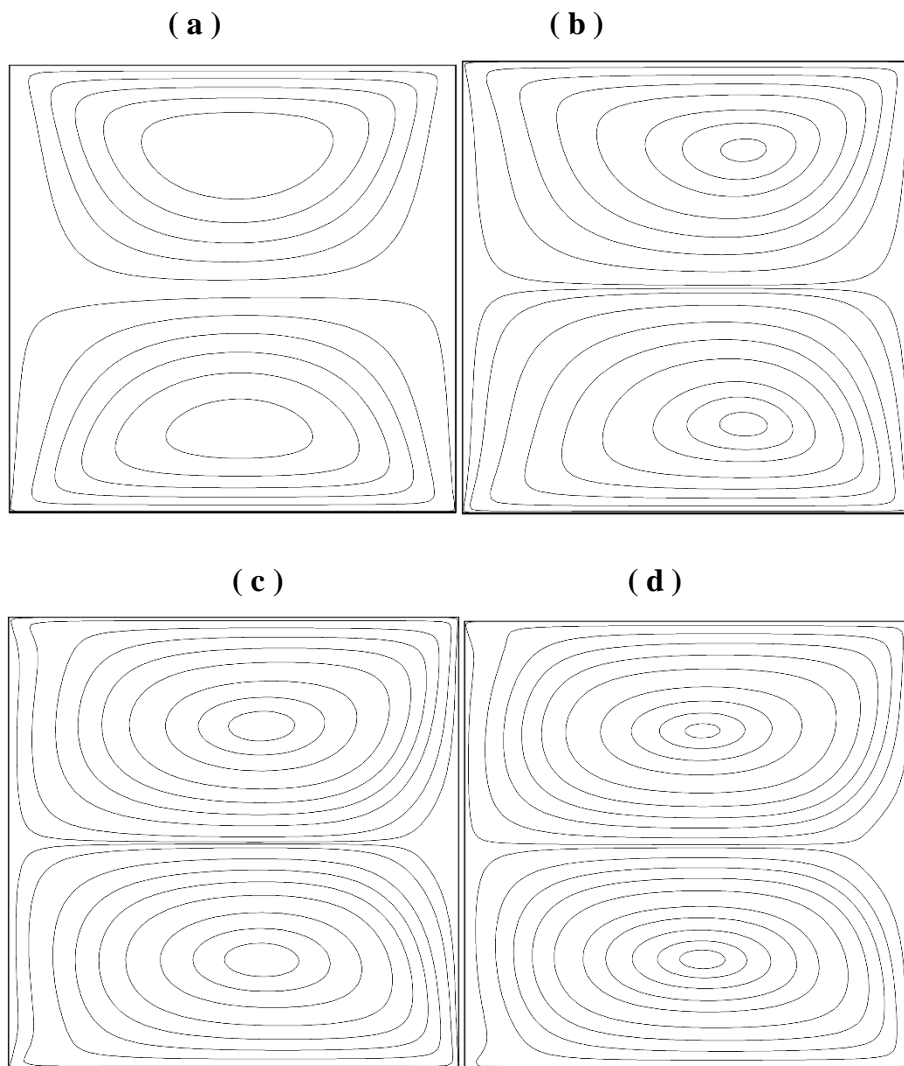


Figure III.3 : lignes de courant pour différents Reynolds (a) $Re=10$, (b) $Re=100$, (c) $Re=500$,
(d) $Re=1000$ avec $Ha=10$, $Gr=1000$, $\phi=0,05$, $\Phi=0^\circ$.

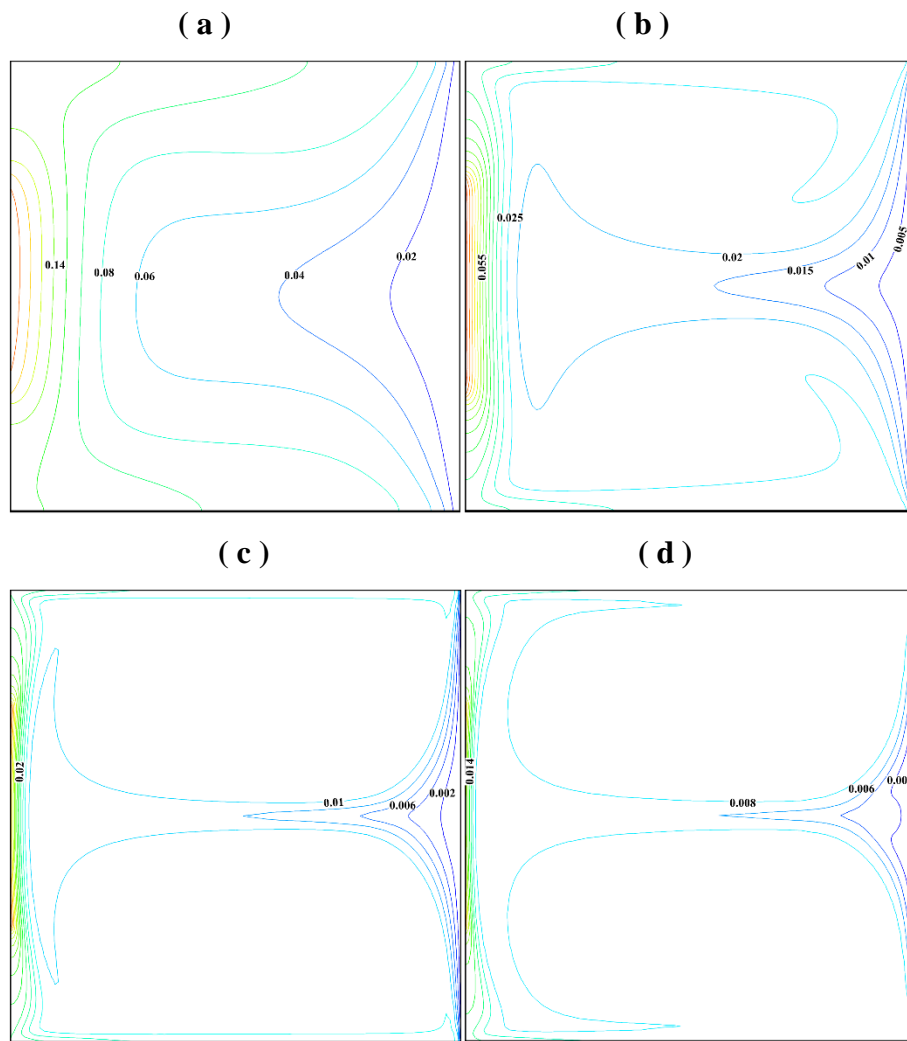


Figure III.4 : lignes d'isothermes pour différents Reynolds (a) $Re=10$, (b) $Re=100$,
(c) $Re=500$, (d) $Re=1000$ avec $Ha=10$, $Gr=1000$, $\phi=0,05$, $\Phi=0^\circ$.

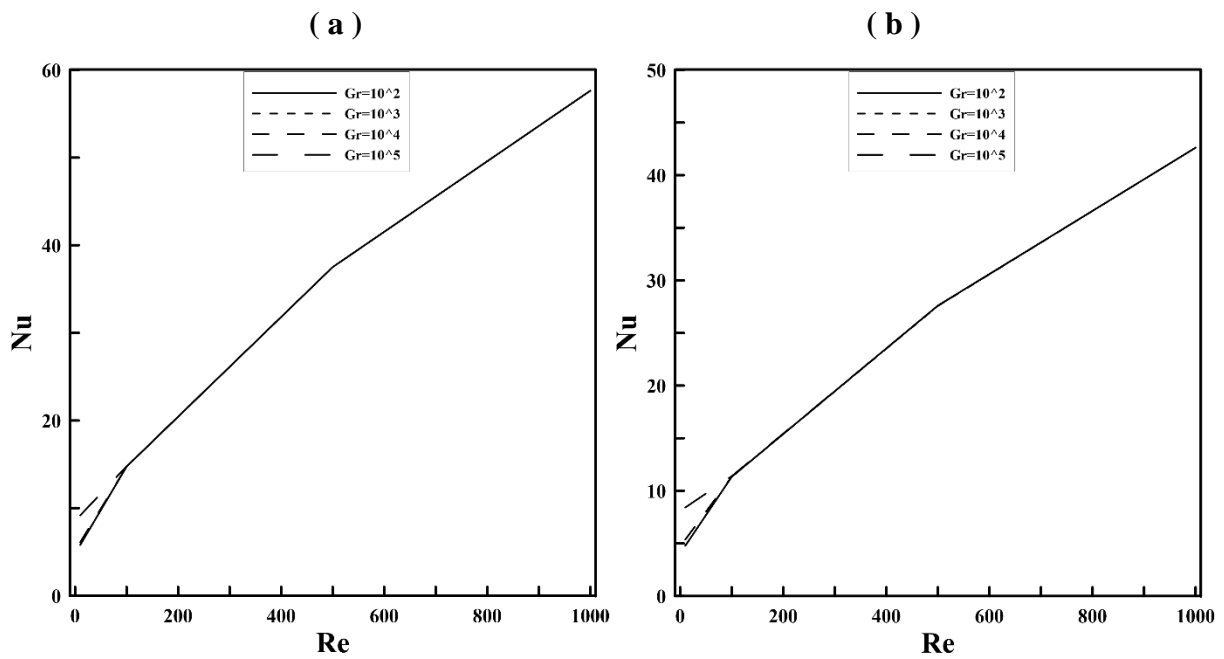


Figure III.5 : Nusselt en fonction de Reynolds pour différents Grashof (a) $\phi=0,2$; (b) $\phi=0,05$. Avec $Ha=10$ et $\Phi=0^\circ$.

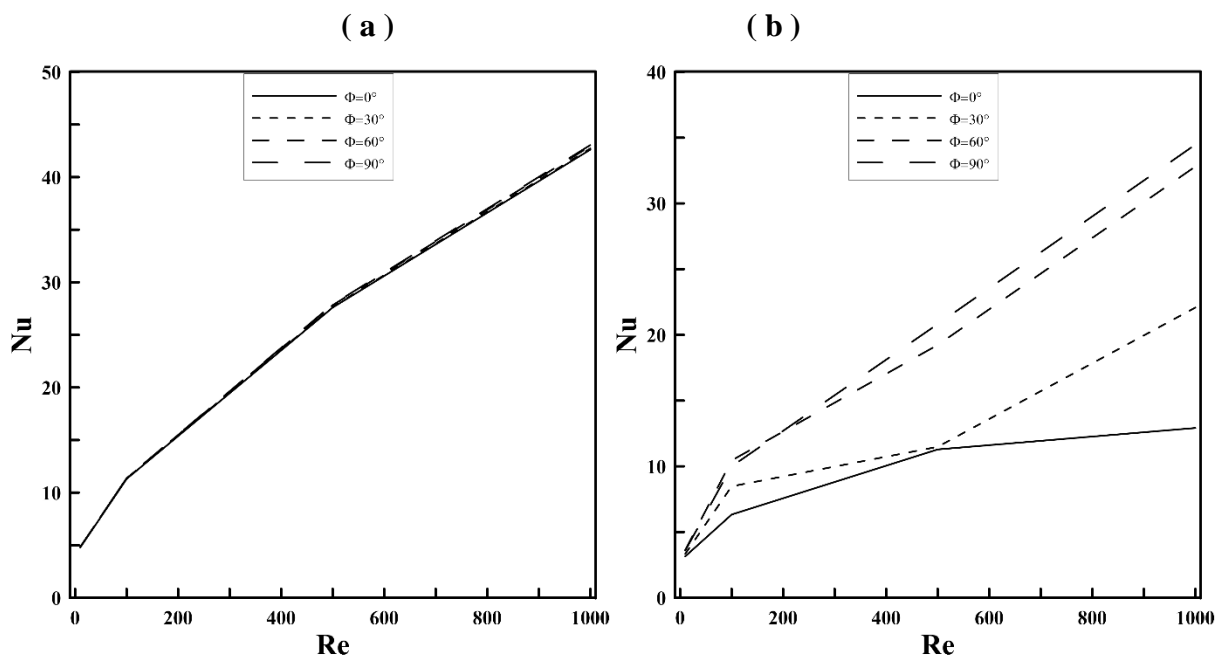


Figure III.6 : Nusselt en fonction du nombre de Reynolds pour différentes inclinaisons du champ magnétique Φ , avec (a) $Ha=10$ et (b) $Ha=50$ et $\phi=0,05$, $Gr=1000$.

ii. Influence du nombre de Grashof

L'influence du nombre de Grashof est illustré sur les figures III.7, 8,9,10. Qui montrent respectivement les lignes de courants, les lignes d'isothermes ainsi que les figures représentant le nombre de Nusselt en fonction du nombre de Grashof avec différents paramètres.

La figure III.7 traduit l'effet de l'augmentation du nombre de Grashof sur l'écoulement du nanofluide. dans le cas (a) et (b) les lignes de courants forment deux tourbillons axisymétriques tournant dans deux sens opposés sans changement conséquent entre les deux cas, tandis que sur les deux autres cas (c) et (d) les lignes de courants du tourbillon supérieur s'étale sur la cavité à mesure que le nombre de Grashof augmente, cela est expliqué par une convection naturelle importante qui engendre un déplacement des particules chaude vers le haut favorisant ainsi le tourbillon supérieur, ce qui justifie les lignes d'isothermes dans la figures III.8 qui montrent que le flux de chaleur se déplace vers le haut.

De la figure III.10 on voit sur cas (b) les courbes qui représentent $Re=100$ et $Re=500$ forment des lignes droite quel que soit le nombre de grashof, ce qui signifie que l'influence de ce dernier est négligeable dans les grands régimes d'écoulements cependant pour $Re=1$ et $Re=10$ plus Grashof augmente plus Nusselt accroît. Cela est dû à la dominance de la convection naturelle sur la convection forcée, Sur le cas (a) de la figure III.10 et les cas (a) et (b) de la figure III.9 on remarque que pour des valeurs de $Gr < 10^4$ quel que soit la concentration, l'inclinaison et le nombre de Hartman, l'augmentation de Nusselt est faible, tandis qu'à partir de $Gr > 10^4$ l'augmentation est importante et cela est causé une convection naturelle supérieure à la convection forcée et cela pour des valeurs de $Re=10$.

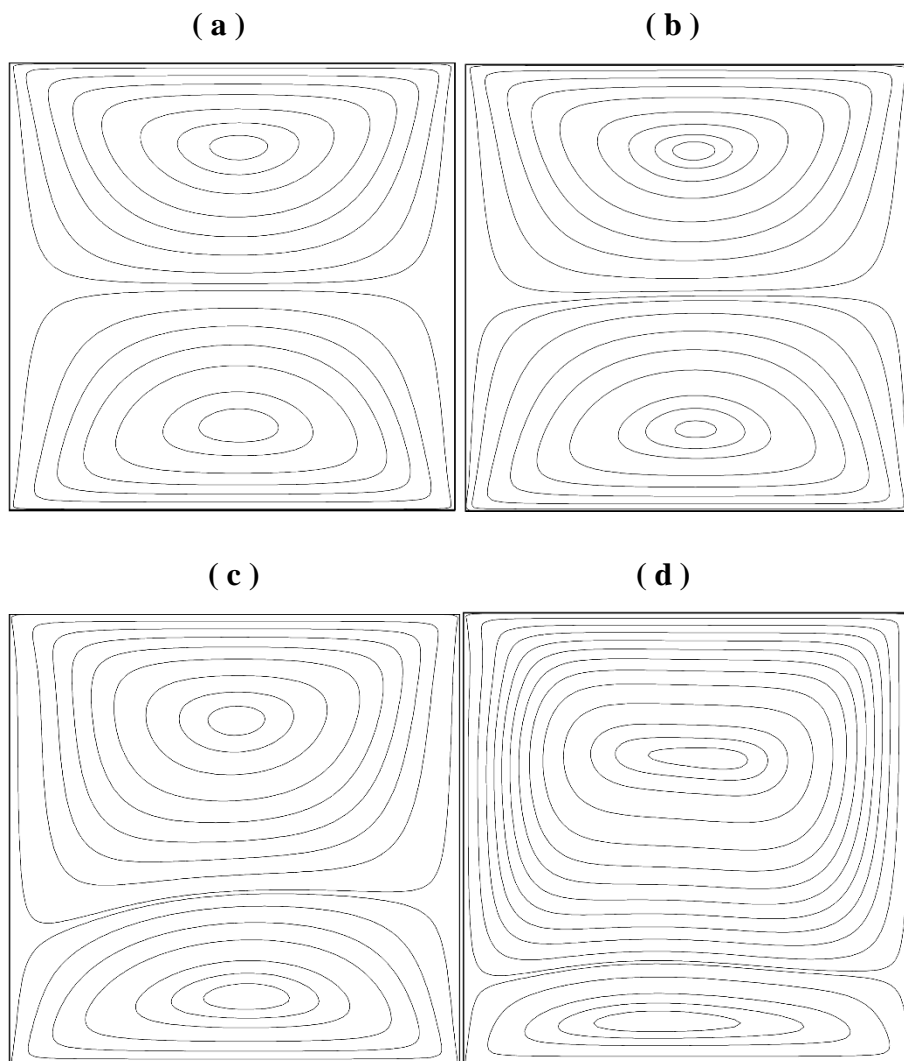


Figure III.7 : lignes de courant pour différents nombre de Grashof (a) $Gr=10^2$; (b) $Gr= 10^3$; (c) $Gr=10^4$; (d) $Gr=10^5$; avec $Ha=10$; $Re=100$; $\phi=0,05$; $\Phi=0^\circ$.

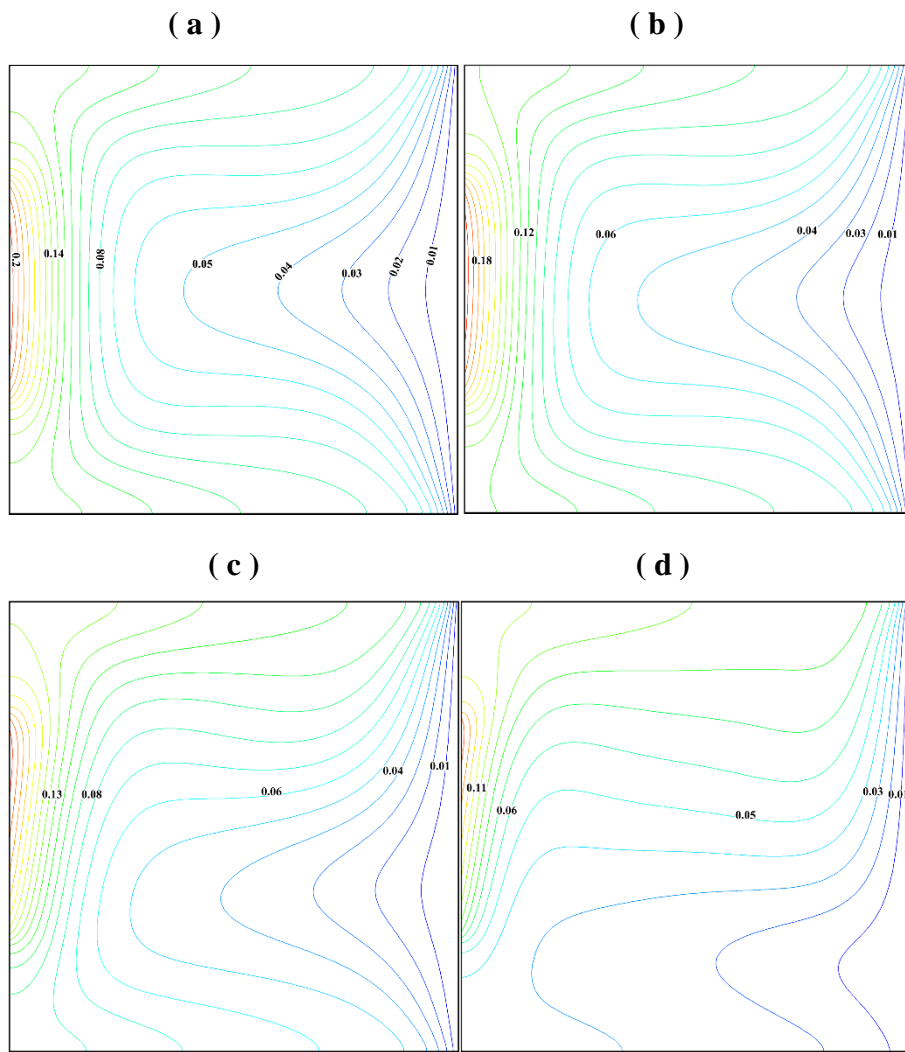


Figure III.8 : lignes d'isothermes pour différents Grashof (a) $Gr=10^2$; (b) $Gr=10^3$; (c) $Gr=10^4$; (d) $Gr=10^5$ avec $Ha=10$; $Re=10$; $\phi=0,05$; $\Phi=0^\circ$.

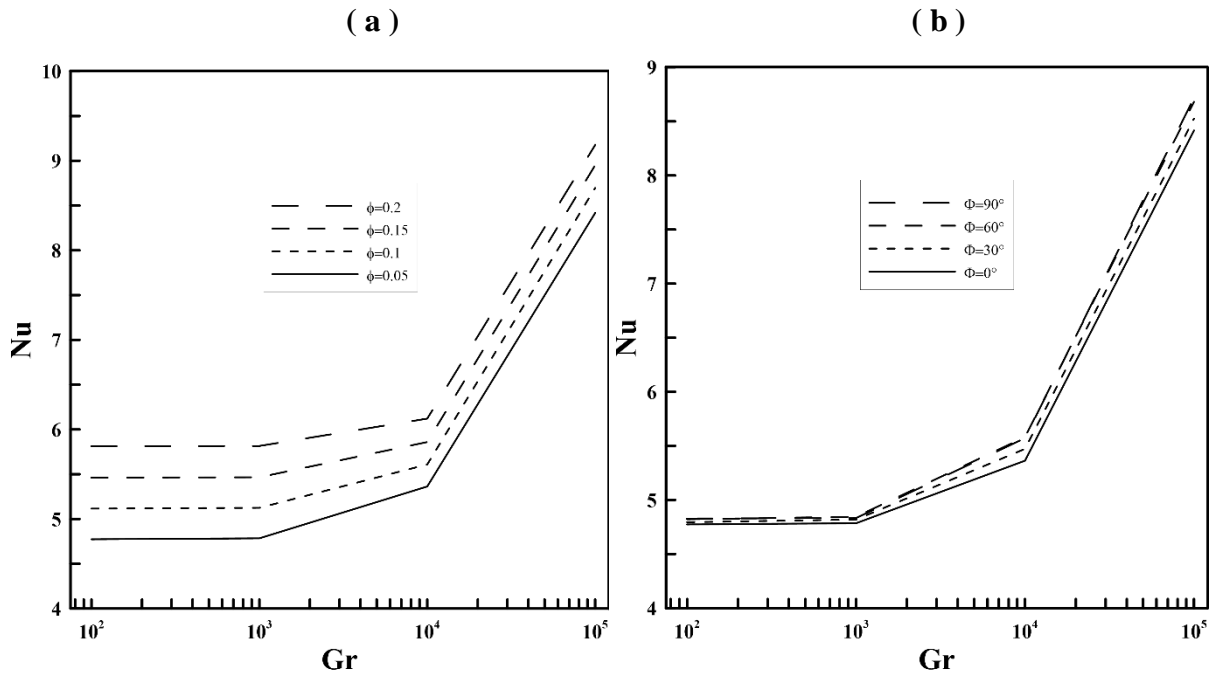


Figure III.9 : Nusselt en fonction du nombre de Grashof pour différentes concentrations (a) et inclinaison du champ magnétique (b) avec $Ha=10$; $Re=10$; $\phi=0,05$ pour (b) et $\Phi=0^\circ$ pour (a).

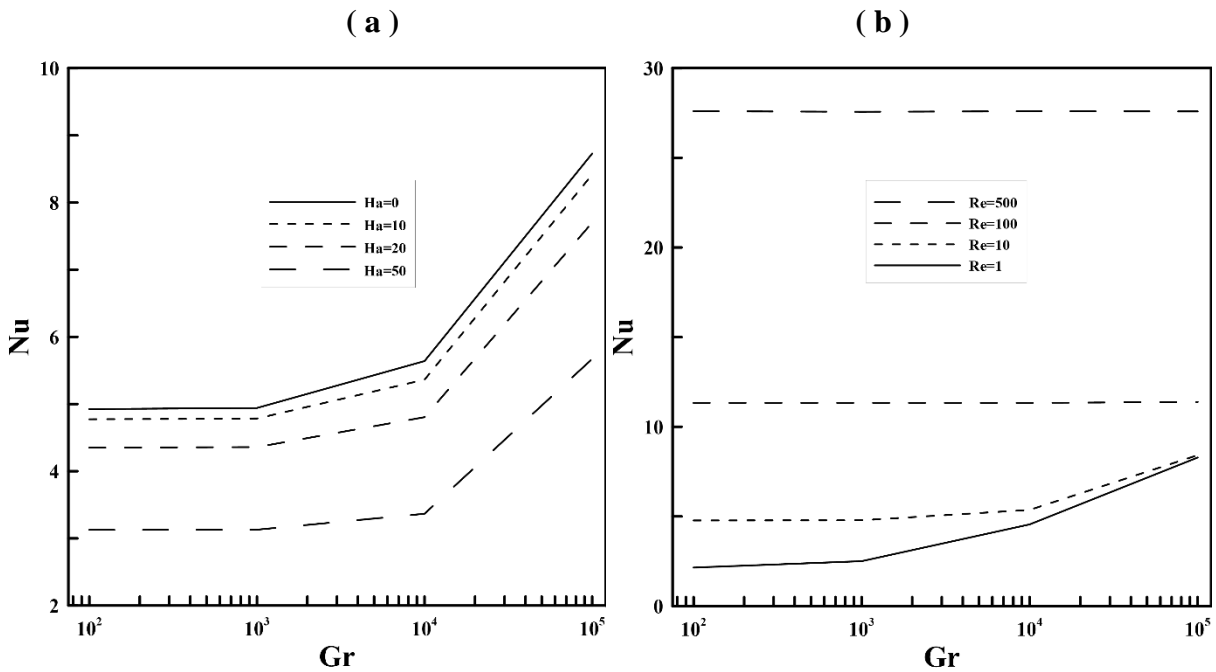


Figure III.10 : Nusselt en fonction du nombre de Grashof pour différentes Hartmann (a) et Reynolds (b) avec $\phi=0,05$ et $\Phi=0^\circ$ et $Ha=10$ pour (b) ; $Re=10$ pour (a).

iii. Influence de la concentration de nanoparticules

Les figures III.11 et III.12 montre les lignes de courants et les lignes d'isothermes respectivement, à partir de ces figure on peut voir que l'augmentation de la fraction des nanoparticules n'influe pas les lignes de courants de manière considérable puisque pour les

quatre différentes concentrations les lignes de courant forment la même structure ; un écoulement bicellulaires dans deux sens opposé. Cependant on analysant les lignes d'isothermes on peut clairement voir que la quantité de chaleur transporté par le nanofluide augmente à mesure que la fraction volumique augmente, sur le cas (d) c'est clair que le flux de chaleur a suivi le mouvement des cellules pour atteindre le centre de la cavité or sur le cas (a) le flux a peine dépassé la paroi adiabatique gauche.

De la figure III.13 quel que soit le nombre de Grashof et le régime d'écoulement nous observant une augmentation constante du nombre de Nusselt à mesure que la fraction volumique augmente. Dans le cas (a) $Ha=10$ sur la figure III.14, le même phénomène peut être observé, où le nombre de Nusselt augmente avec une influence négligeable du champ magnétique et de son inclinaison, par ailleurs dans le cas (b) $Ha=50$ le changement d'inclinaison influence directement sur l'échange de chaleur, ce qui est mieux démontré avec un fort champ magnétique.

Ce qui nous mène à conclure que la variation de la concentration des nanoparticules a un impact direct sur l'échange de chaleur. Plus la concentration est importante plus le coefficient de transfert de chaleur est grand, bien que la limite supérieure ne doive pas être dépassé faute de quoi des sédiments peuvent apparaître

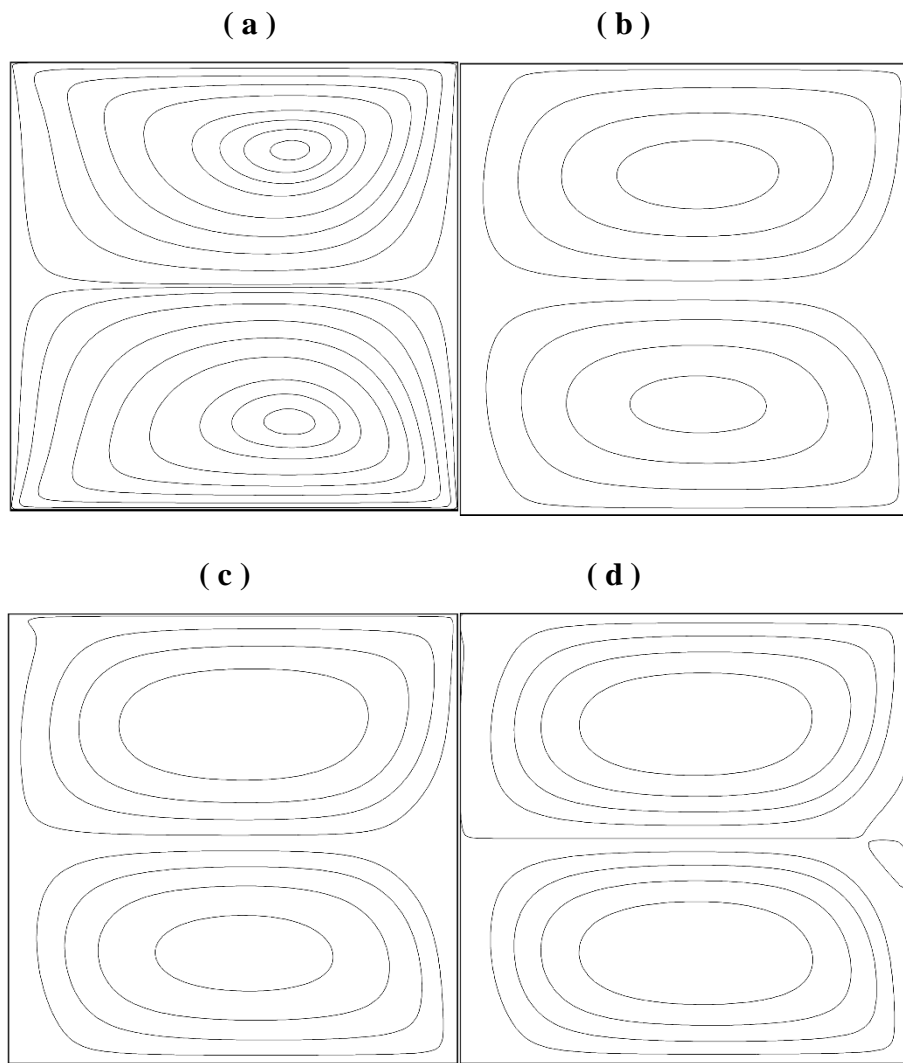


Figure III.11 : lignes de courants pour différentes concentrations (a) $\phi=0,05$, (b) $\phi=0,1$,
(c) $\phi=0,15$, (d) $\phi=0,2$ avec $Ha=10$, $Gr=10^5$, $Re=1000$, $\Phi=0^\circ$.

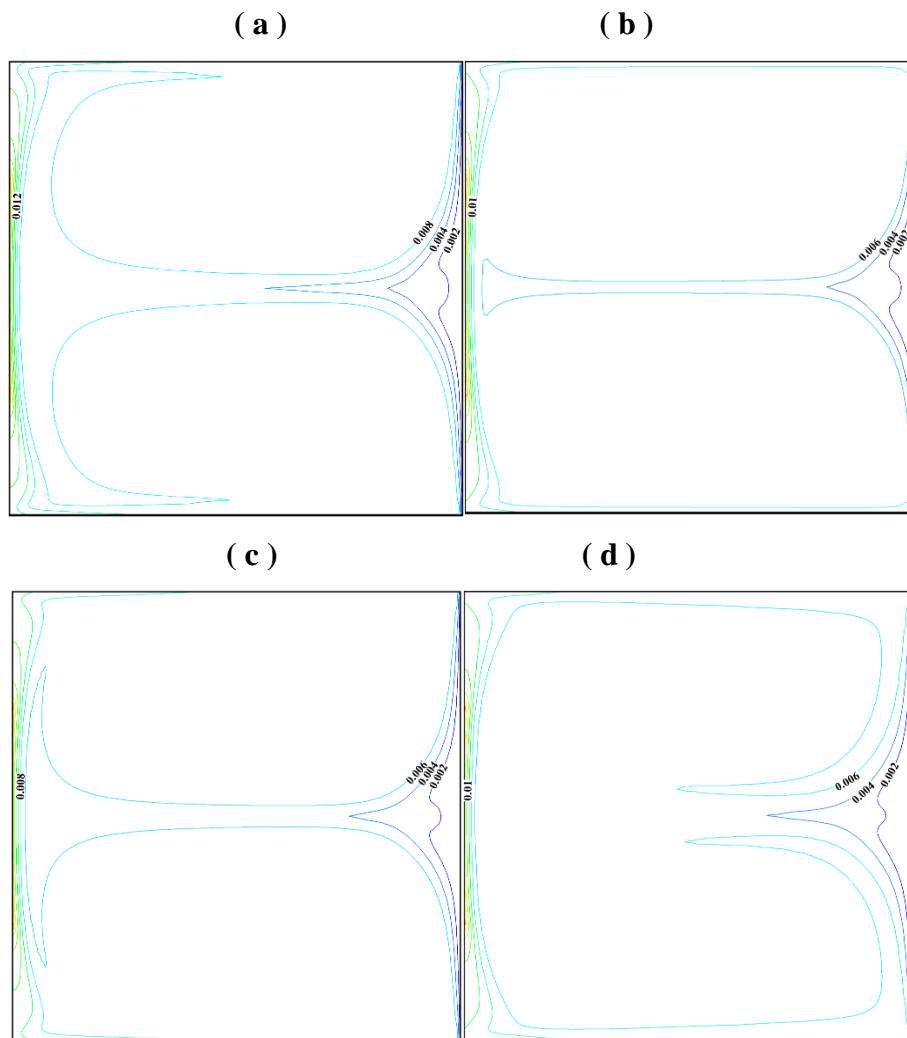


Figure III.12 : lignes d'isothermes pour différentes concentrations (a) $\phi=0,05$, (b) $\phi=0,1$, (c) $\phi=0,15$, (d) $\phi=0,2$ avec $Ha=10$, $Gr=10^5$, $Re=1000$, $\Phi=0^\circ$.

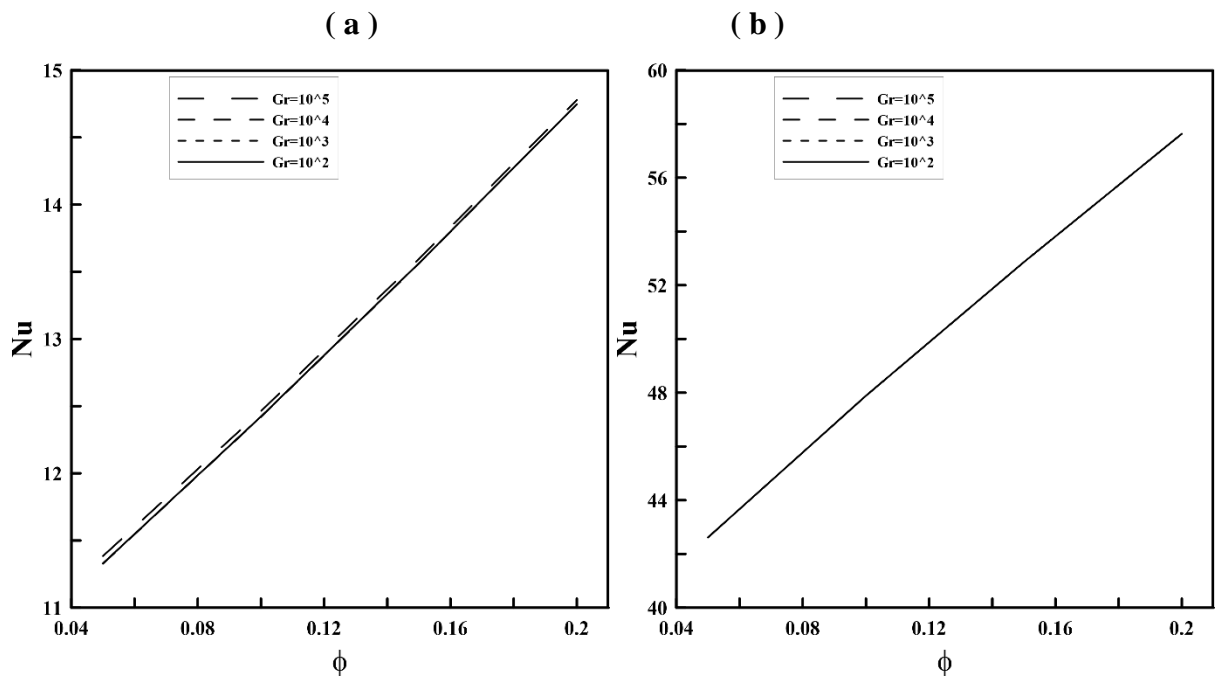


Figure III.13 : Nusselt en fonction de la concentration pour différents Grashof (a) $Re=100$ et (b) $Re=1000$ avec $Ha=10$, $\Phi=0^\circ$

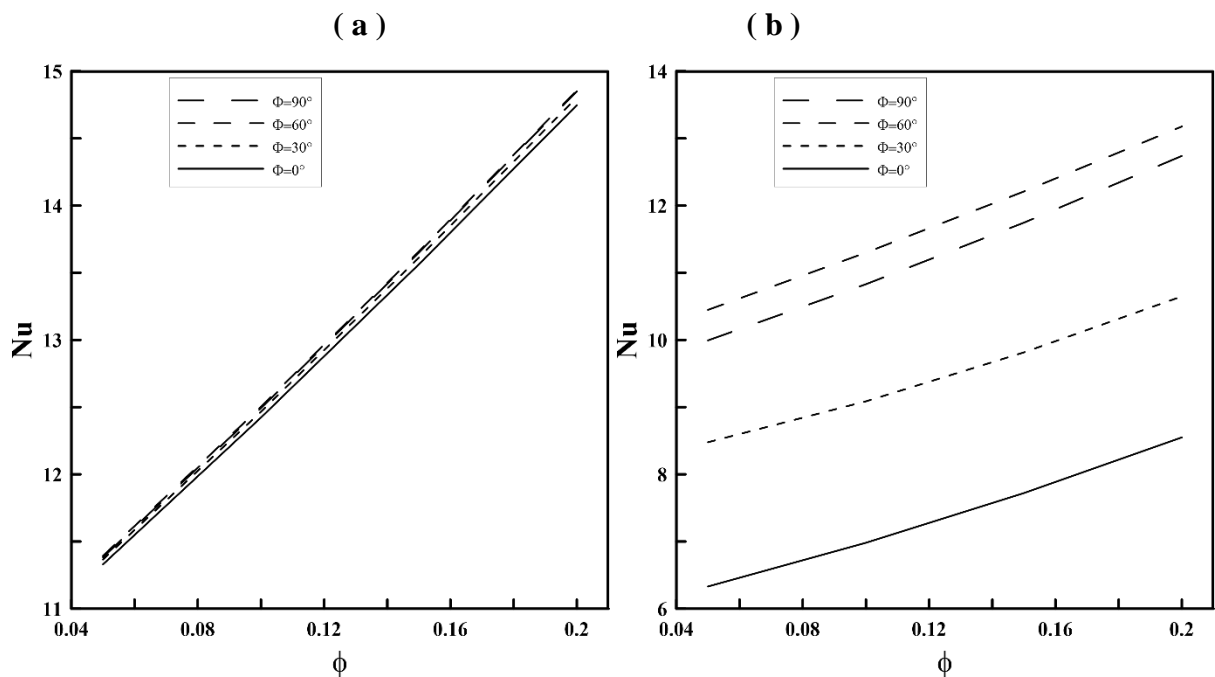


Figure III.14 : Nusselt en fonction de la concentration pour différentes inclinaison (a) $Ha=10$ et (b) $Ha=50$ avec $Gr=1000$, $Re=100$.

iv. Influence de l'intensité du champ magnétique

La figure III.15 représente les trajectoires des lignes de courants pour différentes valeurs du nombre de Hartman, $Ha=0, 10, 20$ et 50 . A $Ha=0$ et $Ha=10$ l'écoulement au sein de la cavité est bicellulaire, symétrique par rapport à l'horizontal. A partir de $Ha=20$ on commence à voir des changements notables sur la structure des lignes de courants. Lorsque le nombre de Hartmann augmente l'écoulement commence à s'organiser comme sur la figure (c) de tel sorte que les tourbillons supérieurs et inférieurs commencent à s'étaler vers les parois haute et basse respectivement, et à $Ha=50$ deux autres cellules se forment au centre de la cavité de manière symétrique par rapport à l'horizontal. Ce phénomène est lié à l'effet de la force de Lorenz qui agit perpendiculairement à la direction du champ magnétique.

La distribution du champ de température est illustrée à travers des isothermes représentées sur la figure III.16 où on remarque que les lignes de l'isotherme pour les valeurs de $Ha \leq 20$ suivent le mouvement des cellules qui tournent ; une dans le sens des aiguilles de la montre et l'autre inversement. De tel sorte qu'ils s'étalent le long des parois adiabatique. Alors que dans le cas de $Ha=50$ les isothermes sont déformées au centre de la cavité en raison de l'effet du champ magnétique car l'augmentation du nombre de Hartmann est traduite par une augmentation de la grandeur de la force de Lorenz qui agit dans le sens inverse de l'écoulement ce qui cause son l'amortissement, par conséquent la vitesse se réduit à son tour.

Du cas (a) et (b) la figure III.17 nous observant une décroissance du nombre de Nusselt à mesure que le nombre de Hartmann augmente, dans le cas (a) $Re=100$ les courbes des différentes concentrations sont parallèles entre elles ce qui veut dire que Hartmann lès influence avec le même facteur de décroissance. Pour le cas (b) $Re=1000$ les courbes des différentes concentrations ont tendance à se rapprocher à mesure que le nombre de Ha augmente. Dans le cas (a) et (b) de la figure III.18 bien que le Nusselt diminue à l'augmentation de Ha , on trouve que Nusselt pour chaque angle d'inclinaison, il est influencé différemment et plus le champ magnétique est grand plus la différence dans l'inclinaison est visible puisque le champ magnétique influe principalement sur le sens de l'écoulement. Il est alors très important de bien choisir l'angle approprié pour maximiser les effets du champ magnétique.

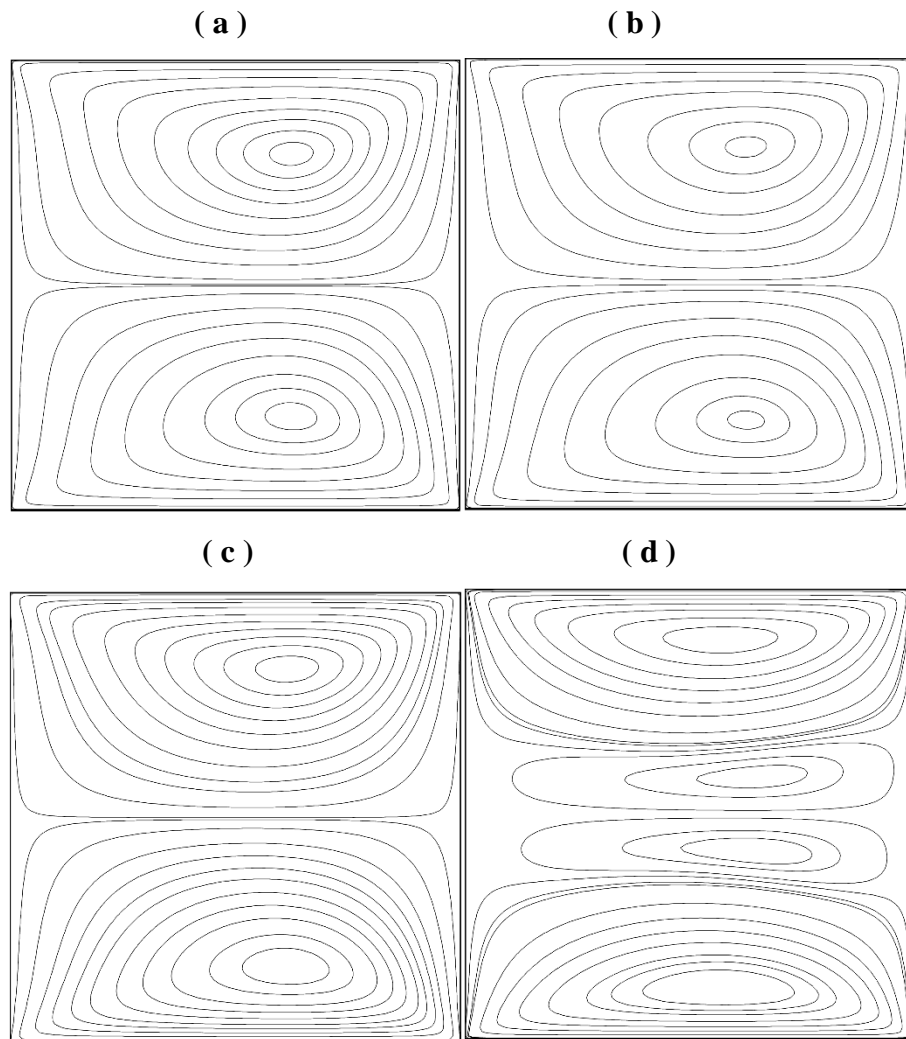


Figure III.15 : lignes de courant pour différents Hartmann (a) $Ha=0$, (b) $Ha=10$, (c) $Ha=20$,
(d) $Ha=50$ avec $Gr=1000$, $Re=100$, $\Phi=0^\circ$, $\phi=0,05$

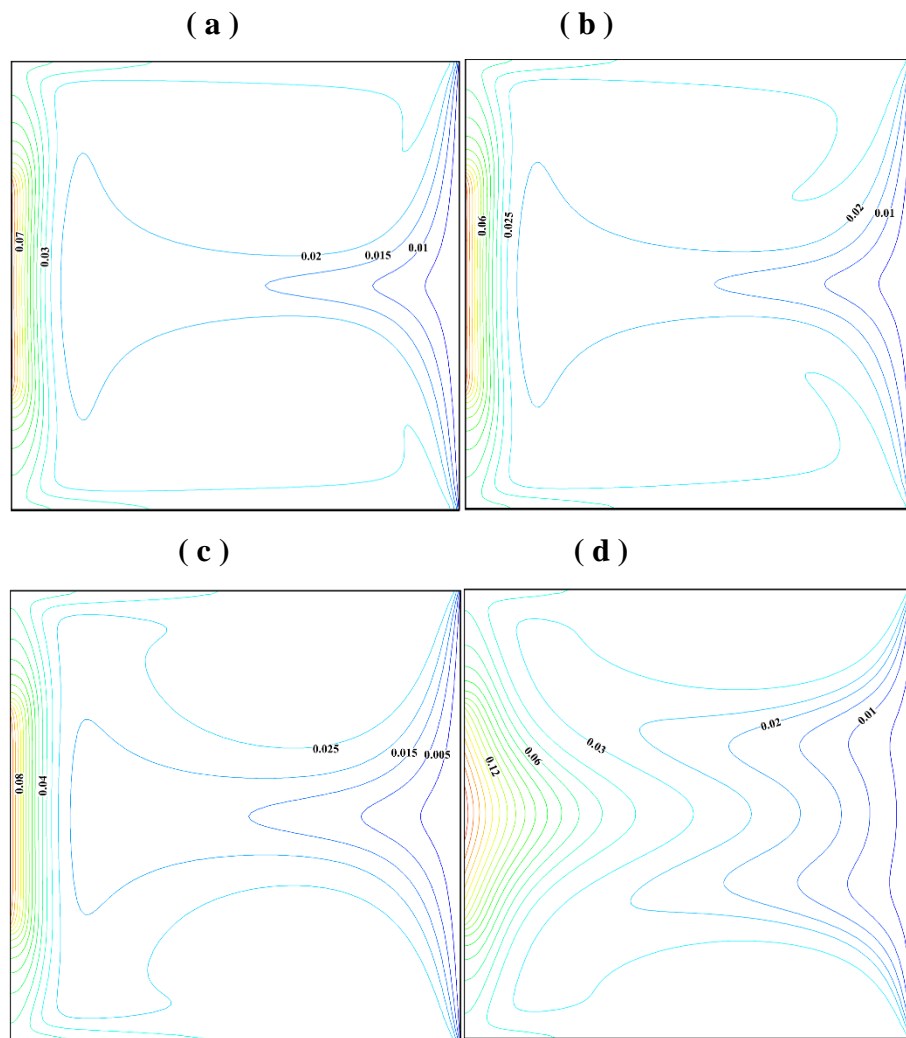


Figure III.16 : lignes d'isothermes lignes de courant pour différents Hartmann (a) $Ha=0$, (b) $Ha=10$, (c) $Ha=20$, (d) $Ha=50$ avec $Gr=1000$, $Re=100$, $\Phi=0^\circ$, $\phi=0,05$

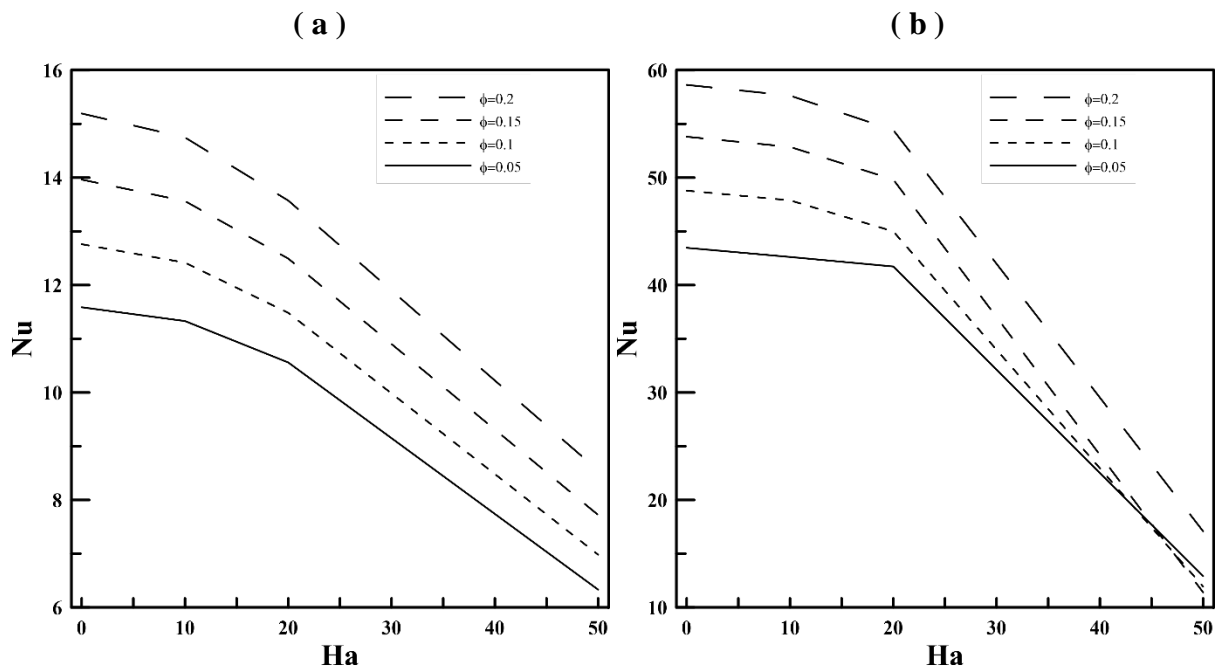


Figure III.17 : Nusselt en fonction de Hartmann pour différentes concentration (a) $Re=100$ et (b) $Re=1000$ avec $Gr=1000$, $\Phi=0^\circ$, $\phi=0,05$.

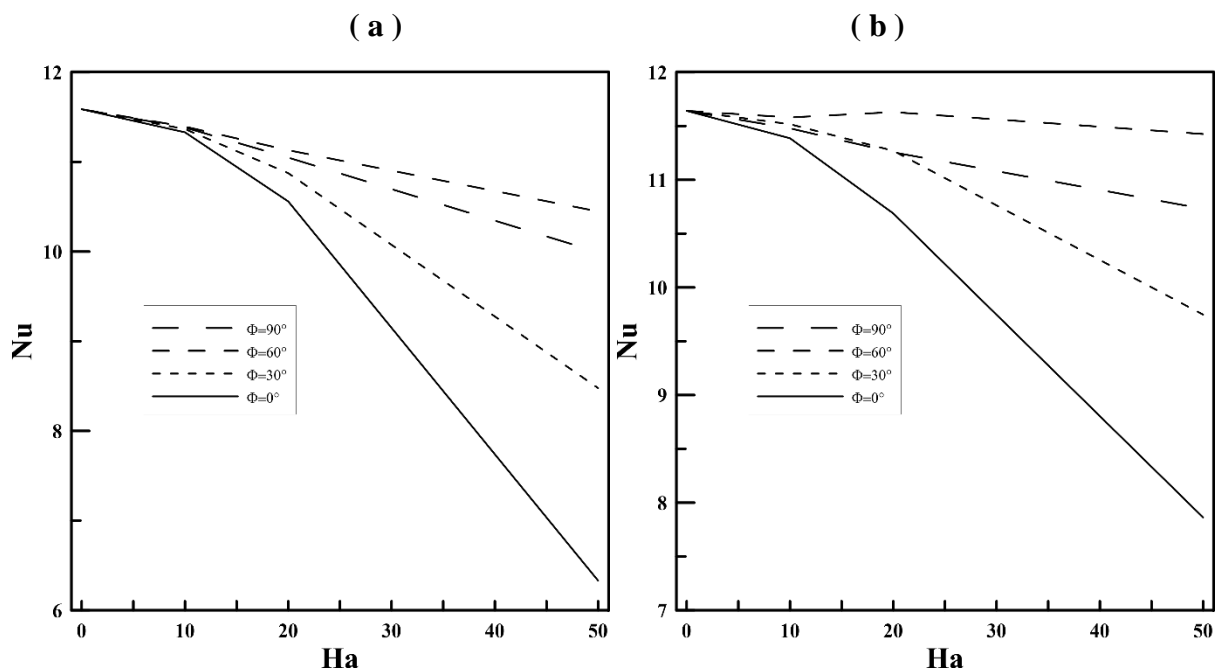


Figure III.18 : Nusselt en fonction de Hartmann pour différentes inclinaison (a) $Gr=10^3$ et (b) $Gr=10^5$ avec, $\phi =0,05$, $Re=100$.

v. Influence de l'inclinaison du champ magnétique

L'analyse des figures III.19 et III.20 comporte l'effet de l'inclinaison du champ magnétique sur l'écoulement, sur le cas de $\Phi=90^\circ$ deux cellules avec des centres qui a tendance à s'aplatir sur la paroi haute et basse sont en mouvement, mais plus l'angle devins aigus plus les lignes de courants perdent leurs symétrie et se déforment, La structure est étirée vers le coin droit supérieur et le coin gauche inférieur en outre l'écoulement remplit toute la cavité c'est le cas (b) et (C) soumis à deux angles aigus $\Phi=30^\circ$ et $\Phi=60^\circ$ respectivement. Néanmoins sur le cas (a) avec $\Phi=0^\circ$, deux autres cellules se forment au centre de la cavité de manière axisymétrique. Cela est traduit par des lignes d'isothermes déformé qui en tendance à monter vers la paroi supérieur et suivre la paroi adiabatique supérieur sur le cas (b) et (c).

Pour les cas (a) et (b) de la figure III.21, on constate que Ha avec l'inclinaison 0° ralenti plus l'échange de chaleur par rapport aux autres inclinaisons. Donc c'est la mieux adapter pour notre étude et l'angle le moins adapter est 60° qui traduit un grand nombre de Nusselt pour un $Ha=50$ sur la courbe, plus le nombre de Hartmann est grand plus l'influence de l'inclinaison est identifiable.

Dans le cas (a) et (b) de la figure III.22 Puisque le champ magnétique influe principalement sur les écoulements du fluide, il est logique de penser que la variation dans le régime d'écoulement auras un grand impacte, et effectivement nous constatons que plus nous avons de grands régimes d'écoulement plus la disparité entre les résultats dus à l'inclinaison du champ magnétique est grande. Entre autres nous constatons également que le champ magnétique fonctionne mieux avec de grands régimes d'écoulement, donc plus l'importance d'une bonne inclinaison son visible.

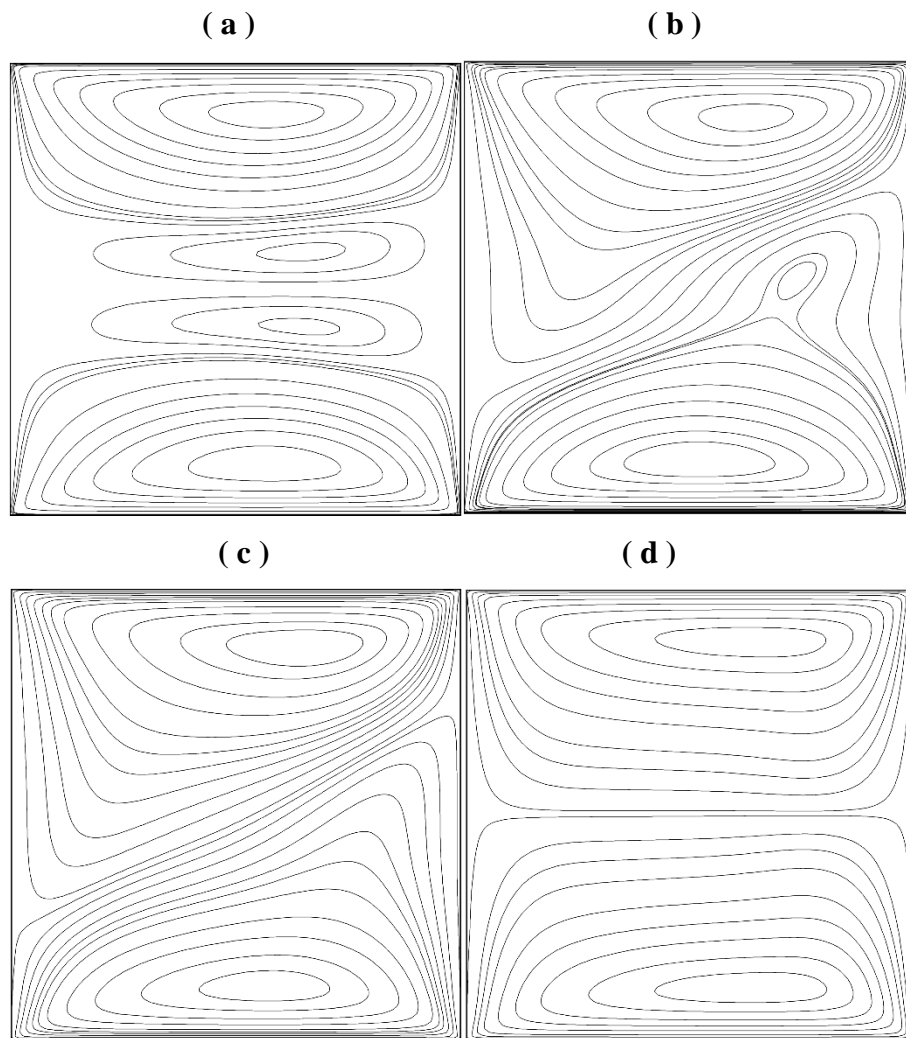


Figure III.19 : lignes de courant pour différentes inclinaison du champ magnétique (a) $\Phi=0^\circ$,

(b) $\Phi=30^\circ$, (c) $\Phi=60^\circ$, (d) $\Phi=90^\circ$ avec: $Re=100$, $Gr=1000$, $Ha=50$, $\phi=0.05$.

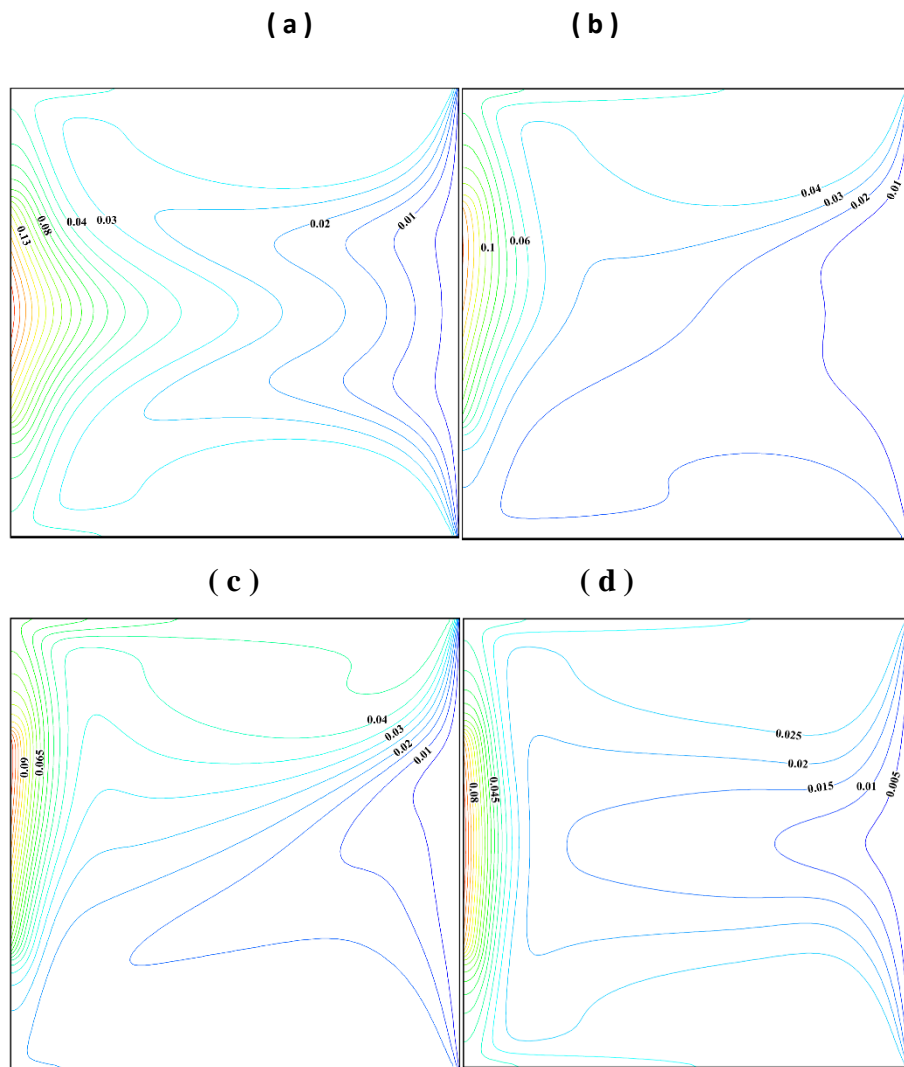


Figure III.20 : lignes d'isothermes pour différentes inclinaison du champ magnétique (a) $\Phi=0^\circ$,

(b) $\Phi=30^\circ$, (c) $\Phi=60^\circ$, (d) $\Phi=90^\circ$ avec: $Re=100$, $Gr=1000$, $Ha=50$, $\phi=0.05$

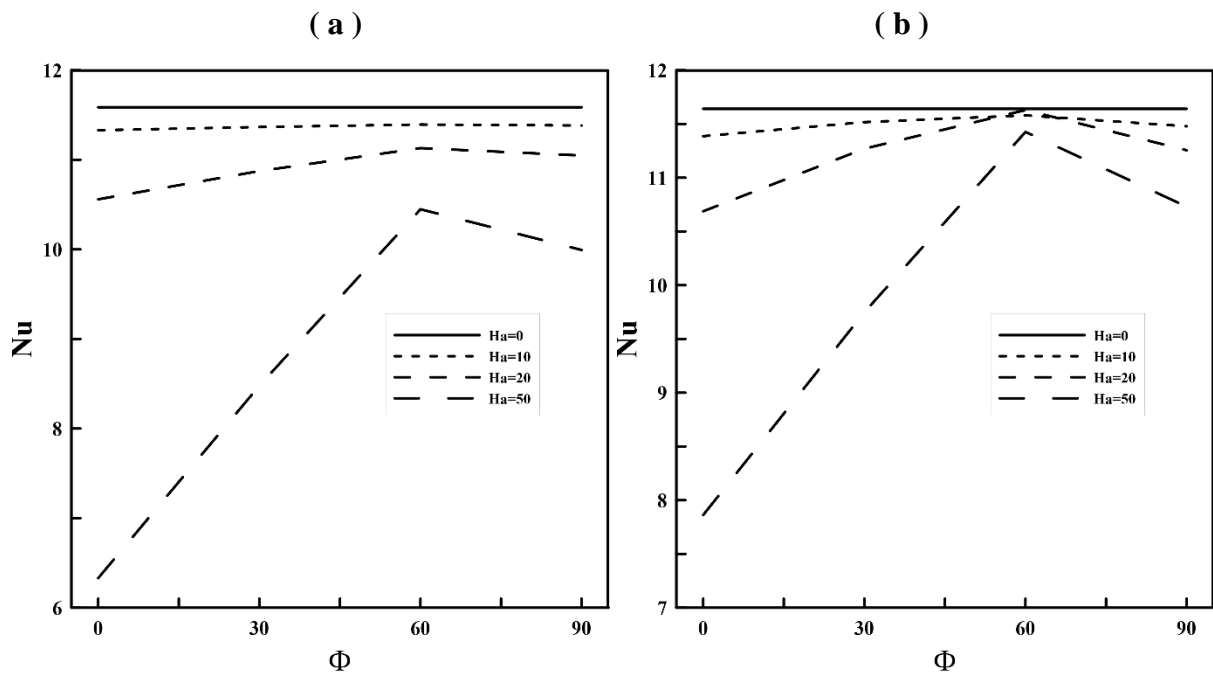


Figure III.21 : Nusselt en fonction de l'inclinaison pour différents Hartmann (a) $Gr=10^3$ et (b) $Gr=10^5$ avec $Re=100$ $\phi=0.05$.

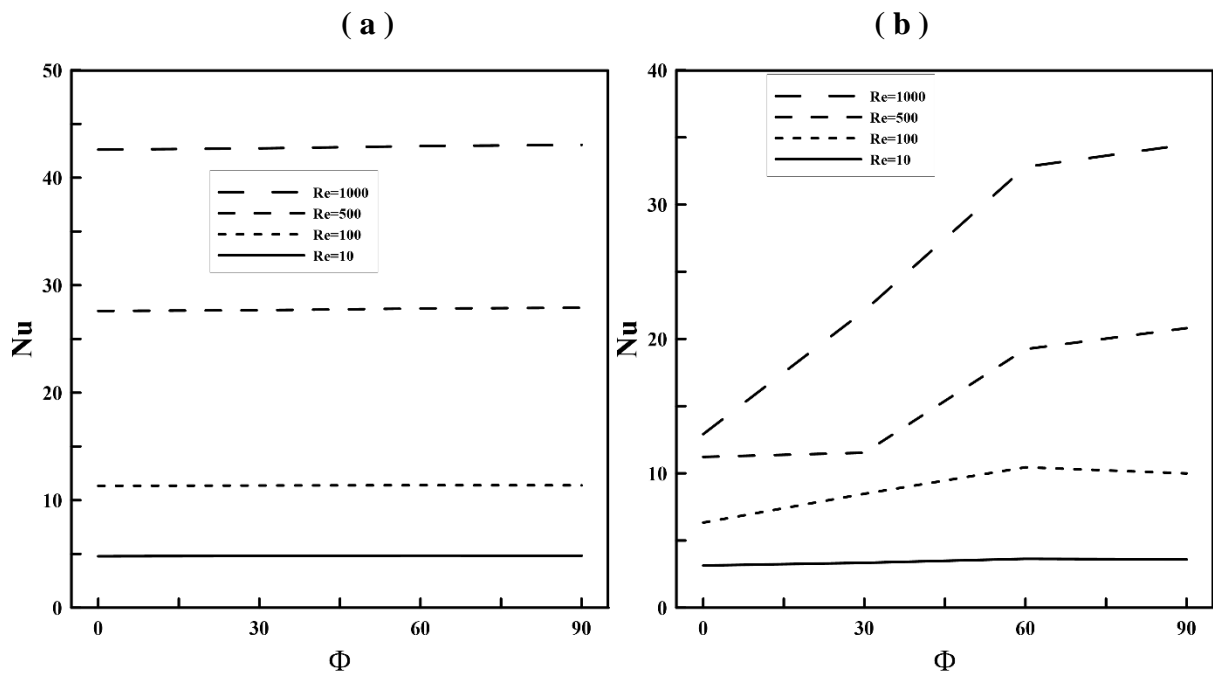


Figure III.22 : nombre de Nusselt en fonction de l'inclinaison du champ magnétique et du régime d'écoulement (a) $Ha=10$ et (b) $Ha=50$ avec $Gr=1000$, $\phi=0.05$

III.5 Conclusion

La convection mixte dans cavité carrée entraînée et remplie de nanofluide Cu-H₂O sous l'action d'un champ magnétique a été appliqué. L'effet du régime d'écoulement, le nombre Grashof, la fraction volumique des nanoparticules dans le nanofluide, de l'inclinaison et l'intensité du champ magnétique sur l'écoulement ainsi que le taux de transfert thermique a été examiné.

Les principaux résultats sont :

- Plus le régime d'écoulement augmente le nombre de Nusselt augmente également, c'est dire plus de chaleur transporté.
- L'augmentation du nombre de Grashof a tendance à favoriser la convection naturelle à l'intérieur de la cavité carrée.
- La variation de la fraction des nanoparticules influe considérablement sur l'échange convectif, plus la concentration des nanoparticules est forte plus le coefficient d'échange thermique est grand. Cependant cela n'est pas toujours le cas si le Nombre de Hartmann est relativement important.
- Le champ magnétique défavorise le transfert thermique au sein de la cavité, Nusselt décroît plus le nombre de Hartmann augmente, de même l'inclinaison de ce dernier a un effet plus important quand il est dirigé dans le sens du flux de chaleur dans notre cas à 0°.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Dans le présent mémoire on s'est concentré sur l'étude numérique de l'effet du champ magnétique sur la convection mixte dans une cavité entraînée et remplie d'un nanofluide (H_2O-Cu). Avec les parois supérieures et inférieures de la cavité, thermiquement isolées et se déplaçant avec une vitesse constante dans leur propre plan. Une source de chaleur constante est fixée sur une partie de la paroi gauche tandis que le reste de la paroi est isotherme. La paroi droite est supposée maintenue à une température inférieure.

L'objectif consistait à reproduire numériquement le phénomène à l'aide d'un logiciel pour comprendre le comportement du nanofluide sous l'effet d'un champ magnétique dans une cavité carrée.

Grasse a notre étude nous pouvant dire qu'une augmentation du nombre de Reynolds améliore le transfert de chaleur par convection forcée, tandis qu'une augmentation du nombre de Grashof améliore le transfert de chaleur par convection naturelle. Entre autre l'accroissement de la fraction volumique provoque l'augmentation du taux de transfert de chaleur, contrairement à l'augmentation du nombre d'Hartmann qui le diminue. Et une bonne orientation du champ magnétique permet d'améliorer son efficacité

Nous espérons mener prochainement des études plus approfondies dans les différents domaines d'application des nanofluide et des champs magnétiques comme les échangeurs de chaleur, les centrales à fission nucléaire ainsi que les centrales à fusion nucléaire (Tokamak) Nous souhaitons également élargir notre champ d'études des nanofluide et de la MHD en incluons notamment:

- Le sens des mouvements des parois
- Différentes catégories de nanofluide
- La forme des nanoparticules
- Un régime d'écoulement turbulent

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1]. S. U. S. Choi, Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, The Proceedings of the 1995 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, San Francisco, USA, ASME, FED 231/MD (1995), Vol. 66, pp.99–105.
- [2]. Jean Boisson, Introduction à la Magnétohydrodynamique, 2020.
- [3]. G.DE Vahl Davis, laminar natural convection in an enclosed rectangular cavity, vol.1 1,pp.1675-1693 Int. J. Heat Mass Transfer,1960.
- [4]. G.DE Vahl Davis, C.F. Kettleborough, Natural Convection in an Enclosed Rectangular Cavity, Trans. I. E. Aust., MC1, 43-49, 1968.
- [5]. H.H.-S Chu, S.W Churchill, C.V.S Patterson. The effects of heater size, location, aspect ratio, and boundary conditions on two-dimensional, laminar, natural convection channels. J. Heat Transfer, Vol. 98, pp. 1194-201. (1976).
- [6]. Marie-Laure, Analyse et caractérisation de la convection naturelle et de la convection mixte dans des enceintes confinées, these de doctorat en Energetique et dynamique des fluides, Université de Toulouse (2004).
- [7]. I.E. Sarris, I. Lekakis, N.S. Vlachos. "Natural convection in rectangular tanks heated locally from below". Int. J. Heat and Mass Transfer, 47, 3549–3563. (2004).
- [8]. Hamad MAA., Analytical solution of natural convection flow of a nanofluid over a linear stretching sheet in the presence of magnetic field. Int Commun Heat Mass Transfer, 38, pp. 487-492, (2011).
- [9].M.A.Mansour,A.M.Rashad, Rama Subba Reddy Gorla and Sadia Siddiq. Inclined Magneto-Hydrodynamic Mixed Convection in Lid-Driven Cavity Filled Within Nanofluids with Partial Slip and Internal Heat Generation. Journal of Nanofluids Vol. 5, pp. 634–651, 2016
- [10]. S. Zeinali Heris, S.Gh. Etemad, M. Nasr Esfahany. Experimental investigation of oxide nanofluids laminar flow convective heat transfer, International Communications in Heat and Mass Transfer 33 (2006) 529–535.

- [11]. S. J. Palm, G. Roy, C.T. Nguyen, Heat transfer enhancement with the use of nanofluids in radial flow cooling systems considering temperature-dependent properties *Applied Thermal Engineering* 26 (2006) 2209–2218.
- [13]. Ghasemi B., Aminossadati S. M. and Raisi A., Magnetic Field Effect on Natural Convection in a Nanofluid-filled Square Enclosure, *Int. J Thermal Sciences*, vol. 50, pp. 1748-1756, (2011).
- [14]. Mahmoudi AH., Pop I., Shahi M., Talbi F., MHD natural convection and entropy generation in a trapezoidal enclosure using Cu-water nanofluid, *Computers & Fluids*,72, pp. 46-62, (2013).
- [15]. Reima Iwatsu, Jae Min Hyun, Mixed convection in a driven cavity with a stable vertical temperature gradient. *h1. J. Hca, Mom Trmfir. Vol. 36. No. 6. pp. IM)I-I608. 1993.*
- [16]. Khalil M.Khanafer, Ali J.Chamkha, Mixed convection flow in lid-driven enclosure filled with a fluid-saturated porous medium. *International journal of heat and mass transfer* 42 (1999) 2465-2481.
- [17]. 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.
- [18]. Nemati H., Farhadi M., Sedighi K., Ashorynajed HR., Fattahi E., Magnetic Field Effects on Natural Convection flow of Nanofluid in a rectangular cavity using the Lattice Boltzmann model. *Scientia Iranica, Transactions B : Mechanical Engineering*, 19, pp. 303-310, (2012).
- [19]. A. Zahiri, M.Lamsaadi, H.El Harfi, M.Kaddiri, M.Naïmi. L'effet de champ magnétique sur la convection mixte dans une cavité rectangulaire doublement entraînée, *Université Sultan Moulay Slimane, Beni-Mellal, Maroc*, (2017).

Résumé

Ce mémoire regroupe une étude numérique de l'effet du champ magnétique sur la convection mixte dans une cavité entraînée et remplie d'un nanofluide (H₂O-Cu). La cavité de forme carrée avec les parois horizontales maintenues thermiquement isolées et se déplaçant avec une vitesse constante dans leurs propres plans. Une source de chaleur constante est fixée sur une partie de la paroi gauche tandis que le reste de la paroi est considérée adiabatique. La paroi droite est imposée à une température basse. L'étude a été réalisée pour différents nombres de Reynolds, de Grashof et de Hartmann ceci pour diverses inclinaisons du champ magnétique (Φ) et différentes concentrations du nanofluide (ϕ) et leurs effets sur le taux de transfert de chaleur a été méticuleusement examiné. Les résultats démontrent que l'augmentation du nombre de Reynolds, du nombre de Grashof et de la fraction volumique améliore le taux de transfert de chaleur, tandis que l'augmentation du nombre d'Hartmann réduit le transfert de chaleur et une inclinaison adéquate amplifie cet effet.

Mots clés : Nanofluide, Convection mixte, Magnétohydrodynamique, Cavité carrée, Source de chaleur.

Abstract

This work represents a numerical study of the effect of the magnetic field on mixed convection in a cavity driven and filled with a nanofluid (H₂O-Cu). The square-shaped cavity with the horizontal walls kept thermally insulated and moving with constant velocity in their own planes. A constant heat source is fixed on a part of the left wall while the rest of the wall is considered adiabatic. The right wall is imposed at a low temperature. The study was carried out for different Reynolds, Grashof and Hartmann numbers for various inclinations of the magnetic field (Φ) and different concentrations of the nanofluid (ϕ) and their effects on the heat transfer rate were meticulously examined. The results demonstrate that increasing Reynolds number, Grashof number, and volume fraction improves heat transfer rate, while increasing Hartmann number reduces heat transfer and proper tilt amplifies this effect.

Keywords: Nanofluid, Mixed convection, Magnetohydrodynamic, Square cavity, Heat source.