



Faculté des Sciences et des Sciences appliquées

Département de Génie Mécanique

N° d'ordre : ...../Mag/2016.

Série : ...../GM/2016.

## Projet de fin d'étude

Présentée pour obtenir le diplôme de Master  
En Génie Mécanique

**Transfert de chaleur par convection naturelle dans les nano-fluides.**

OPTION :

**Mécanique Energétique**

Par : **Aliouane Chahira et Malaoui Soria**

Soutenue le: 07/06/2016

Devant le jury composé de :

Président : M <sup>r</sup> . LEKHAL Rachid	MAA	Université Bouira
Rapporteur : M <sup>r</sup> . MAHFOUD Brahim	MC	Université Bouira

Examineurs :

M <sup>r</sup> . ABERKANE Sofiane	MAA	Université Bouira
M <sup>r</sup> . MESSAI Tarek	MAA	Université Bouira

## *Remerciements*

*En premier lieu on remercie le bon DIEU, pour nous avoir donné la force et la patience pour accomplir ce modeste travail.*

*On tient à exprimer nos profondes reconnaissances et nos sincères remerciements à notre encadreur Mr. MAHFOUD Brahim de nous avoir fait confiance, pour sa disponibilité et son suivi constant de ce travail.*

*On tient à remercier Monsieur LEKHAL Rachid MA, à l'Université BOUIRA pour avoir accepté d'évaluer ce travail, et qui nous fait l'honneur d'accepter la présidence du jury.*

*Nous voulons exprimer nos remerciements aux membres de jury,  
Monsieur ABERKANE Sofiane, MA à l'Université BOUIRA.  
Monsieur MESSAI Tarek, MA à l'Université BOUIRA.*

*Nos profonds respects et Nos remerciements les plus distingués à nos enseignants du département de Génie Mécanique de l'Université BOUIRA.*

*Enfin, nous tenons à remercier chaleureusement tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour accomplir ce travail.*

## Dédicace

*A mon père et ma très chère maman, qui m'ont éclairé  
le chemin en me donnant la main tout au long de mes années d'étude*

*« Que dieu me les gardes ».*

*A mes frères : Sadji et Rabah.*

*A mes sœurs : Sadjia, Lydia et Flora.*

*A tous mes amis : Ilyas, Mouna, ...*

*\*Seria\**

## *Dédicace*

*Que ce travail témoigne de mes respects :*

***A mes parents :***

*Grâce à leurs tendres encouragements et leurs grands sacrifices, ils ont pu créer le climat affectueux et propice à la poursuite de mes études. Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mes profonds sentiments envers eux.*

*Je prie le bon Dieu de les bénir, de veiller sur eux, en espérant qu'ils seront toujours fiers de moi.*

*A ma sœur : Mouna.*

*A mes frères : Kamel et Mehdi.*

*A ma nièce : Tiziri.*

*A ma famille.*

*A mon âme sœur : Noura.*

*Ils vont trouver ici l'expression de mes sentiments de respect et de reconnaissance pour le soutien qu'ils n'ont cessé de me porter.*

***A tous mes professeurs :***

*Leur générosité et leur soutien m'oblige de leurs témoigner mon profond respect et ma loyale considération.*

***A tous mes ami(e)s et mes collègues :***

*Ils vont trouver ici le témoignage d'une fidélité et d'une amitié infinie.*

*\* Chila \**

## Résumé

Ce travail présente une étude numérique de refroidissement par convection naturelle d'une source de chaleur intégré sur la paroi de fond d'une enceinte remplie de nano-fluides. Les parois supérieures et verticales de l'enceinte sont maintenues à une température relativement basse. Les équations de transport pour un fluide newtonien sont résolues numériquement avec une approche des volumes finis en utilisant l'algorithme SIMPLE. L'influence des paramètres pertinents tels que le nombre de Rayleigh, l'emplacement et la géométrie de la source de chaleur, la fraction volumique des nanoparticules sur la performance de refroidissement est étudiée. La longueur et l'emplacement de la source de chaleur se sont révélés affecter de manière significative la température maximale de la source de chaleur.

Mots clés : nano-fluide ; convection naturelle, méthode des volumes finis.

## Abstract

This work presents a numerical study of natural convection cooling of a heat source embedded on the bottom wall of an enclosure filled with nano-fluids. The top and vertical walls of the enclosure are maintained at a relatively low temperature. The transport equations for a Newtonian fluid are solved numerically with a finite volume approach using the SIMPLE algorithm. The influence of pertinent parameters such as Rayleigh number, location and geometry of the heat source, solid volume fraction of nanoparticles on the cooling performance is studied. The length and location of the heat source proved to significantly affect the heat source maximum temperature.

**Keywords:** natural convection, square enclosure, the nano-fluids, finite volume method.

## ملخص

يعرض هذا العمل على دراسة رقمية لتبريد الحراري الطبيعي لمصدر الحرارة الذي هو جزء لا يتجزأ من الجدار السفلي من الحاوية المليئة بـ *nanofluids*. يتم تثبيت الجدار العلوي والعمودي للحاوية عند درجة حرارة منخفضة نسبياً. يتم حل المعادلات نقل المائع رقمياً مع استعمال طريقة الحجم المنتهية باستخدام خوارزمية *Simple*. يتم دراسة تأثير عدد *Rayleigh* , الجزئ الحجمي للجزيئات النانوية و موقع مصدر الحرارة وطول مصدر الحرارة على أداء التبريد. وتشير النتائج إلى أن إضافة النانوية *nanofluids* في الماء النقي يحسن أداء التبريد لها خصوصاً في اعداد *Rayleigh* منخفضة. تأثير عدد *Rayleigh* وطول ومكان مصدر الحرارة ثبت أن له تأثيراً كبيراً على أقصى درجة حرارة القصوي للمصدر.

## Sommaire

Remerciements .....	II
Dédicace.....	III
Résumé.....	V
Abstract .....	VI
Liste des figures .....	IX
Liste des tableaux .....	XI
Nomenclature.....	XII
<b>Introduction générale</b> .....	<b>1</b>
<b>Chapitre I : Généralité et revue bibliographique</b> .....	<b>3</b>
I.1 Généralités .....	3
I.2 Revue bibliographique .....	3
I.3 Les définitions .....	6
I.3.1 Convection.....	6
I.3.2 Les nano-fluides .....	7
I.3.2.1 Préparation de nano-fluide .....	8
I.3.2.2 Les propriétés du nano-fluides.....	9
I.3.2.3 Types de nanoparticule .....	14
I.3.2.4 Les avantages et les inconvénients du nano-fluide .....	14
I.3.2.5 Domaine d'applications des nano-fluides .....	15
<b>Chapitre II : Géométries-modèles mathématiques</b> .....	<b>18</b>
II.1 Description de la forme géométrique choisi.....	18
II.2 Hypothèses simplificatrices .....	19

II.3	Equations de transport bidimensionnelles .....	20
II.4	Les conditions initiales et aux limites à l'état .....	21
<b>Chapitre III</b>	<b>: Méthode Numérique .....</b>	<b>23</b>
III.1	Notion générale sur la méthode des volumes finis .....	23
III.2	Etapas de résolution par la méthode des volumes finis .....	24
III.2.1	Maillage .....	24
III.2.2	Discretisation.....	25
III.3	Détails numériques utilisés dans ce travail .....	29
III.3.1	GAMBIT .....	29
III.3.2	FLUENT .....	30
<b>Chapitre IV</b>	<b>: Résultats et discussion .....</b>	<b>33</b>
IV.1	Choix du maillage .....	34
IV.2	Validation du code .....	35
IV.3	Résultats .....	37
IV.3.1	Effet du nombre de Rayleigh.....	37
IV.3.2	L'effet de l'emplacement de source de chaleur .....	40
IV.3.3	Effet d'augmentation la longueur de la source chaude .....	45
IV.4	Le nombre de Nusselt moyenne.....	46
IV.5	La fraction volumique de nano-fluide.....	47
IV.6	La température .....	48
IV.7	La vitesse .....	48
IV.8	La comparaison entre l'eau et nano-fluide.....	49
Conclusion générale .....		53
Annexe.....		54
Bibliographie .....		57

## Liste des figures

<b>Figure I.1</b> : Schéma du phénomène de transfert de chaleur par convection.....	7
<b>Figure II.1</b> : schéma de principe du modèle physique.....	19
<b>Figure II.2</b> : Schématisation des conditions aux limites du problème adimensionnel.....	22
<b>Figure III.1</b> : Schéma du volume de contrôle dans le cas bidimensionnel.....	25
<b>Figure III.2</b> : Organigramme de l'algorithme SIMPLE.....	28
<b>Figure III.3</b> : l'interface de Gambit.....	29
<b>Figure III.4</b> : maillage de (50*50).....	30
<b>Figure III.5</b> : l'interface du fluent.....	31
<b>Figure IV. 1</b> : La création de la géométrie de la cavité dans le Gambit.....	33
<b>Figure IV.2</b> : Indépendance du maillage pour le Profil de la vitesse.....	34
<b>Figure IV.3</b> : Indépendance du maillage pour le Profil de la température.....	34
<b>Figure IV.4</b> : Comparaison des isothermes et des contours de la fonction de courant.....	35
<b>Figure IV.5</b> :Lignes de courant pour différentes valeurs du nombre de Rayleigh. $Pr = 6.2$ , $D=0,5m$ et $B=0.4$ .....	38
<b>Figure IV.6</b> :les isothermes pour différentes valeurs du nombre de Rayleigh. $Pr = 6.2$ , $D=0,5m$ et $B=0.4$ .....	39
<b>Figure IV.7.a</b> : Lignes de courant et isothermes relatives de nano-fluide pour différentes valeurs du nombre de Rayleigh et la source à droite. $Pr = 6.2$ , $B=0.25$ .....	41
<b>Figure IV.7.b</b> : Lignes de courant et isothermes relatives de l'eau pour différentes valeurs du nombre de Rayleigh et la source à droite. $Pr = 6.2$ , $B=0.25$ .....	42
<b>Figure IV.8.a</b> : Lignes de courant et isothermes relatives de nano-fluide pour différentes valeurs du nombre de Rayleigh et la source à gauche. $Pr = 6.2$ , $B=0.25$ .....	43
<b>Figure IV.8.b</b> : Lignes de courant et isothermes relatives de l'eau pour différentes valeurs du nombre de Rayleigh et la source à gauche. $Pr = 6.2$ , $B=0.25$ .....	44
<b>Figure IV.9</b> :Lignes de courant et isothermes pour différentes valeurs de l'étendue de la source de chaleur. $Ra = 10^6$ , $\phi = 1$ .....	45

<b>Figure IV.10:</b> les lignes du courant des particules dans la cavité ( $\varnothing = 0.1$ Ra= $10^4$ ).....	46
<b>Figure IV.11:</b> le nombre de Nu pour différentes valeurs du nombre de Rayleigh.....	47
<b>Figure IV.12:</b> le nombre de Nu pour l'eau et nano-fluide, différentes valeurs du nombre de Rayleigh.....	47
<b>Figure IV.13 :</b> nombre de Nusselt pour différence valeurs de fraction volumique, nano-fluide à $10^6$ .....	48
<b>Figure IV.14:</b> la température pour l'eau et nano-fluide, différentes valeurs du nombre de Ra Rayleigh. ....	48
<b>Figure IV.15:</b> la vitesse pour l'eau et nano-fluide, différentes valeurs du nombre de Rayleigh.....	49
<b>Figure IV.16:</b> Lignes de courant et isothermes relatives pour différentes valeurs du nombre de Rayleigh. Pr = 6.2, D= 0,5met B=0.4.....	50
<b>Figure IV.17:</b> Lignes de courant et isothermes relatives pour différentes valeurs du nombre de Rayleigh et la source à droite. Pr = 6.2, B=0.25.....	51
<b>Figure IV.18:</b> Lignes de courant et isothermes relatives pour différentes valeurs du nombre de Rayleigh et la source à gauche. Pr = 6.2, B=0.25.....	52

## Liste des tableaux

<b>Tableau I.1</b> : Conductivité thermique de divers fluides de base et matériaux à 20°C .....	8
<b>Tableau II.1</b> : Propriétés thermo physiques de l'eau et des nano-fluides .....	18
<b>Tableau III.1</b> : schéma de discrétisations.....	31
<b>Tableau III.2</b> : les valeurs de sous relaxation.....	32
<b>Tableau IV.1</b> : Les propriétés de l'eau et le nano-fluide (Cu-eau).....	36
<b>Tableau IV.2</b> : Les propriétés de nano-fluide (Cu-eau) pour $\varnothing=0.05$ .....	36
<b>Tableau IV.3</b> : Les propriétés de nano-fluide (Cu-eau) pour $\varnothing=0.2$ .....	36

## Nomenclature

$b$  : longueur de la source de chaleur [m].

$B$  : longueur adimensionnelle de la source de chaleur ( $b/L$ ).

$d$  : la distance entre la source de chaleur et la paroi gauche [m].

$D$  : la distance adimensionnelle entre la source de chaleur et la paroi gauche ( $d/L$ ).

$T$  : Température [K].

$T_s$  : température de la source [K].

$T_0$  : température de la référence [K].

$T_\infty$  : Température de l'entourage [K].

$L$  : longueur de la cavité [m].

$Pr$  : Nombre de Prandtl.  $pr = \frac{\nu}{\alpha}$  .

$Nu$  : nombre de Nusselt.  $Nu = \frac{hL}{k_f}$  .

$Ra$  : Nombre de Rayleigh.  $Ra = \frac{g \beta L^3 (T_h - T_c)}{\nu \alpha}$  .

$B$  : longueur de la source de chaleur [m].

$g$  : Accélération de pesanteur [ $m \cdot s^{-2}$ ].

$h$  : coefficient d'échange convectif [ $W/m^2 \cdot K$ ].

$t$  : Temps [s].

$C_p$  : Chaleur spécifique à pression constante [ $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ ].

$V$  : volume [ $m^3$ ].

$m$  : la masse [kg].

$q''$  : la quantité de chaleur de la source par unité de surface [ $W/m^2$ ].

$S_\Phi$  : Terme source.

$K$  : la conductivité thermique [ $w \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ].

$f_x$  : force de volume suivant la direction X [N]

$f_y$  : force de volume suivant la direction Y [N]

$u, v$  : les composants de vitesse dans la direction des  $x, y$  [ $ms^{-1}$ ].

$U, V$  : les composants adimensionnelle de vitesse ( $uL/\alpha_f, vL/\alpha_f$ ).

$x, y$  : Coordonné cartésienne [m].

$X, Y$  : coordonnées adimensionnelle ( $x/L ; y/L$ ).

$\Delta x$  : variation de  $x$ . [m].

$\Delta y$  : variation de  $y$  [m].

**Symboles grecs :**

$\alpha$  : Diffusivité thermique [ $\text{m}^2.\text{s}^{-1}$ ].

$\beta$ : Coefficient d'expansion thermique à pression constante [ $\text{K}^{-1}$ ].

$\mu$  : Viscosité dynamique [ $\text{kg. m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ ].

$\nu$  : Viscosité cinématique [ $\text{m}^2.\text{s}^{-1}$ ].

$\rho$  : Masse volumique [ $\text{kg. m}^{-3}$ ]

$\psi$ : Fonction de courant adimensionnelle.

$\Delta T$  : la différence de température.

$\theta$  : Température adimensionnelle.

$\Omega$  : vorticité adimensionnelle.

$\emptyset$  : fraction volumique.

$\Phi$  : variable dépendante.

**Les indices :**

nf : nanofluide.

p : particule.

f : fluide de base.

c : chaude.

F : froid.

max: maximale.

Rouge : nanofluide.

Vert : eau.

Orange : chaude.

Bleu : Froid.

i : suivant la direction x.

j : suivant la direction y.

n : indice d'itérations.

\* : valeur estimée.

' : indice de la correction ou les fluctuations.