

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la recherche scientifique

UNIVERSITE Abderrahmane MIRA BEJAIA
Faculté de Technologie
Département de Génie Mécanique

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Energétique

Par :

CHEURFA Dihia

BEN HAMMOUDA Abir

Thème

Simulation numérique par la méthode des éléments finis d'un écoulement d'un fluide non- newtonien.

Soutenu le 06/10/2021 devant le jury composé de:

Mr.N.BOUTALBI

Président

Mr.A.BENSLIMANE

Rapporteur

Mr.H.ALI AGHA

Examineur

Année Universitaire 2020-2021

Remerciements

Nous remercions en premier lieu dieu le tout puissant de nous avoir donné la force et la volonté pour accomplir ce travail.

Nos chaleureux et sincères remerciements sont adressés à notre encadreur Mr. A .BENSLIMANE, pour son encadrement, sa contribution, sa patience et son aide tout le long de ce travail.

Sans oublier de remercier Mm.L.CHEFFAR de département génie mécanique pour ces efforts, sa disponibilité, ces conseils qui nous a beaucoup aidées à réaliser ce travail.

Enfin, à tous ceux et celles qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail, nous disons merci.

Dédicaces

Je dédie ce humble travail :

A mes très chers et respectueux parents ; vraiment aucune dédicace ne saurait mon attachement ; mon amour et mon affection, je vous offre ce modeste travail en témoignage de tout les sacrifices et l'immense tendresse dont m'avez toujours se me combler.

Puis dieu puisant vous garder et vous procurer santé et bonheur.

A ma chère moitié, mon mari ALLAM NACER , aucune dedicace ne peut exprimer mon amour et ma gratitude à toi, tu étais mon soutien moral et source de joie et bonheur.

A ma très chère sœur CILIA.

A mes très chers frères EL-HASSEN, AYMENE , MHEND

A toute la famille CHEURFA ET ALLAM .

*A mes très chers ami(es) et particulier :ASMA,TOUHA,
FATIMA ,AINI,AMER,HASSEN,SALIM ,HOCINE.*

Je didié aussi ce travail à ma binome Abir BENHAMMOUDA.

A tous ce qui m'ont aider dans l'élaboration de se travail.

D.CHEURFA

Dédicaces

Je tiens à dédier ce modeste travail à ceux qui ont fait de moi ce que je suis :_Ma très chère mère : vraiment aucune dédicace ne saurait mon attachement ; mon amour et mon affection, je t'offre ce modeste travail en témoignage de tout les sacrifices et l'immense tendresse dont m'avez toujours se me combler, Tout le long de mes études, « que dieu me le garde.

A l'homme de ma vie, HICHAM HAMA mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir que dieu te garde.

A mes chères sœurs : Hana, Bouchera, Nesrin, Rana

A mon petit frère : ISSAM.

A mes deux chers oncles : Salah,Bachir,Nadir,karim

A toute la famille BEN HAMMOUDA ET HAMA ET BELKHARRAZ

A tous mes amis :Sonia,ghoulam, hicham.

A tous ceux et celles qu'ils me sont très chères et qui sont malheureusement aujourd'hui absents.

A.BEN HAMMOUDA

Sommaire

Remerciements	i
Dédicaces	ii
Sommaire	iv
Liste des figures	vi
NOMENCLATURE	viii
Introduction Générale.....	1.
Chapitre I :Généralités et synthèse bibliographique.....	3
Introduction	3
Fluides newtoniens	4
Propriétés des fluides	5
Rhéologie, la physique de l'écoulement.....	5
Définition.....	5
Comportements des fluides non newtoniens	6
Fluides indépendants du temps	6
Fluide rhéofluidifiant.....	7
I.4 .2 Fluide rhéoépaississant.....	7
I.4.3 fluides à seuils	8
Modèles rhéologiques	8
Modèle de Bingham	8
Modèle D'ostwald-Dwale	8
Modèle Herchel-Bulkley	9
Modèle de Cross	9
Modèle de Carreau-Yassuda	9
Fluides dépendant du temps.....	10
fluides viscoélastiques.....	10
Fluides Thixotropes.....	10
Synthèse bibliographiques.....	10
Conclusion.....	14
Chapitre II :Positionnement du problème	15
Introduction.....	15
Écoulement newtonien dans une conduite circulaire.....	15
Formulation mathématique.....	15
II.2.2 Solution analytique	16
Écoulement non-newtonien dans une conduite circulaire	17
Formulation mathématique.....	17

II.2.2 Solution analytique	18
Conclusion	19
Chapitre III :Résultatats et Discussions	20
III. 1. Introduction	20
Procédure numérique	20
Géométrie du problème	21
fluide newtonien	21
Validation	21
Fluide non-newtonien	22
Influence des différents paramètres de loi comportement	22
influence de l'indice de l'écoulement n	22
influence de l'indice de consistance k.....	25
III.5.1.1. influence du nombre de Reynolds.....	27
Conclusion	34
Conclusion Générale	35
Références Bibliographiques.....	36
Résumé/Abstract	37

Liste des figures

Figure I.1 : Comportement d'un fluide newtonien.....	
Erreur ! Signet non défini.	
Figure I.2 : Loi de comportement rhéologique.....	5
Figure I.3 :(a) Canalisation horizontale avec $L \gg R$ afin de s'assurer que le flux atteint la région pleinement développée. (b) Validation de la grille au moyen de la comparaison entre le résultat numérique et la solution analytique du profil de vitesse complètement développé pour un liquide newtonien.	10
Figure II.1 : Géométrie du problem étudiant	15
Figure III.1 : Principe du code numérique consol	20
Figure III.2 : Domaine physique	21
Figure III.3 : Validation analytique numérique pour un fluide newtonien.....	21
Figure III.4 : La variation des profiles des vitesses adimensionnelle pour $k=0.001$	23
Figure III.5 : La variation des profiles des vitesse adimensionnelle pour $k=0.01$	23
Figure III.6: La variation des profiles des vitesses adimensionnelle pour $k=0.1$	24
Figure III.7 : La variation des profies des vitesses adimensionnelle pour $n=0.6$	25
Figure III.8 : La variation des profilrs des vitesses adimensionnelle pour $n=0.8$	26
Figure III.9 : La variation des profiles des vitesses adimensionnelle pour $n=1$	27
Figure III.10 : Profil de vitesse adimensionnelle pour $k=0.001$ et Reynolds fixe à 100... ..	28
Figure III.11 : Profile de vitesse adimensionnelle pour $k=0.01$ et Reynolds fixe à 100... ..	28
Figure III.12 : Profil de vitesse adimensionnelle pour $k=0.1$ et Reynolds fixe à 100... ..	29

Figure III.13 : Profil de vitesse adimensionnelle pour $k=0.001$ et Reynolds fixe à 500... 30

Figure III.14 : Profil de vitesse adimensionnelle pour $k=0.01$ et Reynolds fixe à 500 30

Figure III.15 : Profil de vitesse adimensionnelle pour $k=0.1$ et Reynolds fixe à 500... 31

Figure III.16 : Profil de vitesse adimensionnelle pour $k=0.001$ et Reynolds fixe à 1000..... 32

Figure III.17 : Profil de vitesse adimensionnelle pour $k=0.01$ et Reynolds fixe à 1000... 33

Figure III.18 : Profil de vitesse adimensionnelle pour $k=0.1$ et Reynolds fixe à 1000... 33

NOMENCLATURE

Symboles	Définition	Unité (SI)
R	: Rayon	M
L	: Longueur	M
P	: Pression	Pa
ΔP	: La différence de pression	Pa
Q	: Débit volumique	$m^3 s^{-1}$
Re	: Nombre de Reynolds	-
r, θ, z	: Cordonnées cylindrique	-
v_r	: Vitesse radial	m/s
v_θ	: Vitesse tangentielle	m/s
v_z	: Vitesse axial	m/s
v_{max}	: Vitesse maximal	m/s
n	: Indice de l'écoulement	-
k	: La consistance	-

Symboles grecs

$\dot{\gamma}$: Vitesse de cisaillement	s^{-1}
τ	: Contrainte de cisaillement	Pa
τ_p	: Contrainte pariétale du fluide dans la conduite	Pa
μ	: Viscosité dynamique	$kg.m^{-1}.s^{-1}$
ν	: Viscosité cinématique	$m^2 s^{-1}$
ρ	: Masse volumique	$kg m^{-3}$
λ	: Temps caractéristique	-
μ_0	: Viscosité de cisaillement nul	$Kg.m^{-1}s^{-1}$
μ_∞	: Viscosité de cisaillement infini	$Kg.m^{-1}.s^{-1}$
μ_p	: Viscosité plastique	$Kg.m^{-1}$

Introduction Général

Introduction Générale

La rhéologie est une branche de la physique qui étudie l'écoulement ou la déformation des corps sous l'effet des contraintes qui leurs sont appliquées, en fonction de la vitesse d'application de ces contraintes ou de leur variation au cours du temps.

La rhéologie permet également de déterminer les propriétés mécaniques macroscopiques à partir d'une étude basée sur la structure micro ou nanoscopique du matériau. La rhéologie se décompose en plusieurs axes d'études : Rhéologie expérimentale, Rhéologie structurale, et la rhéologie théorique.

L'objet de la rhéologie est la compréhension de la réponse de fluide à une contrainte imposée. La viscosité est la résistance à l'écoulement d'un fluide soumis à une contrainte tangentielle. Lorsque la viscosité augmente, la capacité du fluide à s'écouler diminue. Pour un liquide, la viscosité tend généralement à diminuer lorsque la température augmente. On pourrait croire que la viscosité d'un fluide s'accroît avec sa densité mais ce n'est pas forcément le cas.

Dans ce cadre, l'objet de la présente étude consiste à mettre en évidence le comportement d'un écoulement de fluide non-Newtonien au passage dans une conduite cylindrique.

Le travail réalisé est présenté dans ce manuscrit sous forme de trois chapitres décrivant en détail les différentes étapes suivies chronologiquement.

Le premier chapitre a été consacré à la rhéologie des fluides dans ses concepts les plus généraux tout en mettant l'accent sur les phénomènes physiques qui leurs sont attachés et qui définissent les principales lois de comportement, également dans cette partie on présente une étude bibliographique sur les travaux effectués dans les configurations similaires ou proche de la note expérimentale

Le deuxième chapitre présente une analyse théorique des écoulements Newtonien et Non-Newtoniens dans une conduite pour le régime d'un écoulement laminaire, les paramètres caractéristiques d'un écoulement.

Dans le troisième chapitre, nous avons présenté les principaux résultats de notre étude qui comprend deux parties. La première concerne, les étapes de la procédure numérique

relatifs à l'écoulement dans une conduite circulaire, la deuxième concerne, les différents résultats : validation d'un fluide newtonien (analytique numérique), les profils de vitesses pour un fluide non-Newtonien dans une conduite cylindrique toujours en régime d'écoulement laminaire et l'influence des différentes paramètres caractéristiques de loi de comportement.

Enfin une conclusion générale est présentée à la fin de cette étude.

Chapitre I

Généralités et synthèse et bibliographique

Généralités et synthèse bibliographique

I.1. Introduction

Il faut tout d'abord savoir qu'un fluide est un liquide, ou un gaz, parfaitement déformable. Il ne possède pas de forme propre.

Dans notre quotidien, nous sommes entourés de nombreux fluides. Beaucoup sont dits newtoniens.

Ce chapitre a pour but de rappeler les principes et les notions fondamentales pour comprendre le comportement des fluides newtoniens et non newtoniens, ainsi que les différents types des fluides non newtoniens.

I.2. Fluides newtoniens

Un fluide est dit newtonien lorsque les contraintes visqueuses sont des fonctions linéaires des taux de déformation. Le comportement d'un fluide newtonien est représenté graphiquement dans la figure ci-dessous.

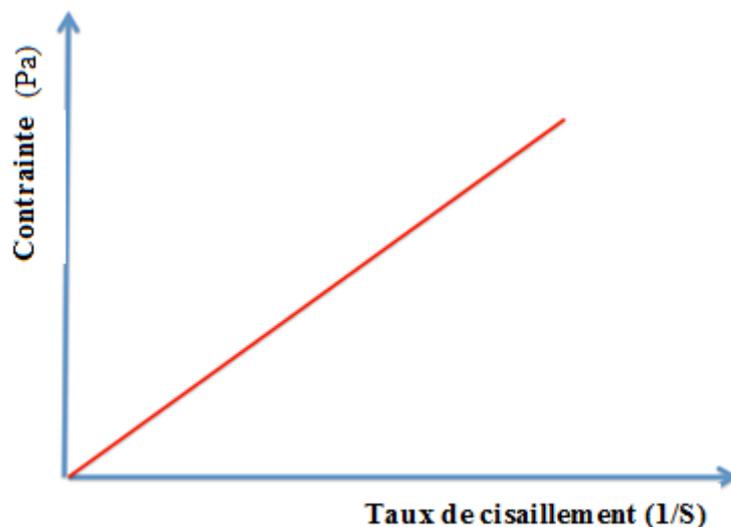


Figure I.1: Comportement d'un fluide newtonien.

Le graphe montre que la relation entre la contrainte de cisaillement τ et le taux de cisaillement $\dot{\gamma}$ est une ligne droite. Avec la viscosité du fluide reste constante lorsque le taux de cisaillement varie. Comme exemples typiques de fluides newtoniens, on trouve l'eau et les huiles de moteur fines.

Ces fluides sont les plus simples à mesurer, mais ils ne sont malheureusement pas aussi communs que le groupe de fluides plus complexes, non-newtoniens, dont nous allons parler dans la prochaine section.

1.2.1. Propriétés des fluides

Tous les fluides possèdent des caractéristiques permettant de décrire leurs conditions physiques dans un état donné. Parmi ces caractéristiques qu'on appelle propriétés des fluides on a :

- Compressibilité
- Masse volumique
- Densité
- Poids volumique
- Volume massique
- Viscosité

I.3. Rhéologie, la physique de l'écoulement

I.3.1. Définition

Le mot rheology (en anglais) a été introduit en 1928 par Eugene Bingham, professeur à l'université Lehigh aux Etats-Unis sur une suggestion de son collègue Markus Reiner. La formule « *Pantarhei* » (signifie « Tout coule » (dans le sens de « Tout passe »).

Elle est usitée la première fois par le philosophe présocratique Héraclite d'Éphèse. L'expression « *Pantarhei* » synthétise la pensée d'un monde en mouvement perpétuel.

Cette formule a donné son nom à la rhéologie, qui est l'étude du comportement mécanique de certains matériaux.

Dans la pratique, la rhéologie est une extension des disciplines telles que l'élasticité et la mécanique des fluides newtoniens, aux matériaux dont le comportement mécanique ne peut être décrit par ces théories classiques. Elle permet également de déterminer les propriétés mécaniques macroscopiques à partir d'une étude basée sur la micro structure du matériau, par exemple la taille moléculaire et l'architecture d'un polymère en solution ou encore la distribution de taille de particules dans une suspension solide.

I.3.2. Comportement des fluides non newtoniens

On dit qu'un fluide est non Newtonien, à partir du moment où la courbe d'écoulement est non linéaire, c'est à dire que la viscosité n'est plus constante mais dépend des conditions d'écoulement, du taux de cisaillement et parfois même de l'histoire de l'élément fluide. La caractérisation rhéologique d'un fluide consiste à établir la relation qui existe entre sa déformation et la contrainte qui lui est appliquée. En fonction de sa réponse, il sera dit indépendant du temps ou non, on explicitera ces deux nominations plus basses dans la prochaine section.

I.4. Fluides indépendant du temps

Un fluide est dit non newtonien lorsque le tenseur des contraintes visqueuses n'est pas une fonction linéaire du tenseur des taux de déformation. Autrement dit, lorsque sa vitesse de déformation (par exemple le taux de cisaillement) n'est pas directement proportionnelle à la force qu'on lui applique. Le meilleur exemple est celui du sable mouillé en bord de mer : quand on frappe le sable, il a la viscosité élevée d'un solide, alors que lorsqu'on appuie doucement dessus, il se comporte comme une pâte. Un autre exemple typique est un mélange épais d'eau et de fécule de maïs, dans lequel une main entre aisément à faible vitesse, mais ne peut rentrer à grande vitesse.

En rhéologie et de manière simple, un fluide non newtonien correspond à un fluide dont la viscosité η dépend du taux de cisaillement $\dot{\gamma}$. Concrètement, lorsqu'on soumet un tel matériau à une contrainte de cisaillement τ , la réponse de ce fluide n'est pas proportionnelle, ce qui serait le cas pour un fluide newtonien. Il existe plusieurs types classiques de fluide non newtonien :

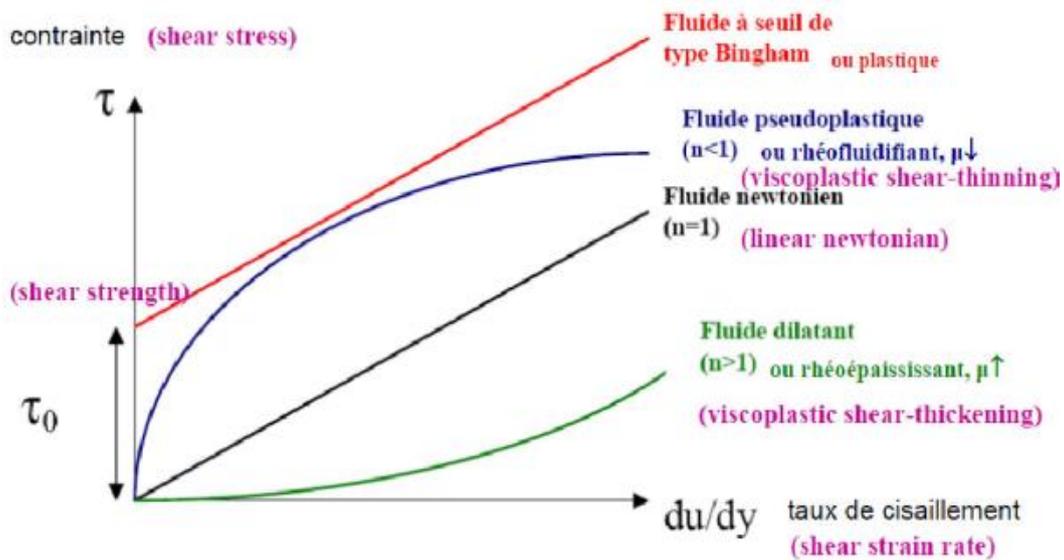


Figure II.2 : Loi de comportement rhéologique.

- Les fluides rhéofluidifiants ou pseudo-plastiques.
- Les fluides rhéoépaississants ou dilatants.
- Les fluides à seuil.

I.4.1. Fluides rhéofluidifiants

Le comportement d'un fluide est rhéofluidifiant lorsque sa viscosité apparente diminue quand le taux de cisaillement augmente. On peut citer des exemples courants de fluides pseudo-plastiques tels que les émulsions et les suspensions à faible et moyenne concentrations, certains polymères en solution, certains liquides biologiques (Sang, liquide, synovial,...)

I.4.2. Fluide rhéoépaississant

Le comportement rhéoépaississant, inverse à la rhéofluidification, est assez rare. La viscosité augmente lorsque le taux de cisaillement augmente. Ce phénomène est nommé (en)dilatant ou shear thickening, (de) dilatant. On retrouve ce comportement pour des suspensions très concentrées ou certains polymères associatifs.

I.4.3. Fluides à seuil

Les fluides à seuil sont des matériaux qui se comportent comme des solides quand une contrainte inférieure à une valeur critique leur est appliquée et comme un liquide au-delà. Ils sont généralement constitués d'un grand nombre d'éléments microscopiques fortement compactés ou enlacés, immergés dans un liquide et dont les interactions donnent naissance à ce comportement particulier. La présence de nombreux phénomènes complexes dans les fluides à seuil comme la migration de phase, la thixotropie 1, la localisation du cisaillement et les bandes de cisaillement, rendent leur compréhension plus difficile. Afin d'utiliser ces matériaux dans leur état brut, pour développer des produits innovants ou pour optimiser des procédés industriels.[16]

I.5. Modèles rhéologiques

Le comportement rhéologique des fluides peut être décrit par plusieurs modèles. Ces modèles décrivent les comportements des fluides complexes à l'aide des fonctions $\tau(\dot{\gamma})$ ou $\dot{\gamma}(\tau)$ permettant de définir la viscosité non Newtonienne sous la forme:

$$\mu(\dot{\gamma}) = \frac{\tau(\dot{\gamma})}{\dot{\gamma}} \text{ Ou } \mu(\tau) = \frac{\tau}{\dot{\gamma}(\tau)} :$$

I.5.1. Modèle de Bingham

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

$$\tau = \tau_0 + \mu_p \dot{\gamma} \quad (\text{I.1})$$

Où μ_p est la viscosité plastique.

I.5.2. Modèle d'Ostwald – de Waele

Cette loi [Ostwald, 1923], [De Waele, 1923] est également appelée loi puissance et s'écrit traditionnellement sous la forme:

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

Où k est la consistance du matériau et n est l'indice de l'écoulement.

Cette loi décrit le cas des fluides à comportement indépendant du temps, qui peuvent présenter un comportement rhéofluidifiant ou rhéoépaississant.

Lorsque $n < 1$ (rhéofluidification), μ décroît quand $\dot{\gamma}$ croît ; dans le cas contraire quand $n > 1$ (Rhéoépaississement) μ croît avec $\dot{\gamma}$.

($n = 1$ pour un fluide newtonien ; $n = 0$ pour un corps rigide plastique). Cette loi a le défaut de ne pas présenter de plateau newtonien à faible taux de cisaillement. Elle est donc souvent complétée par une valeur de viscosité seuil, pour les faibles taux de cisaillement. En revanche, cette loi est normalement bien adaptée pour les forts taux de cisaillement.

I.5.3. Modèle de Herschel-Bulkley

Ce modèle découle d'une simple généralisation du modèle de Bingham. Il est décrit par la loi :

$$\tau = \tau_0 + k\dot{\gamma}^n \quad (\text{I.3})$$

Où k est la consistance du fluide, n son indice d'écoulement et τ_0 la contrainte seuil.

I.5.4. Modèle de Cross

La loi de Cross [Cross, 1965] a l'avantage de présenter le plateau newtonien à faible taux de cisaillement

$$\mu - \mu_\infty = \frac{\mu_0 - \mu_\infty}{1 + (\lambda\dot{\gamma})^n} \quad (\text{I.4})$$

Où λ est le temps caractéristique de l'enchevêtrement, μ_0 la viscosité du palier newtonien à faible taux de cisaillement et μ_∞ un deuxième plateau newtonien à taux de cisaillement élevé, n indice de l'écoulement.

On prendra $\mu_\infty = 0$, Ce qui donne :

$$\mu = \frac{\mu_0}{1 + (\lambda\dot{\gamma})^n} \quad (\text{I.5})$$

I.5.5. Modèle de Carreau-Yasuda :

Le modèle de la loi de puissance s'applique sur une plage limitée de la courbe de viscosité. En réalité à des faibles taux de cisaillement les polymères ont un comportement newtonien, c-à-d que la viscosité est indépendante du taux de cisaillement. Carreau a développé un modèle qui représente complètement la courbe de viscosité et qui prend en charge ce plateau, son modèle s'écrit :

$$\mu = \mu_0 (1 + (\lambda\dot{\gamma})^a)^{\frac{n-1}{a}} \quad (\text{I.6})$$

Où λ a le même sens que pour la loi de Cross. Le paramètre a sert à ajuster la transition plus ou moins rapide entre le plateau newtonien et la partie loi puissance. La loi de Carreau correspond à la valeur $a=1$ [Carreau, 1972], [Yasuda et al. 1981].

I.6. Fluides dépendant du temps

Certains fluides peuvent présenter des caractéristiques d'écoulement dépendant des traitements antérieurs qu'ils ont subis. Le comportement d'un fluide dépendant du temps peut être encore subdivisé en deux catégories : viscoélastique, thixotropes.

I.6.1. Fluides viscoélastiques

Un comportement non-newtonien important est la viscoélasticité. La réponse du fluide à une déformation présente à la fois un aspect visqueux (où les contraintes sont proportionnelles à la vitesse de déformation) et un aspect élastique (où les contraintes sont proportionnelles aux déformations).[16]

1.6.1. Fluides thixotropes

La thixotropie est une propriété physique que l'on retrouve dans certains gels, fluides ou mélanges fluides renfermant des inclusions solides (béton, sable + eau...) et qui ont la particularité de voir leurs propriétés d'écoulement varier avec le temps.

Le caractère thixotrope de certaines peintures est exploité en ajustant le temps de restructuration en fonction des besoins. Ces peintures ne doivent pas couler au repos avant séchage mais on doit pouvoir les étaler facilement. Cette propriété est obtenue en ajoutant de fines particules d'argile le plus souvent. Au repos, cela forme des agrégats et cela permet d'ajuster la cinétique de structuration.

En anatomie (utilisée dans les articulations) la thixotropie se traduit par une viscosité du liquide synovial qui diminue lorsque le gradient de vitesse de déplacement de l'articulation augmente. Les molécules d'acide hyaluronique vont présenter le phénomène de gélification quand la pression augmente. Les molécules passent ainsi de l'état de sol à celui de gel. [16]

I.7. Synthèse Bibliographique

Cette étude numérique a fait l'objet de plusieurs travaux numériques, parmi lesquels on peut citer :

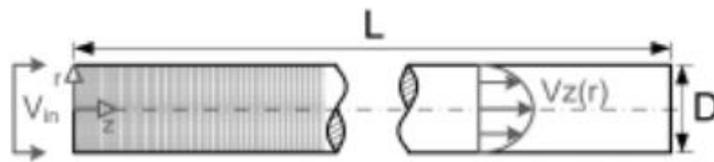
W. A. Khan et al [01], une approche intégrale est utilisée pour étudier l'écoulement de fluide et le transfert de chaleur à partir d'un cylindre circulaire isolé immergé dans des fluides de loi de puissance. Les auteurs ont montré que leurs résultats sont en bon accord avec les données appropriées disponibles pour toute la gamme laminaire du nombre de Reynolds en l'absence de turbulence de courant libre et d'effets de blocage. En conséquence, les coefficients de

traînée diminuent et le transfert de chaleur augmente avec la diminution de l'indice de loi de puissance. La comparaison des modèles analytiques avec les données expérimentales/numériques disponibles prouve l'applicabilité de l'approche intégrale pour les fluides en loi de puissance.

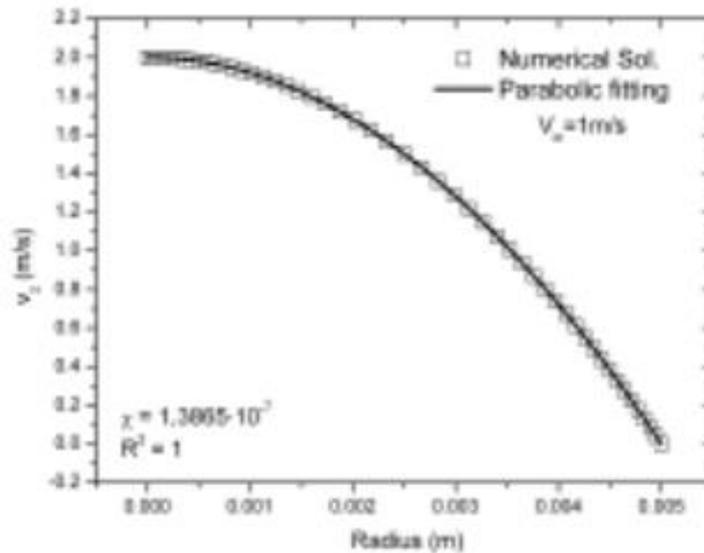
J.Peixinhoa et al [02], ont étudié expérimentalement des fluides non-newtoniens qui sont des solutions de : Carbopol (fluide rhéofluidifiant a seuil), CMC (fluide rhéofluidifiant sans seuil) et une solution de fluide newtonien, en écoulement dans une conduite cylindrique.les auteurs ont présenté leur résultats sous forme d'évolution de coefficient de frottement et d'évolution de profils de vitesse dans la conduite dans les différents régime d'écoulements (laminaire, transitoire et turbulent),les résultats expérimentaux ont été confrontés aux solutions analytiques.

M.EESA [03] à étudié la modélisation numérique de fluides complexes dans des tuyaux. Des simulations CFD validées ont été utilisées pour étudier les effets des vibrations mécaniques rotationnelles et transversales sur l'écoulement dans les tuyaux de fluides visqueux non newtoniens de type loi de puissance, plastique de Bingham et Herschel-Bulkley. Des fréquences de vibration dans la gamme sonore de 0 à 300 Hz et des amplitudes linéaires de 0 à 4 mm ont été utilisées.

F.J. Galindo-Rosales et al [04] ont mené des simulations numériques en écoulement régulier de fluides non newtoniens dans des tuyaux à section circulaire, Le type d'écoulement considéré a déjà été étudié expérimentalement par Hagen Poiseuille dans la première moitié du XIXème siècle pour les fluides newtoniens et il a une solution analytique. Cependant, même si en régime permanent les fluides non newtoniens peuvent être traités comme purement visqueux, la dépendance au cisaillement de la viscosité peut entraîner des équations différentielles trop complexes pour permettre des solutions analytiques et, par conséquent, il est nécessaire d'utiliser des techniques numériques pour obtenir des solutions numériques.



(a)



(b)

Figure I.3 : (a) Canalisation horizontale avec $L \gg R$ afin de s'assurer que le flux atteint la région pleinement développée. (b) Validation de la grille au moyen de la comparaison entre le résultat numérique et la solution analytique du profil de vitesse complètement développé pour un liquide newtonien.

M.P. Escudier et al. [05] ont rapporté dans leurs travaux des mesures expérimentales d'un écoulement de fluide non newtonien à seuil dans une conduite cylindrique. Les auteurs se intéressés à la transition de l'écoulement du régime laminaire au régime turbulent. Les résultats sont présentés sous forme d'évolution des profils de vitesse.

*M.P. Escudier et al. [06] ont étudié expérimentalement l'écoulement d'un fluide thixotrope dans une conduite cylindrique, ils ont étudié une solution aqueuse de la pointe. Les auteurs ont présenté leurs résultats sous forme d'évolution de profil de vitesse dans la conduite en régime laminaire et turbulent.

A.Ihmoudah et al [07] ont étudié le transport de fluides non newtoniens à travers les pipelines et la circulation de boue dans les puits de forage se produisent souvent dans des régimes d'écoulement turbulents. Dans cette étude, des expériences et des modèles de dynamique des fluides computationnelle (CFD) sont utilisés pour examiner l'influence des propriétés rhéologiques des fluides de la loi de puissance de rendement (YPL) sur la perte de pression dans la boucle d'écoulement en écoulement turbulent. La comparaison est faite avec les résultats de ces investigations. Les résultats montrent que l'écart entre les modèles expérimentaux et CFD a été augmenté par rapport à l'augmentation de la concentration de solution de gomme de Xanthane à la même densité de fluides. Plus précisément, la perte de pression augmente avec l'augmentation de l'indice de consistance, de k et de l'indice de comportement à l'écoulement.

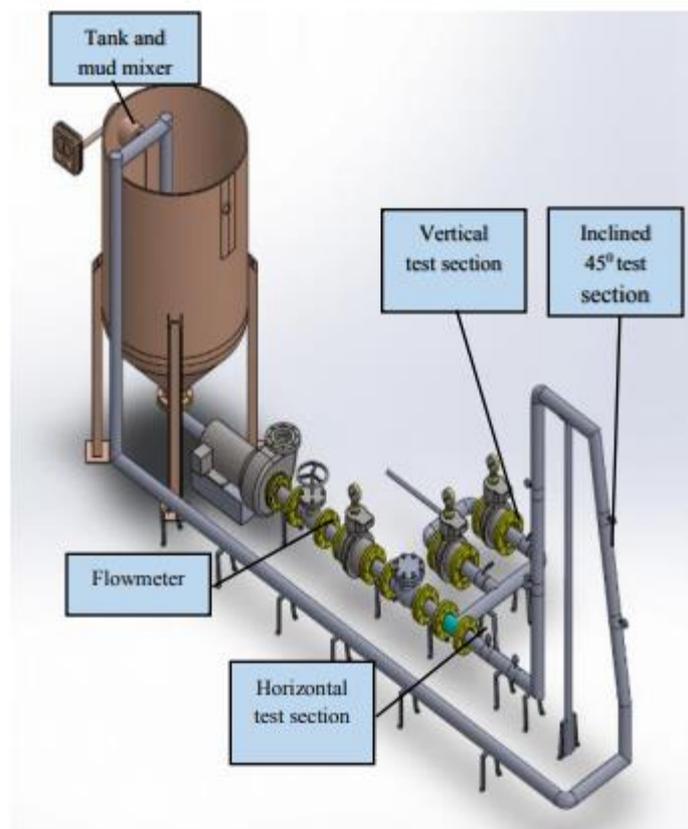


Figure I.4 : Schéma de l'installation expérimentale.

Hundertmark-Zaušková [08], ont étudié numériquement l'écoulement non newtonien dans des vaisseaux sténoses conformes avec une application en hémodynamique. Nous considérons deux modèles de fluides non newtoniens fluidifiants par cisaillement et les comparons avec le modèle newtonien. Les auteurs ont présenté des expériences numériques pour certains modèles non newtoniens, des comparaisons avec le modèle newtonien et les résultats pour les paramètres de paroi hémodynamiques tels que la contrainte de cisaillement de paroi et l'indice

de cisaillement oscillatoire. Des expériences numériques pour les viscosités avec des paramètres physiologiques ont également été réalisées. Ils ont montré que pour des nombres de Reynolds plus élevés, les effets de la rhéologie non newtonienne sont encore plus profonds. Tous les résultats confirment une influence significative de la rhéologie du fluide et de la géométrie du domaine sur la déformation de la paroi ainsi que sur les paramètres hémodynamiques de la paroi.

Meriem Benziane Madjid et al. [09] ont étudié les effets de la concentration des particules solides sur la suspension du pétrole brut pour différentes valeurs de taux de cisaillement puis identifié par des modèles rhéologiques et enfin, modéliser le comportement rhéologique du pétrole brut. L'auteur a validé ses résultats afin de confirmer les propriétés non-newtoniennes du pétrole brut.

P. Corvisier et al. [10] ont étudié expérimentalement l'interaction entre les modifications de la structure interne d'un fluide thixotrope et le développement de l'écoulement le long de conduite cylindrique. Les résultats ont été présentés sous la forme d'évolution des profils de vitesse et du débit dans la conduite.

M. Rudman et al. [11] ont rapporté dans leurs travaux des résultats expérimentaux et numériques d'un écoulement de fluide non newtonien dans le régime turbulent et transitoire. Ils ont déduit des écarts entre les résultats expérimentaux et numériques dus à la variation de loi de comportement.

P. T. Slatte [12] a étudié expérimentalement l'effet de l'augmentation de la contrainte visqueuse Non-Newtonien (particulièrement la limite d'élasticité) d'un fluide de forage. L'auteur a étudié la relation entre la rhéologie des boues et le régime d'écoulement, il a présenté la relation entre la vitesse critique et la limite d'élasticité.

I.8. Conclusion

Suite à cette synthèse bibliographique, on constate que la revue de la littérature est riche par les travaux accumulés au cours de ces dernières années et ayant conduit à une imposante bibliographie riche et spécialisée.

Notre étude s'inscrit donc pleinement dans l'axe de développement souhaitable, en ce qui concerne le domaine de la rhéologie par des nouvelles techniques utilisées dans la CFD basée sur l'analytique et des approches numérique.

Chapitre II

Positionnement du problème

Positionnement du problème

II.1. Introduction

Notre problème consiste à étudier le comportement d'un fluide newtonien et non-newtonien en écoulement dans une conduite cylindrique en régime laminaire pour cela on a choisi le modèle de la loi de puissance, ainsi on va voir le comportement d'un fluide newtonien comme référence.

II.2. Écoulement newtonien dans une conduite circulaire

Le modèle physique à étudier est une conduite cylindrique du diamètre (D) et de longueur (L) représenté dans la figure (II-1) :

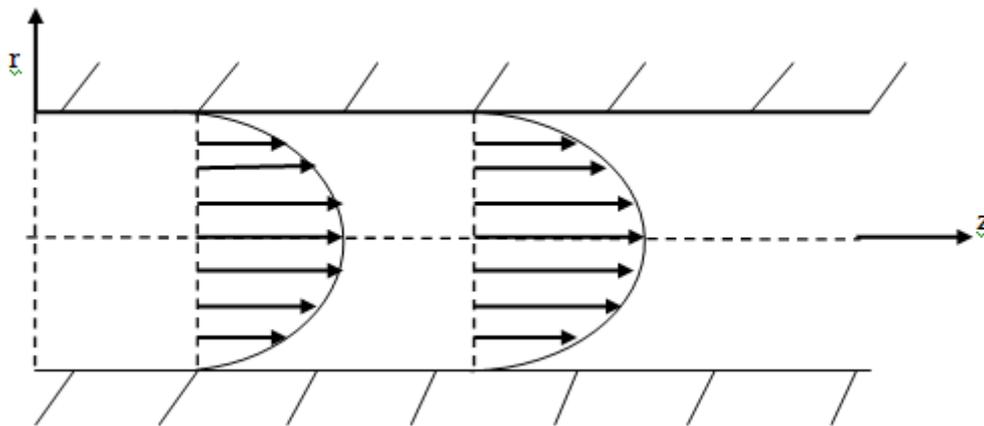


Figure I.1 : Géométrie de problème étudié.

Pour un écoulement laminaire entièrement développé d'un fluide newtonien et non-newtonien dans une conduite à section circulaire figure (II-1)

II.2.1 Formulation mathématique

Le traitement du comportement dynamique du fluide envisagé fait appel aux équations du mouvement déduites des principes de conservation de la masse (continuité), et de la quantité de mouvement.

Equation de continuité :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{v}) = 0 \quad (\text{II.1})$$

Les équations de conservation de la quantité de mouvement (Navier Stokes) :

$$\begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial v_r}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} - \frac{v_\theta^2}{r} + v_r \frac{\partial v_r}{\partial z} \right) &= -\frac{\partial P}{\partial r} + \mu \left(\frac{\partial^2 v_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_r}{\partial r} - \frac{v_r}{r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_r}{\partial \theta^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} \right) \\ \rho \left(\frac{\partial v_\theta}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_\theta}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} - \frac{v_r v_\theta}{r} + v_z \frac{\partial v_\theta}{\partial z} \right) &= -\frac{1}{r} \frac{\partial P}{\partial \theta} + \mu \left(\frac{\partial^2 v_\theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial r} - \frac{v_\theta}{r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial \theta^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_\theta}{\partial z} + \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial z^2} \right) \\ \rho \left(\frac{\partial v_z}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_z}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) &= -\frac{\partial P}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_z}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right) \end{aligned} \quad (\text{II.2})$$

II.2.2 Solution analytique

$$-\frac{\partial P}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) = 0 \quad (\text{II.3})$$

Cette équation peut être écrite

$$\frac{d}{dr} \left(r \frac{dv_z}{dr} \right) = r \frac{1}{\mu} \frac{\partial P}{\partial z} \quad (\text{II.4})$$

En intégrant:

$$v_z(r) = \frac{1}{2\mu} \frac{\partial P}{\partial z} r^2 + A \ln r + B \quad (\text{II.5})$$

Condition aux limites :

$$\begin{cases} r=0 \rightarrow \lim_{r \rightarrow 0} v_z(r) = v_{max} \\ r=R \rightarrow v_z(R) = 0 \end{cases} \quad (\text{II.6})$$

On trouve que :

$$v_z(r) = \frac{R^2}{4\mu} \left(\frac{dp}{dz} \right) \left(\frac{r^2}{R^2} - 1 \right) \quad (\text{II.7})$$

Le débit volumique :

$$Q = \int_0^R v_z(r) (2\pi r dr) \quad (\text{II.8})$$

$$Q = \int_0^R \frac{R^2}{4\mu} \left(\frac{dP}{dx} \right) \left(\frac{r^2}{R^2} - 1 \right) 2\pi r dr \quad (\text{II.9})$$

$$Q = \frac{\pi}{128\mu} \left(-\frac{dP}{dx} \right) D^4 \quad (\text{II.10})$$

Et la vitesse moyenne comme suite :

$$v_{moy} = \frac{Q}{S} = \frac{1}{8\mu} \left(-\frac{dP}{dx} \right) R^2 \quad (\text{II.11})$$

Et on trouve la vitesse maximale comme suite :

$$v_{max} = \frac{v_{moy}}{2} \quad (\text{II.12})$$

Or par symétrie,

$$\mathbf{v}_z(\mathbf{0}) = \mathbf{v}_{max} = -\frac{1}{4\mu} \left(\frac{dP}{dz} \right) R^2 \quad (\text{II.13})$$

Ceci conduit au profil de vitesse suivant :

$$\mathbf{v}_z(\mathbf{r}) = \mathbf{v}_{max} \left(\frac{r^2}{R^2} - 1 \right) \quad (\text{II.14})$$

Donc le profil de vitesse est donc parabolique.

Le profil de pression est donnée par :

$$\left(\frac{dP}{dx} \right) = -v_{max} \frac{4\mu}{R^2} \quad (\text{II.15})$$

$$P(x) = -\frac{4\mu v_{max}}{R^2} x + P_0 \quad (\text{II.16})$$

En effet, la pression décroît linéairement avec x.

II.3. Écoulement non newtonien dans une conduite circulaire

II.3.1 Formulation mathématique

L'équation de conservation de masse (continuité)

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (\rho r v_r) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} (\rho v_\theta) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho v_z) \quad (\text{II.17})$$

Les équations de Navier-stokes s'écrivent :

$$\begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial v_r}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} - \frac{v_\theta^2}{r} + v_z \frac{\partial v_r}{\partial z} \right) &= -\frac{\partial P}{\partial r} \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \tau_{rr}) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \tau_{\theta r} + \frac{\partial}{\partial z} \tau_{rz} - \frac{\tau_{\theta\theta}}{r} \right] \\ \rho \left(\frac{\partial v_\theta}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_\theta}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} - \frac{v_r v_\theta}{r} + v_z \frac{\partial v_\theta}{\partial z} \right) &= -\frac{1}{r} \frac{\partial P}{\partial \theta} \left[\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} (r^2 \tau_{r\theta}) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \tau_{\theta\theta} + \frac{\partial}{\partial z} \tau_{z\theta} + \frac{\tau_{\theta r} - \tau_{r\theta}}{r} \right] \\ \rho \left(\frac{\partial v_z}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_z}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) &= -\frac{\partial P}{\partial z} \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \tau_{rz}) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \tau_{\theta r} + \frac{\partial}{\partial z} \tau_{zz} \right] \end{aligned} \quad (\text{II.18})$$

III.3.2. Solution analytique

Les équations de Navier-Stocks deviennent :

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} (r\tau_{rz}) - \frac{\partial P}{\partial z} = 0 \quad (\text{II.19})$$

Si le modèle de la loi de puissance est supposé d'écrire la viscosité du fluide, la contrainte de cisaillement est liée au gradient de la vitesse :

$$\tau = k \left(\frac{\partial v_z}{\partial r} \right)^n \quad (\text{II.20})$$

Avec:
$$\dot{\gamma} = \frac{\partial v_z}{\partial r} \quad (\text{II.21})$$

$$\tau_p = \frac{\Delta p}{L} \frac{R}{2} \quad (\text{II.22})$$

Ceci montre la distribution linéaire familière de la contrainte, la contrainte de cisaillement étant zéro à l'axe de la conduite, comme représenté sur la figure (II.1).

En utilisant les équations (II.20) et (II.22) suivi de l'intégration rapporte l'expression suivante pour la distribution de la vitesse

$$v_z(r) = \left(\frac{nR}{n+1} \right) \left(\frac{\Delta P}{KL} \frac{R}{2} \right)^{\frac{1}{n}} \left(1 - \left(\frac{r}{R} \right)^{\frac{n+1}{n}} \right) \quad (\text{II.23})$$

Le profil de vitesse peut être exprimé en terme de vitesse moyenne v_m qui est donnée par

$$v_{moy} = \frac{Q_v}{\pi R^2} = \frac{1}{\pi R^2} \int_0^R 2\pi r v_z dr \quad (\text{II.24})$$

Où Q_v est le débit volumique du fluide. Avec la substitution de v_z de l'équation (II.8) et après l'intégration, on obtient :

$$v_m = \left(\frac{nR}{3n+1} \right) \left(\frac{\Delta P}{KL} \frac{R}{2} \right)^{\frac{1}{n}} = \frac{nR}{3n+1} \left(\frac{\tau_p}{K} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (\text{II.25})$$

L'équation de taux peut maintenant être réécrite comme suit :

$$v_z(r) = v_m \left(\frac{3n+1}{n+1} \right) \left(1 - \left(\frac{r}{R} \right)^{\frac{n+1}{n}} \right) \quad (\text{II.26})$$

La vitesse atteint sa valeur maximale quand $r=0$, c'est-à-dire à l'axe de la conduite. Ainsi $v_{z,max}$ est donnée par la relation suivante :

$$v_{z,\max} = v_m \left(\frac{3n+1}{n+1} \right) \quad (\text{II.27})$$

On réécrit l'équation (II.8) en termes de débit volumique et gradient de pression :

$$Q_v = \pi R^2 v_m = \int_0^R v_z(r) \cdot 2\pi r \, dr \quad (\text{II.28})$$

II.4. Conclusion

De ce chapitre nous avons maintenant su cerner les outils mathématiques et physiques nécessaire et susceptible de nous conduire vers la compréhension et l'étude des suspensions de fluides non-Newtoniens dans une conduite cylindrique.

Dans le chapitre suivant, nous passerons à présenter notre résultat de simulation et les comparer avec les résultats analytiques.

Chapitre III

Résultats et discussions

Résultats et discussions

III.1. Introduction

La résolution est effectuée par le code numérique basé sur la méthode des éléments finis pour la résolution des équations de transport. Le problème a été traité en deux dimensions pour une configuration géométrique du canal.

III.2. Procédure numérique

Il existe une approche unique sur ce code pour la création des modèles et l'utilisation des simulations appliquées au transfert de chaleur et à tous les phénomènes physiques. Quelles que soit les physiques choisi pour une application spécifique, on bénéficie d'une même méthode de travail, selon les étapes suivantes :

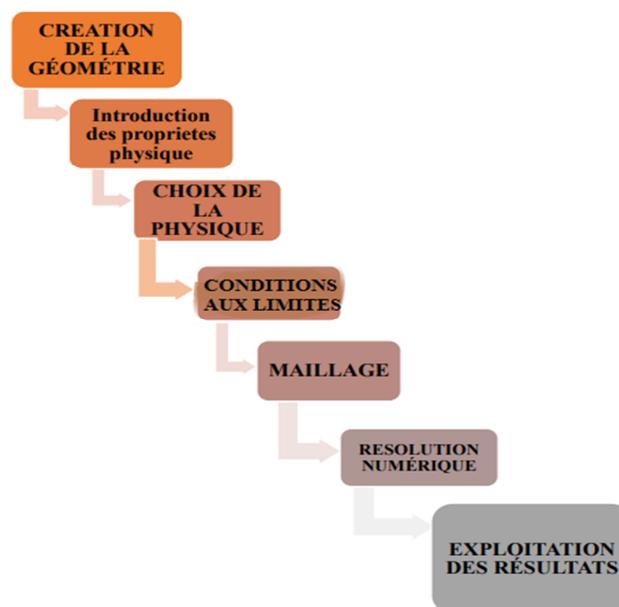


Figure III.1 : Principe et étapes du code numérique.

Depuis l'augmentation de la puissance de calcul des ordinateurs, la simulation numérique a pris une grande place dans la recherche et l'industrie et a remplacé l'expérimentation directe trop coûteuse et longue à mettre en œuvre. Pour ce projet, nous sommes motivés par l'utilisation de méthodes numériques pour résoudre des équations aux dérivées partielles (EDP) décrivant les modèles physiques conduisant à l'obtention de solutions approchées.

Une fois les solutions trouvées, ce code de calcul permet d'effectuer la présentation des résultats et l'exportation des données à un format gérable par d'autres applications de traitement de données (.csv, .txt ou .dat).

III.3 Géométrie du problème

La conduite cylindrique étudiée est définie par 10m de longueur et 20 mm de diamètre, l'écoulement du fluide considéré est délimité par des parois imperméables, ce qui nous conduit à une condition aux limites de non glissement sur les parois ($u=0$). Avec une condition de vitesse imposée à l'entrée de la conduite. La condition aux limites imposées à la sortie est une pression atmosphérique, figure (III.2).

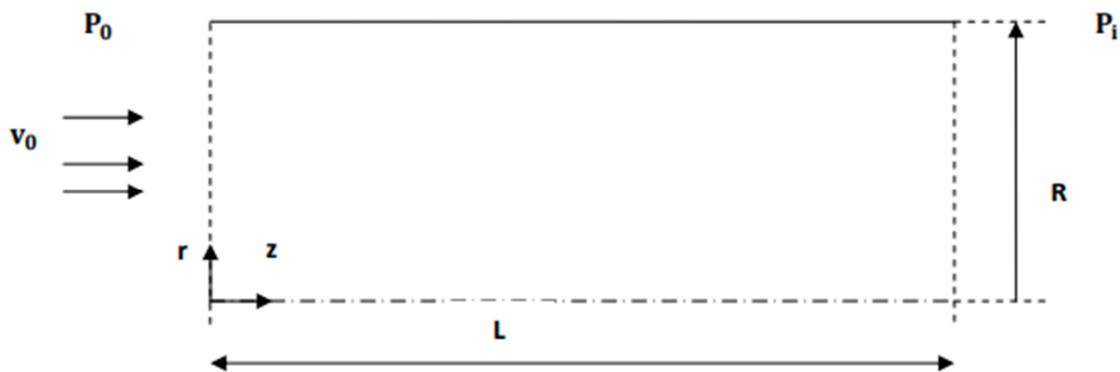


Figure III.2 : Domaine physique.

On a choisi l'axisymétrique de la conduite pour faciliter les calculs et gagner du temps.

III.4. Fluide Newtonien

III.4.1. Validation

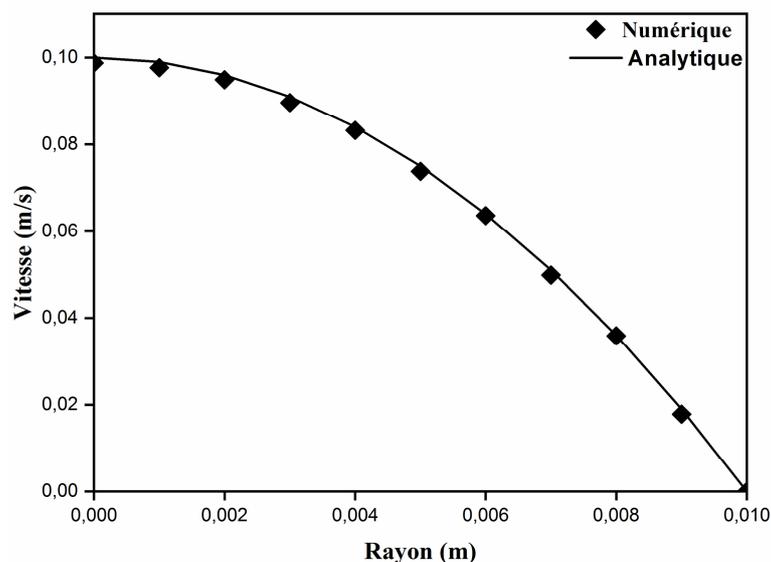


Figure III.3 : Validation d'un fluide newtonien.

La validation préalable du modèle adopté est nécessaire afin qu'on puisse élaborer des comparaisons justes et objectives des résultats obtenus par nos simulations numériques, avec les autres résultats numériques ou analytiques. Les deux courbes (analytique et numérique) de variation de la vitesse sont représentées par la figure (III.3).

Sur la figure ci-dessus nous présentons le profil de vitesse simulé d'un fluide newtonien en écoulement dans une conduite cylindrique à vitesse débitante constante (régime laminaire). Nous retrouvons clairement l'allure parabolique du profil de vitesse newtonien. Sur la même figure nous traçons le profil de vitesse obtenu analytiquement.

En conclusion, les résultats de simulation dans le cas d'une conduite cylindrique montrent une bonne concordance avec les résultats analytiques. Ainsi, les résultats de notre étude sont vérifiés.

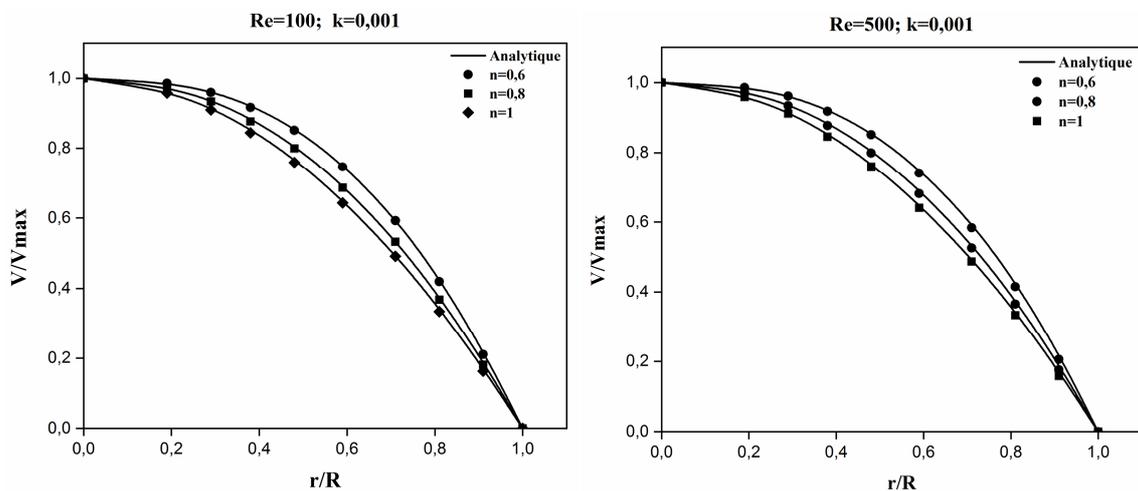
III.5. Fluide Non-Newtonien

III.5.1. Influence des différents paramètres de la loi de comportement

III.5.1.1. Influence de l'indice d'écoulement n

Dans ce cas on varie le n et on fixe le k pour différents nombres de Reynolds :

a. Pour $k=0,001$



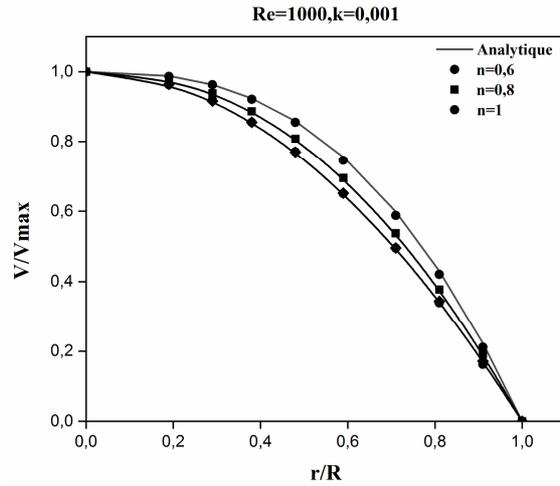


Figure III.4: La variation des profils des vitesses adimensionnelles pour $k=0,001$.

b. Pour $k=0,01$

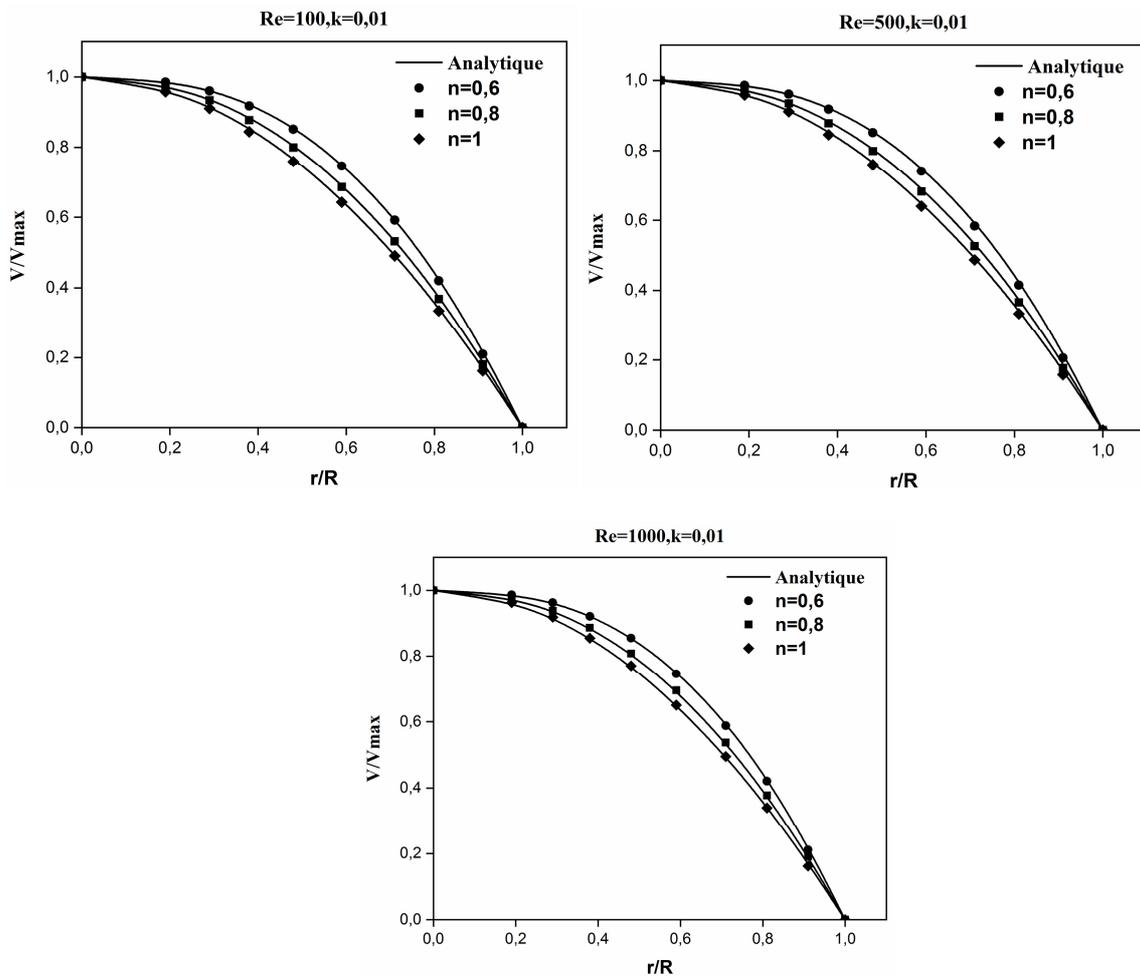


Figure III.5 : La variation des profils des vitesses adimensionnelles pour $k=0.01$.

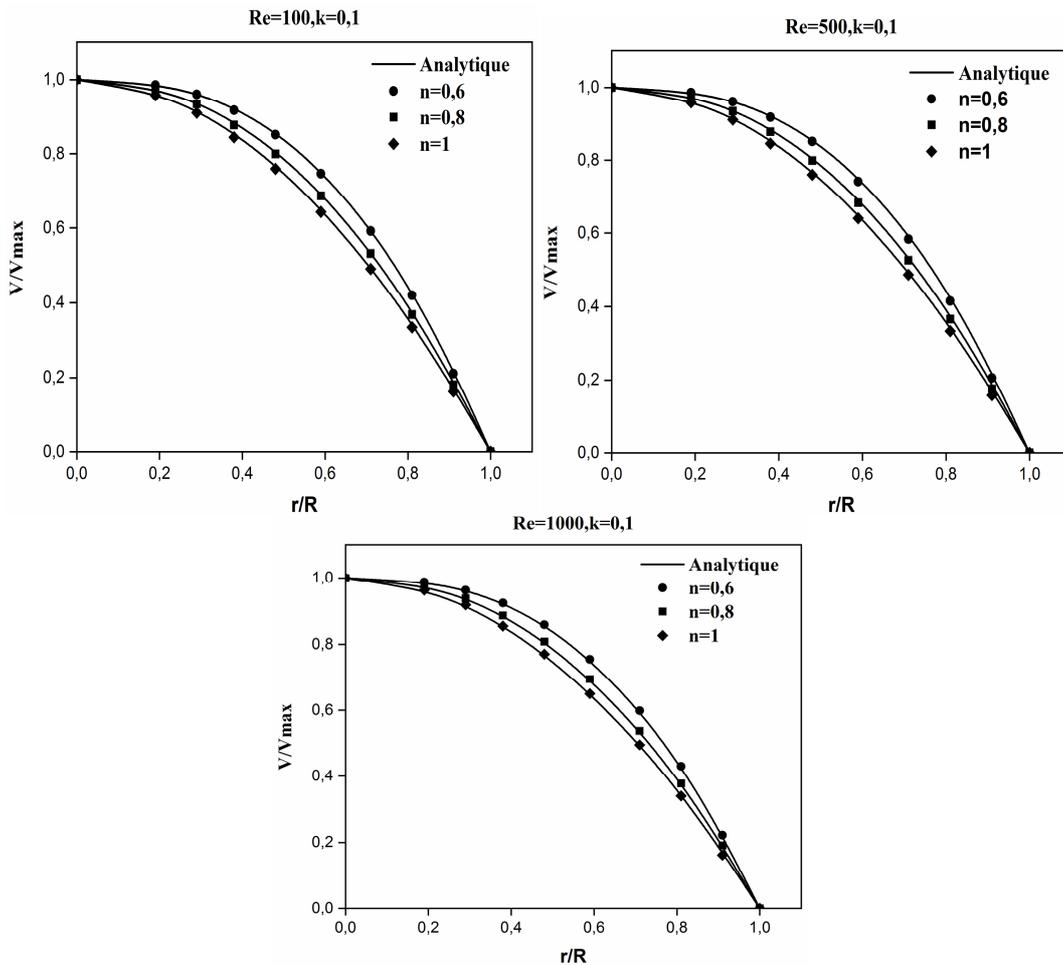
c. Pour $k=0,1$ 

Figure III.6 : La variation des profils des vitesses adimensionnelles pour $k=0,1$.

Les figures (III.4), (III.5) et (III.6) montrent les profils des vitesses adimensionnelles avec différentes valeurs de l'indice d'écoulement n pour des valeurs de consistance k fixe à des nombres de Reynolds (régime laminaire) (100, 500, 1000).

Nous pouvons remarquer qu'en variant le paramètre n avec Re le profil de vitesse dans la conduite évolue considérablement. Or, en diminuant l'indice d'écoulement le profil de vitesse augmente et s'élargit au centre de la conduite et s'aplatit près de la paroi.

Il est à noter aussi que les différents profils de vitesse obtenus par simulation numérique concordent parfaitement avec ceux de l'analytique.

III.5.2. Influence de l'indice de consistance k

Dans ce cas on varie le k et on fixe le n pour différents nombres de Reynolds :

a. Pour $n=0,6$

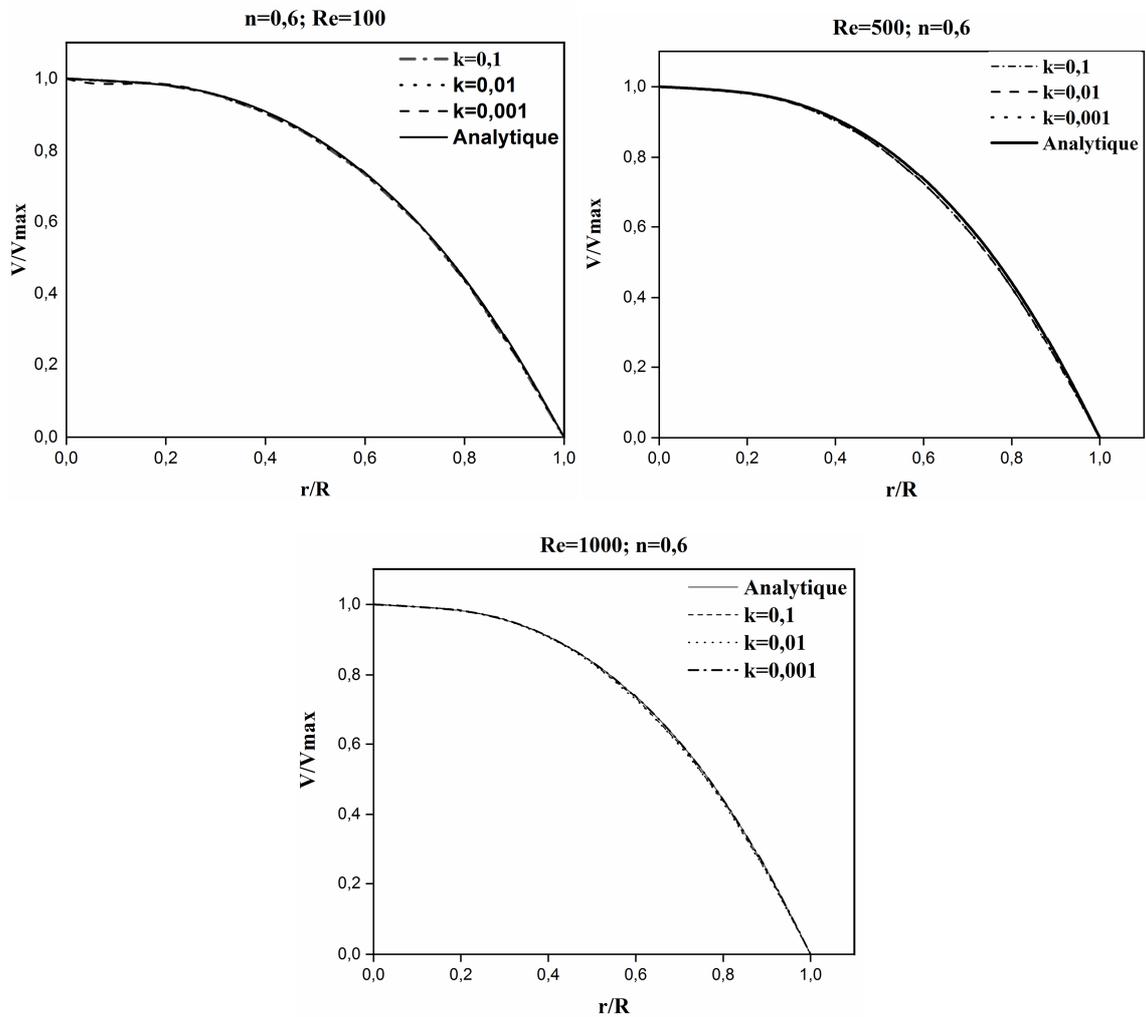


Figure III.7 : La variation des profils des vitesses adimensionnelles pour $n=0,6$.

b. Pour $n=0,8$

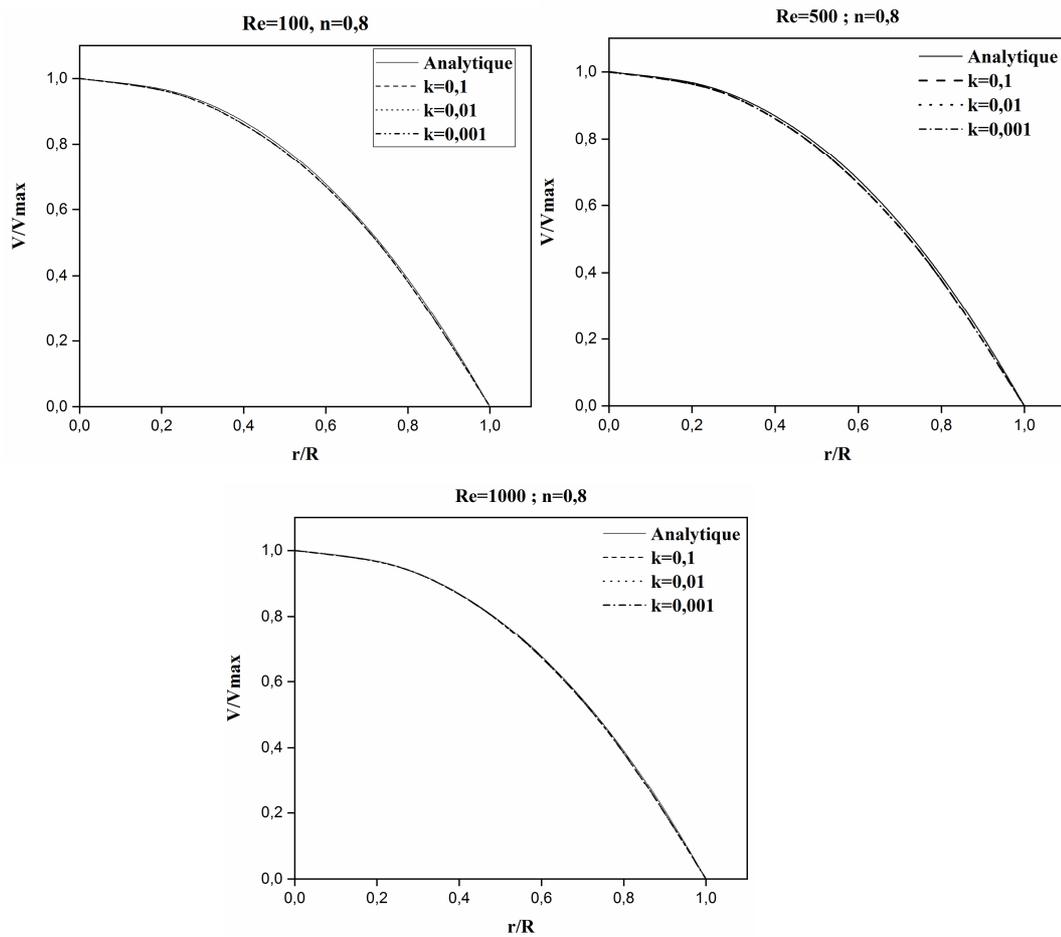
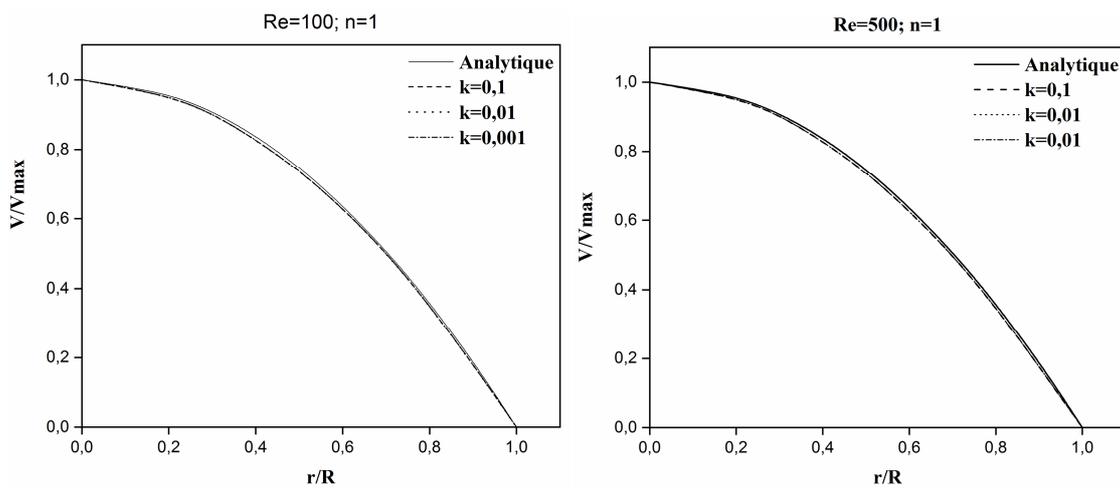


Figure III.8 : La variation des profils des vitesses adimensionnelles pour $n=0.8$.

c. Pour $n=1$



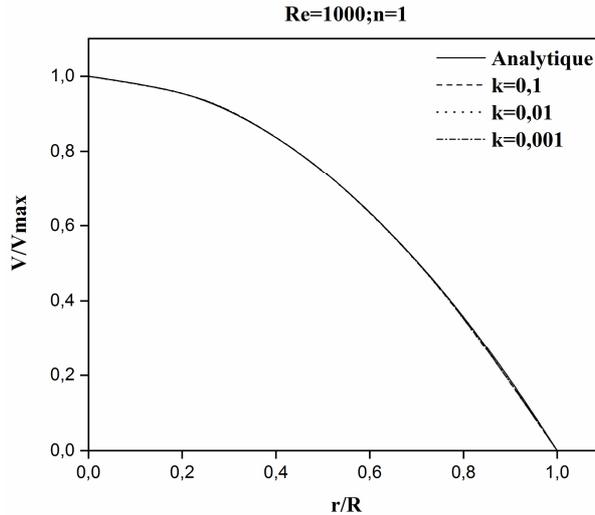


Figure III.9 : La variation des profils des vitesses adimensionnelles pour n=1.

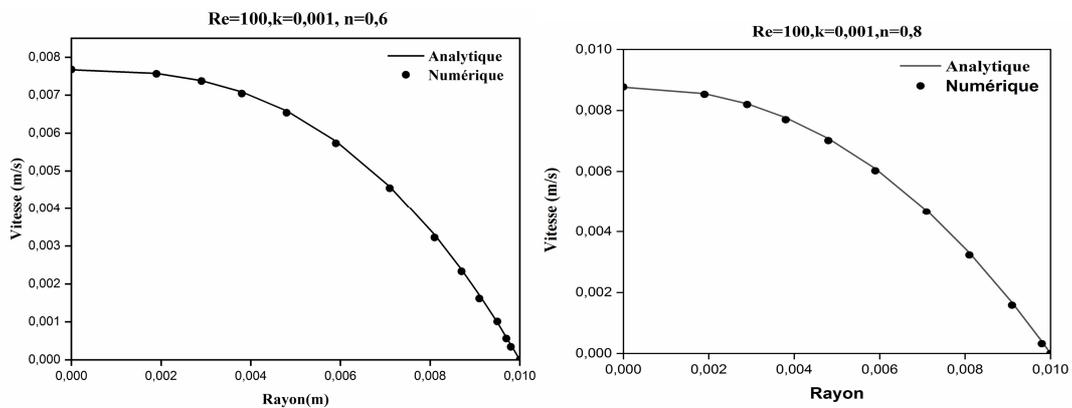
Dans les figures ci-dessus (III.7), (III.8) et (III.9), différents profils de vitesse ont été tracé dans la conduite pour différents nombre de Reynolds. Dans ce cas, l'indice d'écoulement est fixé et l'indice de consistance a été varié. Nous pouvons constater qu'en variant le paramètre k le profil de vitesse dans la conduite n'évolue pratiquement pas. Or, en augmentant l'indice de consistance le profil de vitesse reste le même.

Il est à conclure que l'indice de consistance n'influe pas sur les profils de vitesse dans une conduite cylindrique en régime laminaire

III.5.4. Influence du nombre de Reynolds

a. Re=100

❖ k=0,001



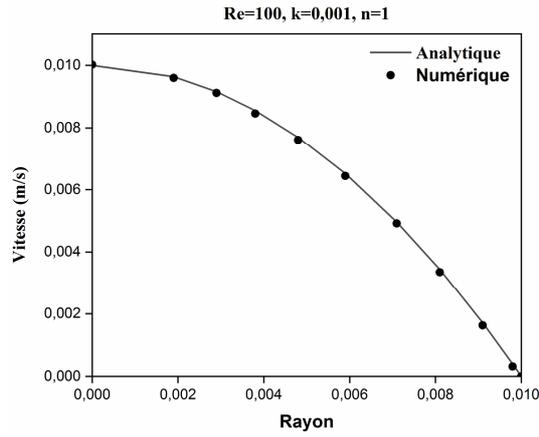


Figure III.10 : Profils de vitesse pour Re=100 et k=0,001.

❖ K=0,01

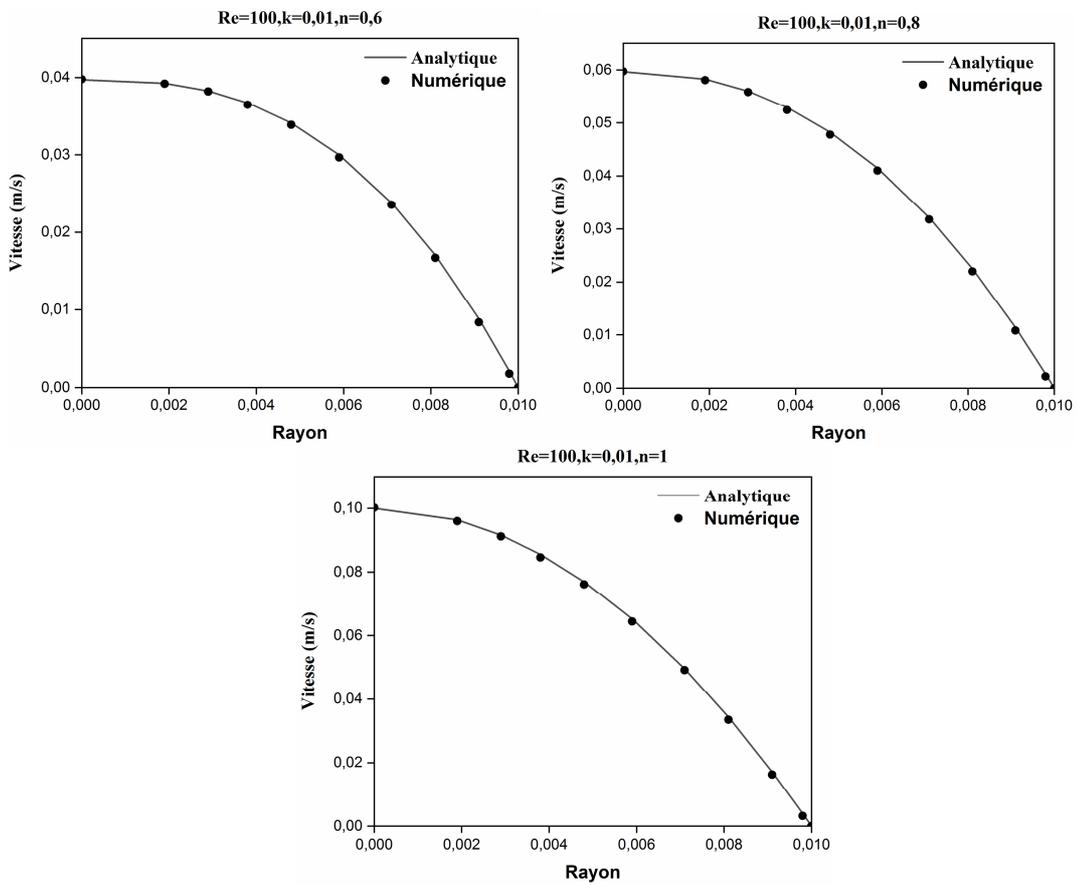


Figure III.11 : Profils de vitesse pour Re=100 et k=0,01.

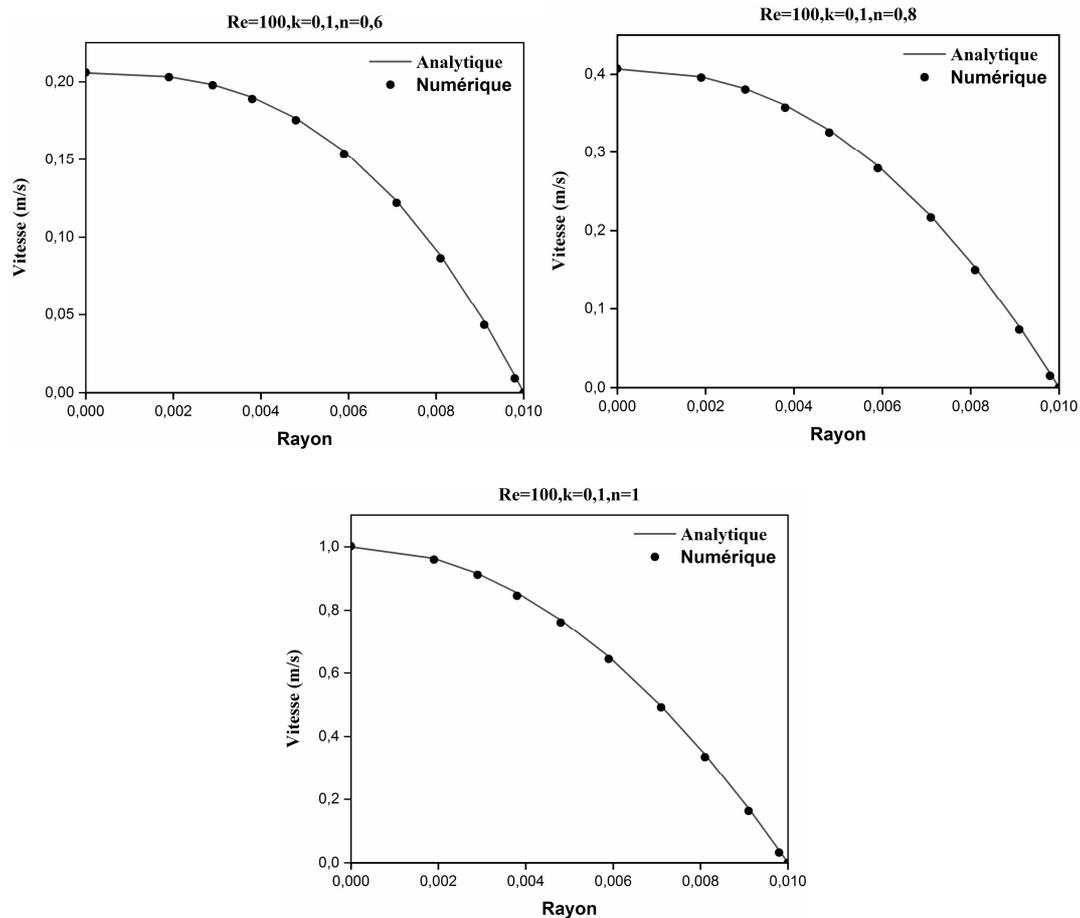
❖ **K=0,1**

Figure III.12 : Profils de vitesse pour $Re=100$ et $k=0,1$.

Les figures (III.10), (III.11) et (III.12) nous avons tracés les profils de vitesses pour une consistance et indice d'écoulement variés à nombre de Reynolds fixe $Re=100$.

On constate l'accroissement de la vitesse en augmentant à la fois l'indice de l'écoulement n et la consistance k pour un nombre de Reynolds.

Nous notons que ces résultats sont en bonne concordance avec les résultats analytiques.

b. Re=500

❖ **k=0,001**

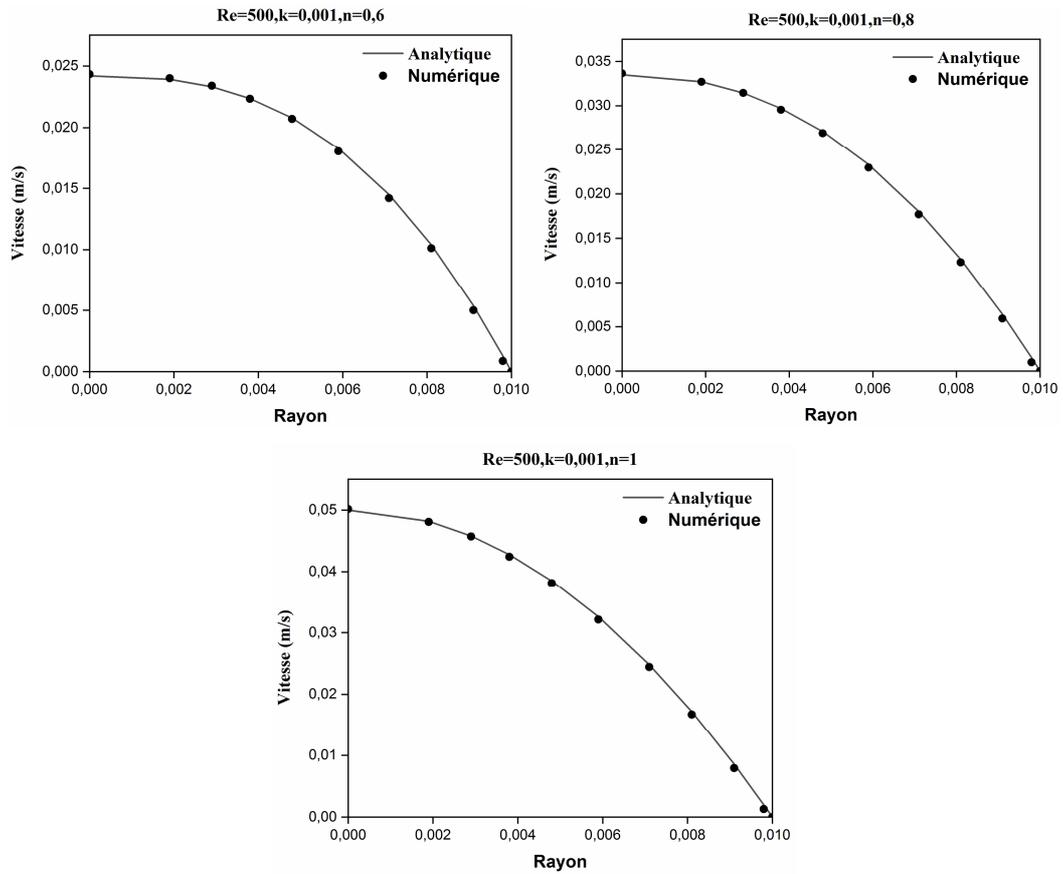
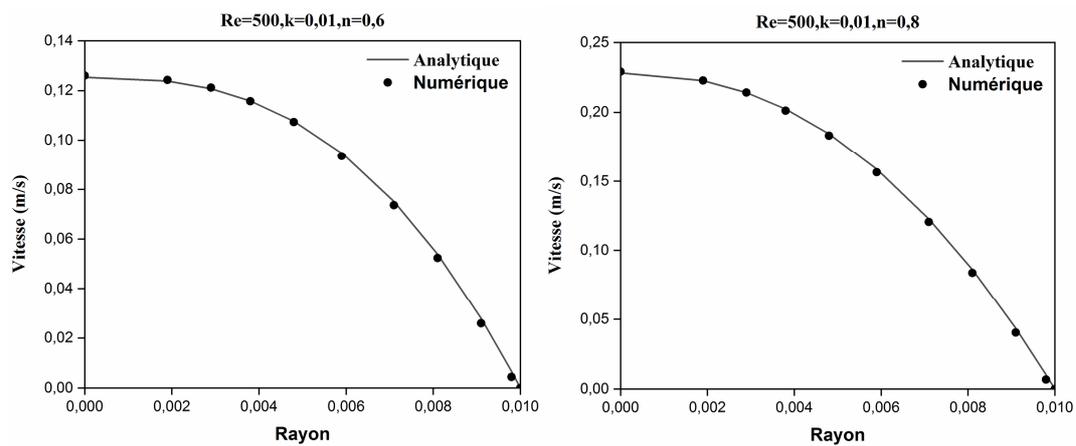


Figure III.13 : Profils de vitesse pour $Re=500$ et $k=0,001$.

❖ **k=0.01**



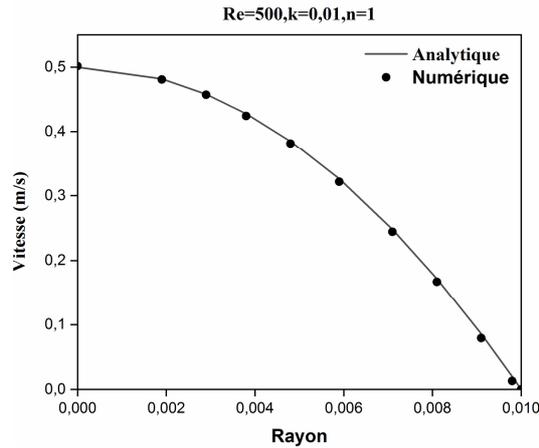


Figure III.14 : Profils de vitesse pour $Re=500$ et $k=0,01$.

❖ $k=0,1$

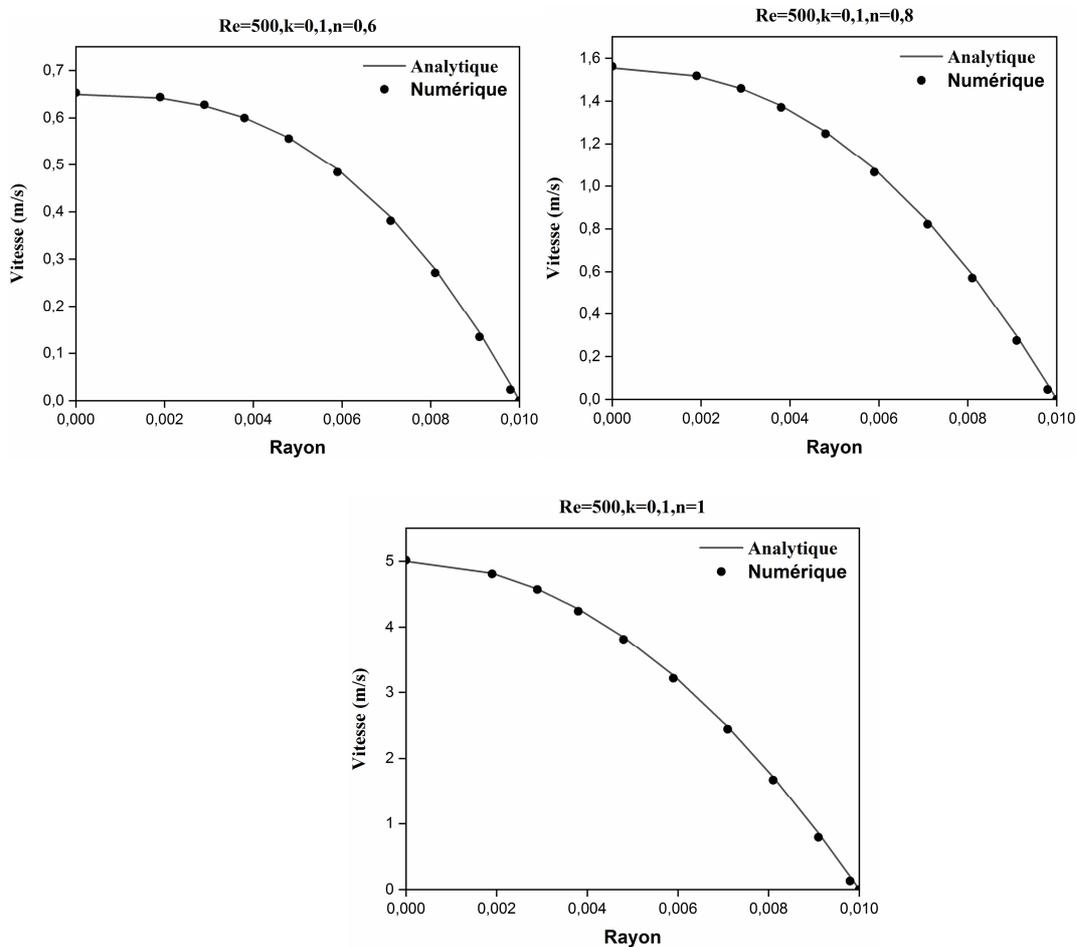


Figure III.15 : Profils de vitesse pour $Re=500$ et $k=0,1$.

Les figures (III.13), (III.14) et (III.15) nous avons tracés les profils de vitesses pour une consistance et indice d'écoulement variés à nombre de Reynolds fixe $Re=500$.

On constate l'accroissement de la vitesse en augmentant à la fois l'indice de l'écoulement n et la consistance k pour un nombre de Reynolds.

Nous notons que ces résultats sont en bonne concordance avec les résultats analytiques.

c. Re=1000

❖ k=0.001

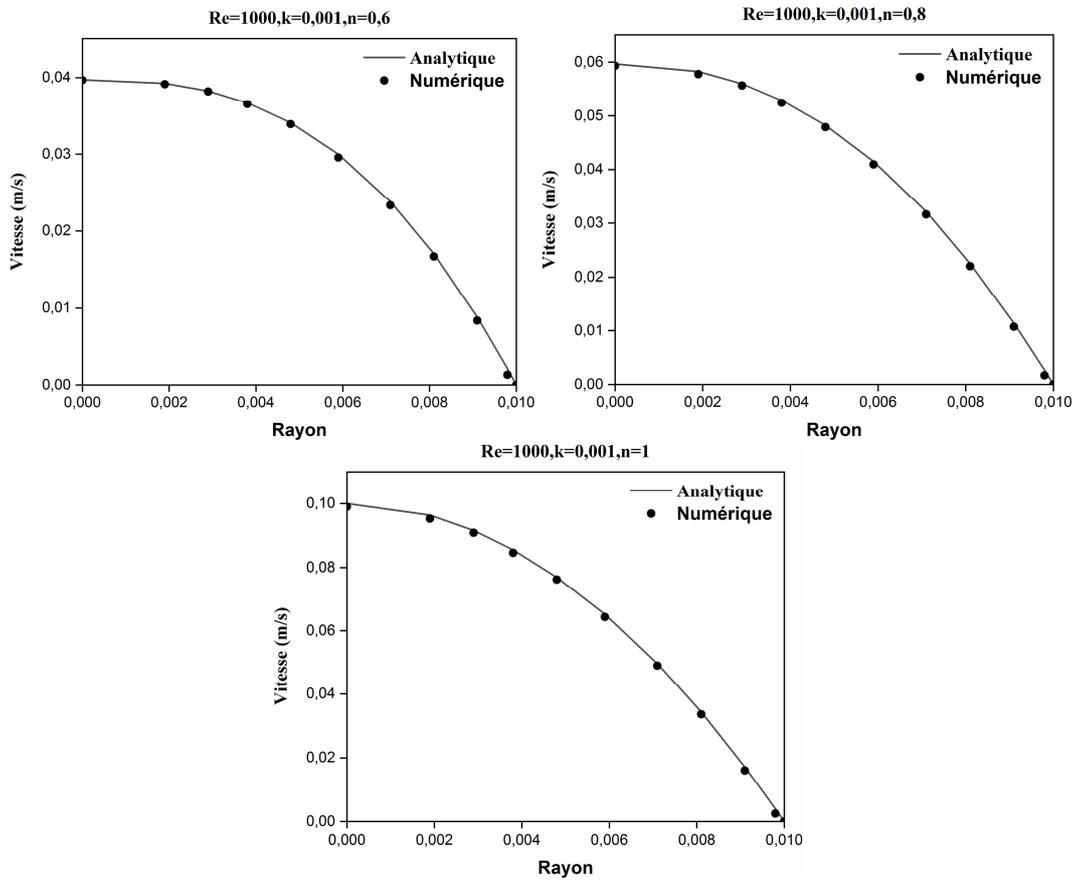
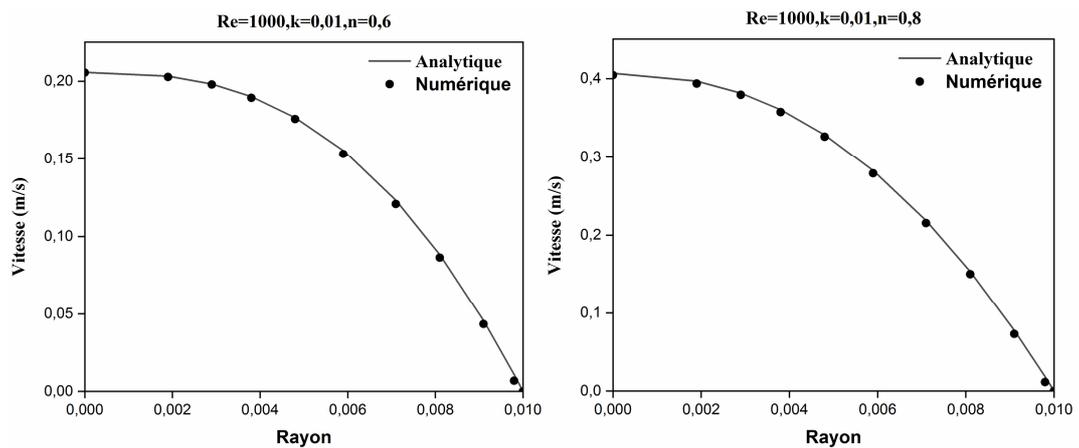


Figure III.16 : Profils de vitesse pour $Re=1000$ et $k=0,001$.

❖ k=0.01



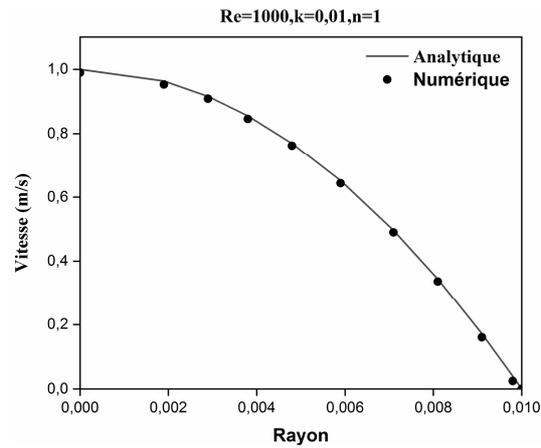


Figure III.17 : Profils de vitesse pour $Re=1000$ et $k=0,01$.

❖ $k=0,1$

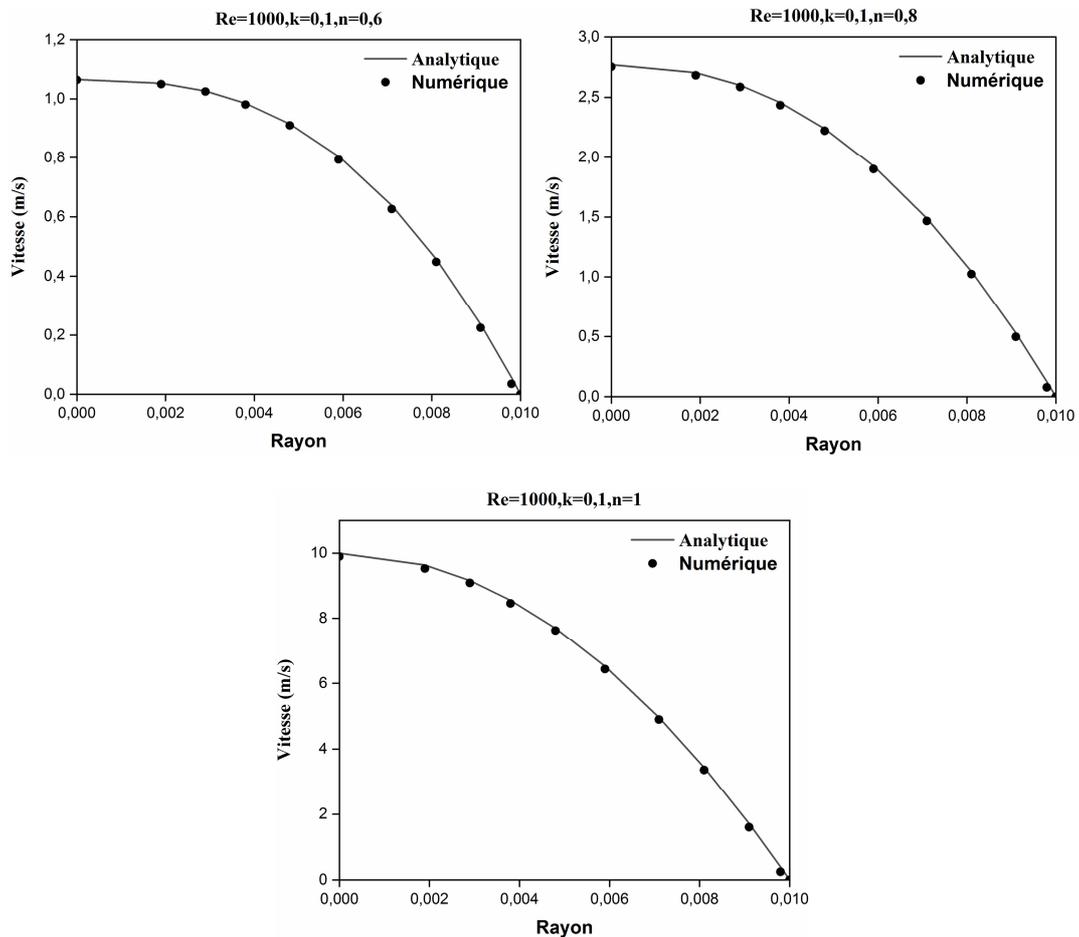


Figure III.18 : Profils de vitesse pour $Re=1000$ et $k=0,1$.

Les figures (III.16), (III.17) et (III.18) nous avons tracés les profils de vitesses pour une consistance et indice d'écoulement variés à nombre de Reynolds fixe $Re=1000$.

On constate l'accroissement de la vitesse en augmentant à la fois l'indice de l'écoulement n et la consistance k pour un nombre de Reynolds.

Nous notons que ces résultats sont en bonne concordance avec les résultats analytiques.

Dans les figures **(III.10)**, **(III.11)**, **(III.12)**, **(III.13)**, **(III.14)**, **(III.15)**, **(III.16)**, **(III.17)**, et **(III.18)**, on observe qu'avec l'augmentation du nombre de Reynolds, les profils de vitesse augmente progressivement avec l'augmentation du nombre de l'indice de l'écoulement n et la consistance k .

III.6. Conclusion

L'objectif de l'étude, qui est la validation des résultats numériques. La concordance est acceptable entre résultats numérique et analytiques.

L'étude de l'écoulement de fluide non newtonien a été l'intérêt de présent travail. L'outil de simulation numérique a été notre moyen pour la compréhension des différents phénomènes manifestés à travers la géométrie étudiée.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'écoulement à travers une conduite cylindrique, dans lequel un fluide s'écoule a été le sujet de nombreuses études avec des fluides non-Newtoniens. En raison de sa grande utilité pour comprendre une variété de phénomènes qui existent dans beaucoup d'applications de l'ingénierie, telles que le dimensionnement des échangeurs de chaleur et des conduites de transport utilisant les produits industriels et agroalimentaires.

Dans ce mémoire, on a mené une étude numérique d'un écoulement laminaire dans une conduite cylindrique pour différents fluides à savoir : un fluide Newtonien de référence et un fluide non-Newtonien représentant le sang, pour lequel on a choisi le modèle de la loi de puissance pour modéliser son comportement. La modélisation a été menée pour le régime d'écoulement laminaire, en utilisant un code de calcul commercial « COMSOL ». Pour ce logiciel la résolution numérique des équations de transport se fait sur la base de la méthode des éléments finis.

En premier lieu, nous sommes attelés à démontrer l'indépendance de la solution calculée par rapport à la résolution du maillage, la convergence des modèles ainsi que la sensibilité de la solution à plusieurs paramètres tels que le critère de convergence.

Un travail de validation a été réalisé en comparant nos résultats avec les résultats analytiques pour un fluide Newtonien. Par la suite une étude détaillée sur le champ dynamique de l'écoulement a été menée avec les deux types de fluides. Puis des résultats sont présentés sur l'influence des paramètres de la loi de comportement (indice d'écoulement, indice de consistance) sur le comportement en écoulement du fluide.

Enfin, nous dirons que ce travail nous a permis de maîtriser en premier temps «comsol» ainsi les outils mathématique et technique pour résoudre ce type de problème, il serait intéressant pour un travail futur de traiter ce problème en régime turbulent.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [01] W.A.Khan et al. « Fluid flow and heat transfer in power-law fluids across circular culinders: analytical study ». J. of heat transfer. (2006) 870-878.
- [2] J. Peixinho et al. « Laminar transitional and turbulent flow of yield stress fluid in a pipe. » J. Non-Newtonian Fluid Mech. 128(2005)172-184
- [3] M.EESA. Course of cdf studies of complex fluids flows in pipes. Department of Chemical, Engineering College of Engineering and Physical Sciences The University of Birmingham March 2009.
- [4] F.J. Galindo-Rosales et al. Numerical Simulation in Steady flow of Non-Newtonian Fluids in Pipes with Circular Cross-Section. Numerical Simulations - Examples and Applications in Computational Fluid Dynamics. 2010.
- [05] M.P. Escudier et al. « Observations of asymmetrical flow behaviour in transitional pipe flow of yield stress and other shear- thinning liquids. » J. Non-Newtonian Fluid Mech. 127(2005)143-155.
- [06] M.P. Escudier et al. « Pipe flow of a thixotropic liquid. » J. Non-Newtonian Fluid Mech. 62 (1996) 291-306.
- [7] A. Ihmoudah et al, CFD and Experimental Studies of Yield Power-Law Fluids in Turbulent Pipe Flow. Proceedings of the ASME 2018 37th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2018 June 17-22, 2018, Madrid, Spain.
- [8] A. Hundertmark et al Numerical study of shear-dependent non-Newtonian fluids in compliant vessels. J of Computers and Mathematics with Applications 60 (2010) 572-590.
- [09] Meriem BENZIANE Madjid et al. « Modélisation de l'écoulement des fluides complexes Cas du pétrole brut. », VI ème Journée d'Etudes Techniques 2010-The International congress for applied mechanics- La mécanique et les matériaux, moteurs du développement durable du 05 au 07 mai 2010, Marrakech-Maroc.
- [10] P. Corvisier et al. « Development of a thixotropic fluid flow in a pipe. ». Experiments in Fluids (2001) 579-587.
- [11] M. Rudman et al. « Non-Newtonian Turbulent and Transitional Pipe Flow ». Presented at Hy15, Banff, Canada, 2002.

- [12] P.T. Slatter «The Hydrolic Transportation of Thickened Sludge. ». Non-Newtonian Laminar Pipe Flow. A Place in The Sun At Last-11th Invited Keynote Address- 11th International Conference on Transport and Sedimentation of Solid Particles – Ghent, September, 2002. ISBN 83-87866-34-2, pp33-40.
- [13] thèse de Mr. RAMLA.M « Simulation Numérique d'un Ecoulement Non-Newtonien dans une Conduite rectangulaire avec une contraction brusque 4:1 »
- [15] Thèse de Mr. BENSLIMANE.A «Rhéologie et Ecoulement d'un fluide chargé : Application au réseau d'assainissement urbain, Etude Expérimentale et Modélisation.
- [16]BELAID.L, OUYESSAD.L, Identification des paramètres d'une loi de comportement d'un fluide non -Newtonien et leur implémentation dans le code CFD, Mémoire Master En Génie Mécanique, Option Energétique, Université A-Mira, Bejaïa, 2017.
- [17] KORICHI .A, ISSAADI.A. Simulation numérique de l'écoulement d'un fluide à seuil dans une conduite cylindrique. Application au transport de boue de forage. , Mémoire Master En Génie Mécanique, Option Energétique, Université A-Mira, Bejaïa, 2014.

Résumé

Dans ce travail on a mené une étude numérique d'un écoulement laminaire dans une conduite cylindrique pour différents fluides à savoir : un fluide newtonien de référence et un fluide non-Newtonien, pour le quel on a choisi le modèle de la loi de puissance et pour modéliser son comportement. Notre objectif est d'étudier le comportement mécanique du sang écoulement dans un canal. Cette étude des écoulements de fluide complexes dans une conduite cylindrique a été dictée par le besoin principal de la compréhension des mécanismes qui régissent ces écoulements. La modélisation a été menée pour le régime d'écoulement laminaire en utilisant un code de calcul commercial. On a étudié l'influence des paramètres de loi de comportement et le nombre de Reynolds sur la distribution de la vitesse. Enfin on valide les résultats numériques par des résultats analytiques.

Mots clés : écoulement laminaire, la loi de puissance, comportement mécanique, fluide complexe.

Abstract

In this work we carried out a numerical study of a laminar flow in a cylindrical pipe for different fluids namely: a Newtonian fluid of reference and a non-Newtonian fluid, for which we chose the model of the power law and to model its behavior. Our goal is to study the mechanical behavior of blood flowing in a channel. This study of complex fluid flows in a cylindrical pipe has been dictated by the primary need to understand the mechanisms that govern these flows. The modeling was carried out for the laminar flow regime using a commercial computer code. We studied the influence of the constitutive law parameters and the Reynolds number on the velocity distribution. Finally, let us validate the numerical results by analytical results.

Keywords: laminar flow, power law, mechanical behavior, complex fluid.