

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT PHYSIQUE
Ph/ ENG/13/2022



DOMAINE : Sciences de la matière
FILIERE : Physique
OPTION : Physique Énergétique et
Energie renouvelable

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par:

Lograb Sadam Saidi Malika

Intitulé

Etude numérique de la convection naturelle des
nanofluides dans un anneau horizontal entre un
cylindre interne triangulaire et un cylindre
extérieur elliptique froid.

Soutenu le / / 2022 devant le jury composé de:

TALOUB Djedid	Université de M'sila	Président
BOURAS Abdelkarim	Université de M'sila	Rapporteur
Mahdi Khaled	Université de M'sila	Examineur

Année universitaire : 2021/2022



Remerciements

Remercions tout d'abord Dieu de nous avoir donné la force, le courage et la patience de faire cet humble travail. Nous adressons nos sincères remerciements à nos chers parents pour leurs efforts et leurs conseils durant toutes ces années scolaires. Notre profonde gratitude et nos vifs remerciements en particulier à notre encadrant, **M. Abdelkrim Bouras**, Professeur à l'Université Mohamed Boudiaf Msila, pour avoir suivi et guidé nous pendant toute la durée de réalisation de ces travaux. . Nous le remercions également pour sa présence constante, ses conseils efficaces et ses idées originales qui ont contribué à enrichir cette note. Nous adressons également nos sincères remerciements aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à nos recherches en acceptant d'examiner nos travaux et de les enrichir de leurs suggestions. **Merci beaucoup au Dr.TALOUB Djedid** D'avoir accepté de présider le jury, et nous voudrions également exprimer nos remerciements au **Dr .Mahdi Khaled**, et enfin nous voudrions remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou loin de l'achèvement de ce travail. Nous remercions également la doctorante, **Amina Amroun**, pour les conseils et l'orientation





Dédicaces



*Je dédie ce modeste travail à mes plus chers êtres au
monde :*

*À mes chères parents : ma mère et mon père, pour leur amour, leur tendresse, et pour leur
soutien durant toutes les étapes de ma vie.*

*J'espère qu'un jour, je pourrai leur rendre un peu de ce qu'ils ont fait pour moi, que Dieu leur
prête tout le bonheur.*

À mes chers frères et mes belles sœurs.

Pour leurs encouragements et pour leur soutien moral et physique.

À tous ce qui ont enseigné moi au long de ma vie scolaire.

*Pour tout leur amour, leur soutien, leur encouragement, leur assistance et leur présence
dans ma vie.*

À toute mes chères amies

Merci de votre présence, soutien et de m'avoir encouragée à aller plus loin.

À tous les autres que je n'ai pas cités mais à qui je pense aussi.

À toute ma famille.

Sadam





Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A mon cher père

A ma bien-aimée mère.

A mes chers frères et sœurs.

Pour toute ma famille.

Tous mes amis surtout (Dr. Terki Zakia)

Malika



Résumé

Une étude numérique de la convection naturelle des transferts de chaleur laminaire stationnaire dans un anneau horizontal entre un cylindre interne triangle chaud et un cylindre extérieur elliptique froid. Cette espace annulaire est parcourue par un nanofluide (Cu – eau). Pour différents nombre de Rayleigh et différents fraction volumique des nanoparticules. Le système d'équations gouvernant le problème a été résolu numériquement par le code de calcul Fluent basé sur la méthode des volumes finis. En se basant sur l'approximation de Boussinesq. Les surfaces intérieure et extérieure sont maintenues à la température constante. Nous avons étudié les effets des différents nombres de Rayleigh et les fractions volumiques des nanoparticules sur la convection naturelle. Les résultats sont présentés sous forme des isothermes, des isocourants, et des nombres locaux et moyens de Nusselt. Les résultats discutés dans ce présent travail montrent l'existence d'un très bon accord entre les résultats actuels et ceux des recherches précédentes

Mots clés : Nanofluide, convection naturelle, fraction volumique, triangle, ellipse.

Abstract

A numerical study of the natural convection of steady-state laminar heat transfers in a horizontal ring between a heated triangular inner cylinder and a cold elliptical outer cylinder. This annular space is traversed by a nanofluid (Cu–water). For different Rayleigh number and different volume fraction of nanoparticles. The system of equations governing the problem was solved numerically by the fluent computer code based on the finite volume method. Based on the Boussinesq approximation. The interior and exterior surfaces are kept at a constant temperature. We have studied the effects of different Rayleigh numbers and volume fraction of nanoparticles on natural convection. The results are presented in the form of isotherms, is currents, and local and mean Nusselt numbers. The results discussed in this present work show the existence of a very good agreement between the current results and those of previous research.

Keywords: nanofluid, natural convection, volume fraction, triangle, ellipse.

ملخص

دراسة عددية للحمل الحراري الطبيعي لعمليات نقل الحرارة المستقرة في حلقة أفقية بين أسطوانة داخلية مثلثة مسخنة وأسطوانة خارجية ببيضاوية باردة. يتم عبور هذا الفضاء الحلقي بواسطة مائع نانوي (نحاس - ماء). لعدد رايلي مختلف وكسر حجم مختلف من الجسيمات النانوية. تم حل نظام المعادلات عددياً بواسطة برنامج Fluent بناءً على طريقة الحجم المحدود. بناءً على تقريب بوسينيسك. يتم الحفاظ على الأسطح الداخلية والخارجية في درجة حرارة ثابتة. لقد درسنا تأثير أعداد رايلي المختلفة والكسر الحجمي للجسيمات النانوية على الحمل الحراري الطبيعي. تم عرض النتائج في شكل خطوط الحرارة، تيارات متساوية، وأرقام نسلت المحلية والمتوسطة. تظهر النتائج التي تمت مناقشتها في هذا العمل الحالي وجود اتفاق جيد للغاية بين النتائج الحالية ونتائج البحث السابق.

الكلمات المفتاحية : الموائع النانوية، الحمل الحراري الطبيعي، الكسر الحجمي، المتثلث، القطع الناقص.

Table des matières

Remerciement	
Dédicace	
Résumé	
Nomenclature.....	8
Symbole grecs.....	9
Indic.....	10
Liste des figures.....	11
Liste des tableaux.....	12
Introduction générale.....	13
chapitre I Synthèse Bibliographique	14
Référence.....	19
chapitre II Généralités sur les Nanofluides.....	22
II.I.1 Introduction.....	23
II.I.2 Définition nano-fluides.....	23
II.I.3 Préparation des nano fluides.....	23
II.I.4 Applications des nano fluides.....	24
II.I.5 Avantage des nano fluides.....	25
II.I.6 Propriétés thermo physiques.....	25
II.I.7 Propriétés thermo-physiques de nano fluide.....	30
Références.....	31
chapitre III Généralité sur le Transfert de Chaleur.....	33
III.I.1 Transfert de chaleur par conduction.....	34
III.I.2 Transfert de chaleur par Rayonnement.....	35
III.I.3 Transfert de chaleur par convection.....	36
Références.....	38
chapitre IV Formulation Mathématique	39
IV.I Définition géométrique.....	40
IV.II Equations générales.....	41
IV.II.1 Equation de continuité.....	41

IV.II.2 Equation de quantité de mouvement (ou équation de Navier-Stokes).....	41
IV.II.3 Equation de l'énergie.....	41
IV.III Les hypothèses simplificatrices.....	42
IV.IV Formulation indicielle.....	43
IV.V Equations des bilans.....	43
IV.VI Equations adimensionnées.....	44
IV.VII Les nombres sont dimensions.....	45
IV.VII.1 Nombre de Prandtl.....	45
IV.VII.2 Le nombre de Grashof.....	45
IV.VII.3 Nombre de Rayleigh.....	46
IV.VII.4 Le nombre de Nusselt.....	46
IV.VIII Conditions aux limites.....	47
Référence.....	48
chapitre V Formulation Numérique	49
V.I Introduction.....	50
V.I.1 GAMBIT	50
V.I.2 FLUENT.....	50
V.II Procédure Numérique	51
V.III Maillage.....	52
V.IV Conditions initiales et conditions aux limites : CL (CFD FLUENT).....	53
chapitre VI Résultats et Discussion	54
VI.I Validation des résultats.....	55
VI.II Influence du nombre de Rayleigh thermique.....	56
VI.III Nombre de Nusselt.....	61
VI.IV Variation du nombre de Nusselt local sur la paroi du cylindre elliptique extérieur	61
VI.V Variation du nombre de Nusselt local sur la paroi du cylindre intérieur.....	62
VI.VI Nombre du Nusselt moyen.....	64
Référence.....	65
Conclusion générale	66

Nomenclature

C_p	La chaleur massique ($J.Kg^{-1}.K^{-1}$)
C_{pf}	La chaleur massique de fluide ($J.Kg^{-1}.K^{-1}$)
C_{pp}	La chaleur massique de fluide ($J.Kg^{-1}.K^{-1}$)
C_{pnf}	La chaleur massique de nano fluide ($J.Kg^{-1}.K^{-1}$)
g	Accélération de la pesanteur ($W.m.s^{-2}$)
h	Le coefficient d'change par convection ($W.m^{-2}.K^{-1}$)
K	La conductivité thermique ($W.m^{-1}.K^{-1}$)
K_f	La conductivité thermique du fluide de base ($W.m^{-1}.K^{-1}$)
K_p	La conductivité thermique des particules solides ($W.m^{-1}.K^{-1}$)
K_{nf}	La conductivité thermique de nano fluide ($W.m^{-1}.K^{-1}$)
L	Longueur de cavité (m)
n	facteur de forme empirique
M	Emittance (W/m^2).
m	La masse (Kg)
p	Pression du fluide (Pa)
p	Pression adimensionnelle
S	Aire de la section de passage du flux de chaleur [m^2].
T	La température (K)
T_c	La température de paroi chaude
T_f	La température de paroi froide
V_p	Volume des particules solides (m^3).
V_t	Volume totale (m^3)

Symbole grecs

α	La diffusivité thermique (m^2s^{-1}).
β	Coefficient d'expansion thermique (K^{-1}).
β_p	Coefficient d'expansion thermique de nanoparticule (K^{-1}).
β_f	Coefficient d'expansion thermique de fluide (K^{-1}).
β_{nf}	Coefficient d'expansion thermique de nanofluide (K^{-1}).
β_{nfh}	Coefficient d'expansion thermique de nanofluide hybride (K^{-1}).
φ	La fraction volumique.
μ	La viscosité dynamique ($N.s.m^{-2}$).
μ_f	La viscosité dynamique du fluide de base
μ_{nf}	La viscosité dynamique du nano fluide.
μ_{nfh}	La viscosité dynamique du nano fluide.
ρ_f	Masse volumique du fluide
ρ_p	Masse volumique de la nanoparticule.
ρ_{nf}	Masse volumique du nano fluide.
ρ_{nfh}	Masse volumique du fluide
λ	Conductivité thermique du milieu ($W. m^{-1}K^{-1}$)
Φ	Flux de chaleur
Ψ	Le modèle de Hamilton et Cros

Indic

C Chaude

F Froid

f Fluide de base

nf Nano fluide.

nfh Nanofluide hybride

S Particule solide.

Nombre adimensionnel

Pr Nombre de Prandtl

Ra Nombre de Rayleigh

Re Nombre de Reynolds

Gr Nombre de Grashof

Nu Nombre de Nusselt local.

Nu_m Nombre de Nusselt moyen.

Liste des figures

Figure III-1 Principe de la conduction thermique [3].....	35
Figure III-2 Principe de rayonnement [4].....	36
Figure III-3 schéma représentatif de transfert convectif [5].....	36
Figure III-4 Principe physique de la convection naturelle [7].	37
Figure IV-1 modèle physique	40
Figure V-1 Etapes de résolution suivies par GAMBIT et FLUENT.....	51
Figure V-2 Volume de contrôle bidimensionnel.....	52
Figure V-3 Maillage avec Gambit 2.1	53
Figure VI-1 Ligne de courant (moitié gauche) et isothermes (moitié droite) à $Ra=10^4$	55
Figure VI-2 Nombre Nusselt local de le long des ellipses internes et externes et comparaison..	56
Figure VI-3 Isothermes et lignes de courant pour différentes valeurs de fraction volumique lorsque $Ra=10^4$	58
Figure VI-4 : Isothermes et lignes de courant pour différentes valeurs de fraction volumique lorsque $Ra=5.10^4$	59
Figure VI-5 : Isothermes et lignes de courant pour différentes valeurs de fraction volumique lorsque $Ra=5.10^5$	61
Figure VI-6 Evolution du nombre de Nusselt local le long la paroi froide.	62
Figure VI-7 Evolution du nombre de Nusselt local le long la paroi chaude.	63
Figure VI-8 Variation du nombre de Nusselt moyen en fonction du nombre de Rayleigh thermique	64

Liste des tableaux

Tableau II-1 propriétés thermo-physiques des nanoparticules et les fluides caloporteurs.....30

Introduction générale

Le transfert de chaleur au sein des fluides conduit à de nombreuses applications pratiques et industrielles, y compris dans le transport (les moteurs à combustion), l'approvisionnement en énergie, la climatisation, le refroidissement des composants électroniques etc...

L'amélioration du transfert de chaleur par convection est l'objet principal de plusieurs travaux, et pour se faire, un grand nombre de chercheurs ont mené une multitude d'essais numériques et expérimentaux portant sur la description des phénomènes gérant la convection, et l'effet de la nature des systèmes dans lesquels elle a lieu (géométrie spécialement), et les propriétés des fluides impliqués (propriétés physico-chimiques).

Chronologiquement, bien que les idées d'amélioration aient touché surtout la géométrie des systèmes, et la nature physico-chimique des milieux convectifs, les travaux n'ont touché que l'ordre macroscopique ou parfois microscopique du processus. Mais avec l'apparition et le développement rapide des nanosciences et nanotechnologies pendant la deuxième moitié du 20^{ème} siècle, la convection a pris une grande part de cette nouvelle richesse, et a pris un autre aspect de perfectionnement : c'est au niveau nanométrique de la matière du milieu convectif.

Les nanofluides présentent un coefficient de transfert thermique imbattable par rapport aux simples fluides caloporteurs (l'eau, l'huile ou l'éthylène-glycol). L'augmentation de la conductivité thermique des fluides de refroidissement en géométrie confinée constitue un enjeu important pour le développement des futurs systèmes de refroidissement dans le domaine du micro et nanotechnologie.

Dans le présent travail, nous étudions la convection naturelle laminaire dans un espace annulaire, rempli d'un nanofluide, situé entre deux cylindres, un cylindre interne triangulaire chaude et un cylindre externe elliptique froid et nous analyserons les différents paramètres influents sur le transfert de chaleur.

Cette mémoire composé de six chapitres :

Le premier chapitre est consacré à une compilation bibliographique des travaux traitant du transfert de chaleur. Tandis que le deuxième chapitre résume des généralités sur les nanofluides, comment les préparer, leurs applications, et propriétés thermophysiques, ainsi que la spécificité et les inconvénients des nanofluides. Le troisième chapitre, il couvre généralement les trois modes du transfert de chaleur. Concernant le quatrième chapitre, il présente la géométrie étudiée ainsi que le modèle mathématique et le système d'équations. Pour résoudre ces équations, nous avons utilisé le code Fluent. Le cinquième chapitre qui est également traité les formulations numériques, conditions initiales et limites. Le dernier chapitre présente divers commentaires, interprétations et analyses des résultats obtenus.

Enfin, une conclusion générale qui résume les principaux résultats obtenus.



Chapitre I

Synthèse Bibliographique

Synthèse bibliographique

Le transfert de chaleur par convection naturelle est appliqué dans divers processus industriels comme le refroidissement d'équipement électronique, la sûreté des réacteurs nucléaires et surtout la technologie solaire. De nombreuses études ont été faites afin d'améliorer ce processus de transfert de chaleur dans de différentes géométries. **Tayebi et Djezzar [1]** ont présenté numériquement la convection naturelle dans une cavité carrée remplie d'un nanofluide (Cu-eau). Leurs résultats ont montré que l'augmentation du nombre de Grashof qui traduit une intensification de la convection naturelle, a permis l'apparition d'une bifurcation donnant naissance à deux cellules supplémentaires tournant dans le sens contraire.

El Hattab et al [2] ont étudié numériquement la convection naturelle dans une enceinte carrée remplie de différents types de nanofluides, et chauffée par sa paroi gauche. Ils ont trouvé que le transfert de chaleur s'améliore avec l'augmentation de la fraction volumique des nanoparticules et du nombre de Rayleigh.

Rahomey [3] a étudié numériquement la convection naturelle des nanofluides dans une enceinte cubique avec un cylindre circulaire et un cylindre ellipsoïdal considérez un cylindre rond et ovale chauffé dans un contenant cubique réfrigéré. La convection naturelle, qui induit un écoulement et un transfert de chaleur, est simulée avec différentes températures et angles d'inclinaison du récipient

Lai et Yang [4] ont étudié la convection naturelle d'un nanofluide (Al_2O_3 -eau) dans une cavité carrée bidimensionnelle, par la méthode de Boltzmann en réseau (LBM), avec des parois latérales maintenues à différentes températures et entraînées par la force de flottabilité. Ils ont conclu que le nombre de Nusselt moyen augmente avec l'augmentation du nombre de Rayleigh et la concentration du volume de particules. Le nombre de Nusselt moyen du nanofluide est plus élevé que celui de l'eau avec le même nombre de Rayleigh

Dogonch[5]a étudié la convection naturelle autour d'un cylindre triangulaire excentrique placé dans un cylindre carré numériquement. Ils ont utilisé la méthode du treillis de Boltzmann. L'étude a été menée sur de l'eau pure et de l'eau d'argent à l'échelle nanométrique. Le cylindre triangulaire chauffant interne est maintenu à une température constante et uniforme tandis que les côtés (verticaux et horizontaux) du cylindre extérieur sont refroidis à une température constante.

Tayebi et al [6] ont étudié la convection naturelle dans une enceinte carrée remplie de nanofluide (Cu-eau) avec des conditions de chauffage uniforme et sinusoïdale. Leurs résultats montrent que la température uniforme donne un nombre de Nusselt plus élevé que celle de la température sinusoïdale et que pour une valeur donnée du nombre de Rayleigh, l'augmentation de la fraction volumique donne une augmentation du nombre de Nusselt moyen et que cette augmentation est plus élevée pour le cas de la température uniforme.

Skergat [7] a étudié le transfert de chaleur par convection naturelle entre un cylindre circulaire intérieur chauffé logé dans un récipient ovale refroidir emplie de nano fluide de cuivre et d'eau avec génération / absorption de chaleur interne en présence d'un champ magnétique horizontal. Les équations de décision sont résolues numériquement sans dimension à l'aide d'éléments finis.

Noghrehabadi et Samimi [8] ont étudié le transfert de chaleur par convection naturelle dans une enceinte carrée remplie de nanofluides (CuO-eau). Les parois horizontales de l'enceinte

sont adiabatiques, et les parois verticales sont chauffées différentiellement. Ils ont conclu qu'il y'a une augmentation du taux de transfert de chaleur avec l'augmentation du nombre de Rayleigh quand les effets du thermophorèse et du mouvement brownien sont pris en compte.

Abdelraheem M. Aly [9] a étudié les effets du transfert de chaleur par convection naturelle dans un conteneur circulaire externe froid contenant un cylindre circulaire elliptique chauffé interne. Le liquide dans le cylindre est un nano fluide eau – cuivre.

S.Dhinakaran[10] a étudié numériquement les effets des facteurs de forme des nanoparticules sur la convection naturelle dans un anneau poreux saturé de fluide développé entre le cylindre elliptique et le récipient carré. La méthode des éléments finis basée sur le contrôle du volume est implémentée pour résoudre les équations gouvernantes.

Hwang et al [11] ont étudié le transfert de chaleur dans une cavité rectangulaire avec un nanofluide d' Al_2O_3 à base d'eau. Ils concluent que le coefficient de transfert de chaleur du nanofluide par rapport à celui du fluide de base, diminue à mesure que la taille des nanoparticules augmente.

Khorasanizadeh et al [12] ont présenté une étude numérique de la convection naturelle dans une enceinte carrée remplie du nanofluide (Cu-eau) avec un déflecteur conducteur intégré sur la paroi chaude inférieure, les deux parois verticales sont froides et la paroi supérieure horizontale est isolée. Les équations gouvernantes sont résolues numériquement avec la méthode des volumes finis à l'aide de l'algorithme SIMPLER. Ils ont trouvé à $Ra=10^4$, que le transfert de chaleur par convection est très faible et la conduction dominante s'affaiblit. Ils ont déplacé le déflecteur vers le centre de la cavité, le nombre moyen de Nusselt diminue. Aussi, à des nombres de Rayleigh plus élevés dus à une convection améliorée, le nombre de Nusselt moyen augmente avec l'augmentation de la fraction volumique

Abu-Nada et Chamkha [13] ont étudié les caractéristiques de transfert de chaleur par convection naturelle dans une enceinte chauffée différentiellement remplie d'un nanofluide (CuO-EG-eau) pour différents modèles de conductivité thermique et de viscosité variables. La méthode numérique utilisée est la méthode des volumes finis. Les résultats montrent que les effets des modèles de viscosité sont prédits plus prédominants sur le comportement du nombre de Nusselt moyen, que sur l'influence des modèles de conductivité thermique. Le rapport d'aspect de l'enceinte devrait avoir des effets significatifs sur le comportement du nombre de Nusselt moyen qui diminue à mesure que le rapport d'aspect de l'enceinte augmente.

Öztuna et Kahveci [14] ont présenté le transfert de chaleur par convection naturelle dans une enceinte carrée remplie des nanofluides (Cu-eau) et (Al_2O_3 -eau) et chauffée de différentiellement et partiellement divisée par des séparations, leurs résultats montrent que le nombre de Nusselt moyen diminue avec l'augmentation de séparation et augmente considérablement avec l'introduction des nanoparticules dans le fluide, cette augmentation est maximale pour les nanoparticules de Cu, et minimale pour les particules de Al_2O_3 .

Bilgen et Yedder [15], Das et al [16] ont étudié la convection naturelle dans des enceintes rectangulaires remplies de nanofluides. Leurs résultats ont montré que pour tous les nombres

de Grashof considérés, le coefficient de transfert de chaleur augmente avec l'augmentation de la fraction volumique des nanoparticules.

M. A. Sheremet et I. Pop [17] ont étudié numériquement une convection mixte dans une cavité carrée remplie de nanofluide à base d'eau. Les parois supérieure et inférieure sont mobiles et chauffées différemment. La méthode des différences finies a été utilisée pour l'analyse numérique du problème. Ils ont conclu que l'intensification du transfert de masse dépend fortement du nombre de Lewis, tandis que le nombre de Nusselt moyen augmente légèrement avec le nombre de Lewis.

Abu-Nada et al [18] ont étudié l'amélioration du transfert de chaleur dans une enceinte fermée remplie de nanofluides (Al_2O_3 -eau) et (CuO-eau) avec des parois chauffées différemment. La hauteur et la largeur de l'enceinte sont notées par H et W, respectivement. La paroi gauche est chauffée et maintenue à une température constante (T_h) supérieure à la température froide (T_c) de la paroi droite. La méthode numérique utilisée est la méthode des volumes finis. Les résultats montrent qu'à des nombres élevés de Rayleigh, le nombre de Nusselt moyen diminue sur toute la surface chauffée en augmentant la fraction volumique des nanoparticules Al_2O_3 et CuO. Il est sensible au rapport d'aspect de l'enceinte.

Guiet et al [19] ont présenté la convection naturelle dans une enceinte carrée remplie de nanofluide (Cu-eau) avec une source de chaleur à la paroi inférieure. Ils ont conclu que lorsqu'on augmente le nombre de Rayleigh, la fraction volumique des nanoparticules et aussi la taille de la source de chaleur, le taux de transfert de chaleur augmente.

Mahmoodi et Sebdani [20] ont étudié numériquement le transfert de chaleur de la convection naturelle dans une cavité carrée remplie d'un nanofluide (Cu-eau) au centre de la cavité existe des corps adiabatiques. La méthode numérique utilisée est la méthode des volumes finis. L'algorithme SIMPLER a été utilisé pour le couplage vitesse-pression. Les résultats montrent que le taux de transfert de chaleur augmente avec l'augmentation du nombre de Rayleigh. Lorsque le nombre de Rayleigh est maintenu constant, le nombre de Nusselt moyen augmente avec l'augmentation de la fraction volumique des nanoparticules.

Cihan et al [21] ont étudié la convection naturelle dans une enceinte rectangulaire, inclinée et remplie de nanofluide (CuO-eau), les parois verticales de l'enceinte chauffées différemment et comportant un conducteur de chaleur cylindrique circulaire dans leur centre. Ils ont trouvé que l'ajout des nanoparticules au fluide de base augmente significativement le transfert de chaleur. Le nombre de Nusselt moyen présente au début une augmentation puis une diminution quand l'angle d'inclinaison augmente.

Rahimi et al [22] ont étudié la convection naturelle dans une enceinte rectangulaire remplie d'un mélange de nanoparticules-eau, les parois sont chauffées différemment, ils ont conclu que le nombre de Nusselt moyen augmente avec l'augmentation de la fraction volumique des nanoparticules et les propriétés des nanoparticules influent sur l'écoulement du fluide et le transfert de chaleur.

Bakhshan et Semrani [23] ont fait une étude numérique de la convection naturelle dans une enceinte rectangulaire remplie de plusieurs types de nanofluides. Les parois sont

chauffées différentiellement. Ils ont constaté l'augmentation du nombre de Nusselt moyen avec les nanoparticules pour toutes les valeurs du nombre de Grashof, et que la plus forte augmentation est obtenue pour les nanoparticules de Cuivre (Cu).

Aktas [24] a étudié numériquement le transfert de chaleur par convection dans une enceinte rectangulaire remplie de nanofluide (Al_2O_3 -eau). Les résultats montrent que l'écoulement oscillant augmente de façon significative le transfert de chaleur par rapport à la conduction pure, et que l'augmentation est plus évidente dans le cas de faible concentration volumique des nanoparticules

Basak et al [25] ont étudié numériquement le transfert de chaleur et les effets du chauffage uniforme et non-uniforme des parois inclinées sur la convection naturelle dans une enceinte triangulaire isocèle. Leur résultat indique que le nombre de Nusselt moyen global pour un chauffage non-uniforme est inférieur à celui du chauffage uniforme

Oztop et Abu-Nada [26] ont étudié le transfert de chaleur et l'écoulement de fluide dans une enceinte rectangulaire partiellement chauffée et remplie de différents types de nanoparticules. Ils ont conclu que les valeurs du nombre de Nusselt moyen augmentent avec la fraction volumique des nanoparticules pour toute la gamme de Rayleigh.

Cho et al [27] ont étudié numériquement le transfert de chaleur par convection naturelle dans une enceinte rectangulaire dont la paroi basse est ondulée. L'enceinte remplie de nanofluide (Cu-eau) est chauffée par le bas. Ils ont trouvé que le nombre de Nusselt augmente avec l'augmentation de la fraction volumique des nanoparticules, et que le nombre de Nusselt moyen peut être optimisé en réglant de façon appropriée les conditions de géométrie en fonction du nombre de Rayleigh

Références

- [1] T. Tayebi , M. Djezzar, Numerical study of natural convection flow in a square cavity with linearly heating on bottom wall using copper-water nanofluid, *Journal of Nanofluids* Vol. 4 (12), pp.38-49 (2015).
- [2] M. Elhatab, R. Mir, Y. Elhammani, T. Mediouni, Simulation numérique de la convection naturelle des nanofluides dans une enceinte carrée chauffée par une source de chaleur, *Revue Internationale d'Héliotechnique* N° 45 (2013)
- [3] M. S. Rahomey, "Comparison of natural convection around a circular cylinder with different geometries of cylinders inside a square enclosure filled with ag nano-fluid Superposed porous-nano fluid layers", *University of Babylon December Journal of Heat Transfer* 141 (2018).
- [4] F.H Lai, Y.T Yang, Lattice Boltzmann simulation of natural convection heat transfer of Al_2O_3 -water nanofluids in a square enclosure, *International Journal of Thermal Sciences* 50, pp. 1930-1941, (2011).
- [5] A. S. Dogonch, "Numerical simulation of hydrothermal features of Cu–H₂O nanofluid natural convection within a porous annulus considering diverse configurations of heater ", *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* volume 141, pp2109–2125(2020).
- [6] T.Tayebi, M. Djezzar ,K. Saadaoui, Effect of sinusoidal thermal boundary condition on natural convection in a cavity filled with Cu-Water nanofluid, *Journal of. Nanofluids* Vol. 2, pp. 120-126, (2013).
- [7] RavnikL.Skerget, 'A numerical study of nano fluid natural convection in a cubic enclosure with a circular and an ellipsoidal cylinder ', *International Journal of Heat and Mass Transfer* Volume 89, PP 596-605,October (2015).
- [8] A. Noghrehabadi, A. Samimi, Natural convection heat transfer of nanofluids due to thermophoresis and brownian diffusion in a square enclosure, *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)* 6, pp.2249 – 8958 (2012).
- [9] Abdelraheem .M. Aly, "Convection naturelle d'une enceinte circulaire remplie de nano fluides partiellement saturée en milieu poreux selon la méthode ISPH ", *International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow* ISSN, 18 March (2020)
- [10] S.Dhinakaran, "MHD natural convection around a permeable triangular cylinder inside a square enclosure filled with Al_2O_3 -H₂O nanofluid: an LBM study ", *International Journal of Mechanical Sciences* Volumes 153–154, Pages 500-516, April 2019
- [11] K. Hwang, J. H. Lee et S. Jang, Buoyancy-driven heat transfer of water based Al_2O_3 nanofluids in a rectangular cavity, *International Journal of Heat and Mass transfer*50, pp. 4003-4010, (2007).
- [12] H. Khorasanizadeh, J. Amani, M. Nikfar, Numerical investigation of Cu-water nanofluid natural convection and entropy generation within a cavity with an embedded conductive baffle, *Sharif University of Technology, Scientia Iranica*,19, pp. 1996-2003, (2012).

- [13] E. Abu-Nada , A. Chamkha, Effect of nanofluid variable properties on natural convection in enclosures filled with a CuO-EG-Water nanofluid, *International Journal of Thermal Sciences* 49, pp. 2339-2352, (2010).
- [14] S. Öztuna , K. Kahveci, Natural convection heat transfer of nanofluids in a partially divided enclosure, *J. of Thermal Science and Technology*, 33, pp. 139-154,(2013).
- [15] E. Bilgen , R. B.Yedder, Natural convection in enclosure with heating and cooling by sinusoidal temperature profiles on one side, *International Journal of Heat and Mass transfer* 50, pp.139-150, (2007).
- [16] S. Das, N. Putra , P. Thiesen, Temperature dependence of thermal conductivity enhancement for nanofluids, *International Journal of Heat and Mass transfer* 125, pp. 567-574, (2003).
- [17] M.A. Sheremet , I.Pop, Mixed convection in a lid-driven square cavity filled by a nanofluid:Buongiorno's mathematical model, *App. Mathematics and Computation* 266, pp. 792-808, (2015).
- [18] E. Abu-Nada, Z. Masoud , H. F. Oztop ,A. Campo, Effect of nanofluid variable properties on natural convection in enclosures, *International Journal of Thermal Sciences* 49, pp. 479-491, (2010).
- [19] J. Guet, M. Reggio , P. Vasseur, Natural convection of nanofluids in a square enclosure with a protruding heater, *Mechanical Engineering Volume*, Article ID 167296, pp. 11, (2012).
- [20] M. Mahmoodi , S.M. Sebdani, Natural convection in a square cavity containing a nanofluid and an adiabatic square block at the center, *Super lattices and Microstructures* 52, pp. 261-275, (2012).
- [21] A. Cihan, K. Kahveci ,C. Susantez, Buoyancy driven heat transfer of water-based CuO nanofluids in a tilted enclosure with a heat conducting solid cylinder on its center, *Proceedings of the World Congress on Engineering* 3, (2012).
- [22] M. Rahimi, A. A. Ranjbar, M. J. Hosseini , M. Abdollahzadeh, Natural convection of nanoparticule – water mixture near its density inversion in a rectangular enclosure, *International Communications in Heat and Mass Transfer* 39,pp. 131-137,(2012).
- [23] Y.Bakhshan , S. H. Emrani, Investigation the behavior of nanofluids in a rectangular enclosure in order to enhance the heat transfer coefficient, *J. Basic. Appl. Sci. Res.*, 3, pp. 976-986, (2013).
- [24] M. K. Aktas, Thermal convection of a water-based nanofluid in a enclosure with an oscillating wall, *Proceedings of the World Congress on Engineering 2011 Vol III WCE* (2011).
- [25] T. Basak, S. Roy, S. K. Babu , A. R. Balakrishnan, Finite element analysis of natural convection flow in a isosceles triangular enclosure due to uniform and non-uniform heating at the side walls. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 51, pp. 4496-4505, (2008).

- [26] H. F. Oztop , E. Abu-Nada, Numerical study of natural convection in partially heated rectangular enclosures filled with nanofluids, *International Journal of Heat and Fluid Flow* 29, pp. 1326-1336, (2008).
- [27] C.C. Cho, H.T.Yau , C.K. Chen, Numerical investigation in to natural convection heat transfer enhancement of copper-water nanofluid in a wavy wall enclosure, *Thermal Science* 16, pp. 1309-1316, (2012).
- [28] Taloub. Djedid, Bouras. Abdelkarim, Zied. Driss, "Numerical study on the improvement of the cooling of ah microprocessor by the use of nanofluids," *WSEAS Transactions on Heat and Mass Transfer*, vol. 17, pp. 66-79, 2022.
- [29] Taloub. Djedid, Bouras. Abdelkrim, Zied. Driss, "Numerical study of heat transfer by natural convection in concentric hexagonal cylinders charged with a nanofluid," *WSEAS Transactions on Heat and Mass Transfer*, vol. 17, pp. 19-28, 2022.
- [30] Bouras. Abdelkrim, Taloub. Djedid, Driss. Zied , Debka. Siham. "Heat transfer by natural convection from a heated square inner cylinder to its elliptical outer enclosure utilizing nanofluids" *International Journal of Applied Mechanics and Engineering*, vol.27, no.2, 2022, pp.22-34. <https://doi.org/10.2478/ijame-2022-0017>.
- [31] Djedid. Taloub, Adelkarim. Bouras, Zied. Driss, Numerical investigation of heat transfer with natural convection in a regularly heated elliptical cylinder submerged in a square fence loaded with a nanofluid, *INTERNATIONAL JOURNAL OF MATHEMATICAL MODELS AND METHODS IN APPLIED SCIENCES*, Volume 15, 2021.



Chapitre II

Généralités sur les Nanofluides

II.I.1 Introduction

Le développement considérable récent des recherches traitant des nano fluides est dû au fait qu'il est possible pour certaines applications [1] L'amélioration du transfert de chaleur dans ces systèmes est un sujet essentiel du point de vue des économies d'énergie [2] en introduisant dans un fluide pur une faible concentration de nanoparticules. Cette nouvelle génération de fluides porte le nom de "nano fluides". Ce terme a été introduit par Choi au laboratoire d'Argonne en U.S American 1995 et reste couramment utilisé pour caractériser ce type de suspension colloïdale [3]. Récemment, une nouvelle classe de nano fluides, les «nano fluides hybrides», est utilisée pour améliorer encore le taux de transfert de chaleur [4] obtenus en dispersant, dans un fluide base, deux sortes de nanoparticules [5].

II.I.2 Définition nano-fluides

Les nano fluides sont des suspensions colloïdales de nanoparticules dans un fluide de base. La taille de ces nanoparticules varie de 1 à 100nm. Le type de nanoparticules utilisé dépend directement de l'amélioration d'une propriété requise de la base fluide. Les particules <100 nm présentent des propriétés qui sont considérablement différents de ceux des solides classiques. Les propriétés nobles des matériaux de nano phase proviennent du rapport surface/volume relativement élevé qui est due à la proportion élevée d'atomes constituant résidant aux limites du grain. Les propriétés thermiques, mécaniques, optiques, magnétiques et électriques de la nano phase les matériaux sont supérieurs à ceux des matériaux conventionnels à grains grossiers. 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'agrégaions, la sélection d'un tel fluide se fera en fonction de la nature de nanoparticule, les solvants les plus utilisés [3] sont:

- l'eau.
- l'éthylène glycol, EG.
- les huiles.
- le Toluène.

II.I.3 Préparation des nano fluides

On peut noter que la taille des particules est un paramètre physique important dans les nanofluides car elle peut être utilisée pour adapter le nanofluide, les propriétés thermiques ainsi que la stabilité en suspension des nanoparticules. Les chercheurs en nanofluides ont tenté d'exploiter les propriétés uniques des nanoparticules pour développer des fluides caloporteurs stables et hautement conducteurs. Par rapport aux particules de taille micrométrique, les nanoparticules possèdent un rapport surface/volume élevé en raison de l'occupation d'un grand nombre d'atomes sur les frontières, ce qui les rend très stables dans les suspensions. Ainsi, les nanosuspensions présentent une conductivité thermique élevée, probablement en raison d'une convection améliorée entre la particule solide et les surfaces liquides. Étant donné que les propriétés telles que la conductivité thermique des matériaux nanométriques sont généralement de l'ordre de de magnitude supérieure à celles des fluides de base, les nanofluides montrent une amélioration de leurs propriétés thermiques

effectives. En raison de leurs dimensions inférieures, les nanoparticules dispersées peuvent se comporter comme une molécule de fluide de base dans une suspension, ce qui nous aide à réduire les problèmes tels que le colmatage des particules, la sédimentation, etc. rencontrés avec les suspensions de microparticules.

II.I.3.1 Procédé en une étape (one-step méthode) [6]

Consiste à la dispersion des nanoparticules directement dans un fluide de base (synthèse direct dans un fluide de base) et de prévenir l'oxydation des particules de métal pur.

II.I.3.2 Procédé en deux étapes (two-step méthode) [6]

La première étape consiste à fabriquer les nanoparticules et dans la seconde étape les nanoparticules sont disperser dans un fluide de base

II.I.4 Applications des nano fluides

- **L'industrie**

Industries au sens large (moteurs thermiques, climatiseurs, composants de puissance, Appareils nucléaires, accélérateurs de particules, services aéronautiques ou aérospatiaux, etc.), car Réduire la taille ou la consommation des équipements de refroidissement Électricité, car on gagne en efficacité sans se sentir fatigué. Il est estimé Pour doubler le coefficient d'échange, la puissance de la pompe doit être multipliée par 10, soit Énorme et non rentable. Les nano fluides peuvent en partie le surmonter grâce à des améliorations. Dans des conditions turbulentes, le coefficient est aussi élevé que 80% sans modifier la puissance requise opération [3]

- **Refroidissement des systèmes électroniques**

Dans la cavité ouverte, le nano fluide est considéré comme le refroidissement, pour lequel plusieurs études ont été menées, Hamdi et al. [7] dans les travaux actuels, l'écoulement de fluides convectifs mixtes bidimensionnels et transfert de chaleur des nano fluides d'eau (Cu, Ag, Al₂O₃ et TiO₂) dans la cavité entraîné par des couvercles faisant face aux deux côtés et partiellement chauffés par le bas recherche numérique. Il y a deux sources de chaleur discrètes sur le mur le boîtier inférieur, cependant, les parois mobiles verticales et le plafond sont refroidis à une température constante. La limite restante du mur inférieur restez isolée

- **Refroidissement des systèmes thermiques**

Principalement utilisé pour le refroidissement des systèmes d'énergie et des effets l'influence du facteur de forme sur le mouvement ascendant de l'écoulement du fluide. Ce point est étudié par plusieurs groupes de chercheurs, Bara et col [8] , ont présenté des résultats d'une convection naturelle de nano fluides dans une cavité fermée remplie l'eau pure d'une part et d'un mélange d'eau et de nanoparticules (Cu) d'autre part pour un nombre de Rayleigh variant

- **Refroidissement des systèmes militaires**

Les exemples des applications militaires incluent le refroidissement de l'électronique de puissance et les armes d'énergie dirigée. Ces derniers impliquent des flux thermique très élevés ($q > 500$ à 1000 W/cm^2), ou les nano fluides ont montrés leur efficacité pour refroidir ces systèmes, et aussi les autres systèmes militaires, y compris les véhicules

militaires, les sous- marins, et les diodes lasers à haute puissance [3]

- **Refroidissement des systèmes nucléaires**

L'institut de technologie de massachusetts a réservé un centre interdisciplinaire uniquement pour la nouvelle nanotechnologie (nanofluide) dans l'industrie de l'énergie nucléaire. Actuellement, ils évaluent l'impact potentiel de l'utilisation des nano fluides sur la sureté neutronique, et de la performance économique des systèmes nucléaires [3].

Boutra et col. [9] ont présenté des résultats issus l'étude numérique de l'écoulement bidimensionnel et plan et du transfert thermique en mode de convection mixte au sein d'une cavité carrée, entièrement remplie d'un nano fluide (Ag-eau).Les suspensions ainsi obtenues peuvent être utilisées dans une multitude d'applications, telles que le refroidissement des réacteurs nucléaires, l'optimisation du transfert thermique au sein d'un échangeur de chaleur, etc...

- **La biomédecine**

Les nano fluides et les nanoparticules ont beaucoup d'applications en biomédicale. Par exemple, pour éviter quelques effets secondaires des méthodes traditionnelles du traitement du cancer, les nanoparticules à base de fer ont été employées comme transporteur des drogues

Les nano fluides pourraient apporter une solution intéressante dans le refroidissement des miroirs, cibles et filtres des lasers et rayons X de forte puissance [10]. Aussi pour une chirurgie plus sûre en produisant le refroidissement efficace autour de région chirurgicale [11].

Autres applications

Refroidisseur de réfrigérateur à pile à combustible-eau chaude solaire Ménage, combustion diesel, forage, lubrifiant, stockage de chaleur[3].

II.I.5 Avantage des nano fluides

Une grande surface de transfert de chaleur entre les particules et les fluides.

- Haut dispersion et stabilité avec prédominante mouvement brownien des particules.
- Réduit par rapport au liquide pur pour obtenir équivalent intensification de transfert de chaleur.
- Particules réduites de colmatage par rapport aux conventionnelles boues, favorisant ainsi la miniaturisation du système
- Propriétés réglables, y compris la conductivité thermique et la mouillabilité de surface, en changeant en fonction de différentes concentrations de particules application.[3]

II.I.6 Propriétés thermo physiques

L'introduction des nanoparticules dans un fluide modifie ses propriétés physiques (masse volumique, chaleur spécifique, conductivité thermique, viscosité dynamique, etc.).On supposera que les nanoparticules dans le fluide de base peuvent être facilement fluidisées et par conséquent, le modèle à une seule phase, où la phase fluide et les nanoparticules sont en état d'équilibre thermodynamique et se déplacent à la même vitesse locale, est adopté. Les propriétés

thermo-physiques du fluide dépendent de la concentration, de la température et de volume des nanoparticules. [11]

Fraction volumique

La fraction volumique est la propriété la plus importante pour le nano fluide, puisque le calcul de tous les autres propriétés se base sur la fraction volumique du nano fluide. Et on peut définir la fraction volumique comme le volume de solide ou particule (nanoparticules) sur le volume total (nanoparticules + fluide de base) [3]. L'augmentation des fractions volumiques résulte une déviation importante pour les isothermes entre le nano fluide et le fluide pur [12]. La valeur de la fraction volumique varie entre 0 (fluide de base pure) et 1. La fraction volumique est donnée par la relation suivante [10] [3] :

$$\varphi = \frac{V_p}{V_T} \quad (\text{II-1})$$

V_p : Volume des particules solides [m^3]

V_T : Volume totale [m^3]

Conductivité thermique (K)

La conductivité thermique, notée K ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \text{K}^{-1}$), est la capacité d'un matériau de conduire ou de transmettre de la chaleur [1], la conductivité thermique est améliorée de plusieurs dizaines de pourcentage par rapport à celle du fluide de base [13] :

Modèle de Maxwell :

La conductivité thermique effective du nano fluide est approximée par le modèle d'approximation auto-cohérente de Maxwell. Pour l'entité à deux composants de la suspension de particules sphériques [7]. Le modèle de Maxwell (1873) est donné par la formule suivante [10] :

$$K_{n_f} = \frac{K_p + 2K_f + 2\varphi(K_p - K_f)}{K_p + 2K_f - \varphi(K_p - K_f)} K_f \quad (\text{II-2})$$

K_{n_f} : La conductivité thermique du nano fluide.

K_f : La conductivité thermique du fluide de base.

K_p : La conductivité thermique des particules solides.

Le modèle de Hamilton-Crosser et le modèle de Yu-Choi, qui tiennent compte de la forme non sphérique des nanoparticules [13].

Modèle de Hamilton & Crosser (1962) :

Le modèle de Hamilton et Crosser a été établi pour résoudre la limite de modèle de Maxwell. Puisque ce dernier n'a valable que dans le cas des particules sphériques. La conductivité thermique apparente du milieu est donnée par l'expression suivante [14]:

$$K_{nf} = \frac{K_s + (n-1)K_f - (n-1)(K_f - K_p)\varphi}{K_s + (n-1)K_f + \varphi(K_f - K_p)} K_f \quad (\text{II-3})$$

Ou (n) est un facteur de forme empirique donne par : $n = \frac{3}{\Psi}$, $n=3$ pour les particules sphériques et $n=6$ pour les particules cylindriques. Pour ($\Psi=1$) (particules sphériques) le modèle de Hamilton et Crosser est identique au modèle de Maxwell.

Modèle de Yu et Choi

Une autre expression pour calculer la conductivité thermique a été introduite par Yu et Choi (2003) [10]. Ils ont proposé de modéliser les nano fluides comme un liquide de base et des particules solides séparées par une couche nanométrique, cette couche agit comme un pont thermique entre le fluide et les nanoparticules [15]

$$\frac{K_{nf}}{K_f} = \frac{K_p + 2K_f - 2(1+R)^3(K_f - K_p)\varphi}{K_p + 2K_f + (1+R)^3(K_f - K_p)\varphi} \quad (\text{II-4})$$

R : Rapport de l'épaisseur de la couche nanométrique sur le rayon des particules

Viscosité dynamique (μ)

La viscosité peut être définie comme étant une propriété d'un fluide pour qu'il résiste aux déformations lorsqu'il est mis en mouvement. On peut donc parler de la viscosité comme étant une mesure du frottement interne d'un fluide. Un liquide très visqueux est un liquide qui présente un frottement interne élevé [16]. La viscosité diminue fortement avec La température, en particulier pour une concentration élevée de nanoparticules [7]

Modèle d'Einstein

Einstein a déterminé l'énergie dissipée autour d'une seule particule dans un fluide en associant son énergie au travail réalisé pour la faire avancer relativement au fluide. A partir de ce résultat, il a déterminé l'expression décrivant une dépendance linéaire de la viscosité des suspensions dans un fluide avec la concentration [14] :

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

Ou

μ_{n_f} : La viscosité dynamique du nano fluide.

μ_f : La viscosité dynamique du fluide de base

φ : La fraction volumique des nanoparticules

Cette relation est valable pour le cas de particules sphériques et pour de très faible fraction Volumique

$$\varphi \leq 0.03$$

Modèle de Brinkman

La formule de Brinkman (1952) complète le modèle d'einstein jusqu'à une concentration volumique inférieure à 4% [14]. La viscosité du nano fluide est donnée par Brinkman [17]

$$\mu_{n_f} = \frac{\mu_n}{(1-\varphi)^{2.5}} \quad (\text{II-6})$$

Modèle de Batchelor

Batchelor montre que la viscosité est une fonction non linéaire de φ en présence de 69 en un semestre

$$\mu_{n_f} = \mu_f(6.2\varphi^2 + 2.5\varphi + 1) \quad (\text{II-7})$$

Modèle de Maiga et al

D'autres relations ont été proposées dans la littérature limitée à des applications bien précises. Maiga et al. (2005) à partir de résultats de mesures ont proposé la corrélation [14] :

$$\mu_{n_f} = \mu_f(123\varphi^2 + 7.3\varphi + 1) \quad (\text{II-8})$$

Modèle de Pak et Chin [12]

$$\mu_{n_f} = \mu_f(533.9\varphi^2 + 39.11\varphi + 1) \quad (\text{II-9})$$

La masse volumique (ρ)

La masse volumique des nano fluides est proportionnelle à la fraction volumique en particules et augmente avec l'ajout des nanoparticules. Dans la littérature, et en l'absence de

résultats expérimentaux, la masse volumique des nano fluides est souvent calculée à partir de la loi de mélange dans laquelle, comme pour la chaleur spécifique, le nano fluide est supposé homogène (1998) [1]

$$\rho_{nf} = \varphi \rho_p + (1 - \varphi) \rho_f \quad (\text{II-10})$$

Où :

ρ_{nf} : Masse volumique du nano fluide.

ρ_p : Masse volumique de la nanoparticule.

ρ_f : Masse volumique du fluide

La chaleur massique (Cp)

Nous avons retrouvé en suivant les auteurs l'une ou l'autre des deux relations suivantes. De nombreux auteurs dont Pak et Cho. (1998) ont utilisé :

$$(C_p)_{nf} = (1 - \varphi)(C_p)_f + \varphi(C_p)_p \quad (\text{II-11})$$

Certains autres dont Xuan et Roetzel (2000) ont utilisé:

$$(\rho C_p)_{nf} = (1 - \varphi)\rho(C_p)_f + \varphi(\rho C_p)_p \quad (\text{II-12})$$

Désignent respectivement les chaleurs spécifiques du nano fluide, du fluide de base et des nanoparticules [14]

Coefficient d'expansion volumique (β)

La variation de masse volumique sous l'action de la température est caractérisée par le coefficient d'expansion thermique appelé également coefficient de dilatation isobare [1] :

$$\beta = \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right) \quad (\text{II-13})$$

Le calcul de la valeur de ce coefficient pour les nano fluides, de très nombreux auteurs ont utilisé à la suite des premiers travaux sur les nano fluides et par analogie avec la relation qui détermine la masse volumique l'expression suivante [16] :

$$\beta_{nf} = (1 - \varphi)\beta_f + \varphi\beta_p \quad (\text{II-14})$$

II.1.7 Propriétés thermo-physiques de nano fluide

Le tableau II-1 énumère les propriétés thermo-physiques des liquides et la nanaoparticule la plus utilisée dans la littérature nanofluidique.

Tableau II-2 propriétés thermo-physiques des nanoparticules et les fluides caloporteurs

Propriétés physiques	Eau pure	Cuivre Cu
$\rho(\text{kg.m}^{-3})$	997.1	8933
$C_p(\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1})$	4179	385
$K(\text{W.m}^{-1}\text{K}^{-1})$	0.613	400
$M(\text{K. m}^{-1}\text{K}^{-1})$	0.001002	-
$\beta(\text{K}^{-1}) \times 10^{-5}$	21	1.67

Références

- [1] Ghabane. Abdelouahab,' Etude numérique de l'écoulement avec transfert de chaleur d'un nanofluide dans un échangeur de chaleur', Université de M'sila, 2019
- [2] Hakan , F. Oztop, Eiyad Abu-Nada,' Numerical study of natural convection in partially heated rectangular enclosures filled with nanofluids', International Journal of Heat and Fluid Flow, 2008
- [3] Klaleche .Sofiane, Madjour. Abderrahmane,' Simulation numérique de la convection forcée entre deux disques en présence d'un nanofluide', Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2015
- [4] Tanzila.Hayat, S. Nadeem,' Heat transfer enhancement with Ag-CuO/water hybrid nanofluid', Department of Mathematics, Quaid-i-Azam University, Islamabad 44000, Pakistan, 2017
- [5] M. Benzema, Y.K. Benkahla, A.Boudiaf, S.Ouyahia, ' Etude numérique de la convection mixte lors de l'écoulement d'un nanofluide hybride (Ag- MgO /Eau) dans une cavité trapézoïdale ventilée soumise à l'action d'un champ magnétique', a. Laboratoire des Phénomènes de Transfert, FGMGP, USTHB, BP, 32 El Alia, 16111 Bab Ezzouar, Alger, Algérie. 2017
- [6] Amin. Behzadmehr, Hassan. Azarkishan, Introduction to the nanofluid university of sistan and baluchestan, (2000)
- [7] Hamdi. Moumni, Hedia. Welhezi, Ridha. Djebali, Ezeddine. Sediki , "Accurate finite volume investigation of nanofluid mixed convection in two-sided lid driven cavity including discrete heat sources" Univ. Tunis El-Manar, Tunisia, (2015)
- [8] M. El Hafad. Bara, Mme. Sakina .El Hamdani, M. A. Bendou, M. Karim Limam,' Etude numérique de la convection naturelle du mélange Eau-Cu dans une cavité partiellement chauffée', Université De La Rochelle, Av. Michel Crépeau, 17042 La Rochelle Cedex 1, France, 2017
- [9] Abdelkader. Boutra, Karim. Ragui, Nabila. Labsi. Youb. Khaled. Benkahla, Rachid.Bennacer,' Convection mixte au sein d'une cavité carrée entraînée remplie d'un nanofluide et munie d'un bloc générateur de chaleur', Université Des Sciences Et De La Technologie Houari Boumediene, Ecole Préparatoire Aux Sciences Techniques Alger Et L.M.T. Cachan 61, Avenue Du Président Wilson 94235 CACHAN Cedex, France,2016
- [10] Lebbihi. Saci,' Refroidissement Par Convection Naturelle D'une Source De Chaleur Localisée Au Fond D'une Enceinte Remplie De Nanofluide', Université Mohamed Khider Biskra, 2014
- [11] N. Hamraoui, Etude numérique du transfert de chaleur dans les nanofluides en configuration de Rayleigh-Bénard. Diplôme de master En Physique des fluides et des transferts, université de tunes 2013
- [12] H. Salhi ,M. Si-Ameur,' Convection naturelle dans les enceintes: nanofluide', Université El-Hadj Lakhdar, 2012.

- [13] Billel. BOUDJENIBA, Salah. LAOUAR, El Hacene. Mezaache,' Etude numérique de la convection naturelle dans une cavité rectangulaire contenant un nanofluide', Université 20 Août 1955 De Skikda, 2015
- [14] Abd El Malik. Bouchoucha,' Generation d'entropie due au refroidissement par convection naturelle d'un nanofluide', Université Des Frères Mentouri –Constantine, 2017
- [15] Salhi. Hicham,' Etude numerique de la convection naturelle dans les enceintes: nanofluide', Universite De Batna, 2015
- [16] Soufi. El Habib,' Application des nanofluides pour le refroidissement : etude d'un cas d'une géométrie simple', Université Kasdi Merbah d'Ouargla, 2013
- [17] Mohamed. El Hattab, Rachid Mir, Youness. El Hammami, Touria. Mediouni,' Simulation numerique de la convection naturelle des nanofluides dans une enceinte carree chauffee par une source de chaleur', Laboratoire de Mécanique, Procédés de l'Energie Et de l'Environnement (LMP2E) Ecole Nationale des Sciences Appliquées, B.P. 1136, Agadir, Maroc, 2013

Chapitre III

Généralité sur le Transfert de Chaleur

Un transfert de chaleur ou transfert thermique entre deux corps est une interaction énergétique qui résulte d'une différence de température entre les deux corps. On distingue habituellement trois modes de transfert de chaleur :

- La conduction thermique ou diffusion thermique.
- Le rayonnement thermique.
- La convection.

Ces trois modes sont régis par des lois spécifiques. Cependant, seule la conduction et le rayonnement sont des modes fondamentaux de transmission de la chaleur ; la convection, tout en étant très importante, ne fait que combiner la conduction avec un déplacement de fluide [1]

III.I.1 Transfert de chaleur par conduction

Cette méthode de transfert caractérise essentiellement le processus de transfert de chaleur. Entre solides ou solides continus [1], car dans un milieu fluide (ie liquide ou gaz), faible conductivité thermique. La conduction est le seul mécanisme Participe au transfert de chaleur dans des solides uniformes, opaques et denses. Exemple: chauffer une tige métallique à une extrémité. Par conséquent, nous comprenons intuitivement que la conduction a une origine microscopique. C'est un mécanisme de diffusion thermique. Cela correspond à du solide chaud au froid. On définit le flux thermique de base $d\Phi$ par exemple, la chaleur transférée par unité de temps, écrite comme [2]:

$$\phi = \frac{dQ}{dt} = -\lambda S \frac{dt}{dx} \quad (\text{III-1})$$

ϕ : Le flux de chaleur en watt (W).

λ : Conductivité thermique du milieu ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$).

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

$\frac{dt}{dx}$: Gradient de température en ($\text{K} \cdot \text{m}^{-1}$).

dQ : La quantité de chaleur élémentaire(J).

dt : Le temps caractéristique élémentaire (s).

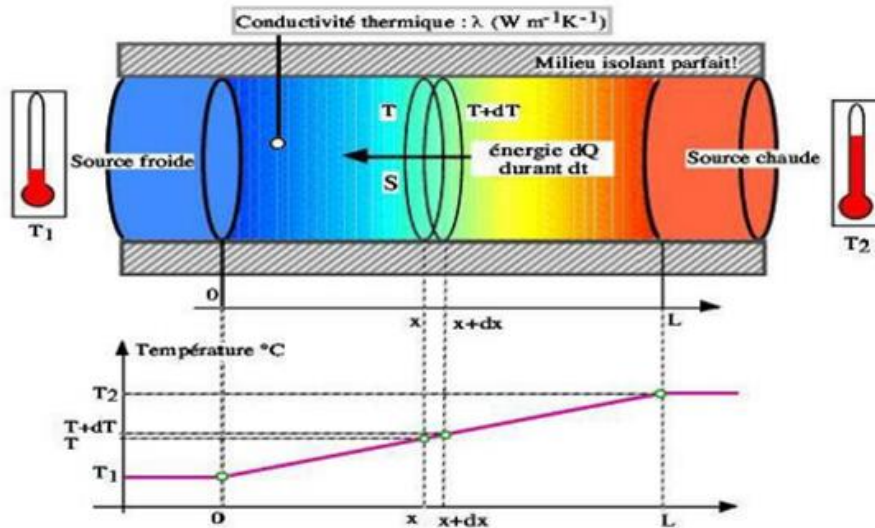


Figure III-1 Principe de la conduction thermique [3].

III.1.2 Transfert de chaleur par Rayonnement:

Le rayonnement est la seule transmission d'énergie sans aucun support matériel. Tout corps matériel, à une température différente du zéro absolu, émet à sa surface un rayonnement fonction de sa température et de son état de surface. Il peut également absorber tout ou partie du rayonnement qu'il reçoit des surfaces environnantes, de l'atmosphère ambiante et du rayonnement solaire. Le bilan thermique entre les flux partant et incident avec introduction de facteurs de forme constitue l'échange de chaleur au niveau de ce corps. C'est un transfert d'énergie électromagnétique entre deux surfaces (même dans le vide). Le rayonnement consiste alors en un échange de chaleur entre deux parois séparées par un milieu transparent comme montre la Figure III-2. Ce flux peut se mettre sous la forme [4] :

$$\Phi = MS = \sigma \times T^4 \times S \quad (\text{III-2})$$

Φ : Flux de chaleur transmis par rayonnement (W).

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ est la constante de STEFAN-BOLTZMANN [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$].

M: Emissance [W/m^2].

S: surface [m^2].

T : température absolue [k].

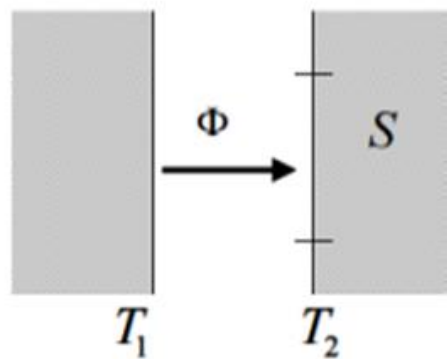


Figure III-2 Principe de rayonnement [4]

III.I.3 Transfert de chaleur par convection :

La convection est un moyen de transfert d'énergie. Conduction, accumulation d'énergie et mouvement du milieu. La convection est le mécanisme le plus important pour le transfert d'énergie entre une surface solide et un liquide. Chi [1][2]. Donnée par une relation appelée loi de Newton:

$$\Phi = h \times S \times \Delta T \quad (\text{III-3})$$

$$\Delta T = T_f - T_p$$

T_f : représente la température du film laminaire de l'écoulement.

T_p : La température de la paroi du milieu considéré.

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

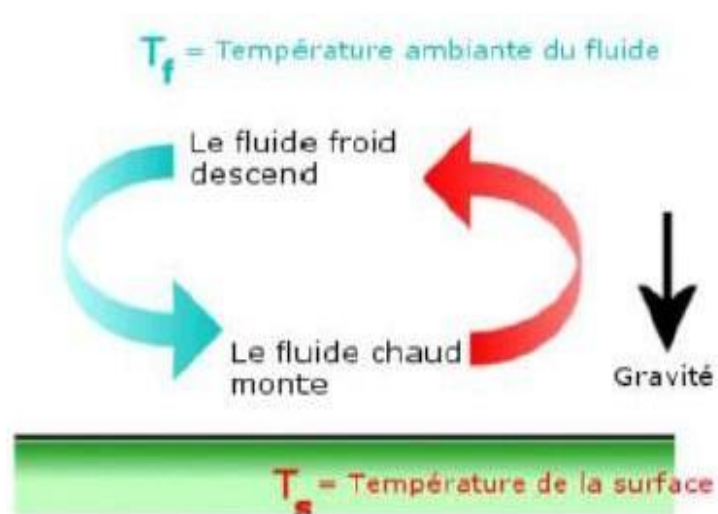


Figure III-3 schéma présentatif de transfert convectif [5]

Convection naturelle

Dans ce type de convection, le mouvement est causé par des changements de masse. Le volume de fluide qui change avec la température ; ce changement produit un champ de force la gravité détermine le mouvement des particules de fluide, comme indiqué sur la [6].

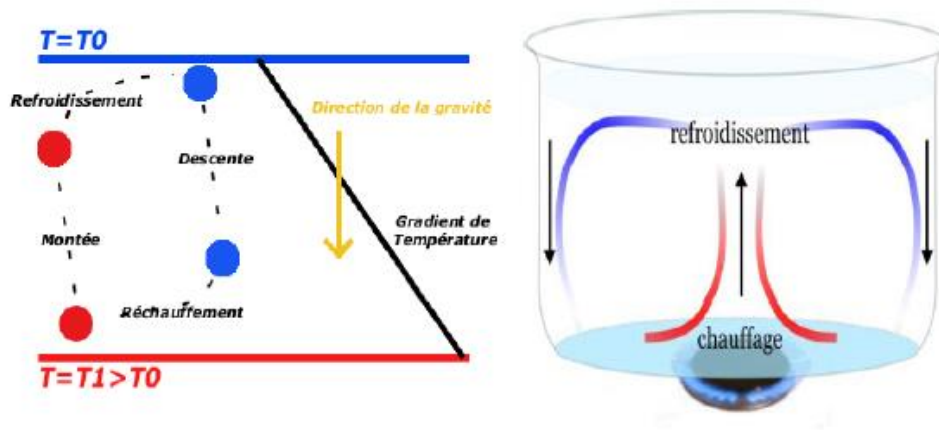


Figure III-4 Principe physique de la convection naturelle [1].

Convection forcée

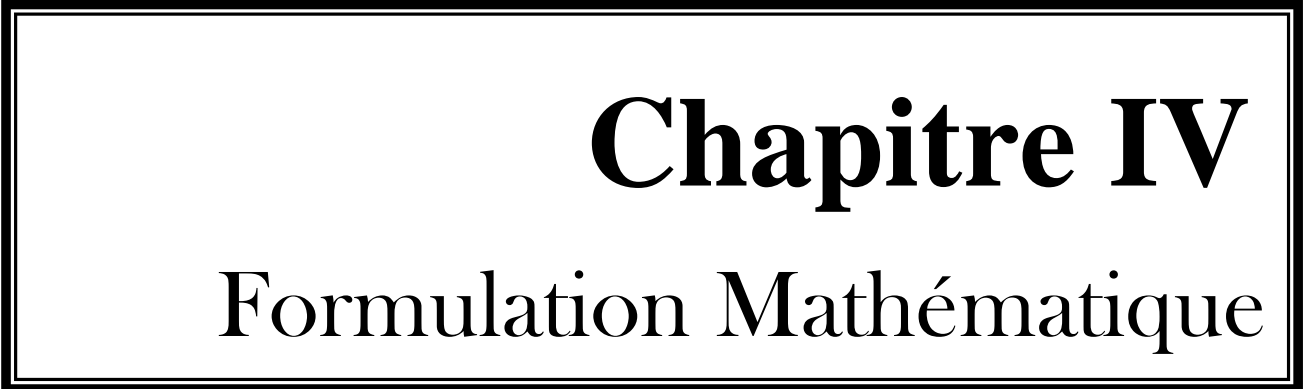
Dans cette convection, le mouvement est provoqué par un processus les machines sont indépendantes des phénomènes thermiques (compresseurs, pompes, ventilateurs, et beaucoup plus...) ; Par conséquent, un gradient de pression externe a causé particules fluides. Par conséquent, l'étude du transfert de chaleur par convection est étroitement liée à l'écoulement du fluide [6].

Convection mixte

La convection mixte correspond au couplage des deux phénomènes précédents (convection naturelle et convection forcée) les deux convections sont considérées séparément, et l'ordre de grandeur est le même [3]. Ce le transfert de chaleur par convection mixte et l'écoulement de fluide dans la cavité sont sujets d'enquête importants car ils affectent de nombreuses applications ingénierie et phénomènes naturels, tels quel 'énergie thermique, l'industrie pétrochimie, aérospatiale, construction et capteurs solaires, etc [7]. Le problème de la convection mixte est caractérisé par trois paramètres de non-surveillance dimension, à savoir nombre de Reynolds Re , nombre de Glaschoff, grand nombre usine [1].

Références

- [1] Klaleche. Sofiane, Madjour. Abderrahmane,' Simulation numérique de la convection forcée entre deux disques en présence d'un nanofluide', Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2015
- [2] Dadda. Mouhamed. Lamine," Étude de la convection naturelle dans une cavité carrée différentiellement chauffée", Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued, (2016)
- [3] Philippe. Marty, Cours de transfert thermique université de Joseph Fourier, Grenoble, Edition 2012-2013.
- [4] S. Saddam, Amélioration de la convection mixte dans un dissipateur de chaleur à ailette elliptiques creuse. Mémoire de Master Université de M'sila.2015.
- [5] Saeed. Dinarvand, Mohammad. rezanademi. Rostami , ioan pop,'A novel hybridity model for Tio₂-CuO/water hybrid nanofluid flow over a static/moving wedge or corner', Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad University, Central Tehran Branch, Tehran, Iran. Department of Mathematics, Babeş-Bolyai University, 400084, Cluj-Napoca, Romania, 2019
- [6] Mohamed. El .Hattab, Rachid .Mir, Younes.El. Hammami, Touria.Mediouni,"Simulation numérique de la convection naturelle des nanofluides dans une enceinte carrée chauffée par une source de chaleur", Laboratoire De Mécanique, ProcédésDe l'Energie Et De l'Environnement (LMP2E) Ecole Nationale Des Sciences Appliquées,B.P. 1136, Agadir, Maroc, (2013).
- [7] Ghadbane. Abdelouahab, "Etude numérique de l'écoulement avec transfert de chaleur d'un nano fluide dans un échangeur de chaleur", Université de M'sila, 2019.



Chapitre IV
Formulation Mathématique

Dans ce chapitre nous décrivons et formulons le modèle physique, mathématique et les hypothèses simplificatrices ainsi que les conditions aux limites appropriées. Chaque phénomène physique est souvent formulé par des équations mathématiques (équations différentielles) qui représentent une modélisation de ce phénomène. Une modélisation doit obligatoirement exprimer le comportement du phénomène dans l'espace et dans le temps. En mécanique des fluides, on suppose que le fluide est un milieu continu, ce qui permet d'utiliser les lois classiques de conservation à savoir [2,3] :

- Conservation de masse.
- La quantité de mouvement.
- Conservation d'énergie

IV.I Définition géométrique

Figure IV.1 présente le modèle physique. Le problème traité est un cylindre triangle caractérisé par ($L=40\text{mm}$), situé à l'intérieur d'une clôture cylindrique de type ellipse avec une excentricité ($e=0,8$). Les parois de la clôture extérieure ellipse a été maintenue à une basse température constante T_f , et le cylindre intérieur triangle est maintenu à température élevée constante T_c . Dans le présent travail le nombre de Prandtl ($Pr=6,83$).

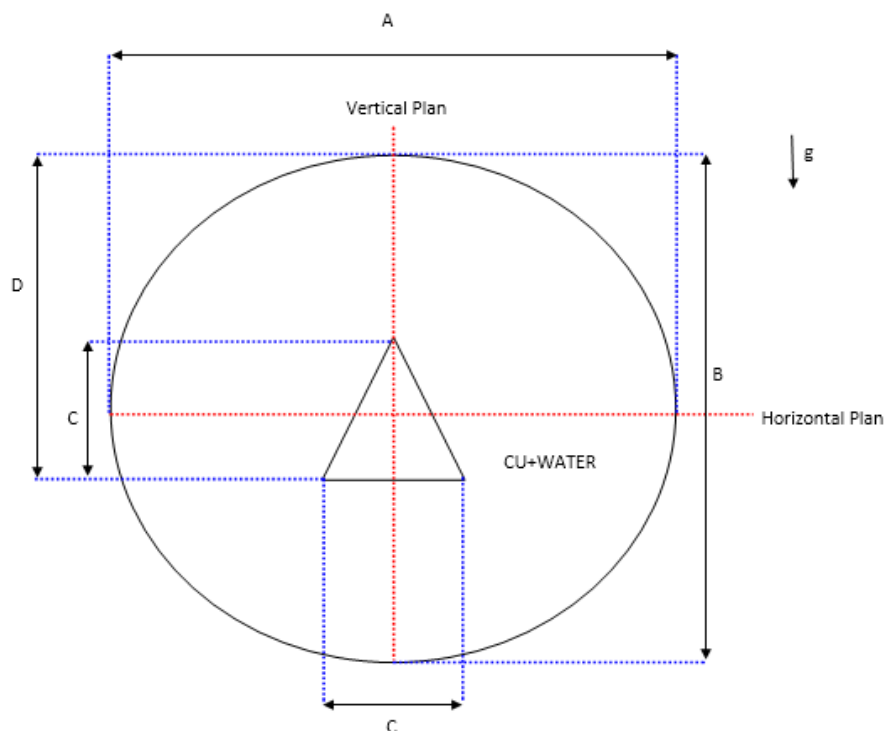


Figure IV-1 modèle physique

IV.II Equations générales

Le traitement du problème physique envisagé nécessite l'utilisation d'équations gouvernantes qui sont des équations aux dérivées partielles déduites des principes classiques de conservation de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie.

IV.II.1 Equation de continuité

Elle est déduite du principe de conservation de la masse et s'exprime sous la forme :

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

IV.II.2 Equation de quantité de mouvement (ou équation de Navier-Stokes)

Pour un écoulement incompressible ($\rho = \text{cte}$) à viscosité constante ($\mu = \text{cte}$). L'expression de la conservation de la quantité de mouvement d'un fluide Newtonien incompressible dans le champ de pesanteur \vec{g} est donnée par l'équation de Navier-Stokes :

$$\rho \frac{d\vec{V}}{dt} = \vec{F} - \overrightarrow{\text{grad}p} + \mu \cdot \Delta \vec{V} \quad (\text{IV.2})$$

\vec{F} : représente les forces volumiques.

$$\frac{d}{dt}(\rho V) = \rho F - \text{grad} p + \mu \cdot \Delta V + \frac{1}{3} \mu \text{grad}(\text{div}(V)) \quad (\text{IV.3})$$

Où :

p: La pression [Pa]

μ : La viscosité dynamique [Kg. m⁻¹.s⁻¹]

IV.II.3 Equation de l'énergie

L'équation de conservation d'énergie est obtenue à partir du premier principe de la thermodynamique. Ce principe met en relation les différentes formes d'énergie, soit :

$$\rho \frac{dE}{dt} = \text{div}(k \cdot \overrightarrow{\text{grad}T}) + T \cdot \beta \cdot \frac{dp}{dt} + \phi + q_s \quad (\text{IV.4})$$

Avec :

$$dE = C_p \cdot dT$$

$\frac{dE}{dt}$: La variation de l'énergie interne.

C_p : La chaleur massique à pression constante.

k : La conductivité thermique.

β : Le coefficient de dilatation à pression constante.

ϕ : La fonction de dissipation.

q_s : La source de chaleur interne.

Si on suppose pour un écoulement à dissipation et l'effet de la pression sont négligeables à conductivité thermique constante, et pas de source de chaleur interne l'équation (IV.4) se simplifie en :

IV.III Les hypothèses simplificatrices

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

- L'écoulement est stationnaire.
- L'écoulement est bidimensionnel.
- Le transfert de chaleur par rayonnement est négligeable.
- La puissance volumique dissipée est négligeable.
- Le travail, induit par les forces visqueuses et de pression, est négligeable.

La masse volumique du fluide varie linéairement avec la température. Cette variation est donnée par la relation :

$$\rho = \rho_0 [1 - \beta (T - T_0)] \quad (\text{IV.5})$$

D'où :

T : Représente la température du fluide en un point donné du système. T_0 : La température de référence qui correspond généralement à la valeur moyenne de la température dans le système.

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

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

$$\beta = - \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p \quad (\text{IV.6})$$

On utilise une hypothèse simplificatrice connue par l'hypothèse de Boussinesq, qu'elle dit: « la masse volumique (ρ) du fluide est supposé constante dans les équations hydrodynamiques, sauf dans le terme générateur de la convection naturelle ($\rho.g$), ou ses variations induisent directement des forces de poussée d'Archimède. Toutes les autres caractéristiques thermo-physiques du fluide (la viscosité dynamique μ , la conductivité thermique k et la chaleur massique à pression constante C_p) sont considérées comme constantes et définies à la température de référence T_0 ».

IV.IV Formulation indicielle

Equation de continuité :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho V_j) = 0 \quad (\text{IV.7})$$

Equation du mouvement :

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho_0 V_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho_0 V_i V_j) = - \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho_0 [1 - \beta(T - T_0)] g \quad (\text{IV.8})$$

Equation de la température :

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (T V_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} (\alpha \frac{\partial T}{\partial x_j}) \quad (\text{IV.9})$$

τ_{ij} : Tenseur des contraintes visqueuses dont les éléments dépendent du taux de déformation du fluide soumis au champ de vitesse.

$$\tau_{ij} = -\mu \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] + \frac{2}{3} \mu \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \quad (\text{IV.10})$$

Où :

μ : Viscosité dynamique du fluide.

δ_{ij} : Fonction delta de Kronecker.

IV.V Equations des bilans

D'une façon générale, les équations de conservation de la masse, de quantité de mouvement, et de l'énergie dans le cas an isotherme, moyennant les hypothèses énoncées ci-dessus s'écrivent :

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = 0 \quad (\text{IV.11})$$

$$U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) \quad (\text{IV.12})$$

$$U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial y} - g \cdot \cos(\alpha) [\beta_T \Delta T] + \nu \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) \quad (\text{IV.13})$$

$$U \frac{\partial T}{\partial x} + V \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha_T \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (\text{IV.14})$$

IV.VI Equations adimensionnées

Les équations de gouvernement à l'intérieur de la clôture carrée avec un cylindre elliptique chauffé sont décrites par les équations de Navier-Stokes et d'énergie, respectivement. Les équations de gouvernement sont transformées en formes sans dimensions sous les variables non dimensionnelles suivantes :

$$\theta = \frac{T-T_F}{T_C-T_F}, X = \frac{x}{L}, Y = \frac{y}{L}, U = \frac{uL}{\alpha}, V = \frac{vL}{\alpha}, P = \frac{pL^2}{\rho\alpha^2}, Pr = \frac{\nu}{\alpha}, \text{ et } Ra_t = \frac{g\beta(T_C-T_F)L^3}{\alpha\nu}$$

Les formes sans dimensions des équations de gouvernement dans la condition équilibrée sont exprimées sous les formes suivantes :

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0 \quad (\text{IV.15})$$

$$U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial X} + Pr \left(\frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} \right) \quad (\text{IV.16})$$

$$U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial Y} + Pr \left(\frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} \right) + RaPr\theta \quad (\text{IV.17})$$

$$U \frac{\partial \theta}{\partial X} + V \frac{\partial \theta}{\partial Y} = \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} \right) \quad (\text{IV.18})$$

IV.VII Les nombres sont dimensions

Une grandeur sans dimension (ou grandeur adimensionnelle) est une quantité permettant de décrire une caractéristique physique sans dimension ni unité explicite d'expression. Elle est constituée du produit ou rapport de grandeurs à dimensions, de telle façon que le rapport des unités équivaut à un. Ces grandeurs sans dimension interviennent particulièrement en mécanique des fluides et pour la description de phénomène de transfert lorsqu'on utilise la similitude de modèles réduits ou théorie des maquettes et construit l'interprétation des résultats d'essais. Elles portent le nom de nombres sans dimension, nombres adimensionnels, ou encore de nombres caractéristiques [1].

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

IV.VII.1 Nombre de Prandtl

Le nombre de Prandtl qui est le rapport de la viscosité cinématique ν et la diffusivité thermique α , il caractérise l'importance relative des effets thermiques et visqueux, ce nombre porte le nom de Ludwig Prandtl, physicien allemand :

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad (\text{IV.19})$$

Le nombre de Prandtl compare la rapidité des phénomènes thermiques et des phénomènes hydrodynamiques dans un fluide. Un nombre de Prandtl élevé indique que le profil de température dans le fluide sera fortement influencé par le profil de vitesse. Un nombre de Prandtl faible indique que la conduction thermique est tellement rapide que le profil de vitesse a peu d'effet sur le profil de température [1].

IV.VII.2 Le nombre de Grashof

Est un nombre sans dimension utilisé en mécanique des fluides pour caractériser la convection naturelle dans un fluide. Il correspond au rapport des forces de gravité sur les forces visqueuses. Ce nombre porte le nom de Franz Grashof, ingénieur allemand [1]. On le définit de la manière suivante :

$$Gr = \frac{g \beta \Delta T L^3}{\nu^2} \quad (\text{IV.20})$$

Avec :

g : Accélération de la pesanteur.

ν : Coefficient de cinématique.

IV.VII.3 Nombre de Rayleigh

Le nombre de Rayleigh est proportionnel entre l'importance relative de la poussée d'Archimède et le produit de la traînée visqueuse par le taux de diffusion thermique. Il peut être exprimé comme [2] :

$$Ra = \frac{g\beta\Delta TL^3}{\nu\alpha} = Gr.Pr \quad (IV.21)$$

Où

$$\Delta T = T_f - T_c$$

T_f : La température de la paroi froide [K].

T_c : La température du fluide loin de la paroi chaud [k].

ν : La viscosité cinématique = $\frac{\mu}{\rho}$ [m²/s].

α : La diffusivité thermique = $\frac{K}{\rho Cp}$ [m²/ s].

IV.VII.4 Le nombre de Nusselt

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

$$Nu = \frac{hL}{K} \quad (IV.22)$$

Où :

h : Le coefficient d'échange thermique [W.m⁻².K⁻¹].

On distingue deux différentes formes du nombre de Nusselt :

IV.VII.4.1 Le nombre de Nusselt local

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

$$Nu_x = \frac{\phi L}{K(T_c(x) - T_f)} \quad (IV.23)$$

ϕ : Le Flux de chaleur [W].

IV.VII.4.2 Le nombre de Nusselt moyen

Représente le taux moyen. Il est défini par :

$$\overline{Nu} = \frac{\int_0^L Nu_x dx}{\int_0^L dx} \quad (\text{IV.24})$$

IV.VIII Conditions aux limites

L'écoulement envisagé a lieu entre deux cylindres coaxiaux horizontaux, un cylindre interne ellipse est caractérisé par une excentricité $e = 0,38$, et le cylindre extérieur ellipse est de longueur L . La configuration utilisée est schématisée par la figure IV.1.

Les conditions aux limites sur le système sont :

Cylindre interne (triangle)

$$u = v = 0 \quad (\text{IV.25})$$

$$T = T_c \quad (\text{IV.26})$$

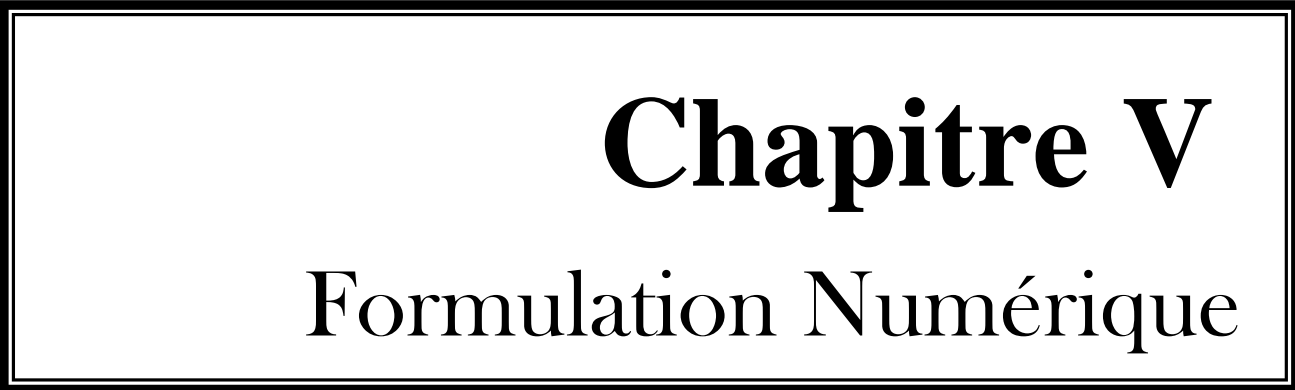
Cylindre externe (ellipse)

$$u = v = 0 \quad (\text{IV.27})$$

$$T = T_f \quad (\text{IV.28})$$

Références

- [1] Salhi. Hicham, Etude numérique de la convection naturelle dans les enceintes : nano fluide, Thèse pour l'obtention du diplôme de doctorat de l'université de Batna, 2015.
- [2] Dadda. Mouhamed .Lamine,' Étude de la convection naturelle dans une cavité carrée différentiellement chauffée', Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued, 2016.
- [3] Lebbihi. Saci, 'Refroidissement par convection naturelle d'une source de chaleur localisée au fond d'une enceinte remplie de nanofluide', Université Mohamed Khider Biskra, 2014.



Chapitre V
Formulation Numérique

V.I Introduction

Le but de cette partie, étude la structure est d'évaluer le comportement d'un écoulement Laminaire, en régime stationnaire. Cette partie est consacrée principalement aux différentes étapes numériques pour la résolution de l'écoulement dans une cavité annulaire fermée: le maillage, la méthode de résolution, le choix des conditions aux limites, et le post traitement des résultats. Le développement des techniques numériques a servi à mettre au point des codes traitant tous les problèmes de mécanique des fluides, notamment : le Transfert de chaleur. Dans la présente étude, le logiciel de CFD utilisé, pour la réalisation de la simulation numérique en mécanique des fluides (Computation al Fluid Dynamics CFD) se nomme FLUENT 6.2 peut simuler le transfert de chaleur. Il utilise la méthode des volumes finis, Nécessitant un maillage conçu par le logiciel « GAMBIT 2.1».

V.I.1 GAMBIT :

Est le modeleur associé à FLUENT où l'on décrit la géométrie et le maillage du problème à traiter ainsi que le type des conditions aux limites. Il permet aussi de définir le type des différentes frontières du système ainsi que la nature du (des) domaine(s) décrit(s) globalement (solide ou fluide). Dans notre étude les deux frontières sont considérées comme des parois indépendantes, donc on les nomme et on leur donne un type (ici Wall «paroi »).

V.I.2 FLUENT

Est écrit en langage C et globalement la démarche numérique utilisée s'initie par la lecture de la géométrie et le maillage, on passe après au type de solveur, pour notre cas C'est un solveur « segregate » avec une formulation implicite pour un cas bidimensionnel en régime stationnaire, puis la discrétisation des équations modélisantes dans le menu « Solve », la résolution des systèmes d'équations discrétisées et enfin le post-traitement. On initialise l'ensemble des quatre variables à calculer sur tous les points du maillage, c'est à dire la pression, les deux composantes de la vitesse et la température. Ensuite on gère la progression du calcul itératif par le biais du suivi des résidus des équations se rapportant à chacune des variables. Donc sous FLUENT, le travail va consister à assurer successivement :

- Le choix des équations traitées
- La description des conditions aux limites
- La gestion de la résolution
- L'analyse des résultats

Les étapes pour le déroulement des simulations sur les deux logiciels Gambit (2.1) et FLUENT (6.2) sont résumées sur la Figure V:1

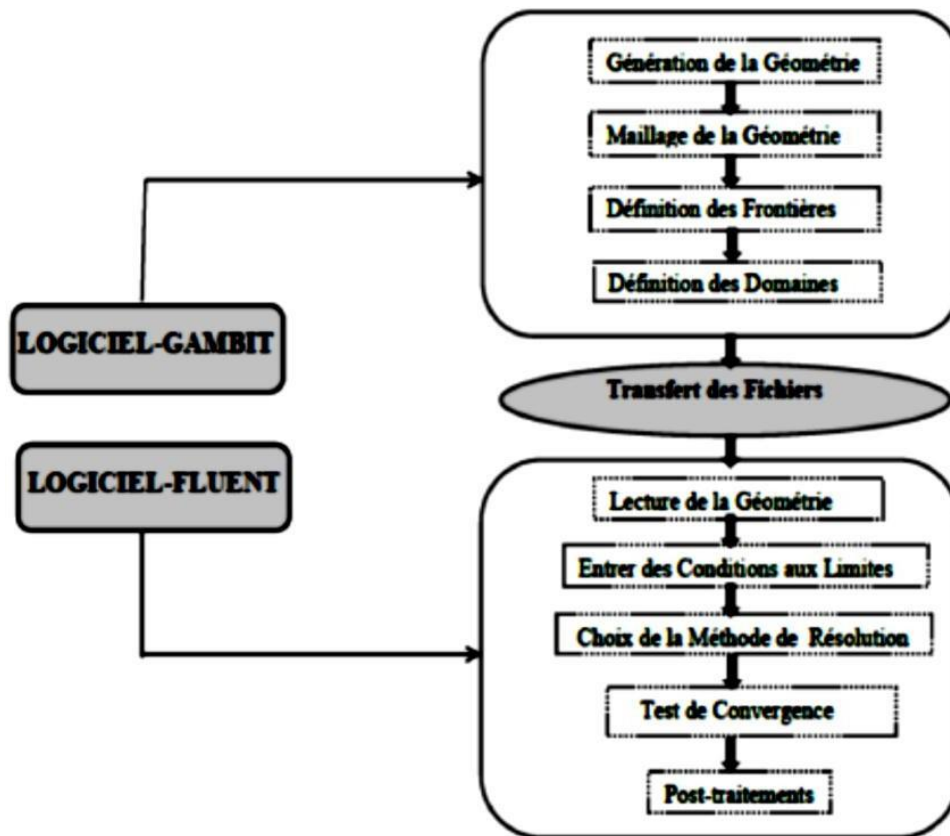


Figure V-1 Etapes de résolution suivies par GAMBIT et FLUENT.

V.II Procédure Numérique :

Afin de résoudre numériquement les équations aux dérivées partielles établies dans le chapitre précédent, nous allons procéder à leurs discrétisations dans le but d'obtenir un système d'équations algébriques dont la résolution nous permet de déterminer les champs de toutes les variables du problème considéré. La méthode de volumes finis a été adoptée pour accomplir cette discrétisation, et l'utilisation de l'algorithme SIMPLE pour la correction de pression sur un maillage non uniforme. La méthode des volumes finis a été décrite pour la première fois en 1971 par Patankar et Spalding et publiée en 1980 par Patankar le principe de méthode des volumes finis basé sur une technique de discrétisation qui convertit les équations de conservation aux dérivées partielles en équations algébriques qui peuvent être résolues numériquement. Le domaine de calcul est divisé en un nombre fini de sous-domaines élémentaires, appelés volume de contrôle, chacun de ces derniers englobe un nœud dit nœud principal, comme indiqué dans la Figure V:2.

La technique des volumes de contrôle consiste dans l'intégration des équations aux dérivées partielles sur chaque volume de contrôle pour obtenir les équations discrétisées qui conservent toutes les grandeurs physiques sur un volume de contrôle. Les différentes étapes de la méthode des

volumes finis sont :

La discrétisation du domaine considéré en volume de contrôle. La formulation intégrale des équations différentielles aux dérivées partielles. Écriture des équations algébriques aux nœuds du maillage. Résolution du système algébrique linéaire obtenu

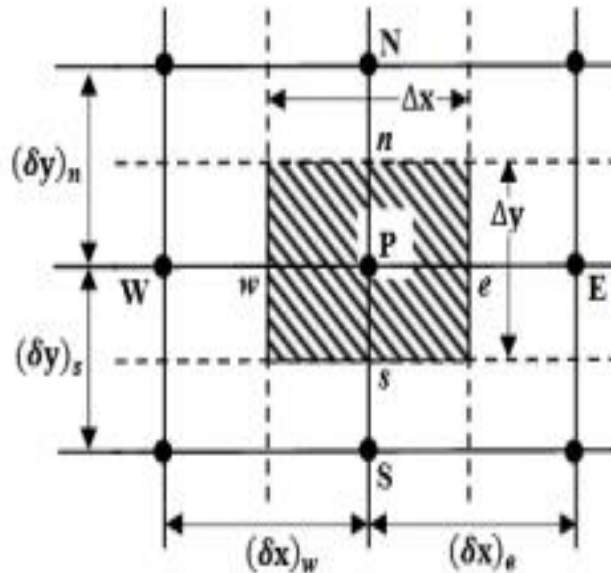


Figure V-2 Volume de contrôle bidimensionnel

Le volume de contrôle est montré par la figure V:2. Pour un nœud principal P, les points E et W (Est et Ouest) sont des voisins dans la direction x, tandis que N et S (Nord et Sud) sont ceux dans la direction y. Le volume de contrôle entourant P est montré par les lignes discontinues. Les faces du volume de contrôle sont localisées aux points e et w dans la direction x, n et s dans la direction y

Dans cette mémoire la résolution de problème est effectuée par le logiciel FLUENT, basé sur la méthode des volumes finis, utilisant le schéma QUICK pour la discrétisation de l'équation de quantité de mouvement et la discrétisation de l'équation d'énergie.

V.III Maillage

Dans notre étude, on a choisi un maillage bidimensionnel structuré. Ce maillage a été réalisé avec des cellules dont la taille variait progressivement, fin sur les parois pour Assurer une bonne résolution dans les régions à fort gradient de température et vitesse. La figure V-3, montre une partie de la cavité en maillage structuré non uniforme serré près des frontières des parois.

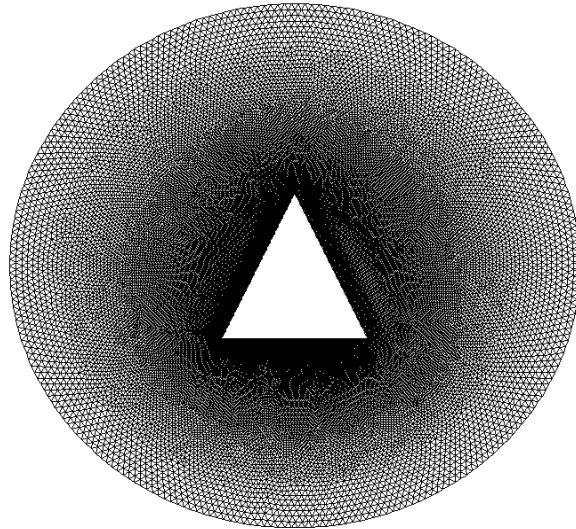


Figure V-3 Maillage avec Gambit 2.1

V.IV Conditions initiales et conditions aux limites : CL (CFD FLUENT)

Pour résoudre les équations, on a besoin de définir les conditions aux limites aux parois. Cinq types de conditions aux limites thermiques sont disponibles sur FLUENT:

- 1- Un flux de chaleur imposé
- 2- Une température imposée
- 3- Transfert thermique convectif
- 4- Transfert thermique radiatif externe
- 5- Combinaison du transfert thermique radiatif et convectif (condition mixte)



Chapitre VI

Résultat et Discussion

Dans ce chapitre nous avons effectué des simulations numériques de convection naturelle dans un système annulaire fermée, ce système comportant deux cylindres confocaux une ellipse externe et triangle interne. La méthode des volumes finis a été appliquée pour effectuer une simulation numérique d'une convection naturelle laminaire à deux dimensions. Le système d'équations régissant le problème a été résolu numériquement par le code de calcul Fluent basé sur la méthode des volumes finis. Dans ces simulations, l'approximation de Boussinesq a été considérée. Le fluide dans les anneaux est un nano fluide (Cu – eau). Les propriétés thermo physiques des nanoparticules de cuivre et du fluide de base sont données dans le tableau précédent. Les surfaces intérieure et extérieure sont maintenues à une température constante. L'étude est réalisée pour des nombres de Rayleigh allant de 10^4 à $5 \cdot 10^5$, et des fractions volumiques des nanoparticules. $\Phi = 0, 0,02$ et $0,04$ et $0,06$. Les résultats sont présentés sous forme de lignes de courant, d'isothermes, et de nombres locaux et moyens de Nusselt.

VI.I Validation des résultats

De façon à vérifier l'exactitude des résultats numérique obtenus dans le présent travail, une validation du code numérique a été faite en prenant en compte certaines études numériques disponibles dans la littérature.

La convection naturelle entre deux cylindres elliptiques horizontaux confocal par Elshamy [1] a été choisie pour la validation de la présente étude. Les validations ont été présentées sous forme des isothermes et de lignes de courants pour deux nombres de Rayleigh différents (fig. 1). En outre, le nombre de Nusselt local a été comparé à la référence [1]. Pour le cas de deux elliptiques horizontal confocal, l'excentricité de la paroi intérieure et externe ont été prises 0.9 et 0.4, respectivement, et le nombre de Rayleigh égal à 10^4 (fig. 1). Les nombres de Nusselt locaux de l'ellipse cylindrique interne et externe pour deux nombres (fig. 2). Le résultat indique un accord acceptable avec les résultats qui ont présenté dans refs [1].

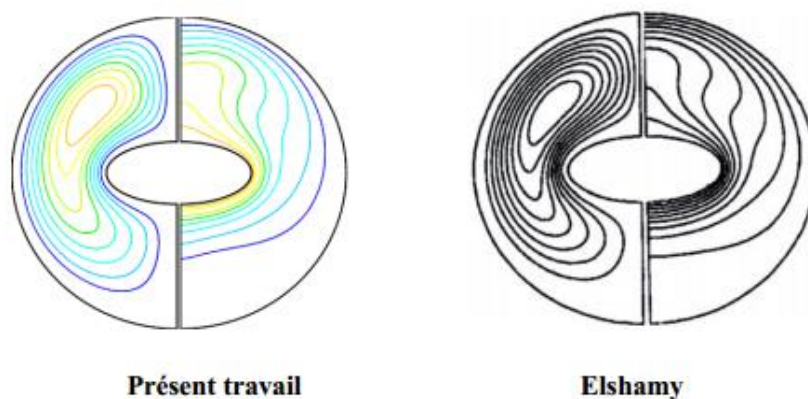


Figure VI-1 Ligne de courant (moitié gauche) et isothermes (moitié droite) à $Ra=10^4$

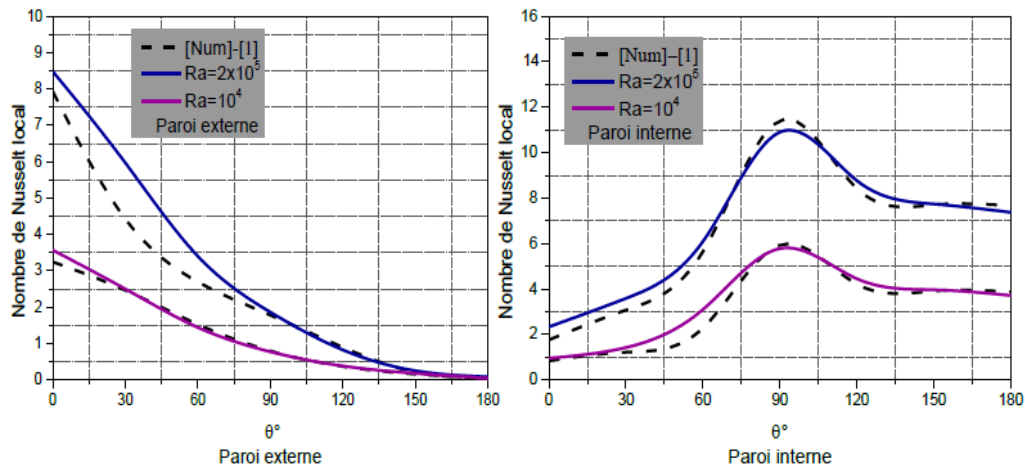


Figure VI-2 Nombre Nusselt local de le long des ellipses internes et externes et comparaison avec la référence [1].

VI.II Influence du nombre de Rayleigh thermique

Dans les figure (3,4,5), les isothermes et les lignes de courant sont tracées pour différentes valeurs du nombre de Rayleigh thermique et différentes fraction volumique des nanoparticules.

Nous remarquons que ces isothermes et ces lignes de courant sont symétriques par rapport au plan vertical fictif médian. Les figures (3,4,5), montrent que, sur le côté gauche l'écoulement tourne dans le sens trigonométrique et sur le côté droit dans le sens opposé (les particules du fluide se déplacent vers le haut sous l'action des forces de pesanteur le long de la paroi chaude interne puis descendent au voisinage de la paroi froide du cylindre elliptique extérieur).

Nous pouvons voir que, pour un faible nombre de Rayleigh $Ra = 10^3$ le transport de chaleur et de masse au sein de l'espace annulaire est essentiellement contrôlée par les processus simultanés de conduction thermique et massique. L'écoulement s'organise en deux cellules qui tournent très lentement dans des sens opposés. Les isothermes sont des courbes fermées presque parallèles et concentriques qui épousent assez bien les profils des parois. Dans ce cas la distribution des températures est simplement décroissante de la paroi chaude vers la paroi froide. La convection est donc relativement faible, les valeurs de la fonction de courant qui sont données sur les figures sont très petites.

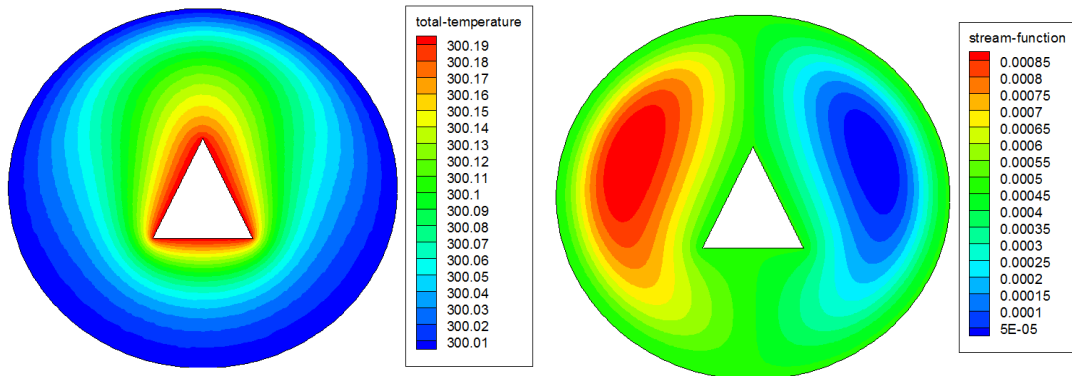
La figure 4 pour $Ra = 5 \cdot 10^4$ montre que les lignes isothermes se modifient et finissent par adopter la forme d'un champignon. La distribution de la température est décroissante de la paroi chaude vers la paroi froide. Le sens de la déformation des isothermes est conforme au sens de rotation des lignes de courant. En régime laminaire, on peut dire que, sous l'action du mouvement des particules qui décollent de la paroi chaude au niveau de l'axe de symétrie, les lignes isothermes

se « voûtent » et s'éloignent de la paroi à cet endroit. Les valeurs des fonctions de courant augmentent ce qui signifie que la convection s'intensifie.

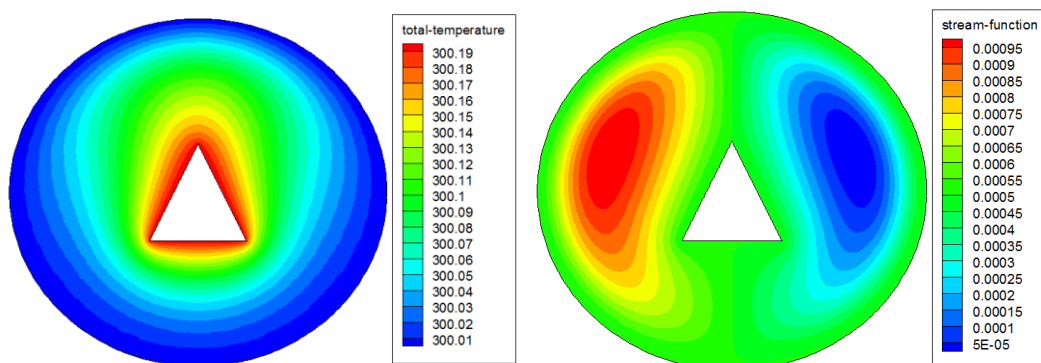
Lorsque $Ra = 5 \cdot 10^5$, les couches limites thermiques deviennent plus minces et les isothermes deviennent stratifiées. Si on compare les isothermes dans les figures pour différentes valeurs de Ra , on peut noter que l'augmentation de Ra exprime une intensification significative de la convection naturelle, l'écoulement reste organisé en deux cellules principales tournant dans des sens opposés mais à une vitesse plus élevée. Les valeurs de la fonction de courant augmentent avec l'augmentation du nombre de Rayleigh thermique ce qui est évident

On remarque également que quel que soit le nombre de Rayleigh, plus la valeur de la fraction volumique élevée, plus la valeur de la fonction de courant maximum élevée.

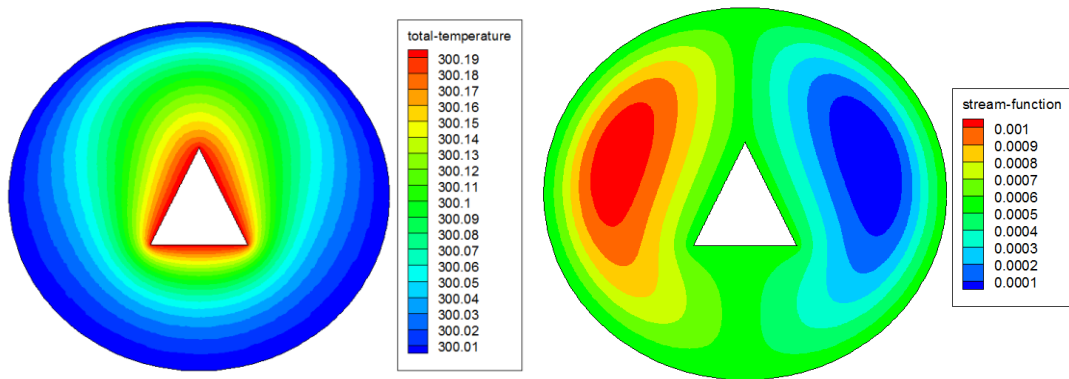
$\Phi=0$



$\Phi=0.02$



$\Phi=0.04$



$\Phi=0.06$

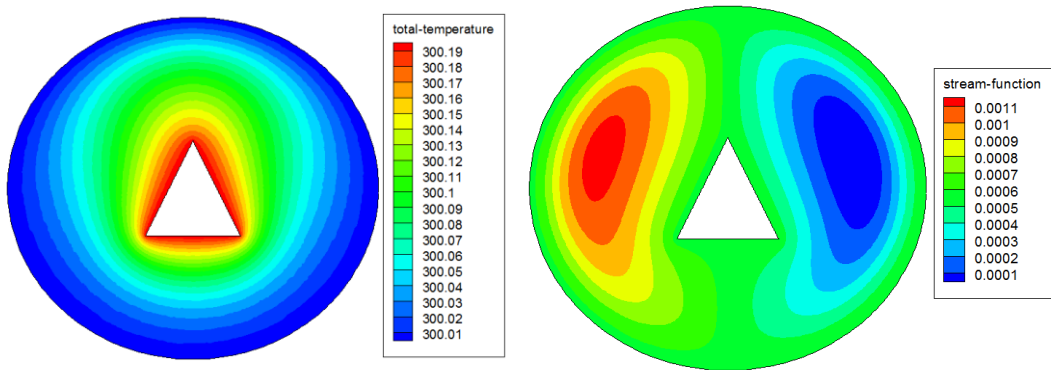
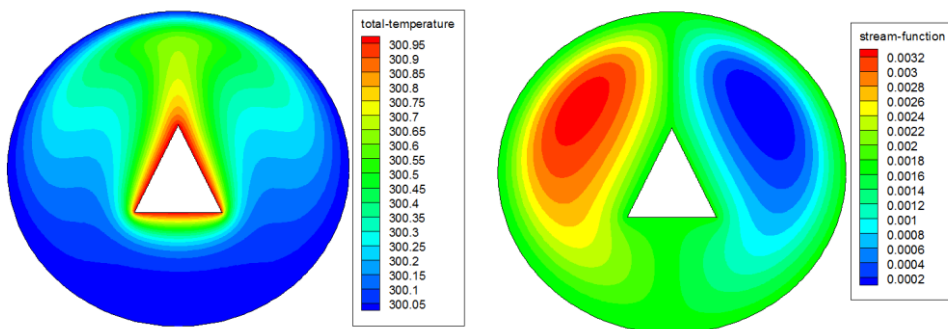
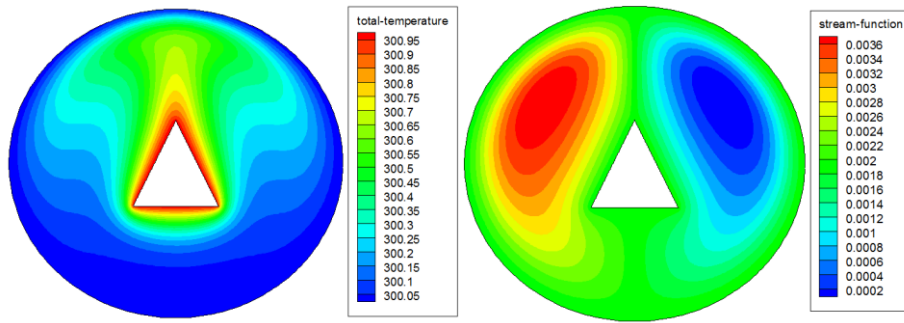


Figure VI-3 Isothermes et lignes de courant pour différentes valeurs de fraction volumique lorsque $Ra=10^4$

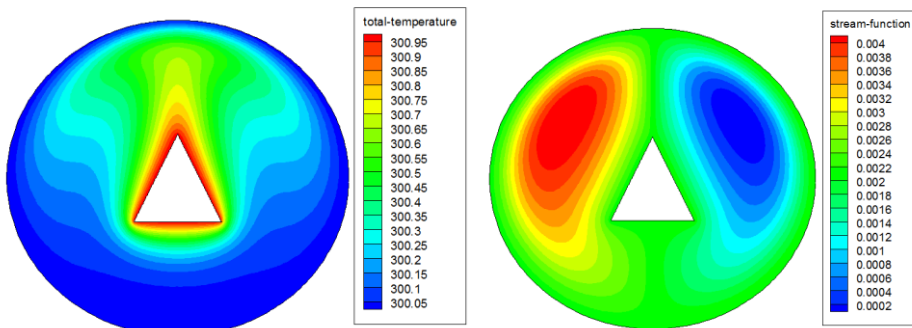
$\Phi =0$



$\Phi =0.2$



$\Phi = 0.4$



$\Phi = 0.6$

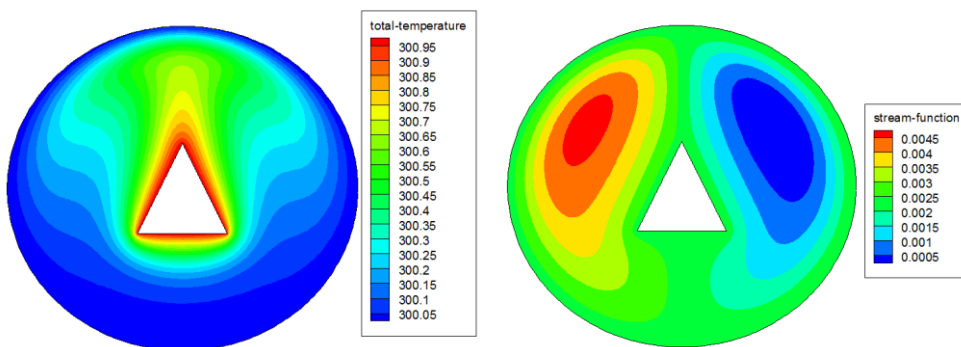
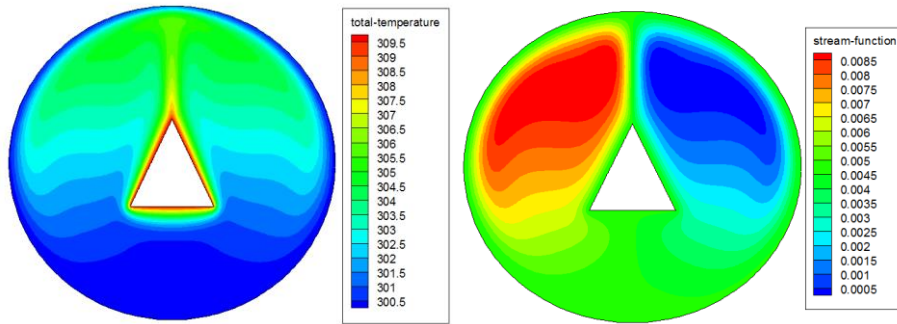
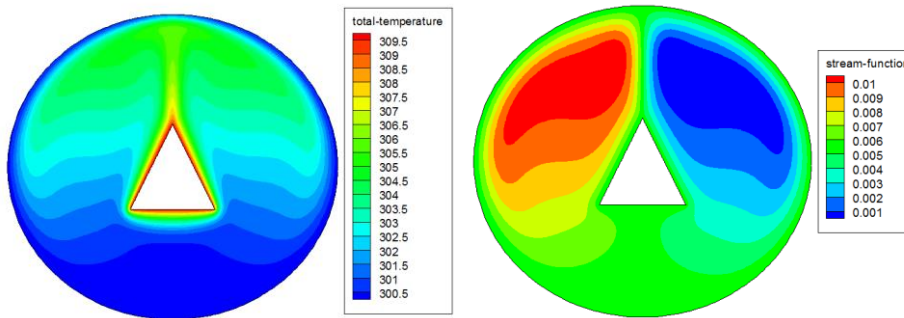


Figure VI-4 : Isothermes et lignes de courant pour différentes valeurs de fraction volumique lorsque $Ra=5.10^4$

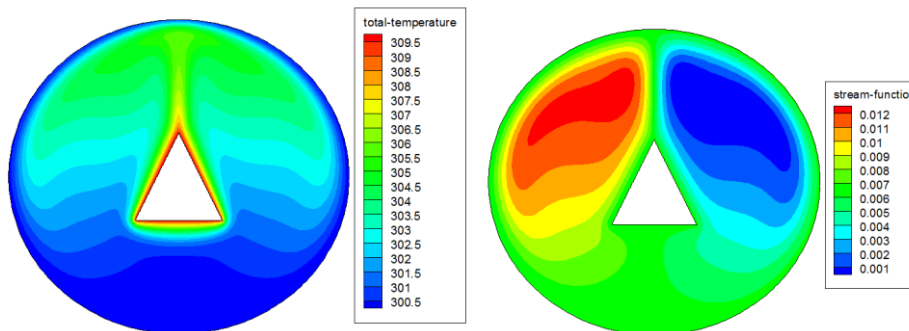
$\Phi = 0$



$\Phi = 0.2$



$\Phi = 0.4$



$\Phi = 0.6$

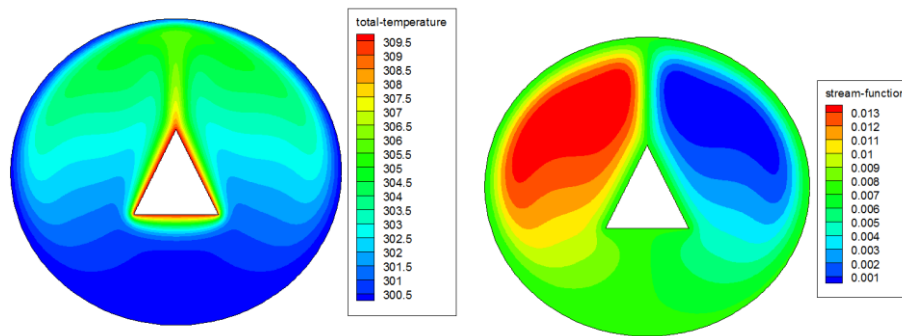
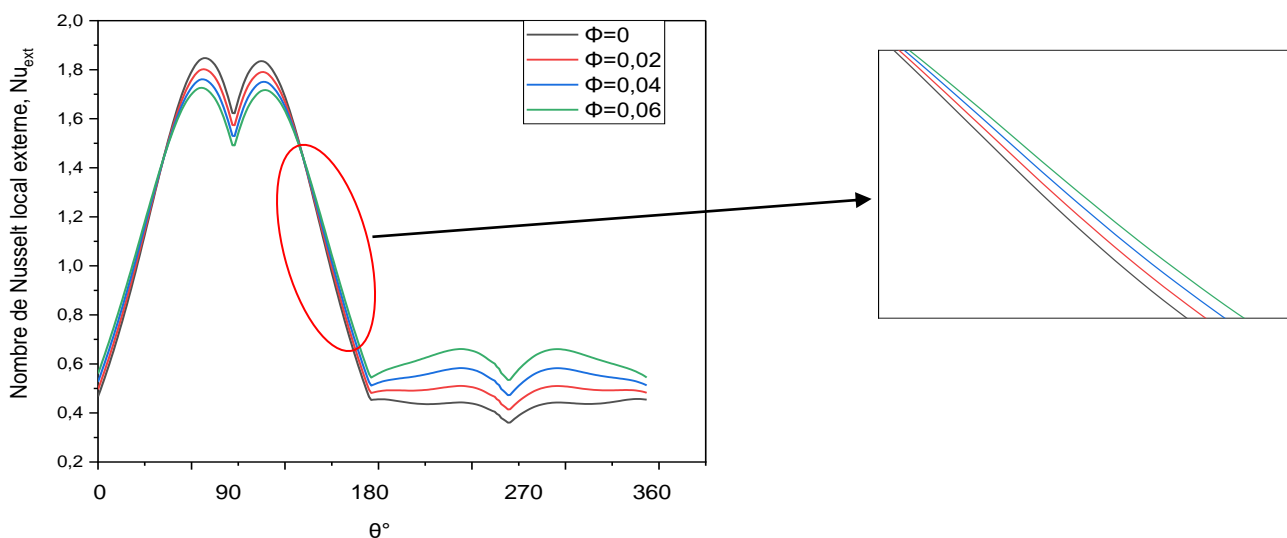


Figure VI-5 : Isothermes et lignes de courant pour différentes valeurs de fraction volumique lorsque $Ra=5. 10^5$

VI.III Nombre de Nusselt

VI.IV Variation du nombre de Nusselt local sur la paroi du cylindre elliptique extérieur

La distribution du nombre de Nusselt local sur les surfaces externe de l'anneau est illustrée sur la figure 6. pour différentes valeurs de la fraction volumique des nanoparticules. On remarque qu'avec l'augmentation du nombre de Rayleigh, la valeur du nombre de Nusselt local augmente. On observe aussi sur cette figure, que Nu_e est maximum dans la région sommitale et minimum dans la partie basse de l'enceinte où le fluide est pratiquement immobile. Il est clair aussi qu'avec l'augmentation des fractions volumiques, le nombre de Nusselt augmente également ce qui se traduit également par une augmentation du taux de transfert thermique du nanofluide. On peut également noter que les valeurs maximales sont affectées par la présence de nanoparticules.



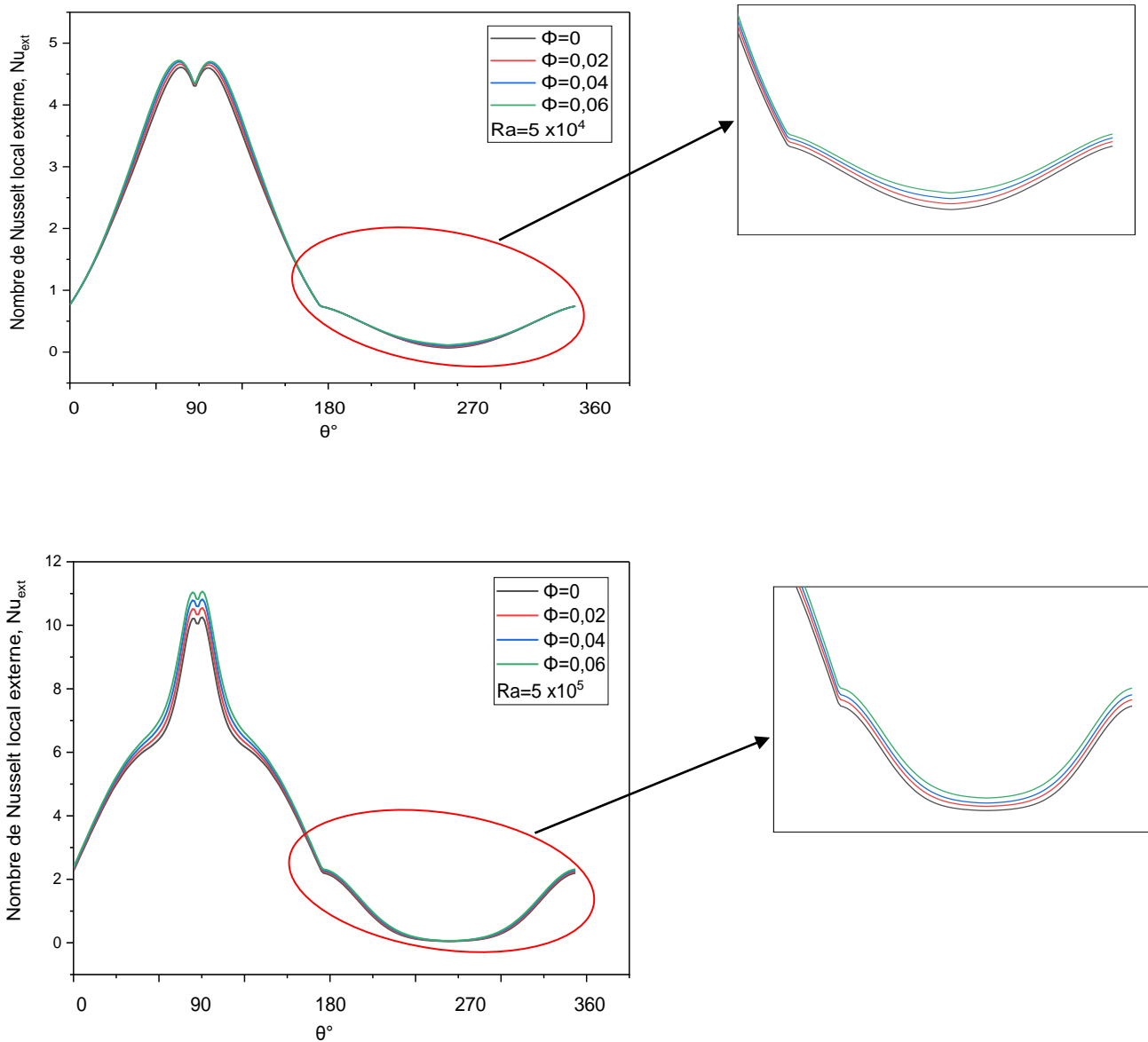


Figure VI-6 Evolution du nombre de Nusselt local le long la paroi froide.

VI.V Variation du nombre de Nusselt local sur la paroi du cylindre intérieur

La figure 7. Illustrent la variation du nombre de Nusselt local sur la paroi du cylindre triangle intérieur, et nous permettent de remarquer qu'avec l'augmentation du nombre de Rayleigh, la valeur du nombre de Nusselt local augmente, ce qui est évident.

Ce résultat est compatible avec les contours thermiques montrés sur les fig. IV.3, 4 et 5 dans ce cas, la valeur du nombre de Nusselt maximal aux sommets de la base du triangle et petit au sommet supérieur du triangle.

On peut également noter que les valeurs maximales aussi sont affectées par la présence de nanoparticules.

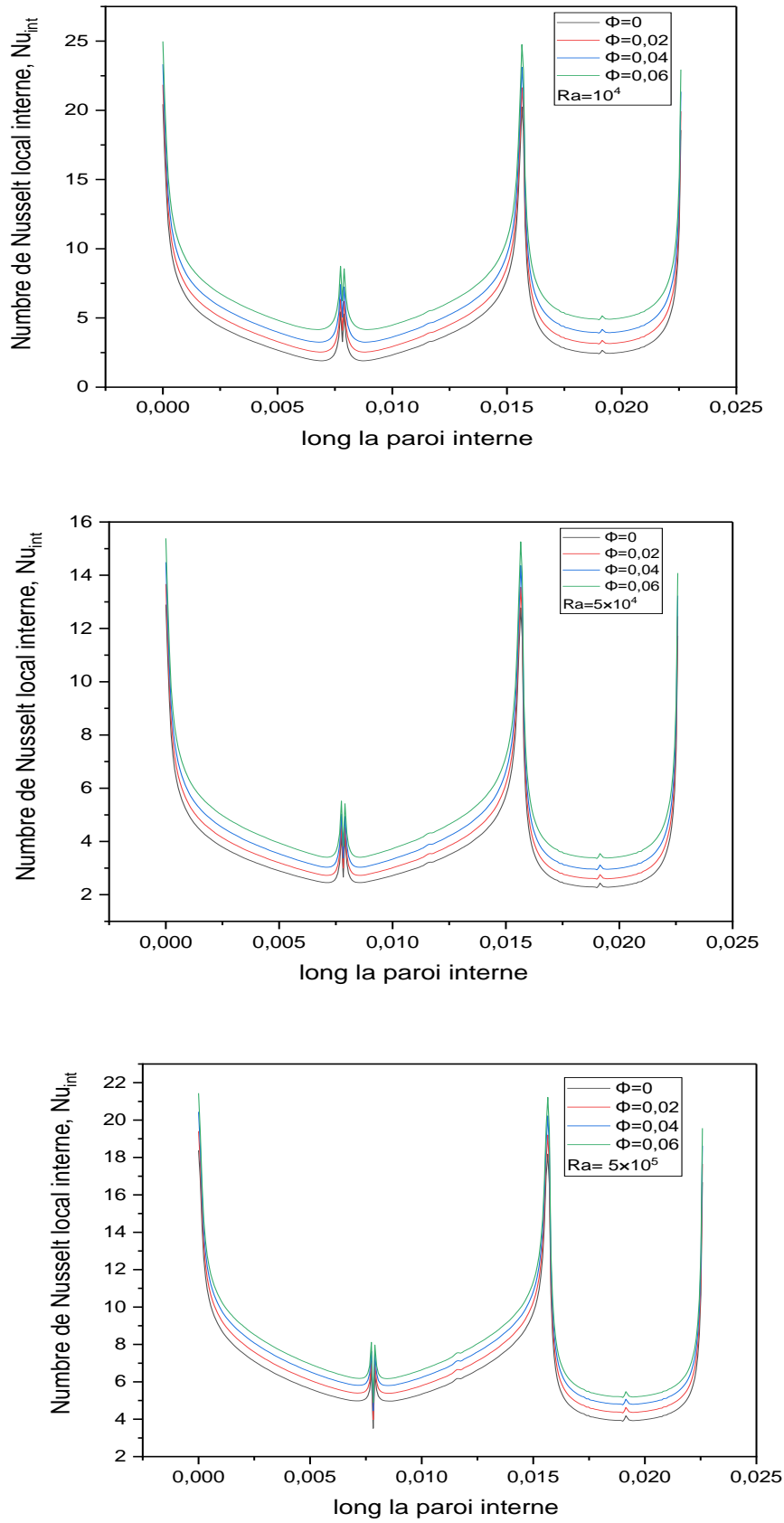


Figure VI-7 Evolution du nombre de Nusselt local le long la paroi chaude.

VI.VI Nombre du Nusselt moyen

La figure IV.8. Illustre l'évolution du nombre moyen de Nusselt en fonction de la fraction volumique de nanoparticules. On note que lorsque le nombre de Rayleigh est inférieur à 10^4 , on remarque aussi que le nombre de Nusselt moyen augmente lentement car le mode dominant de transfert de chaleur est la conduction, puis augmente de manière significative avec l'augmentation de Rayleigh car le mode de transfert de chaleur prédominant est la convection. On remarque aussi que le nombre de Nusselt moyen augmente avec l'augmentation de la fraction volumique de la nanoparticule, quel que soit le nombre de Rayleigh.

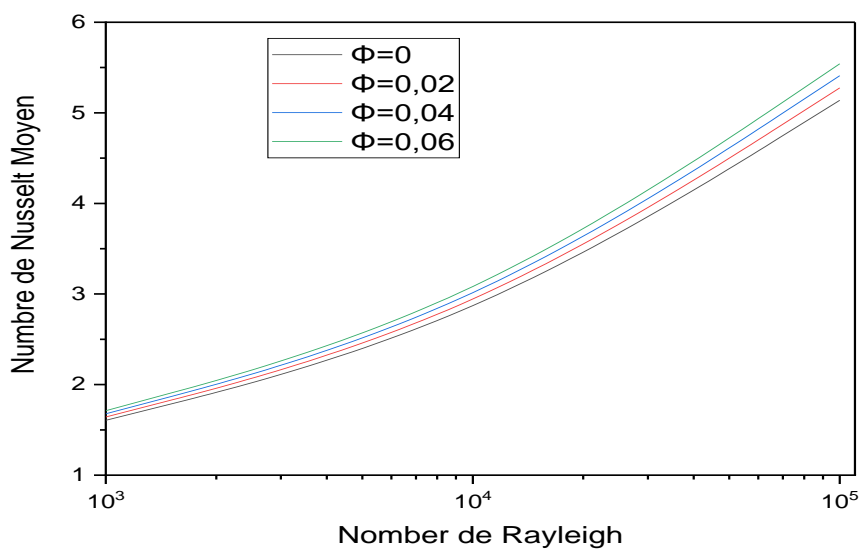


Figure VI-8 Variation du nombre de Nusselt moyen en fonction du nombre de Rayleigh

Références

- [1] Mahmoud. Sabour , "Natural convection in a triangular cavity filled with a Nanofluid saturated porous medium using three heat equation model " , Canadian Journal of Physics , pp-2016-0053

Conclusion générale

Dans cette mémoire, nous présentons une étude numérique du transfert de chaleur par convection naturelle des nanofluides confinés dans un espace annulaire délimité par deux cylindres un cylindre intérieur triangulaire et un cylindre extérieur elliptique froid d'un écoulement laminaire et permanent avec l'adaptation de l'approximation de Boussinesq.

Les équations qui régissent le problème ont été résolues numériquement via la méthode des volumes finis, nous avons pu déterminer les lignes de courant, les isothermes ainsi que les variations du nombre de Nusselt en fonction du nombre de Rayleigh. Les résultats de simulation sont obtenus avec le code FLUENT.

Les simulations numériques sont effectuées pour un nombre de Rayleigh variant de 10^4 à 5.10^5 , et une fraction volumique des nanoparticules comprise entre (0, et 0.06). L'influence de certains paramètres, à savoir la fraction volumique de nanoparticules et nombre de Rayleigh sur le transfert de chaleur a été étudiée. Cette étude nous a permis de dégager les conclusions suivantes :

-l' augmentation du nombre de Rayleigh entraîne une amélioration de l'écoulement convectif naturel.

- lorsque le nombre de Rayleigh est inférieur à 10^4 , on remarque que le nombre de Nusselt moyen augmente lentement car le mode dominant de transfert de chaleur est la conduction, puis augmente de manière significative avec l'augmentation de Rayleigh car le mode de transfert de chaleur prédominant est la convection

-Finalement les résultats obtenus ont montré que l'addition des nanoparticules apporte une amélioration du transfert de chaleur.

Comme notre étude s'est focalisée sur la problématique de la convection naturelle ce travail mérite d'être élargi par des études complémentaires pour mieux comprendre ce phénomène de convection naturelle dans les enceintes, pour cela nous suggérons ce qui suit :

- les effets des autres principaux paramètres de contrôle, à savoir l'inclinaison de l'enceinte (α), nombre de Prandtl (Pr) et autre type de nanofluide, sur le structure d'écoulement et le transfert de chaleur.
- L'influence de l'instationnarité et le régime d'écoulement.

