

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 : Energétique

Par :

Debbouz Abderrahmane

Mekniaa Oussama

Thème

Refroidissement d'un cylindre poreux par la technique de jet impactant

Soutenu le 25/06/2023 devant le jury composé de:

Mr. M'hamdi Mohammed Salah	Président
Mr. Mendil Fatsah	Rapporteur
Mr. Adnani Masinissa	Examineur

Année Universitaire 2022-2023



Déclaration sur l'honneur
Engagement pour respecter les règles d'authenticité
scientifique dans l'élaboration d'un travail de recherche

Arrêté ministériel n°1082 du 27 Décembre 2020(*)
Fixant les règles relatives à la prévention et la lutte contre le plagiat

Je soussigné,

Nom : Debbouz
Prénom: Abderrahmane
Matricule: 181833003137
Spécialité et /ou Option: Energétique
Département: Génie mécanique
Faculté: Technologie
Année universitaire : 2022/2023

Et chargé de préparer un mémoire de : Master

Intitulé : Refroidissement d'un cylindre poreux par la technique de jet impactant

Déclare sur l'honneur, m'engager à respecter les règles scientifiques, méthodologiques, et les normes de déontologie professionnelle et de l'authenticité académique requises dans l'élaboration du projet de fin de cycle cité ci-dessus.

Fait à Bejaia le

21/06/2023

Signature de l'intéressé

(*) Lu et approuvé

.....



Déclaration sur l'honneur

Engagement pour respecter les règles d'authenticité scientifique dans l'élaboration d'un travail de recherche

Arrêté ministériel n°1082 du 27 Décembre 2020(*)

Fixant les règles relatives à la prévention et la lutte contre le plagiat

Je soussigné,

Nom : Mekniaa
Prénom: Oussama
Matricule: 181833010164
Spécialité et /ou Option: Energétique
Département: Génie mécanique
Faculté: Technologie
Année universitaire : 2022/2023

Et chargé de préparer un mémoire de : Master

Intitulé : Refroidissement d'un cylindre poreux par la technique de jet impactant

Déclare sur l'honneur, m'engager à respecter les règles scientifiques, méthodologiques, et les normes de déontologie professionnelle et de l'authenticité académique requises dans l'élaboration du projet de fin de cycle cité ci-dessus.

Fait à Bejaia le

21/06/2023

Signature de l'intéressé

(*) Lu et approuvé

.....

Remerciements

On tient d'abord à remercier Dieu le tout puissant pour nous munir de la volonté, la santé et de la patience pour accomplir ce travail.

On exprime nos sincères remerciements et toute notre gratitude à notre encadrant monsieur **MENDIL FATSAH** pour son excellente qualité d'encadrement : sa disponibilité, ses conseils précieux, et pour toutes les notions de base qu'il nous a appris tout au long de ce travail. Merci de nous avoir fait découvrir le plaisir de la recherche scientifique et de nous avoir soutenus jusqu'au bout.

On remercie les honorables membres de jury qui ont accepté de juger ce travail :

Monsieur M'hamdi Mohammed Salah qui nous fait le grand honneur d'accepter la présidence du jury.

Monsieur Adnani Masinissa pour l'honneur qu'il nous fait en acceptant de participer à ce jury

On tient également à remercier tous nos collègues à l'université A. mira.

Dédicaces

Aux perles les plus rare que dieu a créée sur terre, à ma maman qui m'a donné sans cesser, ni compter, qui sans elle ce travail n'aurait jamais été accompli, à mon père qui n'a jamais cessé de me soutenir par tout ce qu'il a, qui m'appris toutes les valeurs nobles de la vie. A mes parents je dédié ce travail.

A mon cher frère et ma sœur

A mes oncles et tantes paternels et maternels

A tous mes collègues et toutes personnes qui m'a soutenu.

Abderrahmane

Dédicaces

Je dédie ce simple et modeste travail :

A mes chers parents et à toute ma famille et toutes personnes qui m'a soutenue.

Oussama

Sommaire

Remerciements	i
Dédicaces	ii
Dédicaces	iii
Sommaire	iv
Liste des figures	vi
Nomenclature.....	viii
Introduction Générale.....	1
Chapitre I: Généralités et revue bibliographique	3
I.1. Introduction.....	3
I.2. jet impactant.....	3
I.2.1. Jet impactant unique.....	3
I.2.1.1. Structure générale du jet libre.....	3
I.3. Jet impactant dans une cavité cylindrique.....	5
I.4. Compréhension essentielle de la couche limite.....	6
I.4.1. Concept de couche limite dynamique.....	6
I.4.2. Concept de couche limite thermique.....	6
I.5. Art et revue bibliographique	7
I.5.1.La pertinence de l'écoulement de stagnation.....	7
I.6.Écoulement au point de stagnation sur un cylindre.....	8
I.7. Conclusion.....	11
Chapitre II: Positionnement de problème et formulation mathématique.....	16
II.1. Introduction.....	16
II.2. Définition de problème physique.....	16
II.3. Hypothèses simplificatrices.....	17
II.4. Formulation mathématique.....	17
II.4.1. Equation de conservation.....	17

II.5. Formulation adimensionnelle.....	19
II.5.1. Equation adimensionnelle et solution auto-similaire.....	19
II.6. Méthode de Runge-Kutta d'ordre 4.....	23
III.7.Méthode de Tirs.....	24
II.8. Conclusion.....	25
Chapitre III: Résultats et Discussion	26
III.1. Introduction.....	26
III.2. Caractéristique dynamique.....	26
III.3. Caractéristique thermique.....	31
III.4. Conclusion.....	38
Conclusion Générale	39

Liste des figures

Figure I.1 : Différents types de jets impactant sur une surface.....	4
Figure I.1 : Principales zones d'écoulement du jet libre.....	5
Figure I.2 : Structure d'un jet impactant sur un cylindre.....	6
Figure I.4: Représentation schématique des couches limites dynamique et thermique se Développant sur un cylindre.....	7
Figure I.3 : Représentation d'une couche limite dynamique.....	8
Figure I.4 : Représentation d'une couche limite thermique.....	8
Figure I.7 : Écoulement de Hiemenz.....	10
Figure I.8 : Variation de coefficient thermique en fonction de Reynolds pour trois différentes Températures.....	12
Figure I.9 : Configuration jet – cavité cylindrique.....	14
Figure I.10: Variation de la contrainte de cisaillement de la surface en fonction de temps pour différentes nombre de Reynolds.....	14
Figure II.1: Représentation schématique d'un jet impactant sur un cylindre vertical poreux	16
Figure III.1: variation du profil radial $f(\eta)$ pour différentes valeur de Pr (0.7, 2,5) avec Re=1, $\lambda=10$ et $s=1$	26
Figure III.2: variation du profil radial $f(\eta)$ pour différentes valeur de Re (1, 10, 30) avec Pr=7, $\lambda=10$ et $s=1$	26
Figure III.3: variation du profil radial $f(\eta)$ pour différentes valeur de λ (1, 7, 13) avec Pr=7, Re=1 et $s=1$	27
Figure III.4: variation du profil radial $f(\eta)$ pour différentes valeur de s (1, 2, 3) avec Pr=7, Re=1 et $\lambda=10$	28
Figure III.5: variation du profil de vitesse axial $f'(\eta)$ pour différentes valeur de Pr (1, 3,6) avec Re=1, $\lambda=10$ et $s=1$	28
Figure III.6: variation du profil de vitesse axial $f'(\eta)$ pour différentes valeur de Re (2, 5,8) avec Pr=7, $\lambda=10$ et $s=1$	29
Figure III.7: variation du profil de vitesse axial $f'(\eta)$ pour différentes valeur de λ (1, 8,13) avec Pr=7, Re=1 et $s=1$	30
Figure III.8: variation du profil de vitesse axial $f'(\eta)$ pour différentes valeur de s (1, 2,3) avec Pr=7, Re=1 et $\lambda=10$	30

Figure III.9 : variation du profil de température (η) pour différentes valeur de Pr (1, 3,7) avec Re=1, $\lambda=10$ et s=131

Figure III.10 : variation du profil de température(η) pour différentes valeur de Re (1, 3,6) avec Pr=7, $\lambda=10$ et s=132

Figure III.11 : variation du profil de température(η) pour différentes valeur de λ (1, 5,10) avec Pr=7, Re=1 et s=132

Figure III.12 : variation du profil de température (η) pour différentes valeur de s (1, 2,3) avec Pr=7, Re=1 et $\lambda=10$33

Figure III. 13 : Profil du nombre de Nusselt (Nu) en fonction de la vitesse (s) pour différentes valeurs de Pr (1, 3, 7) avec Re=1 et $\lambda=10$34

Figure III. 14 : Profil du nombre de Nusselt (Nu) en fonction de la vitesse (s) pour différentes valeurs de Re (1, 5, 10) avec Pr=7 et $\lambda=10$34

Figure III. 15 : Profil du coefficient de frottement à la paroi en fonction de la vitesse (s) pour différentes valeurs de Pr (1, 3, 7) avec Pr=7 et $\lambda=10$35

Figure III. 16 : Profil du coefficient de frottement à la paroi en fonction de la vitesse (s) pour différentes valeurs de Re (1, 5, 10) avec Pr=7 et $\lambda=10$36

NOMENCLATURE

Symboles	Définition	Unité (SI)
T	: Température	k
λ	: Paramètre de flottabilité	-
P	: Pression	Pa
g	: Gravité	m/s ²
K	: Conductivité thermique	w/m.k
(r, z)	: Coordonnés cylindriques	-
(c, s)	: Constante positive	-
T _w	: Température sur la surface du cylindre	k
T _∞	: Température ambiante	k
(u, w)	: Composant de vitesse dans (r, z) direction	-
c _f	: Coefficient de frottement à la paroi	-
q _w	: Flux de chaleur de la surface de cylindre	-
Nu	: Nombre de nusselt	-
Pr	: Nombre de Prandtl	-
Re	: Nombre Reynolds	-

Symboles grecs

α	: Diffusivité thermique	m ² /s
β	: Coefficient d'expansion thermique à pression constant	k ⁻¹
η	: Variable de similitude	-
μ	: Température adimensionnelle	Pa.s
ν	: Viscosité dynamique	m ² /s
ρ	: Viscosité cinématique	Kg/m ³
τ_w	: Contrainte pariétal	Pa

Indices

'	: Dérivation	-
∞	: Condition à l'infini amont	-
W	: Condition à la paroi	-

/

Introduction Générale

Introduction Générale

Au cours de ces dernières années le nombre d'applications du jet impactant n'a cessé d'augmenter. Il est largement utilisé comme procédé de refroidissement parmi les nombreuses applications qui en ont résulté. Il fournit une méthode puissante pour évacuer la chaleur dissipée par les composants électroniques, souvent de géométries minuscules et complexes. Cependant, l'utilisation d'un tel système nécessite un meilleur contrôle des paramètres expérimentaux. Les jets ont une importance toute particulière pour les phénomènes de transfert de chaleur et de masse au sein des écoulements

Les transferts thermiques produits par les jets impactant restent un domaine très vaste et compliqué car il est dans les processus réels, cet écoulement constitue un moyen efficace pour échanger de la chaleur entre un fluide et une paroi solide.

On s'intéressera dans ce mémoire à l'analyse physique par modélisation numérique du phénomène d'un jet impactant sur un cylindre poreux, l'objectif est de comprendre les effets de plusieurs paramètres thermo physiques tels le Paramètre de flottabilité, Nombre de Prandtl et Nombre Reynolds sur le comportement dynamique et thermique de l'écoulement. Entre temps, on verra l'influence de nombres adimensionnels sur le nombre de Nusselt et Coefficient de frottement.

Pour traiter ce genre de problèmes, plusieurs technique sont possibles (expérimentales, analytiques et numériques). La méthode expérimentale est la plus couteuse en temps et en argent. D'un autre cotée, les solutions analytiques ne sont pas possibles pour tous les cas. Pour cella on a opté à des approches numériques en utilisant les méthodes numériques ; à savoir la méthode de Runge Kutta d'ordre quatre et la méthode de tir.

Durant chapitre I, nous abordons divers aspects essentiels concernant les jets impactant. Nous commençons par présenter des notions générales relatives à ces jets, ainsi qu'une description de la couche limite dynamique et thermique. Ensuite, on a abordé une synthèse bibliographique concernant des travaux antérieurs portant sur les jets impactant, ce qui nous permet de recueillir des informations générales. L'analyse de ces travaux permet d'identifier les différents paramètres qui peuvent influencer le comportement thermique et dynamique de ce type de problème.

Dans le chapitre II, nous présentons le problème à résoudre, et établissons les équations mathématiques des différents phénomènes qui interviennent dans notre problème. Nous discutons également des méthodes numériques par laquelle nous résoudrons le problème étudié.

Dans le chapitre III, nous exposons une analyse et discussion des différents résultats numériques obtenus pour chaque cas étudié.

Enfin, une conclusion générale retraçant les principaux résultats obtenus tout au long de cette recherche.

Chapitre I

Généralités et revue

bibliographique

Généralités et revue bibliographique

I.1. Introduction

La configuration des jets impactant est une solution industrielle qui permet d'optimiser l'utilisation de l'énergie et assurer un meilleur échange de chaleur et/ou de masse entre un fluide et une paroi. Plusieurs recherches ont été menées pour comprendre les écoulements de jets impactant les surfaces cylindriques. Ces études ont permis de caractériser les phénomènes d'écoulement et de transfert de chaleur qui se produisent lors de l'interaction entre le jet et le cylindre.

Les résultats obtenus ont une grande importance dans divers domaines tels que l'environnement, l'industrie et le transport, où les jets impactant sont utilisés pour des applications telles que l'aération, le traitement des surfaces et les moteurs à impulsion.

Le refroidissement par jet impactant est également étudié en tant que moyen de dissiper la chaleur dans des dispositifs électroniques et des composants industriels exposés à des températures élevées.

I.2. jet impactant

L'étude des jets impactant est largement explorée dans plusieurs références. Ces configurations sont fréquentes dans divers secteurs industriels et applications d'ingénierie, tels que la fabrication, le refroidissement électronique, le séchage du papier. La littérature propose plusieurs examens approfondis sur l'impact des jets [1].

Toutefois peu d'études se sont intéressées aux efforts du mouvement du mur sur le jet impactant, en ce qui concerne la structure de l'écoulement et le transfert de chaleur. Ainsi de nombreuses études expérimentales et numériques ont été menées dans le but d'une meilleure compréhension des phénomènes physiques intervenant et régissant l'impact d'un jet [2].

Et on trouve différents types de jets impactant sur une surface :

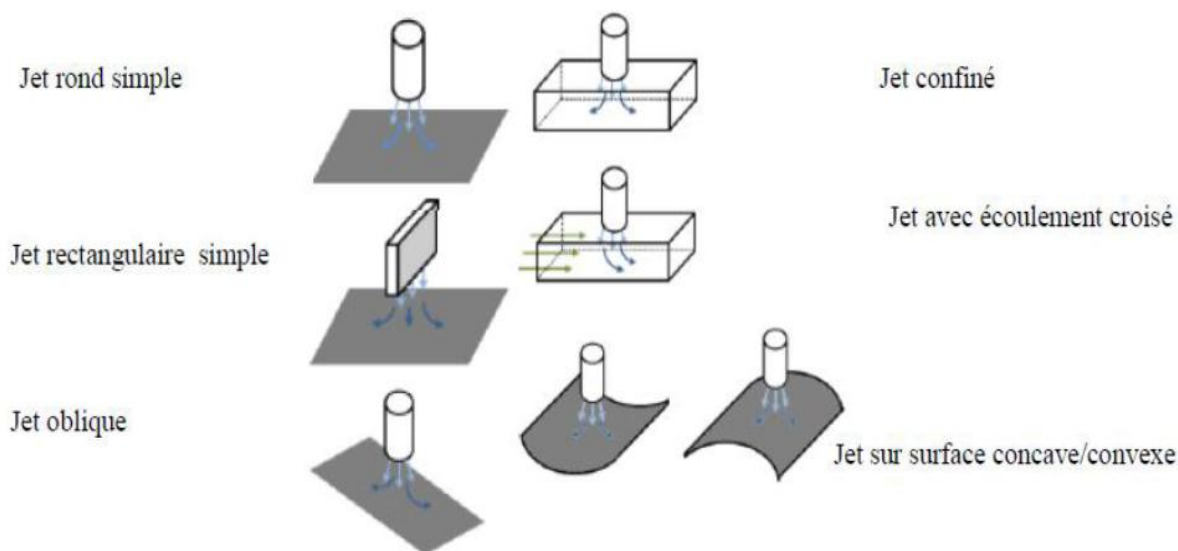


Figure I.1 : Différents types de jets impactant sur une surface.

I.2.1. Jet impactant unique

Pour comprendre les structures propres au jet en impact, il convient d'abord de s'intéresser au cas du jet libre [3].

I.2.1.1. Structure générale du jet libre

Une approche classique pour analyser un jet libre consiste à le diviser en trois zones distinctes.

- **Zone de corps potentiel**

Dans un jet libre, on distingue trois zones caractéristiques. La première est le "corps potentiel", où la vitesse le long de l'axe central reste constante. Ensuite, l'air environnant est entraîné par le jet, créant une région de mélange et de cisaillement intense. La vitesse du jet diminue progressivement jusqu'à la ligne centrale. La longueur du corps potentiel dépend du diamètre hydraulique de l'injecteur, généralement entre 4 et 7 fois. Ces propriétés sont influencées par les profils de vitesse, les taux de turbulence et la géométrie de l'injecteur. Par exemple, un tube long circulaire aura une longueur du corps potentiel d'environ 4,5 à 5 fois son diamètre hydraulique.

- **Zone de transition**

Cette région débute lorsque les couches de mélange se rencontrent au centre du jet. À ce stade, on constate une diminution de la vitesse axiale en raison des contraintes de cisaillement élevées dans cette zone.

- **Zone développée**

Les profils de vitesse deviennent auto similaires dans cette région, ce qui signifie qu'ils peuvent être déduits des profils en amont en utilisant la similitude. Différents auteurs situent le début de cette zone entre 8 et 20 fois le diamètre hydraulique de l'injecteur.

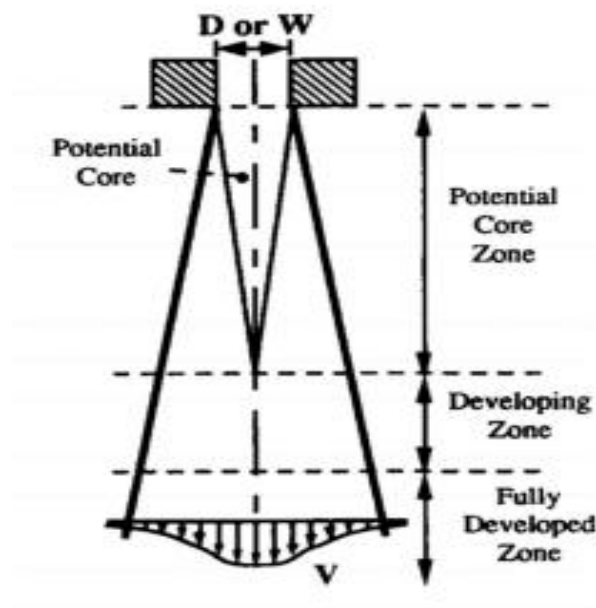


Figure I.2 : Principales zones d'écoulement du jet libre. [6]

I.2.1.1. Différentes applications des jets

Les jets impactant sont utilisés dans plusieurs applications industrielles parmi lesquelles les processus de séchage, de refroidissement et de réchauffement. Par exemple, on peut citer :

- Découpe et refroidissement de nappes de verre en fusion.
- Evaporation de l'eau de la pâte à papier dans l'industrie papetière.
- Refroidissement de feuillets métalliques ou plastiques.
- Refroidissement de moteurs thermiques, circuits hydrauliques, chambres de combustion, aubes de turbines et moteurs électriques de grande puissance destinés à une nouvelle génération de voitures électriques.
- Refroidissement de denrées alimentaires.

I.3. Jet impactant dans une cavité cylindrique

Lorsqu'un jet, qu'il soit plan ou circulaire, interagit avec une cavité cylindrique, cela implique un écoulement qui se développe à l'intérieur du cylindre. Cette configuration est couramment utilisée dans les systèmes de refroidissement de la verrerie, la ventilation des tunnels, des galeries ou des mines. Lorsque le jet frappe une paroi cylindrique, on peut identifier trois régions principales qui se forment [4], [5]. Comme l'illustre la Figure (I.2)

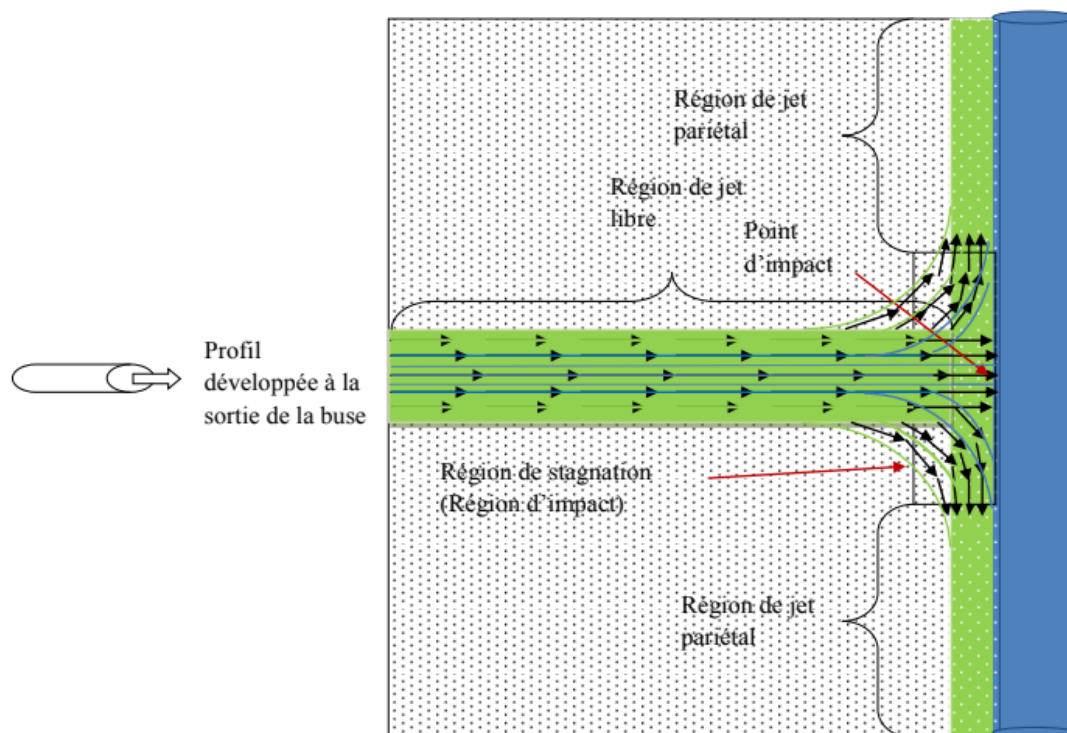


Figure I.3 : Structure d'un jet impactant sur un cylindre. [6]

- **Région du jet libre :** La particularité de cette région réside dans le mouvement d'un jet circulaire turbulent, qui est en moyenne symétrique par rapport à son axe. Ce jet peut atteindre une zone d'écoulement stable appelée ZEF (Zone of Established Flow). Cependant, cette zone ne peut se former que lorsque la distance d'impact est assez importante
- **Région de stagnation (région d'impact) :** La caractéristique principale de cette région est une diminution significative de la vitesse axiale en amont du point de stagnation, une augmentation notable de la pression au point d'arrêt, ainsi qu'une augmentation marquée de la vitesse radiale en aval du point d'impact.

- **Région de jet pariétal** : Dans cette région, on observe le développement et l'élargissement d'un jet le long de la paroi, c'est-à-dire le long de la surface d'impact. La caractéristique notable est que la vitesse radiale maximale de ce jet diminue au fur et à mesure de son expansion.

I.4 Compréhension essentielle de la couche limite

La couche limite est un concept clé pour comprendre les écoulements de fluides autour d'un corps solide. Elle désigne une mince région de fluide qui se forme à la surface du corps lorsque celui-ci est en contact avec un fluide en mouvement.

Cette couche limite joue un rôle crucial dans les interactions entre le corps et le fluide, car c'est à travers elle que se produisent les échanges de quantité de mouvement, d'énergie et de chaleur. Sa compréhension est essentielle dans des domaines tels que l'aérodynamique, l'ingénierie des fluides et le transfert de chaleur et elle peut être de nature thermique et dynamique.

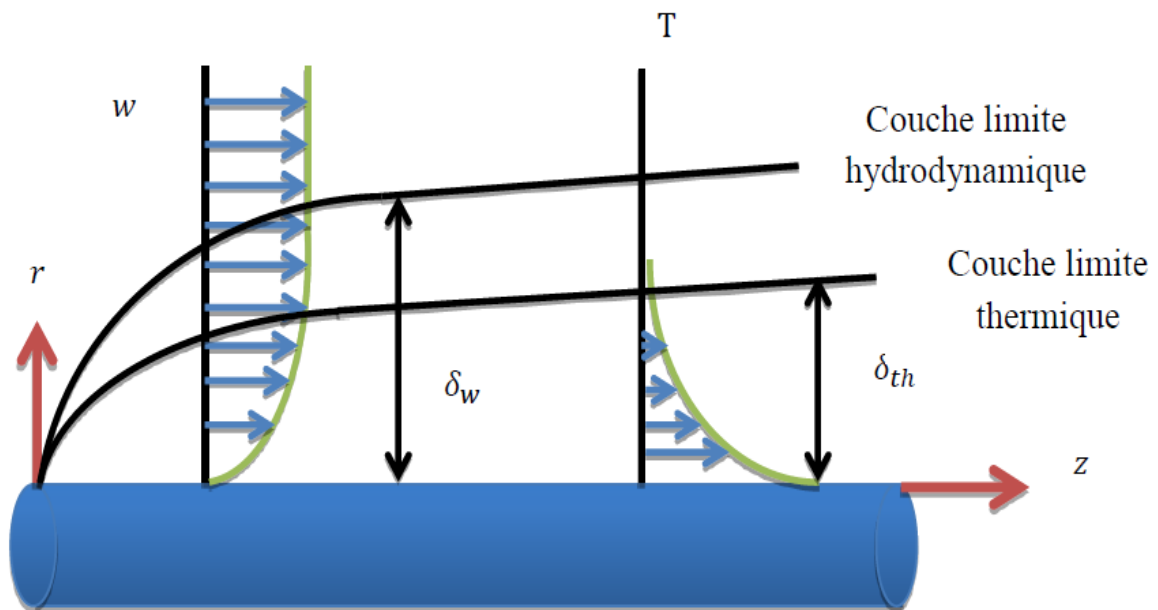


Figure I.4: Représentation schématique des couches limites dynamique et thermique se développant sur un cylindre. [7]

I.4.1. Concept de couche limite dynamique

La viscosité est une caractéristique essentielle d'un fluide, qui change en fonction de la température et ne devient jamais nulle à la paroi. La couche limite est la région de fluide adjacente à la paroi où s'opère l'ajustement entre la vitesse nulle à la paroi et la vitesse maximale du fluide libre.

Cette couche limite a un impact sur différentes propriétés de l'écoulement, telles que les forces de frottement et le transfert thermique. Ces phénomènes sont étroitement liés à la nature de la couche limite.

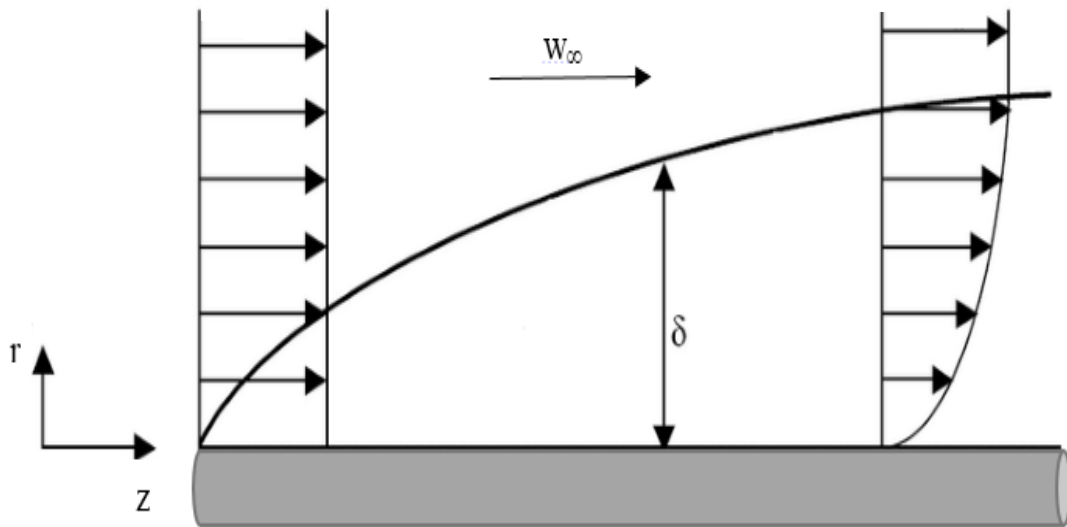


Figure I.5 : Représentation d'une couche limite dynamique [7]

I.4.2. Concept de couche limite thermique

Lorsqu'un fluide dont la température T_∞ est différente s'écoule le long d'une paroi à la température T_w , des échanges thermiques ont lieu. Les particules du fluide transfèrent de la chaleur à leurs voisines, créant ainsi un gradient de température le long de la paroi.

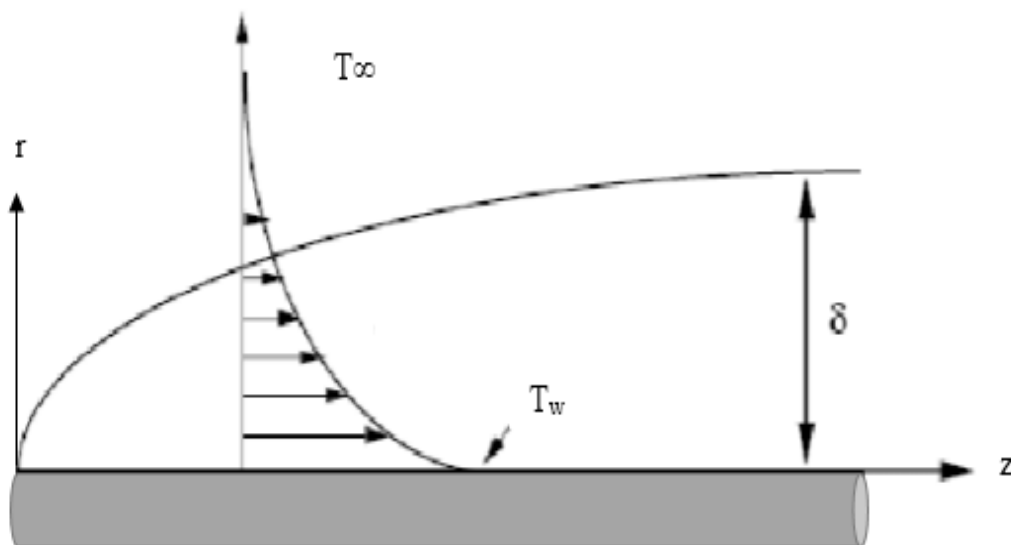


Figure I.6 : Représentation d'une couche limite thermique [7]

I.5. Art et revue bibliographique

Ces dernières années, de nombreuses recherches ont été menées sur les jets impactant en raison de leur importance dans divers domaines pratiques tels que l'environnement (aération), l'industrie (traitement des surfaces) et le transport (moteurs à impulsion), dans cette revue bibliographique nous examinerons les travaux de recherche clés sur l'écoulement au point de stagnation autour d'un cylindre.

I.5.1. La pertinence de l'écoulement de stagnation

L'écoulement de couche limite de stagnation avec transfert de chaleur est couramment observé dans de nombreuses applications où un fluide impacte des obstacles solides chauffés. On le retrouve dans divers processus industriels tels que le dégivrage des bords d'attaque des ailes, le refroidissement des aubes de turbines et des composants électroniques. Car il permet des taux élevés d'échange de chaleur et de masse.

Il est essentiel de mettre en évidence la particularité et l'importance de l'écoulement de stagnation convectif. En effet, dans ce type de configuration, les échanges de chaleur sont considérablement plus élevés à proximité du point de stagnation. Cela s'explique par la présence d'une composante de vitesse importante perpendiculaire à la paroi, ce qui limite le développement des couches limites. Par conséquent, le transfert de chaleur est favorisé, car il est inversement proportionnel à l'épaisseur de la couche limite.

L'écoulement au point de stagnation a été initialement étudié par Hiemenz [7] dans le cas d'un écoulement bidimensionnel vers une paroi semi-infinie stationnaire. Les écoulements de point de stagnation tridimensionnels ont été étudiés par Homann [8] et Smith [9], et l'écoulement de point de stagnation axisymétrique sur un cylindre circulaire par Wang [10] et Gorla [11]. L'écoulement tridimensionnel résultant d'un écoulement de stagnation axisymétrique.

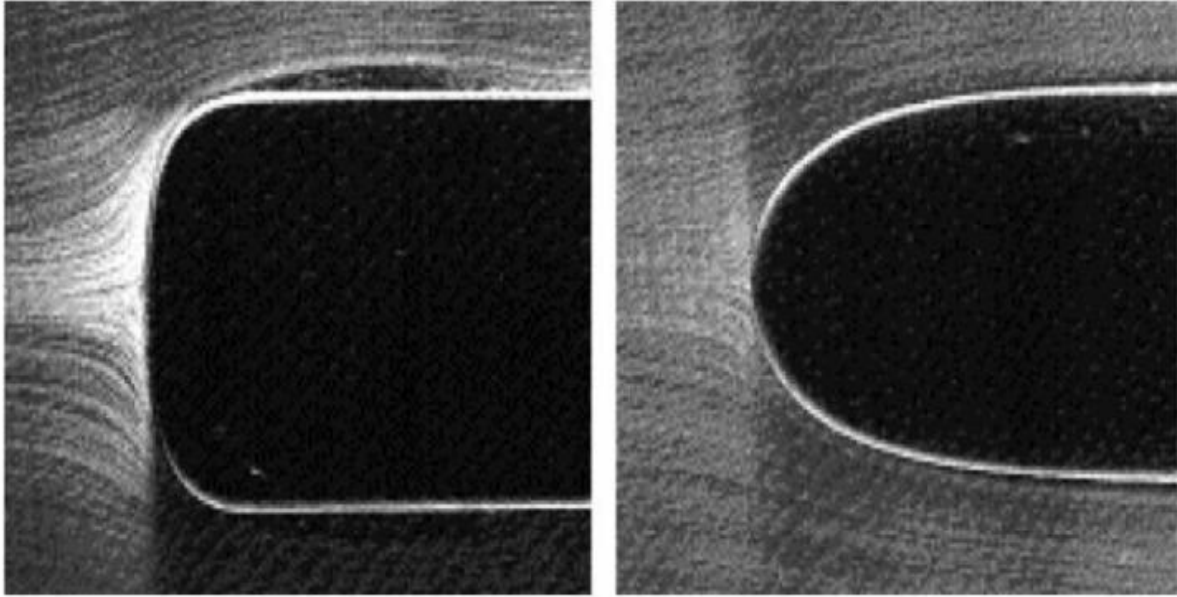


Figure I.7 : Écoulement de Hiemenz [7]

I.6. Écoulement au point de stagnation sur un cylindre

Gorla et al. [11] une analyse de la convection mixte dans un écoulement de stagnation axisymétrique sur un cylindre vertical, avec des variations de température. Des solutions numériques sont obtenues pour les équations de moment et d'énergie qui gouvernent le système. Deux régimes d'écoulement sont examinés : l'assistance à la flottabilité et l'opposition à la flottabilité, Les résultats obtenus mettent en évidence la dépendance du coefficient de frottement et du nombre de Nusselt par rapport au paramètre de force de flottabilité, selon le régime d'écoulement étudié. De plus, l'influence du nombre de Prandtl sur le champ d'écoulement est examinée et discutée. Cette étude permet d'approfondir notre compréhension des caractéristiques de la convection mixte dans cet écoulement de stagnation sur un cylindre vertical.

Une étude expérimentale a été réalisée par F. Gori et L. Bossi [12] présentés pour le refroidissement par transfert de chaleur d'un cylindre circulaire chauffé électriquement, d'un diamètre D de 10 mm, par un jet de fente d'une hauteur S de 2,5 mm, c'est-à-dire avec un rapport D/S de 4. Les observations ont révélé que Le nombre de Nusselt moyen atteint son maximum lorsque le cylindre est placé à une distance H de la sortie de la fente, avec $H/S=8$. Le nombre de Nusselt local minimum est mesuré à un angle de 180° par rapport au point d'impact, c'est-à-dire à l'arrière du cylindre.

Sachidananda saho [13] a examiné un écoulement stable de fluide visqueux incompressible bidimensionnel près d'un point de stagnation. L'équation différentielle ordinaire non linéaire réduite du troisième ordre de la vitesse a été résolue en utilisant la méthode de Runge-Kutta d'ordre quatre avec une technique de tir. Il a été conclu que les effets visqueux se limitent à la couche limite pour les fluides à viscosité très faible. En dehors de cette couche limite, les effets visqueux sont négligeables et le fluide est considéré comme non visqueux. Et pour les fluides moins visqueux, la différence de vitesse entre les couches adjacentes diminue.

Wang [10] qui a été initialement développé le débit en convection forcée près d'un point de stagnation sur un cylindre en expansion/rétraction Par la suite, Lok et Pop [14] ont étendu cette étude, L'analyse approfondie de ce problème vise à déterminer le comportement asymptotique des paramètres sans dimension tels que le nombre de Prandtl, la vitesse de paroi, le taux de transpiration de paroi et le nombre de Reynolds. Il est également démontré que pour que la solution persiste pour de grandes valeurs de rétraction, le paramètre d'aspiration doit être positif et élevé.

Dans une étude réalisée par I. A. Hassanien et al. [15], ils ont examiné l'écoulement de stagnation axisymétrique d'un fluide micro polaire en contact avec un cylindre circulaire infini. Les chercheurs ont résolu numériquement les équations de la couche limite en utilisant une nouvelle méthode basée sur l'approximation de Chebyshev. Les résultats ont été comparés à ceux de l'écoulement correspondant à un fluide newtonien. Il a été constaté que les fluides micros polaires présentent une diminution de la résistance au mouvement par rapport aux fluides newtoniens.

H. Mohammadi et al. [16] dans leur étude ont examiné l'écoulement axisymétrique au point de stagnation sur un cylindre, où un flux de chaleur constant était appliqué à la paroi. Les chercheurs ont étudié les effets du nombre de Reynolds, du nombre de Prandtl, du facteur de compressibilité et du flux de chaleur sur les caractéristiques hydrodynamiques et thermiques.

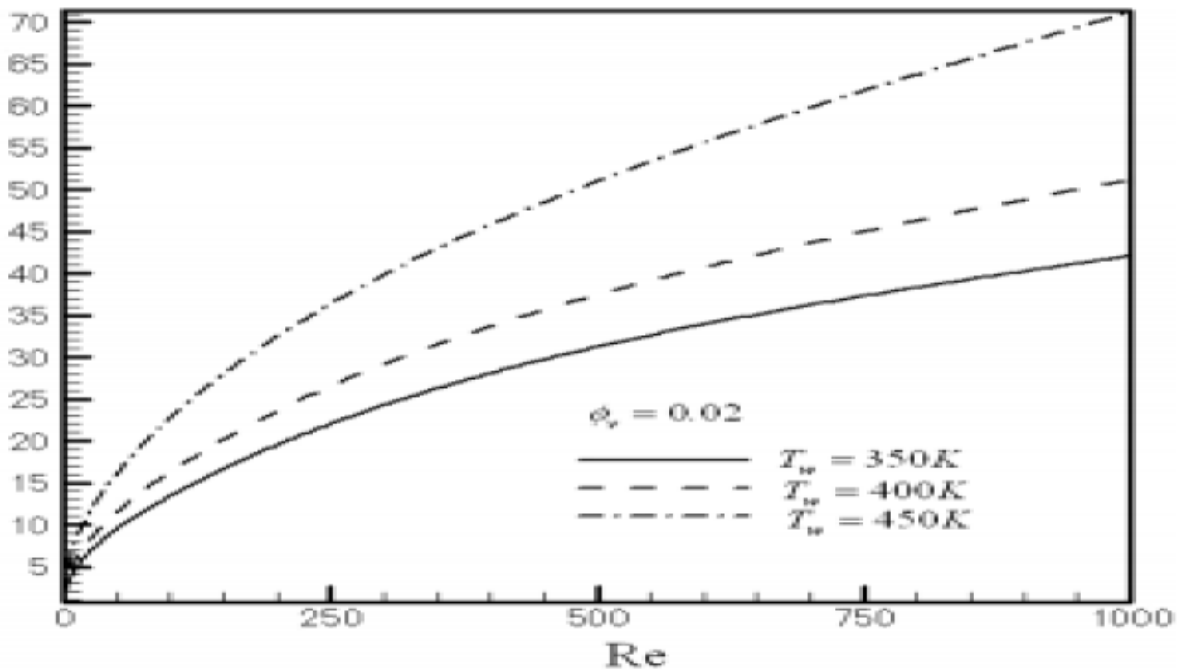


Figure I.8 : Variation de coefficient thermique en fonction de Reynolds pour trois différentes Températures [16]

À partir de cette étude, les conclusions suivantes ont été obtenues :

- L'augmentation du facteur de compressibilité entraîne une augmentation de la contrainte de cisaillement.
- L'augmentation du facteur de compressibilité entraîne une diminution de la fonction de pression.
- L'augmentation du nombre de Reynolds entraîne une augmentation de la contrainte de cisaillement, tandis qu'elle entraîne une diminution de la fonction de pression.
- L'augmentation du nombre de Prandtl entraîne une augmentation de la fonction de pression.

Reza bayat et al. [17] ils ont étudié le problème instable de l'écoulement impulsif au point de stagnation sur un cylindre circulaire vertical avec transfert de chaleur par convection mixte est résolu numériquement pour la première fois. Ceci est dû aux limitations des techniques de résolution par similarité lorsque nous rencontrons diverses conditions physiques telles que des états dépendant du temps. Initialement, le fluide est considéré comme étant au repos et avec une température uniforme. À $t=0$, ce fluide commence à s'écouler vers un cylindre vertical à la vitesse de et la température de la surface du cylindre augmente simultanément jusqu'à T_w . Les équations de Navier-Stokes et d'énergie dans le système de coordonnées cylindriques ont été

décrits et résolus dans un domaine 2-D en utilisant un algorithme basé sur SIMPLE. La solution a été obtenue dans trois cas. Premièrement, lorsque la température de la paroi du cylindre T_w est constante. Deuxièmement, lorsque T_w varie linéairement le long de l'axe du cylindre. Et troisièmement, lorsqu'elle présente des variations paraboliques. En considérant un exemple d'écoulement incompressible avec $Re=1$ et, les résultats du nombre de Nusselt, de la contrainte de cisaillement de la paroi et de la vitesse et de la température sans dimension ont été obtenus à différents états de la température de la paroi du cylindre et pour certaines valeurs sélectionnées des nombres de Grashof. Une analyse de la génération d'entropie pour le cas d'une température de paroi constante est effectuée, ce qui est également une première dans ce domaine.

H.S. Takhar et al. [18] ont réalisé une étude sur l'écoulement visqueux instationnaire près d'un point de stagnation axisymétrique d'un cylindre circulaire infini, lorsque les vitesses du cylindre et de l'écoulement libre varient de manière arbitraire dans le temps. Ils ont obtenu une solution semi-similaire des équations de Navier-Stokes en utilisant une méthode d'itération implicite. Ils ont observé que les contraintes de cisaillement à la surface augmentent avec l'augmentation du nombre de Reynolds pour de petites valeurs de temps, mais que cet effet s'inverse pour de grandes valeurs de temps. De plus, ils ont conclu que lorsque le nombre de Reynolds tend vers l'infini, la solution des équations de Navier-Stokes converge vers la solution de l'écoulement bidimensionnel de stagnation.

S. Benhadid [19] a étudié numériquement et expérimentalement l'évolution symétrique d'un jet rond dans une cavité cylindrique, le rapport des diamètres étant $D_{cav} / d = 7.83$.

L'étude numérique est basée sur une méthode des différences finies d'un écoulement laminaire. Le fluide est supposé parfait et incompressible.

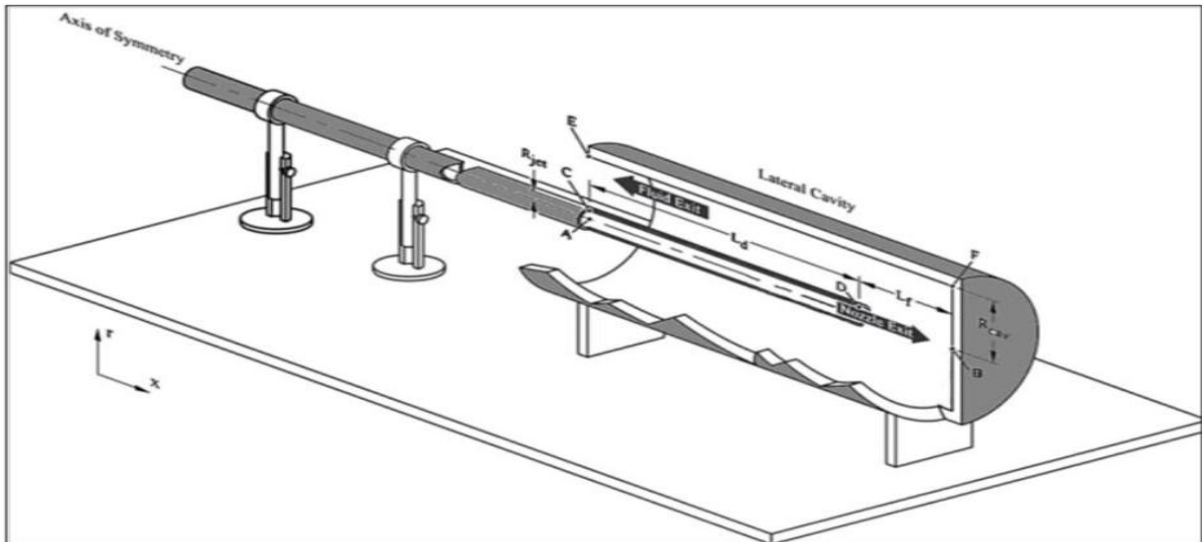


Figure I.9 : Configuration jet – cavité cylindrique [19]

Une étude réalisée par I.A. Hassanien et al. [20] a examiné l'écoulement de stagnation axisymétrique d'un fluide micro polaire en contact avec un cylindre circulaire infini. Les chercheurs ont résolu numériquement les équations de la couche limite en utilisant une nouvelle méthode basée sur l'approximation de Chebyshev. Les résultats obtenus ont été comparés à ceux de l'écoulement correspondant à un fluide newtonien. Il a été observé que les fluides micros polaires présentaient une réduction de la traînée par rapport aux fluides newtoniens.

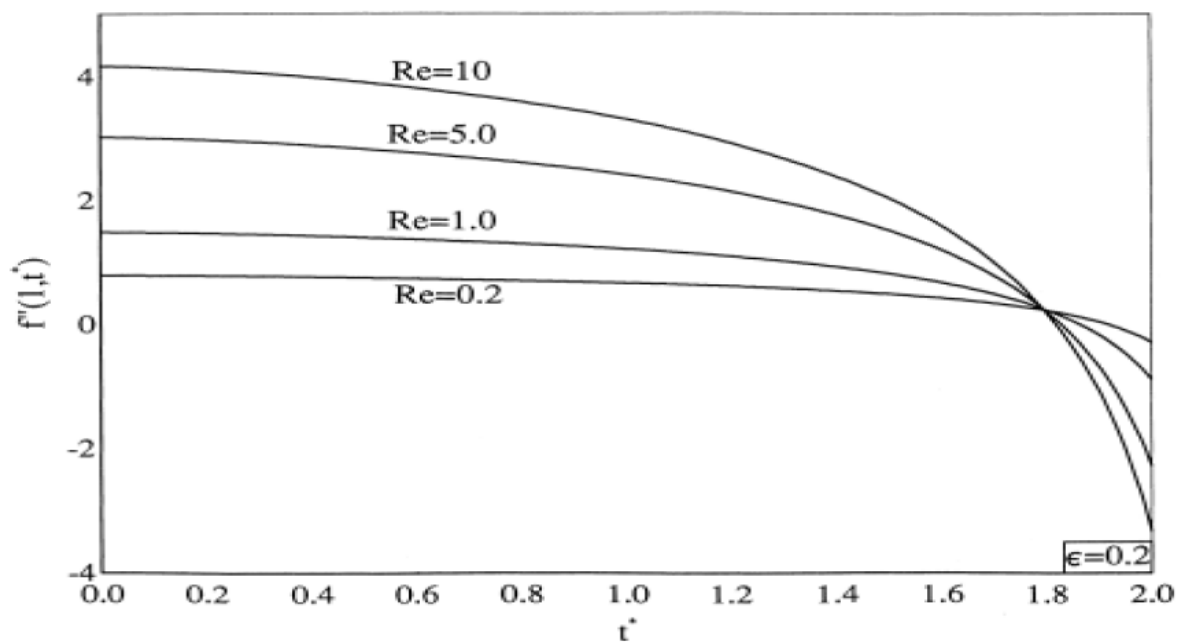


Figure I.10: Variation de la contrainte de cisailement de la surface en fonction de temps pour différentes nombre de Reynolds [20]

I.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons procédé à une exploration approfondie de différents aspects liés aux écoulements, notamment les couches limites. En outre, nous avons examiné de manière détaillée les jets impactant et le transfert thermique, Enfin, nous avons présenté une revue bibliographique sur les travaux de recherche clés concernant l'écoulement au point de stagnation autour d'un cylindre.

Chapitre II

Positionnement du problème et formulation mathématique

Positionnement de problème et formulation mathématique

II.1. Introduction

L'objectif de ce problème consiste à la simulation numérique d'un jet impactant sur un cylindre vertical poreux. Dans cette partie de travail, nous présenterons dans un premier temps le modèle physique et les formulations mathématiques, nous passerons par la suite à l'exposition des différentes hypothèses simplificatrices ainsi que les équations gouvernantes et les conditions aux limites.

II.2. Définition de problème physique

Notre étude se concentre sur l'analyse de l'écoulement bidimensionnel (r, z) d'un jet axisymétrique qui impacte un cylindre orienté verticalement, le fluide est considéré newtonien et incompressible et permanent.

La figure (II.1) présente la configuration géométrique de problème et ces équations s'écrivent en coordonnées cylindriques.

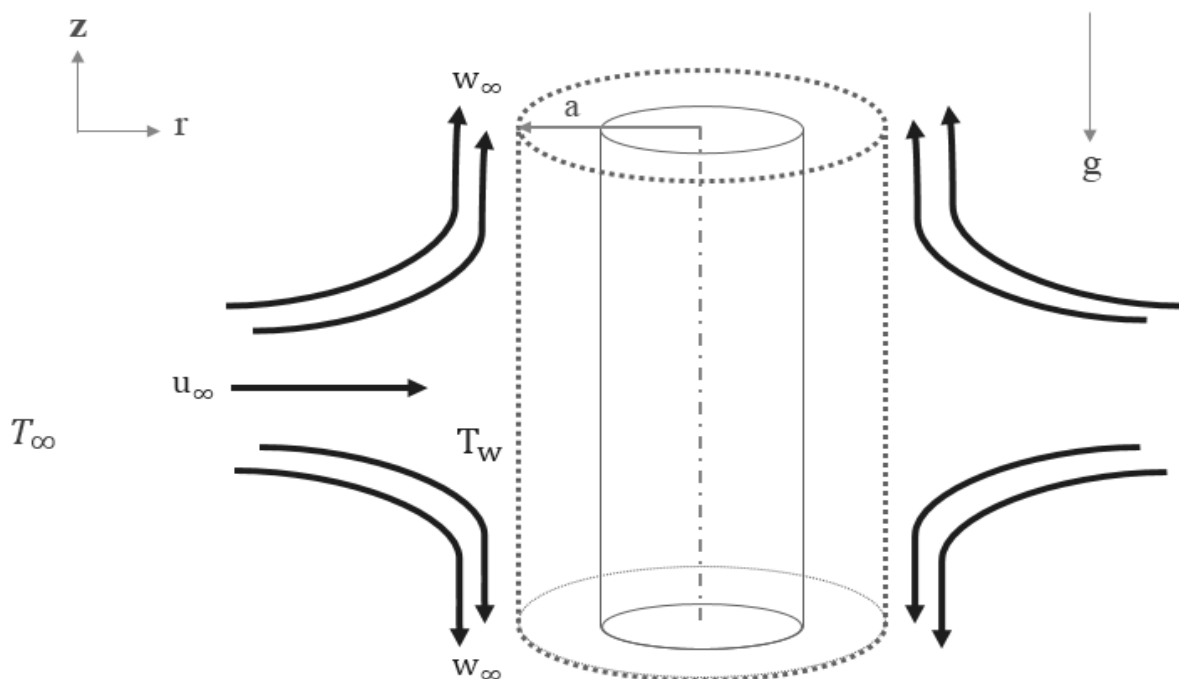


Figure II.1: Représentation schématique d'un jet impactant sur un cylindre vertical poreux

On a un écoulement d'un jet de température T_∞ et une vitesse u_∞ constantes, impactant perpendiculairement sur un cylindre vertical poreux fixe d'un rayon ($r=a$) et une température à la paroi T_w uniforme qui est différente à celle du fluide, une fois le fluide injectée dans les pores du cylindre la vitesse deviens constante ($u=s$).

II.3. Hypothèses simplificatrices

Lors de la modélisation, des hypothèses simplificatrices sont souvent utilisées pour simplifier les équations. Nous nous en tenons aux hypothèses couramment utilisées dans les écoulements réels, qui sont les suivantes :

- Le fluide est Newtonien et incompressible.
- L'écoulement est permanent et en régime laminaire et axisymétrique
- L'écoulement et le transfert de chaleur sont bidimensionnels (r, z).
- L'approximation de boussinesq dans le terme de la poussée d'Archimède

$$\rho = \rho_\infty [1 - \beta(T - T_\infty)] \quad (\text{II.1})$$

Avec : $\beta = -\frac{1}{\rho_\infty} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)$

T_∞ : Température de référence.

β : Le coefficient d'expansion thermique à pression constante.

ρ_∞ : Masse volumique du fluide à T_∞

II.4. Formulation mathématique

Notre problème est formulé mathématiquement à travers des équations reliant plusieurs paramètres tels que la pression, la vitesse et la température. Ces équations sont dérivées à partir de :

- ❖ La loi de conservation de masse (équation de continuité).
- ❖ La loi de conservation de quantité de mouvement.
- ❖ La loi de conservation d'énergie (équation de l'énergie).

II.4.1. Equation de conservation

- Equation de continuité :

$$\vec{\nabla}(\rho\vec{V})=0 \quad (\text{II.2})$$

- Equation de quantité de mouvement :

$$\nabla(\rho\vec{V}\vec{V})=-\nabla\rho+\nabla(\mu\nabla\vec{V})+\rho\vec{g} \quad (\text{II.3})$$

- Equation de l'énergie :

$$(\vec{V}\cdot\vec{\nabla})T=\alpha\nabla^2T \quad (\text{II.4})$$

Avec : $\nu = \frac{\mu}{\rho}$

En prenant en considération les simplifications d'hypothèses précédentes, les équations qui gouvernent l'écoulement en coordonnées cylindrique peuvent être exprimées de la manière suivante :

- Equation de continuité :

$$\frac{1}{r}\frac{\partial(ru)}{\partial r}+\frac{\partial w}{\partial z}=0 \quad (\text{II.5})$$

- Equation de quantité de mouvement :

- Equation de quantité de mouvement selon z

$$u\frac{\partial w}{\partial r}+w\frac{\partial w}{\partial z}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z}+\nu\left(\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial w}{\partial r}+\frac{\partial^2 w}{\partial z^2}\right)\right)-(\rho\beta)_\infty g_z(T-T_\infty) \quad (\text{II.6})$$

• **Equation de quantité de mouvement selon r**

$$u \frac{\partial u}{\partial r} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \nu \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (\text{II.7})$$

➤ **Équation de l'énergie :**

$$u \frac{\partial T}{\partial r} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) \quad (\text{II.8})$$

➤ **Conditions aux limites**

Les conditions aux limites sont

$$r = a \quad u = s \quad w = 0 \quad T = T_w \quad s : \text{Constante} \quad (\text{II.9})$$

$$r \rightarrow \infty \quad u = u_\infty \quad w = w_\infty \quad T \rightarrow T_\infty \quad (\text{II.10})$$

II.5. Formulation adimensionnelle

L'utilisation de variables adimensionnelles permet de décrire les phénomènes physiques de manière indépendante des systèmes de mesure, ce qui facilite l'obtention d'informations générales sur une variété de problèmes ayant des coefficients de similitude similaires. Par ailleurs, cette méthode permet de réduire le nombre de paramètres nécessaires à la résolution d'un problème.

II.5.1. Equation adimensionnelle et solution auto-similaire

Afin de résoudre le système d'équations de mouvement pour cet écoulement de couche limite, nous visons à trouver une solution auto-similaire. Pour cela, nous allons introduire les transformations similaires suivantes :

$$u_e = c \left(\frac{a^2}{r} - r \right) \quad w_e = 2cz \quad c : \text{Constante} \quad (\text{II.11})$$

$$\eta = \left(\frac{r}{a}\right)^2 \quad \theta(\eta) = \frac{T - T_\infty}{T_w - T_\infty} \quad T = T_w = bz\theta + T_\infty \quad (\text{II.12})$$

On développant w et u, on trouve :

$$u = -c \frac{a^2}{r} f(\eta) \quad w = 2czf'(\eta) \quad (\text{II.13})$$

➤ **Forme adimensionnel de l'équation de quantité de mouvement**

L'équation de quantité de mouvement sous la forme adimensionnelle est comme suit :

Le terme de pression devient :

$$w_e \frac{\partial w_e}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z}$$

En remplace le terme de pression dans l'équation (6) :

L'équation (6) devient :

$$u \frac{\partial w}{\partial r} + w \frac{\partial w}{\partial z} = u_e \frac{\partial w_e}{\partial r} + w_e \frac{\partial w_e}{\partial z} + \nu \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \right) - (\rho\beta)_\infty g_z (T - T_\infty) \quad (\text{II.14})$$

On remplace (u, w, u_e, w_e) dans l'équation précédente et on dérive chaque terme :

$$\bullet \left(-c \frac{a}{r} f \right) \frac{\partial(2czf')}{\partial r} = -4c^2 z f f'' \quad (\text{II.15})$$

$$\bullet (2czf') \frac{\partial(2czf')}{\partial z} = 4c^2 z f'^2 \quad (\text{II.16})$$

$$\bullet c \left(\frac{a^2}{r} - r \right) \frac{\partial(2cz)}{\partial r} = 0 \quad (\text{II.17})$$

$$\bullet (2cz) \frac{\partial(2cz)}{\partial z} = 4c^2 z \quad (\text{II.18})$$

$$\bullet \nu \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial(2czf')}{\partial r} + \frac{\partial^2(2czf')}{\partial z^2} \right) \right) = \nu \frac{8c z r}{a^2} f'' + \nu \frac{8c z r^3}{a^4} f''' \quad (\text{II.19})$$

On additionne les termes (15) (16) (17) (18) (19) on obtient :

$$\frac{8czr^3}{a^4} f''' + \frac{8czr}{a^2} f'' + 4c^2z + 4c^2zff'' - 4c^2zf'^2 + (\rho\beta)_\infty g_z(T - T_\infty) = 0 \quad (\text{II.20})$$

On multiplie l'équation (20) * $\frac{a^2}{8rcz}$

On trouve :

$$\eta f''' + f'' + \text{Re}(1 + ff'' - f'^2) + \lambda\theta = 0 \quad (\text{II.21})$$

➤ **Forme adimensionnel de l'équation d'énergie**

L'équation d'énergie sous forme adimensionnelle est comme suit :

On a :

$$u \frac{\partial T}{\partial r} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right)$$

On remplace (u, w, T) dans l'équation d'énergie :

$$\left(-c \frac{a^2}{r} f \right) \frac{\partial(bz\theta + T_\infty)}{\partial r} + (2czf') \frac{\partial(bz\theta + T_\infty)}{\partial z} = \alpha \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial(bz\theta + T_\infty)}{\partial r} \right) \quad (\text{II.22})$$

On dérive chaque terme :

$$\bullet \quad -c \frac{a^2}{r} f \frac{\partial(bz\theta + T_\infty)}{\partial r} = -2czbf\theta' \quad (\text{II.23})$$

$$\bullet \quad (2czf') \frac{\partial(bz\theta + T_\infty)}{\partial z} = 2czbf'\theta \quad (\text{II.24})$$

$$\bullet \quad \alpha \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial(bz\theta + T_\infty)}{\partial r} \right) = \frac{4\alpha bz}{a^2} \theta' + \frac{4r^2 \alpha bz}{a^4} \theta'' \quad (\text{II.25})$$

On aura :

$$\eta\theta'' + \theta' + \text{Pr Re}(f\theta' - f'\theta) = 0 \quad (\text{II.26})$$

➤ **Conditions aux limites**

$$\eta = 1 \begin{cases} f(1) = s \\ f'(1) = 0 \end{cases}$$
$$\eta \rightarrow \infty : f'(\infty) \rightarrow 1$$
$$\theta(\eta = 1) = 1$$
$$\theta(\eta \rightarrow \infty) \rightarrow 0$$

➤ **Nombre de Prandtl**

Le nombre de Prandtl est un nombre adimensionnel utilisé en mécanique des fluides pour caractériser les échanges de chaleur dans un fluide. Il est défini comme le rapport entre la viscosité cinématique et la diffusivité thermique d'un fluide :

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

ν : Est la viscosité cinématique

α : Est la diffusivité thermique

➤ **Nombre de Reynolds**

Le nombre de Reynolds est un nombre sans dimension utilisé pour caractériser le régime d'écoulement d'un fluide autour d'un objet ou à travers un canal. Il est défini comme le rapport de la force d'inertie sur la force visqueuse dans un écoulement et est un paramètre commode pour prédire si une condition d'écoulement sera laminaire ou turbulent :

$$\text{Re} = \frac{ca}{2\nu}$$

➤ **Le paramètre de flottabilité**

Le paramètre de flottabilité est le rapport de deux nombre adimensionnel, le nombre de Grashof et le nombre de Reynolds

$$\lambda = \frac{Gr}{\text{Re}} = \frac{g\beta a^2(T_w - T_\infty)}{8c\nu}$$

➤ **Nombre de Nusselt :**

Utilisé en thermodynamique pour caractériser le transfert de chaleur par convection. Il est défini comme le rapport entre la conductivité thermique et la conductivité de diffusion de la matière,

multiplié par un coefficient adimensionnel appelé coefficient de convection de Nusselt.

$$Nu = \frac{aq_w}{k(T_w - T_\infty)} \quad , \quad q_w = -k \left(\frac{\partial T}{\partial r} \right)$$

$$Nu = \frac{-a \frac{2}{a} (T_w - T_\infty) \theta'}{(T_w - T_\infty)}$$

Après simplification on aura : $Nu = -2\theta'(1)$

Avec :

q_w : Le flux de chaleur transmis par la paroi au fluide.

k : La conductivité thermique.

➤ **Coefficient de frottement :**

Est une composante de la traînée, qui est une force résistante exercée sur un objet se déplaçant dans un fluide.

$$c_f = \frac{\tau_w}{\rho c^2} \quad , \quad \tau_w = \mu \left(\frac{\partial w}{\partial r} \right)$$

$$c_f = 2zf'(1)$$

Avec :

τ_w : La contrainte de cisaillement à la paroi

II.6. Méthode de Runge-Kutta d'ordre 4

La méthode de Runge-Kutta d'ordre 4 est très fréquemment utilisée car elle nous permet d'obtenir des résultats d'une grande précision. En fait plus l'ordre d'une méthode est élevé, plus elle devient plus précise.

On part de la formule suivante :

$$y_{i+1} = y_i + \Delta x f(x_i, y_i)$$

$$x_{i+1} = x_i + \Delta x$$

La méthode de Runge-Kutta d'ordre quatre, est une méthode explicite très populaire utilise quatre points intermédiaires k_1, k_2, k_3, k_4 , tel que :

$$k_1 = F(x_i, f_i) , k_2 = F\left(x_i + \frac{\Delta x}{2}, f_i + \frac{k_1}{2}\right) , k_3 = F\left(x_i + \frac{\Delta x}{2}, f_i + \frac{k_2}{2}\right) , k_4 = F(x_i + \Delta x, f_i + k_3)$$

L'ordonnée définitive y_{i+1} du point d'abscisse $x_i + \Delta x$ est donnée par la relation :

$$y_{i+1} = y_i + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)$$

- k_1 est la pente au début de l'intervalle ;
- k_2 est la pente au milieu de l'intervalle, en utilisant la pente k_1 pour calculer la valeur de f au point $x_i + \Delta x / 2$;
- k_3 est de nouveau la pente au milieu de l'intervalle, mais obtenue cette fois en utilisant la pente k_2 pour calculer f ;
- k_4 est la pente à la fin de l'intervalle, avec la valeur de f calculée en utilisant k_3 .

II.7. Méthode de Tirs

Jusqu'à présent, nous nous sommes uniquement penchés sur les solutions des équations différentielles pour lesquelles les conditions initiales sont connues. Cependant, de nombreuses applications dans les sciences physiques ne sont pas définies par des conditions initiales, mais plutôt par des conditions aux limites. Dans ce cas, la méthode du tir consiste à transformer le problème de conditions aux limites en un problème de conditions initiales. Elle est basée sur les quatre étapes suivantes :

- Choisissez une condition initiale X_0 (la vitesse initiale) pour transformer le problème aux limites en un problème aux valeurs initiales.
- Résolvez le problème aux valeurs initiales correspondant en utilisant une méthode numérique telle que la méthode de Runge-Kutta d'ordre quatre (ou une autre méthode numérique appropriée).

- Calculez la valeur de la condition aux limites en utilisant les valeurs obtenues à l'étape précédente.
- Si la valeur de la condition aux limites n'est pas celle souhaitée, ajustez la condition initiale et répétez les étapes 2 et 3 jusqu'à ce que la valeur de la condition aux limites soit satisfaite.

II.8. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons exprimé le problème en termes d'équations mathématiques (dynamique et thermique), de conditions aux limites et d'équations gouvernantes adimensionnelles. et nous avons présenté la méthode à suivre, pour la résolution des équations de notre étude. Nous avons décrit la méthode Runge-Kutta d'ordre Quatre, ainsi la technique de tir.

Chapitre III

Résultats et Discussion

Résultats et Discussion

III.1. Introduction

Ce chapitre est consacré à présenter les différents résultats obtenus après avoir validé le programme qui régit notre problème étudié sur le logiciel de calcul MATLAB. Citons que le problème étudié est un jet axisymétrique impactant sur un cylindre poreux vertical. Les résultats numériques exposés dans ce chapitre sont obtenus à l'aide de la méthode de (Runge-Kutta d'ordre 4). Nous rappelons que notre étude se concentre sur un écoulement bidimensionnel de point de stagnation qui se développe le long d'un cylindre vertical poreux, avec une température supérieure à celle du fluide. En raison du transfert thermique présent, il existe un couplage entre les aspects dynamiques et thermiques du problème. L'étude examine l'influence de la variation du nombre de Prandtl (Pr), du paramètre de flottabilité (λ) et du nombre de Reynolds (Re) sur la couche limite dynamique et thermique de l'écoulement le long de la paroi.

III.2. Caractéristique dynamique

Cette section est dédiée aux résultats obtenus exclusivement en résolvant l'équation du mouvement. En analysant cette équation, il est évident qu'elle est influencée par des paramètres bien connus tels que le nombre de Prandtl (Pr), le nombre de Reynolds (Re) et le paramètre de flottabilité (λ). Afin de faciliter la compréhension de l'évolution des champs dynamiques, nous présentons les profils de vitesse suivants :

➤ **Le profil radial $f(\eta)$ en fonction de différents paramètres (Pr , Re , λ , s) :**

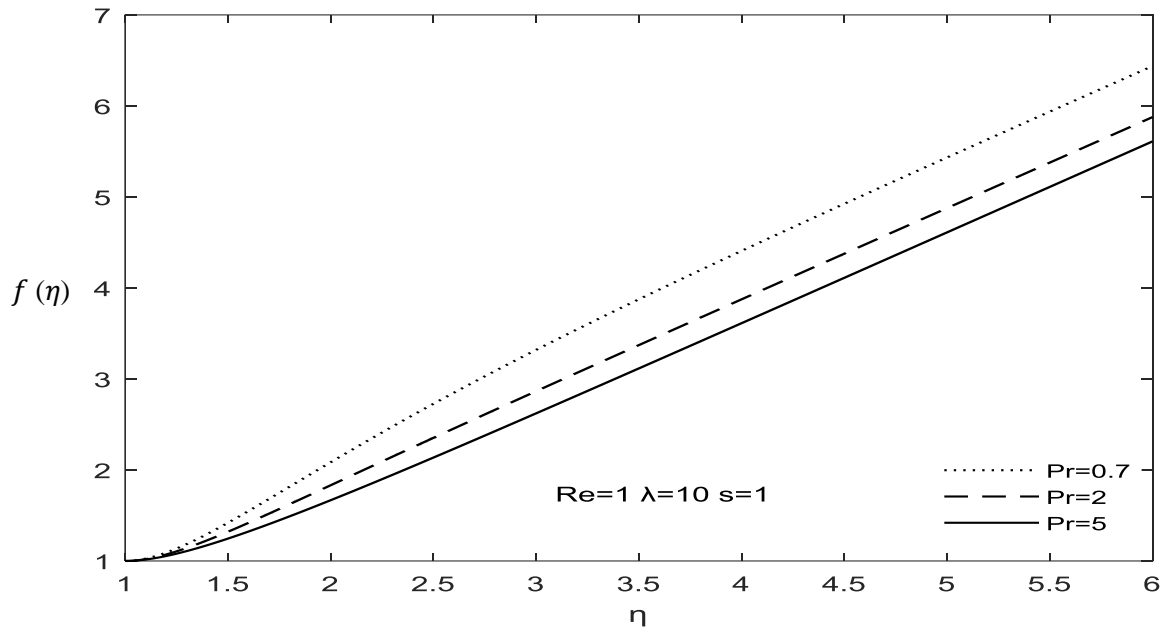


Figure III.1: variation du profil radial $f(\eta)$ pour différentes valeur de Pr (0.7, 2, 5) avec $Re=1$, $\lambda=10$ et $s=1$

La figure (III.1) présente la variation du profil radial f en fonction de la variable adimensionnelle (η) avec différents valeur du nombre de Prandtl (Pr), on constate qu'à chaque fois qu'on augmente le nombre de Prandtl (Pr), l'épaisseur de la couche limite dynamique augmente et le profil f augmente également avec l'augmentation de (η).

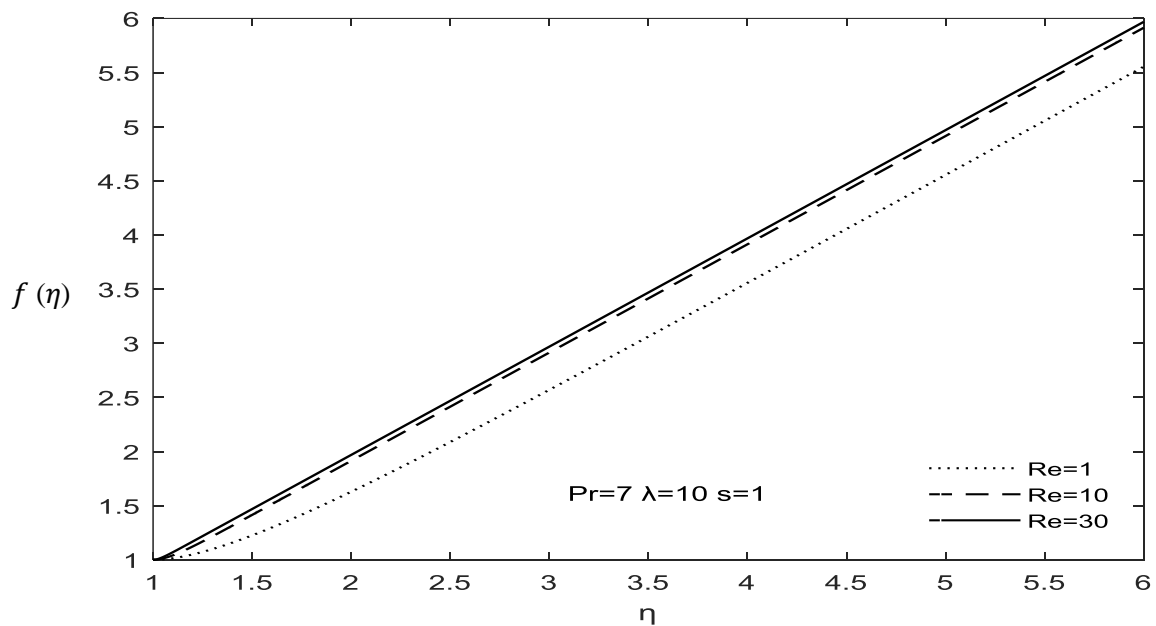


Figure III.2: variation du profil radial $f(\eta)$ pour différentes valeur de Re (1, 10, 30) avec $Pr=7$, $\lambda=10$ et $s=1$

La figure (III.2) présente la variation du profil radial f en fonction de la variable adimensionnelle (η) avec différents valeur du nombre de Reynolds (Re), on constate qu'à chaque fois qu'on augmente le nombre de Reynolds (Re), l'épaisseur de la couche limite dynamique augmente et le profil f augmente également avec l'augmentation de (η).

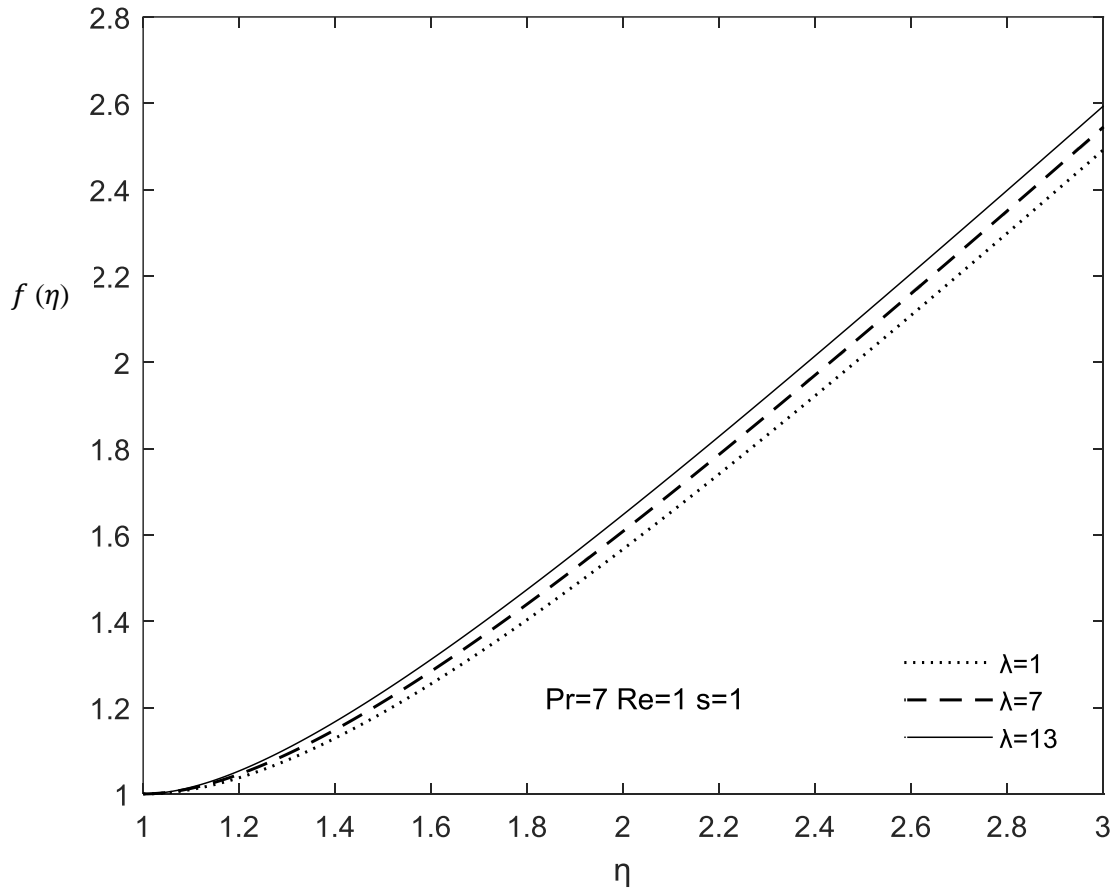


Figure III.3: variation du profil radial $f(\eta)$ pour différentes valeur de λ (1, 7,13) avec $Pr=7$, $Re=1$ et $s=1$

La figure (III.3) présente la variation du profil radial f en fonction de la variable adimensionnelle (η) avec différents valeur du paramètre de flottabilité (λ), on constate qu'à chaque fois qu'on augmente le paramètre de flottabilité (λ), l'épaisseur de la couche limite dynamique augmente et le profil f augmente également avec l'augmentation de (η).

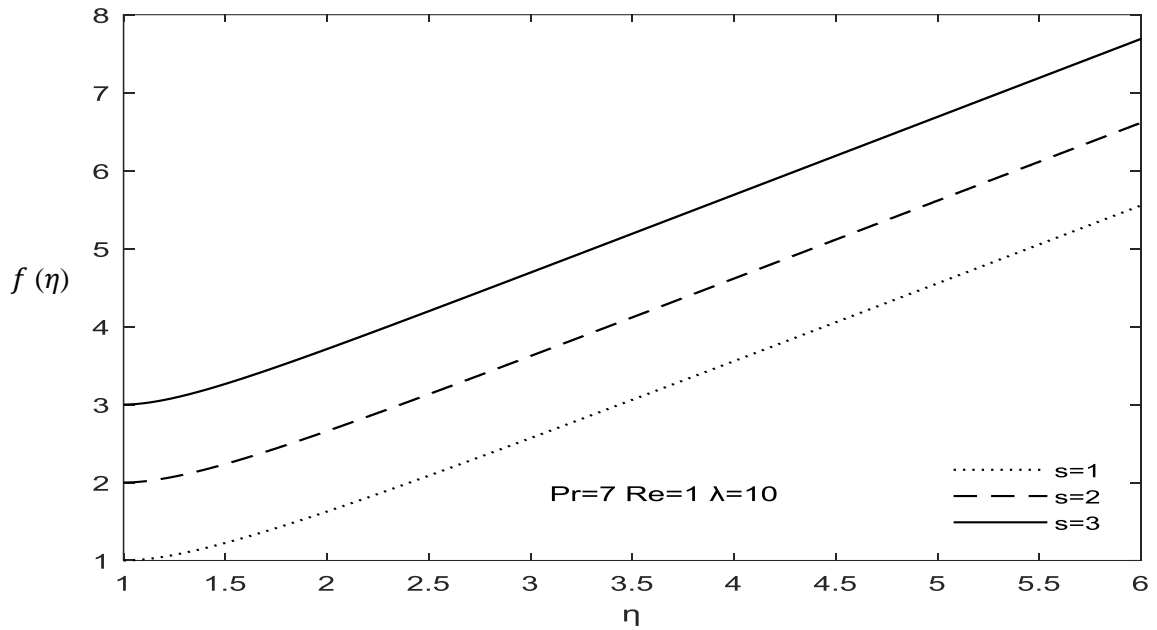


Figure III.4: variation du profil radial $f(\eta)$ pour différentes valeur de s (1, 2, 3) avec $Pr=7$, $Re=1$ et $\lambda=10$

La figure (III.4) présente la variation du profil radial f en fonction de la variable adimensionnelle (η) avec différentes valeurs de vitesse (s). On constate qu'à chaque fois qu'on augmente la vitesse (s), l'épaisseur de la couche limite dynamique augmente et le profil f augmente également avec l'augmentation de (η).

➤ **Le profil de vitesse axial $f'(\eta)$ en fonction de différents paramètres (Pr, Re, λ, s) :**

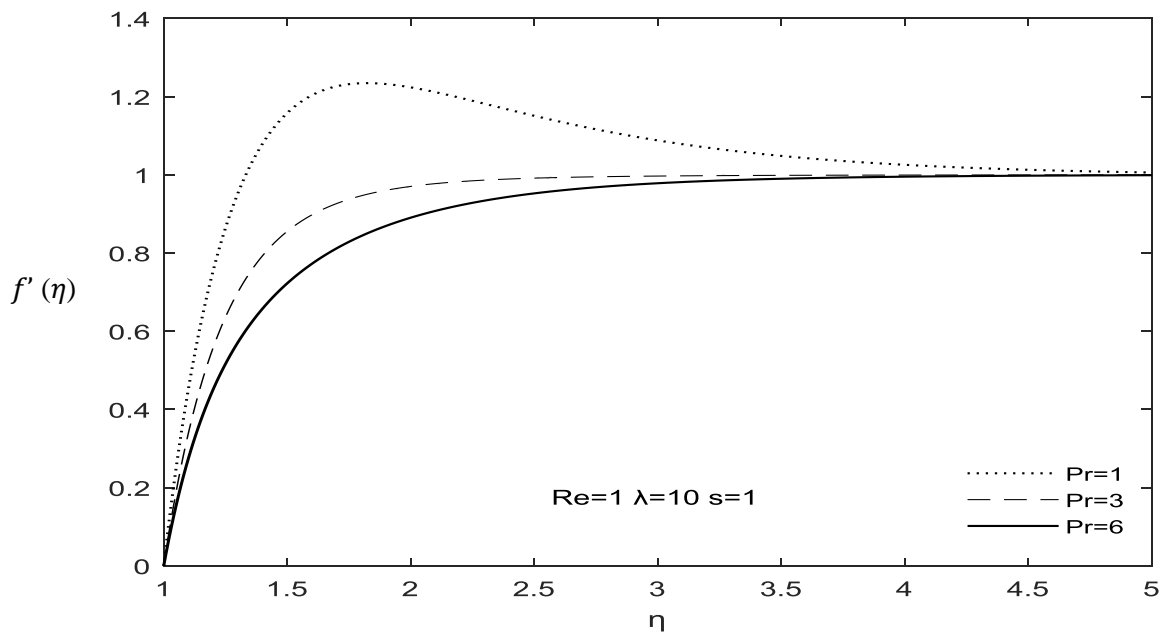


Figure III.5: variation du profil de vitesse axial $f'(\eta)$ pour différentes valeur de Pr (1, 3,6) avec $Re=1$, $\lambda=10$ et $s=1$

La figure (III.5) présente la variation du profil de vitesse axial f' en fonction de la variable adimensionnelle (η) avec différents valeur du nombre de Prandtl (Pr), on constate qu'à chaque fois qu'on augmente le nombre de Prandtl (Pr), l'épaisseur de la couche limite dynamique s'élargit, et on remarque aussi que l'augmentation de (Pr) accélère l'écoulement.

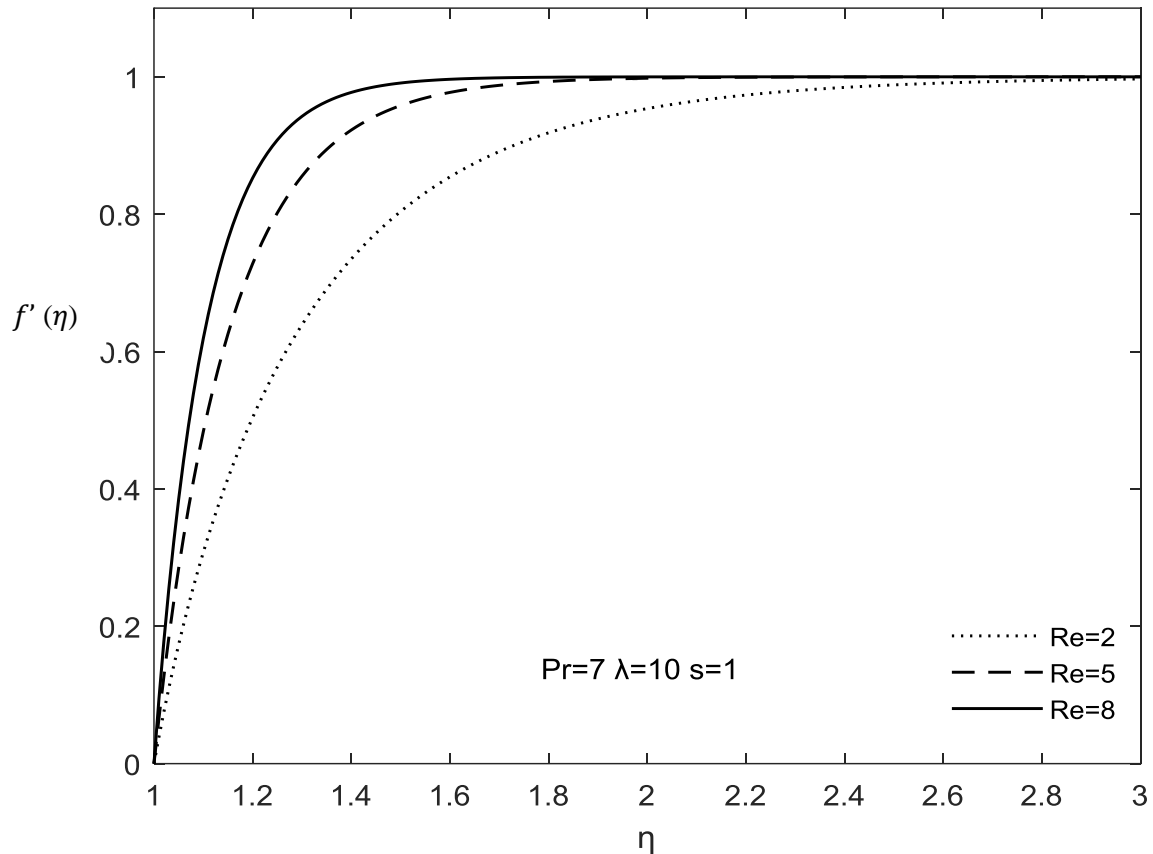


Figure III.6: variation du profil de vitesse axial $f'(\eta)$ pour différentes valeur de Re (2, 5, 8) avec $Pr=7$, $\lambda=10$ et $s=1$

La figure (III.6) présente la variation du profil de vitesse axial f en fonction de la variable adimensionnelle (η) avec différents valeur du nombre de Reynolds (Re), on constate qu'à chaque fois qu'on augmente le nombre de Reynolds (Re), l'épaisseur de la couche limite dynamique s'élargit, et on remarque de même que l'augmentation de (Re) accélère l'écoulement.

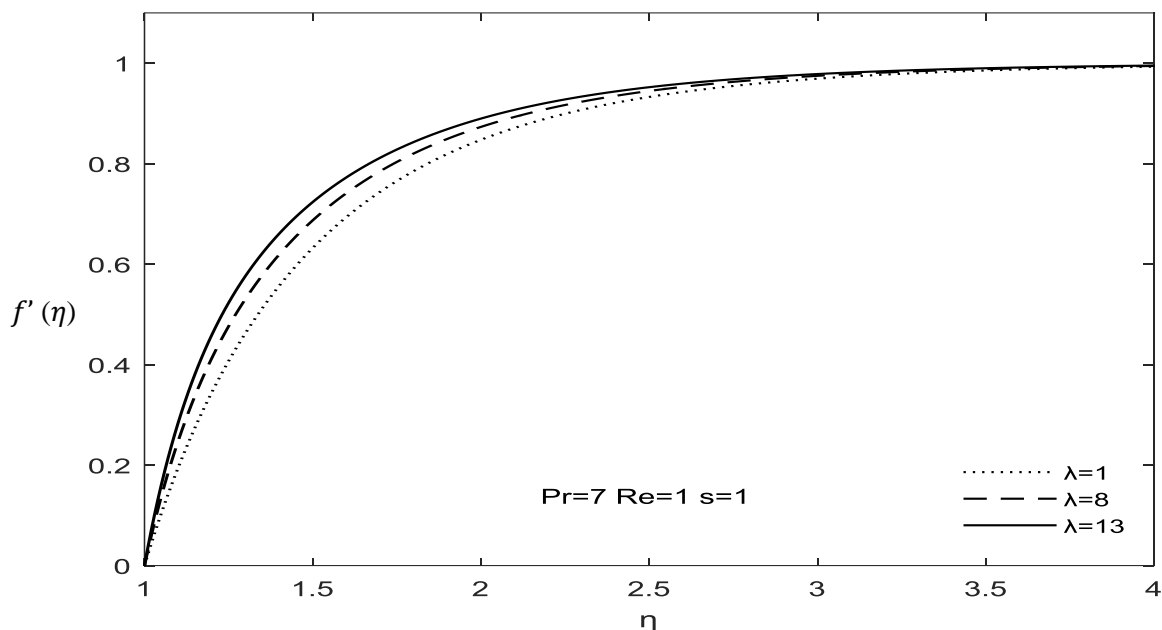


Figure III.7: variation du profil de vitesse axial $f'(\eta)$ pour différentes valeur de λ (1, 8,13) avec $Pr=7$, $Re=1$ et $s=1$

La figure (III.7) présente la variation du profil de vitesse axial f' en fonction de la variable adimensionnelle (η) avec différents valeur du paramètre de flottabilité (λ), on constate qu'à chaque fois qu'on augmente le paramètre de flottabilité (λ), l'épaisseur de la couche limite dynamique s'élargit, et on remarque de même que l'augmentation de (λ) accélère l'écoulement.

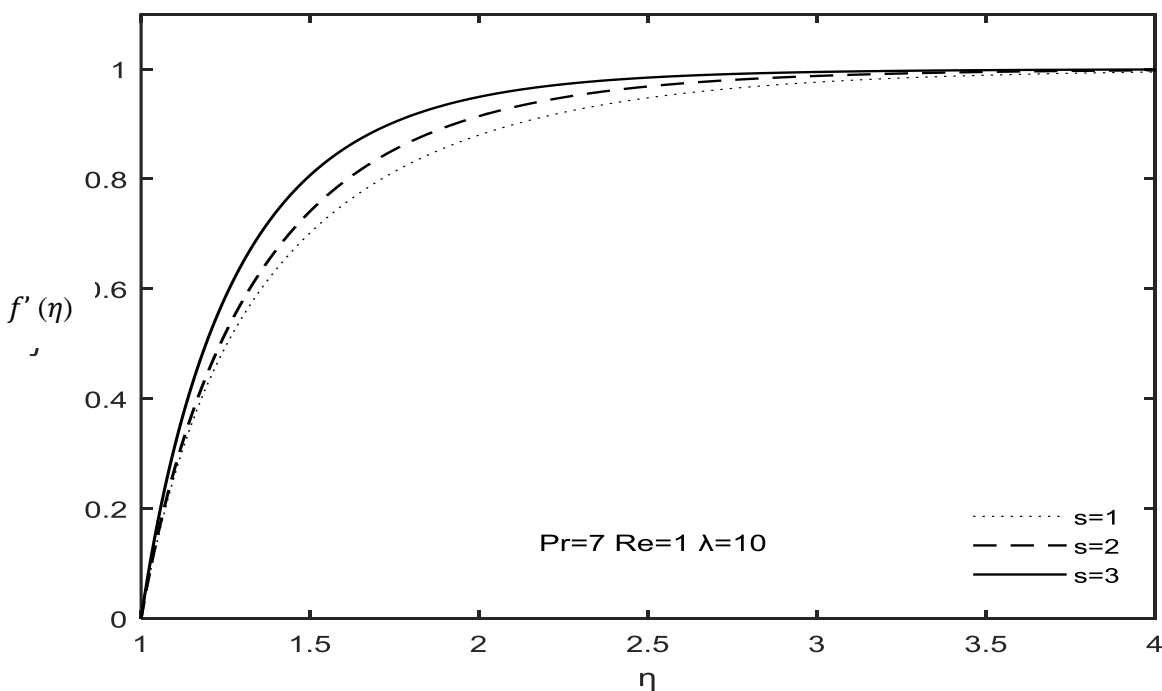


Figure III.8: variation du profil de vitesse axial $f'(\eta)$ pour différentes valeur de s (1,2,3) avec $Pr=7$, $Re=1$ et $\lambda =10$

La figure (III.8) présente la variation du profil de vitesse axial f' en fonction de la variable adimensionnelle (η) avec différentes valeurs de vitesse (s). On constate qu'à chaque fois qu'on augmente la vitesse (s) l'épaisseur de la couche limite dynamique s'élargit, et on remarque de même que l'augmentation de (s) accélère l'écoulement.

III.3. Caractéristique thermique

Cette section est dédiée aux résultats obtenus exclusivement en résolvant l'équation d'énergie. En analysant cette équation, il est évident qu'elle est influencée par des paramètres bien connus tels que le nombre de Prandtl (Pr), le nombre de Reynolds (Re) et le paramètre de flottabilité (λ). Afin de faciliter la compréhension de l'évolution des champs thermiques, nous présentons les profils des températures suivants

➤ **Le profil de température $\theta(\eta)$ en fonction de différents paramètres (Pr , Re , λ , s) :**

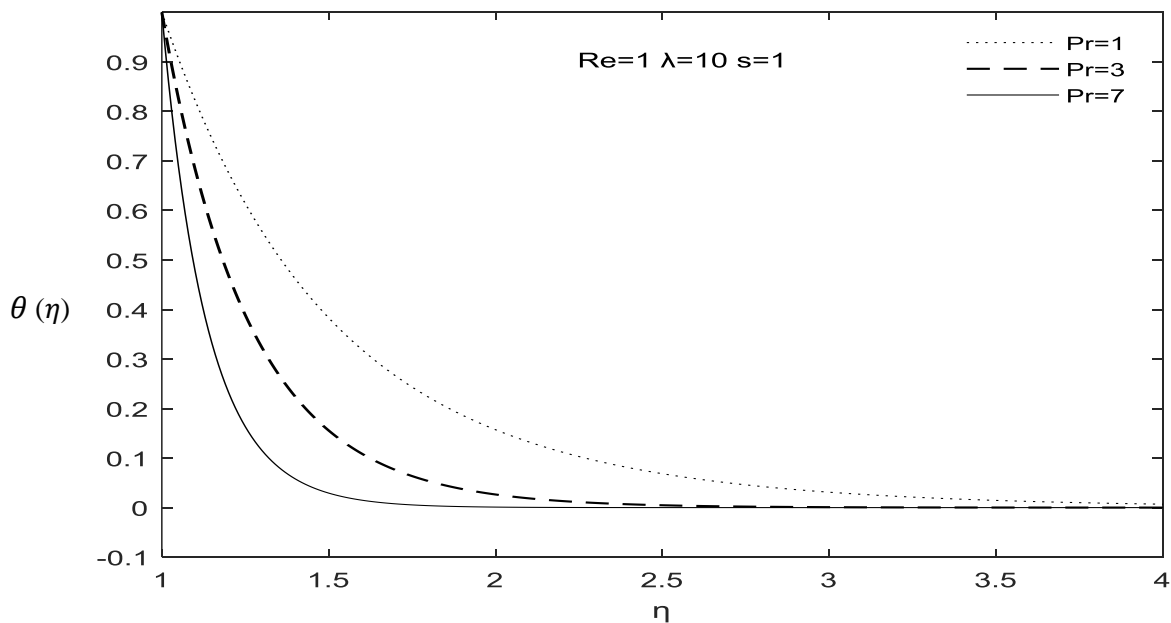


Figure III.9 : variation du profil de température $\theta(\eta)$ pour différentes valeur de Pr (1, 3,7) avec $Re=1$, $\lambda=10$ et $s=1$

La figure (III.9) présente la variation du profil de température adimensionnelle θ en fonction de la variable adimensionnelle (η) avec différents valeur du nombre de Prandtl (Pr), On observe que la température adimensionnelle θ diminue à mesure que nombre de Prandtl (Pr) augmente, et que l'épaisseur de la couche limite thermique se réduit avec l'augmentation du nombre de Prandtl (Pr).

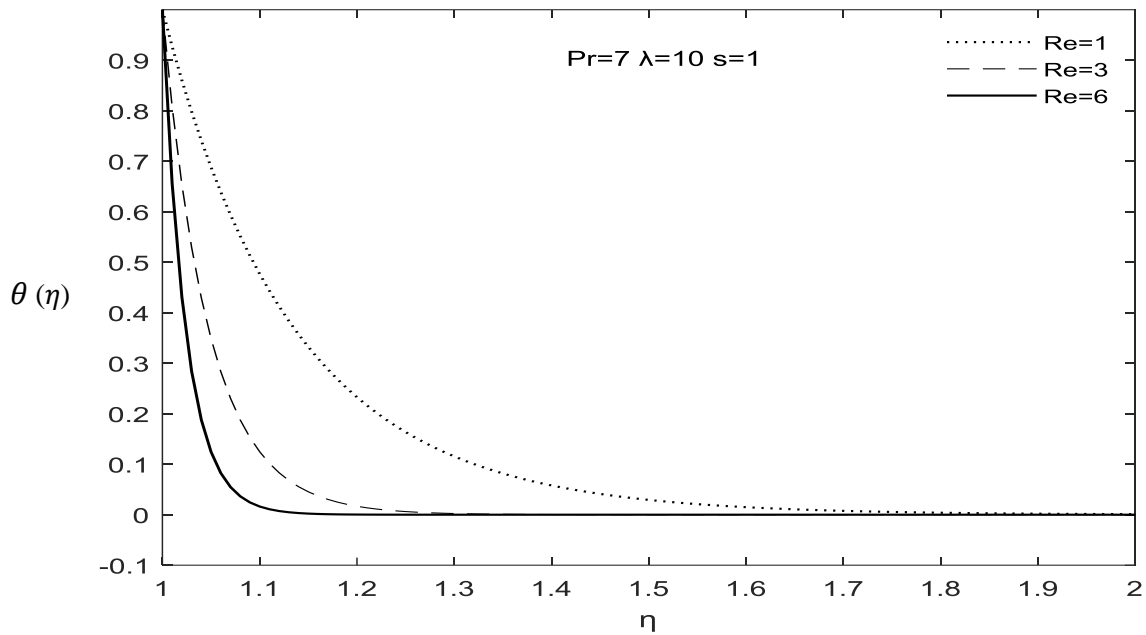


Figure III.10 : variation du profil de température $\theta(\eta)$ pour différentes valeur de Re (1, 3,6) avec $Pr=7, \lambda=10$ et $s=1$

La figure (III.10) présente la variation du profil de température adimensionnelle θ en fonction de la variable adimensionnelle (η) avec différents valeur du nombre de Reynolds (Re), on constate qu'à chaque fois qu'on augmente le nombre de Reynolds (Re), l'épaisseur de la couche limite dynamique s'élargit, et on remarque de même que l'augmentation de (Re) accélère l'écoulement.

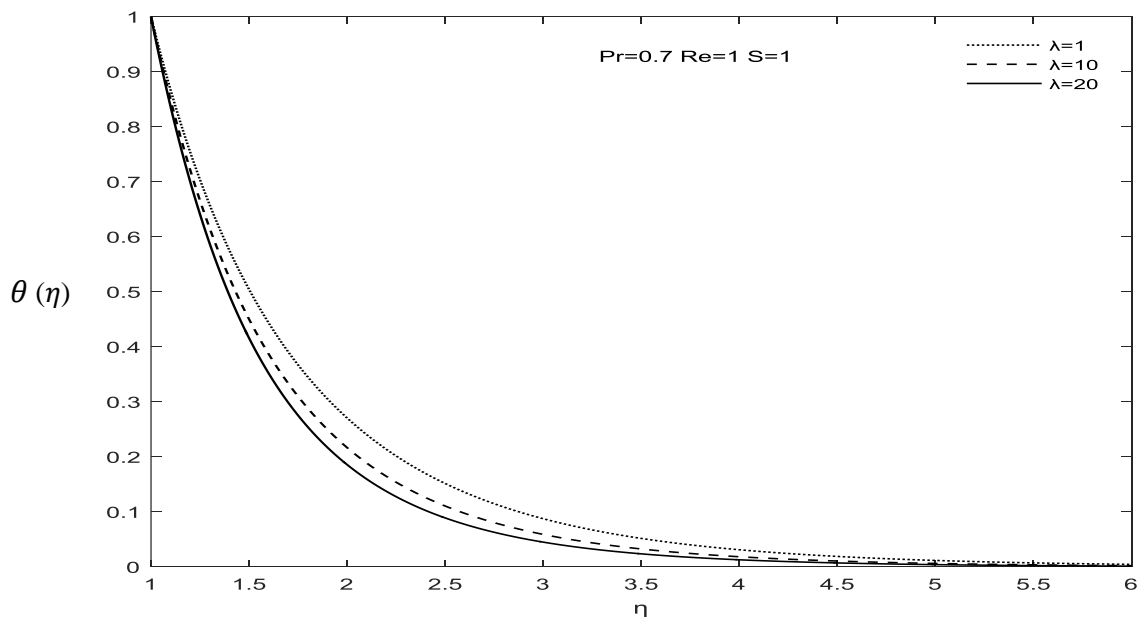


Figure III.11 : variation du profil de température $\theta(\eta)$ pour différentes valeur de λ (1, 5,10) avec $Pr=7, Re=1$ et $s=1$

La figure (III.11) présente la variation du profil de température adimensionnelle θ en fonction de la variable adimensionnelle (η) avec différents valeur du paramètre de flottabilité (λ).on constate que l'épaisseur de la couche limite thermique augmente avec l'augmentation du paramètre de flottabilité (λ), tandis que la température adimensionnelle θ diminue avec l'augmentation de η .

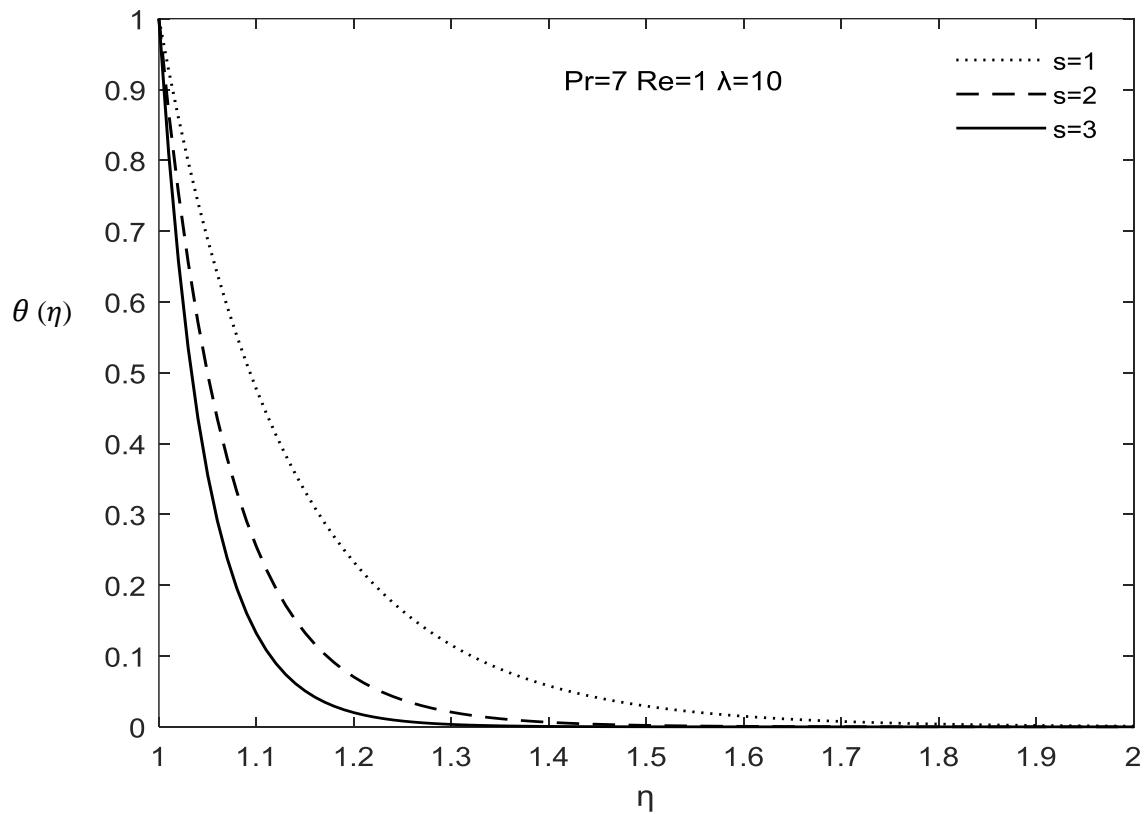


Figure III.12 : variation du profil de température $\theta(\eta)$ pour différentes valeur de s (1, 2, 3) avec $Pr=7$, $Re=1$ et $\lambda=10$

La figure (III.12) présente la variation du profil de température adimensionnelle θ en fonction de la variable adimensionnelle (η) avec différents valeur de la vitesse (s).on constate que l'épaisseur de la couche limite thermique augmente avec diminue de la vitesse (s), tandis que la température adimensionnelle θ diminue avec l'augmentation de η .

➤ **Le profil du nombre de Nusselt en fonction de la vitesse (s) :**

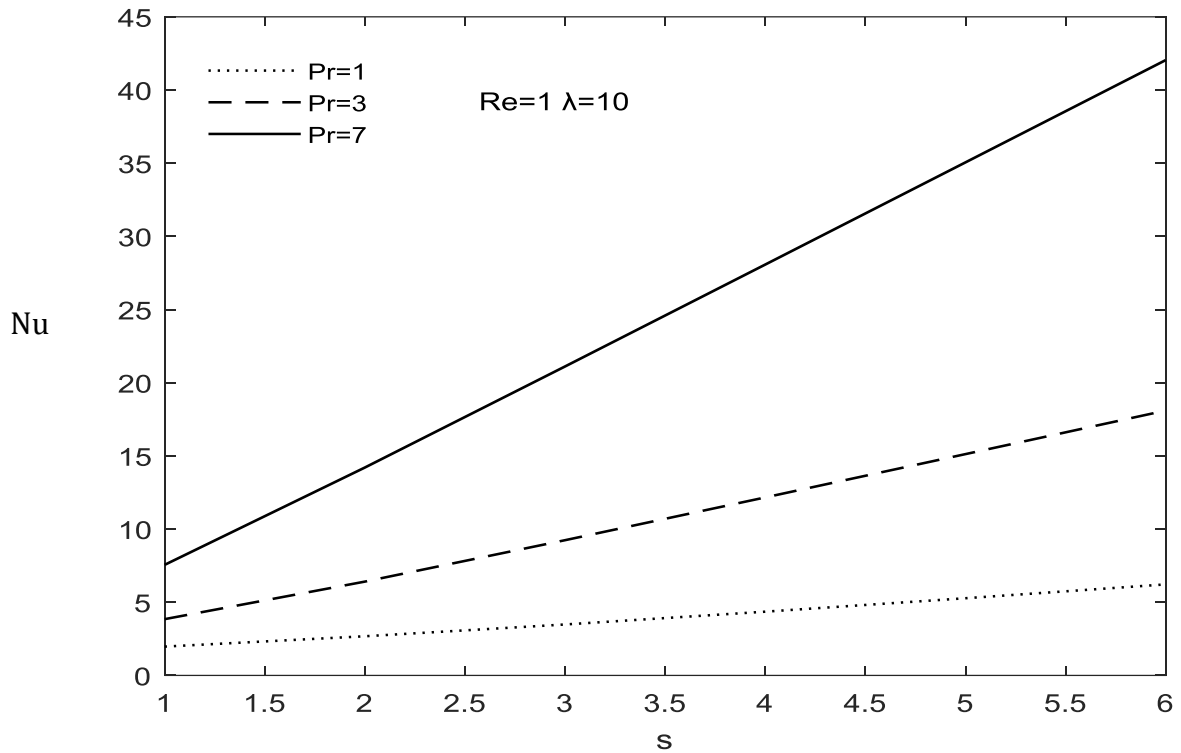


Figure III. 13 : Profil du nombre de Nusselt (Nu) en fonction de la vitesse (s) pour différentes valeurs de Pr (1, 3, 7) avec $Re=1$ et $\lambda=10$

La figure III.13 présente la variation de nombre Nusselt (Nu) en fonction de la vitesse (s) avec différents valeurs du nombre de Prandtl (Pr), on constate que l'épaisseur de la couche limite thermique augmente avec l'augmentation de la vitesse (s), le nombre de Nusselt (Nu) augmente avec l'augmentation de la vitesse (s)

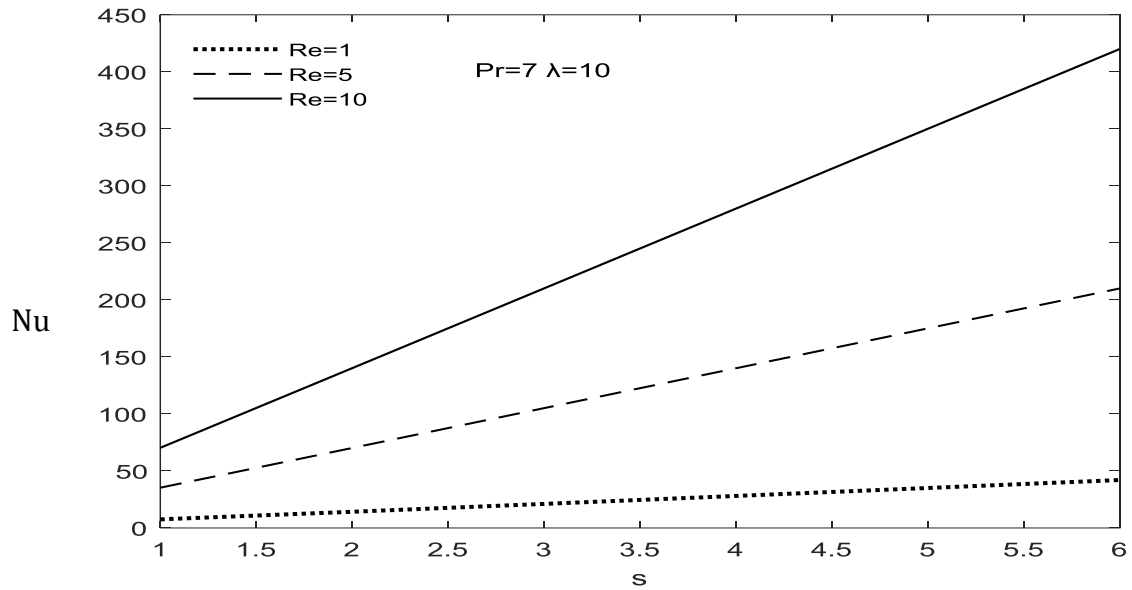


Figure III. 14 : Profil du nombre de Nusselt (Nu) en fonction de la vitesse (s) pour différentes valeurs de Re (1, 5, 10) avec Pr=7 et $\lambda=10$

La figure III.14 au-dessus présente la variation de nombre Nusselt (Nu) en fonction de la vitesse (s) avec différents valeur du nombre de Reynolds (Re), on constate que l'épaisseur de la couche limite thermique augmente avec l'augmentation de la vitesse (s), le nombre de Nusselt (Nu) augmente avec l'augmentation de la vitesse (s)

➤ **Le profil du coefficient de frottement en fonction de la vitesse (s) :**

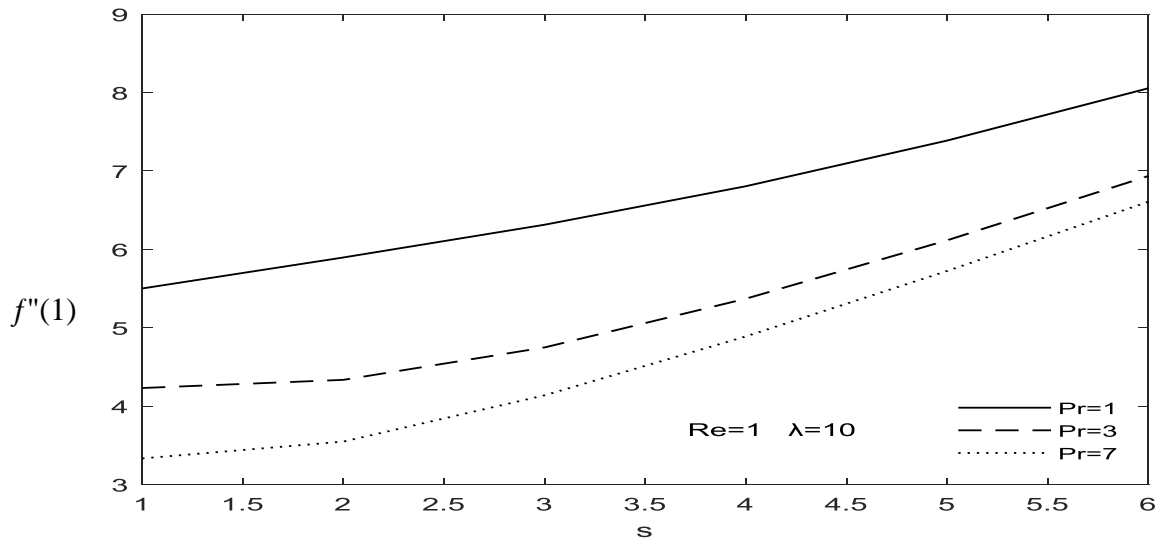


Figure III. 15 : Profil du coefficient de frottement à la paroi en fonction de la vitesse (s) pour différentes valeurs de Pr (1, 3, 7) avec Re=7 et $\lambda=10$

La figure (III.15) présente la variation du coefficient de frottement (C_f) en fonction de la vitesse (s) avec différents valeur du nombre de Prandtl (Pr), on constate que le coefficient de frottement(C_f) augmente avec l'augmentation de la vitesse (s)

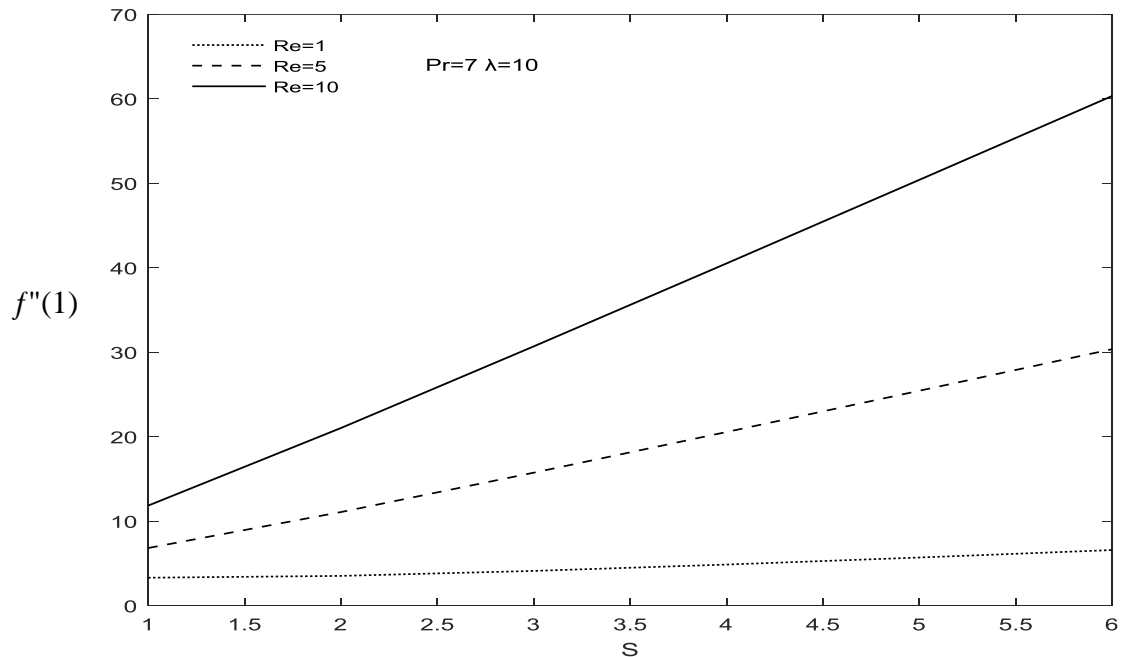


Figure (III. 16) : Profil du coefficient de frottement à la paroi en fonction de la vitesse (s) pour différentes valeurs de Re (1, 5, 10) avec $Pr=7$ et $\lambda=10$

La figure (III.16) présente la variation du coefficient de frottement (C_f) en fonction de la vitesse (s) avec différents valeur du nombre de Reynolds (Re), on constate que le coefficient de frottement (C_f) augmente avec l'augmentation de la vitesse (s)

III.4. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudié le problème du comportement d'une couche limite dynamique et thermique d'un jet impactant sur un cylindre vertical poreux, on a évalué les variations de la vitesse et la température adimensionnelle avec différentes valeurs de Nombre de Prandtl (Pr), Le nombre de Reynolds (Re), paramètre de flottabilité (λ) et la vitesse (s). Pour analyser la structure de couche limite ainsi pour présenter l'évolution de nombre de Nusselt (Nu) et le coefficient de frottement (C_f) en fonction de la vitesse (s). Les résultats obtenus à

propos de cette étude sont analysés et discutés. A la fin de l'étude, on peut alors conclure que l'épaisseur d'une couche limite varie avec la variation des paramètres (Pr), (Re) et (λ).

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Dans ce travail Nous avons réalisé une étude numérique portant sur un écoulement de couche limite provoqué par un jet axisymétrique sur un cylindre poreux vertical, où la température du cylindre est plus élevée que celle du fluide et où il n'y a pas de rotation. L'objectif principal de cette étude était d'analyser le comportement de la couche limite en fonction de divers paramètres.

Nous avons effectué une étude bibliographique afin de nous familiariser sur l'écoulement de la couche limite à proximité d'un point de stagnation et d'obtenir une vision globale des caractéristiques d'un écoulement lorsque des jets impactent un cylindre.

La première partie de notre étude consiste à formuler les équations de conservation de la quantité de mouvement et de l'énergie. Ensuite, ces équations sont réduites à un système d'équations différentielles ordinaires, qui se présente sous la forme d'un problème aux valeurs limites. Pour résoudre numériquement ces équations, nous avons utilisé la méthode de Runge-Kutta d'ordre quatre, ainsi que la méthode de tir, en utilisant le logiciel Matlab.

Pour notre étude, nous avons effectué des variations de plusieurs paramètres, notamment le nombre de Prandtl (Pr), le nombre de Reynolds (Re) le paramètre de flottabilité (λ) ainsi que la vitesse (s). L'objectif était d'analyser leurs effets sur les champs dynamiques, tels que la vitesse (f') et le profil de vitesse (f), ainsi que sur le champ thermique, comprenant la température (θ). Nous avons examiné comment ces paramètres influencent ces caractéristiques dans notre étude. Les résultats présentés dans ce travail conduisent à ces conclusions :

- L'épaisseur de la couche limite dynamique augmente avec l'augmentation de nombre de Prandtl (Pr).
- L'épaisseur de la couche limite thermique se réduit avec l'augmentation du nombre de Prandtl (Pr).
- L'épaisseur de la couche limite dynamique et thermique augmente avec l'augmentation du paramètre de flottabilité (λ).
- L'épaisseur de la couche limite dynamique et thermique augmente avec l'augmentation nombre de Reynolds (Re).

- Le nombre de nusselt (Nu) et le coefficient de frottement (C_f) évolue en fonction de la vitesse (s) selon différents paramètres, le nombre de Prandtl (Pr) et le nombre de Reynolds (Re).
- l'augmentation de nombre de Reynolds (Re) et le nombre de Prandtl (Pr) provoque l'augmentation de nusselt (Nu) et le coefficient de frottement (C_f)

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] Abishek, S., and Narayanaswamy, 2012, "Coupled Effects of Surface-Radiation and Buoyancy on Jet-Impinging Heat Transfer," ASME J. Heat Transfer, 134, p. 082203.
- [2] Subba Raju, K., and Schlünder, E. U., 1977, "Heat Transfer Between an Impinging Jet and a Continuously Moving Surface," Wärme-Stoffübertr, 10, pp. 131–136.
- [3] Daniel Thibault : " Etude du refroidissement par impact de jets à travers une paroi mince et avec un écoulement cisailant amont : application aux aubes de turbines". Engineering Sciences. ISAE-ENSMA Ecole Nationale Supérieure de Mécanique et d'Aérotechnique - Poitiers, 2009.
- [4] H. Ali, A. Abdenasser, Etude numérique du refroidissement d'une plaque chauffée par un jet l'impactant dans un canal, Mémoire de fin d'étude, université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- [5] Incropera, D. Dewitt, T. Bergman, A. Lavine. "Fundamentals of Heat and Mass Transfer". New York: Wiley, 6 édition ; (2007).
- [6] Viskanta, R. Heat transfer to impinging isothermal gas and flame jets. Exp. Therm. Fluid Sci. 1993, 6, 111–134. [CrossRef].
- [7] Hiemenz, Dien Grenzschicht an einem in den gleichförmigen Flüssigkeitsstrom eingetauchten geraden Kreiszylinder, Dinglers Polytech. Journal 32 (1911) 321-410.
- [8] F. Homan, Der Einfluss grosser Zähigkeit bei der Strömung um den Zylinder und um die Kugel, Z. Angew Math Mech 1936, 16:153-164.
- [9] Smith FT (1974) three dimensional stagnation point flow in a corner. Proc R Soc Lond A 344:489–507.
- [10] Wang CY (1974) axisymmetric stagnation flow on a cylinder. Quart Appl Math 32:207–213.
- [11] Gorla RSR (1978) Nonsimilar axisymmetric stagnation flow on a moving cylinder. Int J Eng Sci 16:392–400.
- [12] F. Gori, L. Bossi Optimal slot height in the jet cooling of a circular cylinder, applied thermal engineering 23 (2003) 859-870.
- [13] Sachidananda Sahoo (2022) Stagnation point flow of a viscous incompressible fluid Pages 1069-1072.
- [14] Y.Y. Lok, I. Pop, Wang's shrinking cylinder problem with suction near a stagnation point, Phys. Fluids 23 (2011), 083102.

- [15] I. A. HASSANIEN, H. M. EL-HAWARY and A. A. SALAMA, Chebyshev Solution of axisymmetric stagnation flow on a cylinder, *Energy Convers. Mgmt.* Vol. 37, No. I, pp. 67- 76, 1996.
- [16] H. Mohammadi, A. B. Rahimi, A. Kianifar, Axisymmetric stagnation-point flow and heat transfer of viscous, compressible fluid on a cylinder with constant wall heat flux, *scientia Iranica B* 20, 185-194.
- [17] R. Bayat, A. B. Rahimi, Numerical solution to NS equations in the case of unsteady axisymmetric stagnation-point flow on a vertical circular cylinder with mixed convection heat transfer *Scientia Iranica*, 2018 – scientiairanica.sharif.edu.
- [18] H.S. Takhar, A.J. Chamkha, G. Nath, Unsteady axisymmetric stagnation-point flow of a viscous fluid on a cylinder, *International Journal of Engineering Science* 37 (1999) 1943 -1957.
- [19] Benhadid.S, Contribution à l'étude de l'évolution d'un jet d'air à symétrie axiale dans une cavité cylindrique, Thèse de magister, Mécanique des fluides, USTHB, Alger, sept.(1985).
- [20] I. A. HASSANIEN, H. M. EL-HAWARY and A. A. SALAMA, Chebyshev Solution of axisymmetric stagnation flow on a cylinder, *Energy Convers. Mgmt.* Vol. 37, No. I, p

Résumé

Dans cette étude, nous avons effectué une analyse numérique du refroidissement d'un cylindre poreux à l'aide de la technique du jet impactant. Pour ce faire, nous avons présenté différentes formules mathématiques ainsi que les hypothèses simplificatrices, à savoir les équations de Navier-Stokes et de l'énergie. Ensuite, nous avons procédé à la résolution numérique en utilisant la méthode de Runge-Kutta d'ordre quatre et la méthode de tir, permettant ainsi de résoudre le système d'équations différentielles et de résoudre le problème physique étudié. L'objectif de cette étude est d'analyser l'effet de certains paramètres, y compris les conditions aux limites, afin d'améliorer le refroidissement et le transfert de chaleur.

Mots clés : jet impactant, refroidissement, méthode Runge-kutta, méthode tir.

Abstract

In this study, we have carried out a numerical analysis of the cooling of a porous cylinder using the impact jet technique. To this end, we presented various mathematical formulas and simplifying assumptions, namely the Navier-Stokes and energy equations. We then proceeded to the numerical resolution using the fourth-order Runge-Kutta method and the shooting method, thus solving the system of differential equations and modeling the physical problem under study. The aim of this study is to analyze the effect of certain parameters, including boundary conditions, in order to improve cooling and heat transfer.

Keywords: impacting jet, cooling, Runge-kutta method, shooting method

Résumé

Dans cette étude, nous avons effectué une analyse numérique du refroidissement d'un cylindre poreux à l'aide de la technique du jet impactant. Pour ce faire, nous avons présenté différentes formules mathématiques ainsi que les hypothèses simplificatrices, à savoir les équations de Navier-Stokes et de l'énergie. Ensuite, nous avons procédé à la résolution numérique en utilisant la méthode de Runge-Kutta d'ordre quatre et la méthode de tir, permettant ainsi de résoudre le système d'équations différentielles et de résoudre le problème physique étudié. L'objectif de cette étude est d'analyser l'effet de certains paramètres, y compris les conditions aux limites, afin d'améliorer le refroidissement et le transfert de chaleur.

Mots clés : jet impactant, couche limite, méthode Runge-kutta, méthode tir.

Abstract

In this study, we have carried out a numerical analysis of the cooling of a porous cylinder using the impact jet technique. To this end, we presented various mathematical formulas and simplifying assumptions, namely the Navier-Stokes and energy equations. We then proceeded to the numerical resolution using the fourth-order Runge-Kutta method and the shooting method, thus solving the system of differential equations and modeling the physical problem under study. The aim of this study is to analyze the effect of certain parameters, including boundary conditions, in order to improve cooling and heat transfer.

Keywords: impacting jet, cooling, Runge-kutta method, shooting method

