



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

N° : ...

Université 20 août 1955-Skikda

Faculté des Sciences

Département de Physique

Mémoire de Master

Filière : Physique

Spécialité : Physique énergétique et énergies renouvelables

Thème

**Analyse de l'écoulement d'un nanofluide (MHD) à
travers une surface exponentielle étendue avec un flux
thermique non uniforme**

Présenté par :
ksir Mostafa

Soutenu le : 30/06/2024 devant le jury composé de :

M.OUDINA FATEH	Pr	Université de Skikda	Président
T.CHELIREM	MAA	Université de Skikda	Rapporteur
k. DHIF	MAA	Université de Skikda	Examineur

Année Universitaire : 2023/2024

remerciements

Remerciements

Avant tout je dis « elhamdolilah » qui nous donne toutes les bonnes choses dans notre vie .

*Ensuite je tiens à exprimer toute ma gratitude à Mr « **Tayeb Chelirem** » à l'Université 20 Aout Skikda pour m'avoir encadré dans ce mémoire de Master , ses précieux conseils , ses orientations , ses critiques et son savoir qui m'ont permis de présenter ce modeste travail .*

Je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Je remercie aussi tous les enseignants qui m'ont formée depuis mes débuts jusqu'à ce jour.

Je remercie ma famille , ma femme pour leur attention pendant mes études .

Dédicaces

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à

Mes parents

Ma femme

Ainsi que toute la famille ksir

Nomenclature

Nomenclature

Symboles grecques

Symbole	Dénomination	Unité
\emptyset	Fraction volumique	
ρ	Masse volumique	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$
μ	Viscosité dynamique	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}]$
ν	Viscosité cinématique	$[\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$
Φ	potentiel gravitationnel par unité de masse	J/kg
Indices		
nf	Nanofluide	
f	Fluide de base	
np	Nanoparticule	
w	Paroi	
∞	Entrée	
Convc	Convection	
conduc	conduction	
tot	total	
fb	Fluide de base	
p	pression constante	
symbole		
C_p	Chaleur spécifique à pression constante	$[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$
k	Conductivité thermique	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$
M	Nombre de Hartmann	
v_{np}	volume de nanoparticule	m^3
v_{tot}	volume total du nanofluide	m^3
q_{conv}	le flux de chaleur	W/m^2
h	le coefficient de transfert thermique par convection	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
T	la température	K
t	le temps.	s
v	le champ de vitesse du fluide.	m/s
∇	l'opérateur nabla, représentant le gradient spatial.	
p	La pression.	Pa
ν	viscosité cinématique.	$[\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$
f	la somme des forces externes par unité de masse	m/s^2
e	l'énergie interne par unité de masse	J/kg
q	le flux de chaleur	W/m^2

Liste des figures

Liste des figures

Figure 1.1 : a) nanoparticule sphérique	b) nanoparticule de nanotube	4
Figure 1.2 : <i>Couche limite dynamique et Couche limite thermique</i>		9
Figure 2.1 : représente la géométrie du modèle considéré.....		13
Figure 3.1. Effets du paramètre de champ magnétique sur le champ de vitesse.....		17
Figure 3.2. Effets du paramètre de champ magnétique sur le champ de température.....		18
Figure 3.3. Profils de vitesse pour différentes valeurs de fraction volumique de nanoparticules.		18
Figure 3.4. Profils de température pour différentes valeurs de fraction volumique de nanoparticules.....		19
Figure 3.5. Effets du paramètre dépendant de l'espace sur le profil de température pour $A > 0$..		19
Figure 3.6. Effets du paramètre dépendant de l'espace sur le profil de température pour $A < 0$...		20
Figure 3.7. Effets du paramètre dépendant du temps sur le profil de température pour $B > 0$		20
Figure 3.8. Effets du paramètre dépendant du temps sur le profil de température pour $B < 0$...		21
Figure 3.9. Profils de température pour différentes valeurs du paramètre de relaxation thermique.....		21

Sommaire

SOMMAIRE

Remerciements.....	/
Dédicaces.....	/
Nomenclature.....	/
Liste des figures.....	/
Liste des tableaux.....	/
Sommaire.....	/
Introduction générale.....	1
Chapitre 1: Généralités sur les nano fluides, couche limite et Transfert thermique.....	3
1.1.Introduction.....	3
1.2.Définition des nanofluides	3
1.3.Classification des nanofluides	3
1.4 Caractéristiques et Propriétés thermo physiques des nano fluides.....	4
1.4.1 Fraction volumique	4
1.4.2. Masse volumique	4
1.4.3 La viscosité dynamique	4
1.4.4. La conductivité thermique	6
1.4.5. La chaleur spécifique	7
1.5. Domaines d'application	7
1.6. Les avantages et Les inconvénients des nanofluides	8
1.6.1. Les avantage.....	8
1.6.2. Les inconvénients	8
1.7. Couche limite	8
1.7.1. Couche limite dynamique	8
1.7.2. Couche limite thermique	8
1.8. Etude thermique	9
Chapitre 2 :Modélisation mathématique	11
2.1. Introduction	11
2.2. Principes de la mécanique des fluides	11
2.2.1 Principes de conservation de masse	11
2.2.2. Principe de conservation de la quantité de mouvement	11
2.2.3. Principe de conservation de l'énergie	12
2.3. Géométrie étudiée	12
2.4. Hypothèses simplificatrices	13
2.5 Les conditions aux limites	13
2.6. Equation adimensionnées	14
2.7. Résolution numérique	15
Chapitre3 : Résultats et discussion	16
Conclusion	22
Bibliographies	23

Introduction général et recherche bibliographique

Introduction générale et recherche bibliographique

Introduction générale

L'étude de l'écoulement d'un fluide sur une surface qui s'étire est l'un des problèmes importants abordés dans l'ère actuelle telle qu'elle se produit dans différents processus d'ingénierie comme l'extrusion, le tréfilage, le tourbillonnage, la production de fibre de verre, la fabrication de feuilles de caoutchouc et le refroidissement d'énormes plaques métalliques comme un électrolyte.

A proximité immédiate du fluide la feuille de polymère léger compose un plan en mouvement non uniforme [1]. Par conséquent Des expériences montrent que la distance de la fente et la vitesse d'étirement de la surface sont cohérentes. En appliquant la contrainte uniforme, la feuille supporte l'incompressible écoulement qui a été étudié pour la première fois par Crane [1]. Ce problème a attiré d'autres mathématiciens ainsi, qui a résolu ce problème davantage en considérant différentes conditions physiques [2-5].

Les nanoparticules sont des particules dont la taille est comprise entre 1 et 100 nanomètres. Les nanofluides sont obtenus par dispersion de nanoparticules avec un fluide de base. Ce type de fluide provient d'une nouvelle classe de nanotechnologie basée sur le transfert de chaleur. Le but des nanofluides est pour approcher les propriétés thermiques maximales à la plus petite concentration possible. Le développement des nanofluides a pour but d'augmenter la conductivité thermique et améliorer les caractéristiques de transfert de chaleur.

Certaines nanoparticules courantes contiennent du carbone sous différentes formes comme le diamant et nanotubes de carbone graphite, céramiques d'oxyde Al_2O_3 (oxyde d'aluminium), CuO (oxyde de cuivre), nitrures métalliques AlN (nitrure d'aluminium), SiN (nitrure de silicium), etc. Tous non métalliques et les particules métalliques modifient les propriétés de transport et les caractéristiques de conduction thermique des fluides de base comme l'eau, les liquides organiques, par ex. éthylène, réfrigérants, etc.

En fait, la conductivité thermique améliorée est basée sur les nanoparticules tandis que l'efficacité de l'amélioration du transfert de chaleur dépend également de la forme des particules, particules dispersées, type de matériau, etc. L'utilisation d'additifs est une autre manière pour améliorer la capacité de transfert de chaleur des fluides de base. Des recherches récentes ont prouvé qu'une telle technique peut améliorer la conductivité thermique et les propriétés de transport de chaleur du fluide de base et par conséquent l'efficacité énergétique.

En 1995, Choi [6] a analysé nanoparticules et il a été le premier à avoir travaillé dans ce sens. Boungiorno et Al. [7] ont montré le fait que la conductivité thermique du transfert de chaleur conventionnel des liquides a augmenté jusqu'à environ deux fois en ajoutant seulement une très petite quantité de nanoparticules dans le fluide, soit moins de 1 en volume. Le transfert thermique des nanofluides à l'intérieur d'une enceinte pour la dissipation des particules solides a été examinée par Khanafer et al. [8].

L'écoulement de la couche limite magnétohydrodynamique est d'une grande importance car il peut être utilisé dans divers domaines comme l'utilisation dans la géothermie.

Introduction générale et recherche bibliographique

C'est pour cette raison dans une grande variété d'utilisations, de nombreux scientifiques ont examiné l'impact intéressant du champ magnétique sur les problèmes de l'écoulement des liquides [9-20].

Olanrewaju et Al. [22] ont examiné l'écoulement de la couche limite de nanofluides en présence du rayonnement à travers une plaque semi-infinie mobile dans un flux libre et uniforme.

Dernièrement, Turkyilmazoglu et Pop[24] ont concentré les impacts du rayonnement chaud sur le flux de nanofluide en une seule étape sur une vaste plaque verticale.

La dissipation visqueuse est bien souvent un effet négligeable, mais sa contribution peut devenir importante lorsque la viscosité du fluide est très élevée.

Anjali Devi et Ganga [25] ont étudié le MHD s'écoulent sur une feuille d'étirement poreuse sous l'influence d'un échauffement et d'une dissipation visqueuse. Écoulement de la couche limite ainsi que les effets de la dissipation visqueuse et thermique sur une plaque plane en mouvement a été étudié par Motsumi et Makinde [26].

Très récemment, Makinde et Mutuku [27] ont étudié la couche limite thermique de nanofluides hydromagnétiques sur une plaque chauffée sous l'impact d'un chauffage ohmique et d'un fluide visqueux.

Ahmed et coll. [28] ont étudié les impacts de la chaleur puits/source sur écoulement la couche limite, de nanofluide monophasé sur un tube étiré.

Très récemment, Akilu et Narahari [29] ont étudié numériquement l'impact de la chaleur interne D'absorption d'un nanofluide par convection naturelle sur une plaque inclinée.

Organisation de la thèse

L'objectif principal de cette étude est d'examiner le problème de l'écoulement des nanofluides MHD dû à une surface qui s'étire. Les équations fondamentales obtenues à partir de la loi de conservation de l'impulsion et de l'énergie sont ensuite transformés en un système couplé non linéaires d'équations différentielles ordinaires au moyen d'une transformation de similarité appropriée et elles sont résolues numériquement en utilisant le solveur bvp4c de Matlab. l'effet du champ magnétique et du flux de chaleur ont été étudiés

Cette thèse est organisée comme suite :

- Le chapitre 1 : Généralités sur les nano fluides.
- Le chapitre 2 : décrit les idées de base et la terminologie utiles à la compréhension de la thèse.
- Le chapitre 3 : consiste en un examen de l'analyse de l'écoulement et du transfert de chaleur du nanofluide MHD en raison de l'étirement convectif de la feuille.

Chapitre 1

Généralités sur les nano fluides, couche limite et Transfert thermique

1.4.Introduction

Au cours des dernières années, l'utilisation des nanofluides comme un fluide caloporteur est devenue plus répandue en raison de ses propriétés thermo physiques. De ce fait il a été nécessaire de mener des études approfondies pour améliorer la technologie du transfert thermique pour adapter aux mieux les propriétés thermo physiques du nanofluides.

Dans cette partie, nous essayons de définir le nanofluide et comment le former, en rappelant quelques modèles pour estimer les propriétés thermo physiques ainsi que les domaines d'application des nanofluides. A la fin de cette partie on va rappeler quelques fondements de la dynamique des fluides et les transferts thermiques.

1.2. Définition des nanofluides

Les nanofluides sont un nouveau type de fluide caloporteur contenant une petite quantité de particules nanométriques (généralement inférieures à 100nm) qui sont suspendues uniformément et de manière stables dans un liquide.

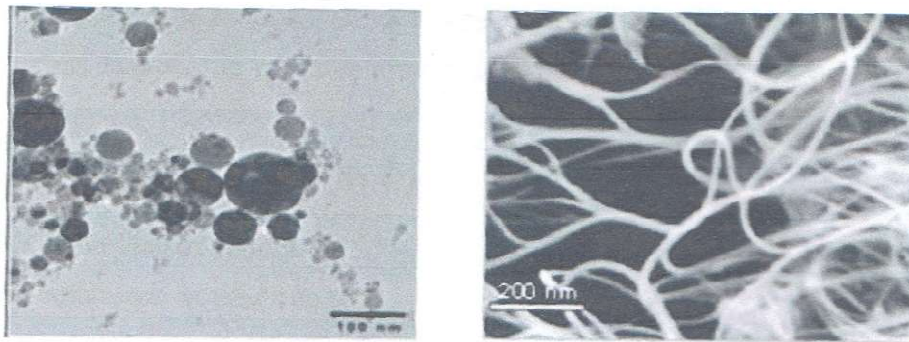
La dispersion d'une petite quantité de nanoparticules solides dans les fluides conventionnels (l'eau, de l'huile ou de l'éthylène glycol(EG)) modifie remarquablement leur conductivité thermique. Comparés aux techniques existantes pour améliorer le transfert de chaleur, les nanofluides montrent un potentiel supérieur pour augmenter les taux de transfert de chaleur dans une variété de cas [30].

1.3. Classification des nanofluides

D'une manière générale, les nanoparticules peuvent être classées selon leur forme en deux grandes catégories :

-Les nanoparticules sphériques pour lesquelles plusieurs types de matériaux peuvent être utilisés pour leur fabrication. Ces nanoparticules sphériques peuvent ainsi être à base de métaux (cuivre Cu, fer Fe ,or Au ,argent Ag...) ou d'oxydes (dioxyde d'aluminium Al_2O_3 , oxyde de cuivre CuO,oxyde de titane TiO_2)

-Les nanotubes (les nanotubes de carbone NTC , les nanotubes de titane TiO_2 , les nanotubes de silicium....)[31]



a

b

Figure 1.1 : a) nanoparticule sphérique[32]

b) nanoparticule de nanotube [33]

1.4 Caractéristiques et Propriétés thermo physiques des nano fluides

1.4.1 Fraction volumique (ϕ)

La fraction volumique est le rapport de volume de nanoparticule sur le volume total de nanofluide .La valeur de la fraction volumique est variée entre 0 (fluide de base pure) et 1.

$$\phi = \frac{\text{volume de nanoparticule}}{\text{volume total de nano fluide}} = \frac{v_{np}}{v_{tot}} \quad (1.1)$$

ϕ :fraction volumique :

v_{np} : volume de nanoparticule ;

v_{tot} : volume total du nanofluide .

1.4.2. Masse volumique (ρ)

La masse volumique des nanofluides est proportionnelle à la fraction volumique en particules et augmente avec l'ajout des nanoparticules .Dans la littérature ,et en l'absence de résultats expérimentaux , la masse volumique des nanofluides est souvent calculée à partir de la loi de mélange dans laquelle , le nanofluide est supposé homogène[34].la relation de masse volumique est :

$$\rho_{nf} = \rho_{fb}(1 - \phi) + \rho_{np}\phi \quad (1.2)$$

ρ_{nf} : la masse volumique de nanofluide.

ρ_{fb} : la masse volumique de fluide de base.

ρ_{np} : la masse volumique de nanoparticule.

1.4.3 La viscosité dynamique(μ)

La viscosité est la résistance d'un fluide au mouvement , une mesure de son frottement interne [35]. La majorité des études qui ont traité de la viscosité des nanofluides ont eu recours, pour son calcul à la

viscosité du fluide de base et à la fraction volumique ϕ selon les relations de Stokes – Einstein ou de Brinkman. Ces relations ont été établies dans un cadre précis à savoir les particules métalliques de forme sphérique. En faible concentration, parfaitement dispersées et sans interaction inter-particules [36]

➤ Modèle d'Einstein(1906)

Le modèle d'Einstein est valable pour $\phi < 0.03$ et donné par la relation suivante

$$\mu_{nf} = \mu_f(1 + 2.5\phi) \quad (1.3)$$

μ_{nf} : la viscosité dynamique de nanofluide ;

μ_f : la viscosité dynamique de fluide de base .

➤ Modèle de Brinkman (1952)

Le modèle de Brinkman est donné par la relation suivante :

$$\mu_{nf} = \frac{\mu_f}{(1-\phi)^{2.5}} \quad (1.4)$$

➤ Modèle de Batchelor (1977)

Batchelor a étudié théoriquement la viscosité dynamique d'un nanofluide en tenant en compte l'effet de l'interaction hydrodynamique entre deux nanoparticules sphériques, il a montré que la viscosité dynamique d'un nanofluide n'est pas une fonction linéaire de la fraction volumique comme les relations de « Einstein et Brinkman » [37]

$$\mu_{nf} = \mu_f(1 + 2.5\phi + 6.2\phi^2) \quad (1.5)$$

➤ Modèle de Wang et al (1999)

Ce modèle est expérimental et valable pour un nanofluide composé de l'eau comme fluide de base et des nanoparticules d'alumine, donné par la corrélation suivante :

$$\mu_{nf} = \mu_f(1 + 7.3\phi + 123\phi^2) \quad (1.6)$$

Le tableau ci-dessous donne la variation de la viscosité pour différentes valeurs de la fraction volumique pour les différents modèles :

1.4.4. La conductivité thermique (k)

La conductivité thermique, notée k, est la capacité d'un matériau de conduire ou de transmettre de la chaleur .C'est une propriété très importante pour l'amélioration des performances thermique d'un fluide caloporteur [34].Il existe plusieurs modèles théoriques pour déterminer la valeur de la conductivité thermique.

➤ Modèle de Maxwell

Le modèle de Maxwell est valable pour les suspensions contenant des particules sphériques de concentration volumiques relativement faibles et donné par la relation suivante :

$$k_{nf} = \frac{k_{np} + 2k_{bf} - 2\phi(k_{bf} - k_{np})}{k_{np} + 2k_{bf} + \phi(k_{bf} - k_{np})} k_{fb} \quad (1.7)$$

k_{nf} : La conductivité thermique du nanofluide .

k_{np} : La conductivité thermique de la nanoparticule.

k_{fb} : La conductivité thermique du fluide de base.

➤ Modèle de Bruggeman

Le modèle de Bruggeman complète celui de Maxwell pour des concentrations volumiques relativement élevées, et donné par l'équation suivant

$$\phi \left(\frac{k_{np} - k_{nf}}{k_{np} + 2k_{nf}} \right) + (1 - \phi) \left(\frac{k_{fb} - k_{nf}}{k_{fb} + 2k_{nf}} \right) = 0 \quad (1.8)$$

➤ Modèle de Hamilton & Crosser

Le modèle de Hamilton est une extension du modèle de Maxwell. Il concerne les particules de forme quelconque .Hamilton introduit un facteur géométrique appelé sphéricité (ψ) faisant référence à la géométrie sphérique .Ce coefficient est défini comme étant le rapport de la surface de la sphère ayant le même volume que les nanoparticules sur la surface d'une nanoparticule [36]. La relation du modèle de Hamilton et Crosser est :

$$k_{nf} = \frac{k_{np} + (n-1)k_{bf} - (n-1)(k_{bf} - k_{np})\phi}{k_{np} + (n-1)k_{bf} + (k_{bf} - k_{np})\phi} k_{fb} \quad (1.9)$$

Ou n est donné par une relation empirique suivant : $n = \frac{3}{\psi}$

Il existe des modèles semi empiriques appropriés à des nanofluides spécifiques, parmi ces modèles celui est adapté au nanofluide (Eau- Al_2O_3)[6]

$$k_{nf} = k_{fb}(-13\phi^2 + 6.3\phi + 1) \quad (1.10)$$

Dans le tableau suivant s'étalent les valeurs de la conductivité thermique pour les différents modèles à des différentes valeurs de la fraction volumique :

1.4.5. La chaleur spécifique(C_p) :

La chaleur spécifique est la capacité calorifique par unité de masse d'une substance ou d'un système homogène .Elle correspond à l'apport de chaleur nécessaire pour élever la température de l'unité de substance de 1 K lors de la transformation considérée [36].

Pour la détermination de la chaleur spécifique d'un nanofluide, on choisit entre les deux modèles suivants :

➤ Modèle du pak et Cho

Le modèle du paket et Cho est donné par la relation suivante :

$$(C_p)_{nf} = (1 - \phi)(C_p)_{bf} + \phi(C_p)_{np} \quad (1.11)$$

$(C_p)_{nf}$: Chaleur spécifique de nanofluide.

$(C_p)_{np}$: Chaleur spécifique de nanoparticule.

$(C_p)_{fb}$: Chaleur spécifique de fluide de base.

➤ Modèle de Xuan et Roetzel (pouvoir calorifique)

Xuan et Roetzel préfèrent travailler avec la relation (pouvoir calorifique).

$$(\rho C_p)_{nf} = (1 - \phi)(\rho C_p)_{bf} + \phi(\rho C_p)_{np} \quad (1.12)$$

1.5. Domaines d'application

Les nanofluides peuvent être employés pour améliorer le transport de chaleur et l'efficacité énergétique dans plusieurs systèmes thermique [38].Ils sont utilisés dans :

- Refroidissement des systèmes thermiques : par exemple comme un liquide refroidisseur dans les des véhicules.
- Refroidissement des systèmes électroniques : par exemple refroidissement des circuits électriques.
- Refroidissement des systèmes nucléaires.

Les nanofluides et les nanoparticules ont beaucoup d'application en biomédicale. Par exemple, pour éviter quelques effets secondaires des méthodes traditionnelles de traitement de cancer, les nanoparticules à base de fer ont été employées comme transporteur des drogues. Aussi pour une chirurgie plus sûre en produisant le refroidissement efficace autour des régions chirurgicales [38].

1.6. Les avantages et Les inconvénients des nanofluides

1.6.1. Les avantage.

- Une grande surface de transfert de chaleur entre les particules et le fluide.
- Haut dispersion et stabilité.
- Réduction du volume caloporteur par rapport aux liquides conventionnels (purs) pour l'obtention d'une intensification équivalente de transfert de chaleur ainsi qu'une miniaturisation du système.
- Propriétés ajustables, dont la conductivité thermique et la mouillabilité de la surface, en faisant varier les concentrations de particules en fonction de différentes applications.

1.6.2. Les inconvénients

- Le manque de l'accord des résultats obtenus par différents chercheur.
- Le manque de compréhension théorique des mécanismes responsables de changements des propriétés.
- Mauvaise caractérisation des suspensions.
- L'instabilité de dispersion des nanoparticules.
- Chut de pression accrue et la puissance de pompage.
- Viscosité supérieure, chaleur spécifique Basse.
- Le coût élevé des nanofluides.
- Difficultés dans le processus de production.

1.7. Couche limite

1.7.1. Couche limite dynamique

La région de l'écoulement près de la paroi (surface de la plaque) où la vitesse du fluide diminue sous l'effet des forces visqueuses qui ralentissent le mouvement du fluide est appelée couche limite. Dans le cas d'un écoulement internes, la zone située entre l'entrée de la conduite et le point de développement de la couche limite est appelée longueur d'entrée ou région d'entrée. Si l'écoulement est totalement développé, il existe un profil de vitesse unique [39].

1.7.2. Couche limite thermique

Si le fluide et la paroi sont à la même température, le phénomène physique est de nature uniquement dynamique. Mais supposant que l'écoulement incident soit à une température T_{∞} et que la surface soit maintenue à une température T_p également uniforme mais déférente T_{∞} . En explorant le

champ de température perpendiculairement à la surface on observe une variation progressive de T_p à T_∞ la région dans laquelle T varie de façon significative est appelée couche limite thermique.

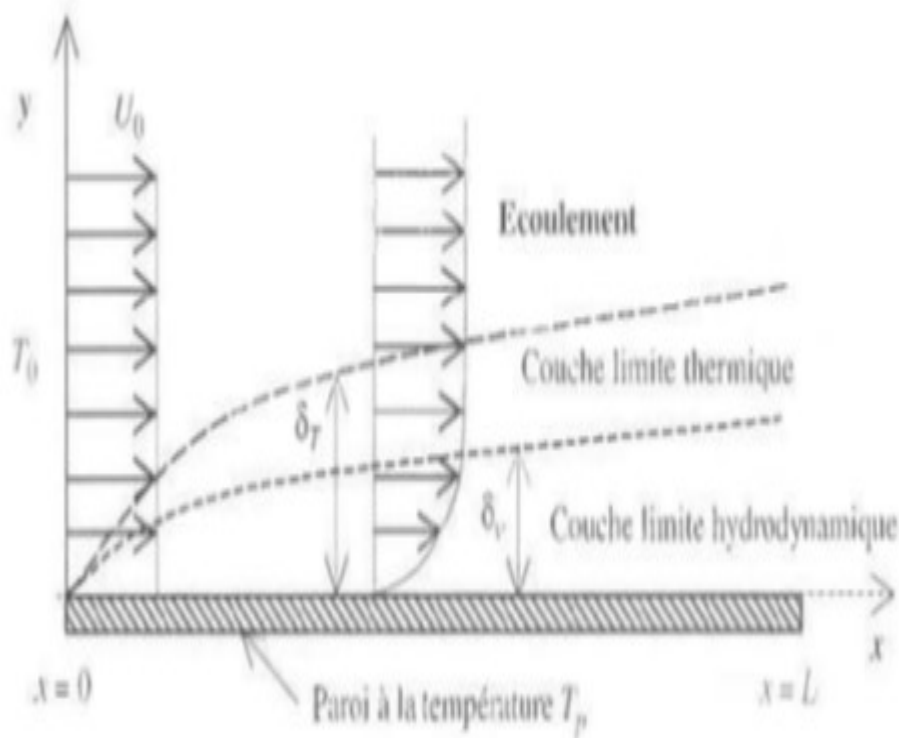


Figure 1.2 : Couche limite dynamique et Couche limite thermique

1.8. Etude thermique

Les problèmes de transmission d'énergie, en particulier de la chaleur, ont une importance déterminante pour l'étude et le fonctionnement d'appareils tels que les générateurs de vapeur, les fours, les échangeurs, les condenseurs, etc. le transfert de chaleur se fait suivant trois modes.

➤ Conduction

La conduction est le transfert de chaleur des parties chaudes vers les parties plus froides, d'un même corps en contact sans mouvement apparent de matière.

La loi fondamentale de la transmission de la chaleur par conduction, a été proposée par le mathématicien et physicien française, Jean Baptiste Joseph Fourier en 1822 [40].

$$\vec{\varphi} = k \overrightarrow{\text{grad}T} \quad (1.13)$$

L'équation (2.13) est attribuée au mathématicien et physicien Française J.B. Fourier qui en 1822 énonça sa loi et qui peut se traduire comme suit : « En tout point d'un milieu isotrope. la densité de flux

thermique instantané, est proportionnelle à la conductivité thermique du milieu et au gradient de température » [40].

➤ Convection

Le phénomène de convection intervient à chaque fois qu'un fluide se déplace par rapport à des éléments fixes à des températures différentes de celle ou lorsque deux fluides à des températures différentes sont mis en contact .Le flux de chaleur convectif est donné par loi de **Newton** :

$$q_{conv} = hS(T_p - T_{\infty}) \quad (1.14).$$

q_{conv} : Le flux de chaleur.

h : Le coefficient de transfert thermique par convection.

T : La température

Il existe trois types de convection thermique

- Convection forcée ou le mouvement est provoqué par une action externe
- Convection naturelle ou le mouvement du fluide est uniquement dû à la poussée d'Archimède induite par la variation de masse volumique au sein du fluide
- Convection mixte ou le mouvement du fluide correspond au couplage des deux phénomènes précédents.

➤ Rayonnement

Le rayonnement est la seule transmission d'énergie sans aucun support matériel Tout corps matériel, à une température différente du zéro absolu, émet sa surface un rayonnement fonction de sa température et de son état de surface.

Chapitre 2

Modélisation mathématique

2.1. Introduction

Au cours de travail , on va étudier le transfert thermique issu de l'écoulement du nanofluide eau/Al₂O₃ sur une surface en mouvement .A partir des équations de conservations et des hypothèses simplificatrices , on va expliciter le modèle mathématique approprié à notre problème en faisant une petite introduction à la méthode de résolution et définissant brièvement le code de calcul .

2.2. Principes de la mécanique des fluides

2.2.1 Principes de conservation de masse

L'équation (2.1) représente le modelé mathématique du principe considéré appelé équation de conservation de masse ou équation de continuité :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) = 0 \quad (2.1)$$

ρ : représente la masse volumique. [kg. m⁻³]

t : le temps. s

\mathbf{v} : le champ de vitesse du fluide. m/s

∇ : l'opérateur nabla, représentant le gradient spatial.

\cdot : l'opérateur de produit scalaire.

2.2.2. Principe de conservation de la quantité de mouvement

D'après le principe fondamental de la dynamique, le taux de changement de quantité de mouvement d'une particule fluide est égal à la somme des forces extérieures appliquées sur cette particule [8].L'équation de conservation de quantité de mouvement et la suivante :

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 \mathbf{v} + \mathbf{F} \quad (2.2)$$

Dans cette équation :

\mathbf{v} : le champ de vitesse du fluide . m/s

t : le temps. s

ρ : représente la masse volumique. [kg. m⁻³]

p : la pression. Pa

ν : la viscosité cinématique. [m².s⁻¹]

\mathbf{F} : la somme des forces externes par unité de masse. m/s²

2.2.3. Principe de conservation de l'énergie

Le premier principe de la thermodynamique énonce que l'énergie totale E , varie à cause du travail des forces extérieures et du flux de chaleur. En appliquant ce principe à un volume élémentaire de fluide, on arrive à l'équation de conservation de l'énergie. Cette équation représente la relation entre les différentes formes d'énergie mises en pendant l'écoulement du fluide [39].

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1}{2} \rho v^2 + \rho \Phi + e \right) + \nabla \cdot \left(\frac{1}{2} \rho v^2 \mathbf{v} + \rho \Phi \mathbf{v} - k \nabla T \right) = \rho \mathbf{F} \cdot \mathbf{v} + \nabla \cdot \mathbf{q} \quad (2.3)$$

Avec :

ρ : représente la masse volumique.	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$
v : la vitesse du fluide. .	m/s
Φ : le potentiel gravitationnel par unité de masse.	J/kg
e : l'énergie interne par unité de masse .	J/kg
k : la conductivité thermique.	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$
T : la température.	s
\mathbf{F} : la force extérieure par unité de masse.	m/s^2
\mathbf{q} : le flux de chaleur.	W/m^2

2.3. Géométrie étudiée

Pour comprendre les propriétés du mécanisme de transfert thermique le long d'une surface exponentielle, nous avons envisagé un flux 2D constant et incompressible de nanofluide à base visqueuse sur une surface étirée de manière exponentielle. Un champ magnétique uniforme a été appliqué perpendiculairement à la surface pour examiner les effets du MHD. Les effets des flux thermique non uniformes et les conditions aux limites de convection sont également prises en compte. Un système de coordonnées cartésiennes a été utilisé dans lequel l'axe des x est parallèles à la surface étirée et l'axe des y est normal à elle.

La plaque a été étirée dans la direction x - avec la vitesse $U_w(x) = U_0 \exp(x/l)$ Ou U_0 et l sont la vitesse de référence et longueur caractéristique.

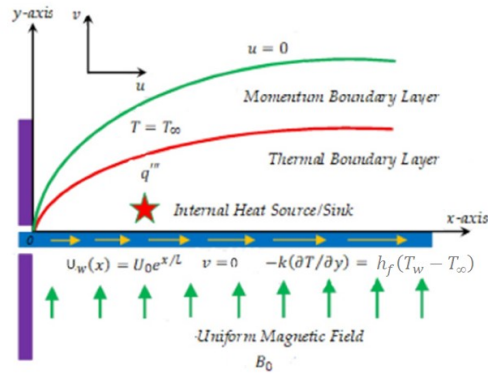


Figure 2.1 : représente la géométrie du modèle considéré.

2.4. Hypothèses simplificatrices

Pour notre modèle mathématique les hypothèses classiques et simplificatrices adoptées sont les suivantes :

- L'écoulement est laminaire, stationnaire et bidimensionnel.
- Le nanofluide est non newtonien et incompressible.
- Les forces volumiques sont négligeables.
- La puissance des forces extérieures sont négligeables.

A parti des hypothèses simplification, les équations de conservation en coordonnées cartésiennes s'écrivent de la manière suivante :

➤ **Equation de conservation de masse :**

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (2.4)$$

➤ **Equation de Navier-Stokes**

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\mu_{nf}}{\rho_{nf}} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - \frac{\sigma_{nf}}{\rho_{nf}} B_0^2 u \quad (2.5)$$

➤ **Equation de conservation de l'énergie**

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{k_{nf}}{(\rho c_p)_{nf}} \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{K_{nf} U_w(x) [A^*(T_w - T_\infty) f' + (T - T_\infty) B^*]}{x v_{nf} (\rho c_p)_{nf}} \quad (2.6)$$

2.5 Les conditions aux limites :

$$\mathbf{u} = U_w(x) = U_0 \exp\left(\frac{x}{l}\right), \quad v = 0 \quad (2.7)$$

$$-k_f \frac{\partial T}{\partial y} = h_f(T_w - T_\infty), \text{ quand } y = 0 \text{ et } y \rightarrow \infty \quad (2.8)$$

2.6. Equation adimensionnées

Dans ce domaine d'étude la complexité du système d'équation des phénomènes nécessite l'utilisation de l'analyse adimensionnelle qui permet de nombre des paramètres physiques.

Pour écrire les équation sous forme adimensionnelle,

$$u = U_0 \exp\left(\frac{x}{l}\right) f(\eta) \quad (2.9)$$

$$v = -\sqrt{\frac{v_f U_0}{2l}} \exp\left(\frac{x}{l}\right) [f(\eta) + \eta f'(\eta)] \quad (2.10)$$

$$\theta(\eta) = \frac{T - T_\infty}{T_w - T_\infty} \quad (2.11)$$

$$\eta = y \sqrt{\frac{U_0}{2v_f l}} \exp\left(\frac{x}{2l}\right) \quad (2.12)$$

Equation de Navier-Stokes :

$$\frac{A_0}{A_1} f''' + f f'' - 2f'^2 - \frac{A_2}{A_1} M f' = 0 \quad (2.13)$$

Equation de l'énergie :

$$\theta'' + Pr \frac{A_3}{A_4} f \theta' + \frac{A_1}{A_0} (A f' + B \theta) = 0 \quad (2.14)$$

Pr: nombre de prandtl.

Conditions aux limites

$$f(\eta) = 0, f'(\eta) = 1, \theta'(\eta) = -\gamma(1 - \theta(\eta)) \text{ quand } \eta = 0$$

$$f'(\eta) \rightarrow 0, \theta(\eta) \rightarrow 0 \text{ lorsque } \eta \rightarrow \infty,$$

Les constantes mentionnes dans les équations sont donnees par :

$$A_0 = \frac{\mu_{nf}}{\mu_f}, A_1 = \frac{\rho_{nf}}{\rho_f}, A_2 = \frac{\sigma_{nf}}{\sigma_f}, A_3 = \frac{(\rho c_p)_{nf}}{(\rho c_p)_f}, A_4 = \frac{k_{nf}}{k_f}$$

$$Cf = \frac{\tau_w}{\rho_f U_w^2}, \tau_w = \mu_{nf} \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)_{y=0}$$

$$Nu = \frac{x q_w}{k_f (T_w - T_\infty)}, q_w = -k_{nf} \left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)_{y=0}$$

$$Nu = \frac{xq_w}{k_f(T_w - T_\infty)}, q_w = -k_{nf} \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)_{y=0}$$

2.7. Résolution numérique

Pour résoudre numériquement le système ci-dessus, nous avons remplacé le domaine $[0, \infty)$ par le domaine borné $[0, \eta_\infty]$ où η_∞ est un nombre réel fini approprié.

Utilisons la notation

$f = y_1, \theta = y_4.$

Notons en outre $f' = y_1'$ par $y_2, f'' = y_2'$ par y_3

pour avoir le système suivant d'ODE de premier ordre.

$$\frac{A_0}{A_1} y_3' + y_1 y_3 - 2y_2^2 - \frac{A_2}{A_1} M y_2 = 0 ; \dots \dots \dots (2.15)$$

$$y_5' + P_r \frac{A_3}{A_4} y_1 y_5 + \frac{A_1}{A_0} (A y_2 + B y_4) = 0. \dots \dots \dots (2.16)$$

$$y_1(\eta) = 0, \quad y_2(\eta) = 1, y_5(\eta) = -\gamma(1 - y_4(\eta)) \quad \text{quand } \eta = 0$$

$$y_2(\eta) \rightarrow 0, y_5(\eta) \rightarrow 0 \text{ lorsque } \eta \rightarrow \infty$$

De (1) on tire : $y_3' = \frac{A_1}{A_0} (-y_1 y_3 + 2y_2^2 + \frac{A_2}{A_1} M y_2)$(2.17)

De(2) on tire : $y_5' = -P_r \frac{A_3}{A_4} y_1 y_5 - \frac{A_1}{A_0} (A y_2 + B y_4)$(2.18)

$$y_1(\eta) = 0, \quad y_2(\eta) = 1, y_5(\eta) = -\gamma(1 - y_4(\eta)) \quad \text{quand } \eta = 0 \dots \dots \dots (2.19)$$

$$y_2(\eta) \rightarrow 0, y_5(\eta) \rightarrow 0 \text{ lorsque } \eta \rightarrow \infty, \dots \dots \dots (2.20)$$

Dans le système d'équations (2.17) – (2.18), la condition initiale manquante Y_3 doit être choisie de telle sorte que

$$y_2(\eta_\infty, Y_3, Y_4) = 0, y_4(\eta_\infty, Y_3) = 0, y_5(\eta_\infty, y_4, y_3, y_2) = 0. \dots \dots \dots (2.21)$$

Pour résoudre le système d'équations algébriques (2.21), nous utilisons la fonction `bvp4c` de matlab .cette fonction est utilisée pour résoudre les problèmes aux limites.

Cette méthode est implantée dans un code matlab .

Chapitre3 :

Résultats et discussion

Chapitre 3 : Résultats et discussion

Les résultats de calcul des équations différentielles ordinaires adimensionnées obtenues à l'aide de la fonction `bvp4c` de matlabs ont discutés en détail.

Les variations dans les champs de vitesse et de température sont représentées sur les figures. 3.1,3.2, 3.3 ,3.4,3. 5, 3.6,3.7 et 3.8 en fonction de paramètres tels que le nombre de Hartmann (M), la fraction volumique des nanoparticules (ϕ), les paramètres de la source de chaleur et du puits (A et B), et paramètre de relaxation thermique (γ).

La figure 3.1 représente la dépendance de la vitesse du paramètre du champ magnétique. On voit que le champ de vitesse diminue à mesure que M augmente. La force de Lorentz fonctionne comme un déclamateur, réduisant la vitesse du fluide et l'épaisseur de la couche limite dynamique. En conséquence, des valeurs M plus élevées intensifient la force résistive, qui résiste aux forces magnétiques avec des effets retardateurs dominants et réduit la vitesse du fluide.

Les figures 3.5, 3.6,3.7 et 3.8 montrent l'impact de différentes valeurs des paramètres A et B dépendants de l'espace et du temps sur la température du fluide dans les deux cas de génération de chaleur et d'absorption de chaleur interne. Une augmentation la température du fluide s'observe dans le cas de $A > 0$ mais diminue dans le cas de $A < 0$.

La couche limite dynamique diminue quand $A > 0$, ce qui tend à ralentir la vitesse dans la couche limite, provoquant une augmentation du profil de température, ce qui se passe lorsque A augmente. L'existence de A réduit physiquement la quantité de chaleur disponible pour le système, ce qui entraîne une dégradation du mécanisme de transport. En présence d'un champ magnétique

la couche limite thermique se dilate pour $A < 0$. La température du fluide a tendance à augmenter en raison de l'existence d'une source de chaleur dans la couche limite qui génère de l'énergie.

Les figures 3.7 et 3.8 illustrent les effets des paramètres de source de chaleur et de puits de chaleur en fonction du temps sur la température du fluide. La température du fluide augmente $B > 0$ et

Diminue lorsque $B < 0$. La génération de chaleur (un paramètre de source de chaleur non uniforme supérieur à zéro) augmente la température du fluide en ajoutant de la chaleur supplémentaire dans le système et épaissit la couche limite thermique. L'existence d'une source de chaleur dans l'intérieur amène le champ d'écoulement à transmettre une chaleur supplémentaire, ce qui entraîne une épaisseur de couche limite thermique. lorsque $B < 0$ fonctionne comme un absorbeur de chaleur, provoquant une perte de chaleur du fluide en refroidissant, entraînant une baisse de la température du fluide.

L'amélioration de la conductivité thermique est l'une des caractéristiques les plus essentielles.

Des améliorations de la conductivité thermique peuvent entraîner de légers gains d'efficacité grâce à un transfert de chaleur du fluide plus efficace. Augmenter la quantité de nanoparticules ajouté au fluide de base améliore les propriétés de transmission thermique du matériau, ce qui entraîne un profil de température plus élevé. L'impact du nombre de Biot (γ) de transfert de chaleur sur le champ de température sans dimension est visible sur la figure 3.9.

Chapitre 3 : Résultats et discussion

L'augmentation de γ implique que le coefficient de transfert de chaleur augmente également, tout comme la température.

Le flux dans la couche limite se déplace en fonction de la vitesse de la surface étirée. En conséquence, augmenter le nombre de Biot réduit l'impact du mouvement dans la couche limite, ralentissant ainsi l'écoulement.

La figure 3.3 et 3.4 illustre l'influence de ϕ sur la température et la vitesse du fluide. Selon les résultats, la température et la vitesse augmentent à mesure que nous augmentons la quantité de nanoparticules dans le fluide de base. En effet, l'augmentation du nombre de nanoparticules améliore les propriétés thermiques du fluide.

De plus, l'ajout de nanoparticules au fluide de base augmente les capacités de transmission de chaleur du matériau, ce qui entraîne un profil de température plus élevé

Etude de variation de la vitesse

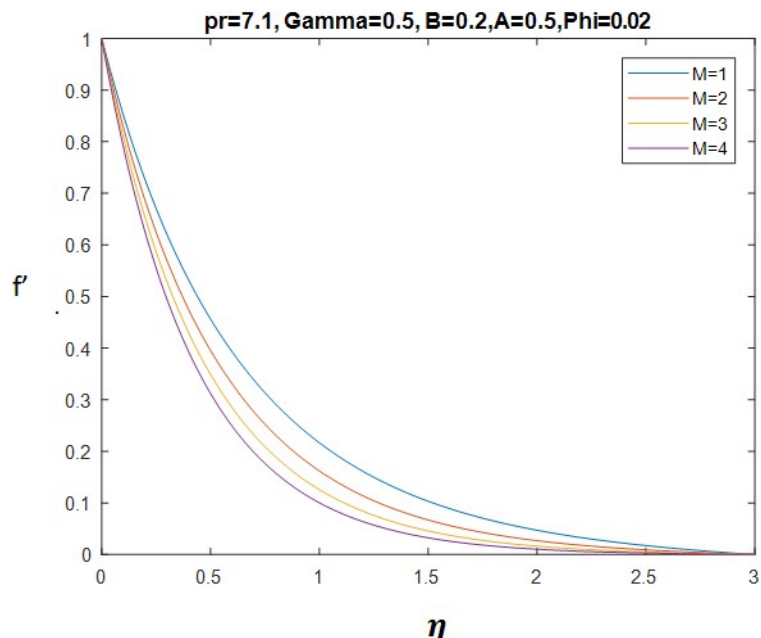


Figure 3.1. Effets du paramètre de champ magnétique sur le champ de vitesse

Chapitre 3 : Résultats et discussion

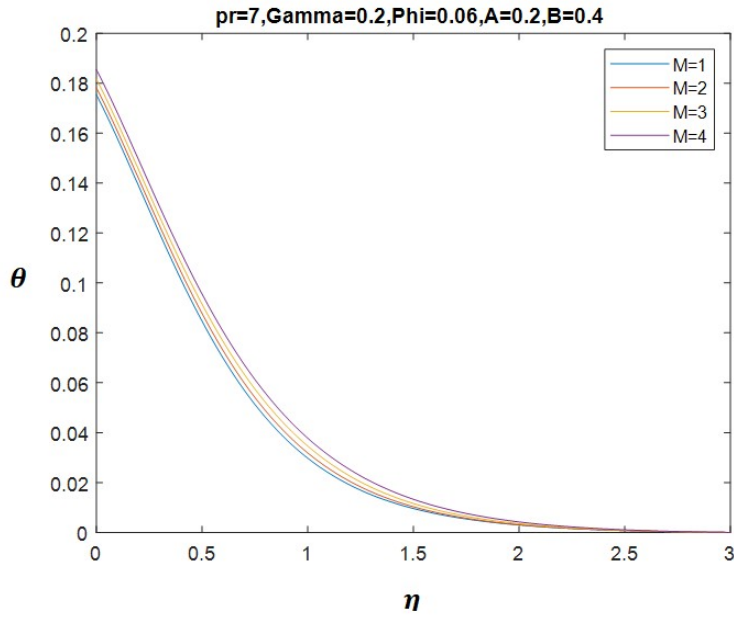


Figure 3.2. Effets du paramètre de champ magnétique sur le champ de température

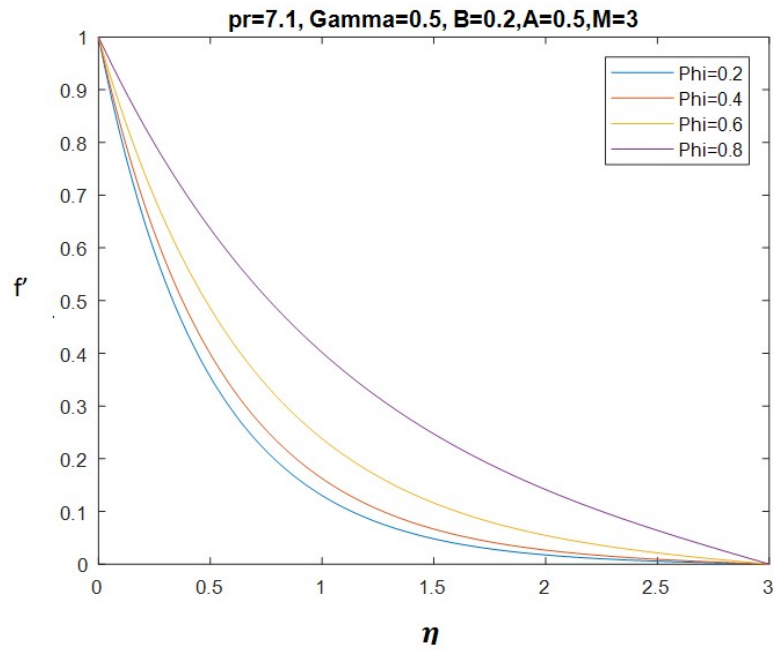


Figure 3.3. Profils de vitesse pour différentes valeurs de fraction volumique de nanoparticules.

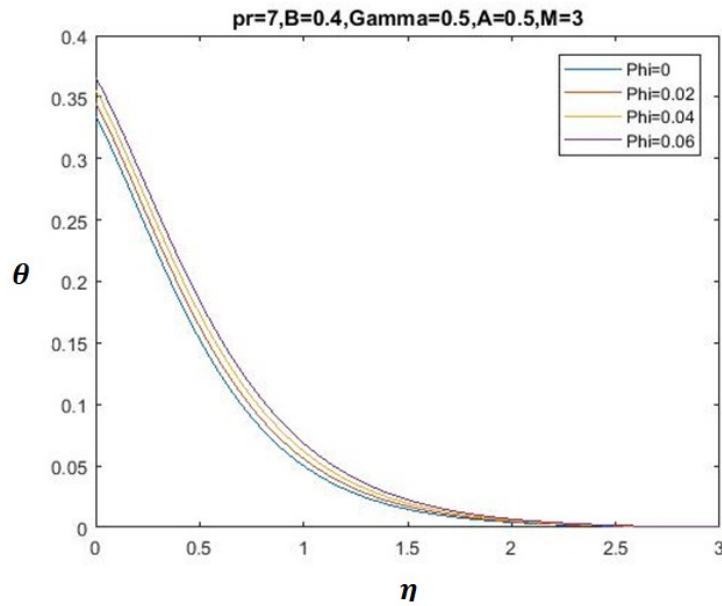


Figure 3.4. Profils de température pour différentes valeurs de fraction volumique de nanoparticules

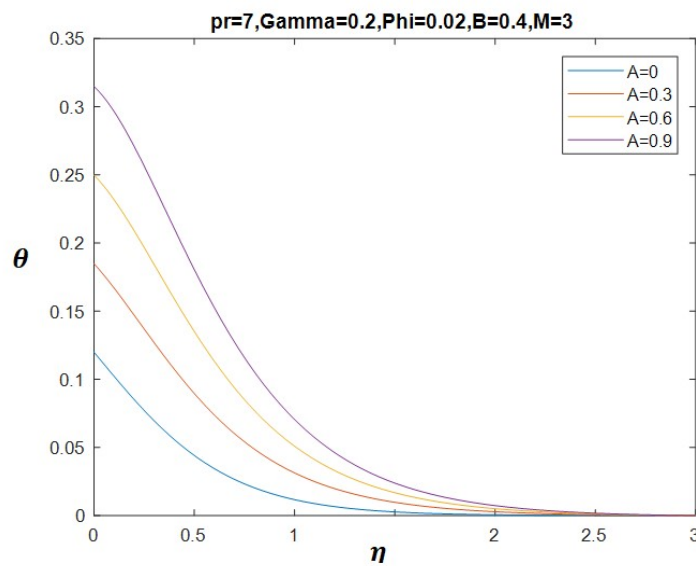


Figure 3.5. Effets du paramètre dépendant de l'espace sur le profil de température pour $A > 0$

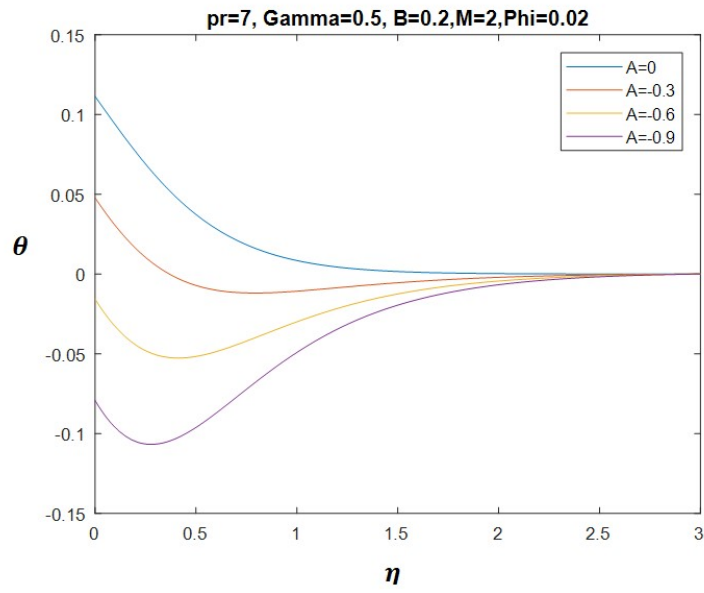


Figure 3.6. Effets du paramètre dépendant de l'espace sur le profil de température pour $A < 0$.

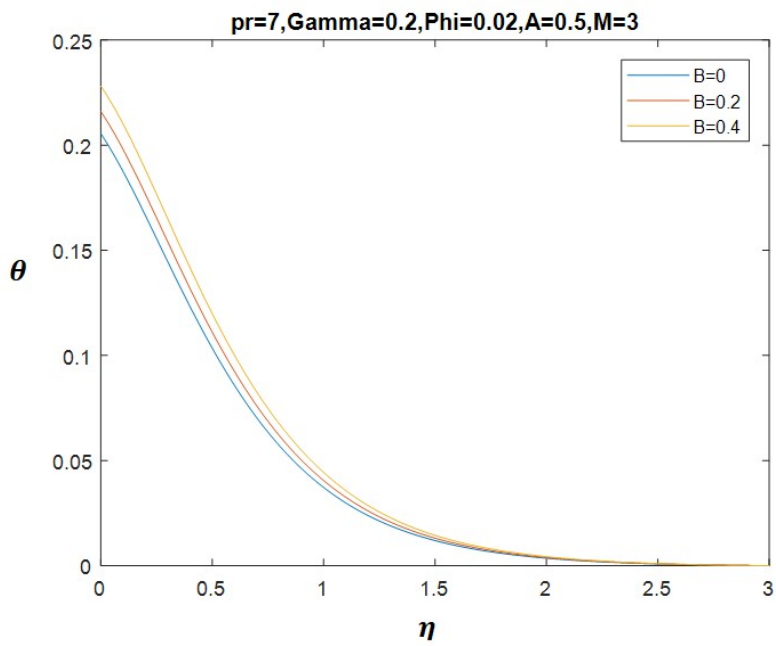


Figure 3.7. Effets du paramètre dépendant du temps sur le profil de température pour $B > 0$

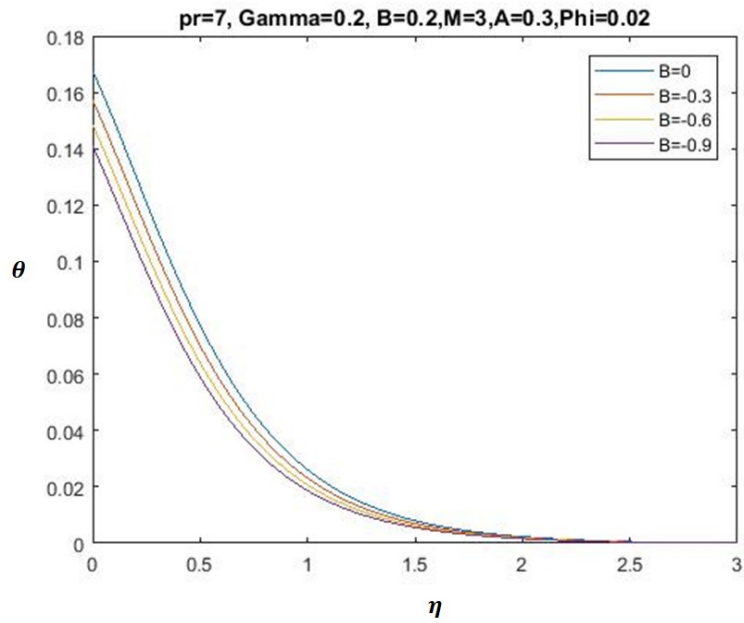


Figure 3.8. Effets du paramètre dépendant du temps sur le profil de température pour $B < 0$

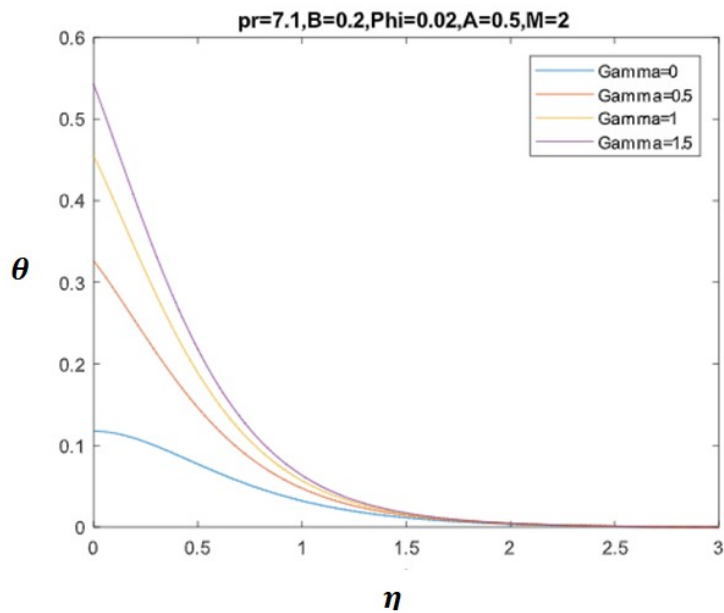


Figure 3.9. Profils de température pour différentes valeurs du paramètre de relaxation thermique.

Conclusion

Conclusion

Conclusion

Dans ce mémoire, le comportement de l'écoulement bidimensionnel d'un magnéto nanofluide MHD sur une surface étirée est dû aux conditions limites convectives au niveau de la couche limite sont discutées.

Les équations du problème obtenues sont converties en ODE en utilisant une transformation de similarité.

En utilisant de la fonction `bvp4c` de Matlab, la solution du problème donné est obtenue numériquement et on observe les résultats suivants :

- 1- Le champ de vitesse $f'(\eta)$ diminue lorsqu'il est soumis à une augmentation du nombre de Hartmann (M) et le champ $\theta(\eta)$ augmente avec la force magnétique
- 2- Profil de vitesse et de température augmenté avec l'augmentation de la fraction volumique de nanoparticules(ϕ).
- 3- le champ thermique $\theta(\eta)$ augmente lorsque le paramètre de relaxation (γ) et le nombre de Hartmann M sont améliorés.
- 4- l'influence de l'ajout d'une source (génération/absorption) de chaleur sur le champ de température a été aussi observé en variant les constantes A et B .

bibliographie

Bibliographies

- [1] L. J. Crane, Flow past a stretching plate, *Z.A.M.P.*, 21, pp. 645-647. (1970)
- [2] S. Mukhopadhyay, Heat transfer analysis of unsteady flow of a Maxwell fluid over a stretching surface in the presence of a heat source/sink, *Chinese Phys. Lett.*, 29, pp. 054703. (2012)
- [3] B. Sahoo, Effects of slip on sheet-driven flow and heat transfer of a non-Newtonian fluid past a stretching sheet, *Compt. Math. Appl.*, 61, pp. 14421456. (2011)
- [4] M. M. Rashidi, A.J. Chamkha, M. Keimanesh, Application of Multi-step differential transform method on flow of a second grade fluid over a stretching or shrinking sheet, *Amer. J. Compt. Math*, 6, pp.119128. (2011)
- [5] M. Ramzan, M. Farooq, A. Alsaedi, T. Hayat, MHD three-dimensional flow of couple stress fluid with Newtonian heating, *Eur. Phys. J. Plus*, 128, pp. 49-56. (2013)
- [6] S. U. S. Choi, Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, D. A. Siginer, H.P. Wang (Eds.), *Developments and applications of non-Newtonian flows*, ASME FED, 66, pp. 99105. (1995)
- [7] J. Bouniorno, A benchmark study of thermal conductivity of nanofluids, *J. Appl. Phys.*, 106, pp. 094312. (2009)
- [8] K. Khanafer, K. Vafai, M. Lightstone, Buoyancy-driven heat transfer enhancement in a two-dimensional enclosure utilizing nanofluids, *Int. J. heat Mass transf.*, 46, pp. 3639-3653. (2003)
- [9] M. Sheikholeslami, H. R. Ashorynejad, D. D. Ganji, A. Kolahdooz, Investigation of rotating MHD viscous flow and heat transfer between stretching and porous surfaces using analytical method, *Math Probl. Eng.*, (2011)
- [10] R. Ellahi, M. Hameed, Numerical analysis of steady flows with heat transfer, MHD and nonlinear slip effects, *Int. J. Numer. Methds. Heat Fluid Flow*, 22 (1), pp. 2438.(2012)
- [11] O. D. Makinde, W. A. Khan, Z. H. Khan, Buoyancy effects on MHD stagnation point flow and heat transfer of a nanofluid past a convectively heated stretching/shrinking sheet, *Int. J. Heat Mass Transf.*, 62, pp. 526533. (2013)
- [12] S. Nadeem, R. Mehmood, N. S. Akbar, Thermo-diffusion effects on MHD oblique stagnation-point flow of a viscoelastic fluid over a convective surface, *Eur. Phys. J. Plus*, 129, pp. 118. (2014)
- [13] W. A. Khan, O .D. Makinde, Z. H. Khan, MHD boundary layer flow of a nanofluid containing gyrotactic microorganisms past a vertical plate with Navier slip, *Int. J. Heat Mass Transf.*, 74, pp. 285291. (2014)
- [14] N. Vishnu Ganesh, B. Ganga, A. K. Abdul Hakeem, Lie symmetry group analysis of magnetic field effects on free convective flow of a nanofluid over a semi infinite stretching sheet, *J. Egyp. Math Soc.*, 22, pp. 304310. (2014)
- [15] N. Vishnu Ganesh, A. K. Abdul Hakeem, R. Jayaprakash, B. Ganga, Analytical and numerical studies on hydromagnetic flow of water based metal nanofluids over a stretching sheet with thermal radiation effect, *J. Nanofluids.*, 3, pp. 154161. (2014)
- [16] M. M. Rashidi, N. Vishnu Ganesh, A. K. Abdul Hakeem, B. Ganga, Buoyancy effect on MHD flow of nanofluid over a stretching sheet in the presence of thermal radiation, *J. Mol. liq.*, 198, pp. 234238. (2014)
- [17] W. Ibrahim, O. D. Makinde, Double-diffusive in mixed convection and MHD stagnation point flow of nanofluid over a stretching sheet, *J. Nanofluids*, 4, pp. 2837. (2015)

- [18] S. Das, H. K. Mandal, R. N. Jana, O.D. Makinde, Magneto-nanofluid flow past an impulsively started porous flat plate in a rotating frame, *J. Nanofluids*, 4, pp. 167175. (2015)
- [19] S. Nadeem, Rashid Mehmood, S. S. Motsa, Numerical investigation on MHD oblique flow of a Walters B type nanofluid over a convective surface, *Int. J. Therm. Sci.*, 92, pp. 162172. (2015)
- [20] S. Nadeem, R. Mehmood, N. S. Akbar, Combined effects of magnetic field and partial slip on obliquely striking rheological fluid over a stretching surface, *J. Magn. Magn. Mater.*, 378, pp. 457462. (2015)
- [21] A. K. Abdul Hakeem, N. Vishnu Ganesh, B. Ganga, Magnetic field effect on second order slip flow of nanofluid over a stretching/shrinking sheet with thermal radiation effect, *J. Magn. Magn. Mater.*, 381, pp. 243257. (2015)
- [22] P. O. Olanrewaju, M. A. Olanrewaju, Adesanya, Boundary layer flow of nanofluids over a moving surface in a flowing fluid in the presence of radiation, *Int. J. Appl. Sci. Technol.*, 2, pp. 274285. (2012)
- [23] T. Poornima, N. Bhaskar Reddy, Radiation effects on MHD free convective boundary layer flow of nanofluids over a nonlinear stretching sheet, *Adv. Appl. Sci. Res.*, 4, pp. 190202. (2013)
- [24] M. Turkyilmazoglu, I. Pop, Heat and mass transfer of unsteady natural convection flow of some nanofluids past a vertical infinite flat plate with radiation effect, *Int. J. Therm. Sci.*, 59, pp. 167171. (2013)
- [25] S. P. Anjali Devi, B. Ganga, Effects of viscous and Joules dissipation on MHD flow, heat and mass transfer past a stretching porous surface embedded in a porous medium, *Nonlinear Anal. Model Control*, 14, pp. 303314. (2009)
- [26] T. G. Motsumi, O. D. Makinde, Effects of thermal radiation and viscous dissipation on boundary layer flow of nanofluids over a permeable moving flat plate, *Phys. Scr.*, 86, pp. 045003. (2012)
- [27] O. D. Makinde, W. N. Mutuku, Hydromagnetic thermal boundary layer of nanofluids over a convectively heated flat plate with viscous dissipation and Ohmic heating, *UPB Sci. Bull. Ser. A*, 76, pp. 181192. (2014)
- [28] S. E. Ahmed, A. K. Hussein, H. A. Mohammed, S. Sivasankaran, Boundary layer flow and heat transfer due to permeable stretching tube in the presence of heat source/sink utilizing nanofluids, *Appl. Math Comput.*, 238, pp. 149162. (2014)
- [29] S. Akilu, M. Narahari, Effects of heat generation or absorption on free convection flow of a nanofluid past an isothermal inclined plate, *Adv. Mater. Res.*, 970, pp. 267271. (2014)
- [30] M . S . K . Davood Domairry Ganji , External Magnetic Field Effects on Hydrothermal Treatment of Nanofluid , 2016 .
- [31] S . Hicham , ETUDE NUMERIQUE DE LA CONVECTION NATURELLE DANS LES ENCEINTES : NANOFLUIDE ? 2015 .
- [32]. Bang I. C., Chang S. H., boiling heat transfer performance and phenomena of Al₂O₃- Water nanofluids from a plan surface in a pool, *International Journal of heat and Mass Transfer*, 48 (2005), 2407-2419
- [33]. <https://www.cooling-masters.com/nanofluides-lefficacite-a-la-hausse-page-2/>
- [33] S . Halef fadl , Caractérisation des propriétés thermo-physiques et d'échanges de chaleur des nanofluides à base de nanotubes de carbone , 2015 .
- [34] J . J . Bbloomer , Pratical fluide mechanic for engineering application .

- [35] G . Bachir , Contribution à l'étude de la convection naturelle dans nanofluides en configuration de Rayleigh-Bénard , 2010 .
- [36] B . Amina , Etude Numerique de l'application des nanofluides dans l'amélioration du Transfert Thermique dans les Capteurs Solaires .
- [37] O .S .Ould Amer Nassira , Simulation numérique d'un écoulement avec transfert de chaleur d'un nanofluide dans un dissipateur de chaleur , 2018.
- [38] M . Messoud , Engineering Thermofluides (Thermodynamics , Fluids Mechanics , and Heat Transfert).
- [39] M . M . Borjane , modes des transfert thermiques (cours et exercices corrigés), Université des Sciences et de la Technologie d'Oran « Mohamed Boudiaf », 2017 .
- [40] M . Toumi , ETUDE ENERGITIQUE D'UN NANOFLUIDE DANS LES MICROCONDUITES , 2018 .

Résumé

Résumé

La présente étude examine l'écoulement d'un nanofluide MHD sur une surface allongée tout en prenant compte un flux thermique non uniforme. Pour cela, nous avons considéré l'écoulement d'une couche limite sur une surface étirée contenant des nanoparticules d' Al_2O_3 (à base d'eau). Les conditions aux limites convectives pour la température ont été invoquées. L'écoulement créé par une surface en expansion exponentielle avec la présence d'un champ magnétique et d'un flux thermique non uniforme a été formulée mathématiquement en utilisant les lois de la conservation. Des systèmes non dimensionnels transformés d'équations gouvernantes ont été analysés numériquement en utilisant la fonction `bvp4c` de Matlab. Les effets des divers paramètres tels que, le paramètre de champ magnétique M , la fraction volumique des nanoparticules et le nombre de Biot de transfert de chaleur sur les profils de vitesse et de température du fluide ont été décrits plus en détail par tracés graphiques.

Abstract

The present study examines the flow of an MHD nanofluid over an elongated surface while accounting for non-uniform heat flux. For this, we considered the flow of a boundary layer on a stretched surface containing Al_2O_3 nanoparticles (water-based). Convective boundary conditions for temperature were invoked. The flow created by an exponentially expanding surface in presence of a magnetic field and a non-uniform heat flux has been formulated mathematically by using the laws of conservation. Transformed non-dimensional systems of governing equations were analyzed numerically using the Matlab `bvp4c` function. The effects of various parameters such as the magnetic field parameter M , the volume fraction of the nanoparticles and the heat transfer Biot number on the velocity and temperature profiles of the fluid were described in more detail by graphical plots.

ملخص

تبحث الدراسة الحالية في جريان السائل النانوي MHD على سطح متحرك مع الأخذ بعين الاعتبار التدفق الحراري غير المنتظم. لهذا، أخذنا في الاعتبار جريان الطبقة الحدية على سطح ممتد يحتوي على جسيمات نانوية (Al_2O_3) في الماء. تم أخذ الشروط الحدية للحمل الحراري لدرجة الحرارة. الجريان الناتج عن سطح يتحرك بشكل أسي مع وجود المجال المغناطيسي والتدفق الحراري غير المنتظم تم صياغته رياضياً باستخدام قوانين الحفظ. تم حل جملة للمعادلات المحولة الالابعدية رقمياً باستخدام الدالة Matlab bvp4c.

تم وصف تأثيرات العوامل المختلفة مثل المجال المغناطيسي M والجزء الحجمي للجسيمات النانوية ورقم Biot لنقل الحرارة على السرعة ودرجة الحرارة للسائل بمزيد من التفصيل من خلال المخططات الرسومية.