

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 : énergétique

Par :

BENNACER Adel

BOUAICHI Amine

Thème

Etude numérique de la convection mixte dans une cavité carrée remplie de nanoparticule

Soutenu le 20/06/ 2023 devant le jury composé de:

Mr. ALI AGHA. H

Président

Mr. ADNANI. M

Rapporteur

Mr. BOUTALBI. N

Examineur

Année universitaire 2022-2023

Remerciements

Il est primordial de remercier « ALLAH » le Tout-Puissant de tout ce qu'il nous apporte dans la vie et de nous avoir donné la force et le courage pour réaliser ce travail.

*Nous tenons à exprimer mes remerciements et notre gratitude à Monsieur **ADNANI Massinissa**, pour tous ses efforts, ses conseils, son soutien moral et scientifique nous a permis de mener à terme ce travail.*

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer ce travail.

Pour terminer, nous tenons à remercier tous nos collègues et nos amis pour leur soutien moral et à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

Aux deux personnes qui me sont les plus chères au monde, mon cher père et ma chère mère, auxquels je tiens à exprimer ma profonde gratitude de leurs soutiens incessants, de leur patience incommensurable, de leurs sacrifices inestimables, et surtout leur tendresse. Aucune dédicace ne saurait exprimer Nos respects et Nos considérations.

Que dieu prolonge vos jours dans la joie, la santé et la paix.

Je vous aime très fort

A mes très chers frères et sœurs et toute ma famille

A mon binôme et toute sa famille.

A tous mes amis et tous ceux qui en participer de près ou de loin à la réussite de ce travail

Adel et Amine

Sommaire

Remerciements	i
Dédicace	ii
Sommaire	iii
Liste des figures	v
Liste des tableaux	vi
Nomenclature	vii
Introduction générale.....	1

Chapitre I : Généralités et synthèse bibliographique

I.1. Introduction	2
I.2. Définition de transfert de chaleur	2
I.3. Notions sur la convection	2
I.3.1. Définition.....	2
I.3.2. Modes de convection.....	3
I.3.2.1. Convection naturelle ou libre	3
I.3.2.2. Convection forcée	4
I.3.2.3. Convection mixte.....	4
I.4. Les nombres adimensionnelles	4
I.5. Les nano-fluides	5
I.5.1. Définition des nano-fluides	5
I.5.2. Définition des nanoparticules	6
I.5.2.1. Technique de fabrication des nanoparticules	7
I.5.3. Applications des nano-fluides.....	7
I.5.4. Avantages et inconvénients des nano- fluides	8
I.6. Synthèse bibliographique	9
I.7. Conclusion.....	15

Chapitre II :Formulation mathématique et position du problème

II.1. Introduction.....	16
II.2. Domaine physique	16
II.2.1. Hypothèse simplificatrice	17

II.3. Paramètres du nano-fluide (Al_2O_3 -eau).....	17
II.4. Les paramètres thermo-physiques.....	18
II.5. Les équations gouvernantes du problème.....	19
II.5.1. Équation de conservation de la masse.....	19
II.5.2. Équation de conservation de quantité de mouvement.....	19
II.5.3. Équation de l'énergie	19
II.6. Forme adimensionnelle des équations	20
II.6.1. Équation de conservation de la masse.....	20
II.6.2. Équation de conservation de quantité de mouvement.....	20
II.6.3. Équation de l'énergie	21
II.7. Les conditions aux limites de problème étudié.....	21
II.8. Méthode numérique	21
II.9. Conclusion	22

Chapitre III : Résultats et discussions

III.1. Introduction.....	23
III.2. Maillage	23
III.3. Validation.....	24
III.3.1. Les lignes de courants.....	24
III.3.2. Les lignes isothermes.....	25
III.4. Choix de maillage.....	25
III.5. Résultats et discussions	27
III.5.1. Effets de concentration et du nombre de Rayleigh.....	27
III.5.2. Le nombre de nusselt moyen.....	33
III.5.3. Le nombre de nusselt local.....	33
III.6. Conclusion	35
Conclusion générale	36
Références Bibliographiques	37

Liste des figures

Figure I.1: Schéma présentatif de transfert convectif	3
Figure I.2: Schéma représentatif de convection naturelle	4
Figure I.3: Schéma représentatif de la convection forcé	4
Figure I.4: Nanoparticule (Ag) ;Nanoparticules (TiO ₂)	7
Figure I.5: Géométrie du problème	9
Figure I.6: Modèle physique.	10
Figure I.7: Schéma de la cavité sous forme de T	10
Figure I.8: (a) Diagramme schématique du problème physique ;.....	11
Figure I.9: Modèle physique de l'étude	11
Figure I.10: Schéma d'une cavité carrée avec des orifices d'entrée et de sortie	12
Figure I.11: Présentation de la géométrie étudiée.....	12
Figure I.12: Configuration étudiée.....	13
Figure I.13: Canal horizontal contenant deux composants électroniques	14
Figure I.14: Schéma de la géométrie du problème	14
Figure I. 15: Configurations géométriques étudiées : (a) un tube chauffé uniformément et (b) un canal radial entre des disques chauffés	15
Figure II.1: La géométrie à étudier/.....	16
Figure III.1: Maillage de la géométrie (120x120).....	23
Figure III.2: Comparaison entre les lignes de courants.	24
Figure III.3: Comparaison entre les lignes isothermes.	25
Figure III.4: Nombre de nusselt moyen en fonction de maillage.	26
Figure III.5: Les lignes de courants pour différents fractions et différent nombre de Grashof.....	29
Figure III.6: Les lignes isothermes pour différents fractions aux différents nombres de Rayleigh. ...	32
Figure III.7: Le nombre du nusselt moyen en fonction de la fraction pour différents nombres de Reynolds.	33
Figure III.8: Evolution de nombre de nusselt local en fonction de X à Re=100.....	33
Figure III.9: Evolution de nombre de nusselt local en fonction de X à Re=50.....	34
Figure III.10: Evolution de nombre de nusselt local en fonction de X à Re=10.....	34

Liste des tableaux

Tableau I.1: Avantages et inconvénients des nano- fluide	8
Tableau II.1: Paramètres thermo-physique du fluide de base et de la nanoparticule	17
Tableau II.2: Condition aux limites dimensionnelles.....	21
Tableau III. 1: Le nombre de nusselt moyen en fonction des différents maillages.....	26

Nomenclature

Symboles	Définition	Unité (SI)
a_1, b_1, c_1	: Rapport de forme : $a_1 = L_1/H_1, b_1 = H_2/L_1, c_1 = L_2/L_1$	-
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
Pr	: Nombre de Prandtl, $Pr = \nu / \alpha$	-
Ra	: Nombre de Rayleigh, $Ra = g\beta (T - T_0)L^3 / \nu\alpha$	-

Symboles grecs

α	: Diffusivité thermique	m ² s ⁻¹
Γ	: Coefficient de diffusion	m ² s ⁻¹
ν	: Viscosité cinématique	m ² s ⁻¹
ρ	: Masse volumique	kg m ⁻³
σ	: Constante de Stefan-Boltzmann	W.m ⁻² .K ⁻⁴

Indices

c,f	: Surface chaude, surface froide
nf	: Nanofluide

Introduction générale

Introduction générale

Au cours des dernières années les recherches sur le transfert thermique ont connu une évolution remarquable, tant sur le plan théorique et expérimental. Cette évolution a été motivée par la découverte de phénomènes particuliers, ouvrant ainsi la voie à des nouvelles innovations dans le domaine du transfert thermique, telles que les nano fluides.

Les nanoparticules jouent actuellement un grand rôle sur le plan technologique et économique. Leur utilisation a conduit à des améliorations significatives dans de nombreux domaines tels que (le pharmaceutique, énergétique, matériaux).

Dans notre travail, nous étudions la convection mixte dans une cavité ouverte remplie de nano fluides. Notre but est de comprendre comment le nano fluide influence le mécanisme de la convection mixte et comment il peut améliorer le taux de transfert de chaleur.

Ce travail est organisé en trois chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à des définitions et généralités sur la convection et les nano fluides, ainsi qu'une synthèse bibliographique qui nous permettra de mieux connaître notre objet d'étude.
- Dans le deuxième chapitre, nous décrivons et formulons le modèle physique et mathématique en tenant compte des hypothèses simplificatrices. De plus, nous définissons les conditions aux limites appropriées pour notre modèle D'étude et les principales grandeurs adimensionnelles caractérisant ce dernier.
- Dans le dernier chapitre, nous exposons la méthode numérique utilisée ainsi que l'analyse et la discussion des résultats obtenues au cours de la simulation. En terminera par une conclusion générale qui synthétise nos différents résultats.

Chapitre I :
Généralités et synthèse bibliographique

Généralités et synthèse bibliographique

I.1. Introduction

Dans le premier chapitre nous avons abordé des concepts généraux sur la convection, les nano fluides, ainsi qu'une synthèse bibliographique portant sur des études antérieures qui ont examiné le transfert de chaleur par convection mixte en utilisant des nano-fluides.

I.2. Définition de transfert de chaleur

On appelle « transfert de chaleur » le déplacement de la chaleur d'une région à une autre à la suite d'une différence de température, ce déplacement peut se produire entre deux corps en contact (solide-solide, solide-fluide, fluide-fluide) ou entre deux parties d'un même corps [1]. On a trois modes de transfert de chaleur :

- Conduction
- Convection
- Rayonnement

I.3. Notions sur la convection

I.3.1. Définition

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

Le transfert d'énergie par convection d'une surface dont la température est supérieure à celle du fluide qui l'entoure s'effectue en plusieurs étapes, D'abord la chaleur s'écoule par conduction de la surface aux molécules du fluide adjacent. L'énergie ainsi transmise sert à augmenter la température et l'énergie interne de ces molécules du fluide.

Ensuite les molécules vont se mélanger avec d'autres molécules situées dans une région à basse température et transférer une partie de leur énergie. Dans ce cas l'écoulement transporte

le fluide et l'énergie. L'énergie est à présent, emmagasinée dans les molécules du fluide et elle est transportée sous l'effet de leur mouvement.

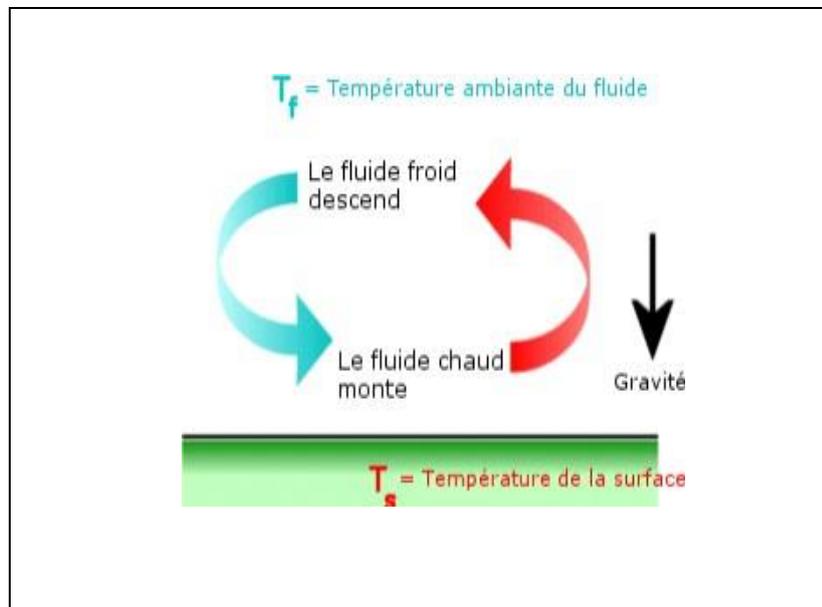


Figure I.1: Schéma présentatif de transfert convectif [2].

I.3.2. Modes de convection

La transmission de chaleur par convection est désignée, selon le mode d'écoulement du fluide, par convection libre, convection forcée et convection mixte.

I.3.2.1. Convection naturelle ou libre

Le transfert de chaleur par convection désigne la transmission de la chaleur par un fluide en écoulement. La convection est dite naturelle si le mouvement du fluide n'est dû qu'à des variations de masse volumique. Ces gradients de masse volumique sont le moteur de l'écoulement du fluide, qui transfère d'ailleurs la chaleur ou soluté à son environnement. Ainsi, la compréhension des mécanismes de convection naturelle est importante pour accéder à des modélisations, et donc des prédictions, des effets sur l'environnement [3].

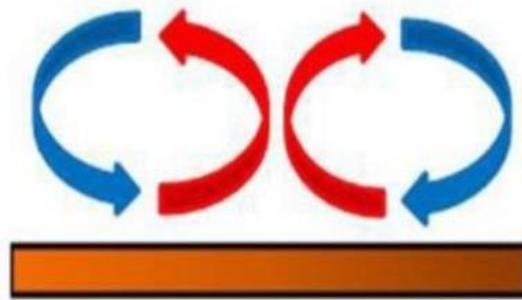


Figure I.2: Schéma représentatif de convection naturelle [4].

I.3.2.2. Convection forcée

Le phénomène de convection forcée apparaît quand le mouvement du fluide est imposé par une cause mécanique extérieure (pompe, ventilateur, compresseur...) au système.

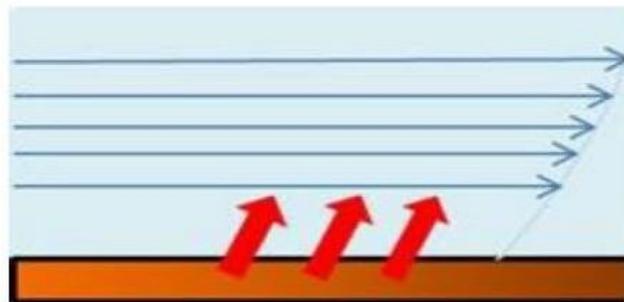


Figure I.3: Schéma représentatif de la convection forcée [4].

I.3.2.3. Convection mixte

La convection mixte correspond au couplage des deux phénomènes précédents (convection naturelle et forcée) quand les vitesses d'écoulement, fictives, dues aux deux types de convections sont considérées séparément, du même ordre de grandeur [4].

I.4. Les nombres adimensionnelles

Cinq nombres adimensionnelles sont obtenus après la mise en forme adimensionnelle des équations qui gouvernent notre problème, et ces nombres seront utilisés tout au long de ce travail :

- **Le nombre de Grashof (Gr)** : exprime la relation entre les forces de gravité et les forces visqueuses.

$$\text{Gr} = \frac{g\beta_f (T_c - T_0)H^3}{\nu_f^2} \quad (\text{I.1})$$

- **Le nombre de Reynolds (Re)** : le nombre de Reynolds permet de déterminer le type d'écoulement (laminaire, transitoire, turbulent) .

$$\text{R}_e = \frac{u_0 H}{\nu_f} \quad (\text{I.2})$$

- **Le nombre de Richardson (Ri)** : permettre de différencier le type de la convection (naturel, forcée ou mixte) .

$$\text{R}_i = \frac{\text{G}_r}{\text{R}_e^2} = \frac{g\beta_f (T_c - T_0)H}{u_0^2} \quad (\text{I.3})$$

- **Le nombre de Prandtl (Pr)**: c'est un nombre intrinsèque au fluide qui exprime le rapport entre la diffusion de la quantité de mouvement et la diffusion thermique .

$$\text{P}_r = \frac{\nu_f}{\alpha_f} \quad (\text{I.4})$$

- **Le nombre de Nusselt (Nu)**: ce nombre exprime la relation entre le flux de chaleur convectif et le flux de chaleur diffusif :

$$\text{N}_u = \frac{\phi_{\text{conv}}}{\phi_{\text{cond}}} = \frac{hs\Delta T}{K_f s \frac{\Delta T}{d}} = \frac{hd}{K_f} \quad (\text{I.5})$$

Ou **h** est le coefficient d'échange convectif, **K_f** la conductivité du fluide, et **d** c'est la hauteur de composant.

I.5. Les nano-fluides

I.5.1. Définition des nano-fluides

Les nano-fluides sont des solutions colloïdales composées de particules de taille nanométriques en suspension dans un liquide. Les études de ces fluides composites montrent des aptitudes particulièrement intéressantes du fait d'une meilleure conductivité thermique et d'un coefficient d'échange convectif significativement accru par rapport à des liquides classiques, l'eau en

particulier. Une telle augmentation de la conductivité thermique du nano- fluide ne peut pas seulement être imputée à la plus grande conductivité thermique des nanoparticules en suspension, l'amélioration vient d'une combinaison de plusieurs facteurs physiques simultanés.

Le choix des liquides de base est primordial pour un nano-fluide, il permet d'assurer la stabilité de la suspension dans le temps et d'éviter tout phénomène d'agrégations, la sélection d'un tel fluide se fera en fonction de la nature de nanoparticule [5-6].

Les liquides de base les plus utilisés sont :

- L'eau
- L'éthylène glycol, EG.
- Les huiles.
- Le Toluène.
- Les fluides de réfrigération.

I.5.2. Définition des nanoparticules

Les nanoparticules sont des particules 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, 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.

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

Les nanoparticules des oxydes métalliques :

- L'oxyde d'aluminium (Al_2O_3).
- L'oxyde de cuivre (CuO).
- L'oxyde de silicium (SiO_2).
- L'oxyde de titanium (TiO_2).

Les nanoparticules métalliques :

- L'aluminium (Al).
- Le cuivre (Cu) l'or (Au).
- L'argent (Ag).

Les nanoparticules non métalliques :

- Les nanotubes de carbone (CNT).

- Le diamant (C).

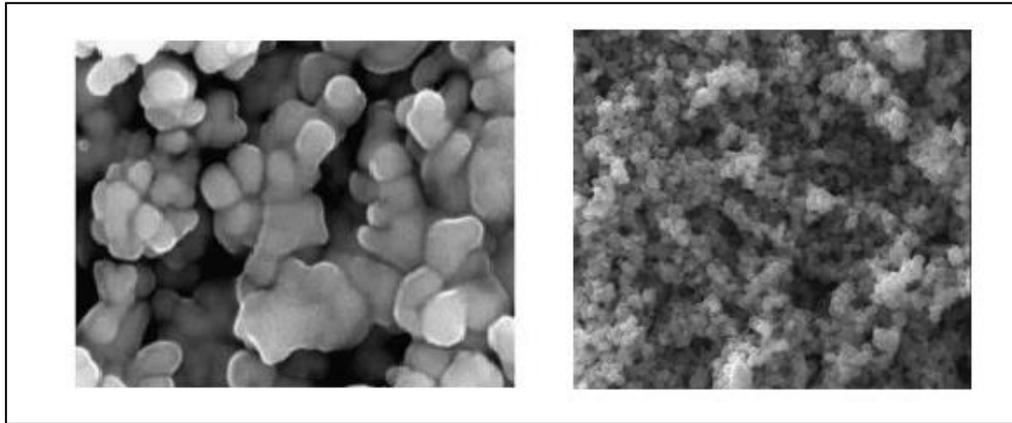


Figure I.4: Nanoparticule (Ag) [7]

Nanoparticules (TiO₂) [7]

I.5.2.1. Technique de fabrication des nanoparticules

Le point délicat est la fabrication de ces petits morceaux de matière plus ou moins bien calibrés. Les procédés de fabrication sont de nature physique ou chimique. Ils font l'objet de beaucoup de recherches pour améliorer le coût de production qui reste parfois élevé vu les difficultés de mise en œuvre afin d'obtenir des particules de taille voulue.

Il y a deux méthodes principales pour obtenir un nano-fluide :

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

I.5.3. Applications des nano-fluides

Les nano-fluides offrent des propriétés de transfert de chaleur attrayantes par rapport aux fluides de transfert de chaleur traditionnels, il peut être établi que les nanoparticules sont utilisées pour améliorer la conductivité thermique des fluides de base. Les nano-fluides peuvent être utilisés pour améliorer le transfert de chaleur et l'efficacité énergétique dans une variété de systèmes thermiques, récemment, de nombreuses entreprises voient le potentiel de la technologie des nano-fluides et travaillent activement au développement d'applications industrielles spécifique à augmenter l'efficacité du transfert de chaleur qui peut être bénéfique pour la qualité, la quantité

et/ou le coût d'un produit ou d'un processus, dans cette section, on retrouve quelques exemples d'applications réelles [7] :

- Refroidissement d'éléments électroniques (produire un nano fluide stable qui est compatible avec des circuits et des composants électroniques).
- Echangeur de chaleur.
- Aéronautique et spatial.
- Nanoparticules pour l'efficacité des réfrigérateurs (formulation de lubrifiants et liquides de refroidissement mélangés avec des nanoparticules pourraient entraîner une augmentation de l'efficacité énergétique des réfrigérateurs).
- Refroidissement des systèmes nucléaire.
- Transport (gestion de refroidissement / Véhicule moteur thermique).
- Autres applications (piles à combustible, le chauffage solaire d'eau, forage, stockage
- Thermique) [8].

I.5.4. Avantages et inconvénients des nano- fluides

Nous allons résumer les résultats des avantages, et inconvénients des nano-fluides sur le tableau ci-dessus [9] :

Les avantages des nano-fluides	Les inconvénients des nano-fluides
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Une grande surface de transfert de chaleur entre les particules et les fluides. ➤ Haute dispersion et stabilité avec prédominance du mouvement Brownien des particules. ➤ Particules réduites de colmatage par rapport aux boues conventionnelles, favorisant ainsi la minimisation du système. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Stabilité des nanoparticules dispersion. ➤ Chute de pression accrue et la puissance de pompage. ➤ Viscosité supérieure, chaleur spécifique basse. ➤ Coût élevé des nano-fluides. ➤ Difficultés dans le processus de production.

Tableau I.1: Avantages et inconvénients des nano- fluide [9].

I.6. Synthèse bibliographique

Monssif Najim et al [10] ont fait une étude numérique de l'évaporation d'un film liquide à faible fraction volumique de nanoparticules dans une canal horizontal. La paroi droite du canal est isolée thermiquement tandis que l'autre est mouillée par un film liquide et chauffé par un flux de chaleur constant, Ils ont utilisé des nano-fluides base d'eau contenant Al_2O_3 et Ag, (comme la montre **la figure I.5**). Pour résoudre le problème étudié, ils ont utilisé la méthode des différences finies. Par la fin ils ont constaté que :

-Tous les nano-fluides utilisés dans cette étude améliorent le transfert de chaleur et de masse le long du canal.

-Les nano fluides Ag-eau présentent la meilleure efficacité en termes d'échange de chaleur et de masse.

-L'amélioration du transfert de chaleur est une fonction importante de la conductivité thermique des nanoparticules.

-L'augmentation de la fraction volumique des nanoparticules nous permet d'améliorer le taux d'évaporation dans le canal.

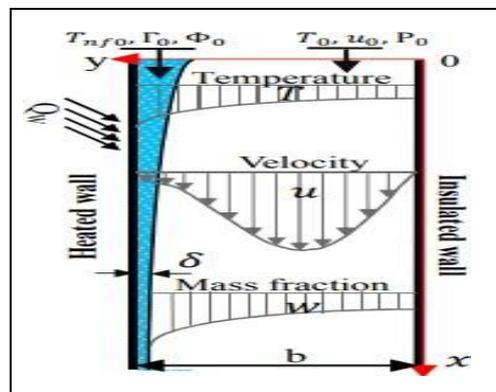


Figure I.5: Géométrie du problème [10].

En 2017, **M. ADNANI et al [11]** ont réalisé une étude numérique de la convection naturelle en régime laminaire dans une cavité carrée. Les parois latérales étaient soumises à des conditions aux limites thermiques, et la méthode des volumes finis a été utilisée pour résoudre le système algébrique. L'analyse adimensionnelle a révélé la présence du nombre de Rayleigh et de Prandtl. Les résultats ont montré que le transfert de chaleur et le champ d'écoulement étaient plus marqués avec une augmentation du nombre de Rayleigh. Les couches limites thermiques ont tendance à se développer en direction des parois latérales pour des nombres de

Rayleigh élevés, tandis que le champ d'écoulement était légèrement accentué avec l'augmentation du nombre de Prandtl, mais diminuait avec une augmentation du nombre de Rayleigh. Le transfert de chaleur n'était pas influencé par le nombre de Prandtl pour les faibles nombres de Rayleigh, mais était moins marqué pour des nombres de Rayleigh très élevés.

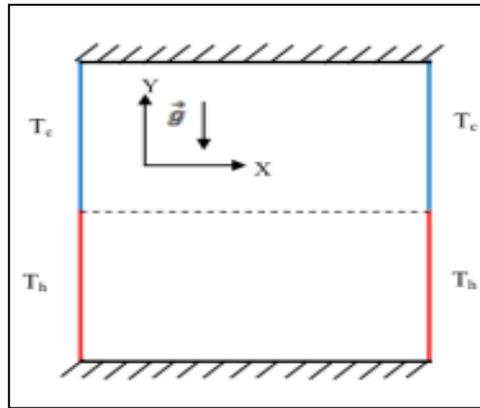


Figure I.6: Modèle physique [11].

MOJUMDER et al [12] ont fait une étude sur la convection mixte dans une cavité en forme de T rempli d'un nano-fluide Al_2O_3 -eau, la résolution numérique avec la méthode de Galerkin weighted résiduel, la solution est obtenue pour différentes fractions volumiques, nombre de Grachof et nombre de Reynolds en régime d'écoulement laminaire, la convection naturelle est introduite par une paroi inférieure chauffée de manière isotherme, tandis que le mouvement du couvercle au niveau de la paroi supérieure froide induit un régime de convection forcée. Une fraction volumique élevée donne un meilleur transfert par convection ; En augmentant le Reynolds l'écoulement change complètement et aussi il augmente le flux transféré. Un nombre de Grachof élevé entraîne une hausse en nombre Nusselt et un meilleur transfert de chaleur.

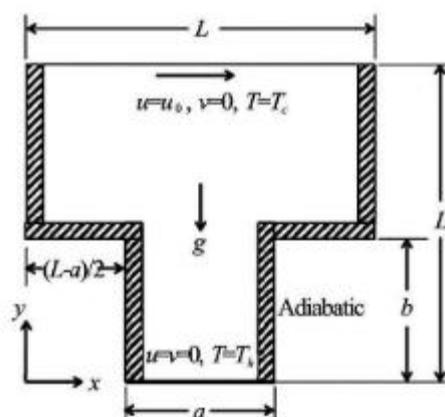


Figure I.7: Schéma de la cavité sous forme de T [12].

Mahdi Benzema et al [13] ont présenté leurs études numériques de la convection de Rayleigh-Bénard dans une enceinte carrée rempli de nano-fluides Al_2O_3 -eau, (comme la montre **la figure I.8**), sous l'influence d'un champ magnétique. Pour la résolution ils ont fait appel à la méthode des volumes finis. Après la comparaison des résultats obtenue avec celle de la littérature, ils ont peut constater que l'écoulement de fluide est le transfert de chaleur dépend de l'orientation de champ magnétique, et l'augmentation de la fraction volumique influence les performances de transfert de chaleur en fonction de présence ou l'absence de champ magnétique appliqué.

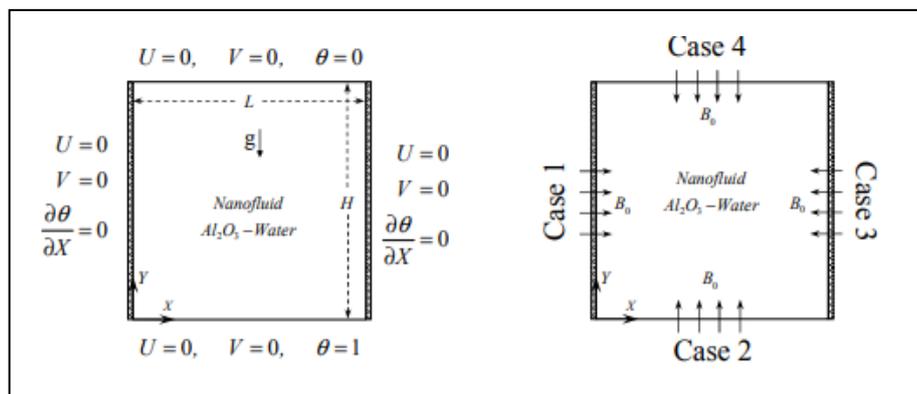


Figure I.8: (a) Diagramme schématique du problème physique ;
(b) Différent cas d'orientation du champ magnétique [13].

En 2014, **Mohammad Nasim Hasan et al [14]** ont étudié la convection mixte dans une cavité carrée remplie de nano-fluides Cu-eau numériquement en prenant compte les différents paramètres tel que le Richardson et la fraction volumique, l'étude leur a permis de déduire que le nombre de Richardson a un rapport direct sur le type de convection et son augmentation augmente le taux de transfert de chaleur.

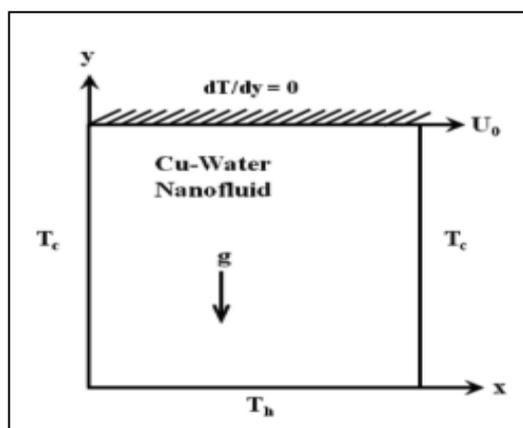


Figure I.9: Modèle physique de l'étude [14].

La recherche menée par **Mina Shahiet *al*** [15] a porté sur la convection mixte dans une cavité carrée avec une entrée et une sortie, utilisant un nano-fluide (Cu-eau) (**figure I.10**). Dans cette étude, la paroi inférieure est soumise à un flux de chaleur constant. Les chercheurs ont varié le nombre de Reynolds de 50 à 1000, le nombre de Richardson de 0 à 10 et la fraction volumique de 0 à 0,05. Les résultats ont montré que l'augmentation de la concentration des nanoparticules entraîne une augmentation du nombre de Nusselt moyen et une diminution de la température moyenne.

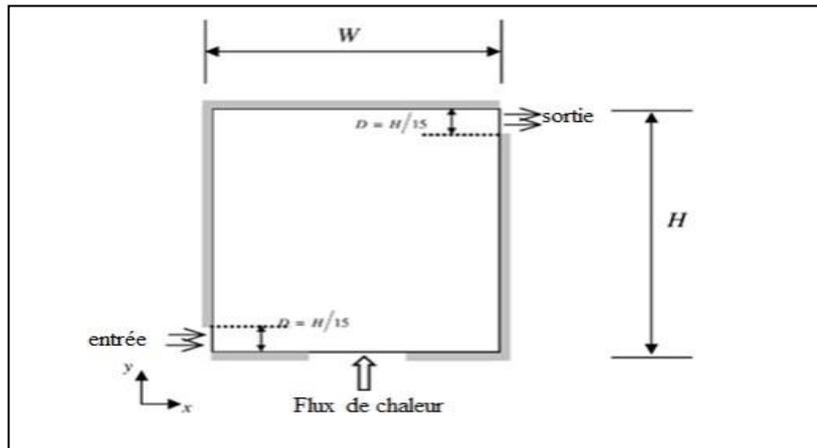


Figure I.10: Schéma d'une cavité carrée avec des orifices d'entrée et de sortie [15].

Shariat et al [16] ont analysé les caractéristiques de l'écoulement et du transfert thermique en convection mixte laminaire d'un nano-fluide (Al_2O_3 -eau) dans des conduits avec un flux de chaleur constant. Des mouvements browniens de nanoparticules ont été considérés pour déterminer la conductivité thermique et la viscosité dynamique du nano-fluide. Les résultats révèlent que pour un nombre de Reynolds (Re) et un nombre de Richardson (Ri) donnés, l'augmentation de la fraction volumique solide des nanoparticules augmente le nombre de Nusselt (Nu), la ratio $AR=b/a$ réduit l'effet de friction et il n'a pas d'effet sur le nombre de Nusselt.

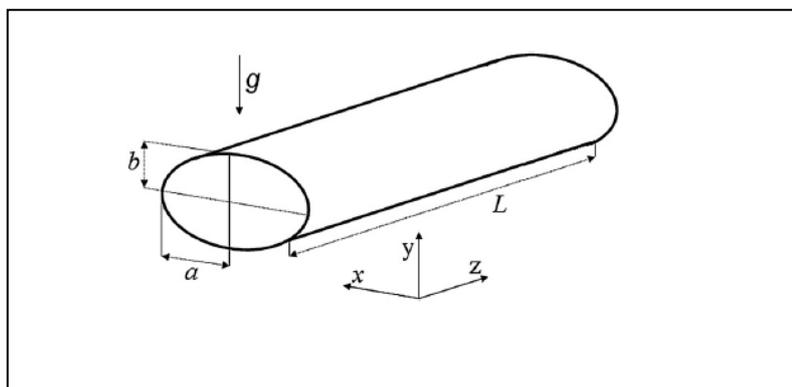


Figure I.11: Présentation de la géométrie étudiée [16].

Abdelkader BOUTRA et al [17] nous proposent une étude de transfert de chaleur par convection naturelle Ag-eau dans une cavité cubique, en présence source de chaleur située au centre de la paroi inférieure vue son rôle sur le transfert de chaleur, l'impact de certain paramètre sont largement contrôler. Ils s'agit de nombre de Rayleigh (10^3 à 10^6), de la fraction volumique (0% à 10%) de la largeur ($10\% \leq w \leq 40\%$) et la hauteur de la source de chaleur ($10\% \leq h \leq 50\%$). Pour la résolution numérique, ils ont basé sur la méthode de lattice-Boltzmann couplé à la méthode différence finies. Après la comparaisent entre les résultats obtenues est celles de littérateur, ils ont constaté que le D3Q19 en trois dimensions est adopté sur la base d'un réseau cubique, où chaque motif de ce dernier est caractérisé par dix-neuf vitesses discrètes.

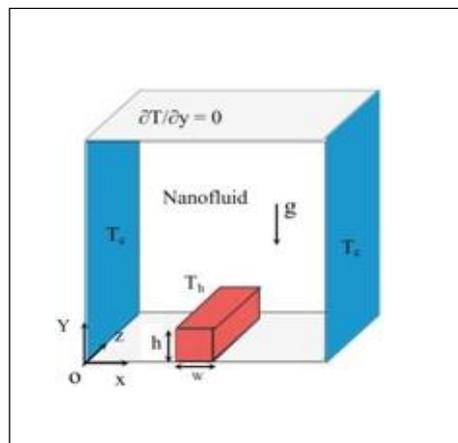


Figure I.12: Configuration étudiée [17].

Icoz et Jaluria [18] ont procédé à une simulation numérique de la convection naturelle en deux dimensions dans un canal rectangulaire ouvert comportant deux sources de chaleur identiques (représenté dans la **Figure I.13**). Le but de cette étude était d'effectuer une simulation précise de l'écoulement du fluide. Les résultats ont montré que les dimensions du canal et la présence des ouvertures ont un effet significatif sur l'écoulement du fluide, mais ont peu d'impact sur le transfert de chaleur. Par ailleurs, l'augmentation de la hauteur du canal conduit à un écoulement moins stable, entraînant ainsi une diminution du nombre de Grashof critique. Cette étude a également pris en compte des conditions aux limites similaires à celles d'un canal réel et a examiné les effets de la température des sources, des dimensions du canal, de l'emplacement des sources et du début de l'instabilité.

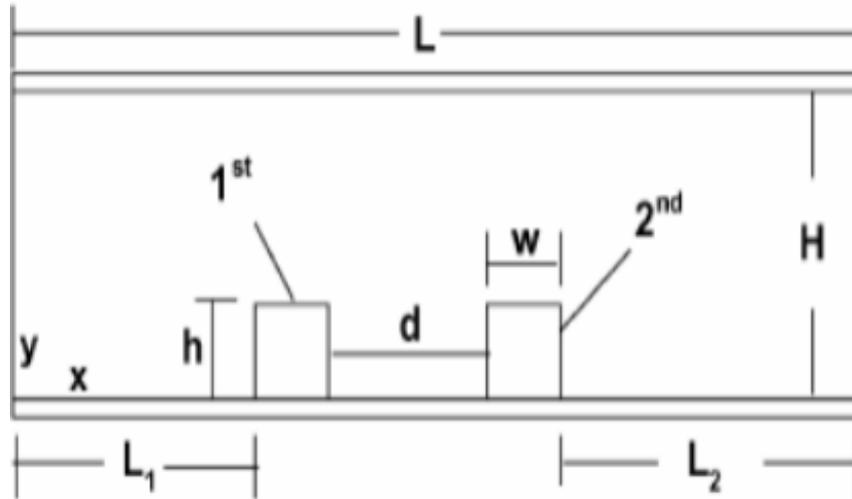


Figure I.13: Canal horizontal contenant deux composants électroniques [18] .

Soufi El Habib [19] a présenté une étude des nano-fluides pour le refroidissement sur une géométrie de forme U avec des dimensions de 0.06(m) de hauteur, 0.06(m) en largeur et avec une épaisseur de 0.03(m). La cavité a deux surfaces latérales, une surface droite et une surface gauche. Les deux de ces surfaces ont une dimension de 0.06(m) de hauteur et de 0.03(m) de largeur. Au bas fond de la cavité on trouve les surfaces inférieure qui ont une dimension de 0.06 (m) en longueur et de 0.03 (m) en sa largeur. (Voir la **figure I.14**).

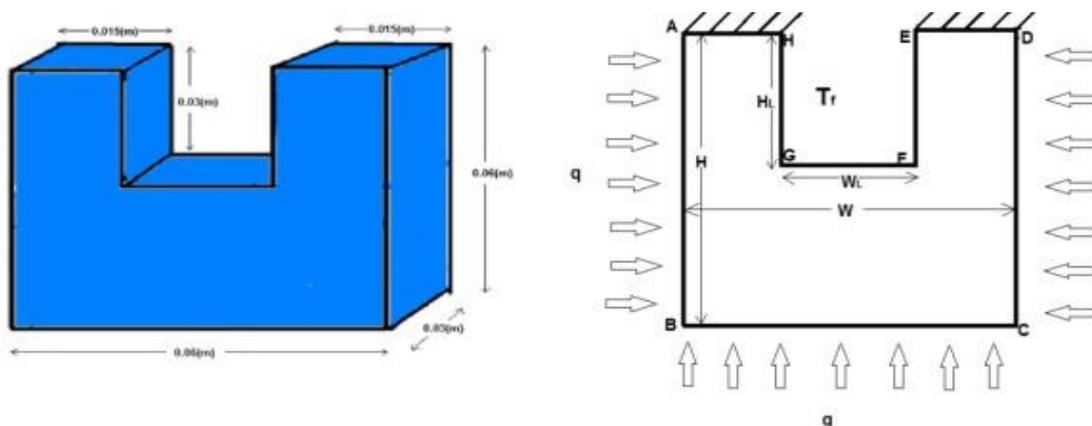


Figure I.14: Schéma de la géométrie du problème [19].

Sidi El BécayeMaïga et al [20] ont étudié le problème de l'écoulement laminaire à convection forcée de nano-fluides en détail pour deux configurations géométriques particulières, à savoir un tube uniforme chauffé et un système de disques parallèles coaxiaux chauffés. Dans cette étude deux nano-fluides ont été considéré, à savoir Ethylène Glycol- Al_2O_3 et eau- Al_2O_3 . Les résultats ont révélé que la concentration volumique des nanoparticules a produit une augmentation du taux de transfert de chaleur par rapport au liquide de base, et aussi l'amélioration du transfert de chaleur est dû à l'augmentation du nombre de Reynolds. Cette augmentation de transfert de chaleur s'accompagne d'un effet négatif radical sur la contrainte de cisaillement de la paroi. Enfin, on déduit que le Ethylène Glycol Al_2O_3 offre un meilleur effet que l'eau- Al_2O_3 mais il est soumis à des contraintes de cisaillement considérable.

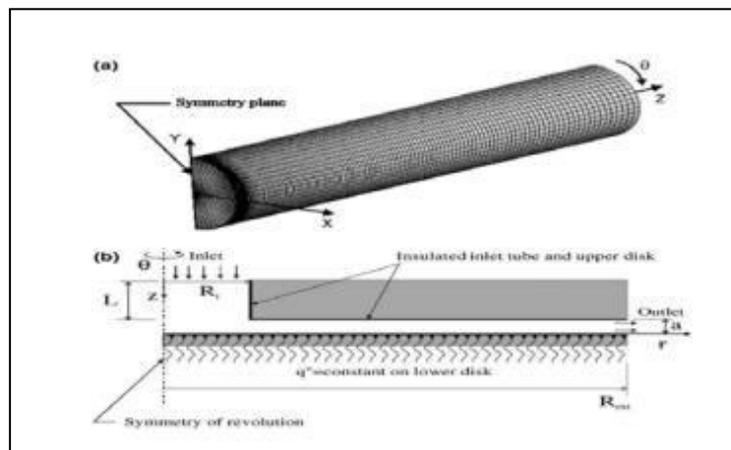


Figure I. 15: Configurations géométriques étudiées : (a) un tube chauffé uniformément et (b) un canal radial entre des disques chauffés [20].

I.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté des notions sur le mode de transfert de chaleur par convection, et quelques exemples de ces applications ainsi les définitions nécessaires des nano-fluides et ces avantages et inconvénients. Une étude bibliographique nous a permis de mieux comprendre l'impact de l'ajout des nanoparticules aux fluides de base dans le but d'améliorer le transfert thermique.

Chapitre II :

Formulation mathématique et position du problème

Formulation mathématique et position du problème

II.1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter les équations mathématiques qui gouvernent le transfert de chaleur par convection mixte qui sont souvent l'équation de l'énergie, l'équation de continuité, l'équation de quantité de mouvement. Pour notre domaine d'étude physique on a choisi une cavité carrée de forme U de géométrie bidimensionnelle dans un repère cartésienne remplie de nano fluide.

II.2. Domaine physique

Notre domaine est une cavité carrée bidimensionnelle de forme U remplie de nano fluide qui s'écoule à l'intérieur pour refroidir la paroi inférieure qui soumis à une source chaude avec une température chaude T_c à l'aide d'un flux froid qui entre est toutes les autres parois sont adiabatique vis-à-vis du milieu extérieur comme la montre la figure ci-dessus :

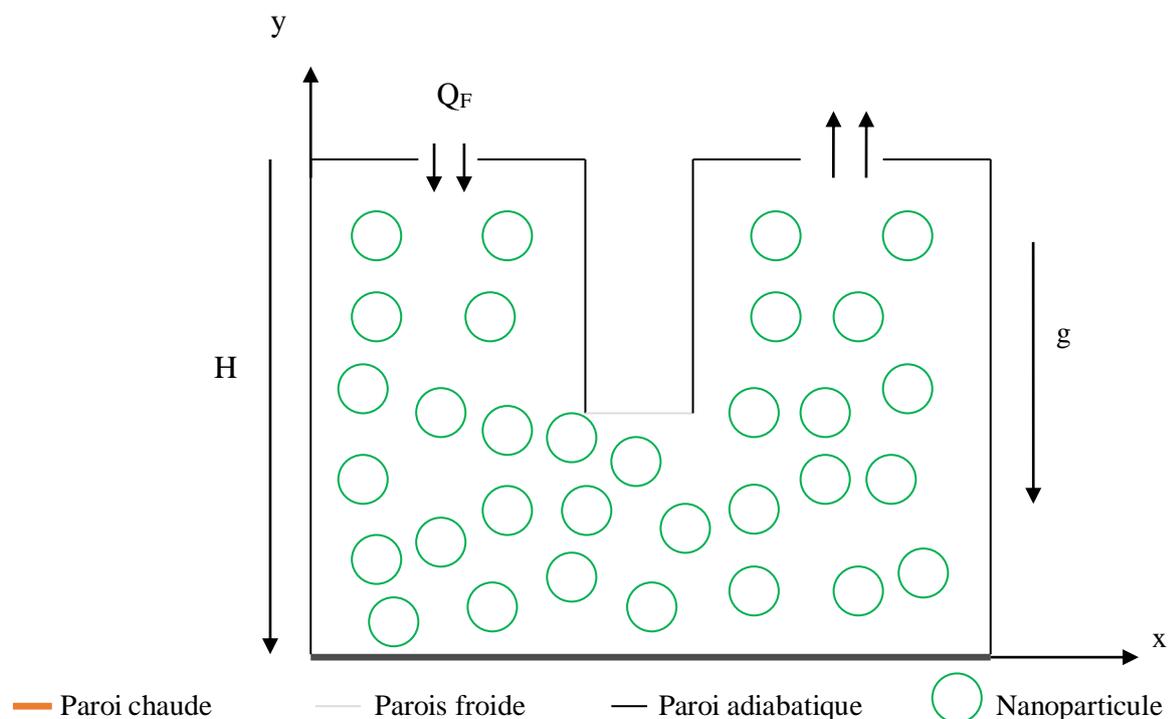


Figure II.1: La géométrie à étudier.

II.2.1. Hypothèse simplificatrice

- Le fluide est newtonien.
- L'écoulement laminaire bidimensionnel.
- L'écoulement permanent.
- Le transfert de chaleur par rayonnement est négligé.
- L'approximation bousines qui est adoptée, ce qui veut dire que l'influence de la variation de la masse volumique de fluide en fonction de la température n'est prise en compte que dans le terme représentant les forces de volume, la variation de la masse

$$\text{volumique est donnée : } \rho = \rho_0(1 - \beta(T - T_{\text{ref}})). \quad (\text{II.1})$$

T_0 : la température de référence.

ρ_0 : la masse volumique de référence du fluide à la température de référence.

$$\text{B: Le coefficient d'expansion thermique qui est donnée par : } \beta = -\frac{1}{\rho_0} \left[\frac{\partial \rho}{\partial T} \right]. \quad (\text{II.2})$$

II.3. Paramètres du nano-fluide (Al_2O_3 -eau)

Les propriétés physiques d'un nano-fluide (Al_2O_3 -eau) sont présentées dans le tableau ci-dessus :

	Eau	Al_2O_3
ρ (kg/m ³)	997.1	3790
C_p (J/kg)	4179	765
K (W/m.K)	40	0,0257
β (K ⁻¹)	$21 \cdot 10^{-5}$	$0,85 \cdot 10^{-5}$

Tableau II.1: Paramètres thermo-physique du fluide de base et de la nanoparticule [21].

II.4. Les paramètres thermo-physiques

➤ La masse volumique

La masse volumique de nano fluide est donnée par la relation suivant :

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

ρ_f : la masse volumique de fluide de base

ρ_s : la masse volumique des nanoparticules solides

➤ La fraction volumique : la notation φ représente le rapport entre le volume des nanoparticules et le volume totale de la substance est donnée par la relation suivant :

$$\varphi = \frac{V_s}{V_T} \quad (\text{II.4})$$

➤ La viscosité dynamique : la viscosité dynamique d'après le modèle de Brinkman[22] est donnée par :

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

$(\rho C_p)_{nf}$, $(\rho C_p)_f$, $(\rho C_p)_s$ Désignent respectivement les chaleurs spécifiques du nano fluide, du fluide de base et des nanoparticules.

➤ La capacité calorifique et le Coefficient d'expansion thermique : sont données d'après khanafer[23] comme suit :

$$(\rho C_p)_{nf} = (1 - \varphi)(\rho C_p)_f + \varphi(\rho C_p)_s \quad (\text{II.6})$$

$$(\rho\beta)_{nf} = \varphi\rho_s\beta_s + (1 - \varphi)\rho_f\beta_f \quad (\text{II.7})$$

- La capacité calorifique est estimée aussi par la relation de Xing et Gu [24] comme suit

$$(C_p)_{nf} = (1 - \varphi)(C_p)_f + \varphi(C_p)_s \quad (\text{II.8})$$

- Le Coefficient d'expansion thermique par :

$$(\beta)_{nf} = \varphi\beta_s + (1 - \varphi)\beta_f \quad (\text{II.9})$$

- **La conductivité thermique effective du nano-fluide** est approximée par le modèle de Maxwell [25]. La formule de Maxwell se présente sous la forme :

$$\frac{K_{nf}}{K_f} = \frac{K_s + 2K_f + 2(K_s - K_f)\phi}{K_s + 2K_f - (K_s - K_f)\phi} \quad (\text{II.10})$$

K_{nf} , K_f , et K_s désignent respectivement les conductivités thermiques du nano-fluide, du fluide de base et des particules solide.

II.5. Les équations gouvernantes du problème

II.5.1. Équation de conservation de la masse

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (\text{II.11})$$

II.5.2. Équation de conservation de quantité de mouvement

Selon ox :

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{1}{\rho_{nf}} \left[-\frac{\partial P}{\partial x} + \mu_{nf} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \right] \quad (\text{II.12})$$

Selon oy :

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = \frac{1}{\rho_{nf}} \left[-\frac{\partial p}{\partial y} + \mu_{nf} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + (\rho\beta)_{nf} g(T - T_0) \right] \quad (\text{II.13})$$

II.5.3. Équation de l'énergie

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha_{nf} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (\text{II.14})$$

Avec α_{nf} c'est la diffusivité thermique de nano fluide qui donnée par la relation suivante

$$\alpha_{nf} = \frac{K_{nf}}{(\rho C_p)_{nf}} \quad (\text{II.15})$$

II.6. Forme adimensionnelle des équations

L'utilisation de la forme adimensionnelle permet de résoudre les problèmes physiques de manière générale, indépendamment des systèmes de mesure. Cela simplifie également la résolution des équations et réduit le nombre de paramètres physiques. Afin d'identifier les paramètres de contrôle du problème étudié, il est nécessaire d'introduire des grandeurs de référence.

➤ Grandeurs caractéristiques :

H : Longueur caractéristique.

U_0 : Vitesse caractéristique.

ΔT_{ref} : température de référence

$\rho_{nf} U_0^2$: pression caractéristique.

➤ Variables adimensionnelles :

$$X = \frac{x}{L} \quad Y = \frac{y}{L} \quad U = \frac{u}{U_0}$$

$$\theta = \frac{T - T_f}{T_c - T_f} \quad p = \frac{p}{\rho_{nf} u_c^2} \quad V = \frac{v}{u_0}$$

II.6.1. Équation de conservation de la masse

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0 \quad (\text{II.16})$$

II.6.2. Équation de conservation de quantité de mouvement

Selon ox :

$$U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial X} + \frac{1}{\text{Re}} \frac{\rho_f}{\rho_{nf}} \left(\frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} \right) \quad (\text{II.17})$$

Selon oy :

$$U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial Y} + \frac{1}{\text{Re}} \frac{\rho_f}{\rho_{nf}} \left(\frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} \right) + \frac{(\rho\beta)_{nf}}{\rho_{nf} \beta_{nf}} \frac{Gr}{\text{Re}^2} \theta \quad (\text{II.18})$$

II.6.3. Équation de l'énergie

$$U \frac{\partial \theta}{\partial X} + V \frac{\partial \theta}{\partial Y} = - \frac{\alpha_{nf}}{\alpha_f} \frac{1}{\text{Re Pr}} \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} \right) \quad (\text{II.19})$$

II.7. Les conditions aux limites de problème étudié

Paroi	Condition hydrodynamique	Condition Thermique
H1=H2=H/2		
Y=0 ,0<X.<L	U=v=0	T=Tc
X=0,0<Y<H	U=V=0	Q=0
X=L ,0<Y<H	U=V=0	Q=0
Y=H		
X=L ₁ et Y=H	U=0, V=-V	Q=0
X=L ₂ et Y= $\frac{H}{2}$	U=0, V=0	Q=0
X=L ₃ et Y=H	U=0, V=V	Q=0
L ₁ < X< L ₂ et Y=H ₂	U=0, V=0	Q=0
L ₂ <X< L ₃ et Y=H ₂	U=0, V=0	Q=0

Tableau II.2: Condition aux limites dimensionnelles.

II.8. Méthode numérique

Les solutions analytiques, basées sur la forme locale du problème (équations aux dérivées partielles : « E.D.P. » associées aux conditions initiales et aux limites), ne sauraient être déterminées dans le cas général, exceptés certains cas classiques connus depuis bien longtemps. Ces cas sont pédagogiquement intéressants, quoique demeurent excessivement limités pour l'industriel en particulier au niveau des géométries considérées. Pour obtenir une solution

numérique au problème étudié, on doit transformer les équations différentielles du modèle mathématique par le biais d'un processus de discrétisation en un format facile pour le processus

numérique. Ce format n'est autre que le système d'équations algébriques obtenu après la discrétisation. Il existe plusieurs méthodes numériques de discrétisation des équations différentielles aux dérivées partielles, à savoir :

- La méthode des éléments finis ;
- La méthode des différences finies ;
- La méthode des volumes finis.

Dans cette étude, nous adopterons la méthode des volumes finis pour résoudre le problème. Le schéma de discrétisation utilisé est de type polynomial, et le couplage entre la vitesse et la pression est calculé selon l'**algorithme SIMPLER** développé par Patankar [26] en 1980.

La résolution d'un problème par la méthode des volumes finis, passe par les étapes suivantes :

- Maillage du domaine physique du calcul (distribution des volumes de contrôle) ;
- Discrétisation des différentes équations régissant le phénomène considéré ;
- Choix d'un algorithme de résolution des systèmes d'équations. Obtenues après Discrétisation.

➤ Critère de convergence

Un processus est appelé itératif quand il aura atteint la convergence, c'est-à-dire tout proche de la « solution stable des systèmes d'équations en un nombre optimal d'itérations, lorsque les itérations ultérieures ne produisent aucun changement significatif dans les valeurs des variables

dépendantes (vitesses et température). Pratiquement, on exprime cette convergence par un test d'arrêt du processus itératif appelé aussi (critère de convergence) qui dépend de la nature du problème et des objectifs du calcul. Dans notre cas, le critère est de 10^{-5} .

II.9. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la géométrie de notre cas d'étude, ainsi que le modèle mathématique qui est composé d'un système d'équation différentiel complété par des conditions aux limites, et nous avons utilisé une méthode numérique qui est la méthode des volumes finis pour la résolution des équations de ce modèle mathématique.

Chapitre III : Résultats et discussions

Résultats est discussions

III.1. Introduction

Dans ce chapitre on se concentre sur la présentation et l'interprétation des résultats obtenus lors de l'étude numérique de la convection mixte dans une cavité carrée. et nous avons réalisé une étude pour évaluer la sensibilité du maillage et comparer les résultats obtenus.

Par la suite, nous allons examiner l'influence de la variation de certains paramètres tel que l'effet du nombre de Reynolds et la fraction volumique ainsi le nombre de Rayleigh sur les caractéristiques de transfert de chaleur. Les résultats obtenus sont exposés en termes de lignes de courant, d'isothermes et de nombre de nusselt.

III.2. Maillage

Nous avons réalisé le maillage par le pré-logiciel gambit est consisté à suivre plusieurs étapes pour créer de notre géométrie comme la montre la figure ci-dessus :

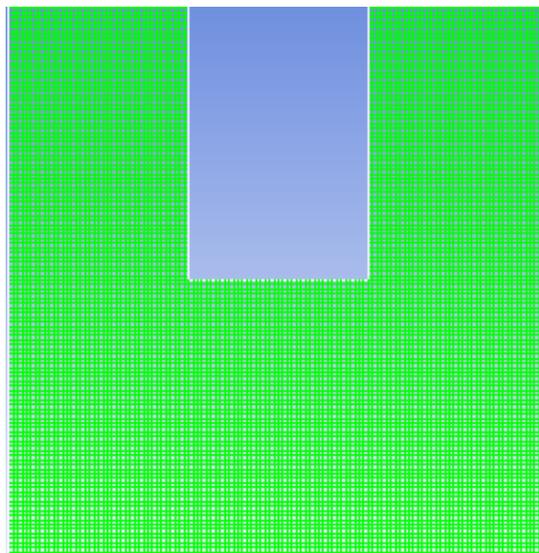


Figure III.1: Maillage de la géométrie (120x120).

III.3. Validation

Afin de renforcer la crédibilité de ce travail, il est essentiel de procéder à une validation de code de calcul en comparant les résultats obtenus avec ceux de l'étude précédente. A cet effet, nous avons choisi l'étude réalisée par Farhad Talebi et al [27], où ils ont étudié la convection mixte dans une cavité carrée remplie de nano fluide (Cu-eau). Les parois supérieures et inférieures sont thermiquement isolées tandis que la paroi gauche est maintenue à une température froide et celle du côté droit est à une température chaude. La comparaison concerne les isothermes, les lignes de courants pour un nombre de Rayleigh $Ra=1.47 \times 10^6$ et une concentration volumique $\phi=0$.

III .3.1. Les lignes de courants

Simulation de Farhad Talebi et al

Nos simulation

$Ra=1.47 \times 10^6$

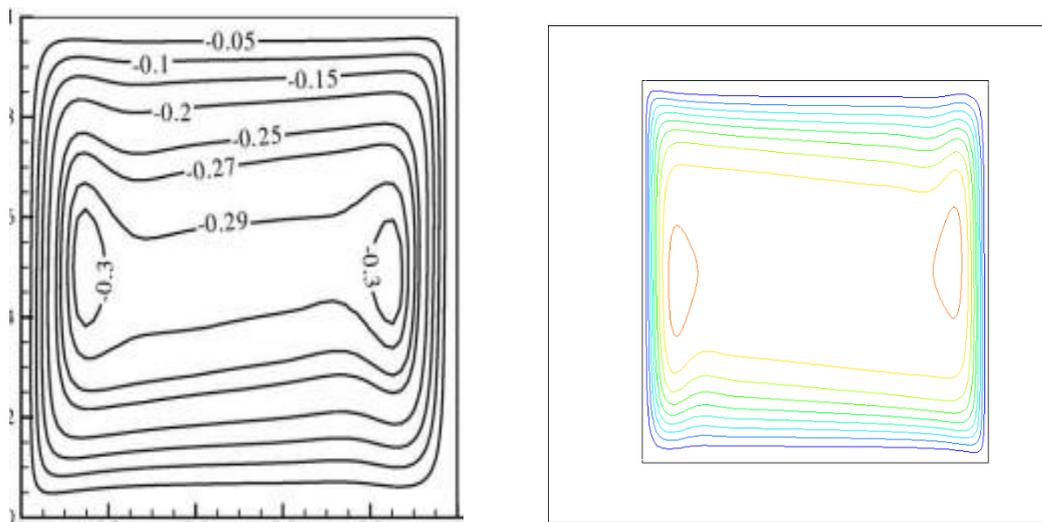


Figure III.2: Comparaison entre les lignes de courants.

III.3.2. Les lignes isothermes

Simulation de Farhad Talebi et al

Nos simulation

$Ra=1.47 \times 10^6$

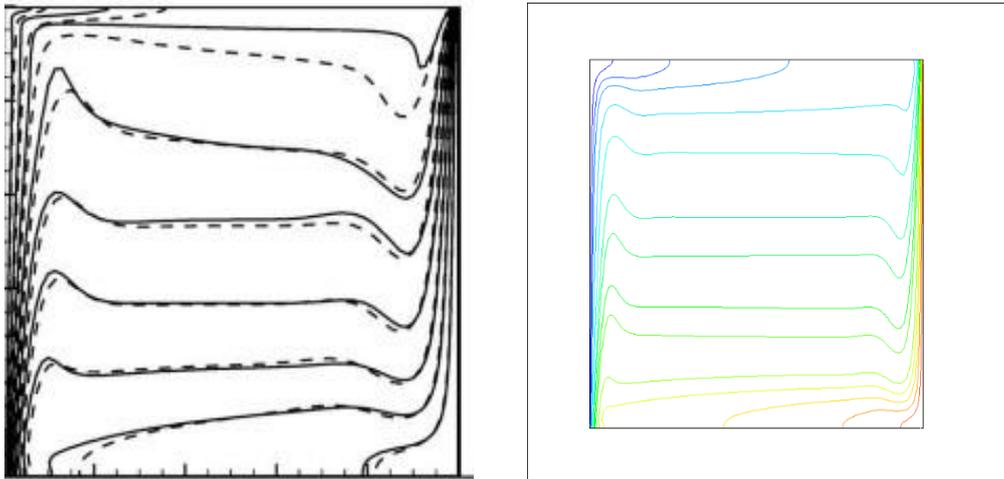


Figure III.3: Comparaison entre les lignes isothermes.

D'après la figure III.2 et la figure III.3, nos résultats sont presque identiques avec les résultats correspondants. Cela nous permet de confirmer la validité de notre méthode de simulation numérique.

III.4. Choix de maillage

Pour l'examen de ce maillage est sa fiabilité nous avons calculé le nombre de Nusselt moyen on utilise plusieurs maillages allant de 60×60 à 200×200 pour le nano fluide choisi (Al_2O_3 -eau) à $\phi=0.04$, $Ra=10^3$ et $Re=50$. Les résultats du maillage en fonction du nombre de Nusselt moyen sont présentés dans la figure III.4.

	Nu_{moy}
60x60	8.424367
80x80	8.4340334
100x100	8.4439926
120x120	8.4546232
140x140	8.4602795
160x160	8.4640680
180x180	8.4683237
200x200	8.4725418

Tableau III. 1: Le nombre de nusselt moyen en fonction des différents maillages.

Les valeurs du nombre de nusselt sont presque constantes à partir du maillage 120x120 et l'erreur ne dépasse pas 2 %.

$$\varepsilon\% = \frac{Nu(140) - Nu(120)}{Nu(140)} = 0.000067\%$$

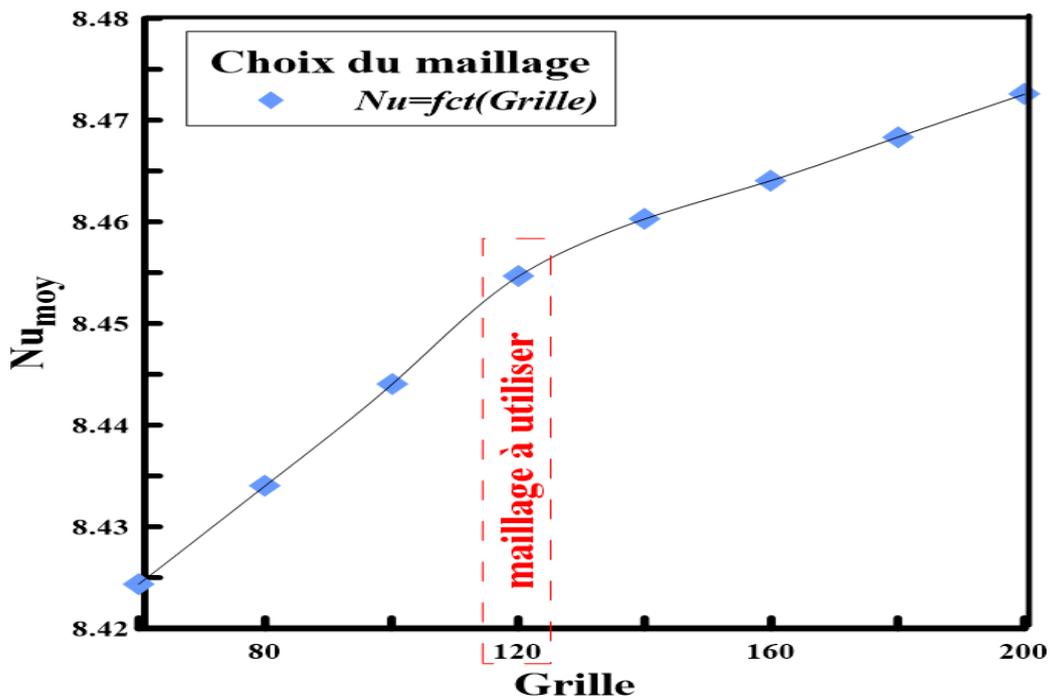


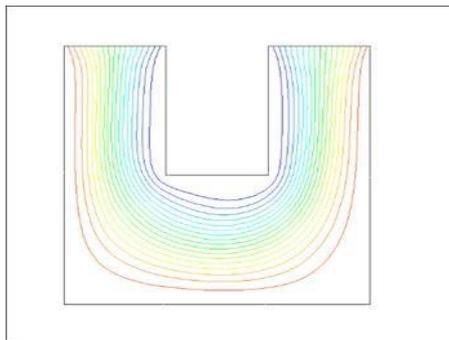
Figure III.4: Nombre de nusselt moyen en fonction de maillage.

III.5. Résultats et discussions

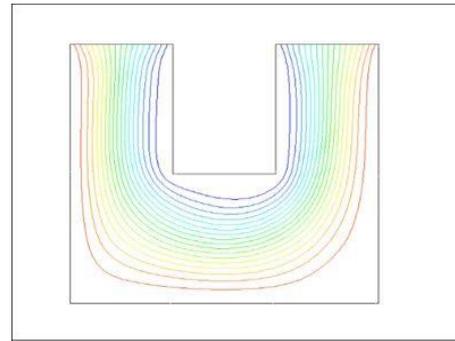
III.5.1. Effets de concentration et du nombre de Rayleigh

- Les lignes du courant

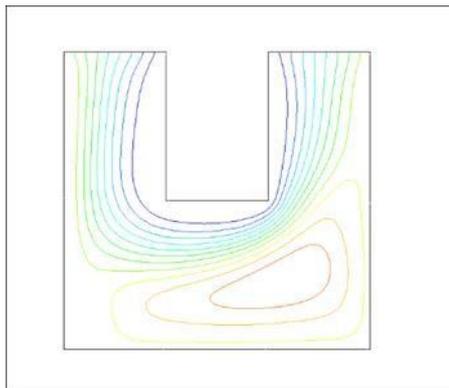
Pour $\varphi=0.02$



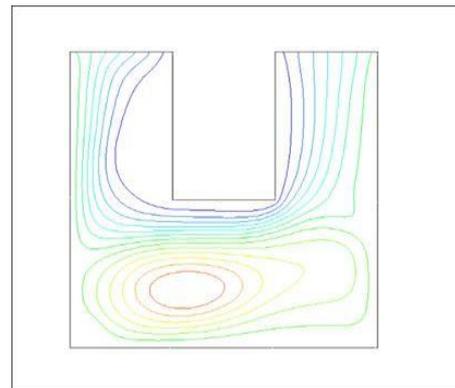
$Gr=10^3$



$Gr=10^4$

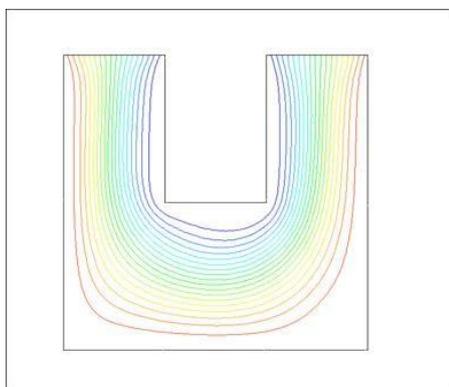


$Gr=10^5$

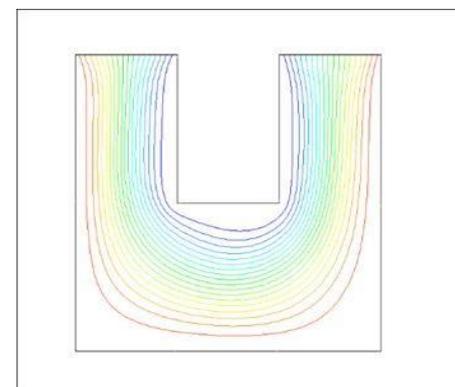


$Gr=10^6$

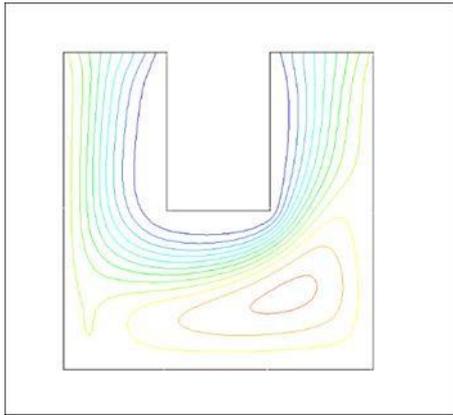
Pour $\varphi=0.04$



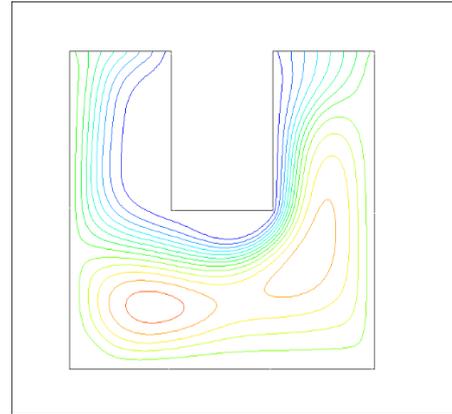
$Gr=10^3$



$Gr=10^4$

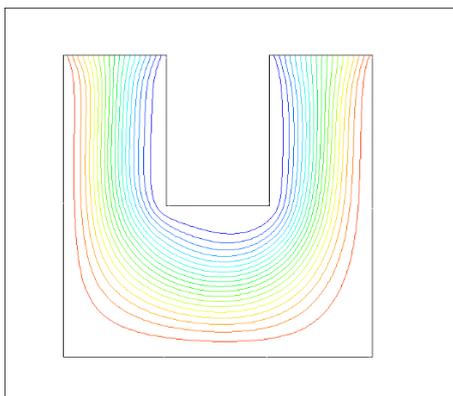


Gr =10⁵

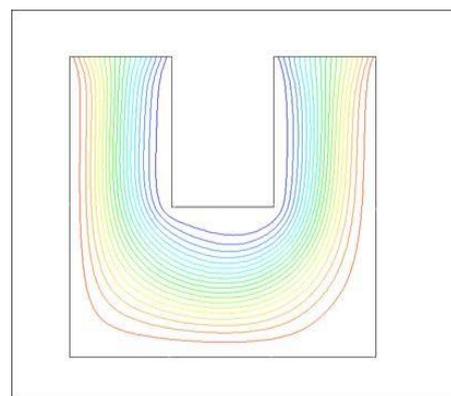


Gr =10⁶

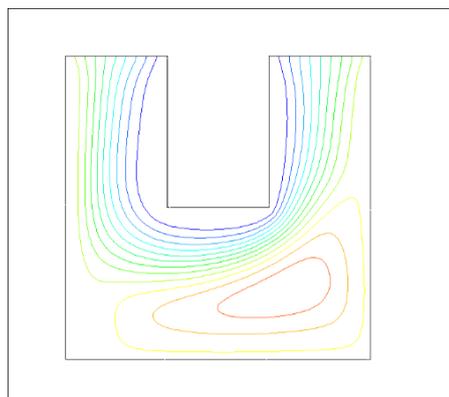
Pour $\varphi=0.06$



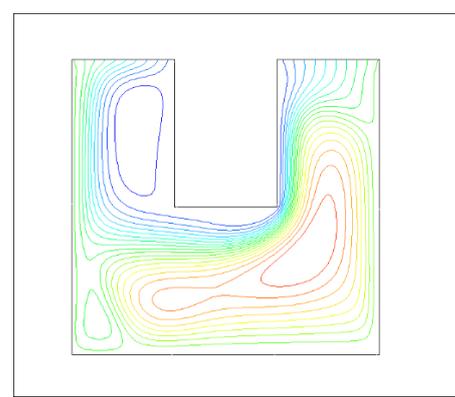
Gr =10³



Gr =10⁴



Gr =10⁵



Gr =10⁶

Pour $\phi=0.08$

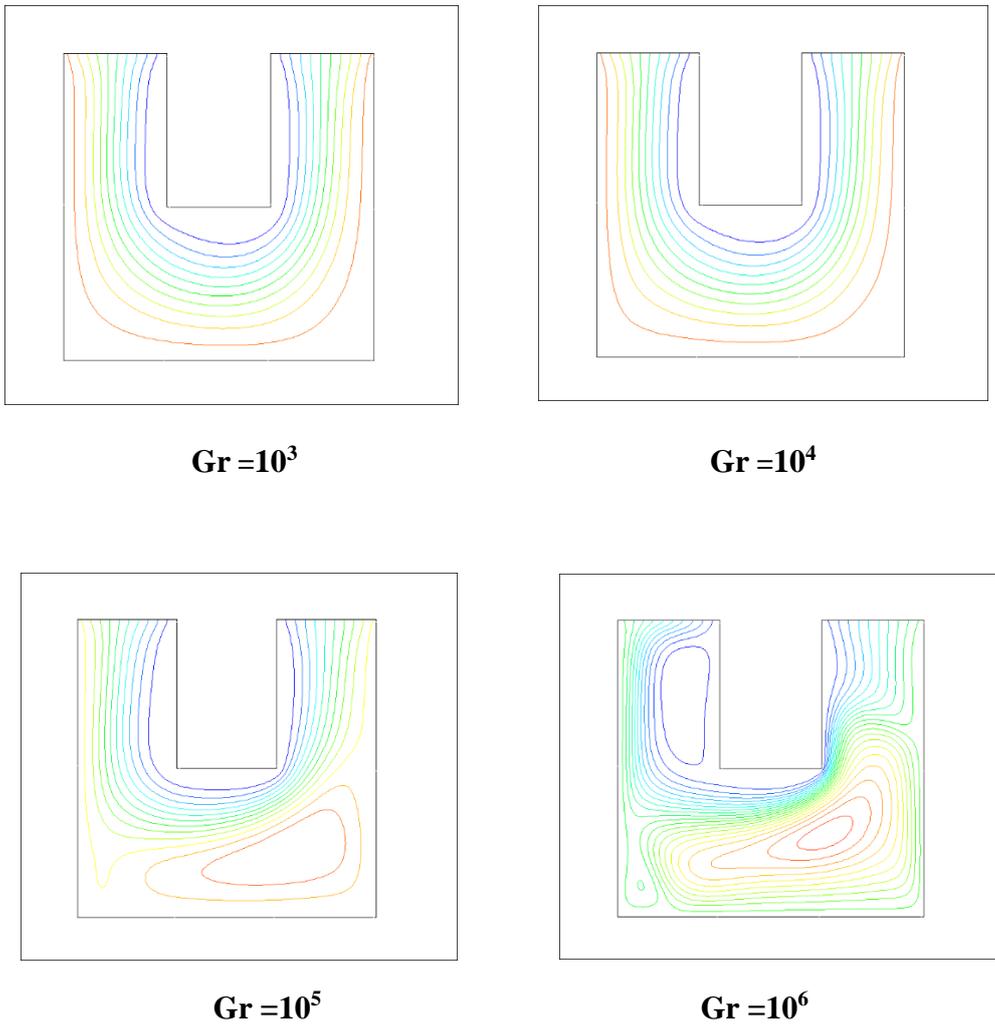
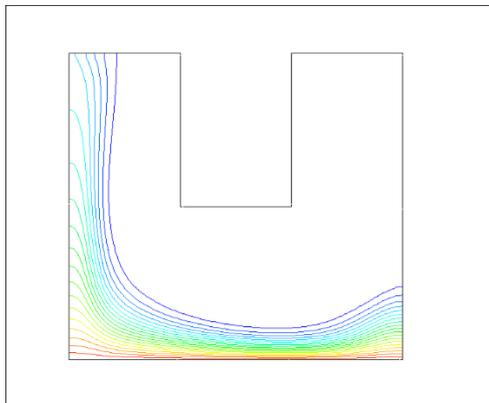


Figure III.5: Les lignes de courants pour différents fractions et différent nombre de Grashof.

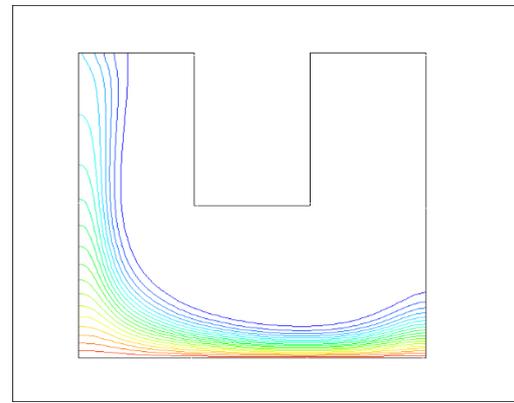
On observe dans la Figure III.5 les contours des lignes de courants qui représentent les champs associés, pour différents nombres de Grashof ($10^3, 10^4, 10^5, 10^6$) et des fractions de nanoparticules variant de (0.02 à 0.08). On remarque qu'à $Gr=10^3$ et 10^4 on enregistre presque les mêmes contours pour tous les fractions. Pour $Gr=10^5$ on note l'apparition d'une cellule proche a la paroi chaude de la cavité et ce résultat est le mêmes pour tous les fractions. et à $Gr=10^6$ on constate l'apparition des petites nouvelles cellules a augmentation de la fraction volumique.

- Les lignes isothermes

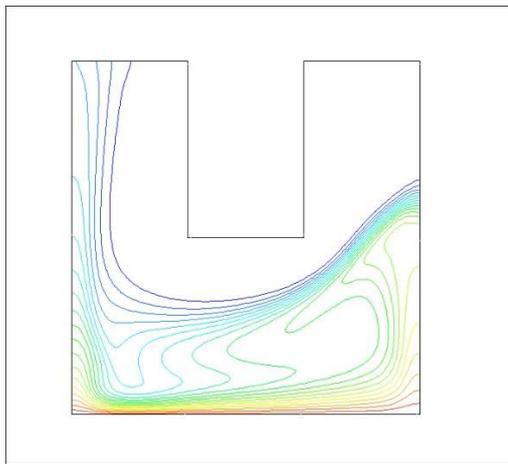
Pour $\phi=0.02$



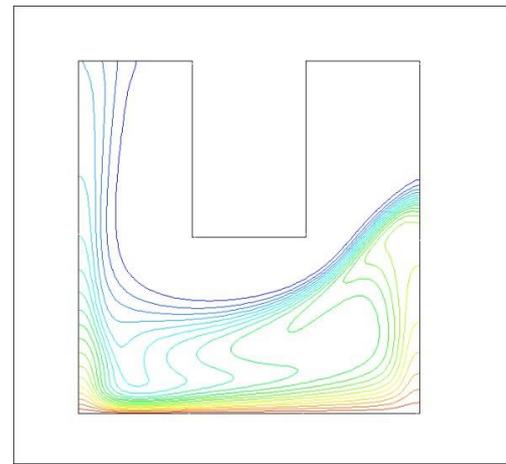
$Gr=10^3$



$Gr=10^4$

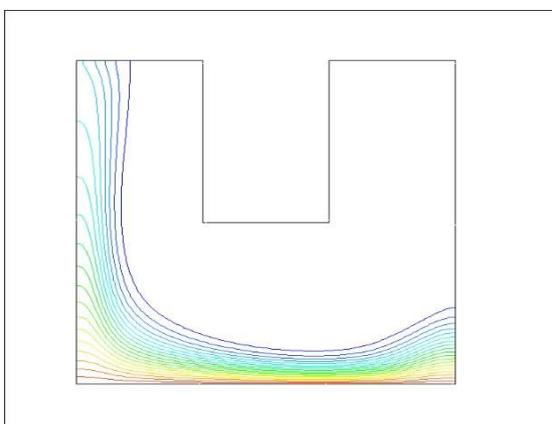


$Gr=10^5$

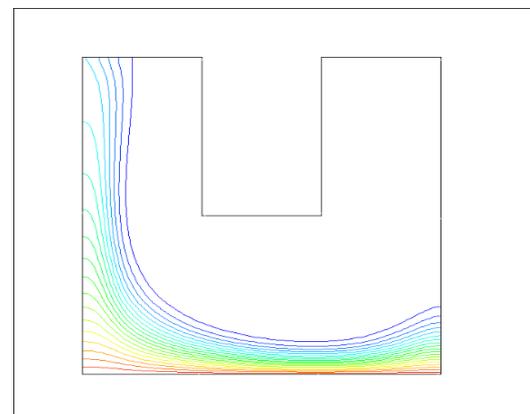


$Gr=10^6$

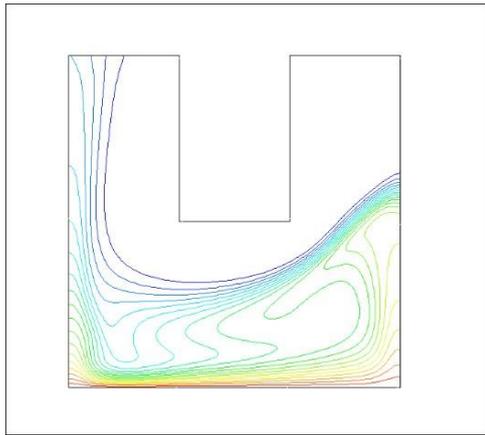
Pour $\phi=0.04$



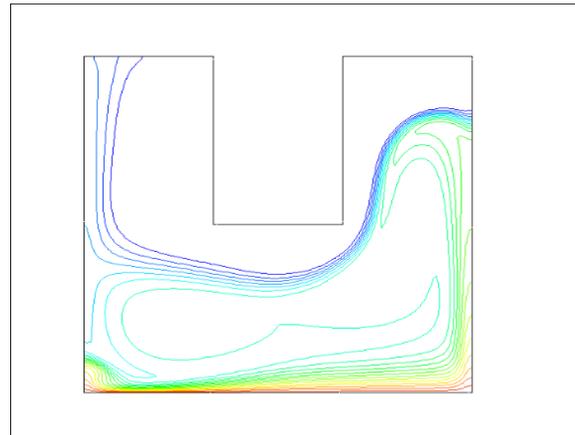
$Gr=10^3$



$Gr=10^4$

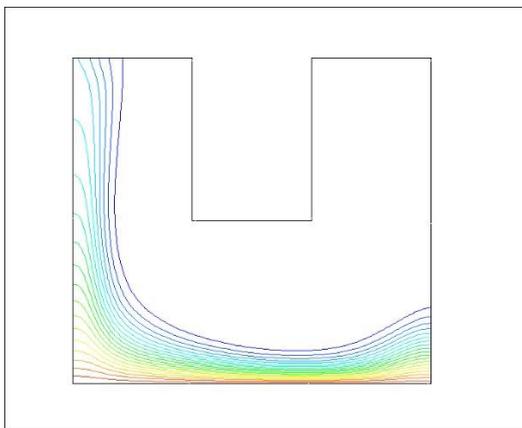


Gr = 10⁵

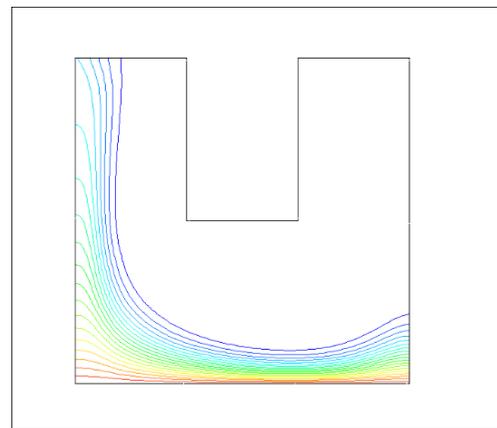


Gr = 10⁶

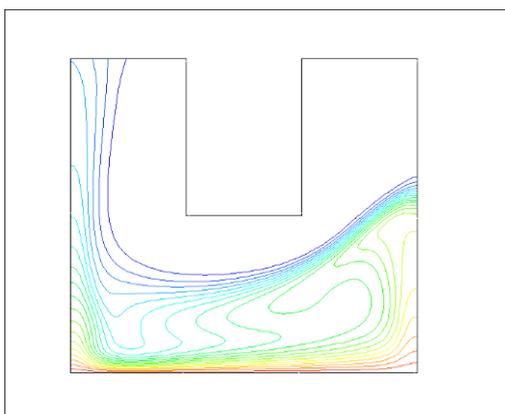
Pour $\varphi=0.06$



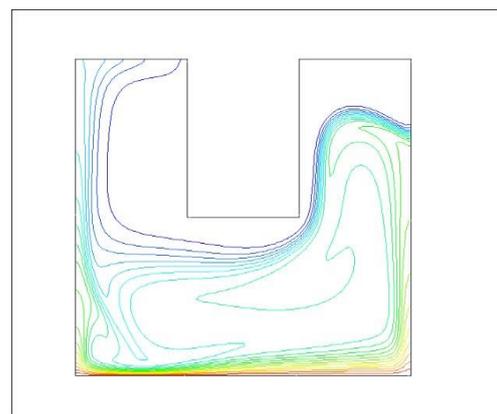
Gr = 10³



GR=10⁴



Gr=10⁵



Gr=10⁶

Pour $\phi=0.08$

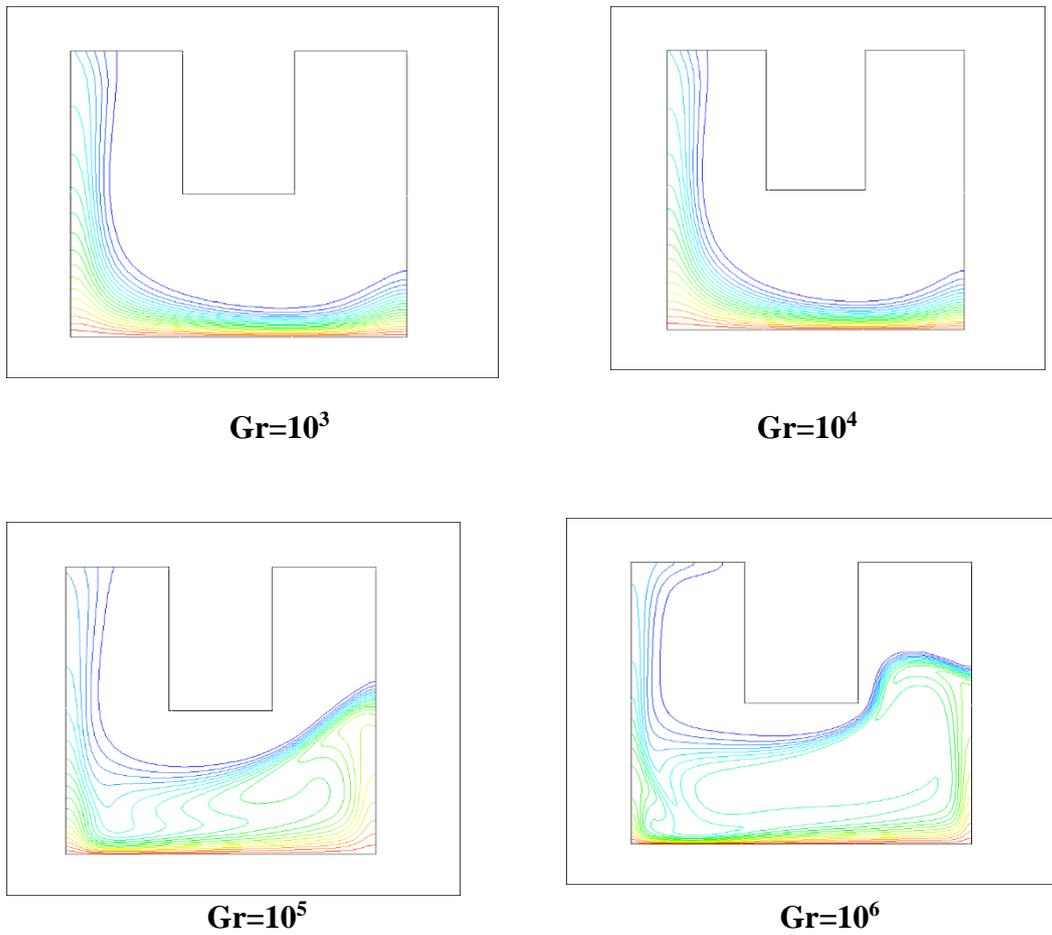


Figure III.6: Les lignes isothermes pour différents fractions aux différents nombres de Grashof.

On remarque qu'à $Gr=10^3$ et $Gr=10^4$ les lignes isothermes sont les mêmes pour toutes les fractions. On augmente le nombre de Grashof jusqu'à $Gr=10^5$, les lignes isothermes sont largement affectées. Effectivement, cela montre que le régime convectif vient de se développer au niveau de la cavité. À $Gr=10^6$, on remarque que le régime convectif domine presque toute la cavité.

III.5.2. Le nombre de nusselt moyen

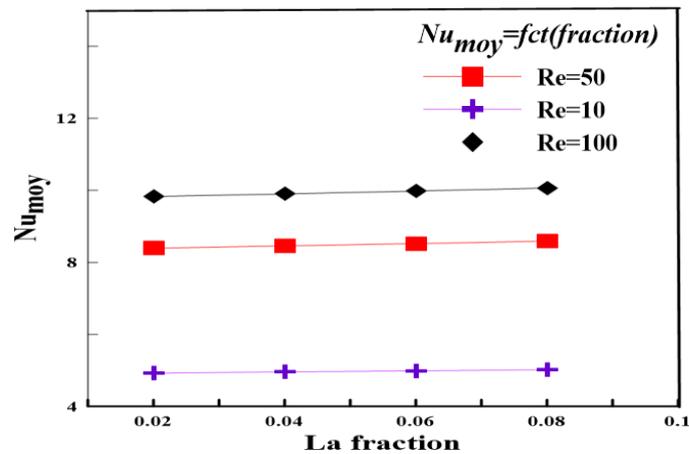


Figure III.7: Le nombre du nusselt moyen en fonction de la fraction pour différents nombres de Reynolds.

La figure III.7 montre l'évolution de nombre du nusselt moyen en fonction de la fraction pour différents nombres de Reynolds, on constate que le nombre de nusselt moyen augmente lorsque le nombre de Reynolds augmente.

III.5.3. Le nombre de nusselt local

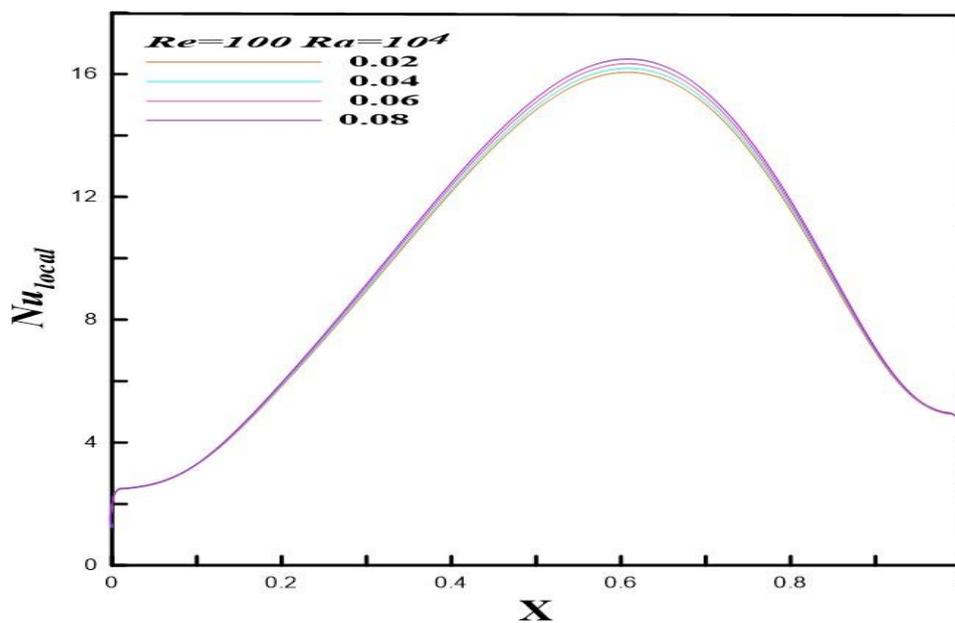


Figure III.8: Evolution de nombre de nusselt local en fonction de X à Re=100.

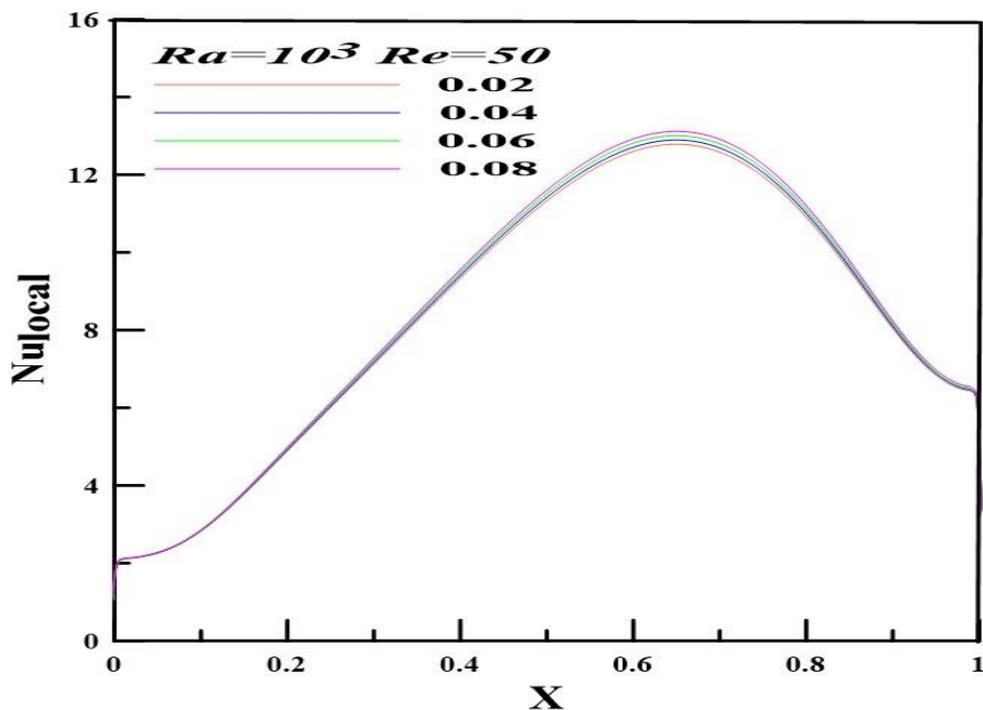


Figure III.9: Evolution de nombre de nusselt local en fonction de X à $Re=50$.

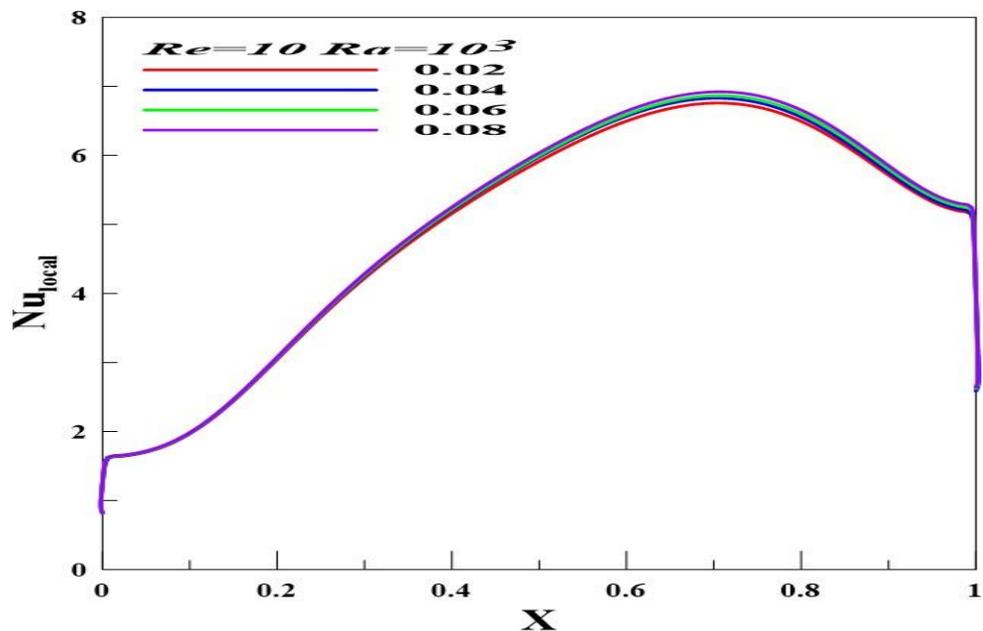


Figure III.10: Evolution de nombre de nusselt local en fonction de X à $Re=10$.

Le nombre de nusselt local illustrées dans les figures III.8, III.9 et III.10, Ne présente pas une variation notable. Cela peut être expliqué par la stabilité du champ dynamique et thermique.

III.6. Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons examiné l'impact de certains paramètres tels que la fraction volumique des nanoparticules, le nombre de Reynolds et le nombre de Grashof sur le comportement dynamique et thermique de l'écoulement. cela dans une cavité carrée remplie de nanofluide (Al_2O_3 -eau). est on a arriver aux résultats suivant :

- Les nanoparticules présentes dans l'eau améliorent la conductivité thermique du fluide et donc le transfert de chaleur.
- L'augmentation de nombre de Reynolds augmente le nombre Nusselt moyen et local pour tous les fractions utilisées.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans ce travail, nous avons présenté une étude numérique de la convection mixte dans un canal ouvert remplie de nano-fluide Al_2O_3 -eau avec un régime laminaire permanent. Dans une géométrie carrée avec une paroi inférieure chaude et une supérieure froide et le reste de la cavité isolée, les simulations numériques sont effectuées pour les nombres de Grashof ($\text{Gr}=10^3, 10^4, 10^5$ et 10^6) et les nombres de Reynolds ($\text{Re}=10, \text{Re}=50$ et $\text{Re}=100$), et différentes fractions de nanoparticules ($\varphi=0.02, 0.04, 0.06, 0.08$).

On se basant sur l'approximation Boussinesq, on a développé le modèle mathématique décrivant notre problème tout en mettant en point un modèle numérique basé sur la méthode des volumes finis pour discrétiser les équations gouvernantes.

Après la validation de notre maillage les résultats obtenus montrent que:

- Plus la fraction volumique et le nombre de Grashof augmentent, plus le transfert de chaleur augmente.
- Les nano-fluides montrent leur effet sur la convection à des nombres de Rayleigh élevés.
- Pour différentes concentrations volumiques de nanoparticules, le nombre de Nusselt augmente à mesure que le nombre de Reynolds et la fraction volumique augmentent.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] H. RAZIK, “ÉTUDE DES TRANSFERTS DE CHALEUR ET DE MASSE DE L’AILETTE HUMIDE,” 2014.
- [2] Amrid MAMMERRI. Amélioration des performances énergétiques des systèmes de refroidissement industriels : Application aux serveurs informatiques.2014
- [3] S.U.S. Choi. « Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, Développements and applications of Non-Newtonian Flows», D.A. Siginer and H.P. Wang (Eds.), FED-vol. 231/MD-vol. 66, ASME, New York, pp 99-105, (1995)
- [4] BELAHMADI Essma, Etude numérique des transferts thermiques convectifs avec nano-fluides, thèse de doctorat, UNIVERSITÉ DES FRÈRES MENTOURI –CONSTANTINE, (2018).
- [5] Gladés Bachir. Contribution à l’étude de la convection naturelle dans les nano-fluides en configuration de Rayleigh-Bénard. ThèsedoctoratL’Université Toulouse III- Paul Sabatier2010.
- [6] Stephen U. S. Choi* and J. A. Eastman. Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles. International mechanical engineering congress and exhibition1995
- [7] Olivier Doche, Jean-Antoine Gruss & Olivier Soriano. Une nouvelle technologie pour les échangeurs thermiques : Le Nanofluide .2007
- [8] Soufi El Habib Mémoire master académique « application des nano-fluide pour le Refroidissement : étude d’un cas d’une géométrie simple ». Thèse de master en génie chimique, Université kasdi merbah d’Ouargla 2013.
- [9] W. Yu, D. M. France, S. U. S. Choi, and J. L. Routbor, “Review and Assessment of Nanofluid Technology for Transportation and Other Applications,” 2007.
- [10] Monssif Najim et al, « Numerical study of the evaporation of a liqui film with a low nanoparticles volume fraction », laboratoire genie de l’energie, materiaux et systèmes, ENSA, B.P.1136, Agadir-Morocco.

- [11] M. ADNANI, B. MEZIANI, O. OURRAD, and M. ZITOUNE, “Natural Convection in a Square Cavity: Numerical Study for Different values of Natural Convection in a Square Cavity: Numerical Study for Different values of Prandtl Number,” no. October, 2017, doi :10.3970/fdmp.2016.012.001
- [12] S. Mojumder, S. Saha, S. Saha, and M. A. H. Mamun, “Combined effect of Reynolds and Grashof numbers on mixed convection in a lid-driven T-shaped cavity filled with water-Al₂O₃ nanofluid,” *J. Hydrodyn.*, vol. 27, no. 5, pp. 782–794, 2015, doi: 10.1016/S1001-6058(15)60540-6.
- [13] Mahdi Benzema et al, « Rayleigh-Bénard MHD convection of AL₂O₃-water nanofluid in à square enclosure : magneticfield orientation effect », université des sciences et technologie Houari Boumediene.BP.32 El Alia,16111 Bab Ezzouar, Alger, Algérie.
- [14] M. N. Hasan, K. Samiuzzaman, S. H. Haque, S. Saha, and M. Q. Islam, “Mixed convection heat transfer inside a square cavity filled with Cu-water nanofluid,” *Procedia Eng.*, vol. 105, no. Ictc 2014, pp. 438–445, 2015, doi: 10.1016/j.proeng.2015.05.031.
- [15] Mina Shahi, Amir HoushangMahmoudi, Farhad Talebi. «Numerical study of Mixed convective cooling in à square cavityventilated and partiallyheatedfrom the belowutilizing nanofluid», *International Communications in Heat and Mass Transfer* 37, 201–213, (2010).
- [16] M. Shariat, A. Akbarinia, A. Hossein, A. Behzadmehr, and R. Laur, “Numerical study of two phase laminar mixed convection nano fluid in elliptic ducts,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 31, no. 14–15, pp. 2348–2359, 2011, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2011.03.035.
- [17] Abdelkader BOUTRA et al, « free convection heattransfer of nanofluidsintocubical Enclosures with a BottomHeat source : Lattice Boltzmann application », LMT-ENS Cachan-paris Saclay University,94230 Cachan, France.
- [18] T. Icoz et Y.Jaluria. (2005) “Numerical simulation of boundary conditions and the onset of instability in natural convection due to protruding thermal sources in an open rectangular Channel Numericalheattransfer, part A, vol 48 pp 831-847.

- [19] Soufi El Habib, Mémoire master académique, application des nano-fluides pour le refroidissement : étude d'un cas d'une géométrie simple, Thèse de master en génie chimique, Université kasdi merbah d'Ouargla, (2013).
- [20] S. El BécayeMaïga, S. J. Palm, C. T. Nguyen, G. Roy, and N. Galanis, "Heattransferenhancement by usingnanofluids in forced convection flows," *Int. J. HeatFluidFlow*, vol. 26, no. 4 SPEC. ISS., pp. 530–546, 2005, doi: 10.1016/j.ijheatfluidflow.2005.02.004.
- [21] H. F. Oztop and E. Abu-Nada, "Numerical study of natural convection in partiallyheatedrectangular enclosures filledwithnanofluids," *Int. J. HeatFluid Flow*, vol. 29, no. 5, pp. 1326–1336, 2008, doi : 10.1016/j.ijheatfluidflow.2008.04.009].
- [22] H.C. Brinkman, « Theviscosity of concentrated suspensions and solutions», *J. Chem. Phys.* 20, pp 571–581. (1952).
- [23] K. Khanafer, K. Vafai and M. Lightstone. Buoyancy- drivenheattransferenhancement in a two-dimensional enclosure utilizingnanofluids », *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 46, 3639-3653, (2003)
- [24] Xing Z, H Gu, M Fujii. «Effective thermal conductivity and thermal diffusivity of nanofluidscontainingspherical and cylindricalnanoparticles», *Experimental and Fluid Science* 31 (2007) 593-599.
- [25] Maxwell., J.,C. (1881). *ATreatise on Electricity and Magnetism*, ClarendonPress, U.K.
- [26] S.V. Patankar, *PatankarNumericalHeatTransferandFluid Flow*.1980
- [27] Farhad talebi et al, « Numerical study of mixed convection flows in a square lid-drivencavityutilizingnanofluid », *Departement of Mechanical Engineering, faculty of Engineering, Semnān, iran*, (2009)

Résumé

Dans cette étude, nous avons réalisé une étude numérique de la convection mixte dans une cavité carrée remplie de nano fluide (fluide de base l'eau et nanoparticule Al_2O_3). Le domaine physique est une enceinte carrée de forme U bidimensionnelle, avec une longueur L et une hauteur H remplie de nano fluide, contenant un nano fluide proche a la paroi inférieure qui est maintenue à une température chaude. la paroi horizontale intérieure est maintenue à une température froide, les autres parois sont adiabatiques. Le modèle mathématique est représenté par les équations de continuité, de quantité de mouvement et d'énergie. Un modèle numérique a été utilisé pour résoudre le problème étudié, le code de calcul développé a été validé par une comparaison quantitative avec les résultats de la littérature ou nous avons trouvé un très bon accord. Les résultats obtenus montrent que le transfert de chaleur s'améliore si la fraction volumique et le nombre de Rayleigh sont augmentés.

Mots clés : Convection mixte, nano-fluides, cavité carrée, nombre de Rayleigh.

Abstract

In this study, we carried out a numerical study of mixed convection in a square cavity filled with nano-fluid (base fluid water and nanoparticle Al_2O_3). The physical domain is a two-dimensional U-shaped square enclosure with length L and height H filled with nano-fluid, containing a nano-fluid close has the bottom wall which is maintained at a warm temperature. the inner horizontal wall is maintained at a cold temperature, the other walls are adiabatic. The mathematical model is represented by the equations of continuity, momentum and energy. A numerical model was used to solve the problem studied, and the calculation code developed was validated by a quantitative comparison with literature results, where we found very good agreement. The results obtained show that heat transfer improves if the volume fraction and Rayleigh number are increased.

Key words: Mixed convection, nano-fluids, square cavity, Rayleigh number.

