

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Installations Energétiques et Turbomachines

Par :

MALKI Amira

TAZDAIT Feriel

Thème

**Ecoulement des fluides non Newtonien dans un canal en présence
d'une source de chaleur**

Soutenu 27/06/2024 devant le jury composé de :

Mr. M. M'HAMDI	Président
Mr. M.ADNANI	Rapporteur
Mr. F.MENDIL	Examineur

Année Universitaire 2023-2024

Remerciements

Tout d'abord on remercie le Dieu de nous avoir donné la santé, le courage et la volonté de faire ce modeste travail.

*Ensuite, on tient à remercier vivement notre encadrant **Mr M. ADNANI** pour la qualité de son encadrement, sa patience, sa disponibilité et pour nous avoir guidé tous au long de la réalisation de ce travail.*

*Nous adressons aussi nos remerciements les plus sincères à notre chef de département **Mr A. BENSLIMANE**.*

*On remercie également **Mr M. M'HAMDI** qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de jury et **Mr F. MENDIL** d'avoir accepté de faire partie du jury et d'examiner notre travail.*

On remercie chaleureusement nôtres familles.

Par Amira et Ferial.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents pour leurs encouragements, leurs sacrifices et leurs prières qui m'ont éclairé le chemin tout au long de mes études.

A mes chers deux frères, mes très chères sœurs, particulièrement Nora et Tonton Brahim pour leurs aide et leurs encouragement ; sans oublier mes adorables nièces et neveux qui m'ont fait apprécier la vie et comblé d'amour.

A ma chère amie Cilya pour son soutien moral, Sara pour son aide, je vous dis merci.

A ma collègue Feriel qui m'a accompagné durant l'élaboration de ce travail.

A moi-même pour avoir endurée et surpassée tous les obstacles durant mon cursus.

A tous mes amis et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.

Amira

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à ma chère mère et mon cher père qui ont dédié leur vie pour moi.

A mes frères, ma sœur Nesrine, mon ami, ma tante maternelle ainsi que ma cousine qui ont contribué pour que ce travail soit possible, je vous dis merci.

A mes ami(e)s et ma collègue Amira et à toute personne que j'aime.

Feriel

Sommaire

Remerciements	i
Dédicaces	ii
Sommaire	iv
Liste des figures	viii
NOMENCLATURE	x
Introduction Générale.....	1
Chapitre I : Généralités et étude bibliographique	
I.1 Introduction.....	3
I.2 Classification des fluides suivant leurs comportements	3
I.2.1 Fluide newtonien.....	3
I.2.2 Fluide non newtonien	4
I.3 Le Comportement des fluides non newtoniens	4
I.3.1 Les fluides visqueux indépendants du temps	5
I.3.1.1 Les fluides rhéofluidifiants ou pseudo-plastiques.....	5
I.3.1.2 Les fluides rhéoépaississants ou dilatants.....	6
I.3.1.3 Les fluides à seuil ou fluides plastiques.....	6
a. Les fluides de Bingham	6
b. Les fluides d’Hershel-Bulckley	7
I.3.2 Les fluides visqueux dépendants du temps.....	7
I.3.2.1 Les fluides thixotropes.....	8
I.3.2.2 Les fluides anti-thixotropiques	8

I.4 Les fluides viscoélastiques.....	8
I.5 Les Rhéogrammes.....	9
I.6 Les Modèles Rhéologiques	9
I.6.1 Le Modèle loi de puissance.....	9
I.6.2 Le Modèle de Bingham.....	10
I.6.3 Le Modèle de Herschel-Bulkley.....	10
I.6.4 Le Modèle de Cross	10
I.7 Synthèse bibliographique.....	11
I.8 Conclusion	19

Chapitre II : Positionnement du problème

II.1 Introduction	21
II.2 Description du problème	21
II.2.1 Géométrie étudié	21
II.3 Hypothèses simplificatrices	22
II.4 Formulation du problème.....	23
II.4.1 Equations gouvernantes dimensionnelles	23
II.4.2 Les conditions aux limites dimensionnelles.....	25
II.4.3 Les équations sous forme adimensionnelles.....	25
II.4.4 Les conditions aux limites adimensionnelles.....	27
II.5 Les Nombres adimensionnels	27
II.5.1 Nombre de Reynolds	27
II.5.2 Nombre de Grashof.....	28

II.5.3 Nombre de Hartmann.....	28
II.5.4 Nombre de Prandtl.....	28
II.5.5 Nombre de Nusselt	29
II.5.6 Les corrélations de nombre de Nusselt.....	29
II.6 Méthode Numérique	30
II.6.1 Méthodes des différences finies.....	30
II.6.2 Méthodes des éléments finis	30
II.6.3 Méthodes des Volumes finis	30
II.6.4 Principe de la méthode des volumes finis.....	32
II.7. Conclusion.....	32

Chapitre III : Résultats et Discussion

II.1 Introduction	34
III.2 Choix et Test du maillage.....	34
III.3 Validation des résultats	35
III.4 Résultats et discussion	38
III.4.1 Influence du nombre de Grashof	38
a. Champs d'écoulement	39
b. Champs thermique	40
III.4.2 Influence de nombre de Nusselt avec la fraction volumique	41
III.4.3 Influence du nombre de Hartmann	42
III.4.4 Influence du nombre de Reynolds.....	43
Conclusion Générale	45
Références Bibliographiques.....	47
Résumé	49

Abstract 49

Liste des figures

Figure I. 1: Comportement d'un fluide newtonien [1]	3
Figure I. 2 : Classification des fluides non-newtoniens [2].....	4
Figure I.3 : Allure des courbes d'écoulement en contrainte des principaux types de fluides indépendant du temps visqueux [3].....	5
Figure I.4 : Allure des courbes d'écoulement en viscosité des principaux types de fluides purement visqueux [6].....	7
Figure I.5 : Comportement d'un fluide dépendant du temps [7].....	8
Figure I.6 : Rhéogramme de quelques catégories de fluides [4]	9
Figure I.7: schéma d'une cavité carrée en présence d'un bloc isotherme [9]	11
Figure I.8: Canal bidimensionnel avec une cavité ouverte sur la paroi inférieure [10]	12
Figure I.9: Canal horizontal contenant des blocs chauffés en présence d'un écoulement pulsatoire [11]	12
Figure I.10 : Canal contenant un seul obstacle Chauffé [12]	13
Figure I.11: Configuration étudiée par Samir Houat et al [13]	13
Figure I.12 Canaux horizontal et vertical contenant des composants électroniques [14]	14
Figure I.13: Canal Horizontal contenant deux composants électroniques [15]	14
Figure I.14: Domaine de calcul et conditions aux limites utilisées par Laidoudi H et al [16].	15
Figure I.15: Le problème étudié par [17]	15
Figure I.16 : Géométries des écoulements [18].....	16
Figure I.17: configuration d'écoulement, (a) un seul bloc poreux, (b) deux blocs poreux. [19]	17
Figure I.18 : Une vue schématique de la cavité considérée [20].....	17
Figure I.19: Domaine physique d'Ismaël et al [21]	18
Figure I.20: schéma du problème [22]	18
Figure I.21 : Schéma du modèle et système de coordonnées [23]	19
Figure II.1: Géométrie du problème.....	21

Figure II.2: Volume de contrôle bidimensionnel.....	31
Figure III. 1 :L'influence de maillage sur le nombre de Nusselt moyen.....	34
Figure III. 2: Géométrie du problème A.W. Islam et al. [9]	35
Figure III. 3 Les lignes de courants pour différents Ri.	36
Figure III. 4 : Les lignes isothermes pour différents Ri.	37
Figure III. 5 : variation de Nu en fonction de l'indice (n) pour différents Gr.....	38
Figure III. 6: Lignes de courants pour différents indices de comportement (n) à Re=50 et Gr = 10 ³	39
Figure III. 7: Les lignes isothermes pour différents indices de comportement (n) à Re=50 et Gr = 10 ³	40
Figure III. 8: variation de Nu en fonction de fraction volumique pour différents Gr.	41
Figure III. 9: variation de Nu en fonction de Gr pour différents Ha.	42
Figure III. 10: variation de Nu en fonction de la fraction volumique pour différents Re.	43

NOMENCLATURE

Symboles	Définition	Unité (SI)
B	: Intensité du champ magnétique	[-]
Cp	: Chaleur spécifique à pression constante	J. kg ⁻¹ . K ⁻¹
g	: Accélération de la pesanteur	m. s ⁻²
h	: Coefficient de transfert de chaleur par convection	W. m ⁻² . K ⁻¹
L	: Largeur dimensionnelle du canal	m
H	: Hauteur du canal	m
P	: Pression dimensionnelle	Pa
T	: Température dimensionnelle	K
T ₀	: Température de référence	K
T _{ff}	: Température de ferrofluide	K
T _s	: Température de bloc solide	K
T _c	: Température chaude	K
ΔT	: Différence de température	K
t	: Temps dimensionnel	s
u . v	: Composantes des vitesses dimensionnelles	m . s ⁻¹
x . y	: Coordonnées cartésiennes dimensionnelles	m
n	: Indice de l'écoulement	[-]
m	: Le coefficient de consistance	[-]
U _f	: La vitesse d'écoulement de fluide à l'entrée de canal	m. s ⁻¹
τ	: Deuxième invariant du tenseur des contraintes	Pa
τ ₀	: Seuil d'écoulement	Pa
σ _f	: Conductivité électrique de fluide	[-]
σ _{ff}	: Conductivité électrique de ferrofluide	[-]

q	: La densité de flux de chaleur	[-]
Nu	: Nusselt	[-]
Nu_{moy}	: Nusselt moyen	[-]

Symboles grecs

α	: Diffusivité thermique	$m^2 \cdot s^{-1}$
β	: Coefficient d'expansion thermique à pression constante	K^{-1}
θ_{ff}	: Température adimensionnelle de ferrofluide	K
θ_s	: Température adimensionnelle de solide	K
k	: La conductivité thermique	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
k_s	: La conductivité thermique de solide	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
k_f	: La conductivité thermique de fluide	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
k^*	: La conductivité thermique équivalente	[-]
μ_a	: La viscosité apparente	[-]
μ_a^*	: La viscosité apparente sans dimension	[-]
μ	: Viscosité dynamique	$Pa \cdot s^{-1}$
μ_0	: Viscosité de cisaillement nul	$kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$
μ_∞	: Viscosité de cisaillement infini	$kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$
μ_p	: Viscosité plastique	$kg \cdot m^{-1}$
$\dot{\gamma}$: Vitesse de cisaillement	s^{-1}
ρ	: Masse volumique	$kg \cdot m^{-3}$
ρ_{ff}	: Masse volumique de ferrofluide	[-]

Nombres adimensionnels

Pr	: Nombre de Prandtl
Gr	: Nombre de Grashof
Re	: Nombre de Reynolds
Ha	: Nombre de Hartmann

Introduction Générale

Introduction Générale

La dynamique des fluides non newtoniens constitue un domaine d'étude crucial dans de nombreux domaines d'ingénierie, allant de l'industrie alimentaire à la géophysique. Dans ce contexte l'écoulement de ces fluides dans des canaux, sous l'influence de gradients thermiques, revêt une importance particulière. Cette étude vise à comprendre les mécanismes sous-jacents de l'écoulement de fluide non newtonien dans les configurations de canaux, où la présence de chaleur peut modifier significativement leurs propriétés rhéologiques et leur comportement d'écoulement. Cette introduction explore les principaux concepts, défis et applications liés à cette problématique, offrant ainsi un aperçu des enjeux fondamentaux et pratiques associés à ce domaine de recherche.

Le but de notre travail est d'étudier par simulation numérique l'écoulement d'un fluide non newtonien pour refroidir la source de chaleur montée à l'intérieur du canal. Le présent travail comprend trois chapitres et une conclusion générale.

Le premier chapitre vise à fournir des notions générales sur la rhéologie, ainsi que les résultats d'une recherche bibliographique sur les fluides non newtoniens.

Le deuxième chapitre contient la géométrie du problème et se concentre sur la formulation mathématique des équations gouvernant l'écoulement des fluides non newtoniens tels que les équations de continuité, équations de mouvements et d'énergies ainsi que les méthodes numériques.

Le troisième chapitre explore les résultats de simulation numérique de l'écoulement des fluides non newtoniens dans un canal contenant une source de chaleur. Dans la section III.2 nous présenterons les résultats des tests du maillage, la validation du code de calcul à l'aide des données puisées de la littérature est présentée dans la section III.3. La section III.4 contient les résultats sous forme de graphes et leurs discussions, les lignes de courants et isothermes.

Nous terminons par une conclusion générale dans laquelle nous dégagerons les principaux résultats obtenus au cours de cette étude.

Chapitre I
Généralités et étude
bibliographique

I.1 Introduction

L'objet de la rhéologie est de caractériser le comportement mécanique des matériaux en écoulement. Cette caractérisation est recherchée généralement sous la forme d'une relation mathématique entre les contraintes et les déformations du matériau que l'on appelle loi de comportement. On prendra garde que la rhéologie ne s'intéresse pas uniquement aux fluides mais à tous les matériaux, car tout matériau est susceptible de s'écouler.

Ce chapitre a pour but de rappeler les principes et les notions fondamentales pour comprendre le comportement des fluides newtonien ou non newtonien.

I.2 Classification des fluides suivant leurs comportements

On distingue les fluides newtoniens, les fluides non newtoniens indépendants ou dépendants du temps et les fluides viscoélastiques.

I.2.1 Fluide newtonien

On appelle un fluide Newtonien quand la relation entre la contrainte de cisaillement τ et la vitesse de cisaillement $\dot{\gamma}$ est linéaire. Si on trace τ en fonction de $\dot{\gamma}$ on obtient une droite avec une pente égale à la viscosité dynamique μ du fluide. Donc la constante de proportionnalité est appelé viscosité dynamique d'un fluide Newtonien. De plus, pour ce type de fluide la viscosité est indépendante du temps pendant lequel le fluide cisailé. [1]

$$\tau = \mu \dot{\gamma} \quad (\text{I.1})$$

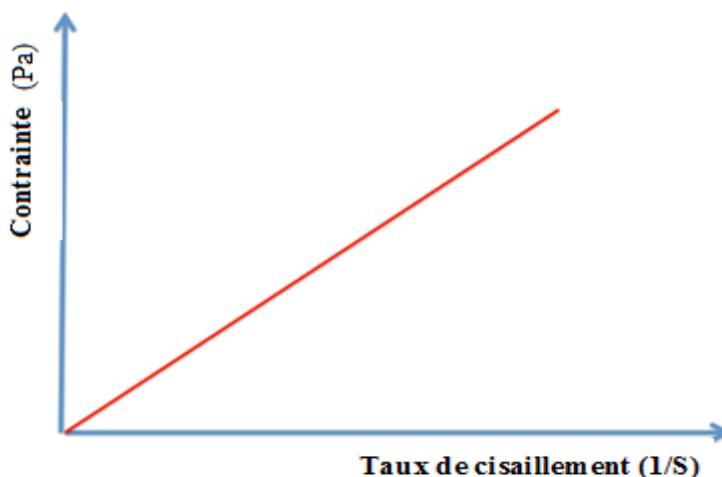


Figure I.1: Comportement d'un fluide newtonien [1].

I.2.2 Fluide non newtonien

Un fluide est dit non newtonien lorsque sa courbe d'écoulement est non linéaire ; c'est-à-dire sa vitesse de déformation (ou taux de cisaillement) n'est pas directement proportionnelle à la force qu'on lui applique. En rhéologie un fluide non newtonien correspond à un fluide dont la viscosité dépend du taux de cisaillement $\dot{\gamma}$. Dans ce cas la viscosité μ n'est pas constante, à chaque valeur de couple ; vitesse de cisaillement, contrainte de cisaillement ($\dot{\gamma}, \tau$) correspond une valeur de la viscosité μ . Les fluides non newtoniens sont des fluides complexes comme les fluides agro-alimentaire, etc. [1]

I.3 Le Comportement des fluides non newtoniens

Il existe plusieurs types de fluides non newtonien avec différentes réactions sous contraintes de cisaillement et durée d'application de contrainte. Ainsi peut-on classifier ces types de fluides en trois types généraux : les fluides visqueux indépendants du temps, les fluides visqueux dépendant du temps et les fluides viscoélastiques.

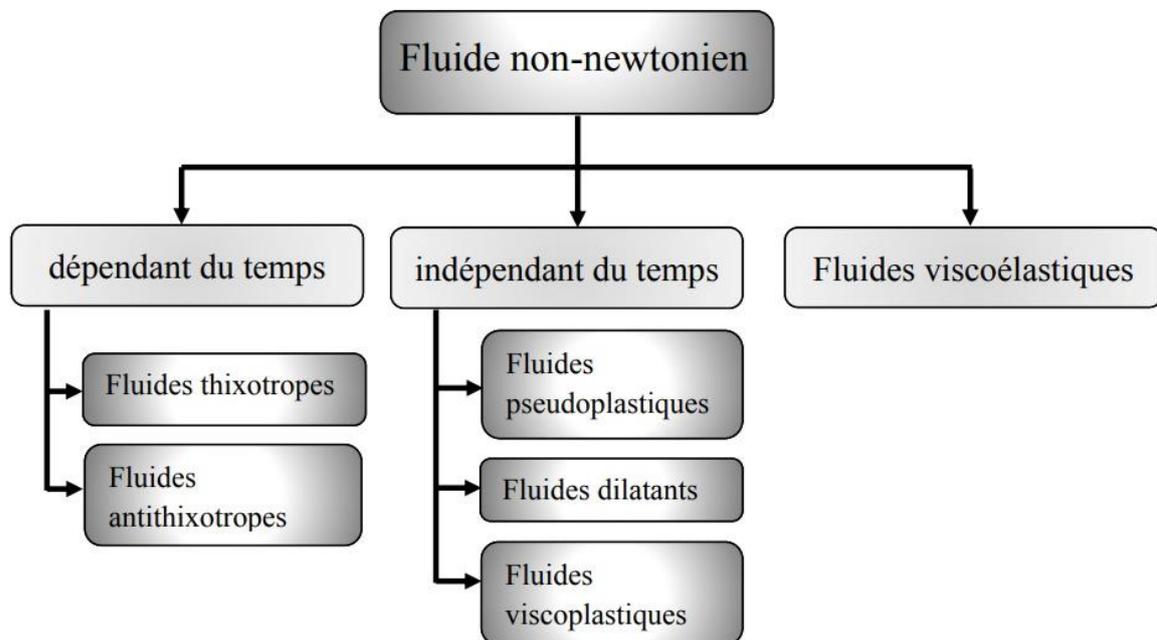


Figure I. 2 : Classification des fluides non-newtoniens [2].

I.3.1 Les fluides visqueux indépendants du temps

Ce type de fluide est caractérisé par un comportement indépendant du temps, et pour n'importe quelle vitesse de déformation $\dot{\gamma}$ il y a une fonction univoque de la contrainte de cisaillement τ . Ces fluides peuvent se classer en trois catégories ;

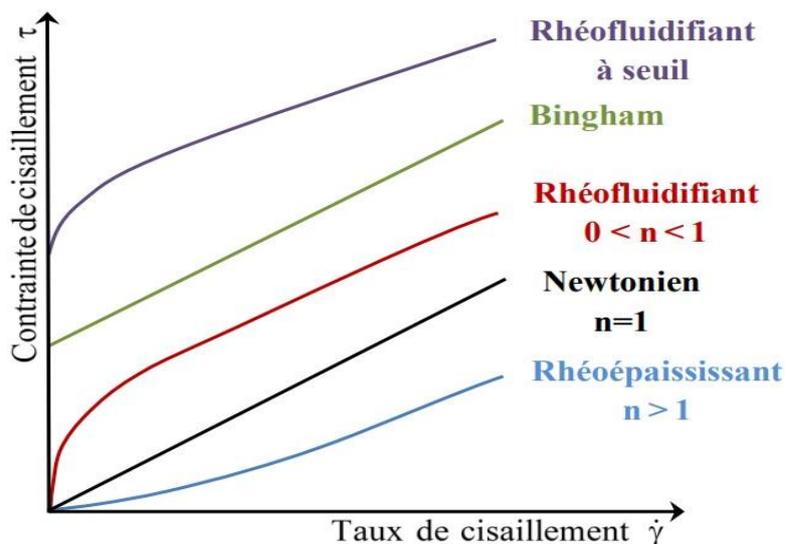


Figure I. 3 : Allure des courbes d'écoulement en contrainte des principaux types de fluides indépendants du temps visqueux [3].

I.3.1.1 Les fluides rhéofluidifiants ou pseudo-plastiques

Ce sont des fluides qui sont caractérisés par l'augmentation du taux de cisaillement, ce qui se traduit par une diminution de leur viscosité, ils sont appelés fluides pseudo-plastiques ou fluides rhéofluidifiants, s'observe sur les pétroles, certaines peintures, etc. [4]

Le modèle rhéologique le plus souvent utilisé est le modèle d'Ostwald-De Waele ou la loi de puissance, il est donné par :

$$\tau = k\dot{\gamma}^n \quad \text{Avec } n < 1 \quad (\text{I.2})$$

- k : indice de consistance.
- n : indice de comportement

La viscosité s'écrit se forme : $\mu = k\dot{\gamma}^{n-1}$

I.3.1.2 Les fluides rhéoépaississants ou dilatants

Ces fluides se rencontrent beaucoup plus rarement industriellement, aussi appelés les fluides dilatants inverse au comportement pseudo-plastique. La viscosité augmente lorsque le taux de cisaillement augmente [4]. Les fluides rhéoépaississants peuvent être modélisés par une loi de puissance dite loi d'Ostwald :

$$\tau = k\dot{\gamma}^n \quad \text{Avec} \quad n > 1 \quad (\text{I.3})$$

- k : indice de consistance
- n : indice de comportement.

I.3.1.3 Les fluides à seuil ou fluides plastiques

Un fluide à seuil est par définition un matériau qui s'écoule uniquement lorsque les contraintes qui lui sont appliquées sont suffisantes pour vaincre les forces d'interactions qui le maintiennent à l'équilibre. Dès lors que la contrainte devient plus grande que le seuil τ_s , il peut s'écouler comme un fluide newtonien ou visqueux.

Il existe plusieurs modèles décrivant le comportement rhéologique d'un fluide à seuil, le plus simple est le modèle de Bingham, aussi d'Herschel-Bulkley. [5]

a. Les fluides de Bingham

Ce modèle porte le nom d'Eugène Bingham qui en a donné l'expression mathématique. Les fluides plastiques idéals de Bingham sont des liquides qui ont besoin d'une contrainte critique pour s'écouler au-dessous de laquelle il n'y a aucun cisaillement possible et au-dessus de cette contrainte la courbe d'écoulement est une droite linéaire, qui s'écrit se forme :

$$\tau = \tau_0 + \mu_p \dot{\gamma} \quad (\text{I.4})$$

Avec :

- τ_0 : Contrainte seuil d'écoulement.
- μ_p : Viscosité plastique de Bingham.

b. Les fluides d'Hershel-Bulckley

La plupart des rhéogrammes des fluides viscoplastiques réel présentent un caractère rhéofluidifiant avec une contrainte critique, qui peut être représenté par la relation suivante :

$$\tau = \tau_0 + \mu_p \dot{\gamma}^n \quad (\text{I.5})$$

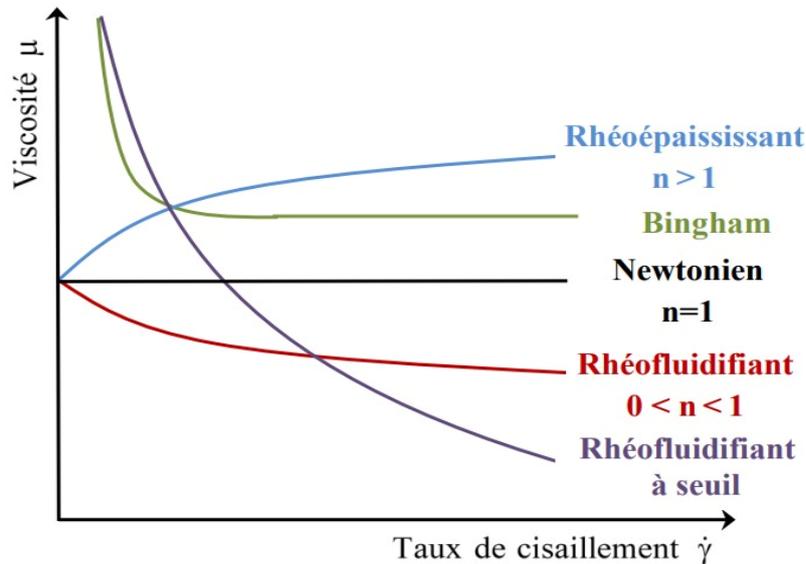


Figure I. 4 Allure des courbes d'écoulement en viscosité des principaux types de fluides purement visqueux [6].

I.3.2 Les fluides visqueux dépendants du temps

Lorsque la variation de la viscosité par rapport à la vitesse de cisaillement est superposée par une variation dépendante du temps de cisaillement, on parle donc de fluide à comportement dépendant du temps. On distingue deux catégories dans ce type de fluide :

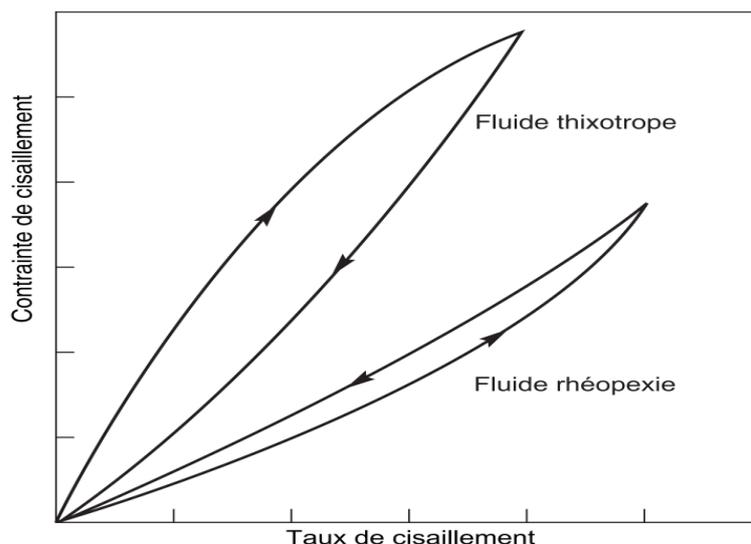


Figure I. 5 : Comportement d'un fluide dépendant du temps [7].

I.3.2.1 Les fluides thixotropes

Un matériau est dit thixotrope lorsque sa viscosité diminue avec le temps lorsqu'ils sont soumis à un cisaillement constant ou à une contrainte constante. À l'arrêt du cisaillement, la viscosité augmente avec le temps, ce qui indique une réversibilité du phénomène et le matériau regagne sa viscosité lorsque le cisaillement cesse. Une fois le cisaillement stoppé et après une période de repos, le fluide retrouve sa structure initiale (restructuration). De très nombreux fluides sont thixotropes : peintures, crèmes cosmétiques ou pharmaceutiques, produits alimentaires (yaourts, sauce tomate concentrée par exemple), sang, etc. [8]

I.3.2.2 Les fluides anti-thixotropiques

Appelé aussi rhéopexes sont plus rarement rencontrés que les fluides thixotropes, c'est le cas inverse des fluides thixotropiques. Ce sont des fluides pour lesquels la viscosité augmente sous cisaillement et diminue à l'arrêt du cisaillement. Ceci arrive lorsque, le fluide étant au repos. [5]

I.4 Les fluides viscoélastiques

Les fluides viscoélastiques sont une forme courante de fluide non Newtonien. Ils peuvent présenter une réponse qui ressemble à celle d'un solide élastique dans certaines circonstances ou la réponse d'un liquide visqueux dans d'autres circonstances. Cela veut dire que leur comportement est intermédiaire entre ces deux types de matériaux (fluide visqueux et solide élastique). En général, les fluides présentant ce comportement sont de nature macromoléculaire,

tels que les fluides polymériques utilisés pour fabriquer des produits en plastique, les produits alimentaires et les liquides biologiques tels que les liquides synoviaux présents dans les articulations.[5]

I.5 Les Rhéogrammes

Pour vérifier le caractère de newtonien ou non newtonien du fluide, il convient de déterminer sa rhéologie grâce à un rhéomètre. Cet appareil fournit des rhéogrammes permet d'identifier le comportement du fluide et de lui accoler un modèle rhéologique.

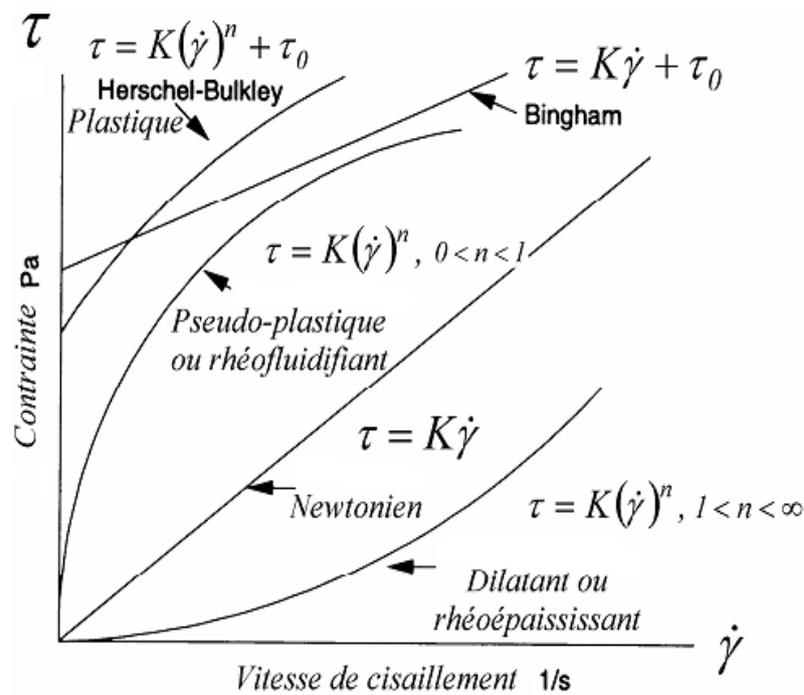


Figure I. 6 : Rhéogramme de quelques catégories de fluides [4].

I.6 Les Modèles Rhéologiques

Le comportement rhéologique des fluides peut être décrit par plusieurs modèles.

I.6.1 Le Modèle loi de puissance

Une des lois empiriques fréquemment utilisée en rhéologie pour les fluides visqueux incompressibles, Cette loi [Ostwald, 1923], [De Waele, 1923] appelée aussi loi de puissance ou loi pseudo-plastique, qui s'écrit se forme :

$$\tau = k\dot{\gamma}^{n-1}\dot{\gamma} \quad (\text{I.6})$$

- $\dot{\gamma}$: Le deuxième invariant du tenseur des taux de déformation.
- k : La consistance.
- n : Indice d'écoulement.

Selon les valeurs de l'indice d'écoulement, ces fluides peuvent présenter un comportement rhéofluidifiant lorsque ($n < 1$), rhéoépaississant ($n > 1$) ou newtonien pour ($n = 1$).

I.6.2 Le Modèle de Bingham

Le modèle de Bingham reste la représentation la plus simple d'un fluide à seuil, il s'écrit sous la forme :

$$\tau = \tau_0 + \mu_p \dot{\gamma} \quad (\text{I.7})$$

Où μ_p est la viscosité plastique.

I.6.3 Le Modèle de Herschel-Bulkley

Ce modèle découle d'une simple généralisation du modèle de Bingham, permet de décrire la plupart des fluides plastiques. [5] Il est décrit par la loi :

$$\tau = \tau_0 + k \dot{\gamma}^n \quad (\text{I.8})$$

Avec :

- τ : Contrainte seuil (Pa).
- n : indice d'écoulement.
- k : indice de consistance du fluide (Pa.s)

I.6.4 Le Modèle de Cross

La loi de Cross [Cross, 1965], tient compte de la viscosité à cisaillement nul et infini et de présenter le plateau newtonien à faible taux de cisaillement. Il s'écrit se forme :

$$\frac{\mu - \mu_\infty}{\mu_0 - \mu_\infty} = \frac{1}{1 + \lambda \dot{\gamma}^n} \quad (\text{I.9})$$

Avec :

- λ : le temps caractéristique de relaxation.
- μ_0 : la viscosité du palier newtonien à taux de cisaillement faible.

- μ_∞ : taux de cisaillement élevé.
- n : indice de comportement.

I.7 Synthèse bibliographique

L'étude de convection dans un écoulement en régime laminaire avec des conditions aux limites constantes (température ou flux de chaleur). A fait l'objet de nombreuses recherches expérimentales et numériques dans de nombreuses configurations géométriques au cours des dernières décennies, parmi lesquelles nous présentons quelques-unes que nous avons jugées proches de notre cas.

Islam et al. [9] Ont étudié numériquement par la méthode des volumes finis la convection mixte dans une cavité carrée entraînée par la paroi supérieure dont toutes les parois sont adiabatiques munie d'un bloc porté à une température chaude. Le transfert thermique est étudié en fonction des paramètres suivants : la dimension du bloc, sa position et le nombre de Richardson ($Ri = 0.1, 1, 10$). Les résultats obtenus montrent que le nombre de Nusselt moyen ne dépend que des dimensions du bloc et de nombre de Richardson, par contre la position du bloc n'en a aucune influence sur le transfert de chaleur.

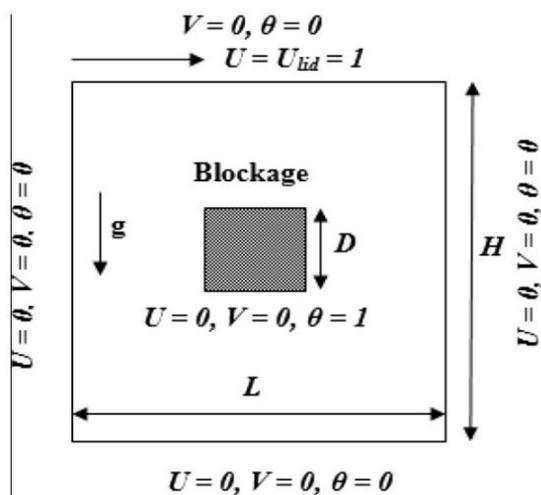


Figure I.7: schéma d'une cavité carrée en présence d'un bloc isotherme [9].

Leong et al. [10] ont étudié numériquement le transfert de chaleur résultant de la convection mixte d'un fond d'une cavité ouverte chauffée et soumise à un courant d'air externe pour les plages des valeurs du nombre de Reynolds et du nombre de Grashof de $1 \leq Re \leq 2000$ et $0 \leq Gr \leq 106$, respectivement, et pour différents rapports d'aspect ($A=0.5, 1,2$ et 4). Les résultats montrent que

les nombres de Reynolds et de Grashof influent considérablement sur la structure des cellules formées, Les auteurs ont montré aussi que le transfert de chaleur est approximé d'une part par la convection naturelle (à faibles nombres de Reynolds), et d'autre part par convection forcée (pour des nombres de Reynolds plus élevés), mais il est réduit en convection mixte où l'écoulement peut devenir instable.

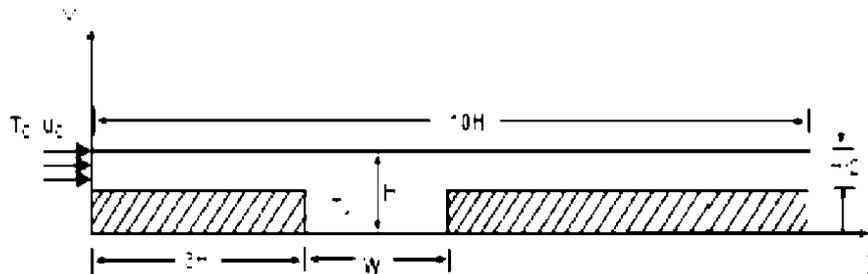


Figure I. 8: Canal bidimensionnel avec une cavité ouverte sur la paroi inférieure [10].

Kim et al. [11] Ont effectué une investigation numérique dans un canal contenant deux blocs chauffés d'un écoulement pulsatoire et des caractéristiques du transfert de chaleur qui l'accompagnent. A l'entrée du canal, l'écoulement est maintenu à une température uniforme T_c , animé d'une vitesse $U_i = U_0(1 + A \sin \omega \tau)$, (où U_0 est la vitesse d'un cycle de l'écoulement à l'entrée, A est l'amplitude d'oscillations de la vitesse d'entrée, ω la vitesse angulaire et τ est le temps). Les surfaces des blocs sont maintenues à une température constante T_h . Les résultats obtenus indiquent que la recirculation des écoulements derrière les blocs situés en aval et entre les blocs est affectée substantiellement par le nombre de Reynolds, par le nombre de Strouhal, $St = fH/U_0$, f étant la fréquence des oscillations, par l'amplitude de la pulsation et enfin par l'espace entre les blocs.

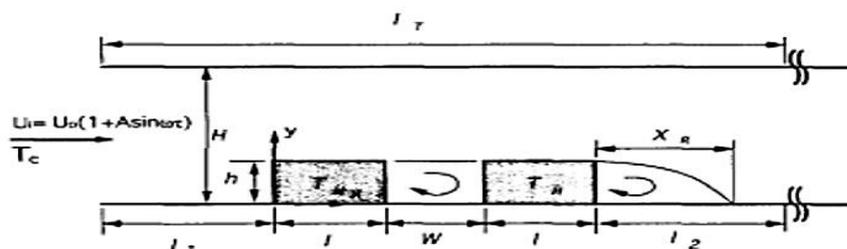


Figure I. 9: Canal horizontal contenant des blocs chauffés en présence d'un écoulement pulsatoire [11].

Young et Vafai [12] Ont fait une investigation numérique de la convection forcée pour un fluide compressible dans un canal muni d'obstacles chauffés et montés sur sa paroi inférieure (figure I.10). Ils ont étudié les effets du nombre de Reynolds, de la hauteur, de la largeur et de l'espacement des obstacles ainsi que de leur conductivité thermique. Les résultats montrent que tous ces paramètres ont des influences remarquables sur la variation du nombre de Nusselt moyen des composantes de la vitesse et de la distribution de la température au sein du fluid.

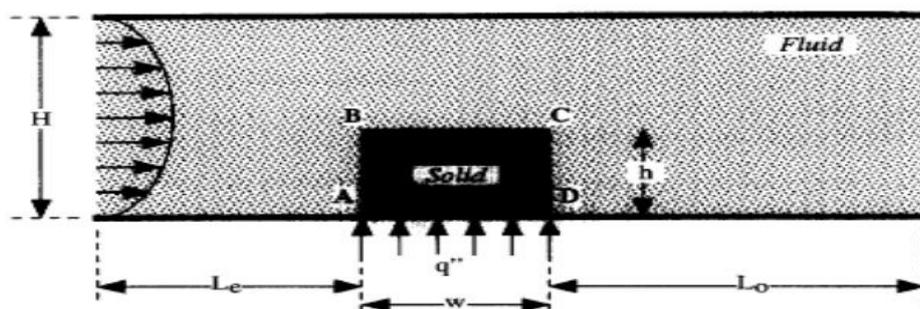


Figure I. 10: Canal contenant un seul obstacle Chauffé [12].

Samir Houat et al. [13] ont mené une étude numérique sur la convection mixte laminaire dans une cavité carrée ouverte, elle sera présentée ici. Pour la résolution de ce problème, la méthode de Boltzmann avec le modèle thermique de double population a été utilisée. Un code informatique a été développé pour déterminer l'ensemble de la structure de flux. Les résultats sont présentés sous forme de champs de vitesse et de température. Les résultats obtenus sont comparés à ceux obtenus par la méthode conventionnelle, en particulier méthode des volumes finis. Cela démontre une bonne concordance entre les deux méthodes y compris une bonne stabilité numérique et la capacité de gérer le transfert de chaleur globale par problèmes de convection.

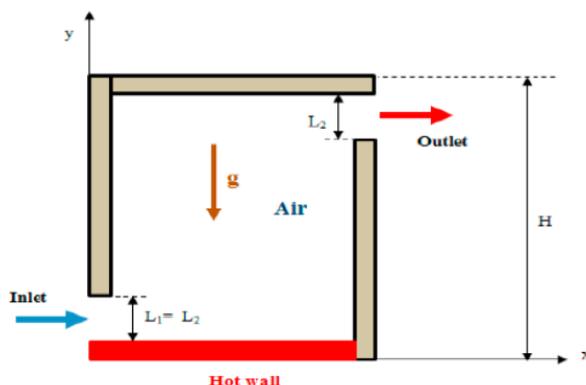


Figure I. 11: Configuration étudiée par Samir Houat et al [13].

Icoz et Jaluria [14] Ont élaboré une méthodologie pour la conception et l'optimisation des systèmes de refroidissement des équipements électroniques. Dans cette approche, les données expérimentales ou de modélisation numérique, notamment, le nombre de Reynolds et la dimension des composants ont été utilisés pour obtenir une conception acceptable et optimale. Deux configurations simples ont été utilisées pour démontrer cette approche, figure (I.12) Cette investigation montre qu'on peut utiliser les résultats qui permettent de réaliser des géométries adéquates et optimales dans le but d'avoir le meilleur dispositif de refroidissement des composants électroniques.

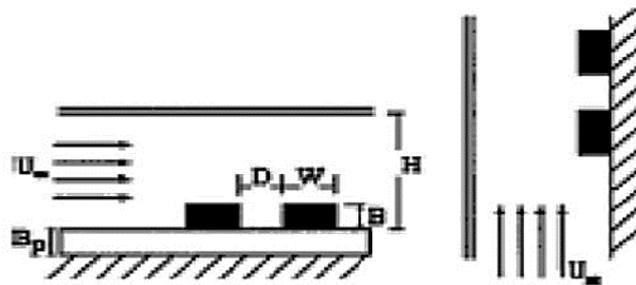


Figure I. 12: Canaux horizontal et vertical contenant des composants électroniques [14].

Adel et Rachid [15] ont étudié numériquement le refroidissement par convection mixte des composants électroniques montés dans un canal rectangulaire horizontal. Ils ont étudié l'effet de nombre de Richardson, l'effet de variation des dimensions de l'élément de blocage effet de la position de l'élément de blocage et ainsi que l'effet de blocage partiel de l'écoulement sur le transfert de chaleur. Ils ont trouvé que le transfert de chaleur augmente avec le nombre de Richardson et aussi lorsque un élément de blocage est utilisé .Il ont aussi trouvé que l'emplacement de l'élément de blocage entre les deux composants est très favorable pour l'amélioration de transfert de chaleur.

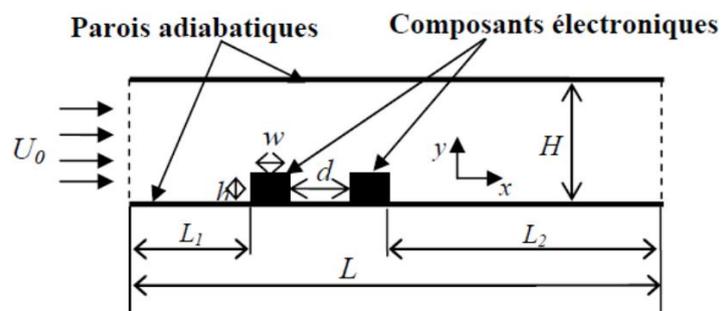


Figure I. 13: Canal Horizontal contenant deux composants électroniques [15].

Laidoudi H et al. [16] Le travail présente une simulation d'écoulement d'Oswald autour d'un cylindre carré chaud et confiné verticalement dans un canal plan. La configuration géométrique ressemble sensiblement celle étudiée expérimentalement par des littératures internationales. L'influence de l'indice de puissance des fluides d'Oswald et la flottabilité thermique sur le transfert thermique sont étudiés dans la plage des conditions suivantes : nombre de Reynolds ($Re = 10 - 40$), indice de puissance ($n = 0.4 - 1.2$), nombre de Richardson ($Ri = 0-0.8$), nombre de Prandtl ($Pr = 50$), et le rapport de blocage ($\beta = 0.2$). Les résultats obtenus montrent que la diminution de l'indice de puissance augmente le transfert de chaleur, et la présence de la flottabilité thermique fait disparaître complètement la zone de recirculation d'arrière obstacle.

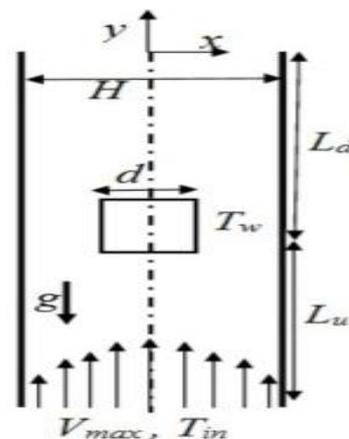


Figure I. 14: Domaine de calcul et conditions aux limites utilisées par Laidoudi H et al [16].

N. Van Tuan et al. [17] ont s'intéressés au transfert de chaleur d'un fluide non newtonien fortement thermodépendant en écoulement non isotherme entre deux plaques parallèles chauffées. On étudie, par voie numérique, l'influence des différents paramètres sur les évolutions de la couche limite thermique et du nombre de Nusselt. Les corrélations sont proposées pour calculer le transfert de chaleur dans deux cas de chauffage pariétal à densité de flux ou à température constante.

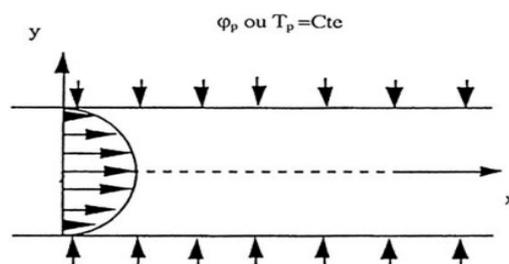


Figure I. 15: le problème étudié par [17].

P.P. Roy et al. [18] Ont examinés la performance thermique d'un fluide de loi de puissance pour une enceinte chauffée discrètement par un couvercle. Ce résultat numérique permet de déterminer le fluide caloporteur idéal pour une conception donnée, et de réduire ainsi les dépenses inutiles liées aux expériences. Les parois latérales de la chambre se déplacent à une vitesse constante dans des conditions ambiantes constantes. L'approche par éléments finis est utilisée pour résoudre les équations de Navier-Stokes et d'énergie. Une étude paramétrique est réalisée en faisant varier le nombre de Richardson (Ri) de $2 \times 10^{-3} \leq Ri \leq 105$ à un nombre de Reynolds ou de Grashof fixe dans différents cas et en les modifiant simultanément tout en conservant le nombre de Richardson, simultanément tout en maintenant le nombre de Richardson à l'unité. Dans tous les cas, l'indice de loi de puissance (n) est modifié dans la limite de $0,6 \leq n \leq 1,4$.

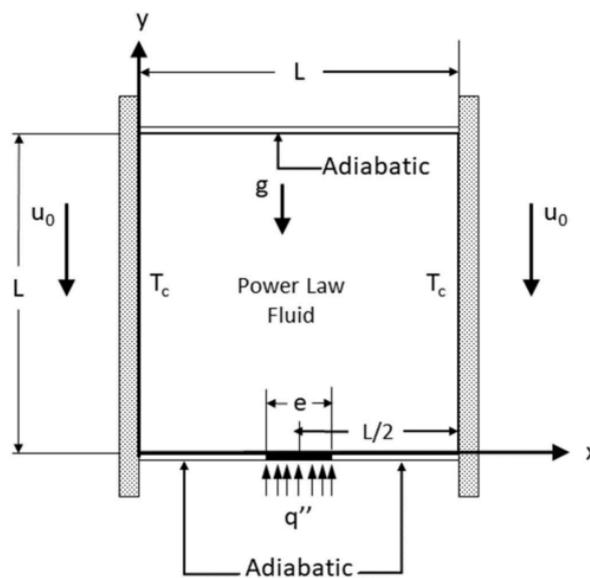


Figure I. 16 : Géométries des écoulements [18].

R. Nebbali et al. [19] Ont étudiés numériquement pour améliorer le transfert de chaleur dans un canal à plaques parallèles. Poreux des blocs sont insérés pour remplir partiellement le canal, qui est traversé par un fluide à loi de puissance. Le modèle de Darcy modifié de Brinkman-Forchheimer modifié pour les fluides de loi de puissance est utilisé dans la couche poreuse tandis que l'équation de Navier-Stokes est utilisée dans la couche poreuse. Les équations Navier Stokes sont utilisées dans la région claire du canal. Les résultats sont rapportés pour deux cas : (1) un canal avec un seul bloc poreux et (2) un canal avec deux blocs poreux montés alternativement au niveau des parois inférieure et supérieure du canal. Les effets combinés des deux blocs poreux et

les propriétés du fluide non newtonien sur les caractéristiques hydrodynamiques et thermiques de l'écoulement sont analysés.

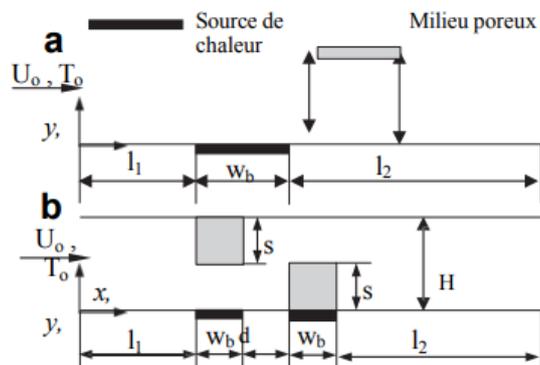


Figure I. 17 : configuration d'écoulement, (a) un seul bloc poreux, (b) deux blocs poreux [19].

Mahmoodi et Sebdani. [20] Un corps carré adiabatique est placé au centre de la cavité (figure I. 18). Les résultats indiquent que la taille du corps carré adiabatique placé au centre de la cavité a une grande influence sur l'amélioration du taux de transfert de chaleur à des nombres de Rayleigh élevés, et que le nombre moyen de Nusselt est une fonction décroissante de la fraction volumique des nanoparticules.

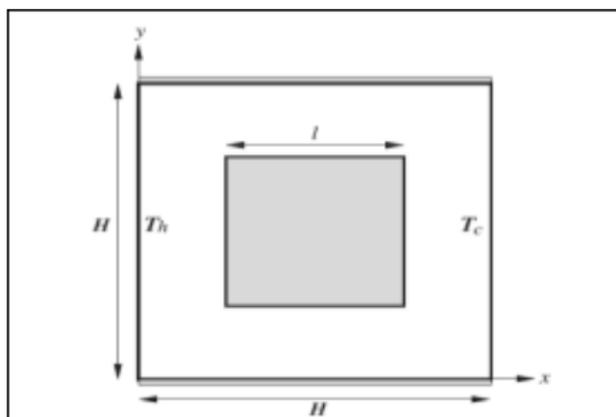


Figure I. 18: Une vue schématique de la cavité considérée [20].

Ismaël et al. [21] ont fait une étude sur la convection mixte dans une cavité carrée dont la cavité est doublement entraînée par les deux parois supérieures et inférieures et les paramètres étudiés sont : le déplacement des parois mobiles et le nombre de Richardson, ils ont montré que la convection est minimale pour des valeurs critiques du paramètre pareil du glissement.

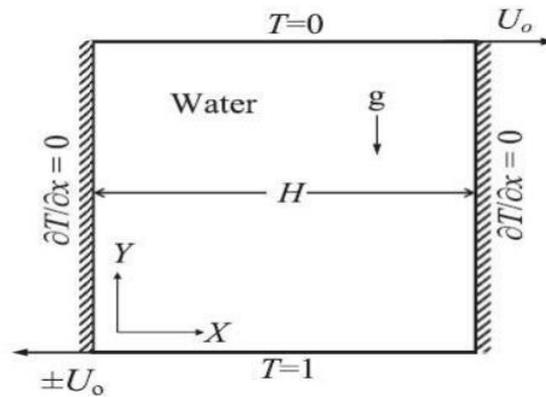


Figure I. 19: Domaine physique d'Ismaël et al [21].

N. Rehman et al. [22] ont examinés les caractéristiques de l'écoulement du fluide et du transfert de chaleur d'un nano-fluide subissant une convection mixte à l'intérieur d'une enceinte ventilée comportant divers obstacles de forme isopérimétrique. En ce qui concerne la cavité, l'orifice d'entrée est situé dans le coin inférieur gauche, tandis que l'orifice de sortie est situé dans le coin supérieur droit., ils ont utilisés la discrétisation par éléments finis. Plus précisément, une combinaison stable d'approximations cubiques et quadratiques ($P3/P2$) sur une grille hybride pour discrétiser les équations de base. L'étude examine l'influence des paramètres directeurs dans des plages spécifiées, y compris la fraction volumique des nanoparticules ($0\% \leq \phi \leq 10\%$), le nombre de Richardson ($0,01 \leq Ri \leq 5$) et la position des obstacles ($0,3 \leq C \leq 0,7$). L'ajout de nanoparticules à un liquide les rend plus aptes à conduire la chaleur, ce qui permet au liquide de transférer la chaleur plus efficacement. Les résultats indiquent que, dans tous les cas, les obstacles isothermes entraînent une augmentation plus importante du nombre de Nusselt moyen par rapport aux obstacles adiabatiques.

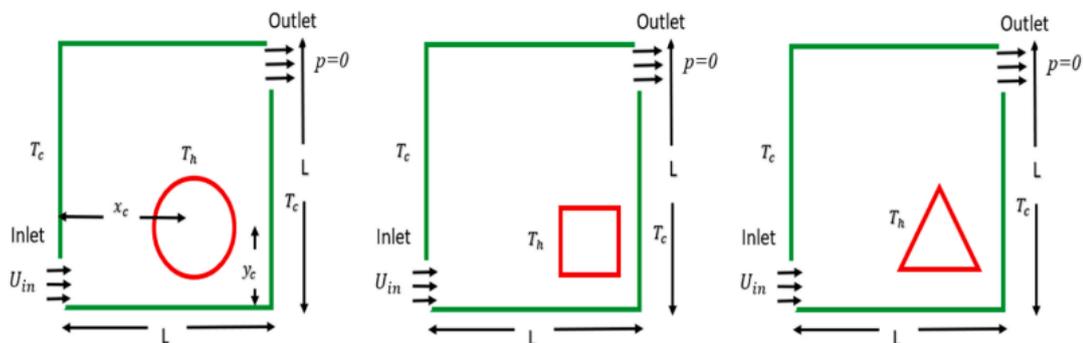


Figure I. 20: schéma du problème [22].

M.M. Islam et al. [23] ont utilisés la méthode de Boltzmann sur réseau (LBM) à temps de relaxation multiple (MRT) a été appliquée pour analyser numériquement la convection naturelle d'un ferrofluide non newtonien dans une enceinte dotée d'une plaque horizontale ou d'un radiateur qui n'est pas uniformément chauffé. Les parois gauche et droite de l'enceinte sont froides (T_c), tandis que les parois inférieure et supérieure sont supposées être adiabatiques. Les simulations à l'aide de modèles numériques sont effectuées pour une variété de variables sans dimension y compris les nombres de Rayleigh ($Ra = 104, 105, 106$), les nombres de Hartmann ($Ha = 0, 20, 40, 60, 80$), l'indice de comportement ($n = 0,6, 0,8, 1,0, 1,2, 1,4$), les angles d'inclinaison du champ magnétique ($\gamma = 0, \pi/4, \pi/2, 3\pi/4$), et les fractions maximales de volume de ferroparticules est de 6 % ($\phi = 0,06$). Les résultats numériques sont présentés sous forme d'isothermes, de lignes de courant, de vitesse, de température, de nombre de Nusselt moyen et de production d'entropie. L'étude a révélé que le Nu augmente avec l'augmentation du nombre de Rayleigh mais diminue avec l'augmentation des Ha , n et ϕ .

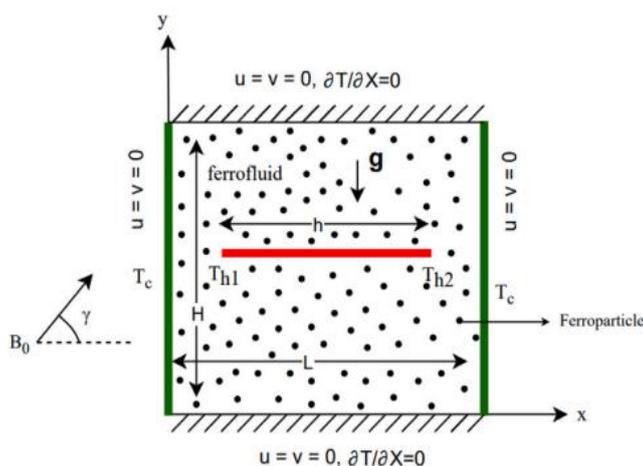


Figure I. 21: Schéma du modèle et système de coordonnées [23].

I.8 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté des généralités sur le phénomène physique étudié et une synthèse bibliographique focalisée sur l'écoulement et la convection des fluides newtoniens et non-newtoniens.

Suite à cette synthèse bibliographique, on constate que la revue de la littérature est riche par les travaux accumulés au cours de ces dernières années et ayant conduit à une imposante bibliographie riche et spécialisée. Notre étude s'inscrit donc pleinement dans l'axe de développement souhaitable, en ce qui concerne le domaine de la rhéologie par des nouvelles techniques utilisées dans la CFD basée sur l'analytique et des approches numérique.

Chapitre II

Positionnement du problème

II.1 Introduction

Dans ce deuxième chapitre nous présentons le problème physique régissant l'écoulement d'un fluide non-newtonien dans un canal. Aussi, nous exprimons une description du problème étudié en utilisant les équations de conservation de masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie. Ainsi les hypothèses simplificatrices et les conditions aux limites sous forme adimensionnelles.

II.2 Description du problème

II.2.1 Géométrie étudié

La configuration étudiée est un canal horizontal mené d'une source de chaleur uniforme. La hauteur et la largeur du canal sont (H) et (L). Les deux parois supérieures et inférieures sont supposés adiabatiques. A l'entrée du canal, le fluide pénètre avec une vitesse (U_0) et une température (T_f) à l'intérieur du canal pour refroidir la source de chaleur et un champ magnétique d'intensité (B) est appliqué selon la direction (x). Le problème considéré est schématisé sur la figure (II.1).

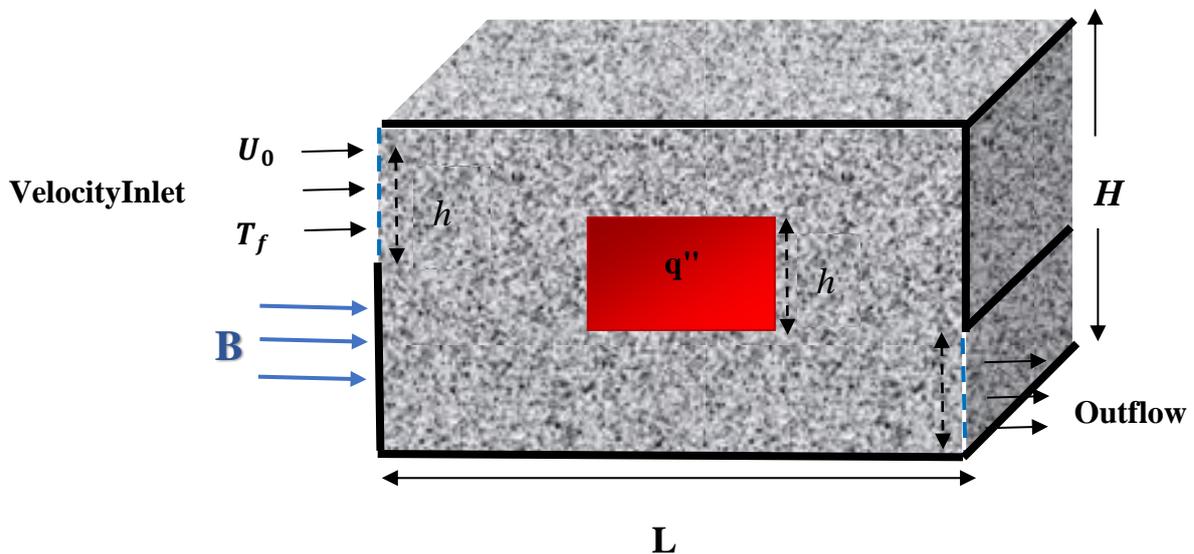


Figure II. 1: Géométrie du problème.

II.3 Hypothèses simplificatrices

Il est nécessaire d'effectuer certaines hypothèses afin d'établir un modèle mathématique simplifié qui décrit la physique de ce problème. A cet effet, les hypothèses simplificatrices sont ;

- Le régime d'écoulement est laminaire et permanent.
- L'écoulement est bidimensionnel et établi (x, y).
- Le fluide est incompressible $\rho = \text{cst}$
- Le transfert de chaleur par rayonnement est négligeable.
- Le fluide est non-newtonien, la viscosité varie selon la loi de la puissance

$$\sigma = k\dot{\gamma} \quad \mu = k\dot{\gamma}^{n-1}$$

Où

- k : est une consistante
 - n : indice d'écoulement
- On applique l'approximation de Boussinesq :
- Les propriétés thermo physiques prises en considération sont constantes pour le fluide, à l'exception de la variation de densité dans les forces de flottabilité (ρg) qui est déterminée par l'approximation de Boussinesq. Elle considère que les variations de masse volumique sont négligeables au niveau de tous les termes des équations de quantité de mouvement ($\rho = \rho_0$), sauf au niveau du terme de gravité. La variation de ρ en fonction de la température est donnée comme suit :

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

ρ_0 et β étant respectivement la masse volumique à la température de référence T_0 et le coefficient de dilatation volumique à pression constante :

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

II.4 Formulation du problème

II.4.1 Equations gouvernantes dimensionnelles

Chaque phénomène physique est souvent formulé par des équations mathématiques qui représentent une modélisation de ce phénomène. L'équation exprimant les phénomènes d'écoulement sont celles des dérivés des lois physiques de conservation de masse pour établir l'équation de continuité, de la quantité de mouvement et de l'énergie (premier principe de la thermodynamique).

➤ Equation de continuité

Cette équation est déduite à partir du principe de conservation de masse. Puisque le fluide est considéré comme étant incompressible ($\rho = \text{constante}$).

Elle s'exprime sous la forme suivant :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (\text{II.3})$$

➤ Equation de quantité de mouvement

Cette équation est déduite de la deuxième loi de la dynamique, qui stipule que la variation de quantité de mouvement d'une particule fluide est égale à la somme des forces extérieures sur cette particule.

➤ Equation de mouvement suivant l'axe (x)

$$\rho_{ff} \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} \right) \quad (\text{II.4})$$

➤ Equation de mouvement suivant l'axe (y)

$$\rho_{ff} \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \left(\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} \right) + (\rho\beta)_{ff} g(T - T_c) - \sigma_{ff} \beta^2 v \quad (\text{II.5})$$

Après la simplification, on trouve :

- Selon l'axe (x) :

$$\rho_{ff} \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(2\mu_a \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu_a \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] \right] \quad (\text{II.6})$$

- Selon l'axe (y) :

$$\rho_{ff} \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \left[\frac{\partial}{\partial x} \left[\mu_a \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left(2\mu_a \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right] + (\rho\beta)_{ff} g(T - T_c) - \sigma_{ff} B^2 v \quad (\text{II.7})$$

μ_a : La viscosité apparente qui est dérivée pour la coordonnée cartésienne bidimensionnelle, elle s'écrit sous forme :

$$\mu_a = m \left[2 \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right] + \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 \right]^{\frac{n-1}{2}} \quad (\text{II.8})$$

Où :

(m) et (n) sont des constantes du modèle de loi de puissance. (m) est le coefficient de consistance et (n) l'indice de loi de puissance.

➤ Equation de l'énergie

L'équation d'énergie est obtenue par l'application de premier principe de la thermodynamique.

- Pour la région du ferrofluide, elle s'écrit sous la forme suivante :

$$(\rho c_p)_{ff} \left(u \frac{\partial T_{ff}}{\partial x} + v \frac{\partial T_{ff}}{\partial y} \right) = k \left(\frac{\partial^2 T_{ff}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_{ff}}{\partial y^2} \right) \quad (\text{II.9})$$

$\alpha = \frac{1}{\rho c_p}$: La diffusivité thermique ;

k: la conductivité thermique ;

C_p : La chaleur spécifique à pression constante.

- Pour le bloc solide avec source de chaleur, est définie par :

$$\frac{\partial T_s}{\partial t} = \left(\frac{k}{\rho c_p} \right)_s \left(\frac{\partial^2 T_s}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_s}{\partial y^2} \right) + q'' \quad (\text{II.10})$$

II.4.2 Les conditions aux limites dimensionnelles

- $X=0$

$$0 \leq y \leq 0.015 \quad ; \quad q = 0 \quad ; \quad u = v = 0$$

$$0.015 \leq y \leq 0.02 \quad ; \quad u = v = 0 \quad ; \quad T = T_f$$

- $X=L$

$$0 \leq y \leq 0.005 \quad ; \quad \frac{\partial u}{\partial x} = 0$$

- $Y=0$

$$0 \leq x \leq 0.08 \quad ; \quad u = v = 0 \quad ; \quad T = T_f$$

- $Y=H$

$$0 \leq x \leq 0.08 \quad ; \quad u = U_0 \quad ; \quad v = 0 \quad ; \quad T = T_c$$

- Aux interfaces :

$$k_s \frac{\partial T_s}{\partial n} = k_f \frac{\partial T_f}{\partial n} \quad ; \quad u = v = 0$$

II.4.3 Les équations sous forme adimensionnelles

La présentation des équations régissant le problème sous forme adimensionnelle est utilisée dans le but de généraliser les résultats obtenus. Des nombres sans dimensions caractéristiques vont apparaître et qui réduiront considérablement la complexité du problème. Il est nécessaire de définir les changements :

$$X = \frac{x}{L}, \quad Y = \frac{y}{L}, \quad U = \frac{u}{U_f}, \quad V = \frac{v}{V_f}, \quad P = \frac{p}{\rho_f U_f^2}, \quad \theta = \frac{T - T_c}{\Delta T},$$

$$\mu_a^* = \frac{\mu_a L^{n-1}}{m U_f^{n-1}}, \quad \Delta T = \frac{q'' L}{K}, \quad Re = \frac{\rho_f L^n U_f^{2-n}}{m}, \quad Gr = \frac{\rho_f^2 g \beta \Delta T L^{2n+1}}{m^2 U_f^{2n-2}},$$

$$Pr = \frac{c_p m}{K} \left(\frac{U_f}{L}\right)^{n-1}, \quad Ha^2 = B^2 L^{n+1} U_f^{1-n} \frac{\sigma_f}{m}, \quad k^* = \frac{k_s}{k_f}$$

En introduisant les variables adimensionnelles dans les équations gouvernantes, la forme adimensionnelle équations gouvernantes s'écrit comme suit :

➤ **Equation de continuité**

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0 \quad (\text{II.11})$$

➤ **Equation de quantité de mouvement suivant l'axe (x)**

$$U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial X} + \frac{\rho_f}{\rho_{ff}} \frac{1}{Re} \left[\frac{\partial}{\partial X} \left(2\mu_a^* \frac{\partial U}{\partial X} \right) + \frac{\partial}{\partial Y} \left[\mu_a^* \left(\frac{\partial U}{\partial Y} + \frac{\partial V}{\partial X} \right) \right] \right] \quad (\text{II.12})$$

➤ **Equation de quantité de mouvement suivant l'axe (y)**

$$U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial Y} + \frac{\rho_f}{\rho_{ff}} \frac{1}{Re} \left[\frac{\partial}{\partial X} \left[\mu_a^* \left(\frac{\partial U}{\partial Y} + \frac{\partial V}{\partial X} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial Y} \left(2\mu_a^* \frac{\partial V}{\partial Y} \right) \right] + \frac{(\rho\beta)_{ff} Gr}{\rho_{ff}\beta_f Re} \theta_{ff} - \left(\frac{\sigma_{ff} \rho_f}{\rho_{ff} \sigma_f} \right) \frac{Ha^2}{Re} V \quad (\text{II.13})$$

Où, μ_a^* est la viscosité apparente sans dimension qui est définie comme suit :

$$\mu_a^* = \left[2 \left[\left(\frac{\partial U}{\partial X} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial Y} \right)^2 \right] + \left(\frac{\partial V}{\partial X} + \frac{\partial U}{\partial Y} \right)^2 \right]^{\frac{n-1}{2}} \quad (\text{II.14})$$

➤ **Equation de la conservation d'énergie**

- Pour la région du ferrofluide :

$$U \frac{\partial \theta_{ff}}{\partial X} + V \frac{\partial \theta_{ff}}{\partial Y} = \frac{1}{Re Pr} \left(\frac{\partial^2 \theta_{ff}}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta_{ff}}{\partial Y^2} \right) \quad (\text{II.15})$$

- Pour le bloc solide :

$$\frac{\partial \theta_s}{\partial \tau} = \alpha^* \left(\frac{\partial^2 \theta_s}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta_s}{\partial Y^2} \right) + \frac{1}{(\rho c_p)^*} \frac{1}{A^*} \quad (\text{II.16})$$

II.4.4 Les conditions aux limites adimensionnelles

- $X=0$

$$0 \leq Y \leq 0.188 ; \quad Q = 0 ; \quad U = V = 0$$

$$0.188 \leq Y \leq 0.25 ; \quad U = V = 0 ; \quad \theta = \theta_f$$

- $X=1$

$$0 \leq Y \leq 0.063 ; \quad \frac{\partial U}{\partial X} = 0$$

- $Y=0$

$$0 \leq X \leq 1 ; \quad U = V = 0 ; \quad \theta = \theta_f$$

- $Y=H$

$$0 \leq X \leq 1 ; \quad U = 1 ; V = 0 ; \quad \theta = \theta_c$$

- Aux interfaces :

$$\frac{\partial \theta_f}{\partial n} = k^* \frac{\partial \theta_s}{\partial n} ; \quad U = V = 0$$

II.5 Les Nombres adimensionnels

Nous allons présenter les expressions et la signification physique de certains groupements adimensionnels qui seront utilisés de ce travail.

II.5.1 Nombre de Reynolds

Représente le rapport entre les forces d'inerties et les forces visqueuse, permet de définir le type d'écoulement laminaire ou turbulent il s'exprime comme suit :

$$Re = \frac{\rho U L}{\mu}$$

Avec :

- ρ : La masse volumique [Kg/m³]
- U : La vitesse d'écoulement [m/s]
- L : Longueur caractéristique de système étudié [m]
- μ : La viscosité dynamique [Pa.s]

II.5.2 Nombre de Grashof

Le nombre de Grashof permet de définir le rapport entre les forces de poussé (Archimède) et les forces d'inerties (forces de viscosité) agissant sur un fluide il s'écrit :

$$Gr = \frac{g\beta L^3 \Delta T}{\nu^2}$$

Où

- $g(m.s^{-2})$: L'accélération de la gravité.
- $\Delta T(k)$: L'écart de la température caractéristique.
- $\beta(1/k)$: Le coefficient d'expansion thermique.
- $\nu(m^2.s^{-1})$: la viscosité cinématique.

II.5.3 Nombre de Hartmann

Le nombre de Hartmann (Ha) est un nombre sans dimension utilisé en magnétohydrodynamique (MHD) pour caractériser le mouvement de fluide conducteurs en présence d'un champ magnétique. Il représente le rapport entre la force de Laplace et les forces visqueuses. On le définit de la manière suivante :

$$Ha = BL_c \sqrt{\frac{\sigma}{\mu}}$$

Avec :

- B : Intensité du champ magnétique
- L_c : Longueur caractéristique.
- μ : Viscosité dynamique.
- σ : Conductivité électrique.

II.5.4 Nombre de Prandtl

C'est un nombre adimensionnel proportionnel au rapport entre la viscosité cinématique et la diffusivité thermique $\alpha(m^2.s^{-1})$. Il compare la rapidité des phénomènes de diffusion thermique et de diffusion visqueuse dans un fluide et s'écrit :

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha}$$

Le nombre de Prandtl peut aussi être écrit comme :

$$Pr = \frac{\mu c_p}{K}$$

Avec :

c_p : La chaleur spécifique massique à pression constant [J/kg.k]

II.5.5 Nombre de Nusselt

Le nombre de Nusselt représente le rapport entre le transfert de chaleur par convection et celui par conduction, il s'agit en fait d'un transfert de chaleur sans dimension .Il est donné par :

$$Nu = h \frac{L_f}{K_f}$$

- K_f : La conductivité du fluide.
- h : Le coefficient d'échange de chaleur par convection ($W.m^{-2}.k^{-1}$).

Ce coefficient d'échange de chaleur par convection dépend de l'écoulement du fluide, des propriétés thermiques de milieu de fluide et de la géométrie du système. La densité de flux de chaleur transmise au fluide est donnée par :

$$q'' = h(T_c - T_f)$$

II.5.6 Les corrélations de nombre de Nusselt

Pour une cavité chauffée différentielle, le nombre de Nusselt moyen peut être calculé en moyennant les nombres de Nusselt locaux calculés au niveau de tous les nœuds de la paroi chaude ou froide. Le nombre de Nusselt local se calcul comme suit :

$$Nu_{local} = \frac{\partial \theta}{\partial y}$$

Le calcul du nombre de Nusselt moyen à la paroi chaude. En utilisant l'intégration de leurs analogues locaux est donné par la formule :

$$Nu_{moy} = \frac{1}{L} \int_0^L Nu(\theta) \partial \theta$$

II.6 Méthode Numérique

C'est la méthode la plus performante en matière d'analyse des phénomènes physiques. La résolution consiste en la discrétisation en modèles élémentaires faciles à manipuler. Elle présente plusieurs avantages, entre autres, sa rapidité de prédiction, son coût non élevé, ses informations complète et détaillées ainsi que sa capacité à simuler des conditions réelles est idéale.

Dans ce travail la résolution numérique utilisée est basée sur la méthode de discrétisation des équations du problème. Cette méthode consiste à transformer une équation différentielle en une équation algébrique, facile à résoudre. Les méthodes de discrétisation les plus utilisées sont :

- Les différences finies ;
- Les éléments finis ;
- Les volumes finis ;

II.6.1 Méthodes des différences finies

La méthode des différences finies, présente une technique de résolution des équations aux dérivées partielles, par l'approximation de dérivées par des différences finies. Cette méthode consiste à subdiviser le domaine d'étude en un nombre déterminé de nœuds et à représenter la fonction recherchée en chacun des nœuds du domaine par un développement limité en série de Taylor. Ainsi, l'équation différentielle est transformée en équation algébrique pour chaque nœud. La résolution du système d'équations algébriques permet d'obtenir la distribution de la fonction étudiée dans le domaine d'étude.

II.6.2 Méthodes des éléments finis

Cette méthode consiste à transformer les équations différentielles sous des formes intégrales basées sur le concept de minimisation d'une quantité comme l'énergie, conduisant à la solution exacte. En autre terme elle s'agit de trouver une fonction globale représentant le modèle mathématique dans domaine étudié.

II.6.3 Méthodes des Volumes finis

La méthode des volumes finis a été décrite pour la première fois en 1972 par Patankar et Spalding et publiée en 1980 par Patankar [21]. La méthode des volumes finis est utilisée par la majorité des codes de calcul comme : Fluent, Star CD, CFX, Fine Turbo. Les volumes de contrôle respectifs de deux points voisins doivent avoir un côté commun. Cela signifie que l'assemblage de

tous les volumes de contrôle englobe tout le domaine de calcul. Cette caractéristique essentielle permettra de mettre en évidence les caractéristiques de préservation des flux locaux et globaux.

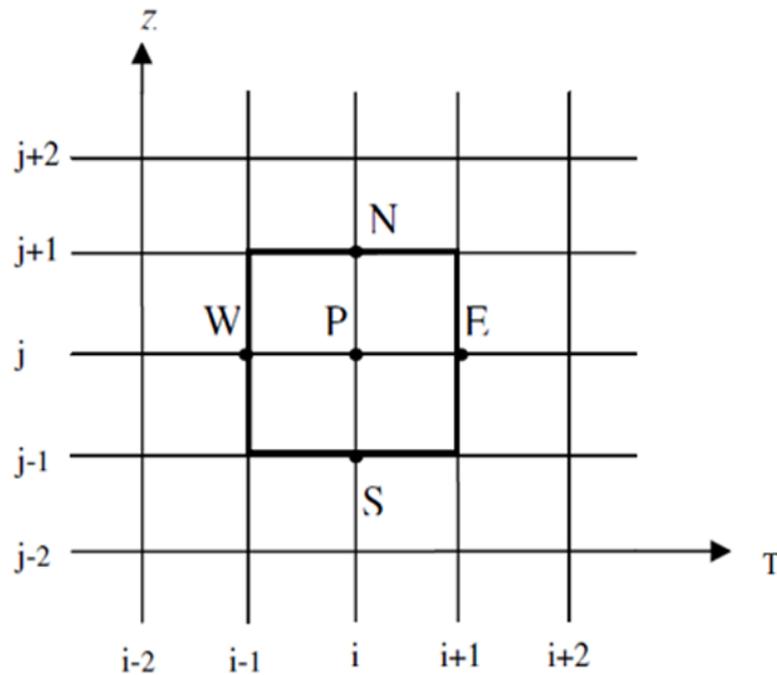


Figure II.2: Volume de contrôle bidimensionnel.

Physique: Elle s'applique à une large gamme de phénomènes physiques tels que la diffusion de la chaleur, le transfert de fluides, l'électromagnétisme et la mécanique des fluides. Domaine: particulièrement adaptée aux problèmes complexes avec des géométries irrégulières. Fondamentalement, la MVF se décompose en trois étapes principales:

- **Discretisation du domaine:** Le domaine d'étude est divisé en un maillage de cellules ou volumes finis. Chaque cellule possède un centre ou un nœud qui représente un point de calcul. Application des équations gouvernantes: Les EDP sont intégrées sur chaque volume fini. En utilisant le théorème de divergence, les termes de divergence sont transformés en intégrales de surface, ce qui permet d'évaluer les flux à travers les faces des cellules.
 - **Approximation des flux:** Des approximations numériques des flux sont introduites, basées sur des schémas numériques spécifiques (par exemple, schéma centré, schéma amont). Ces schémas impliquent généralement les valeurs de la variable inconnue aux centres des cellules voisines.
- Résolution du système d'équations:

Le système d'équations obtenu après l'intégration et l'approximation des flux est résolu numériquement. Cela implique généralement des méthodes itératives telles que la méthode d'Euler explicite ou implicite, ou des méthodes de résolution de systèmes linéaires.

II.6.4 Principe de la méthode des volumes finis

Le principe de la méthode des volumes finis basé sur une technique de discrétisation qui convertie les équations de la conservation aux dérivée partielle équation algébrique qui peuvent être résolue numériquement.

Pour trouver les valeurs des vitesses, de la température, de la pression, pour un nombre fini des points dans le domaine d'études, nous utilisons une discrétisation par la méthode des volumes finis.

Les différentes étapes de la méthode des volumes finis sont :

- La discrétisation de domaine considéré en volume de contrôle ;
- La formulation intégrale des équations différentielle aux dérivées partielles ;
- Ecriture des équations algébriques aux nœuds de maillage ;
- Résolution algébrique linéaire obtenue.

II.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit les équations gouvernantes le mouvement d'un fluide non newtonien en présence d'une source de chaleur en utilisant l'équation de continuité et l'équation de quantité de mouvement, ainsi que les conditions aux limites associées. Une simulation numérique du problème est décrite dans le chapitre suivant.

Chapitre III

Résultats et Discussion

II.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons des résultats numériques d'un écoulement de fluide non newtonien à travers un canal. On a effectué une étude de sensibilité au maillage et examiné l'influence de plusieurs paramètres, l'effet de l'indice du comportement, le nombre de Reynolds et le nombre de Grashof. Les résultats essentiels sont présentés en termes de lignes courants et d'isothermes et du nombre de Nusselt moyen.

III.2 Choix et Test du maillage

La résolution numérique du système d'équation a été basée sur la méthode des volumes finis, plusieurs maillages ont été utilisés pour voir leurs effets sur la solution numérique : 60×23 , 80×30 , 100×38 , 120×45 , 140×53 , 160×60 , 180×68 . On remarque que l'augmentation du maillage augmente le nombre adimensionnel Nu_{moy} et aussi se varie à partir du maillage 140×53 . L'erreur relative atteint une valeur asymptotique de 0.3231 lorsqu'on utilise le maillage de 140×53 , donc nous avons optées sur le maillage 140×53 pour simuler, puisqu'il donne des résultats avec une précision acceptable.

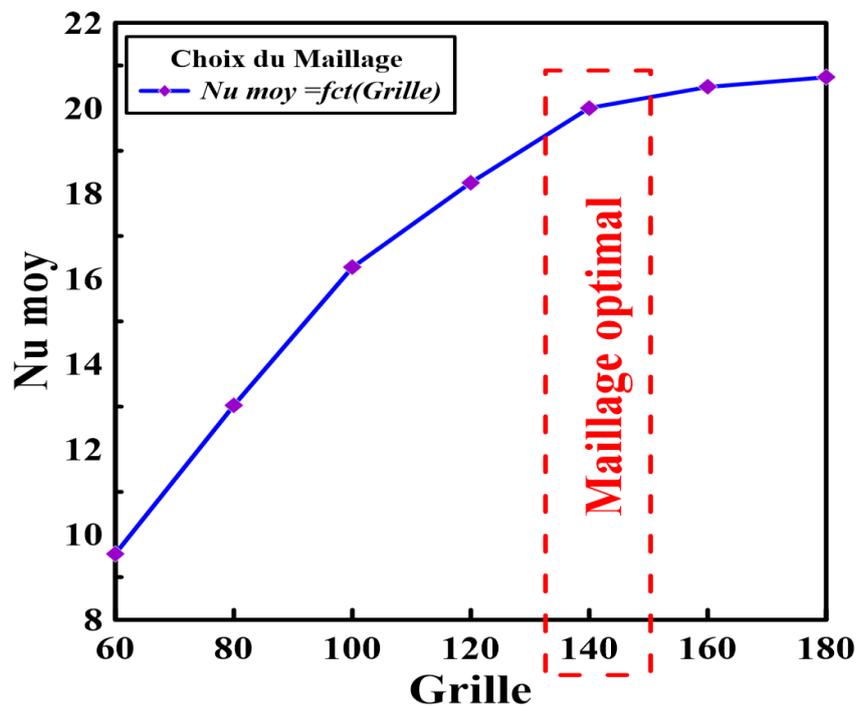


Figure III. 1: L'influence du maillage sur le nombre de Nusselt moyen.

III.3 Validation des résultats

La première étape consiste à valider notre simulation numérique en comparant nos résultats avec ceux de la littérature. Pour cela on va exposer les solutions du problème A.W. Islam et al. [9] Ces derniers ont étudiés la convection mixte dans une cavité carrée avec une source chaude isotherme sous la forme d'un blocage carré à l'intérieur de la cavité. La hauteur et la largeur de la cavité sont (H) et (L). Pour le blocage carré considéré ici (H=L). Les calculs sont effectués numériquement à l'aide de la méthode des volumes finis. On va comparer la distribution des lignes de courants et les lignes isothermes pour $Re = 100$, $Pr = 0,71$ et différents nombre de $Ri = \frac{Gr}{Re^2}$

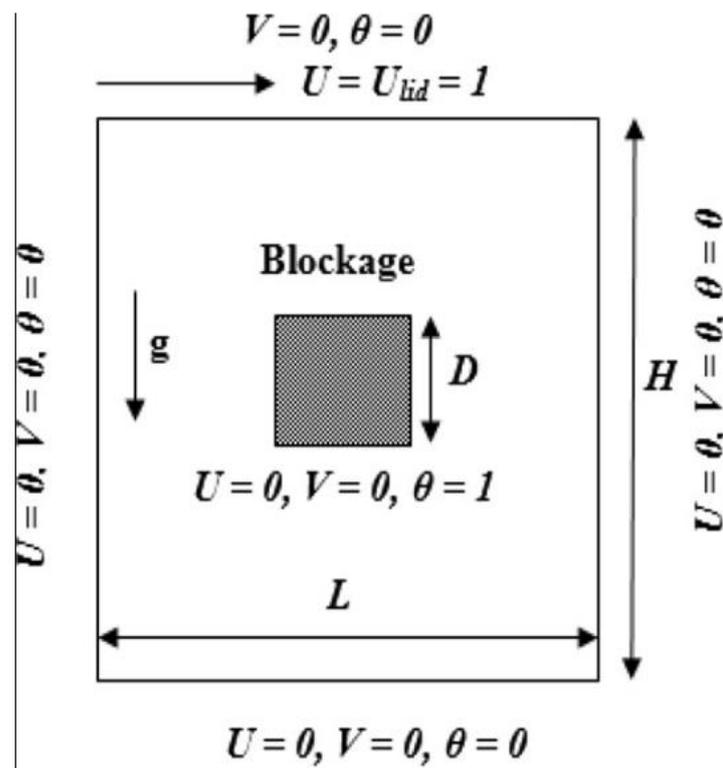


Figure III. 2: Géométrie du problème A.W. Islam et al [9].

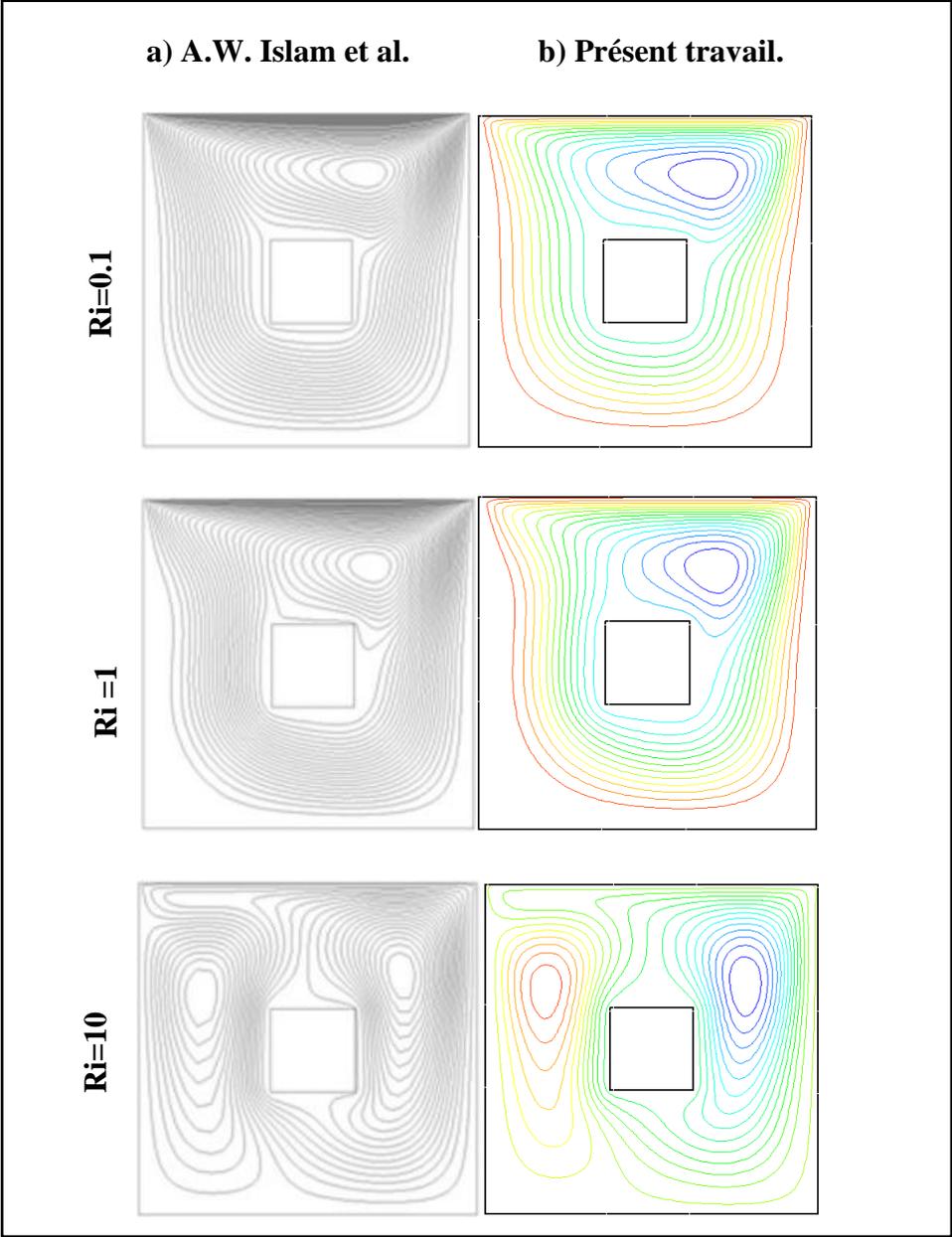


Figure III. 3 : Les lignes de courants pour différents Ri .

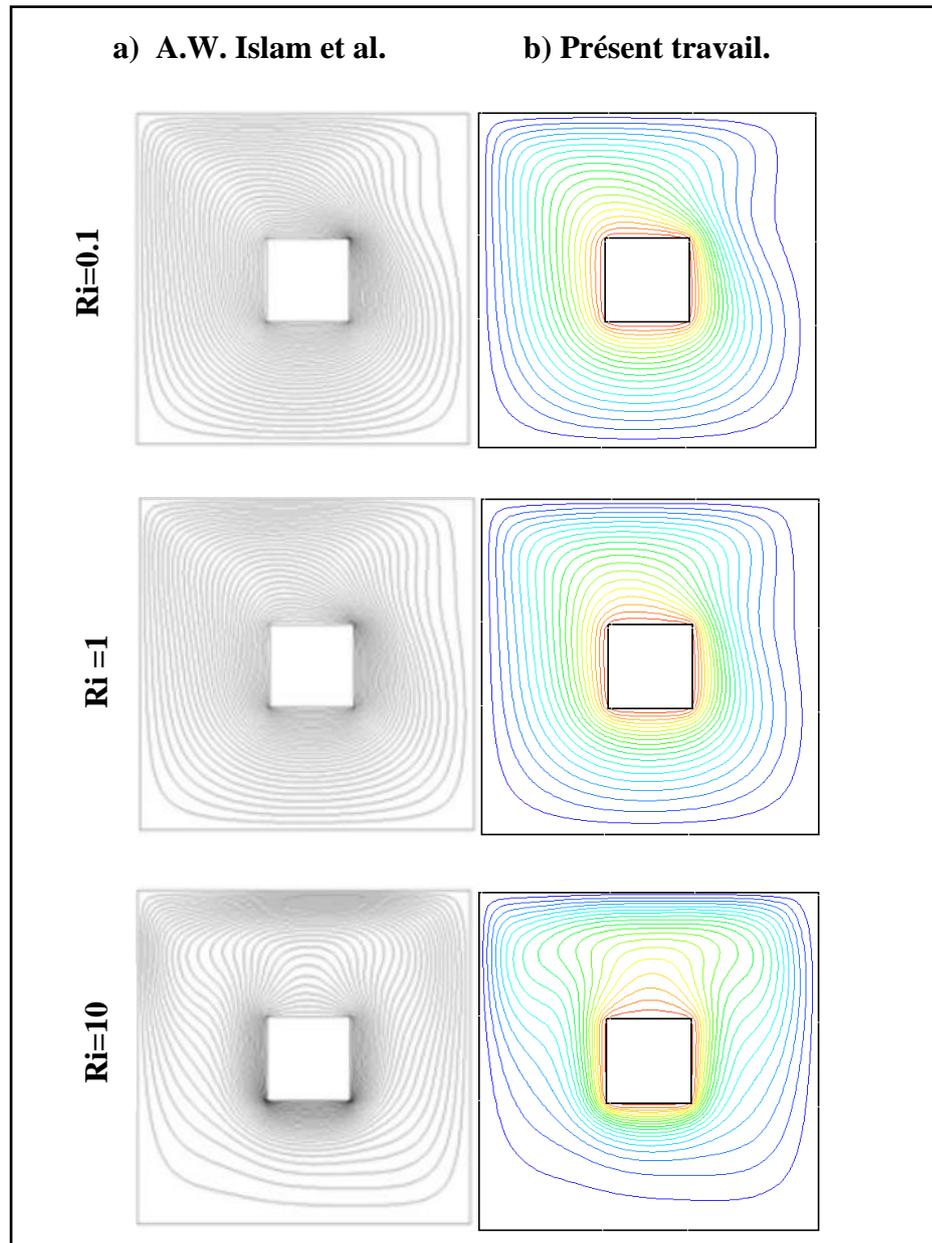


Figure III. 4 : Les lignes isothermes pour différents Ri .

Après la comparaison de la structure d'isothermes, lignes de courants et le nombre de Nusselt moyen, nous pouvons conclure que nos résultats sont en bon accord avec les résultats trouvés par A.W. Islam et al.[9]

III.4 Résultats et discussion

III.4.1 Influence du nombre de Grashof

La figure (III.5) montre la variation du nombre de Nusselt en fonction de l'indice (n) pour trois valeurs différentes du nombre de Grashof :

- Pour chaque valeur de Gr , le nombre de Nusselt commence par une valeur légèrement supérieure et diminue progressivement avec l'augmentation de (n).
- Les courbes montrent que pour une même valeur de (n), le nombre de Nusselt est plus élevé pour un Gr plus grand. Cela suggère que le transfert de chaleur par convection naturelle augmente avec l'augmentation du nombre de Grashof car un Gr plus élevé indique une plus grande influence des forces de flottabilité par rapport aux forces visqueuses.
- L'indice (n) semble avoir une influence modérée sur le nombre de Nusselt, pour des valeurs de (n) plus élevées le nombre de Nusselt diminue légèrement. Il y'a une convergence vers une seule limite c'est-à-dire à des valeurs de (n) très grandes le transfert de chaleur est invariant.

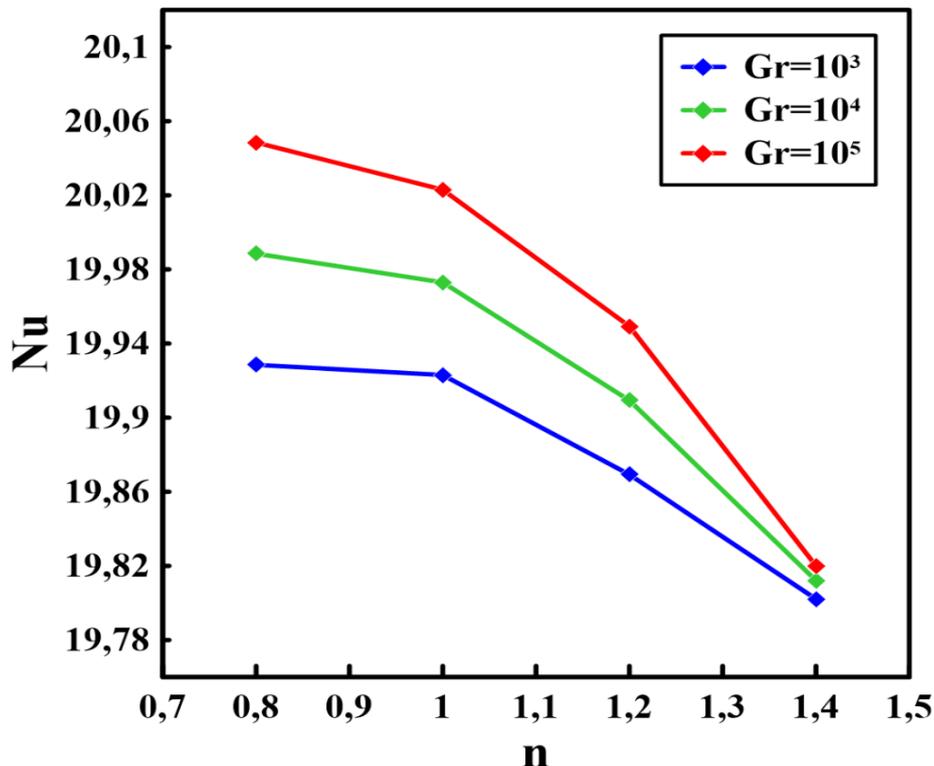


Figure III. 5 : Variation de Nu en fonction de l'indice (n) pour différents Gr .

a. Champs d'écoulement

Les lignes de courant montrent l'écoulement du fluide autour d'un bloc chauffé pour diverses valeurs d'indices d'écoulement (n) à $Re=50$ et $Gr=10^3$.

- **Pour $n=0,8$** : On observe que les lignes de courants sont plus serrées autour du bloc, indiquant une forte concentration du gradient de vitesse et une diminution de la viscosité qui facilite le déplacement du fluide autour de l'obstacle. A ce niveau le fluide montre un comportement pseudo-plastique.
- **Pour $n=1$** : Les lignes de courants sont plus symétriques autour du bloc comparé à $n=0,8$, ce qui est type des fluides newtoniens ou la distribution de la vitesse est plus régulière.
- **Pour $n=1,2$** : Ce cas représente un fluide dilatant, ou les lignes de courants sont plus écartées autour du bloc, ce qui suggère une augmentation de la viscosité qui ralentit l'écoulement du fluide. On constate que l'indice de comportement (n) a un impact significatif sur la distribution des lignes de courants.

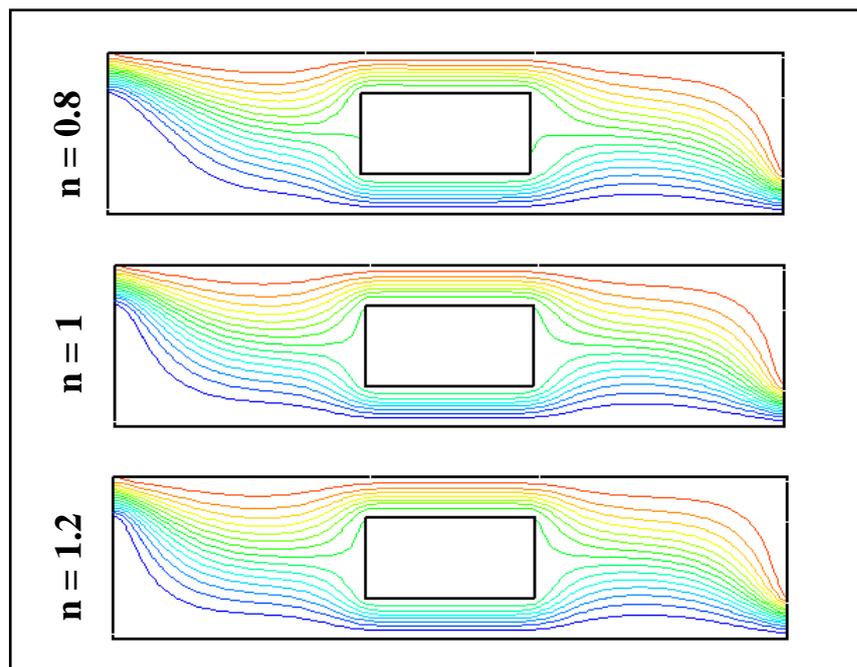


Figure III. 6: Lignes de courants pour différents indices de comportement (n) à $Re=50$ et $Gr = 10^3$.

b.Champs thermique

La figure (III.7) montre les lignes isothermes pour différents indices de comportement (n) à $Re=50$ et $Gr=10^3$

- **Pour $n=0,8$** : les lignes isothermes sont moins compactes à l'intérieur de la cavité, cela indique une meilleure distribution de la chaleur avec une grande variation de température. Il y'a une plus grande étendu de la zone de transfert thermique vers la sortie.
- **Pour $n=1$** : les lignes isothermes sont moins compactes par rapport à $n= 0.8$, on observe une réduction de la variation de température. La distribution thermique est plus uniforme et étendue dans la cavité, ce qui suggère un écoulement plus homogène.
- **Pour $n=1,2$** : les lignes isothermes sont encore plus étendues et moins denses, ce qui indique une plus grande uniformité de la température dans la cavité. La zone de transfert thermique vers la sortie est encore plus étendue, ce qui pourrait suggérer une diminution de la vitesse d'écoulement.

Enfin, on constate avec l'augmentation de l'indice de comportement de l'écoulement (n) la distribution des lignes isothermes diminue, donc y'aura une influence sur le transfert de chaleur.

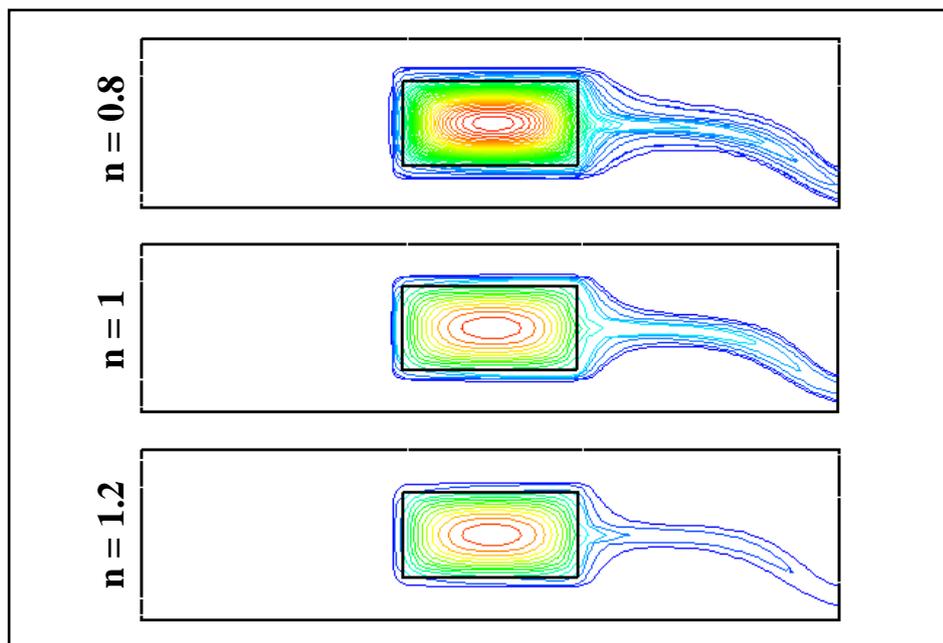


Figure III. 7: Les lignes isothermes pour différents indices de comportement (n) à $Re=50$ et $Gr = 10^3$.

III.4.2 Influence de nombre de Nusselt avec la fraction volumique

La figure (III.8) montre la relation entre le nombre de Nusselt (N_u) et la fraction volumique (φ) du ferrofluide pour différents nombres de Grashof :

- Pour chaque valeur de Grashof, on observe que le nombre de Nusselt augmente avec l'augmentation de la fraction volumique (φ). Cela signifie que l'efficacité du transfert de chaleur s'améliore à mesure que la concentration de ferrofluide augmente.
- Pour un Grashof donné une augmentation de (φ) conduit à une augmentation de (N_u). Comparativement, pour un même (φ) un Grashof plus élevé ($Gr = 10^5$) donne un N_u plus élevé que pour $Gr = 10^4$ et $Gr = 10^3$. Cela montre que le transfert de chaleur est plus efficace pour des valeurs plus élevées de Grashof car le rapport entre les forces de flottabilité et les forces visqueuses dans le fluide, favorisant une convection plus vigoureuse.

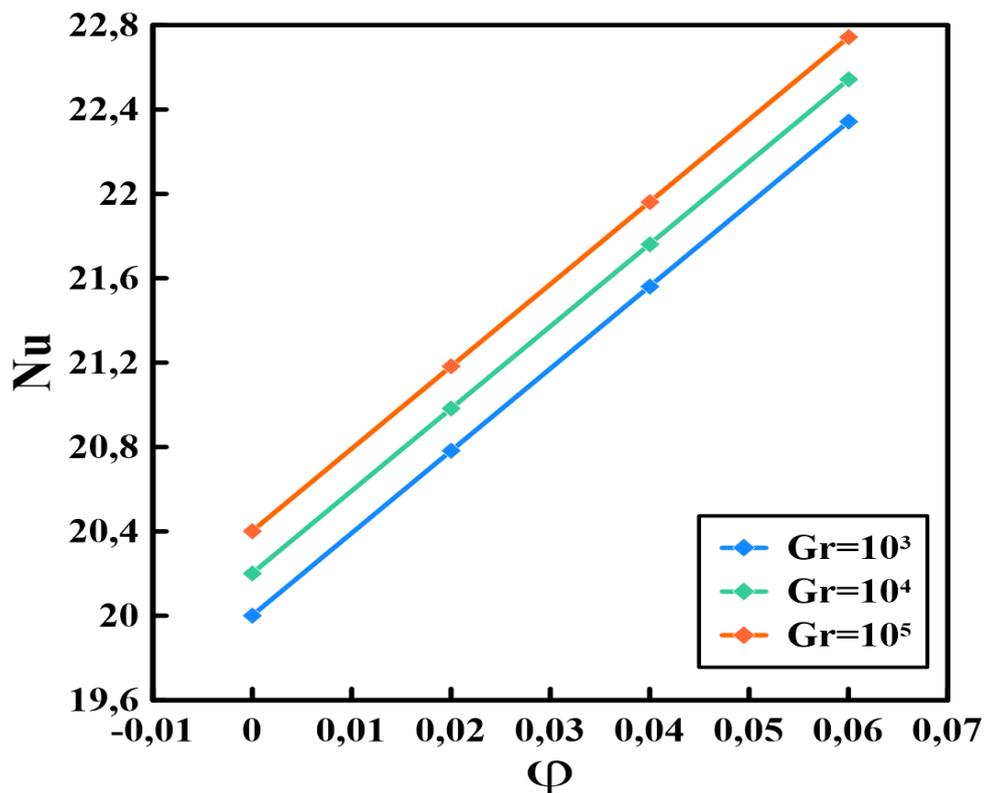


Figure III. 8: variation de Nu en fonction de fraction volumique pour différents Gr.

III.4.3 Influence du nombre de Hartmann

La figure (III.9) représente la relation entre le nombre de Nusselt et le nombre de Grashof pour différents nombres de Hartmann :

- Le nombre de Nusselt augmente avec l'augmentation du nombre de Grashof pour toutes les valeurs de Ha cela indique que l'efficacité du transfert de chaleur par convection, plus le nombre de Hartmann est élevé plus le nombre de Nusselt tend à diminuer légèrement. Cela indique que l'application d'un champ magnétique réduit le transfert de chaleur par convection.
- Pour des valeurs élevées de Grashof le nombre de Nusselt est plus élevé pour Ha=0 et diminue avec l'augmentation de Ha.
- Un Hartmann plus élevé indique un champ magnétique plus fort tend à freiner les mouvements fluides dus à la convection, ce qui peut expliquer la diminution du nombre de Nusselt avec l'augmentation de Ha.

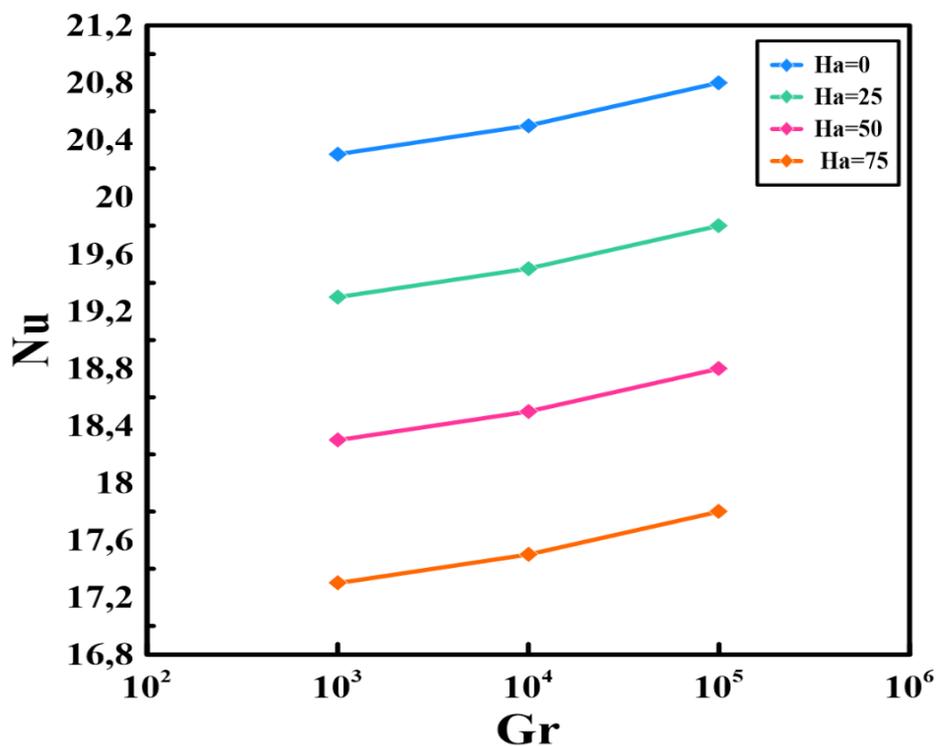


Figure III. 9: Variation de Nu en fonction de Gr pour différents Ha.

III.4.4 Influence du nombre de Reynolds

La figure (III.10) représente la variation du nombre de Nusselt en fonction de la fraction volumique du ferrofluide pour différents Re :

- Pour toutes les valeurs de Reynolds, le nombre de Nusselt augmente avec l'augmentation de la fraction volumique. Cela indique que l'ajout de ferrofluide améliore le transfert de chaleur.
- Pour $Re = 10^5$, le nombre de Nusselt est le plus élevé parmi toutes les courbes, ce qui est cohérent avec l'idée que les flux plus turbulents (Reynolds élevé) améliorent le transfert de chaleur par convection.

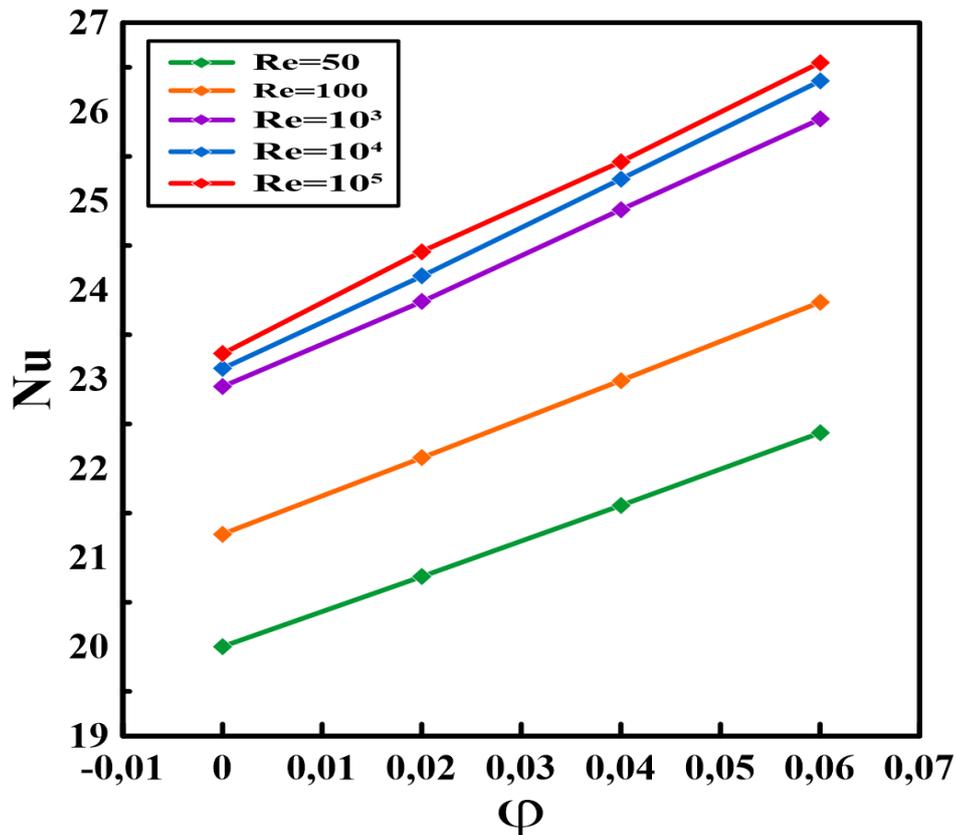


Figure III. 10: Variation de Nu en fonction de la fraction volumique pour différents Re.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Ce travail porte une étude numérique sur une configuration géométrique formé par un canal muni de bloc chauffant. Le fluide utilisé comme écoulement est l'eau. La modélisation mathématique de ce problème physique est basée sur les équations de conservation, de quantité de mouvement. Les propriétés thermodynamiques sont considérées constantes et l'approximation de Boussinesq a été adoptée, des hypothèses simplificatrices ont été introduites.

La simulation de problème a été effectuée à l'aide d'un code de calcul fluent, la validation de cette simulation a montré une bonne concordance entre nos résultats et ceux de (A.W. Islam et al. [6]).

Les résultats numériques nous a conduit à clarifier l'influence des paramètres rhéologique sur l'écoulement et le transfert de chaleur tels que nombre du Reynolds, nombre du Grashof, du Hartmann et l'indice de puissance (n), la fraction volumique du ferrofluide.

Les principales constatations déduites de ce travail peuvent être résumés comme suit :

- Le nombre de Nusselt diminue avec l'augmentation de l'indice (n) pour chaque valeur de nombre du Grashof.
- Le transfert de chaleur augmente avec l'augmentation du nombre de Grashof car un (Gr) plus élevé indique une plus grande influence des forces de flottabilité par rapport aux forces visqueuses.
- La diminution de Nusselt pour des valeurs de (n) plus élevé indique l'efficacité du transfert de chaleur.
- L'augmentation de nombre du Hartmann diminue le nombre du Nusselt à cause du champ magnétique qui réduit le transfert de chaleur.
- L'augmentation de nombre du Nusselt avec l'augmentation de la fraction volumique de ferrofluide pour tous les nombres du Reynolds car l'ajout de ferrofluide améliore le transfert de chaleur. De plus, un nombre du Reynolds plus élevé renforce cet effet.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] CHEURFA Dihia, BEN HAMMOUDA, “Simulation numérique par la méthode des éléments finis d’un écoulement d’un fluide non- newtonien”, Mémoire Master En Génie Mécanique, Option Energétique, Université A-Mira, Bejaïa, 2021.
- [2] CHHABRA R.P., Richardson J.F. (1999), Non-Newtonian flow in the process industries. Fundamentals and Engineering Application.
- [3] RIGAL, Claire. Comportement de fluides complexes sous écoulement: Approche expérimentale par résonance magnétique nucléaire et techniques optiques et simulations numériques. 2012. Thèse de doctorat. Université de Lorraine.
- [4] Mr. KAMLA Youcef, “Etude de l’écoulement d’un fluide non newtonien dans une cuve mécaniquement agitée par une Turbine de Rushton”, UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE D’ORAN « MOHAMED BOUDIAF » USTO_MB, (2011)
- [5] Thèse de CYRINE CHAHTOUR, Convection magnétohydrodynamique dans un fluide non newtonien saturant un milieu poreux, Université de Picardie Jules Verne et de l’Université de Tunis El-Manar, Faculté des Sciences de Tunis, (2018).
- [6] HOT, Julie. Influence des polymères de type superplastifiants et agents entraîneurs d'air sur la viscosité macroscopique des matériaux cimentaires. 2013. Thèse de doctorat, Université Paris-Est France.
- [7] CHHABRA, Raj P. et RICHARDSON, John Francis. Non-Newtonian flow and applied rheology: engineering applications. Butterworth-Heinemann, 2008.
- [8] Thèse de Mr. A. BENSLIMANE «Rhéologie et Ecoulement d’un fluide chargé : Application au réseau d’assainissement urbain, Etude Expérimentale et Modélisation, (2012).
- [9] A. W. Islam, M. A. R. Sharif, E. S. Carlson, “Mixed convection in a lid-driven square cavity with an isothermally heated square blockage inside ”int. J.of heat and masse transfer 55, 5244-5255, (2012).
- [10] J. C. Leong, N. M. Brown, F. C. Lai, (2005) “Mixed convection from an open cavity in a horizontal channel“, International communication in Heat and Mass Transfer vol 32 pp 583 -592

- [11] S. Y. Kim, B Y. H. Kang et Jae Min Hyun. (1998) “Forced convective heat transfer from two heated blocks in pulsating channel flow”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol 41, N° 3, pp 625-6634,
- [12] T.J. Young, K.Vafai. (1998) “Convective flow and heat transfer in a channel containing multiple heated obstacles”, *International Journal of Heat and Mass Transfer* vol 41 3279- 3298
- [13] S. Houat and Z. E. Bouayed, “The lattice Boltzmann method for Mixed Convection in a Cavity,” *Energy Procedia*, vol. 139, pp. 186–191, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.11.194.
- [14] T. Icoz et Y.Jaluria. (2004) “Design of cooling system for electronic equipment using both experimental and numerical inputs”, *Journal of Electronic Packaging*, vol 126 pp 465 – 471
- [15] A.Hamouche. (2007) “Refroidissement à air des composants électroniques par convection Mixte ”Mémoire de Magistraire, Université Mentouri de Constantine.
- [16] Laidoudi H. et al., *Journal of Advanced Research in Science and Technology*, 2017, 4(1), 421-432.
- [17] N. Van Tuan, M. Lebouche / *C. R. Mecanique* 333 (2005) 365–369.
- [18] P.P. Roy et al, “Forced, natural and mixed convection of Non-Newtonian fluid flows in a square chamber with moving lid and discrete bottom heating”, *Results in Engineering* 17 (2023), 100939.
- [19] R. Nebbali, K. Bouhadeb / *International Journal of Thermal Sciences* 50 (2011) 1984e1995.
- [20] Sebdani, M.Mahmoodi, and S.M.Hashemi, *Int.J.ThermalSci.*52, 112 (2012).
- [21] M. A. Ismael, I. Pop, A. J. Chamkha, “Mixed convection in a lid-driven square cavity with parial slip”, *int. J.of thermalsciences*82, 47-61, (2014).
- [22] N. Rehman et al, “Enhanced heat transfer in vented square enclosures with block structures: Exploring iso-perimetric shapes and multigrid approach for mixed convection of nano-fluids”, *Case Studies in Thermal Engineering* 58, (2024), 104391.
- [23] M.M. Islam et al, “MRT-LB simulation and response surface analysis of natural convection of non-Newtonian ferrofluid in an enclosure with non-uniformly heated radiator through GPU computing ”, *Engineering Analysis with Boundary Elements* 157, (2023), 92–118.
- [24] S.V. Patankar, « Numerical heat transfer and fluid flow », Hemisphere, New York, 1980.

Résumé

Ecoulement des fluides non Newtoniens dans un canal en présence d'une source de chaleur

Dans ce travail, nous avons mené une étude numérique sur l'écoulement d'un fluide non newtonien dans un canal en présence d'une source de chaleur, dont les deux parois supérieure et inférieure sont considérées adiabatiques montées au milieu avec un bloc carré chauffé. On a présenté le problème étudié en utilisant les équations de conservation de masse, de quantité de mouvement ainsi que les conditions aux limites. Nous avons mis en évidence l'effet de certains paramètres tels que nombre de Reynolds, Grashof, Hartmann et l'indice de comportement (n), les résultats numérique essentiels sont illustrés sous forme des lignes de courants et isothermes.

Mots clés : Simulation numérique, écoulement, fluide non newtonien, bloc chauffé.

Abstract

Flow of non-Newtonian fluids in a channel in the presence of a heat source

In this work, we carried out a numerical study of the flow of a non-Newtonian fluid in a channel in the presence of a heat source, whose two upper and lower walls are considered adiabatic mounted in the middle with a heated square block. The problem studied was presented using the equations for conservation of mass and momentum and the boundary conditions. The effect of certain parameters such as Reynolds number, Grashof, Hartmann and the behaviour index (n) has been highlighted. The essential numerical results are illustrated in the form of streamlines and isotherms.

Key words: Numerical simulation, flow, non-Newtonian fluid, heated block.

Résumé

Ecoulement des fluides non Newtoniens dans un canal en présence d'une source de chaleur

Dans ce travail, nous avons mené une étude numérique sur l'écoulement d'un fluide non newtonien dans un canal en présence d'une source de chaleur, dont les deux parois supérieure et inférieure sont considérées adiabatiques montées au milieu avec un bloc carré chauffé. On a présenté le problème étudié en utilisant les équations de conservation de masse, de quantité de mouvement ainsi que les conditions aux limites. Nous avons mis en évidence l'effet de certains paramètres tels que nombre de Reynolds, Grashof, Hartmann et l'indice de comportement (n), les résultats numérique essentiels sont illustrés sous forme des lignes de courants et isothermes.

Mots clés : Simulation numérique, écoulement, fluide non newtonien, bloc chauffé.

Abstract

Flow of non-Newtonian fluids in a channel in the presence of a heat source

In this work, we carried out a numerical study of the flow of a non-Newtonian fluid in a channel in the presence of a heat source, whose two upper and lower walls are considered adiabatic mounted in the middle with a heated square block. The problem studied was presented using the equations for conservation of mass and momentum and the boundary conditions. The effect of certain parameters such as Reynolds number, Grashof, Hartmann and the behaviour index (n) has been highlighted. The essential numerical results are illustrated in the form of streamlines and isotherms.

Key words: Numerical simulation, flow, non-Newtonian fluid, heated block.