

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA



RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA 1
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE MECANIQUE

Master en génie mécanique
Spécialité : Installation Energétique et Turbomachine

Sur le thème :

Etude d'écoulement de poiseuille pour un fluide Non-Newtonien
Rhéofluidifiant

Présente par :

✚ Bissaad Sarah
✚ Mehadjbia Randa

promoteur:

- Dr. Ali Benyahia Brahim

Co promoteur :

- Dr. Bentrads Hocine

Année universitaire : 2021/2022

Remercîment

Tout d'abord... Dieu merci.

Ce mémoire n'aurait pas été possible sans l'intervention consciente d'un grand nombre de personnes que on tiens à remercier. on tiens ; en premier lieu ; à remercier Mr Ali BenYahia et Mr bentrad pour le temps et les efforts qu'ils ont consacré à notre travail pour finir avec cet modeste mémoire.

Ensuite, on voudrais remercîe nos chère mère et nos père pour leur soutien . pour leur amour inconditionné, et leur guide, pour une vie pleine de bonheur, ceci est notre humble cadeau pour vous.

on remercîe vivement les membres de jurys . Et enfin, à tous nos enseignants durant toutes nos années d'étude ainsi qu'à toute personne qui a ; de près ou de loin ; contribué à la réalisation de ce projet on tiens à vous remercier du plus profond du cœur.

Un grand merci a nos amis , « amel » et tous ceux qui ont rendu nos années universitaires les plus belles années de notre vie, qui ont été les compagnons de route le long de notre vie .

Résumé :

Une étude numérique à été faite pour étudier un écoulement laminaire entre deux plaques (Poiseuille Rayleigh-Bénard) l'inférieure est chauffée par le bas et la supérieure est froide , Nous nous intéressons plus particulièrement à la qualité de l'échange de chaleur obtenue pour un fluide Newtonien et un autre non-Newtonien sans chicane et avec chicane, l'utilité des chicanes est pour augmenter la surface d'échange de chaleur .

On a travaillé avec logiciel Ansys-Fluent , avec des valeurs de nombre de Reynolds comprises respectivement entre $50 < Re < 400$; et en intégrant le modèle Herschel-Bulkley avec différent « n » qui nous permis d'avoir une variation de viscosité et la vitesse inclure influe sur cette dernière pour nous donner des résultats de nombres de Nusselt moyen qui nous permis de savoir la qualité du transfert de chaleur réalisé.

ملخص

تم إجراء دراسة رقمية لدراسة تدفق الموائع بين صفيحتين (Poiseuille -Rayleigh-Bénard) السفلية يتم تسخينها و العلوية باردة، نحن مهتمون بشكل خاص بجودة التبادل الحراري الذي يتم الحصول عليه لسائل نيوتوني آخر غير نيوتوني بدون عائق و بعائق ، و تتمثل فائدة العائق في زيادة سطح التبادل الحراري.

لهذا عملنا مع البرامج أنسيس ، مع قيم عدد رينولدز بين 50 و 400 ؛ ودمج النموذج هرشل-بلكلي مع الاختلاف "ن" مما سمح لنا بالحصول على تباين في اللزوجة والسرعة لتضمين التأثيرات على الأخير لإعطائنا نتائج متوسط أرقام نسلت مما سمح لنا بمعرفة جودة نقل الحرارة المنفذ.

Obstract :

A numerical study has been made to study a laminar flow between two plates (Poiseuille Rayleigh-Bénard) the bottom plate is hot and the upper's cold. We are particularly interested in the quality of the heat exchange obtained for a Newtonian fluid and another Non-Newtonian fluid without baffle and with baffle that we use it specifically to increase the heat exchange surface.

For this we worked with Ansys-Fluent software, with Reynolds number values respectively between $50 < Re < 400$; and by integrating the Herschel-Bulkley model with differ "n" which allowed us to have a variation of viscosity and the speed to include influences on the latter to give us results of average Nusselt numbers which allowed us to know the quality of the transfer of heat produced.

Table des matières

Remercîment

Résumé

Introduction générale.....1

Chapitre1 Généralité sur la Rhéologies 3

1.1Rhéologie4

1.2La viscosité5

1.3Fluide Newtonien.....6

1.4Fluide non-Newtonien.....6

1.5Les fluides Rhéofluidifiants.....8

1.6Les fluides Rhéoépaississant.....11

1.7.Le fluide utilisé dans l'étude.....12

Chapite2 Revue bibliographique état de l'art.....14

Introduction.....15

1.Définition.....15

1.1.Ecoulement non-Newtonien dans une conduite non-circulaire.....16

2.lbstabilité Rayleigh-Bénard.....18

3.Convection.....19

3.1.Types de convection.....19

4.L'écoulement de poiseuille-Bénard.....20

4.1.Signification des nombres adimensionnels.....22

5.Type d'écoulement.....24

Chapitre 3 Etudes expérimentale et numérique38

Introduction.....27

1. Description du phénomène.....27

2. Hypothèses de simplifications28

3. Les équations gouvernantes..... 29

3.1. Equation de continuité29

3.2.Equation de quantité de mouvement.....29

3.3.Equation de conservation d'énergie.....29

4. Forme adimensionnelle des équations gouvernantes.....30

4.1.Equation de continuité.....	30
4.2.Equation de quantité de mouvement.....	30
4.3.Equation de conservation d'énergie.....	30
5.longueur d'établissement.....	31
6.Méthodes des différences finies	32
Chapitre 4 Résultats et discussion	45
1. Introduction	34
2. Simulation numérique de l'écoulement par Fluent	34
2.1.Spécification du problème.....	34
3. Création de la géométrie par Ansys-Fluent.....	35
4.Maillage avec Ansys simulation	36
5.L'effet du Maillage	37
6. Lancement de Fluent	37
7. En premier cas Nous utilisons fluide newtonienne (eau)	38
7.1.Ecoulement laminaire interne-nombre de Nusselt.....	41
7.2.Profil de vitesse pour un fluide Newtonien	42
7.3.Géométrie et maillage sous Ansys-Fluent	44
7.4.Discusion et résultats.....	46
8. Le Cas 2 Fluide non-Newtonien (pétrole)	52
8.1.utilisation de modèle de Herschel-Bulkley.....	53
8.2.Coefficient de frottement.....	57
8.3.Résultats et simulation de la configuration sans chicane.....	59
9.Résultats de simulation des configurations avec chicane.....	73
Conclusion	78

Liste des tableaux :

Chapitre 1 :

Tableau I.1 :l'équation rhéologique d'état générale.....	11
Chapitre 2 :	
Tableau II.1 : Les constantes géométrie a et b pour les conduites rectangulaire.....	17
Chapitre 4 :	
Tableau IV.1 :variation de nombre de Nusselt on fonction de Rynoldes fluide Newtonien.....	44
Tableau (IV.2) : représente la variation de nombre de Nusselt pour chicane de $\frac{1}{4}$ D de chicane $\frac{1}{2}$ D respectivement.....	50
Tableau IV.3 : variation de nombre de Nusselt fluide Newtonien.....	53
Tableau IV.4 : Paramètres rhéologiques de Modèle d'Herschel-Bulkley pour différentes températures du fluide étudie.....	55
Tableau IV.5 :la variation de la loguer d'établissement pour différents nombres de Reynolds à travers la section de la conduite.....	59
Tableau IV.6 : Représente la variation de nombre de Nusselt et de la vitesse et le coefficient de frottement pour différent nombre de Reynolds.....	62
Tableau (IV.7) : Représente la variation de nombre de Nusselt pour chicane de $\frac{1}{4}$ D.....	73
Tableau (IV.8): variation de nombre de Nusselt pour une chicane de $\frac{1}{2}$ D.....	80
Tableau (IV.9) : Représente la variation de nombre de Nusselt pour chicane de $\frac{1}{4}$ D.....	81
Tableau(IV.10) : Représente évolution de nombre de Nusselt en fonction de nombre de Reynolds pour deux chicanes.....	82
Tableau(IV.11) : Représente Evolution de nombre de Nusselt en fonction de Reynolds pour trois chicanes.....	83

Table de figure :

Chapitre 1 :

Figure I.1 : classification des comportements rhéologique.....	6
Figure I.2 : organigramme des différents types de fluides non-Newtonien.....	7
Figure I.3 : Rhéogrammes des différents types de fluides non-Newtonien.....	7
Figure I.4 : exemple des fluide non Newtonien.....	8
Figure I.5 : Rhéogrammes d'un fluide pseudo plastique	9
Figure I.6 : Rhéogrammes de quelques catégories des fluides.....	11
Figure I.7 : Courbe d'écoulement d'un fluide à seuil.....	12

Chapitre 2 :

Figure II.1 : le phénomène de la convection mixte.....	19
--	----

Figure II .2: Écoulement de base: écoulement de Poiseuille stratifié linéairement en température.....	20
Figure II .3: Écoulement de rouleaux transversaux. Idrac.....	21
Figure II .4: Écoulements de rouleaux longitudinaux. Idrac.....	21
Figure II .5: schématisation d'un écoulement laminaire dans une conduite.....	24
Figure II .6: schématisation d'un écoulement turbulent dans une conduite.....	25
Chapitre 3 :	
Figure III - 1 : Modèle de l'écoulement de Poiseuille.....	27
Figure III - 2 : Description du problème : (a) chicane carrée et (b) chicane triangulaire.....	28
Chapitre 4 :	
Figure IV.1 : maillage du domaine de calcul37	37
Figure IV.2 : critère de convergence des résultats40	40
Figure IV.3 : contour de vitesse40	40
Figure IV.4 : contour de température.....40.	40.
Figure IV.5 : Evolution de nombre de Nusselt dans une surface a température constante.....41	41
Figure IV.6 : critère de convergence des résultats.....42	42
Figure IV.7 : contour de vitesse.....42	42
Figure IV.8 : contour de température42	42
Figure IV.9 : vecteur de vitesse.....43	43
Figure IV.10 : Représente diagramme de profil de vitesse43	43
Figure IV.11 : diagramme de Nusselt.....44	44
Figure IV.12 : la géométrie et le maillage.46	46
Figure IV.13 : contour de vitesse.....48	48
Figure IV.14 : contour de température.....48	48
Figure IV.15 : évolution du nombre de Nusselt.....48	48
Figure IV.16 : critère de convergence des résultats49	49
Figure IV.17 : contour de vitesse.....49	49

Figure IV.18 : contour de vitesse	49
Figure IV.19 : profil de vitesse	50
Figure IV.20 : évolution de nombre du Nusslet.....	50
Figure IV.21 : contour de vitesse	51
Figure IV.22 :contour de temperature.....	52
Figure IV.23:Évolution de nombre de Nusselt des deux cas pour l'eau sans et avec chicane.....	52
Figure IV.24 : contour de vitesse.....	53
Figure IV.25 : contour de température.....	53
Figure IV.26 : évolution de nombre du Nusslet	53
Figure(IV.27):Évolution de nombre de Nusselt des deux cas pour l'eau sans et avec chicane.....	54
Figure IV.28 : diagramme d'itération pour $n=0.86$	56
Figure IV.29 : contour de vitesse.....	56
Figure IV.30 : contour de température.....	57
Figure IV.31 : vecteur de vitess	57
Figure IV.32 : profil de vitesse	57
Figure IV.33 : diagramme de moody	59
Figure IV.34 : diagramme comparatif entre Churchill et Moody.....	61
Figure IV.35 : Coefficient de frottement et Nusselt en fonction du nombre de Reynolds basé sur la viscosité pariétale pour $n=0.86$ et $n=0.71$; $n=0.99$	65
Figure IV.36 : critère de convergence des résultats	65
Figure IV.37 : contour de vitesse	66
Figure IV.38 : contour de température	66
Figure IV.39 : évolution de Nusselt	66

Figure IV.40 contour de vitesse:	67
Figure IV.41 contour de température:.....	67
Figure IV.42 : évolution de Nusselt.....	67
Figure IV.43: contour de vitesse.....	68
Figure IV.44 : contour de température.....	68
Figure IV.45: évolution de Nusselt.....	68
Figure IV.46 : critère de convergence des résultats	69
Figure IV.47 : contour de température.....	69
Figure IV.48: contour de vitesse.....	69
Figure IV.49 : profil de vitesse	70
Figure IV.50 : évolution du nombre de Nusselt.....	70
Figure IV.51 : diagramme de d'itération	70
Figure IV.52 : contour de vitesse.....	71
Figure IV.53 : contour de température.....	71
Figure IV.54 : profil de vitesse	71
Figure IV.55 : évolution du nombre de Nusslet	72
Figure. IV.56 : diagramme de d'itération	72
Figure. IV.57: contour de vitesse.....	72
Figure IV.58 : contour de température	73
Figure. IV.59 : profil de vitsse	73
Figure IV.60 : évolution du nombre de Nusslet.....	73
Figure IV.61 :contour de vitesse.....	74
Figure IV.62: contour de température.....	74
Figure IV.63 : diagramme de Nusselt.....	75

Figure IV.64 : contour de vitesse.....	75
Figure IV.65: contour de température.....	76
Figure IV.66 : diagramme de Nusselt.....	76
Figure IV.67: contour de vitesse.....	76
Figure IV.68 : contour de température.....	77
Figure (IV.69) : contour de vitesse.....	77
Figure IV.70 : contour de température.....	78
Figure IV.71: évolution de Nusselt.....	78
Figure IV.72: contour de vitesse.....	78
Figure IV.73 : contour de température.....	79
Figure IV.74 : contour de vitesse.....	79
Figure IV.75 : contour de température.....	79
Figure IV.76 : évolution de Nusselt.....	80
Figure. IV.77 : diagramme de variation du nombre de Nusselt en fonction du nombre de Reynolds d'une seule chicane.....	81
Figure.IV.78 : diagramme de variation du nombre de Nusselt en fonction du nombre de Reynolds pour deux chicanes.....	82
Figure IV.79 : Diagramme de variation du nombre de Nusselt en fonction du nombre de Reynolds pour 3 obstacle à l'indice ($n=0.86$).....	83
Figure IV.80: Diagramme de variation du nombre de Nusselt en fonction du nombre de Reynolds (cas Newtonien et non Newtonien) pour 1 chicane.....	84

Nomenclature

B_i	Nombre de Bingham
D	Diamètre
dz, dy, dx et dr	Variations suivant z, y, x et r respectivement
E_u	Nombre d'Euler
f	Facteur de perte de charge
F	Forces
g	Gravite
H_b	Nombre de Herschel-Bulkley
k, k'	Consistances du fluide
K_l	Coefficient de perte de charge singulière
L, h	Longueurs
m	Constante de régularisation
M	Moment du couple
N	Nombre de point
n, n'	Indices de structure
Q	Débit du fluide
\mathbb{R}	Coefficient de corrélation de Pearson
R, r	Rayons
R_1 et R_2	Rayons intérieur et extérieur respectivement
r_c	Rayon critique
Re	Nombre de Reynolds
S	Surface
t	Temps caractéristique
T	Coefficient de corrélation de Teil
T_u	Taux de turbulences
u	Vitesse locale
u'	Fluctuation de vitesse
U_m	Vitesse moyenne
V_{max}, U_{max}	Vitesse maximale
τ	Contrainte de cisaillement
τ_c	Contrainte seuil
τ_p	Contrainte pariétale
γ	Tenseur de déformation
$\dot{\gamma}$	Tenseur du taux de cisaillement
$\dot{\gamma}_p$	Taux de cisaillement pariétal
ρ	Masse volumique du fluide
μ	Coefficient de viscosité
μ_r	Viscosité relative
μ_{sp}	Viscosité spécifique
μ_s	Viscosité du fluide solvant

μ_d	Viscosité différentielle
μ_0, μ_∞	Viscosités newtoniennes initial et final respectivement
μ_p	Viscosité plastique
ν	Viscosité cinématique
η	Viscosité apparente
η_c	Viscosité apparente de la conduite
ΔP	Gradient de pression
ω	Vitesse angulaire
α	Angle
σ	Ecart type
θ	Température adimensionnelle $(T-T_i) k / (q_h)$
$\Delta\theta$	Différence de température entre les plaques chaudes et froides (K)

Indices et symboles inférieurs

av	valeur moyenne selon le contexte
c	central
cr	critique
i	quantités à l'entrée
ref	référence
sa	moyenne transversale

Abréviations et symboles

CVD	chemical vapor déposition (dépôts de vapeur chimiques)
PRB	écoulement de Poiseuille-Rayleigh-Bénard
$R - T$	désigne une grandeur se rapportant aux rouleaux transversaux
$R - L$	désigne une grandeur se rapportant aux rouleaux longitudinaux
$R - U$	désigne une grandeur se rapportant aux rouleaux en U
$2D$	Bidimensionnel
$3D$	Tridimensionnel

Introduction générale :

Dans notre vie quotidienne nous avons toujours été en contact avec les fluides, nous avons pu exploiter leur mouvement à notre faveur, comme dans l'irrigation en agriculture, les canaux, etc. Leur grand domaine d'application a incité notre besoin de les étudier afin de comprendre leur comportement pour mieux les inclure dans l'industrie (plusieurs centaines d'années après leur première application, Archimède était le premier à les étudier au III^{ème} siècle A.J, et Isaac Newton s'est intéressé à leur étude en 1687). Pour cela, une mécanique a été créée dite « la mécanique des fluides », aujourd'hui elle est plus connue sous le nom de « la mécanique classique des fluides » ceci est dû au fait qu'elle est insuffisante pour décrire de façon fidèle et correcte le comportement de tout type de fluide. Cette mécanique est adéquate pour les fluides simples (fluides newtoniens) où le gradient de vitesse n'influe pas sur la viscosité, pour des fluides complexes (dits aussi non-newtoniens) où la viscosité dépend du gradient de vitesse il a fallu se tourner vers une autre mécanique plus appropriée [1].

La nécessité de mieux comprendre les mécanismes qui régissent les écoulements des fluides complexes est d'autant plus grande qu'on rencontre ces fluides dans de nombreuses applications industrielles et géophysiques. Ainsi, divers problèmes liés à l'extraction, au transport, au stockage et au traitement de la matière sont toujours traités de façon semi – empirique. En effet, alors que les fluides classiques sont bien modélisés par des équations de type Navier–Stokes, aucune description complète n'est à ce jour disponible pour modéliser correctement le comportement des fluides complexes.

C'est pour ce la On s'intéresse à l'écoulement de poiseuille-Rayleigh-Bernard , c'est –à-dire on ajoute à l'écoulement de poiseuille qui donne un profile de vitesse parabolique l'effet de Rayleigh-Bernard (l'effet de la chaleur entre deux plaque) pour mieux comprendre le comportement des fluide .

La mise en œuvre des fluides dans de nombreuses activités industrielles nécessite souvent leur transport dans des réseaux de conduites comportant des singularités (vannes, coudes, élargissements...), des pompes, des échangeurs de chaleur mes nous on à simplifie les choses et on à voulu vois le phénomène ente deux plaque parallèle .

A ce jour, un grand nombre de tentative à été faite pour améliorer le transfert de chaleur dans des canal pour gagner plus d'énergie et pour avoir un échange de chaleur plus efficace.

L'application se fait dans un canal muni des chicanes transversales en modèle de rectangle , la parois horizontale supérieure est adiabatique et l'inférieure chauffée .L'apport de cette étude consiste à pratiquer un arrondissement et étudier l'influence sur la structure d'écoulement du fluide et sur le transfert de chaleur pour une gamme de nombre de Reynolds.

Et aussi on consiste a l'étude numérique du comportement dynamique et thermique en deux dimension, de l'écoulement d'un fluide non-Newtonien Rhéofluidifiant et du transfert de chaleur en mode de convection mixte en régime laminaire stationnaire .

L'application se fait dans un canal simple d'abord chauffée par le bas, et un canal muni de chicanes transversales (obstacle ou ailette) .

L'objectif du travail entrepris dans le cadre de la préparation de notre mémoire qui comporte quatre chapitre :

*Le premier consiste une généralité sur la rhéologie pour mieux comprendre le thème.

*Le deuxième est une étude bibliographique permettant une compréhension du phénomène étudié en citant quelque résultats d'études.

*Le troisième traite la modélisation mathématique du phénomène physique étudié en l'exprimant sous forme d'équation mathématique .

*Le quatrième présente un peu le fonctionnement de l'ansys ainsi que les résultats obtenue et leur discussion .En fin une conclusion générale sur le travail réalisé et les recommandations qui peuvent avoir lieu.

Chapitre 1 : généralité sur la Rhéologies

I.1 Introduction :

Lorsqu'un fluide possède une structure interne de taille comprise entre l'échelle moléculaire et l'échelle macroscopique il est dit complexe. Cette taille microscopique donne à l'échantillon des caractéristiques particulières et parfois surprenantes qui sont intermédiaires entre celles d'un fluide simple et celles d'un solide purement élastique. Grâce à leurs propriétés particulières, ces fluides interviennent non seulement dans la vie quotidienne mais aussi dans les industries lourdes aux plus fines, plus particulièrement les boues de forage dans l'exploitation de gisements pétroliers, les industries alimentaires, cosmétiques et pharmaceutiques, les polymères fondus, les pâtes à papier, etc. [2]

I.2 Rhéologie :

L'existence des matériaux qui ont un comportement intermédiaire entre le solide élastique parfait et le fluide Newtonien rend leur étude par les deux mécaniques classiques (des solides et des fluides) erronée, pour cela, une nouvelle discipline est née, dite la rhéologie. Le terme " rhéologie " a été proposé pour la première fois par Eugene Cook Bingham en 1928.

La rhéologie est la science de l'écoulement (rheos = qui coule, logie = science de) et de la déformation des matériaux sous l'action de contraintes, Elle a pour objet d'analyser les comportements mécaniques des substances et d'établir leurs lois de comportement.[2.3]. La rhéologie se décompose en plusieurs sortes d'études :

- rhéologie expérimentale : détermination expérimentale des relations de comportement (entre contraintes et déformation ou vitesse de déformation).
- rhéologie structurale : explication des comportements à partir de la structure du matériau.
- rhéologie théorique : fournir des modèles mathématiques en nombre limité des comportements indépendamment de la structure microscopique.

1.3. La viscosité :

La viscosité est le paramètre le plus important à prendre en compte lors de l'étude des fluides, et c'est une mesure du frottement interne qui se produit lors du déplacement relatif d'une couche de fluide par rapport à une autre. La force (également appelée force de cisaillement) nécessaire pour déplacer la couche est aussi grande que la force de frottement.

Dans le cas d'un fluide idéal, deux couches de fluide s'écoulent côte à côte à des vitesses différentes sans interaction et sans viscosité. Mais dans le cas d'un fluide réel, il y a une interaction entre les deux couches, donc la quantité de mouvement est progressivement échangée en raison de l'agitation moléculaire de la source de chaleur.[4].

Isaac Newton a exprimé le concept de viscosité pour les fluides visqueux en 1687. La contrainte appliquée est proportionnelle au gradient de vitesse et le coefficient de proportionnalité est la viscosité.

L'équation correspondante s'écrit :

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

Avec :

τ : Contrainte de cisaillement.

$\dot{\gamma}$: Taux de cisaillement.

η : Viscosité dynamique.

On définit également la viscosité cinématique ν , qui est le rapport entre la viscosité dynamique η et la masse volumique ρ du fluide.[5].

$$\nu = \eta / \rho \quad (\text{I.2})$$

Si la viscosité dynamique dépend de la vitesse de cisaillement, le milieu est dit non newtonien. Les milieux non-newtoniens en général ont une loi de comportement de la forme générale :

$$\tau = (\varepsilon, t) \quad (\text{I.3})$$

Avec :

ε : représente les propriétés élastiques de fluide.

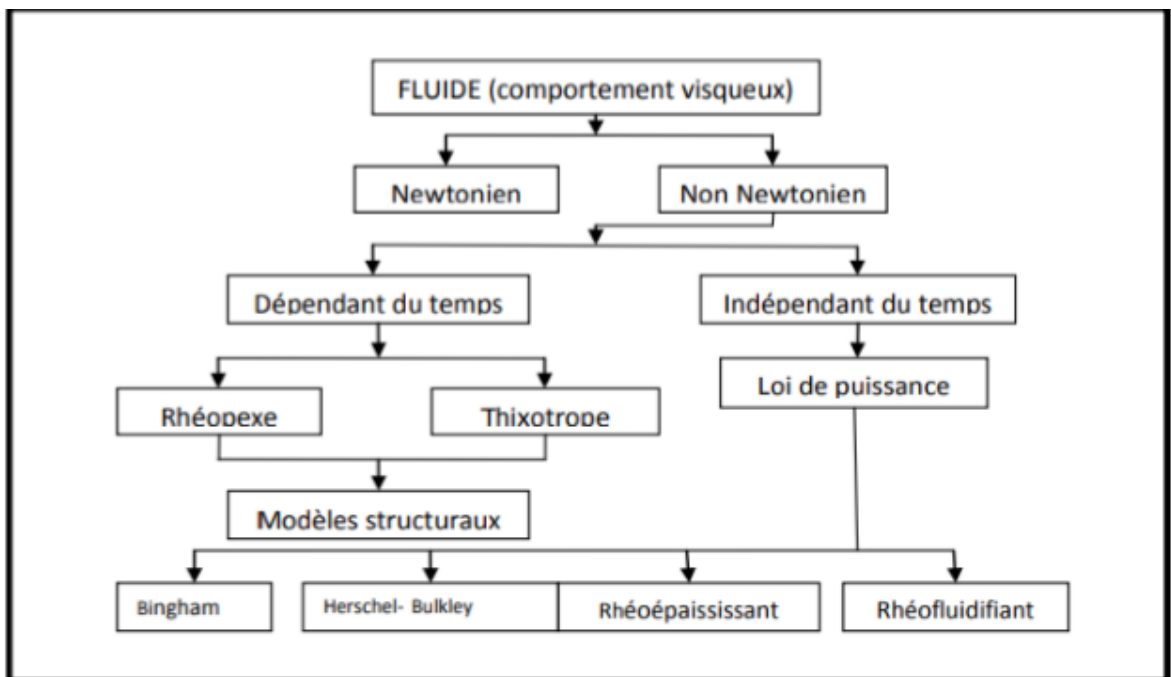
γ : représente les propriétés visqueuses de fluide.

I. 1.3. fluide newtonien :

Pour un fluide newtonien, la contrainte de cisaillement est proportionnelle à la vitesse de déformation, le coefficient de viscosité μ est une constante :

$$\mu = \gamma / \tau = Cte \quad (I.4)$$

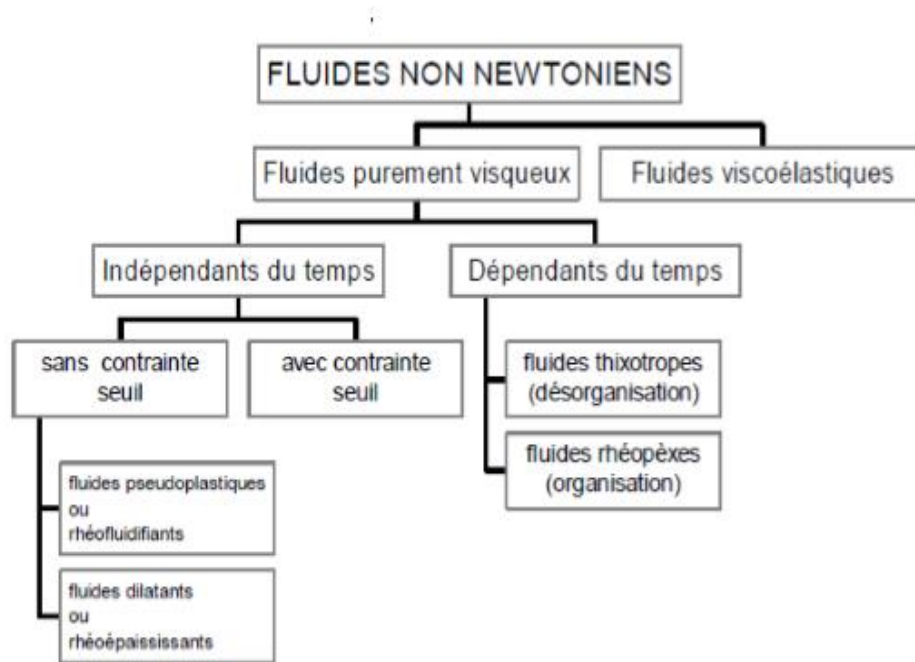
La viscosité μ est donc indépendante de la contrainte de cisaillement, et de la vitesse de déformation tant que le régime est laminaire. Il existe un certain nombre de fluides, appelés fluides non newtoniens, pour lesquelles il n'y a pas proportionnalité entre la contrainte de cisaillement et la vitesse de déformation. La figure (I.1) représente la classification des comportements rhéologiques.



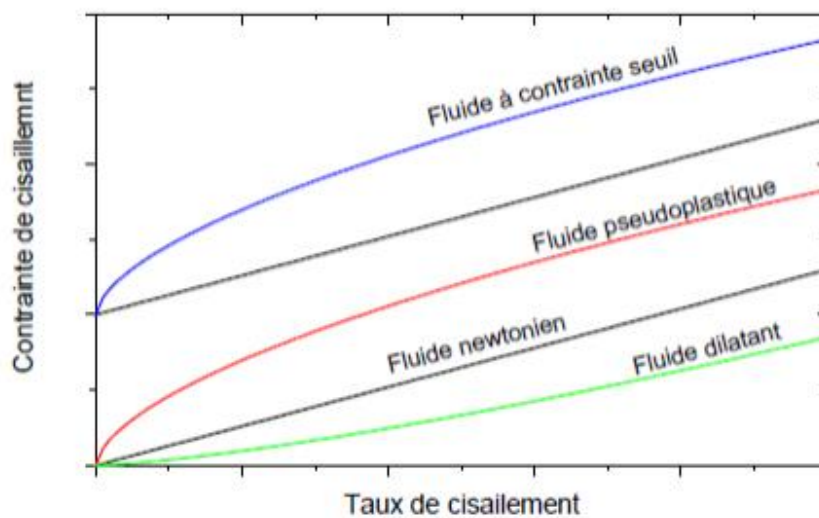
Figure(I.1) : Classification des comportements rhéologiques.

1.4. Les fluides non-Newtonien :

Les différents types de fluides non-newtoniens et leurs rhéogrammes sont représentés respectivement par l'organigramme de la figure (I.1) et la figure (I.2).



Figure(I.2) : Organigramme des différents types de fluides non-newtoniens.



Figure(I.3) : Rhéogrammes des différents types de fluides non-newtoniens.

1.5. Les fluides pseudoplastiques (Rhéofluidifiants) :

La rhéofluidification désigne le fait, pour un fluide de « devenir plus fluide » lorsque la viscosité d'écoulement (vitesse de cisaillement) augmente. Plus précisément cela désigne le fait que la viscosité dynamique diminue lorsque le taux de cisaillement augmente.[4].

Et il existe plusieurs fluides Rhéofluidifiant comme exemple :

La lave , le ketchup , le sang , miel , la peinture et certaines solutions de polymères et certains polymères fondus...ect.



Figure(I.4) : exemple des fluide non Newtonien

a) Loi de puissance 1925 (loi d'Ostwald De Waele) :

Cette loi simple (celle à deux paramètres) permet de simuler des fluides non newtoniens sans seuil de contrainte. Il relie la contrainte de cisaillement au taux de cisaillement et s'écrit :

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

Où

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

Avec :

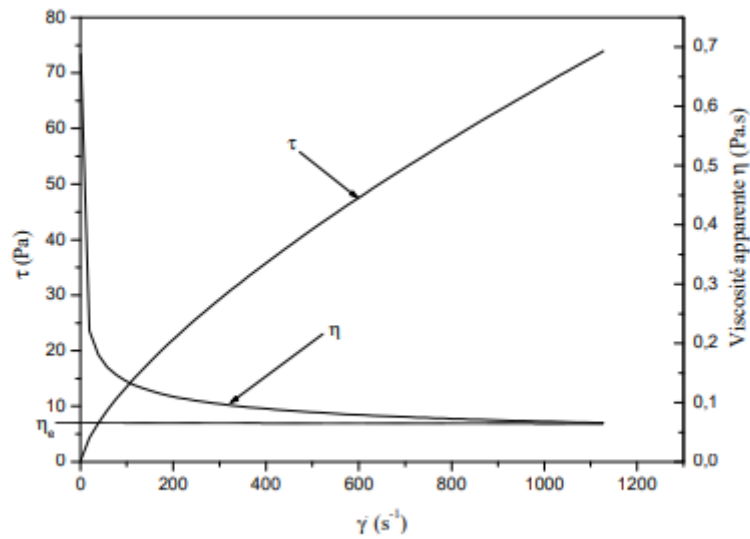
τ : Contrainte de cisaillement.

$\dot{\gamma}$: Taux de cisaillement.

k : Indice de consistance.

n : Indice de structure.

Pour les fluides pseudoplastique l'indice de structure n est inférieur à 1 ($n < 1$). [6].



Figure(I. 5): Rhéogrammes d'un fluide pseudoplastique. [7].

b) Loi de Carreau-Yasuda :

La loi de Carreau-Yasuda est une loi à quatre paramètres permettant de décrire la viscosité apparente d'un fluide non-newtonien (pseudo plastique) pour toute la gamme de cisaillement. Elle est donnée par la relation suivante :

$$\eta = \eta_{\infty} + (\eta_0 - \eta_{\infty}) [1 + (\lambda \dot{\gamma})^a]^{\frac{n-1}{a}} \quad (\text{I.7})$$

Avec :

η_0 : Viscosité à cisaillement nul.

η_{∞} : Viscosité à cisaillement infini.

λ : Temps caractéristique.

n : Indice de structure.

a : Paramètre sans dimension décrivant la transition entre le premier plateau newtonien et la zone en loi de puissance.

La loi de Carreau est un cas particulier de la loi de Carreau-Yasuda où $a = 2$. [8].

c) Loi de cross :

La loi de cross est une loi de quatre paramètres qui permet de décrire les fluides newtoniens ou les fluides pseudo plastiques selon la valeur d'un paramètre caractérisant l'un des deux fluides. Ce modèle a été proposé par Malcolm M. Cross en 1965 et s'écrit[9] :

$$\frac{\eta - \eta_{\infty}}{\eta_0 - \eta_{\infty}} = \frac{1}{1 + k\dot{\gamma}^n} \quad (\text{I.8})$$

Avec :

$$\eta_0 = \lim_{\dot{\gamma} \rightarrow 0} \eta : \text{viscosité à cisaillement nul}$$

$$\eta_{\infty} = \lim_{\dot{\gamma} \rightarrow \infty} \eta : \text{viscosité à cisaillement infini}$$

n : indice de structure

1.6.Fluides dilatants ou rhéoépaississant:

Ces fluides ont une viscosité qui augmente si la contrainte de cisaillement augmente. C'est l'inverse d'un fluide rhéofluidifiant. En clair, lorsque l'on applique une force à ce type de fluide, il devient de plus en plus solide. C'est l'exemple du mélange eau-maïzena ou du slime (voir plus loin).

Lorsque l'on retire la force appliquée, le fluide reprend son état initial. Cette propriété s'explique par le fait que ces fluides sont constitués d'un liquide dans lequel est mélangé plusieurs particules différentes et homogènes de très petites taille. Ce fluide liquide est appelé Colloïde.

Ainsi, lorsque l'on exerce une force sur le fluide, les particules présentes dans le fluide se regroupent, et se lient entre elles ce qui donne une organisation ordonnée des particules comme pour l'eau à l'état solide. Lorsque la force est annulée, les molécules d'eau reprennent leurs places entre les particules et le fluide redevient liquide (ou plus visqueux).

Les fluides épaississants ou dilatants sont aussi régis par la loi de puissance sauf que pour cette catégorie de liquide l'indice d'écoulement est supérieure à 1 ($n > 1$). Ces fluides se rencontrent beaucoup plus rarement industriellement. Leur comportement se traduit par une augmentation de viscosité avec le cisaillement.[10].

$$\tau = m \dot{\gamma}^n \quad \text{avec } n > 1 \quad (\text{I.9})$$

Le tableau (I-1) présente l'équation rhéologique d'état générale :

$$\tau = m (\dot{\gamma})^n + \tau_0 \quad (\text{I.10})$$

Tableau (I-1) : l'équation rhéologique d'état générale

Type de fluide	n (indice d'écoulement)	τ_0
Newtonien	1	0
Bingham	1	>0
Herschel-Bulkley	$0 < n < \infty$	>0
Rhéofluidifiant	$0 < n < 1$	0
loi de puissance	$1 < n < \infty$	0

Rhéogrammes:

Pour vérifier le caractère de newtonien ou non newtonien du fluide, il convient de déterminer sa rhéologie grâce à un rhéomètre. Cet appareil fournit des rhéogrammes, dont l'analyse permet d'identifier le comportement du fluide à une certaine catégorie, et de lui accoler un modèle rhéologique (figure I.5).

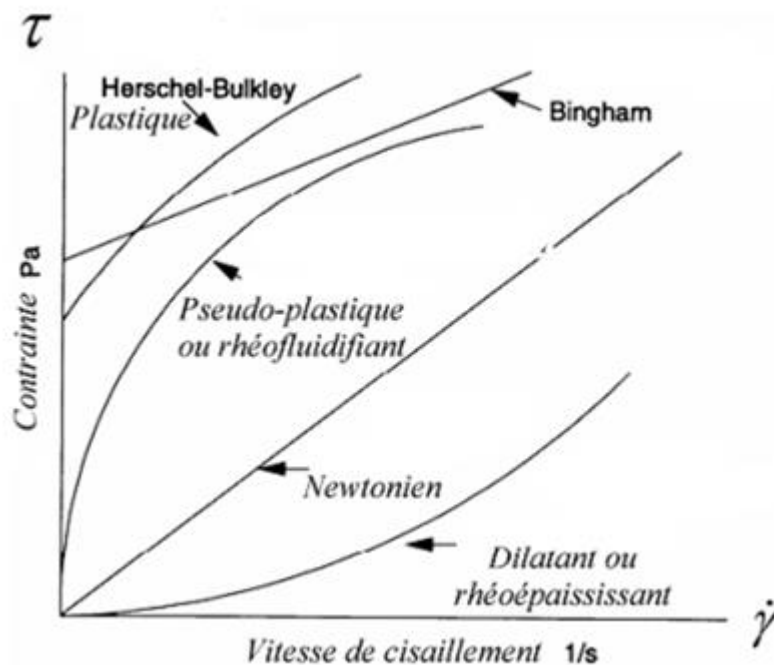
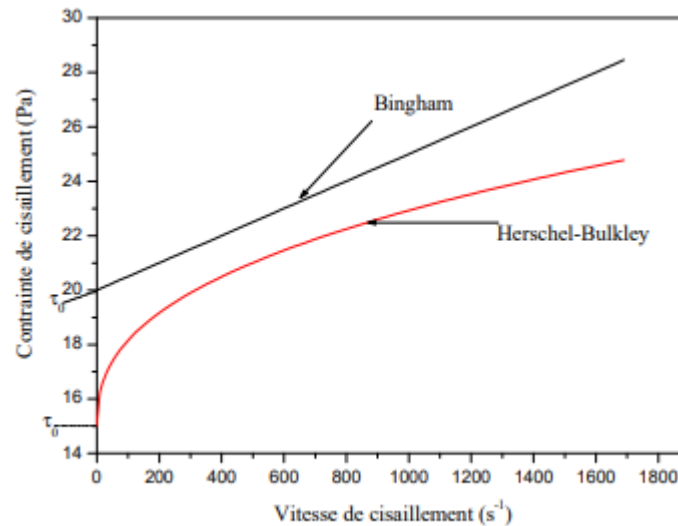


Figure (I.6) : Rhéogramme de quelques catégories de fluides [Jean-L.2006].

1.7. Le fluide utilisé dans l'étude :

le pétrole on le considérant comme un fluide Non-Newtonien Rhéofluidifiant avec seuil c'est-à-dire que le faut une contrainte pour s'écoulée ont expérimentalement un comportement de fluide visqueux en écoulement de cisaillement mais ont une fonction de cisaillement $\tau(\dot{\gamma})$ non nulle à l'origine: il y a donc une discontinuité de la fonction de cisaillement à l'origine. On dit qu'ils présentent un seuil de contrainte: il faut exercer une contrainte de cisaillement minimale avant de démarrer l'écoulement.



Figure(I.7) : courbe d'écoulement d'un fluide à seuil



Chapitre 2 : Revue bibliographique état de l'art

ETAT DE L'ART

II.Introduction :

Depuis la première étude d'Idrac (1920), de très nombreux travaux ont cherché à analyser et à modéliser les phénomènes présents dans les écoulements de Poiseuille Bénard. Dans ce chapitre, nous en proposons une revue générale. Elle donne une vue d'ensemble des principaux axes de recherche sur le sujet, des auteurs qui ont contribué aux travaux.

Elle a un caractère historique dans le sens où elle présente l'évolution des connaissances sur le sujet depuis les premières études jusqu'à très récemment. L'analyse bibliographique ayant permis de dégager deux grandes périodes dans cet historique, celles-ci constituent les deux parties de ce chapitre:

§1 : 1920-1951: cette période est celle des pionniers de la convection. Les travaux sont basés avant tout sur des expériences de visualisation permettant une compréhension qualitative des structures thermo convectives principales (R_{\perp} et $R_{//}$). En fait, ces expériences ont toutes été effectuées avant 1938, mais en 1951, Sir David Brunt rédige une synthèse de leurs résultats.

§2 : 1962-1984: après une longue période très peu productive à cause de la seconde guerre mondiale, les recherches sur le sujet qui nous concerne repartent vers 1960. On effectue principalement des analyses de stabilité linéaire, complétées par des expériences permettant de vérifier les résultats des modèles théoriques. Des travaux se concentrent sur l'analyse des écoulements thermo convectifs pleinement établis ; d'autres étudient la "zone d'entrée thermique", c'est-à-dire le début de la zone chauffée, là où les rouleaux convectifs se développent. Cette période voit son aboutissement avec, d'une part, la thèse de Luijkx (1983) qui analyse la stabilité linéaire de l'écoulement de Poiseuille-Bénard soumis à des perturbations 3D dans des conduites 3D et, d'autre part, avec le livre plus général de Platten et Legros (1984) qui fait une synthèse sur "la convection dans les liquides". [11]

1.Définition :

Il est important de noter que les couches limites de convection naturelle ne se limitent pas à un écoulement laminaire. Comme avec la convection forcée, des instabilités

hydrodynamiques peuvent survenir. C'est-à-dire que les perturbations dans l'écoulement peuvent être amplifiées, conduisant à la transition d'un écoulement laminaire à un écoulement turbulent. Pour une plaque plate verticale, le flux devient turbulent pour une valeur de:

$$\mathbf{Ra}_x = \mathbf{Gr}_x \cdot \mathbf{Pr} > 10^9$$

Comme dans la convection forcée, la nature microscopique des corrélations d'écoulement et de convection est nettement différente dans les régions laminaire et turbulent .

1.1.Écoulements non-newtoniens dans une conduite non-circulaire :[12]

* Régime laminaire :

Des nombreux travaux ont obtenu des solutions numériques approximatives pour l'écoulement dans des géométries spécifiques comprenant les conduites rectangulaires et triangulaires. D'autre part, des tentatives semi-empiriques ont été également faites afin de développer des méthodes pour prédire les pertes de pression pour les fluides non newtoniens purement visqueux dans les conduits de section non-circulaire.

Peut-être l'analyse du facteur de frottement le plus systématique et le plus réussi est qui a fourni par Kozickiet autres.(1966, 1971). En notant la similitude entre l'écoulement des fluides non newtoniens purement visqueux dans des conduites circulaires et ce entre deux plans parallèles, ils ont proposé qu'il pourrait être prolongé aux conduites ayant une section constante de forme arbitraire comme suit :

$$\left(-\frac{du_z}{dr}\right)_p = f(\tau_{p,m}) = a\tau_{p,m} \frac{d\left(8\frac{u_m}{D_H}\right)}{d\tau_{p,m}} + b\left(8\frac{u_m}{D_H}\right) \quad (\text{II.1})$$

Où a et b sont deux paramètres géométriques caractérisant la section de la conduite, D_H est le diamètre hydraulique, et $\tau_{p,m}$ est la valeur moyenne de la contrainte de cisaillement à la paroi, et est liés au gradient de pression par :

$$\tau_{p,m} = \frac{D_H}{4} \left(-\frac{\Delta p}{L}\right) \quad (\text{II.2})$$

Pour des valeurs constantes de a et b, l'équation (II.1) peut être intégrée pour obtenir :

$$\left(8 \frac{u_m}{D_H}\right) = \frac{1}{a} (\tau_{p,m})^{-b/a} \int_0^{\tau_{p,m}} \tau^{(b/a)-1} f(\tau) d\tau \quad (\text{II.3})$$

Pour l'écoulement d'un fluide non newtonien régit par la loi de puissance, $f(\tau)=(\tau/k)^{1/n}$ et l'intégration de (II.3) donne :

$$\tau_{p,m} = k \left(8 \frac{u_m}{D_H} b + \frac{a}{n}\right)^n \quad (\text{II.4})$$

Ce qui peut être récrit en termes de facteur de frottement, $f=2\tau_{p,m}/\rho u_m^2$ comme :

$$f = \frac{16}{\text{Re}_g} \quad (\text{II.5})$$

Où le nombre de Reynolds généralisé,

$$\text{Re}_g = \frac{\rho u_m^{2-n} D_H^n}{8^{n-1} k \left(b + \frac{a}{n}\right)^n} \quad (\text{II.6})$$

Les valeurs de a et de b dépendent de la géométrie de la conduite. Le Tableau II.1 représente des valeurs pour les conduites rectangulaires en fonction du rapport d'aspect AR.

Il est d'intérêt de noter que a et b sont 0.25 et 0.75 pour la conduite de section circulaire, et que le nombre de Reynolds généralisé devient identique à celui utilisé pour les conduites circulaires.

La validité de l'équation (II.5) a été confirmée par les expériences de Wheeler et Wissler (1966), Hartnett et autres(1986), et Hartnett et Kostic (1985) pour l'écoulement laminaire entièrement développé des solutions aqueuses de polymère dans des conduites rectangulaires.

Tableau(II.1): Les constantes géométriques a et b pour les conduites rectangulaires.[12]

AR	a	b	AR	a	b
1.00	0.2121	0.6771	0.45	0.2538	0.7414
0.95	0.2123	0.6774	0.40	0.2659	0.7571
0.90	0.2129	0.6785	0.35	0.2809	0.7750
0.85	0.2139	0.6803	0.30	0.2991	0.7954
0.80	0.2155	0.6831	0.25	0.3212	0.8183
0.75	0.2178	0.6870	0.20	0.3475	0.8444
0.70	0.2208	0.6921	0.15	0.3781	0.8745
0.65	0.2248	0.6985	0.10	0.4132	0.9098
0.60	0.2297	0.7065	0.05	0.4535	0.9513
0.55	0.2360	0.7163	0.00	0.5000	1.00066
0.50	0.2438	0.7278			

2. Instabilité Rayleigh-Bénard :

L'instabilité de Rayleigh-Bénard, ou convection naturelle est une [instabilité](#) thermo-convective susceptible de se développer dans un milieu fluide soumis à un gradient de température déstabilisant. Elle se traduit par la formation de structures convectives appelées cellules de Bénard. Ce problème a été étudié expérimentalement par [Bénard](#) et théoriquement par [Rayleigh](#). [13]

Soit un fluide contenu entre deux parois parallèles horizontales, soumis à un gradient thermique de sorte que la paroi inférieure soit à une température supérieure à la température de la paroi supérieure. Sous l'effet du chauffage de la paroi inférieure, les particules fluides situées à proximité de la paroi inférieure voient leur masse volumique décroître et sous l'effet de la poussée d'Archimède, tendent à remonter vers la paroi supérieure. À partir d'un certain seuil du gradient thermique, ce mouvement des particules fluides induit une déstabilisation du milieu fluide sous la forme de rouleaux thermo-convectifs aussi appelés [cellules de Bénard](#). [13]

3. La Convection :

La convection est un mode de transport d'énergie par l'action combinée de la conduction, de l'accumulation de l'énergie et du mouvement du milieu. La convection est le mécanisme le plus important de transfert d'énergie entre une surface solide et un liquide ou un gaz.

Le transfert d'énergie par convection d'une surface dont la température est supérieure à celle du fluide qui l'entoure s'effectue en plusieurs étapes. D'abord la chaleur s'écoule par conduction de la surface aux particules fluide adjacentes. L'énergie ainsi transmise sert à augmenter la température et l'énergie interne de ces particules.

Ensuite ces dernières vont se mélanger avec d'autres particules situées dans une région à basse température et transférer une partie de leur énergie, celle-ci est à présent emmagasinée dans les particules fluides et elle est transportée sous l'effet de leur mouvement. [14]

3.1 Types de Convection :

Il existe trois types de Convection :

- Convection forcée
- Convection naturelle
- Convection mixte

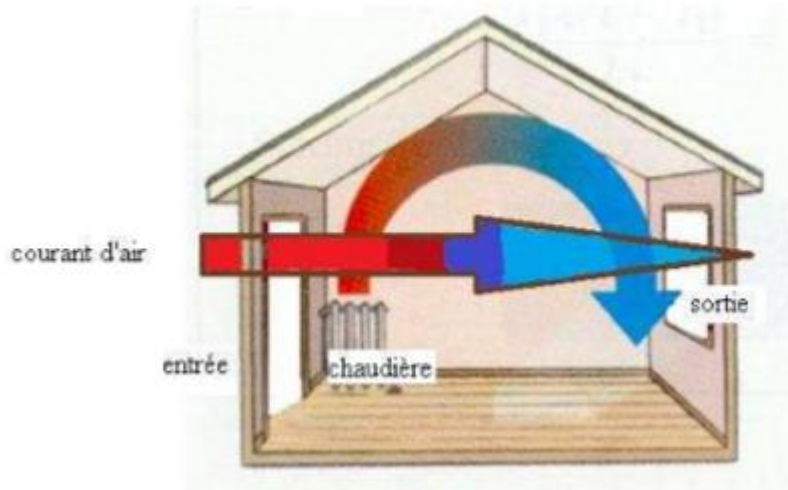
La transmission de chaleur par convection est désignée selon le mode d'écoulement du fluide, par convection libre et convection forcée. Lorsqu'il se produit au sein du fluide des courants dus simplement aux différences de densité résultant des gradients de température, on dit que la convection est naturelle ou libre.

Par contre si le mouvement du fluide est provoqué par une action externe, telle une pompe ou un ventilateur, le processus est appelé convection forcée. Si les deux causes existent simultanément, sans que l'une soit négligeable par rapport à l'autre, la convection est dite mixte.

Convection mixte: [15]

Quand les mouvements convectifs sont dus à la fois à des sources internes et externes, on rentre dans le cadre de la convection mixte. Le problème de Poiseuille-Rayleigh-Bénard est un écoulement de convection mixte. Les limites des ces trois

domaines, la convection naturelle, la convection forcée et la convection mixte, sont approximativement fixées par un nombre adimensionnel dit nombre de Richardson Ri .



Figure(II.2) : le phénomène de la convection mixte. [15]

4. L'écoulement de Poiseuille-Bénard : [16]

L'écoulement de Poiseuille-Bénard est un écoulement de convection mixte. Il est le résultat de la superposition de deux sources convectives appliquées à un fluide compris entre deux plaques planes horizontales: un gradient de pression horizontal donne naissance à un écoulement forcé (l'écoulement de Poiseuille), tandis qu'un gradient de température vertical est la source de structures thermo-convectives (type Rayleigh-Bénard).

De la même manière que l'écoulement de Rayleigh-Bénard est caractérisé par le nombre de Rayleigh, l'écoulement de Poiseuille est caractérisé par le nombre de Reynolds Re .

Celui-ci représente le rapport d'intensité entre les forces d'inertie et la dissipation visqueuse (ou diffusion de la quantité de mouvement) au sein du fluide:

$$Re = \frac{\text{la force d'inertie}}{\text{la force de dissipation visqueuse}} = \frac{v H}{\nu} \quad (\text{II.7})$$

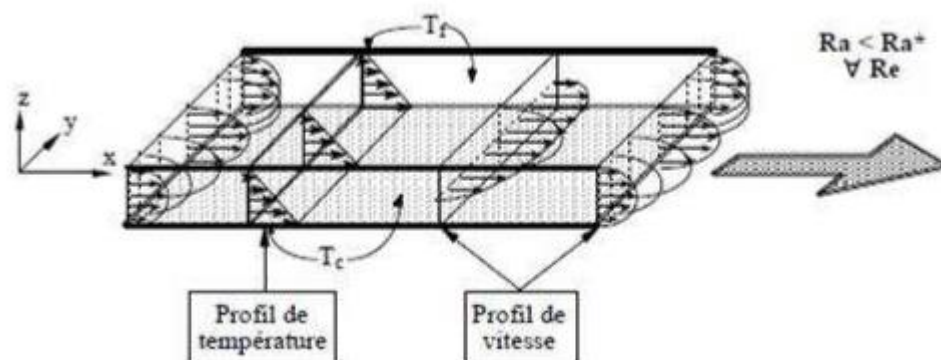
Dans le cas de l'écoulement de Poiseuille-Bénard entre deux plaques infinies, on sait que la présence de l'écoulement forcé laminaire oblige les structures convectives à s'aligner dans le sens de l'écoulement.

L'écoulement de base dont il étudie la stabilité est l'écoulement de Poiseuille stratifié linéairement en température (Figure II.9). Il montre que cet écoulement reste stable tant que le nombre de Rayleigh ne dépasse pas une valeur critique $* Ra$; au delà, il devient instable et deux sortes de structures thermo convectives peuvent apparaître. Comme dans les boites parallélépipédiques, il peut y avoir des rouleaux d'axes transversaux à l'axe de la conduite et formant une chaîne de cylindres contrarotatifs. Cependant, dans le cas de l'écoulement de Poiseuille-Bénard, ces rouleaux sont emportés par le courant moyen dans la conduite, dans la direction de l'écoulement de base.

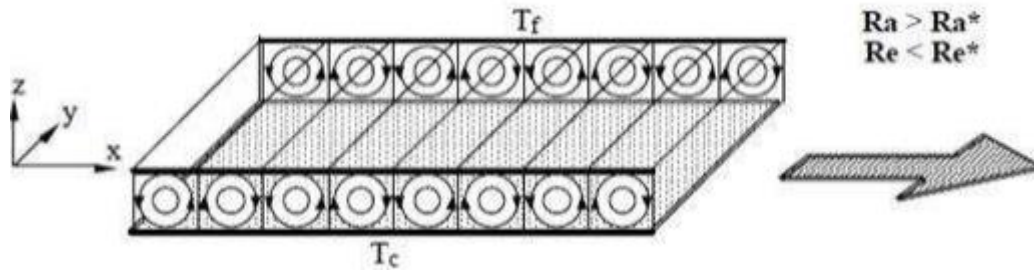
Une représentation schématique de ces rouleaux, ainsi que des photos obtenues en faisant des plans de lumière dans des écoulements d'air avec de la fumée sont présentées (Figure II.10).

On notera que ces structures sont quasi bidimensionnelles: la composante transversale de la vitesse est nulle, excepté près des bords latéraux. Dorénavant, dans tout ce document, on appellera cette configuration thermo convective les "rouleaux transversaux".

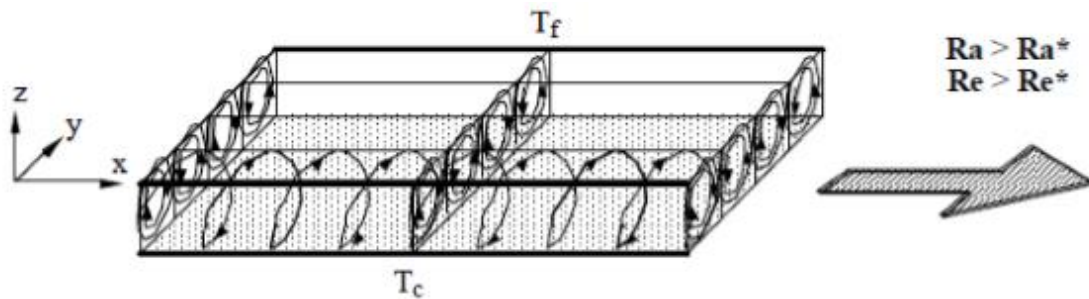
L'autre configuration qui peut apparaître quand $* Ra < Ra^+$ est celle observée par Idrac [17] et qui est décrite plus haut. Ce sont des rouleaux hélicoïdaux, contrarotatifs, stationnaires et d'axes parallèles à celui de la conduite. Ils sont présentés (Figure II.3). Ici, les trois composantes de vitesse sont non nulles. Dans toute la suite, on appellera cette configuration les "rouleaux longitudinaux"



Figure(II.3): Écoulement de base: écoulement de Poiseuille stratifié linéairement en température. [17]



Figure(II.4): Écoulement de rouleaux transversaux. Idrac [17]



Figure(II.4): Écoulements de rouleaux longitudinaux. Idrac [17]

4.1 Signification des nombres adimensionnels :[18]

L'étude des transferts convectifs repose en partie sur les valeurs des paramètres de contrôle qui les décrivent. Les nombres adimensionnels nous renseignent sur les conditions opératoires dans lesquelles l'étude a été menée, ils présentent l'avantage d'être indépendants du système choisi, des dimensions et des propriétés thermo physiques utilisées. Nous allons, dans ce qui suit, présenter les expressions et la signification physique de certains groupements adimensionnels qui seront utilisés le long de ce travail.

- **Nombre de Grashof**

Le nombre de Grashof caractérise le rapport des effets thermiques de convection naturelle aux effets visqueux .

$$Gr = \text{forces de flottabilité} / \text{forces visqueuses} = g \beta \Delta T H^3 / \nu^2 \quad (\text{II.8})$$

Avec :

g : accélération de pesanteur.

ν : La viscosité cinématique.

H : la dimension caractéristique de la géométrie étudié.

$\Delta T = (T - T_{ref})$: Ecart entre la température de la paroi, et la température de fluide à une distance éloignée de la paroi.

β : Coefficient de dilatation thermique a pression constante, définie par :

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p \quad (\text{II.9})$$

Et pour un gaz parfait $\beta = 1/T$

Ce nombre indique la nature du régime d'écoulement en convection naturelle, qu'il soit laminaire ou turbulent. On définit souvent une valeur critique caractéristique définissant ainsi la limite de chaque régime.

Si $Gr < Gr_c$ le régime est dit laminaire;

$Gr > Gr_c$ Le régime est dit turbulent

- **Nombre de Prandtl**

Le nombre de Prandtl caractérise l'importance relative de deux mécanismes qui pilotent la convection du fluide qui sont : la diffusion de quantité de mouvement (viscosité cinématique, ν) et la diffusion de chaleur (thermique, a)

$$Pr = \frac{\text{la diffusivité de la matière}}{\text{la diffusivité thermique}} = \frac{\nu}{a} \quad (\text{II-10})$$

Les valeurs du nombre de Prandtl nous renseignent sur les caractéristiques thermo-physiques du fluide choisi.

- **Nombre de Rayleigh**

Le nombre de Rayleigh est obtenu en multipliant les expressions de nombre de Grashof

et du nombre de Prandtl, il est souvent plus pertinent que le nombre de Grashof pour caractériser la convection naturelle.

$$Ra = Gr \cdot Pr = g \beta \Delta T H^3 / \nu \alpha \quad (\text{II-10})$$

En fonction de nombre de Rayleigh, on peut définir différents régimes du transfert de chaleur en convection naturelle.

$Ra < 10^3$: Convection négligeable ; le transfert a lieu essentiellement par conduction.

$10^3 < Ra < 10^9$: Le transfert a lieu en régime de convection libre laminaire.

$Ra > 10^9$: Le transfert a lieu en régime de convection libre turbulente.

- **Nombre de Reynolds**

Le nombre de Reynolds représente le rapport entre les forces d'inertie et les forces visqueuses.

$$Re = \text{forces d'Inertie} / \text{forces de viscosités} = U_{\infty} H / \nu \quad (\text{II-11})$$

Avec :

U_{∞} : vitesse caractéristique du fluide

Le nombre de Reynolds permet de déterminer les différents régimes d'écoulement du fluide en mouvement (laminaire, transitoire ou turbulent).

- **Nombre de Richardson**

Il sert à déterminer la prédominance d'un des modes convectifs vis à vis de l'autre. Le nombre de Richardson mesure l'importance relative des forces de poussée d'Archimède ($g\beta\Delta T$) aux forces d'inertie relatives à la convection forcée.

$$Ri = Gr / Re^2 \quad (\text{II-12})$$

Si $Ri \gg 1$: La convection naturelle domine.

Si $Ri \ll 1$: La convection forcée domine.

Si $Ri \approx 1$: La convection est dite mixte.

- **Nombre de Nusselt**

Est un nombre adimensionnel utilisé dans les opérations de transfert thermique. Il représente le rapport entre le transfert thermique total et le transfert par conduction.

L'échange thermique entre les parois chaudes et froides est représenté par le nombre de Nusselt moyen :

$$\overline{Nu} = \frac{1}{L} \int_0^{L/H} Nu \, dx \quad (\text{II-13})$$

Ou : Nu est le nombre de Nusselt local :

$$Nu = \left| \frac{\partial T^*}{\partial n} \right| \quad (\text{II-14})$$

On définit aussi le nombre de Nusselt moyen dans le temps et l'espace comme suit :

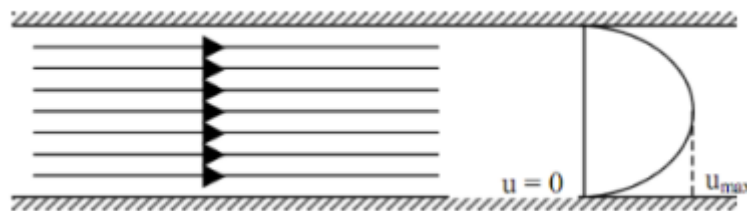
$$\langle \overline{Nu} \rangle = \frac{1}{t} \int_0^{t1} \overline{Nu} \, dt \quad (\text{II-15})$$

5.Types d'écoulements :

Les transferts convectifs sont étroitement associés à l'écoulement du fluide, il est donc primordial de s'intéresser de près aux différents régimes d'écoulement caractérisant le mouvement du fluide. Le fluide en écoulement peut évoluer soit en régime laminaire ou en régime turbulent, la transition du régime laminaire vers le régime turbulent est caractérisée par le régime dit transitoire.

- **L'écoulement laminaire :**

Est un régime pour lequel le fluide s'écoule le long de la paroi sous forme de filets qui restent parallèles. Ceci a lieu pour des faibles vitesses du fluide.



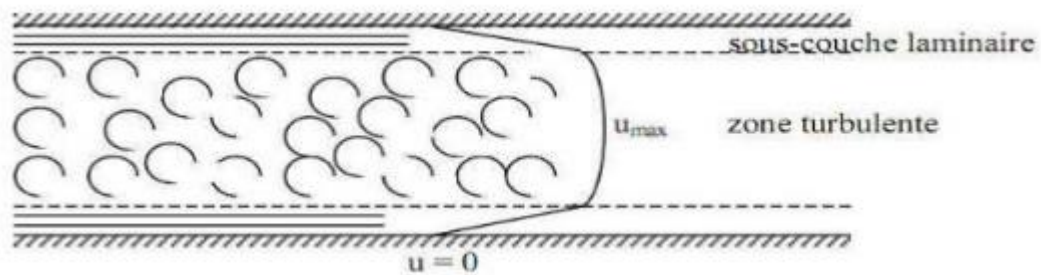
Figure(II.5): schématisation d'un écoulement laminaire dans une conduite

- **L'écoulement turbulent :**

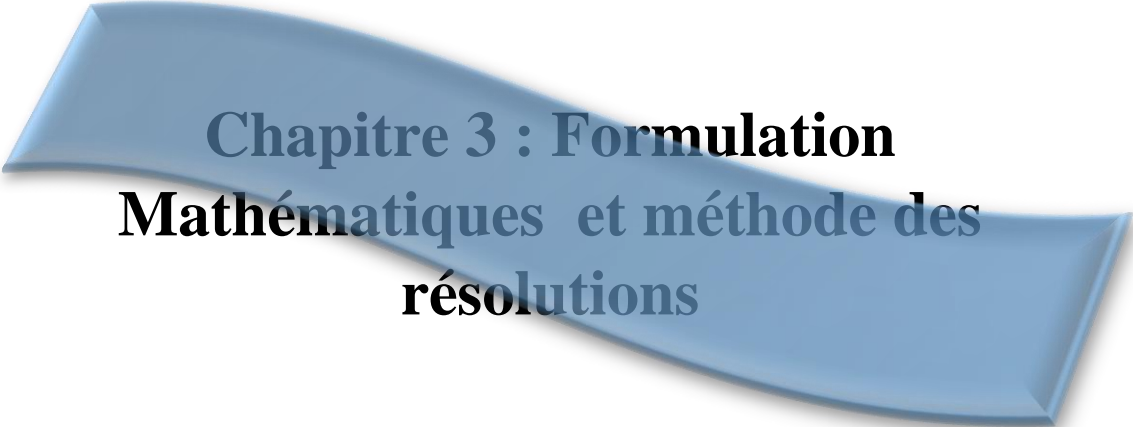
Est un régime pour lequel la vitesse moyenne du fluide est beaucoup plus importante.

Il y a un véritable mélange des particules fluide. Dans un tel écoulement le mécanisme de conduction est favorisé par d'innombrables tourbillons qui transportent la masse de fluide à travers ses filets.

Ces petits volumes de fluide en se mélangeant avec d'autres volumes jouent le rôle de porteuses d'énergie. Par conséquent, un accroissement de la turbulence amène une augmentation de la quantité de chaleur s'écoulant par convection.



Figure(II.6) : schématisation d'un écoulement turbulent dans une conduite



Chapitre 3 : Formulation Mathématiques et méthode des résolutions

III. Introduction :

Diverses expériences et simulations numériques ont été réalisées pour étudier Convection mixte en configuration de canaux horizontaux pour un chauffage uniforme par le bas à débit constant. Ici, nous nous intéressons à la recherche de mécanismes de convection Structures de convection hybrides et thermiques et transfert de chaleur associé.

Nous proposons des équations qui modélisent le problème que nous traitons, qui expriment La loi de conservation de la masse (ou continuité), la loi de conservation de la quantité de mouvement (Navi- Stokes) et l'énergie, et les conditions aux limites.

1. Description du phénomène étudié:

configuration Géométrie 1

La configuration géométrique choisie pour ce problème est une conduite rectangulaire chauffée par le bas et refroidis par le haut, traversé par un fluide incompressible et newtonien avec un profil de vitesse constant à l'entrée et une température supposée froide Figure III.1.

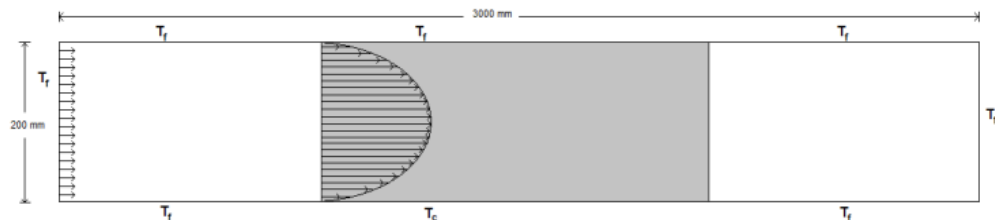


Figure (III - 1): Modèle de l'écoulement de Poiseuille

configuration Géométrie 2 :

La géométrie choisie est une cavité rectangulaire, Nous avons utilisé la configuration (des chicane rectangle), les chicanes (obstacles) attachées sur cavité avec un rapport de $h = 1/2 H$, le nombre de chicane est comprise entrée 1,2 et 3. La paroi

horizontale inférieure est chauffée par une température de $T=380$ k , les autres parois sont adiabatiques ($T=300$). La distance entre l'entrée et la première chicane $D = \frac{1}{2} L$. Le nombre de Reynolds dans l'intervalle de $100 \leq Re \leq 300$. La géométrie ainsi que les conditions aux limites sont montrées sur la figure

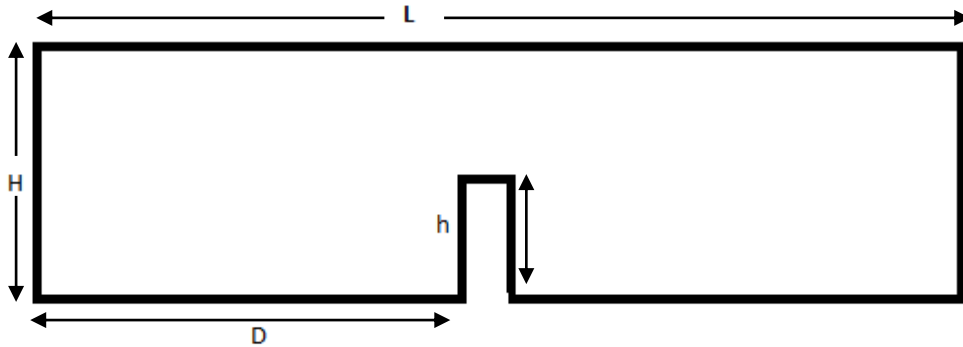
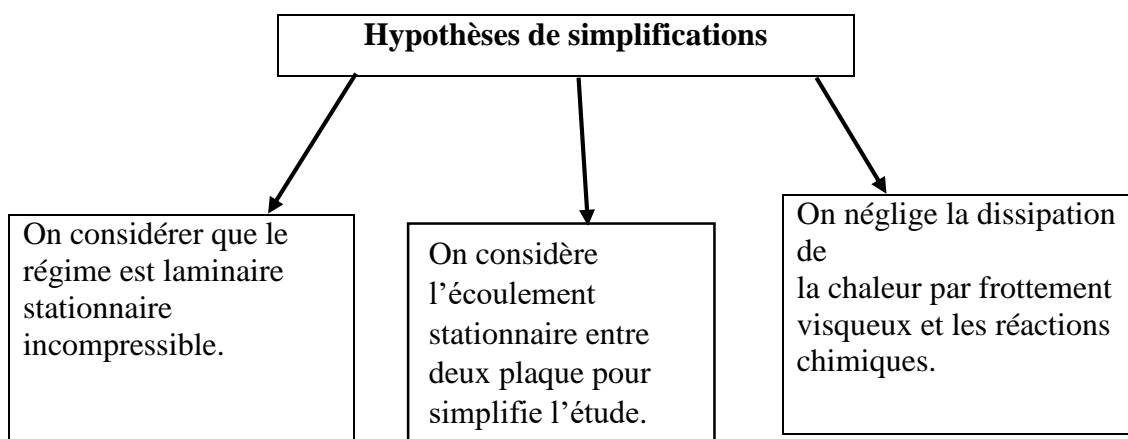


Figure (III – 2) : Description du problème

2. Hypothèses de simplifications :

Afin de pouvoir résoudre les équations gouvernant de l'écoulement de convection mixte dans une cavité, on doit vérifier les hypothèses de simplifications sont représenté dans la figure suivante :



3. Les équations gouvernantes :

Après la considération des hypothèses de simplification suscitées, les équations générales régissant l'écoulement de convection dans l'enceinte représentée dans la figure 2.1 et rapportées à un système de coordonnées cartésiennes $\vec{V}(u; v)$ sont données par :

3.1. Équation de continuité :

Cette équation qui exprime le principe de conservation de la masse.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \vec{v}) = 0 \quad (\text{III} - 3)$$

$$\operatorname{div}(\vec{v}) = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (\text{III} - 4)$$

3.2. Équation de quantité de mouvement :

L'application de la deuxième loi fondamentale de la dynamique à une particule fluide en mouvement mène aux équations de conservation de quantité de mouvement (Navier – Stokes).

Equation de mouvement suivant Ox

$$\rho_0 \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right] \quad (\text{III} - 5)$$

Equation de mouvement suivant Oy

$$\rho_0 \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \rho_0 \beta g (T - T_0) \quad (\text{III} - 6)$$

3.3. Équation de conservation de l'énergie :

Elle se déduit de la relation traduisant le premier principe de la thermodynamique, elle est donnée par :

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (\text{III} - 7)$$

4. Forme adimensionnelle des équations gouvernantes :

Les équations gouvernantes sont coulées sous forme adimensionnelle en utilisant les variables suivantes :

$$x^+ = \frac{x}{H} ; y^+ = \frac{y}{H} ; u^+ = \frac{u}{u_i} ; v^+ = \frac{v}{v_i} \quad (\text{III} - 8)$$

$$p^+ = \frac{P}{\rho_0 u_i^2} ; T^+ = \frac{\lambda(T-T_0)}{QH} ; T_0^+ = \frac{\lambda T_0}{QH} \quad (\text{III} - 9)$$

On aboutit au modèle mathématique adimensionnel ci-dessous :

4.1. Équation de continuité :

$$\frac{\partial u^+}{\partial x^+} + \frac{\partial v^+}{\partial y^+} = 0 \quad (\text{III} - 10)$$

4.2. Équations de quantité de Mouvement :

Equation suivant Ox :

$$u^+ \frac{\partial u^+}{\partial x^+} + v^+ \frac{\partial u^+}{\partial y^+} = -\frac{\partial p^+}{\partial x^+} + \frac{1}{\text{Re}} \left(\frac{\partial^2 u^+}{\partial x^{+2}} + \frac{\partial^2 u^+}{\partial y^{+2}} \right) \quad (\text{III} - 11)$$

Equation suivant Oy :

$$u^+ \frac{\partial v^+}{\partial x^+} + v^+ \frac{\partial v^+}{\partial y^+} = -\frac{\partial p^+}{\partial y^+} + \frac{1}{\text{Re}} \left(\frac{\partial^2 v^+}{\partial x^{+2}} + \frac{\partial^2 v^+}{\partial y^{+2}} \right) + \text{RiT}^+ \quad (\text{III} - 12)$$

4.3. Équation de conservation de l'énergie :

$$u^+ \frac{\partial T^+}{\partial x^+} + v^+ \frac{\partial T^+}{\partial y^+} = \frac{1}{\text{RePr}} \left(\frac{\partial^2 T^+}{\partial x^{+2}} + \frac{\partial^2 T^+}{\partial y^{+2}} \right) \quad (\text{III} - 13)$$

Conditions aux limites sous forme adimensionnelle :

A la paroi chaude : $-\frac{\partial T^+}{\partial x^+} = 1 ; u^+ = v^+ = 0$

Aux parois adiabatiques : $-\frac{\partial T^+}{\partial x^+} = 0 ; u^+ = v^+ = 0 \quad (\text{III} - 14)$

Aux chicanes : $-\frac{\partial T^+}{\partial x^+} = 0 ; u^+ = v^+ = 0$

A l'entrée de la cavité : $T^+ = 0 ; u^+ = 1 ; v^+ = 0$

5. Longueur d'établissement :

La longueur hydrodynamique d'entrée dans un écoulement est la distance minimale pour avoir un écoulement développé et sa valeur dépend du :

- régime d'écoulement
- Type du comportement de fluide.
- Nature de la conduite et sa rugosité.

En régime laminaire elle est plus grande que dans le régime turbulent.

Dans une conduite cylindrique elle est évaluée dans les deux régimes avec la corrélation suivante :

$$\frac{L}{D} = \frac{1}{\lambda} \left(\frac{U_{max}}{U_m} \right)^2 - 1 - K_L \quad (\text{III} - 15)$$

K_L : Coefficient de perte de charge singulière (à l'entrée de la conduite).

Pour un écoulement laminaire :

$$\frac{L}{D} = 0.0265 R_e \quad (\text{III} - 16)$$

Pour un comportement viscoplastique Peixinho et al utilisent la corrélation :

$$\frac{L}{D} = \left(\frac{0.23}{n^{0.31}} - 0.4 \frac{\tau_c}{\tau_p} \right) R_{\dot{\epsilon}} \quad (\text{III} - 17)$$

$$\text{Ou :} \quad R_{\dot{\epsilon}} = \frac{\rho U_m D}{\eta_c} \quad (\text{III} - 18)$$

Pour des écoulements turbulents, Soares et al avancent que les taux de cisaillement dans les écoulements sont tellement importants que l'effet de la contrainte seuil est négligeable.

A cause des perturbations et des vibrations liées à la nature de la conduite et de sa rugosité on utilise généralement une longueur équivalente à 60 fois le diamètre de la conduite.

6. Méthodes des différences finies :

C'est la méthode la plus ancienne, le principe fondamental de cette méthode consiste au maillage du domaine d'étude en nœuds dont la finesse permet de donner une

approximation des contours du domaine. Ensuite, en appliquant le développement dans chaque nœud du maillage, ce qui permet d'obtenir un nombre d'équation algébrique égale au nombre des valeurs d'inconnues des grandeurs étudiées.

6.1. Méthodes des éléments finis :

La méthode consiste à mailler l'espace en régions élémentaires dans lesquelles on représente la grandeur recherchée par une approximation polynomiale. Le maillage peut être constitué de triangles ou de rectangles aux sommets desquels on recherche des volumes de l'inconnue en supposant que, dans ce domaine, l'inconnue varie linéairement en fonction des coordonnées. Une telle méthode nécessite donc de mailler tout l'espace étudié.

Elle conduit à des tailles importantes en mémoire des calculateurs et à des temps de calcul longs qui nécessitent souvent des stations de travail pour la résolution des problèmes industriels.

6.2. Méthode des volumes finis :

La méthode des volumes finis est une méthode de discrétisation qui convient pour la simulation numérique des différents types d'équations de lois de conservation. Cette méthode est largement utilisée dans les phénomènes qu'étudient le physicien et l'ingénieur, tel que la mécanique des fluides, le transport de masse et de chaleur.

Quelque unes des caractéristiques importantes de la méthode des volumes finis sont similaire à celles de la méthode des éléments finis : elles peuvent être utilisé sur la géométrie orbitaire, utilisant des maillages structurés ou non structurés et elles mènent aussi à des schémas robustes.

Le principe de méthode des volumes finis consiste essentiellement:

- La discrétisation du domaine considéré en volume de contrôle.
- La formulation intégrale des équations différentielles aux dérivées partielles.
- Le choix d'un schéma représentant la variation de la quantité physique et l'assemblage des diverses équations.
- Le modèle doit être stable et convergent.



Chapitre 4 : Résultats et discussion

IV - 1 Introduction :

Dans cette étude et comme en le savais pour étudier le transfert de chaleur dans une conduite qui s'écoulent de dans un fluide Newtonien (l'eau) ou complexe (Non Newtonien) qui est déjà basé à des paramètres γ' qui sont fixe et γ qui varie tout dépend de la vitesse et de la température et la viscosité ,on a réalisé ses résultats à l'aide de logiciel Ansys-fluent La simulation numérique de la convection mixte laminaire est réalisée dans une cavité bidimensionnelle, la paroi horizontale inférieure chauffée et les autres parois sont adiabatiques. Les principaux résultats obtenus reflétant la qualité de transfert thermique dans la cavité, sont exposés dans ce chapitre.

2 Simulation numérique de l'écoulement par Fluent

2-1. Spécifications du problème :

Etudie l'écoulement entre deux plaques pour un fluide Newtonien et non-Newtonien. Nous nous intéressant à étudier le transfert de chaleur pour le cas de géométrie plaque simple et plaque intercalé de chicane, et voir même l'effet de nombre et de la dimension et l'espacement pour les deux type de fluide le long de la conduite .

Un exemple courant de fluide critique est le pétrole brut : il ne peut pas sortir d'un tube tout seul, il doit être soumis à beaucoup plus de contraintes que son propre poids pour s'écouler. La représentation la plus simple d'un fluide à seuil est le modèle de Bingham, qui nous est fourni sous forme de tableau.

$$\tau = \tau_{cB} + \mu_p \dot{\gamma} \quad (\text{IV.1})$$

En pratique le modèle de Bingham ne s'applique que pour une gamme limitée de taux de cisaillements et, la contrainte seuil, obtenue par extrapolation du rhéogramme à $(\dot{\gamma} = 0)$, est souvent difficile à déterminer.

Le modèle d'Herschel-Bulkley est celui permettant de décrire la plupart des fluides plastiques, la courbe d'écoulement de tels fluides, dits à seuil, finit par devenir rectiligne au-delà d'une certaine contrainte critique appliquée. La plus proche représentation d'un fluide non-newtonien à seuil est le modèle d'Herschel-Bulkley donné par l'expression.

$$\tau = \tau_{cB} + k \dot{\gamma}^n \quad (\text{IV.2})$$

et là k est les caractéristique de notre fluide Non –Newtonien comme suit :

ρ	806 kg / m ³
c_p	2100 j / kg.k
v	0.14375kg /(m.s)
k	0.16 j / s.m.c

Les condition au limite :

+vitesse d'entrée (0.14m/s) constant tous le long de la conduite.

+ Pression à la sortie égale à la pression atmosphérique.

On va simuler le problème en utilisant le modèle d'Herschel-Bulkley e pour différentes valeurs de l'indice de comportement (n).

La géométrie 3D . Possède de révolution autour de l'axe. l'écoulement sera donc supposé plana et nous allons mailler une tranche 2D de la géométrie tridimensionnelles . Le régime dynamique est suppos établi à l'entrée de la zone de chauffage.

3. Création de la géométrie par Ansys-Fluent :

ANSYS Workbench est un moyen pratique de gérer vos projets de simulation. Workbench est utilisé pour lancer les composants logiciels individuels et utilisé pour transférer des données entre eux.

Workbench facilite également la réalisation d'analyses paramétriques (sans l'utilisateur doit lancer manuellement chaque application à tour de rôle), et facilite la simuler des scénarios multi-physiques comme l'interaction fluide-structure.

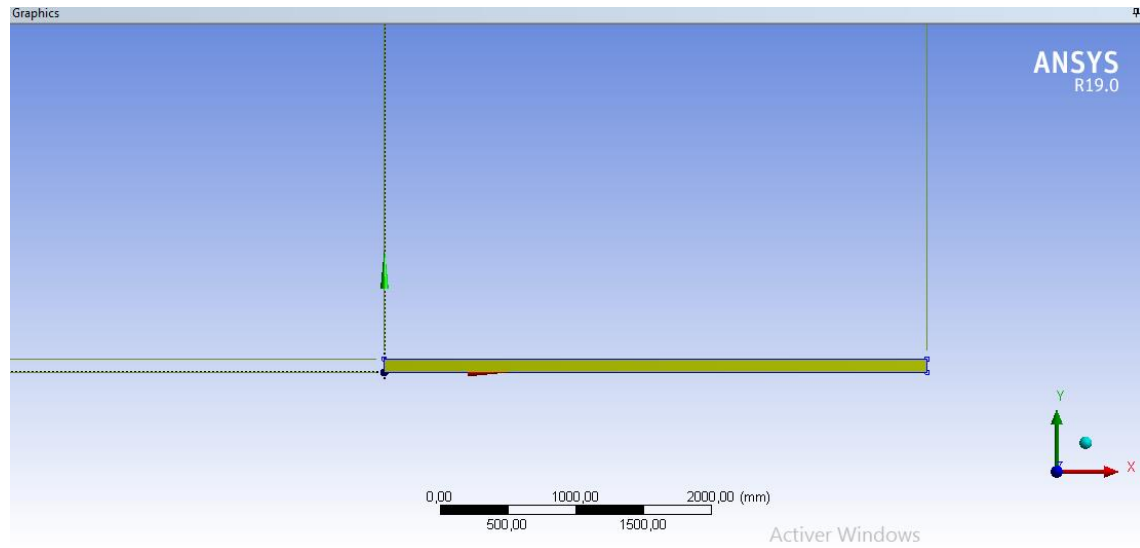
Pour créer la géométrie on suit les étapes suivantes:

- 1)- worcbench 19.0
- 2)- systèmes d'analyse. \Rightarrow mécanique des fluide (fluent).
- 3)- géométrie \Rightarrow propriétés de schéma \Rightarrow type d'analyse \Rightarrow 2D
- 4)- plan XY \Rightarrow Esquisse \Rightarrow Dessiner \Rightarrow Rectangle.
- 5)- Modifier \Rightarrow Fractionner.
- 6)- Contraintes \Rightarrow longueur égale.

7)- Unités \Rightarrow Millimétré.

8)- Concept \Rightarrow surfaces à partir d'esquisses \Rightarrow objets de base \Rightarrow Appliquer.

9)- finalement clique sur générer pour achever la fonction surfacer à partir d'esquisses.



4. Maillage avec Ansys simulation :

Le processus de génération du maillage peut être automatique ou manuel. Le maillage basé sur les lois de la physique est l'approche par défaut, qui définit le maillage en fonction de l'étude de simulation et de la géométrie. Cette méthode fait en sorte que le processus génère un maillage optimal avec un nombre restreint de paramètres. Chaque fois que vous exécutez une étude, le processus de génération du maillage est automatiquement exécuté par le solveur, avant l'exécution de l'étude. Vous pouvez également exécuter la génération du maillage manuellement si vous souhaitez étudier le maillage avant l'exécution de l'étude.

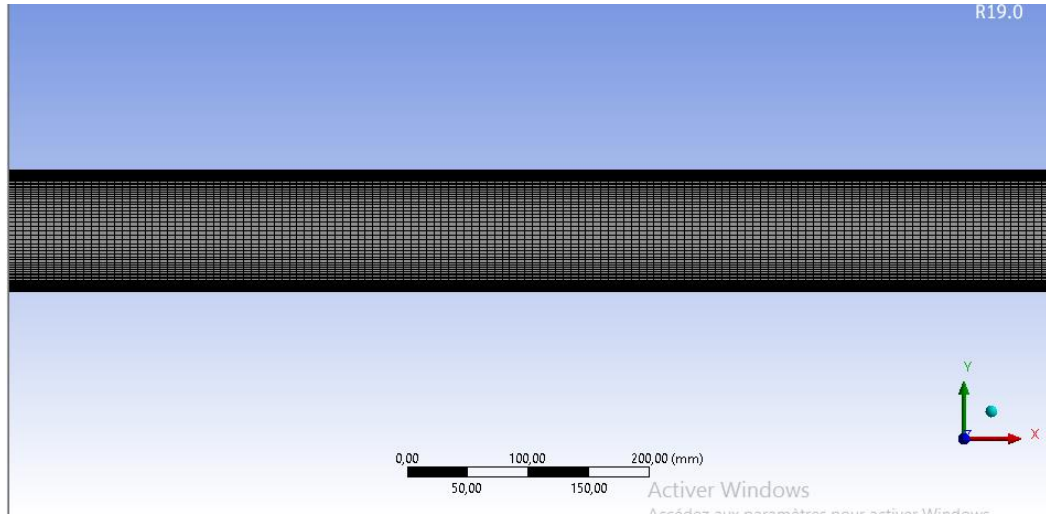
5. L'effet du Maillage :

la génération de maillage est une phase très importante de l'analyse des phénomènes des instabilités dans les écoulements entre deux plaques, vu son influence sur les solutions ou bien les résultats obtenus.

Pour que les résultats de simulation dans les phénomènes étudiés soient suffisamment précis on lance la simulation une première fois avec un maillage faible, ce que nous avons remarqué, c'est que l'épaisseur d'interface varie en fonction de la qualité et de la précision de maillage. Si la précision de maillage est faible au niveau

d'interface , l'épaisseur augmente progressivement au cours de la simulation . Après quelques essais , nous Avon validé le maillage de géométrie de 5100 cellules et 10351 faces et 5252 nœud .

Les résultats obtenus lorsque le maillage est plus grand que le validé sont presque les mêmes . Alors , la qualité du maillage a un sérieux impact sur la convergence , la précision de la solution et surtout sur le temps de calcul « Une bonne qualité de maillage est la clé de bons résultats ».



Figure(IV.1) : maillage du domaine de calcule

6. Lancement de Fluent :

tout d'abord on vérifie la qualité du maillage et qu'il est bon

```

Mesh Quality:
Minimum Orthogonal Quality = 1.000000e+00 cell -1 on zone -1 (ID: 0 on partition: 2) at location (6.95137e-310 6.95137e-310)
(To improve Orthogonal quality , use "Inverse Orthogonal Quality" in Fluent Meshing,
where Inverse Orthogonal Quality = 1 - Orthogonal Quality)

Maximum Aspect Ratio = 7.41728e+01 cell 1702 on zone 2 (ID: 4998 on partition: 2) at location ( 9.43250e-02 9.97456e-02)

Domain Extents:
x-coordinate: min (m) = 0.000000e+00, max (m) = 3.773000e+00
y-coordinate: min (m) = 0.000000e+00, max (m) = 1.000000e-01
Volume statistics:
minimum volume (m3): 1.919412e-05
maximum volume (m3): 1.919412e-04
total volume (m3): 3.773000e-01
Face area statistics:
minimum face area (m2): 5.087229e-04
maximum face area (m2): 3.773000e-02
Checking mesh.....
Done.

Mesh Size

Level   Cells   Faces   Nodes   Partitions
0       5100   10351   5252    3

1 cell zone, 5 face zones.

```

Activier Windows
Accédez aux paramètres pour activer Windows

Définissez les Propriétés du Solvreur :

a) Solvreur : On choisit 2D sous l'Espace. Nous utiliserons les défauts de résolveur isolé, la formulation implicite, l'écoulement stable et la formulation absolue de vitesse. Cliquer sur OK.

b) Viscose model : On sélection laminaire


c) Energy : L'équation d'énergie peut être éteinte puisque c'est un écoulement incompressible et nous ne sommes pas intéressés par la température.

d) Materials : Les Propriétés des Matériaux

7. En premier cas Nous utilisons fluide newtonienne (eau) :

A) sans chicane :

Ses caractéristique est comme suit :

 Create/Edit Materials

Name	Material Type
water-liquid	fluid
Chemical Formula	Fluent Fluid Materials
h2o<l>	water-liquid (h2o<l>)
	Mixture
	none

Properties

Density (kg/m3)	constant	Edit...
	998.2	
Cp (Specific Heat) (j/kg-k)	constant	Edit...
	4182	
Thermal Conductivity (w/m-k)	constant	Edit...
	0.6	
Viscosity (kg/m-s)	constant	Edit...
	0.001003	

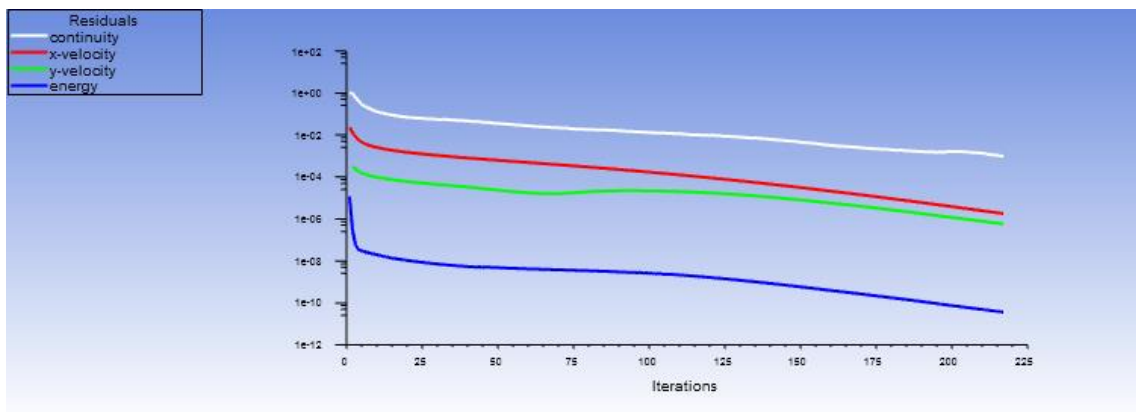
Change/Create Delete Close Help

Re	G
56	9.81
112	9.81
150	9.81
200	9.81
250	9.81
300	9.81

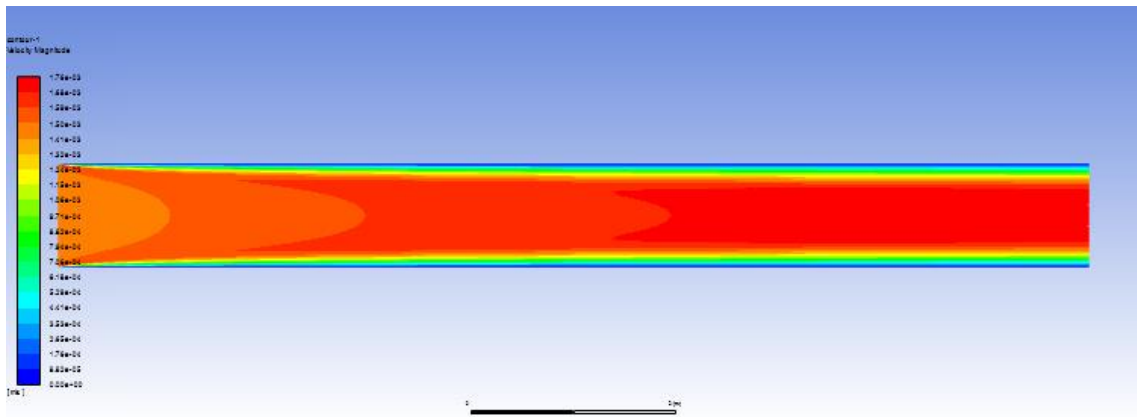
L(m)	0.1
DT(c)	60
$\beta(1/k)$	0.0035823

T_H	300
T_C	360

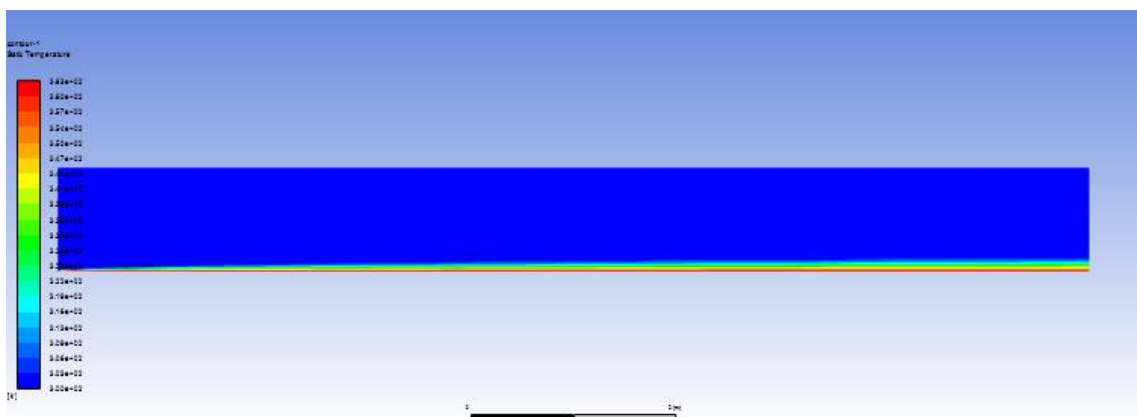
✚ Le cas test :



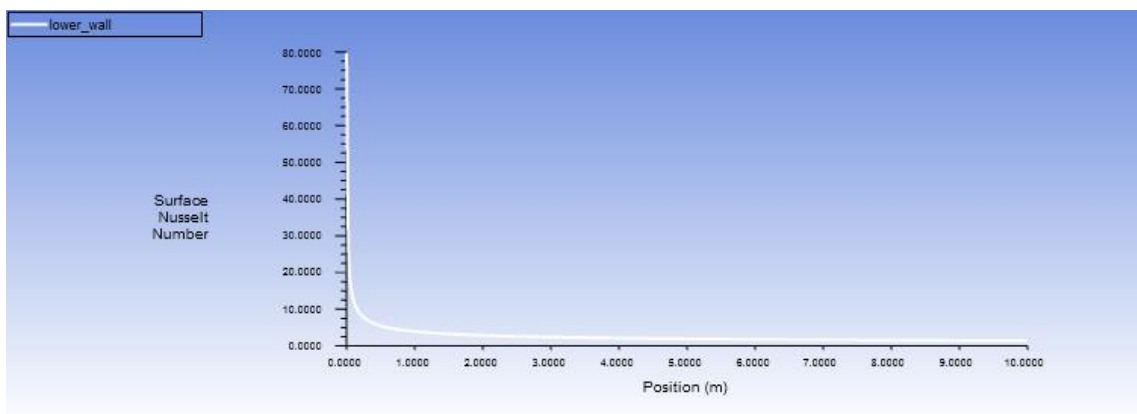
Figure(IV.2) : critère de convergence des résultats



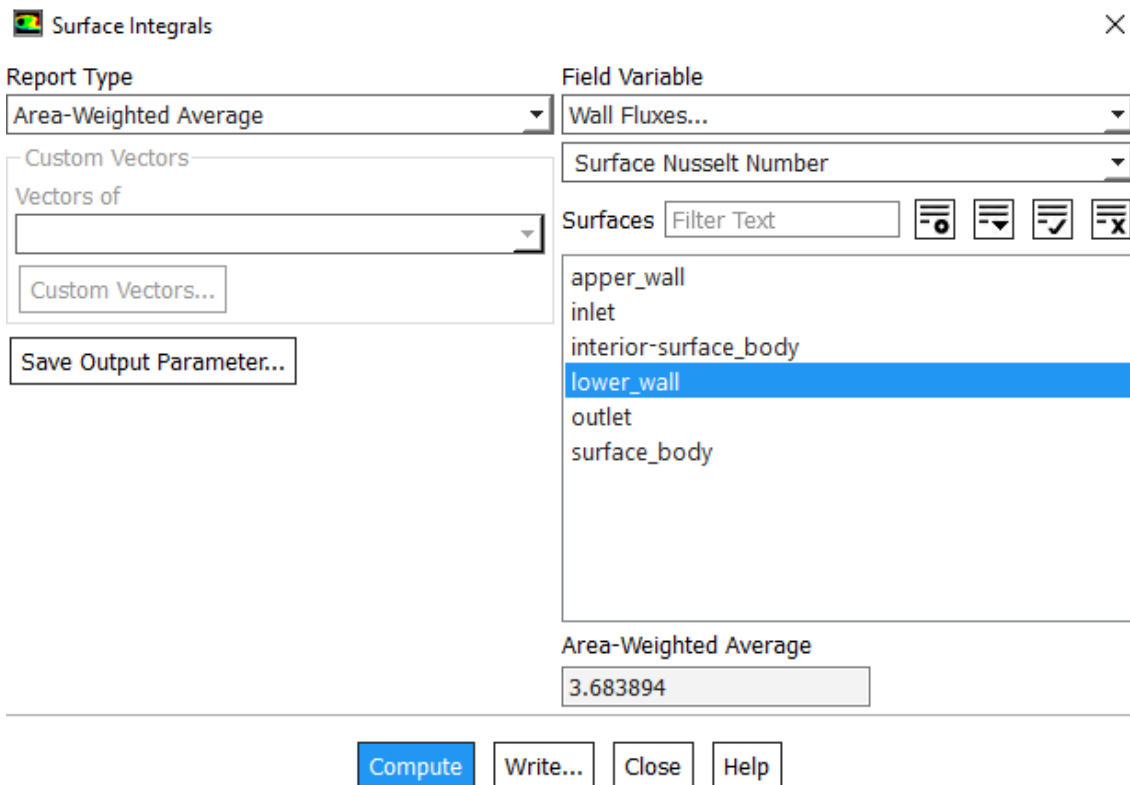
Figure(IV.3) : contour de vitesse



Figure(IV.4) : contour de température



Figure(IV.5) : évolution de nombre de Nusselt dans une surface a température constante.



7.1. Écoulement laminaire interne – nombre de Nusselt :

Température de surface constante

Dans un écoulement laminaire dans un tube à température de surface constante, le facteur de friction et le coefficient de transfert de chaleur restent constants dans la région complètement développée.

$$Nu_l = \frac{h \cdot l}{k_f} = 3.66 \quad [20]$$

Donc c'est validé comme on a pu obtenir cette valeur de Nuesselt donc on est dans la bonne voie et notre travail jusqu'ou là et bon.

7.2. Profil de vitesse pour un fluide Newtonien (eau) :

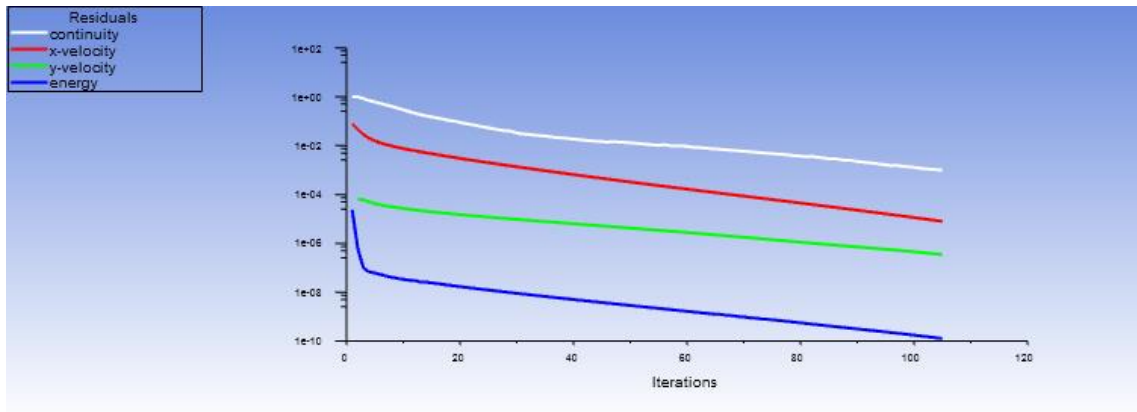
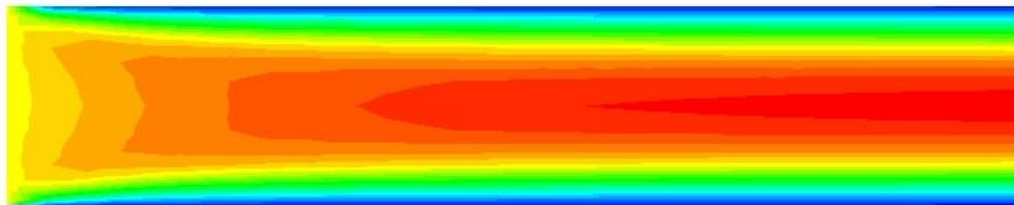
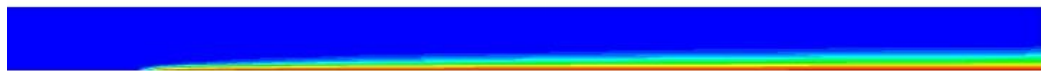


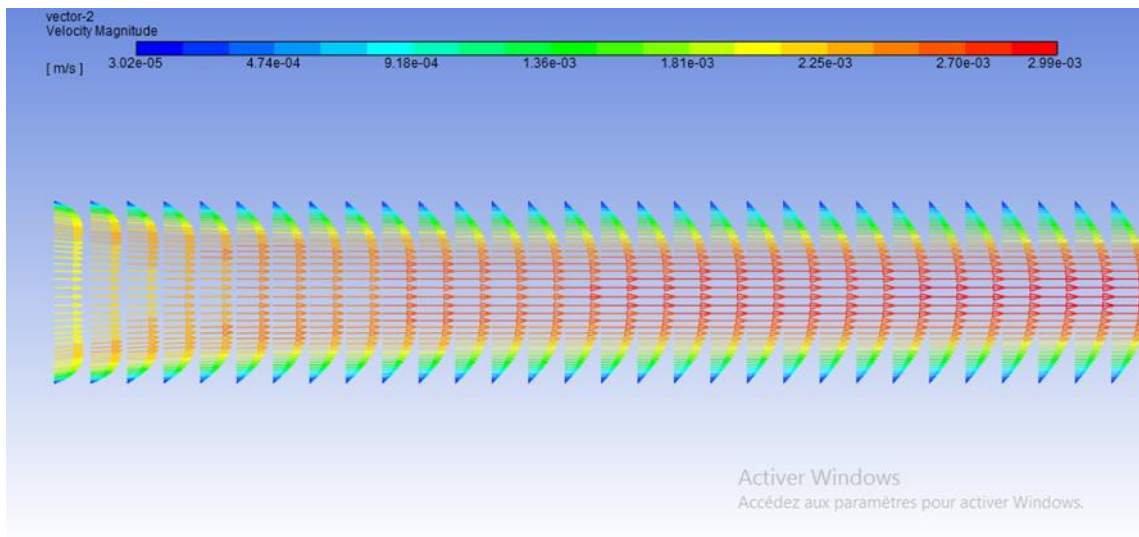
Figure (IV.6) : critère de convergence des résultats



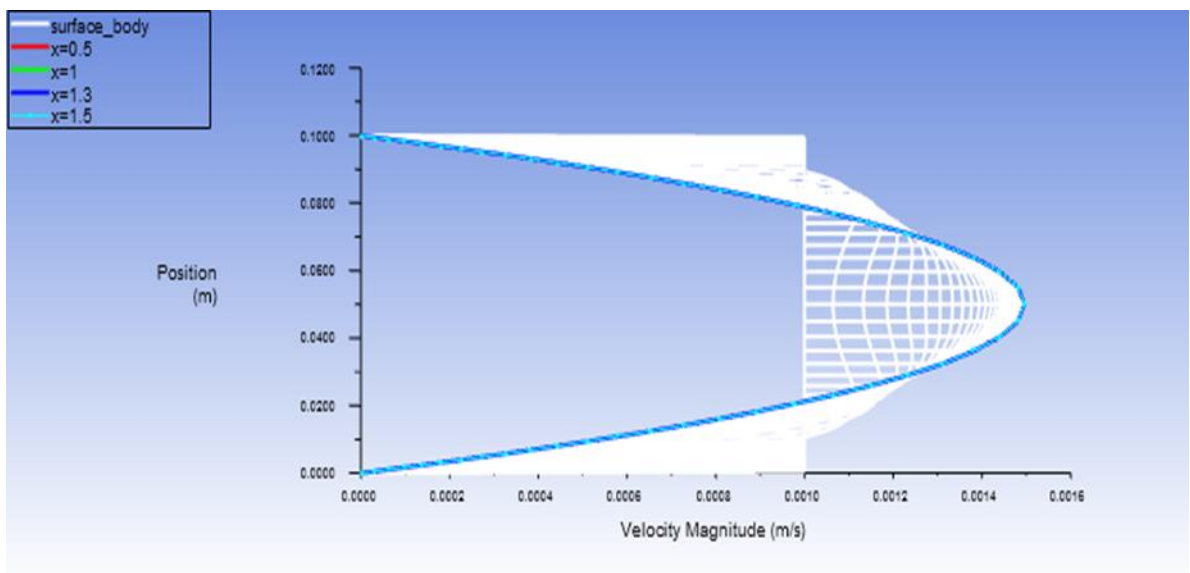
Figure(IV.7) : contour de vitesse



Figure(IV.8) : contour de température

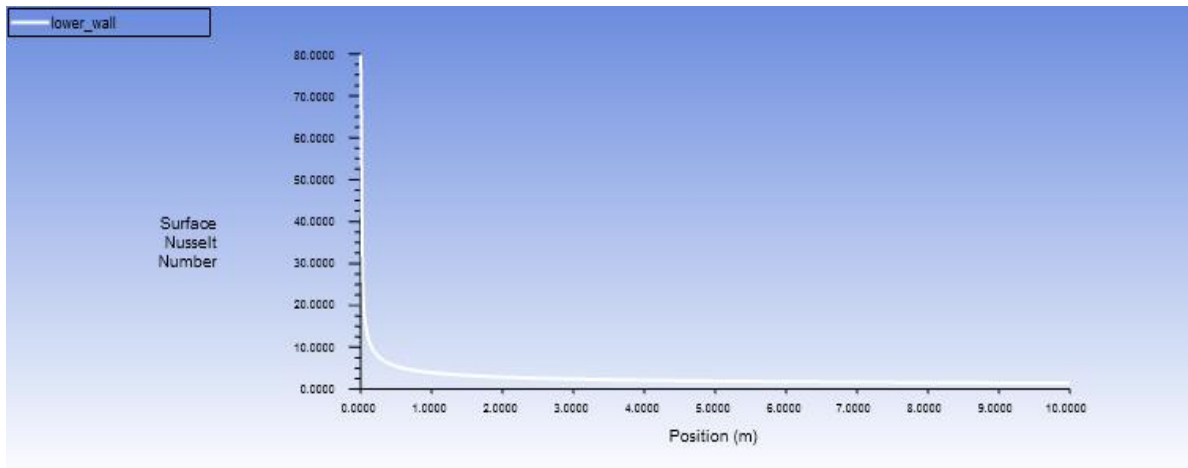


Figure(IV.9) : vecteur de vitesse



Figure(IV.10): Représente diagramme de profil de vitesse

Les figures(IV.6 jusqu'à IV.10) représentant les résultats du cas de fluide Newtonien « eau ». Nous nous observant que dans les vecteur vitesse on voit l'amélioration du profil de vitesse dé que il prend sa forme finale bien établi après une certaine longueur d'établissement .



Figure(IV.11): évolution de Nusselt

Tableau(IV.1):Représente la variation de nombre de Nusselt Nu et de la vitesse V obtenue pour différents valeurs des nombre de Reynolds

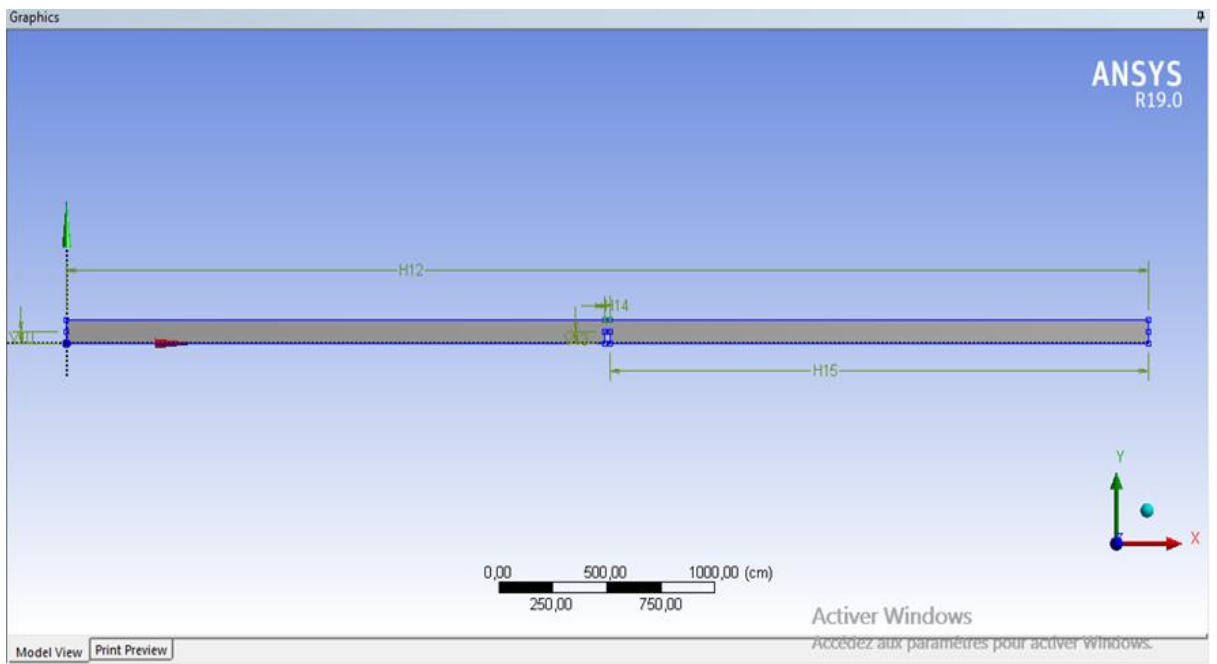
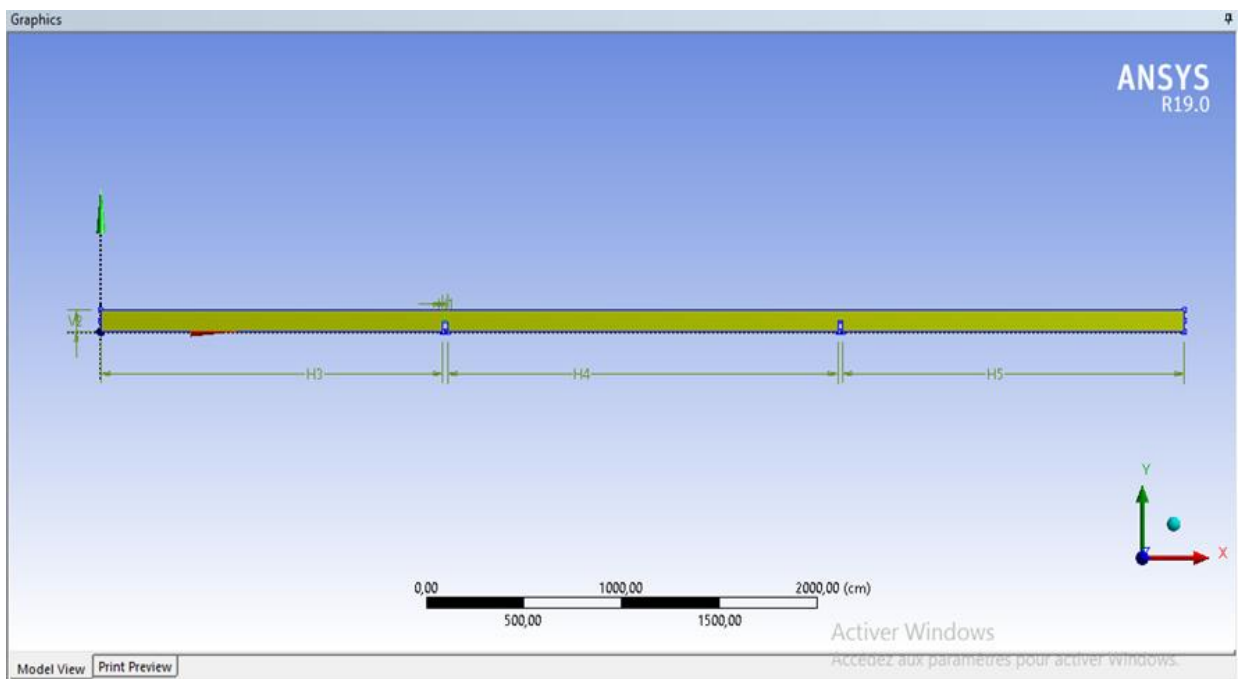
Re	V(m/s)	Nu
100	0.001	3.62
200	0.002	4.68
300	0.003	5.43
400	0.004	6.05

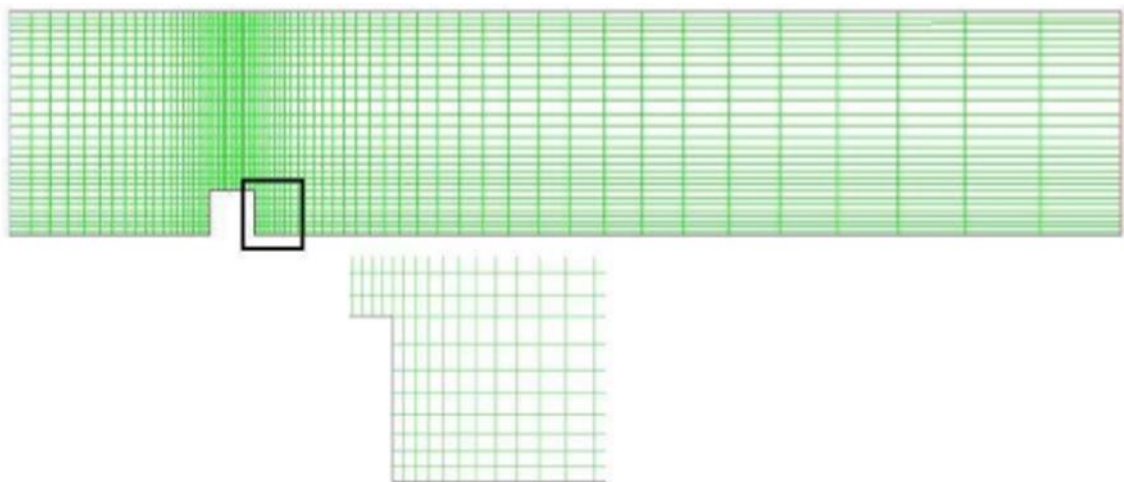
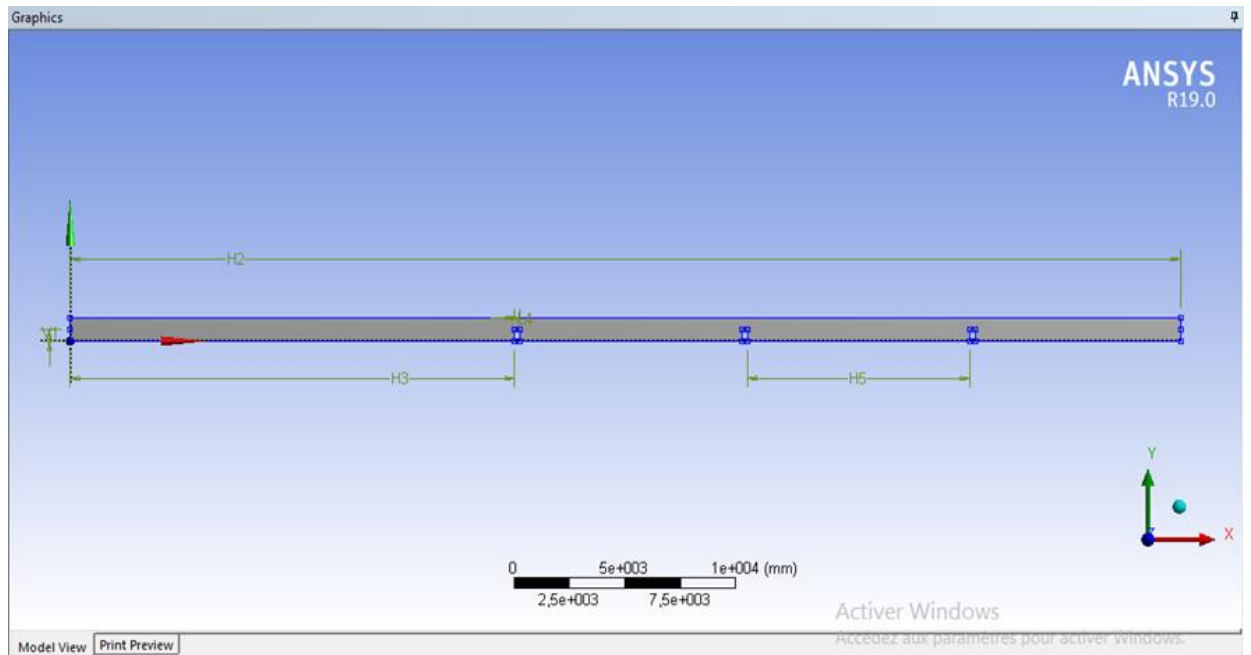
Discussion :

Dans ce cas nous Avons impose une vitesse uniforme d'entré et une température de 60C de différence, alors on remarque que avec l'augmentation du nombre de Reynold le nombre de Nusselt augmente en parallèle donc dans le cas Newtonien pour la première la première configuration le transfert de chaleur et positive .

B) avec chicane

7.3. Géométries et maillage sous Ansys-Fluent :

Pour un seule chicane :**Pour deux chicane :****Pour trois chicane :**



Figure(IV.12) : la géomètre et le maillage.

7.4.Discussion et résultats :

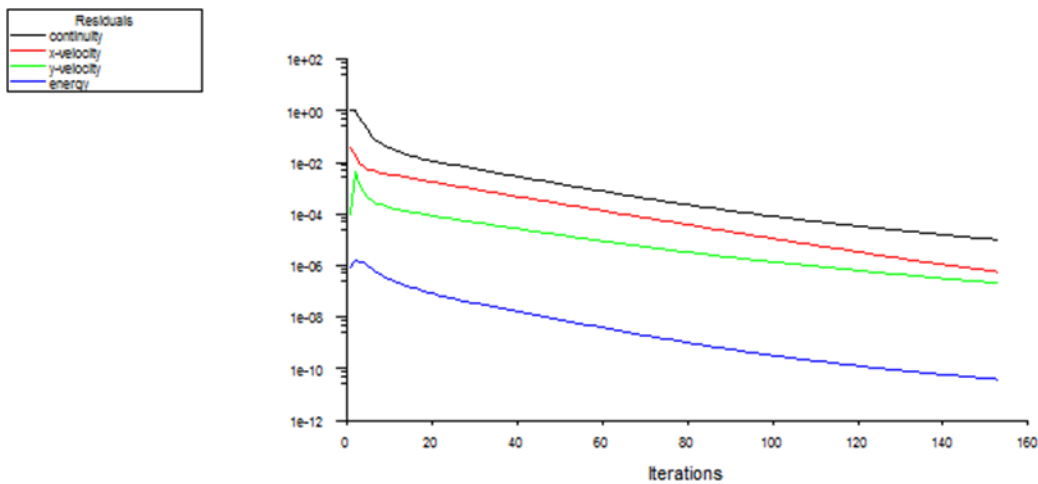
Variation des contours de vitesse et la valeur de Nusselt:

La variation des contours de vitesses et de la valeur de Nusselt pour 1 obstacle puis 2 obstacles puis 3 obstacles ;pour : $Re = (50, 100, 150, 200, 250, 300)$ dans le cas de chicane rectangulaire (hauteur de la chicane fait le $1/2$ et d'autre $1/4$ de la hauteur de la conduite).

Re	V
50	0.00005
100	0.0001
150	0.00015
200	0.0002
250	0.00025
300	0.0003

T_H	300 k
T_C	360 k

✚ Pour une seule chicane $Re=50$ de $\frac{1}{2}$ la hauteur de la conduite :



Scaled Residuals Jul 04, 2022
FLUENT 6.3 (2d, dp, pons, lam)

```

137 1.7583e-05 1.2877e-06 3.5199e-07 6.6363e-11 0:00:32 863
138 1.6934e-05 1.2202e-06 3.4030e-07 6.4055e-11 0:00:25 862
139 1.6300e-05 1.1567e-06 3.2912e-07 6.1861e-11 0:00:20 861
140 1.5734e-05 1.0970e-06 3.1828e-07 5.9674e-11 0:03:08 860
141 1.5152e-05 1.0408e-06 3.0786e-07 5.7628e-11 0:02:30 859
142 1.4603e-05 9.8789e-07 2.9776e-07 5.5614e-11 0:02:00 858
143 1.4153e-05 9.3840e-07 2.8809e-07 5.3768e-11 0:01:36 857
iter continuity x-velocity y-velocity energy time/iter
144 1.3671e-05 8.9185e-07 2.7875e-07 5.1848e-11 0:01:17 856
145 1.3174e-05 8.4804e-07 2.6961e-07 5.0129e-11 0:01:01 855
146 1.2738e-05 8.0666e-07 2.6093e-07 4.8424e-11 0:00:49 854
147 1.2320e-05 7.6757e-07 2.5251e-07 4.8080e-11 0:00:39 853
148 1.1890e-05 7.3075e-07 2.4437e-07 4.5912e-11 0:00:31 852
149 1.1457e-05 6.9607e-07 2.3655e-07 4.4251e-11 0:00:25 851
150 1.1075e-05 6.6328e-07 2.2903e-07 4.2766e-11 0:00:20 850
151 1.0656e-05 6.3238e-07 2.2170e-07 4.1344e-11 0:03:06 849
152 1.0290e-05 6.0313e-07 2.1475e-07 4.0049e-11 0:02:28 848
? 153 solution is converged
153 9.9343e-06 5.7551e-07 2.0798e-07 3.8785e-11 0:01:59 847

```

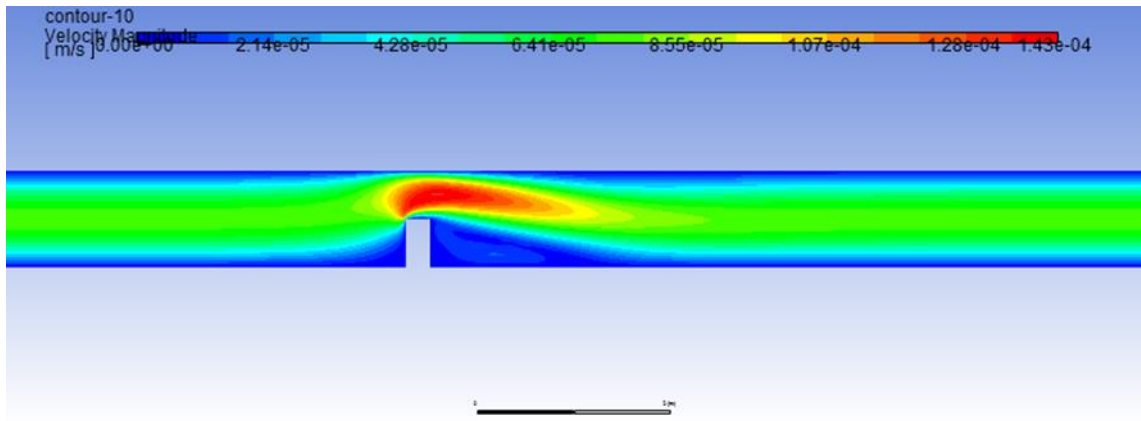


Figure (IV.13) : contour de vitesse

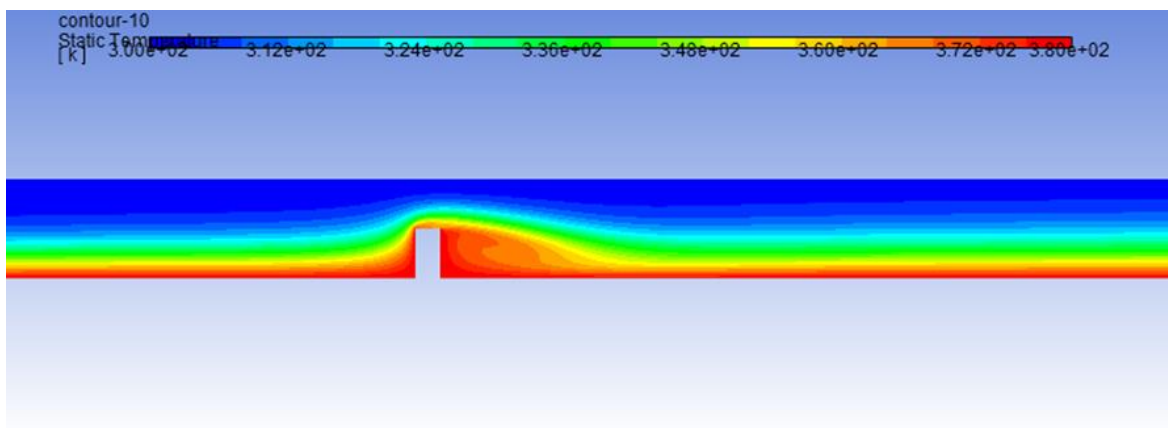


Figure (IV.14) : contour de température

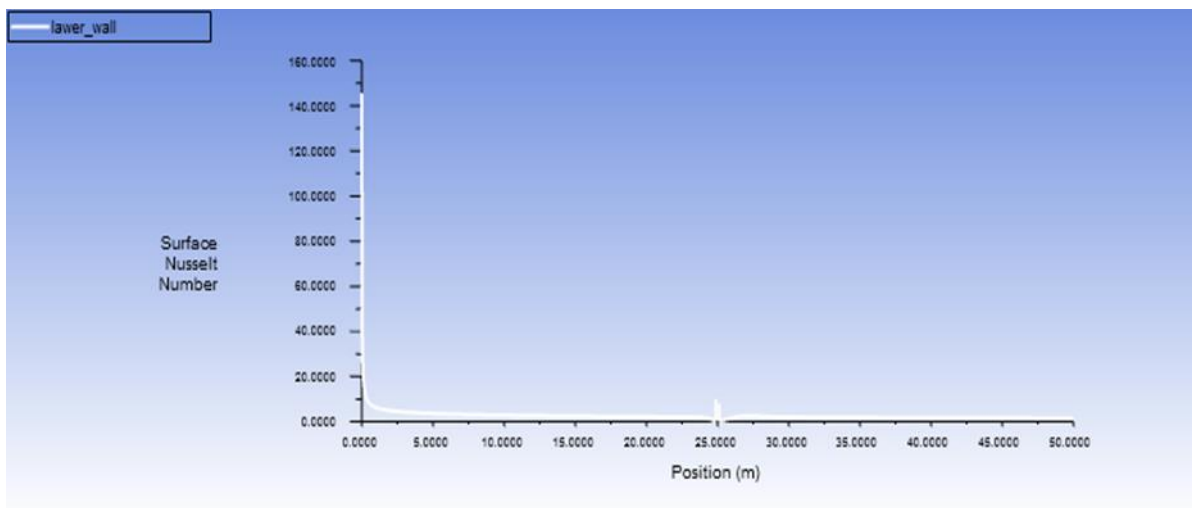
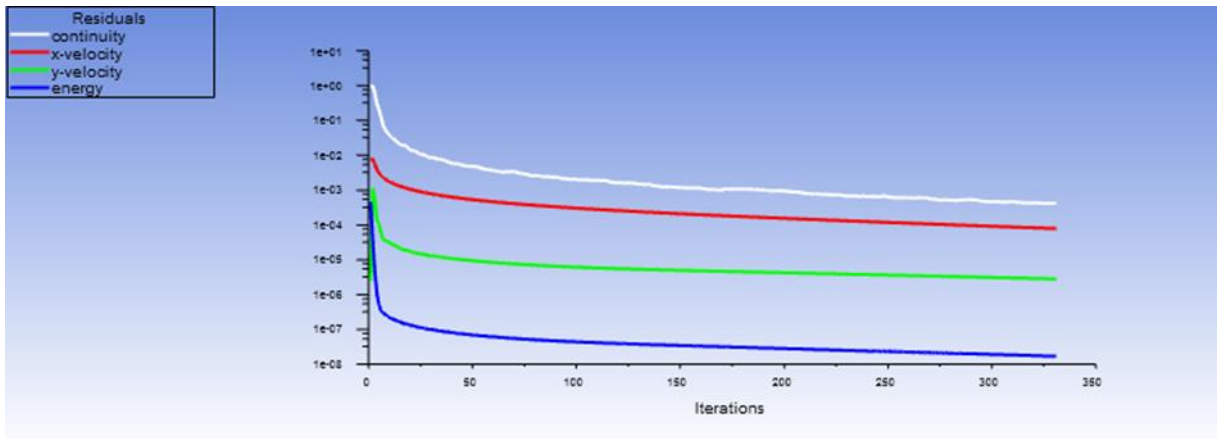
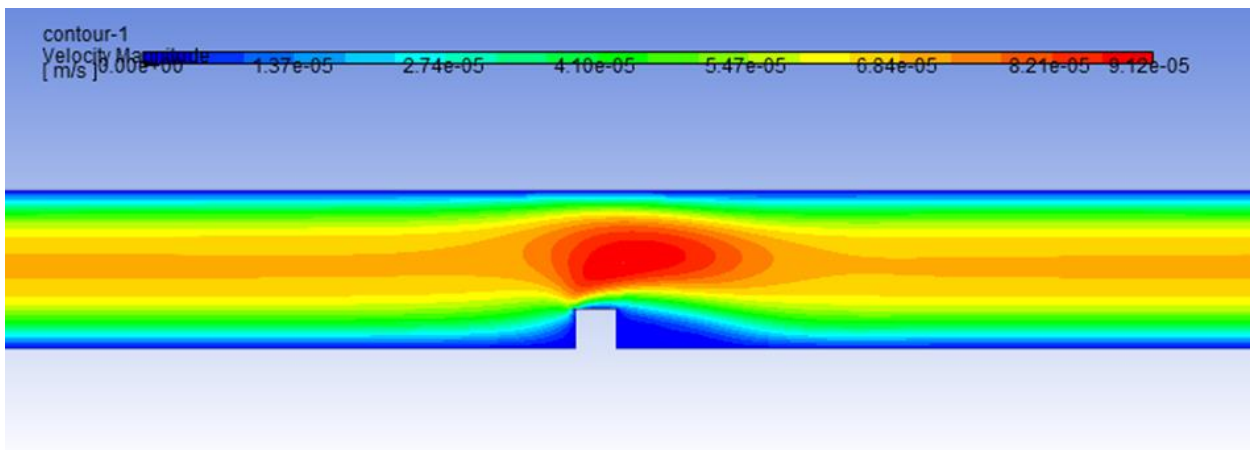


Figure (IV.15) : évolution du nombre de Nusselt

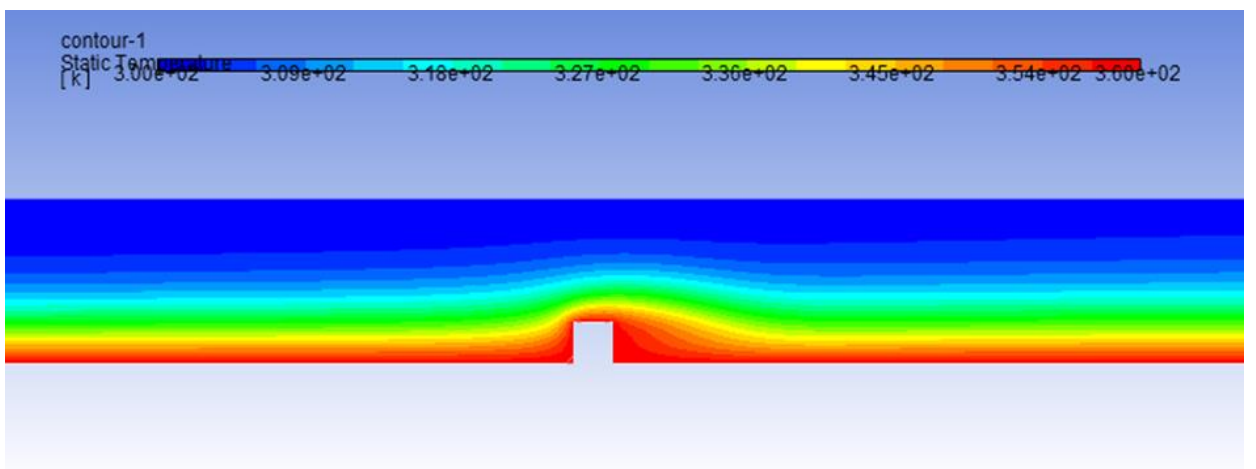
✚ Pour une seule chicane $Re = 50$ de $1/4$ la hauteur de la conduite :



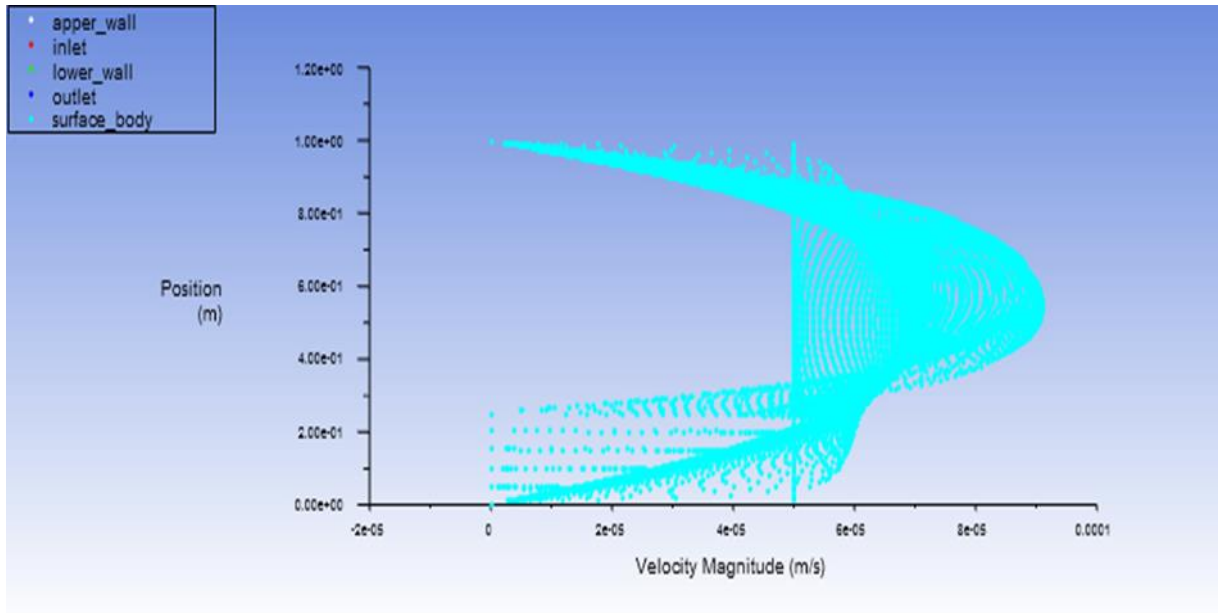
Figure(IV.16) : critère de convergence des résultats



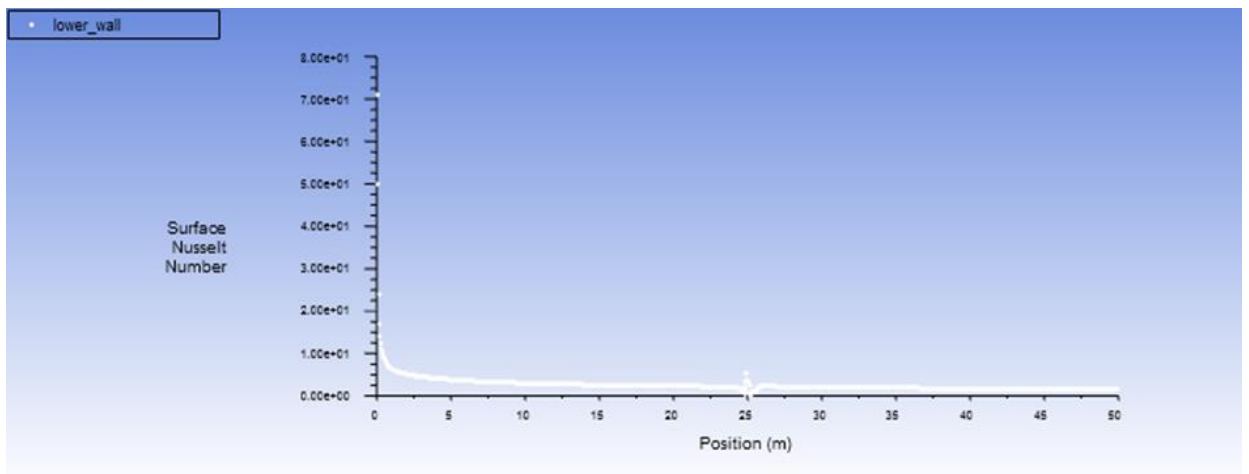
Figure(IV.17) : contour de vitesse



Figure(IV.18) : contour de température



Figure(IV.19) : profil de vitesse



Figure(IV.20) : évolution du nombre de Nusselt

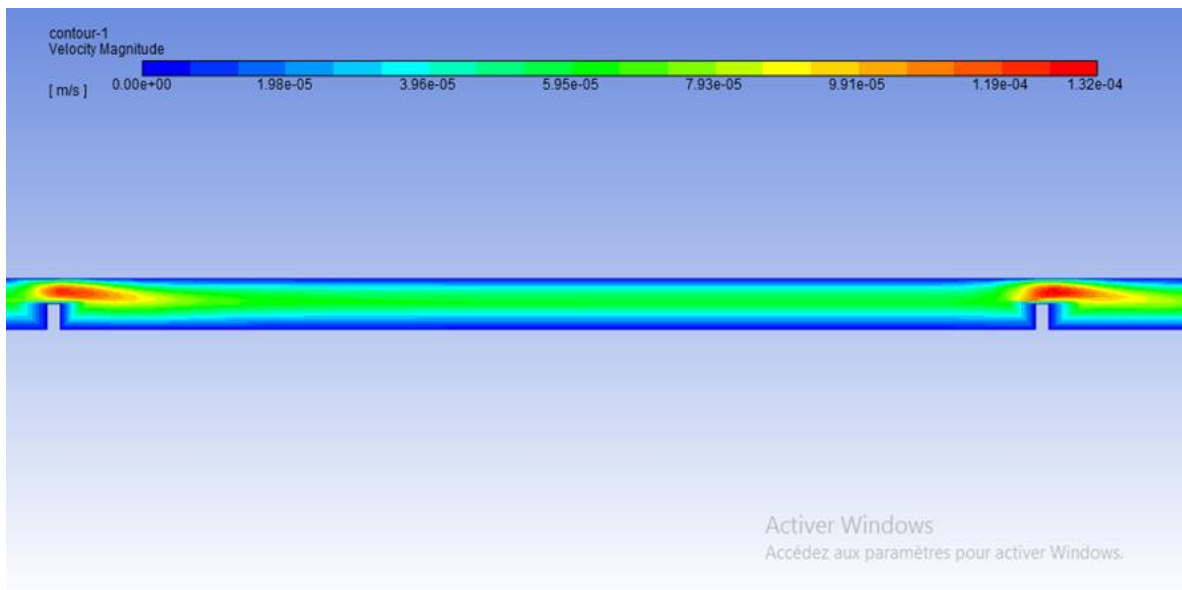
Tableau (IV.2) : représente la variation de nombre de Nusselt pour chicane de $\frac{1}{4} D$ de chicane $\frac{1}{2} D$ respectivement

Re	Nu	Nu
50	2.56	2.56
100	3.11	3.32
150	3.60	3.86
200	3.98	4.31
250	4.20	4.71
300	5.42	5.11

Comparaison entre chicane de 1/4 D et de 1/2D :

On joue avec la hauteur de la chicane de $\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{2}$ de la hauteur globale de la conduite on trouve que y a pas de différence touchante dans le nombre de Nusselt alors on continue les autres application avec chicane de $\frac{1}{2}$ D.

+ Deux chicane $Re=50$:



Figure(IV.21) : contour de vitesse

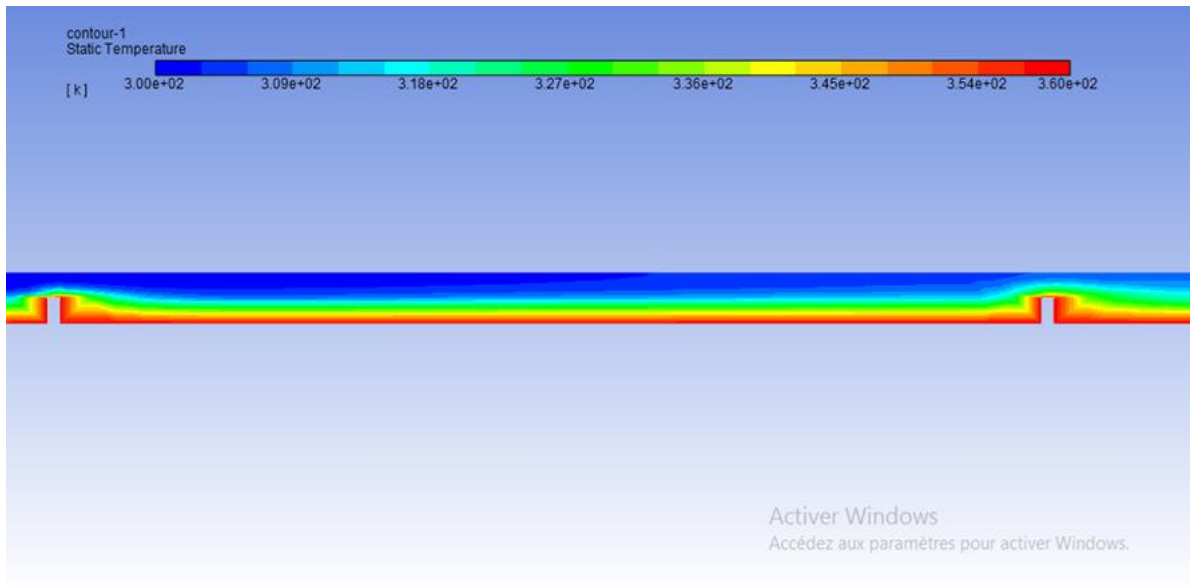
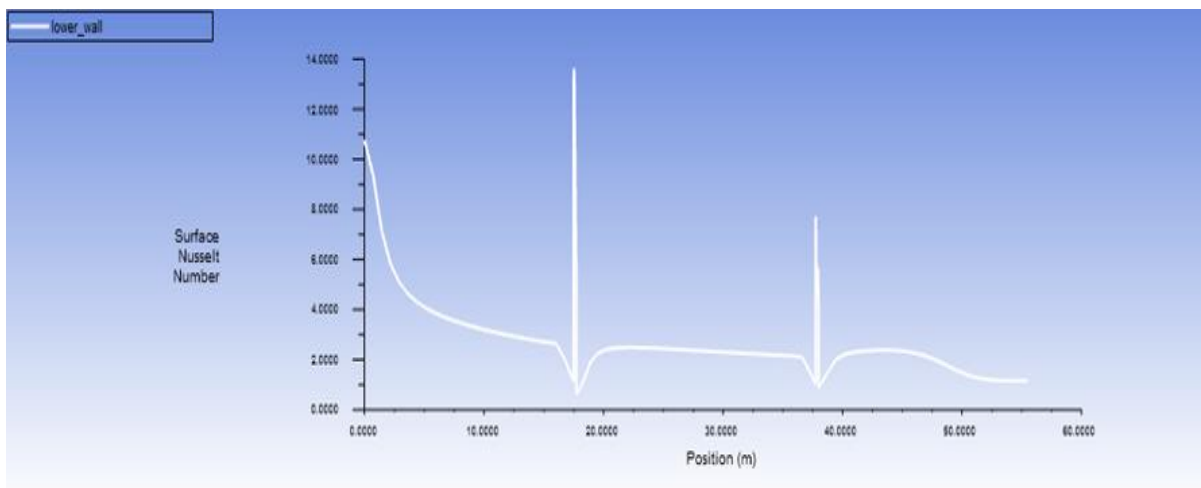


Figure (IV.22) : contour de température



Figure(IV.23): évolution de Nusselt

✚ Trois chicane $Re = 50$:

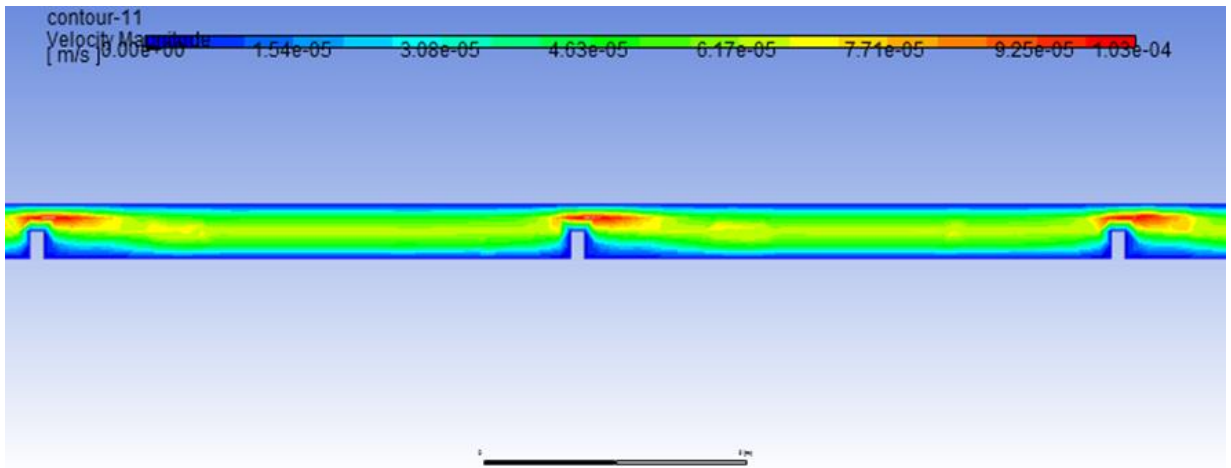
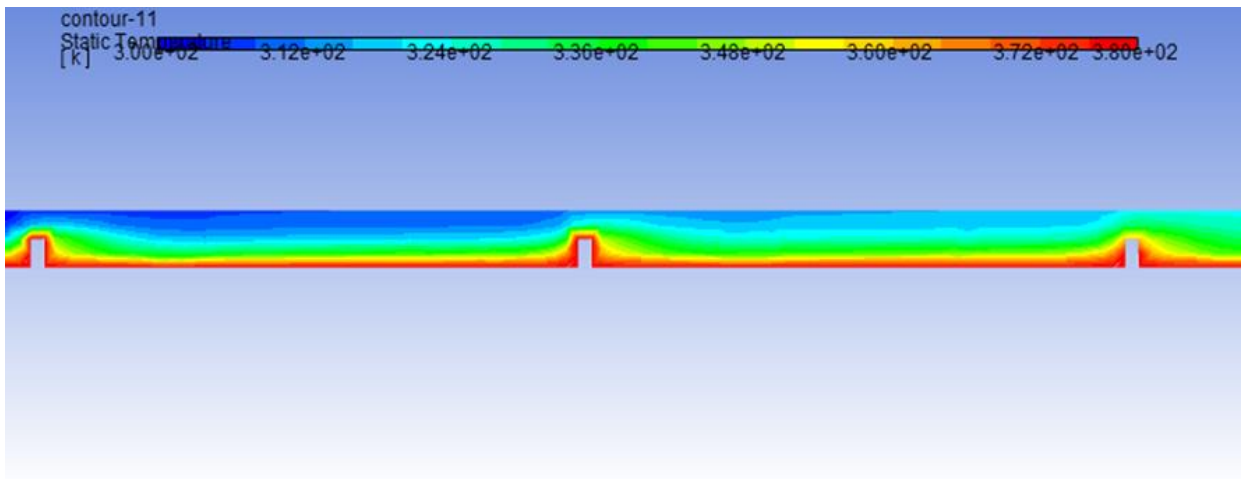
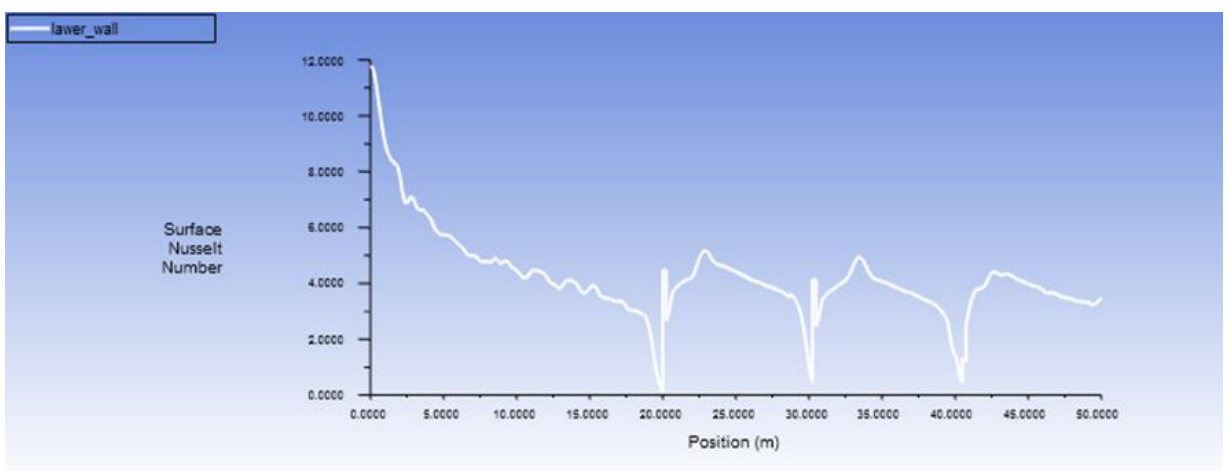


Figure (IV.24) : contour de vitesse



Figure(IV.25) : contour de température



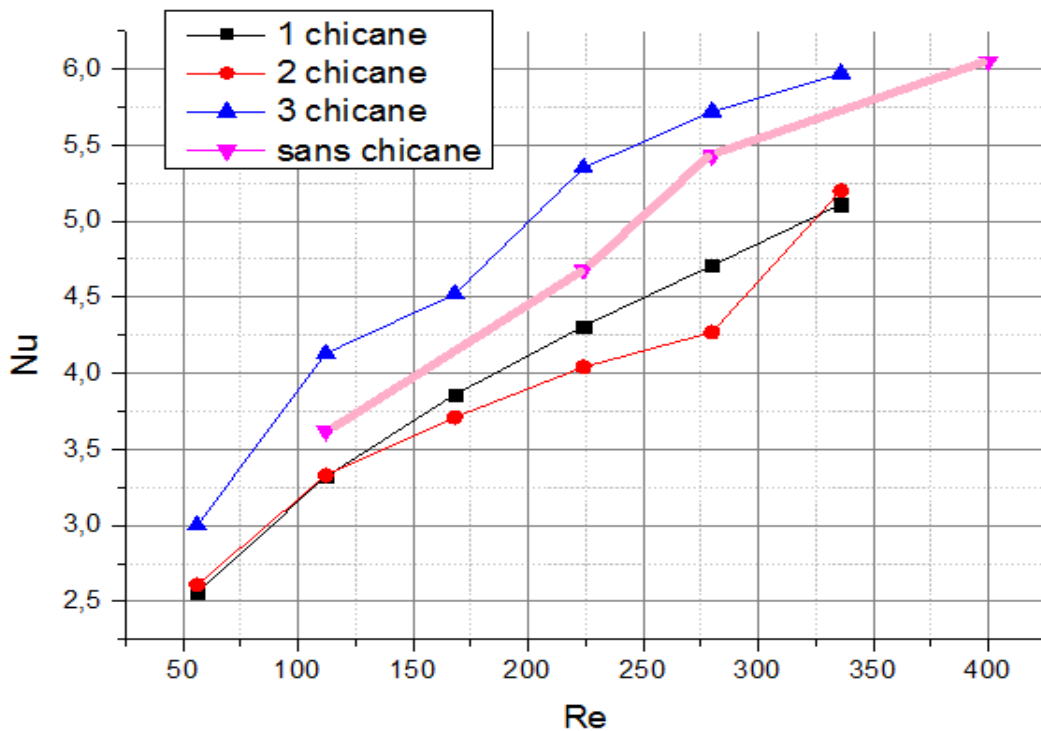
Figure(IV.26): évolution de Nusselt

Observation :

Les Figure de (IV.21) ou (IV.26) on remarquent d'après les contours de vitesse que la vitesse ce maximalise au dessus de la chicane a cause de la diminution de la section d'écoulement ce qui fait la température augmente .

Tableau (IV.3) : Représente la variation de nombre de Nusselt de fluide Newtonien

Re	1 chicane	2 chicane	3 chicane
50	2.56	2.61	3.00
100	3.32	3.33	4.13
150	3.86	3.71	4.52
200	4.31	4.04	5.35
250	4.71	4.27	5.72
300	5.11	5.20	5.97



Figure(IV.27) :Évolution de nombre de Nusselt des deux cas pour l'eau sans et avec chicane

8. Le Cas 2 Fluide non-Newtonien (pétrole) :

A) Sans chicane :

notre fluide possédé les caractéristique suivantes :

Properties

Density (kg/m ³)	constant	Edit...
	806	
Cp (Specific Heat) (j/kg-k)	constant	Edit...
	2100	
Thermal Conductivity (w/m-k)	constant	Edit...
	0.16	
Viscosity (kg/m-s)	constant	Edit...
	0.14375	

Change/Create Delete Close Help

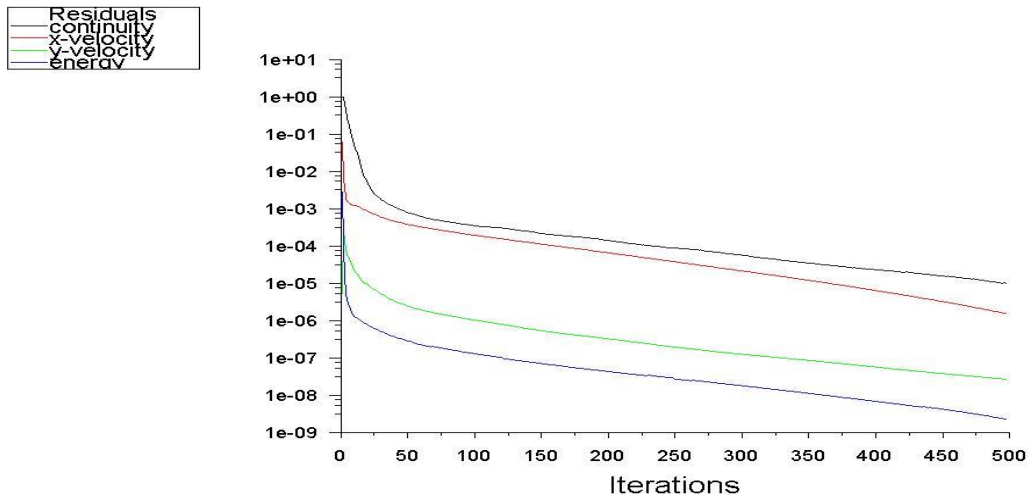
8.1.Utilisant le modèle de Herschel-Bulkly :

Ses propriétés est comme suit :

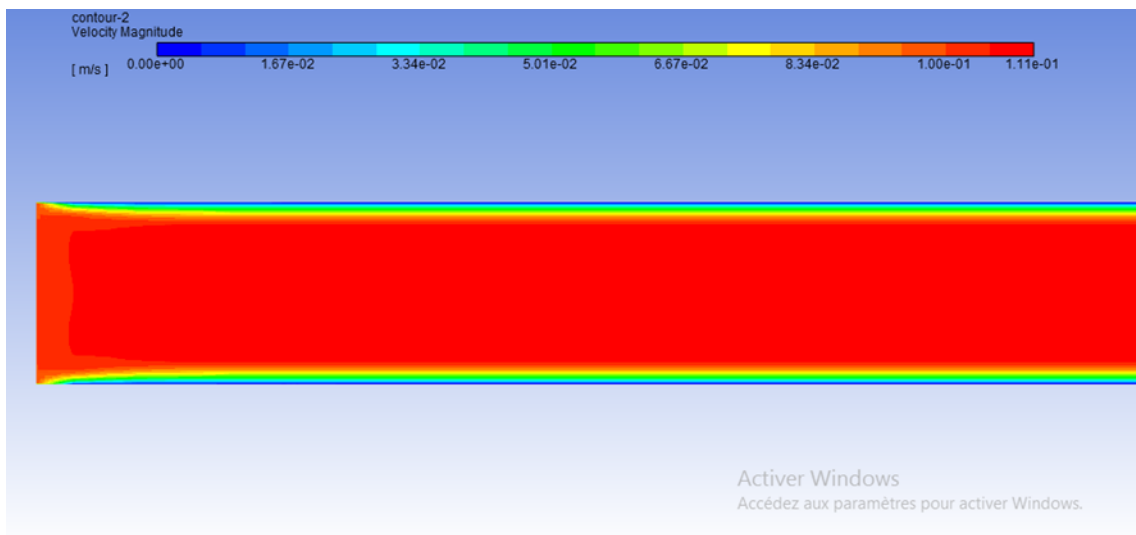
Tableau(IV.4) : Paramètres rhéologiques de Modèle d'Herschel-Bulkley pour différentes températures du fluide étudié.

τ_0	K	N
0.85	0.076	0.86
0.6505	0.247	0.71
0.4192	0.0305	0.99

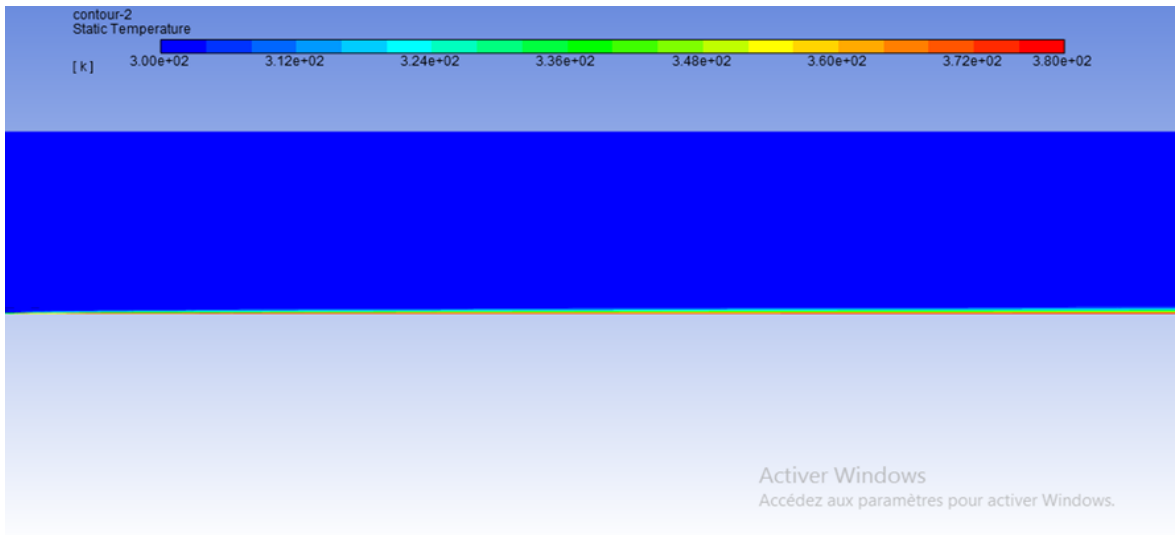
✚ Profile de vitesse pour $n=0.86$:



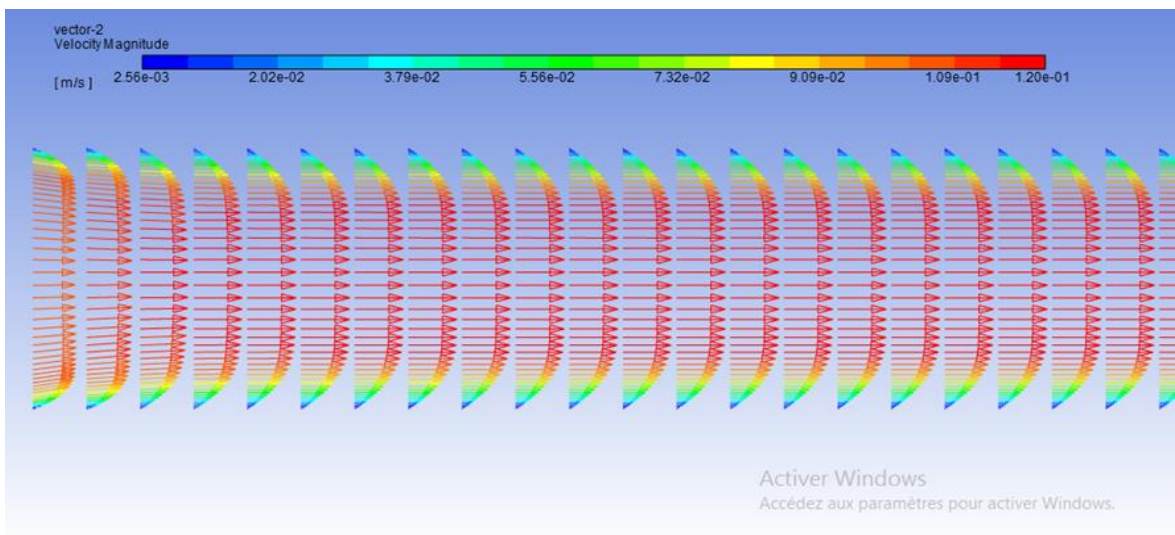
Figure(IV.28) : critère de convergence des résultats



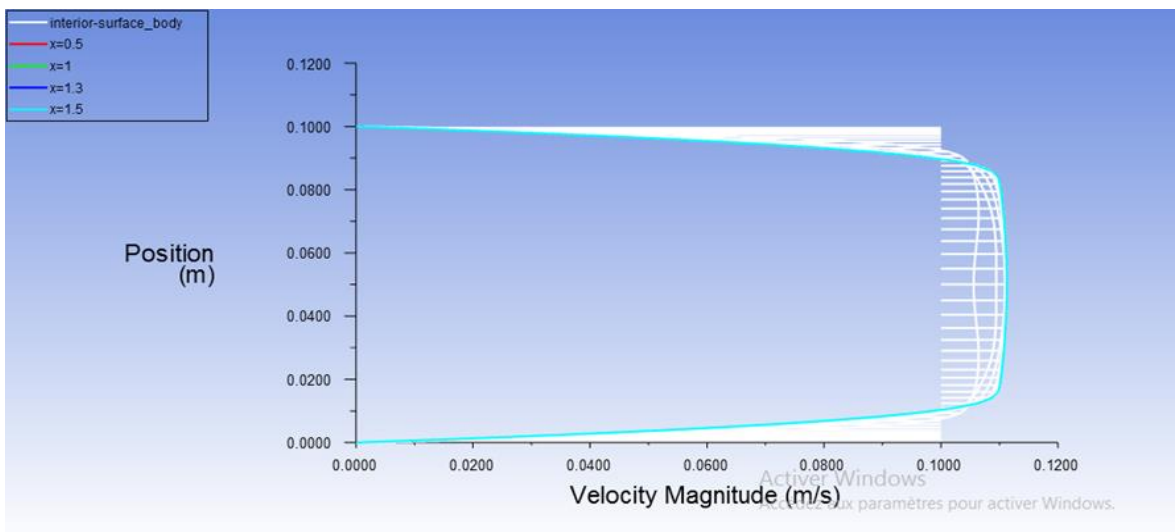
Figure(IV.29): contour de vitesse



Figure(IV.30): contour de température

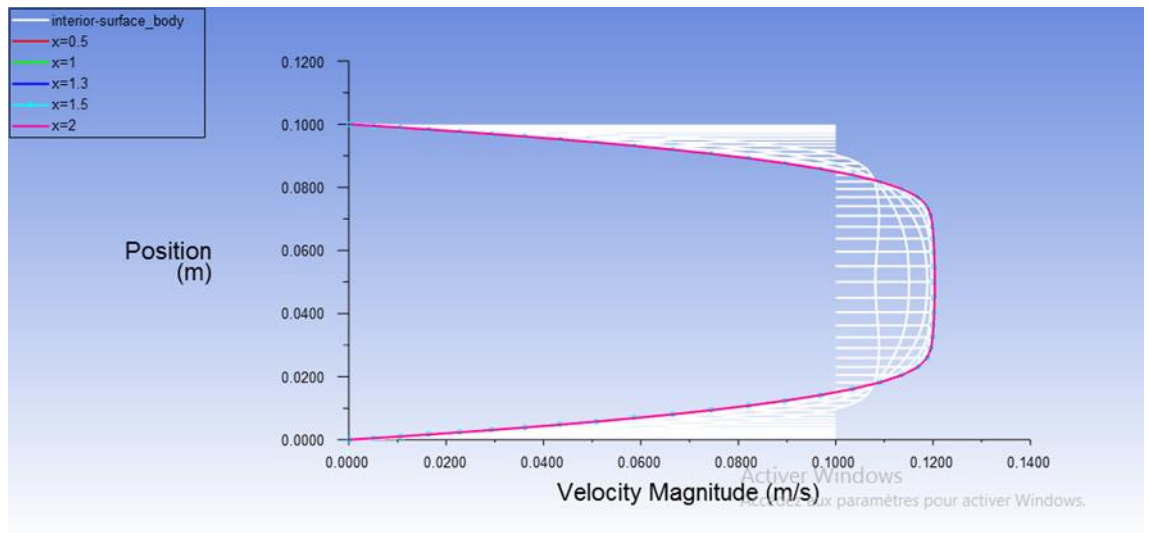


Figure(IV.31): vecteur de vitesse

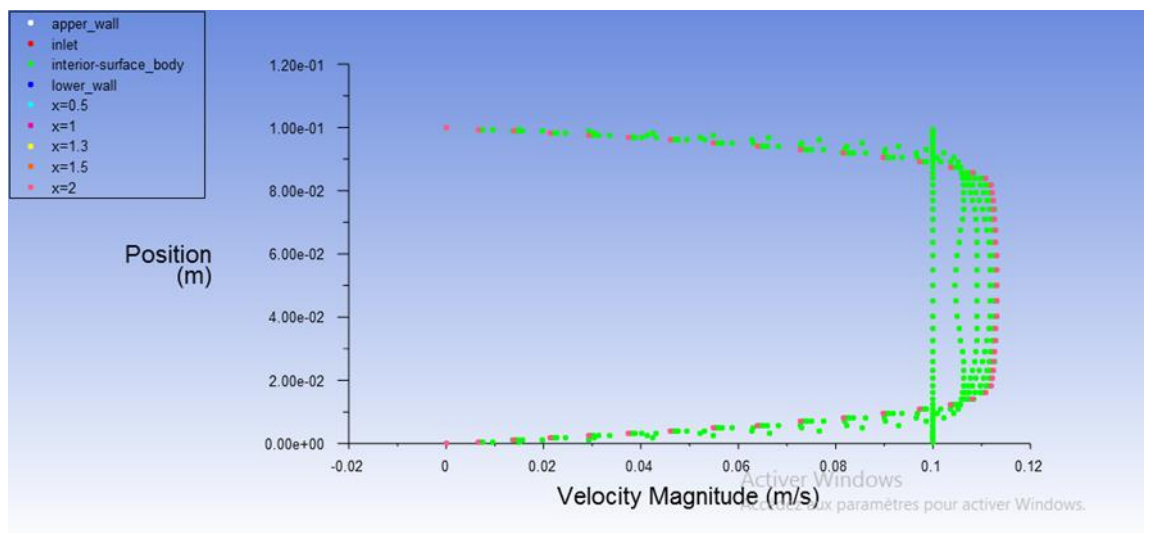


Figure(IV.32) : profil de vitesse

✚ Profil de vitesse pour $n=0.71$:



✚ Profil de vitesse pour $n=0.99$



D'après les résultats obtenus des profils de vitesse de différents indices « n » on voit que le profil dans le cas Non-Newtonien est moins parabolique que dans le cas Newtonien qui est plus parabolique et c'est à cause de la viscosité et la contrainte de

cisaillement qui obstruer la circulation du fluide ou niveau des parois et cette forme obtenue caractérise les fluide Rhéofluidifiant .

Tableau(IV.5):Représente la variation de la longueur d'établissement pour différents nombres de Reynolds à travers la section de la conduite.

Re	L/ D_n=0.86	L/D n=0.71	L/D _n=0.99
56	0.3	0.366	0.4
112	0.7	0.8	0.9
168	1.1	1.16	1.3
224	1.466	1.533	1.6
280	1.733	1.9	1.966
336	1.966	2.14	2.21

8.2.coefficient de frottement :

Le facteur de frottement s'obtient en utilisant un diagramme de Moody , fonction du nombre de Reynolds et de la rugosité du tube.

Les diagrammes de Moody publiés dans la littérature peuvent indifféremment donner le facteur de frottement de Darcy f_D ou bien le « fanning factor » f_F . Un moyen commode de vérifier est d'observer la droite représentant l'équation de poiseuille :

$f_D = 64/Re$ tandis que $f_F = 16/Re$.

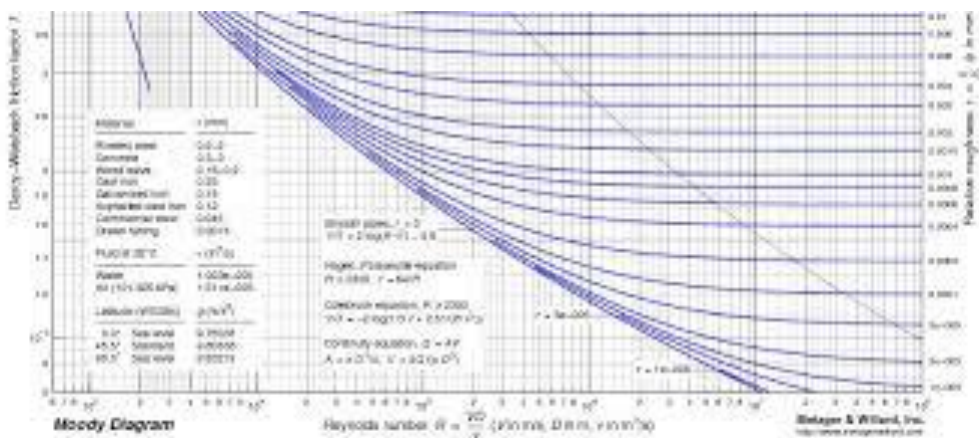


Figure (IV.33): diagramme de moody

Ce diagramme rassemble les résultats obtenus à partir de l'équation de Poiseuille pour le régime laminaire

• Equation de Poiseuille

$$f = \frac{64}{Re} \quad (IV.1)$$

Variables et Unités

Aussi de nombreux auteurs ont proposé des relations explicites pour le calcul de f dont celles de Stuart W. Churchill :

✚ La relation #1 de Churchill (1973) :

Equation 1 de S. W. Churchill :

$$1 \frac{f}{8} = 2,457 \ln [7 Re^{0,9} + 0,27 \varepsilon D] - 1 \quad (IV.2)$$

Re : nombre de Reynolds

ε : rugosité du tube [m]

D : diamètre du tube [m]

$$\frac{1}{\sqrt{\frac{f}{8}}} = 2,457 \ln \left[\left(\frac{7}{Re} \right)^{0,9} + 0,27 \frac{\varepsilon}{D} \right]^{-1} \quad (IV.3)$$

✚ ou encore la relation #2 de Churchill (1977) :

Equation 2 de S. W. Churchill :

$$f = 8 \left[8 Re^{12} + 1 A + B^{3/2} \right]^{-1/12} \quad (IV.4)$$

Avec :

$$A = \{ 2,457 \ln [7 Re^{0,9} + 0,27 \varepsilon D] - 1 \}^{16} \quad B = 37530 Re^{16} \quad (IV.5)$$

Re : nombre de Reynolds

ε : rugosité du tube [m]

D : diamètre du tube [m]

$$f = 8 \left[\left(\frac{8}{Re} \right)^{12} + \frac{1}{(A + B)^{3/2}} \right]^{1/12} \quad (\text{IV.6})$$

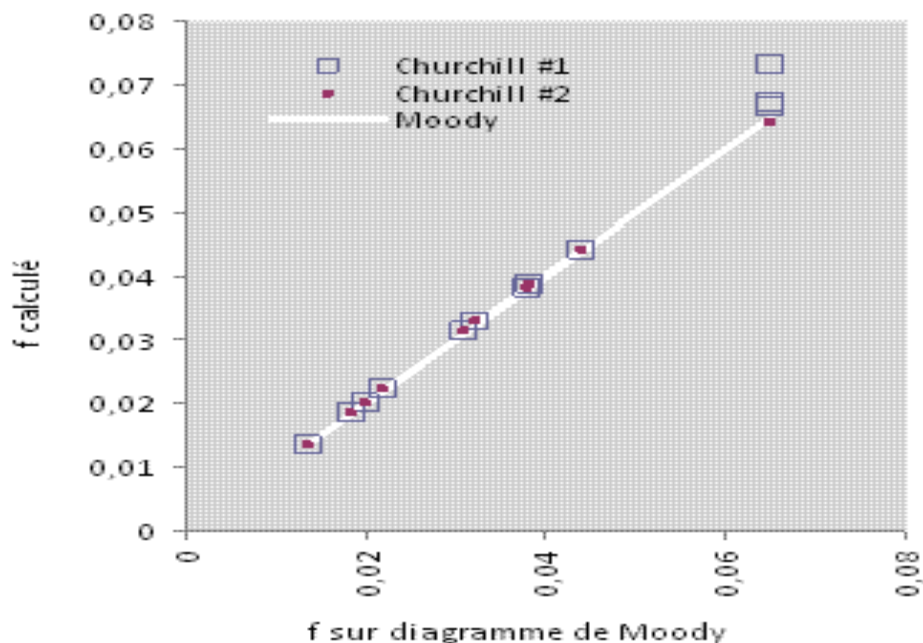
$$A = \left\{ 2,457 \ln \left(\left(\frac{7}{Re} \right)^{0,9} + 0,27 \frac{\epsilon}{D} \right)^{-1} \right\}^{16} \quad (\text{IV.7})$$

$$B = \left(\frac{37530}{Re} \right)^{16} \quad (\text{IV.8})$$

La comparaison des résultats obtenus avec les deux équations de Churchill montrent qu'elles représentent toutes deux correctement le diagramme de Moody dans le domaine turbulent, mais la deuxième équation de Churchill représente mieux le domaine laminaire.

En conséquence, pour les programmes de calcul, il conviendra d'adopter :

- soit la relation de Poiseuille pour $Re < 2000$ et Churchill 1 pour $Re > 2000$
- soit la relation de Churchill 2 pour tout le domaine



Figure(IV.34) : diagramme comparatif entre Churchill et Moody

8.3. Résultats de simulation (coefficient de frottement et nombre de Nusselt) pour la configuration sans chicane :

Tableau (IV.6) : représentant la variation de nombre de Nusselt Nu et de la vitesse V et le coefficient de frottement Cf obtenu pour différent nombre de Reynolds

❖ $n=0.86$:

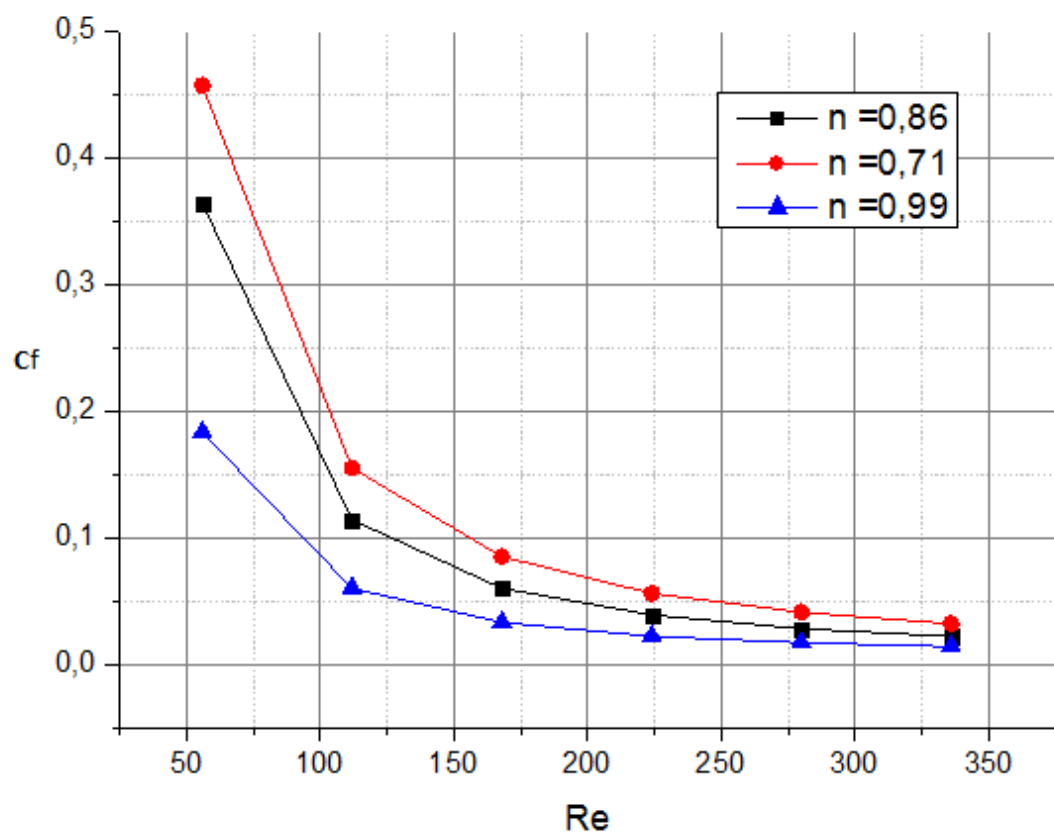
V	Re	Nu	Cf
0.1	56	10.81	0.364
0.2	112	14.02	0.114
0.3	168	16.12	0.060
0.4	224	17.72	0.039
0.5	280	19.06	0.028
0.6	336	20.26	0.022

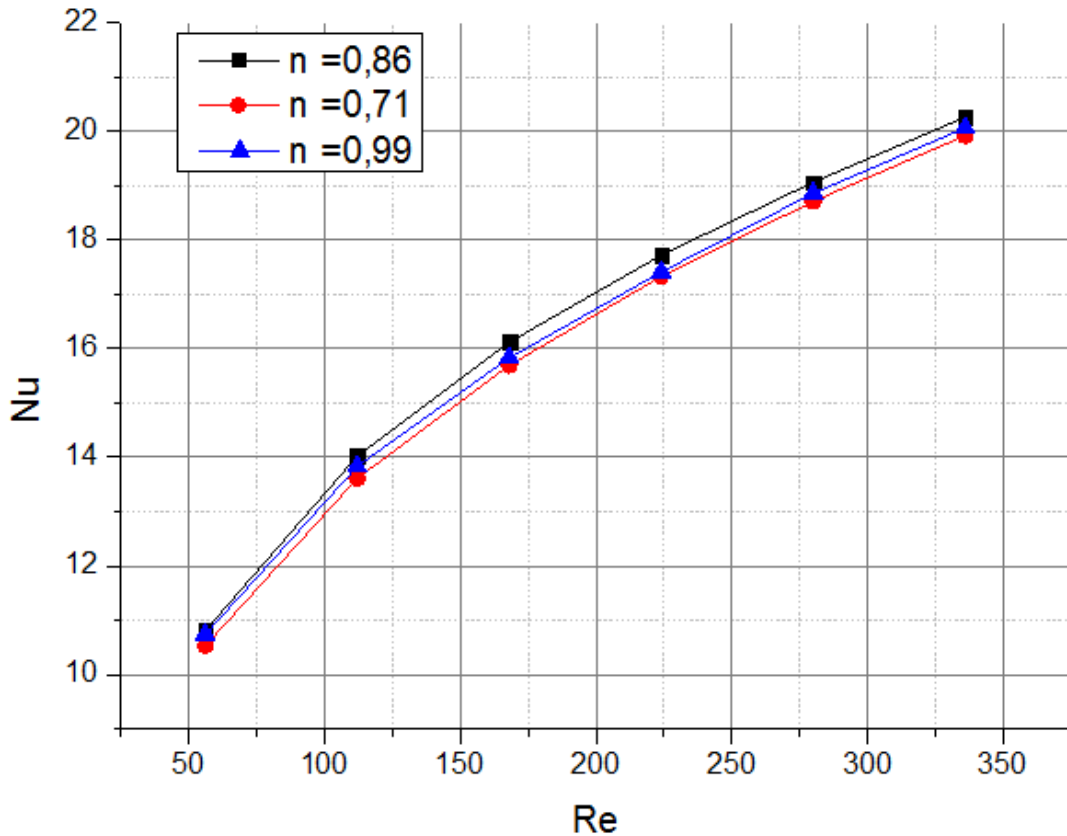
❖ $n=0.71$:

Nu	Cf
10.53	0.457
13.61	0.155
15.69	0.085
17.33	0.056
18.71	0.041
19.92	0.032

❖ $n=0.99$:

Nu	C_f
10.74	0.183
13.83	0.060
15.83	0.033
17.41	0.022
18.86	0.017
20.06	0.014





Figure(IV.35): Coefficient de frottement et Nusselt en fonction du nombre de Reynolds basé sur la viscosité pariétale pour $n=0.86$ et $n=0.71$; $n=0.99$.

❖ **Observation des résultats :**

D'après les résultats de nombre de Nusselt trouvé pour n'importe quel indice « n » (0.86 ,0.71 ,0.99) on remarque que à chaque fois le nombre de Reynolds augmente donc la vitesse augmente aussi plus le nombre de Nusselt augmente proportionnellement

Concernant le coefficient de frottement ou (le coefficient de perte de charge) on remarque sa diminution a chaque fois le Reynolds augment c'est-à-dire y a moins de perte charge plus la vitesse augmente .

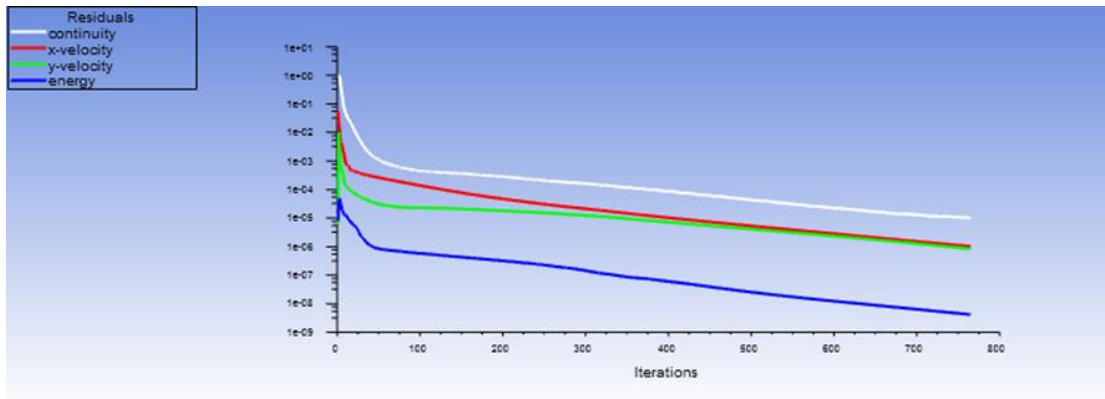
B) avec chicane :

Re	V
50	0.0089
100	0.018
150	0.026
200	0.035

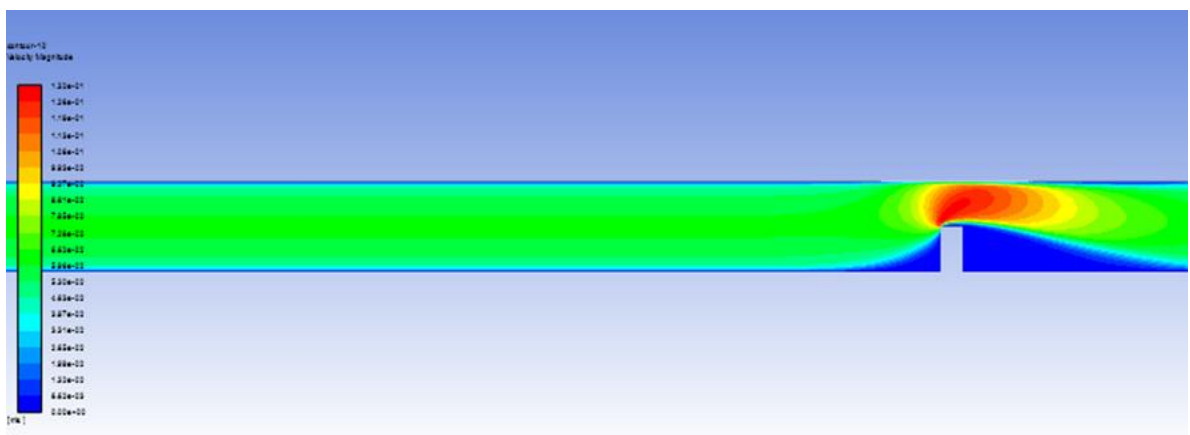
250	0.044
300	0.053

✚ une seule chicane :

- Pour $n=0.86$ et $Re=50$:



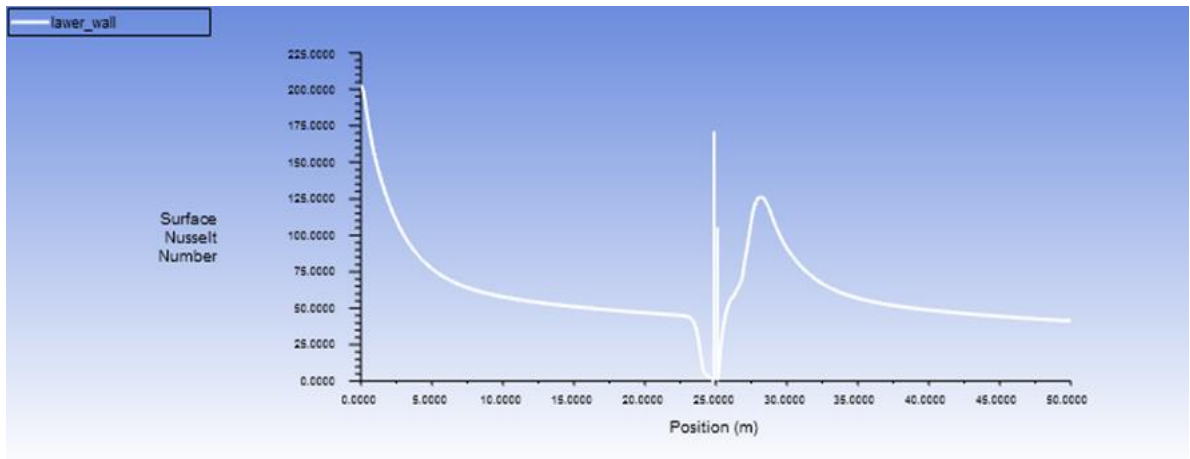
Figure(IV.36) : critère de convergence des résultats



Figure(IV.37): contour de vitesse

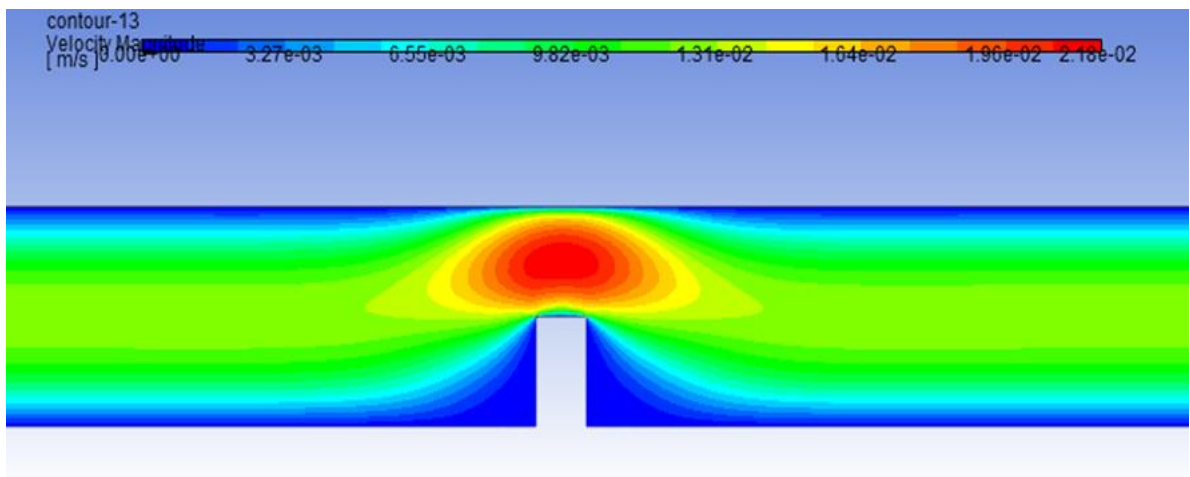


Figure(IV.38) : contour de température

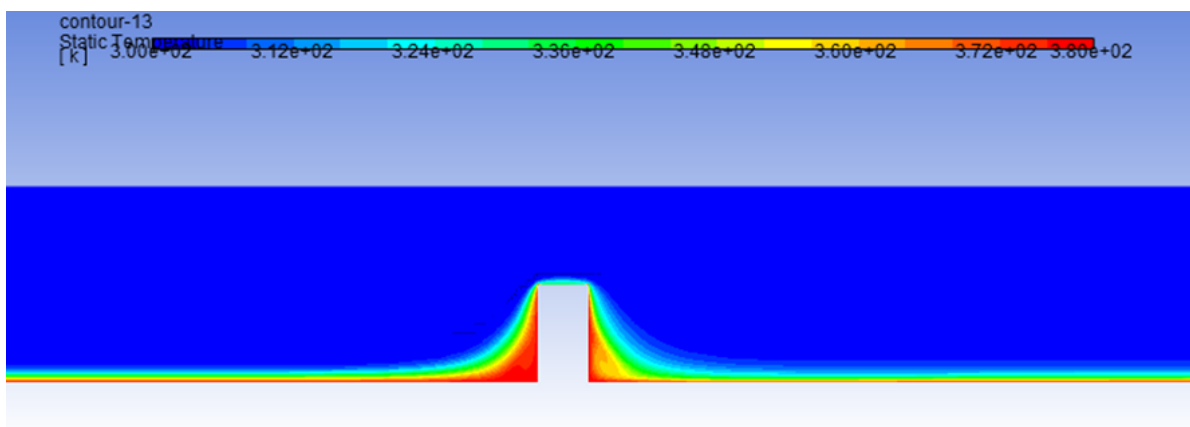


Figure(IV.39): diagramme de Nusselt

✚ pour $n=0.71$ $Re=50$:



Figure(IV.40): contour de vitesse



Figure(IV.41): contour de température

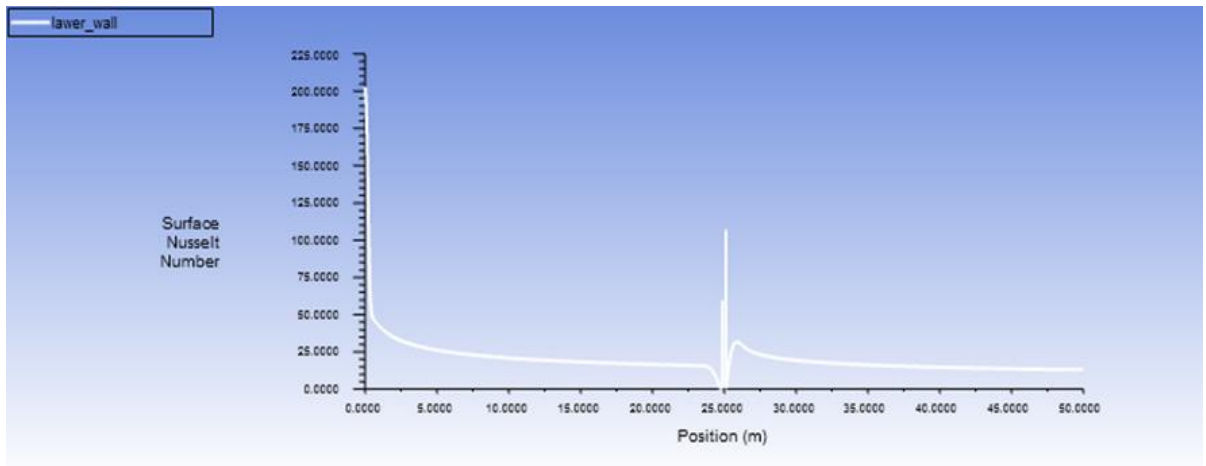
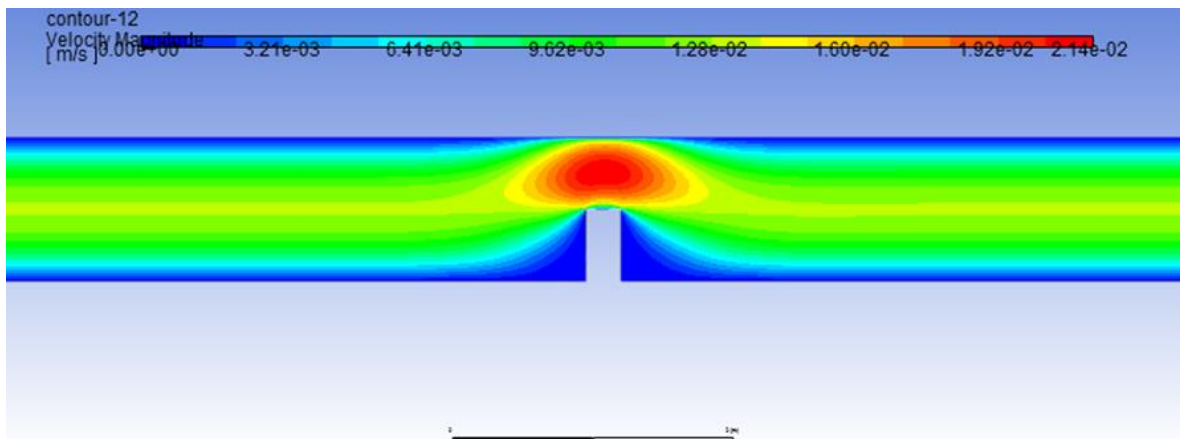


Figure (IV.42) : évolution de Nusselt

✚ Pour $n=0.99$ $Re=50$:



Figure(IV.43) : contour de vitesse

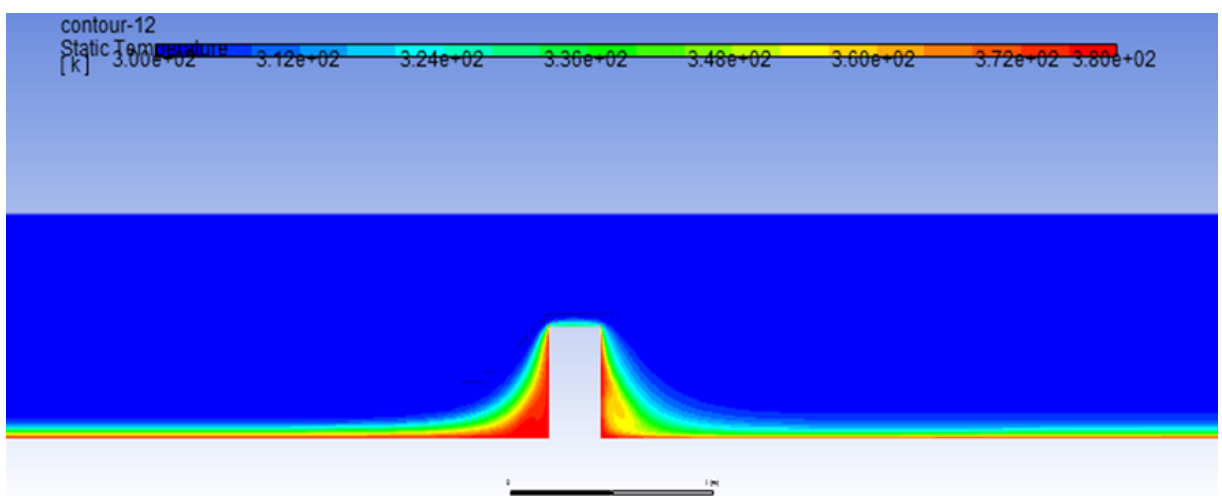


Figure (IV.44) : contour de température

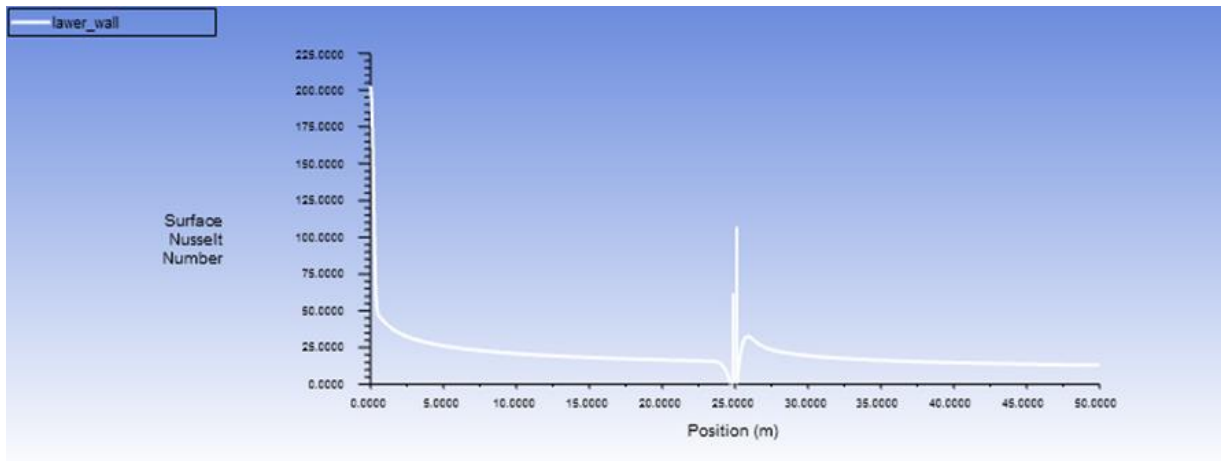
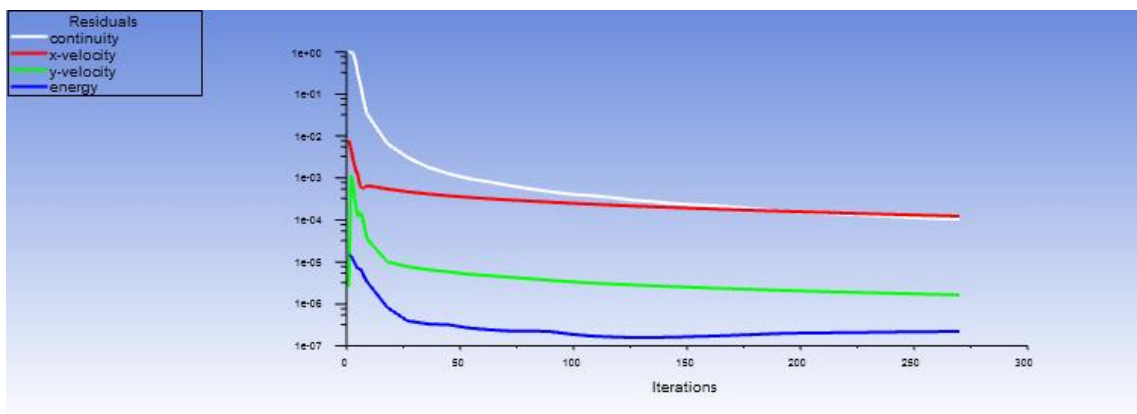
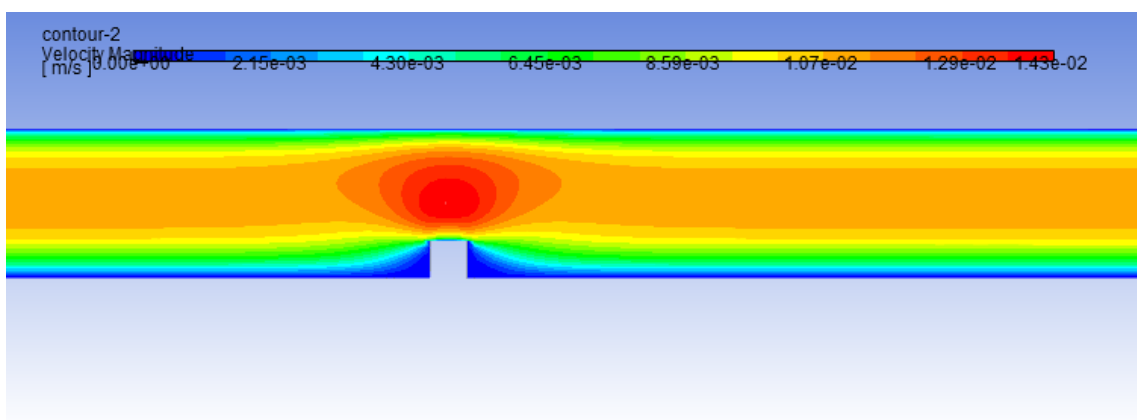


Figure (IV.45) : évolution de Nusselt

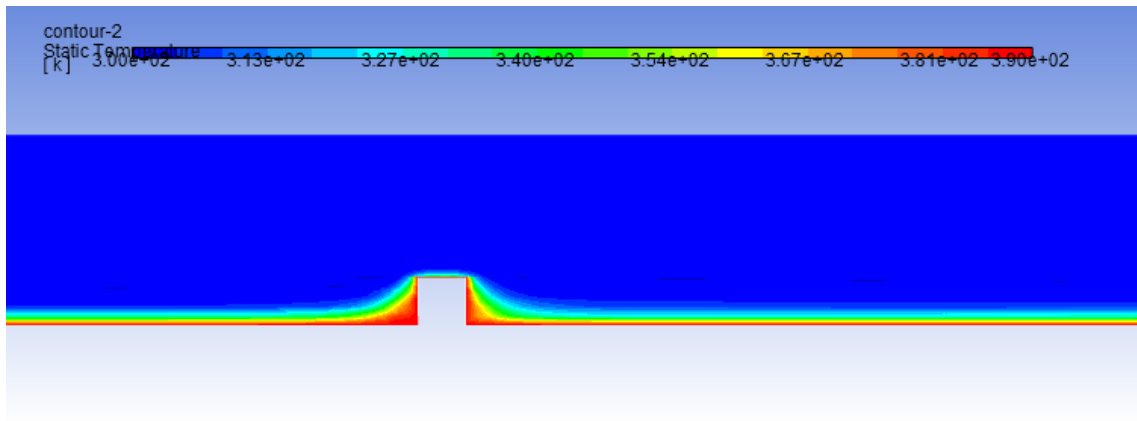
- ✚ pour une seule chicane $\frac{1}{4} D$:
- $n=0.86$:



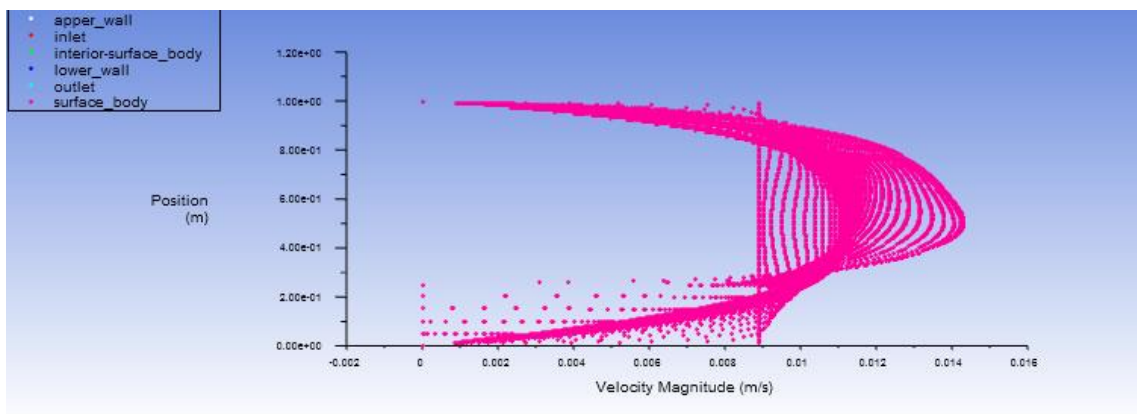
Figure(IV.46) : critère de convergence des résultats



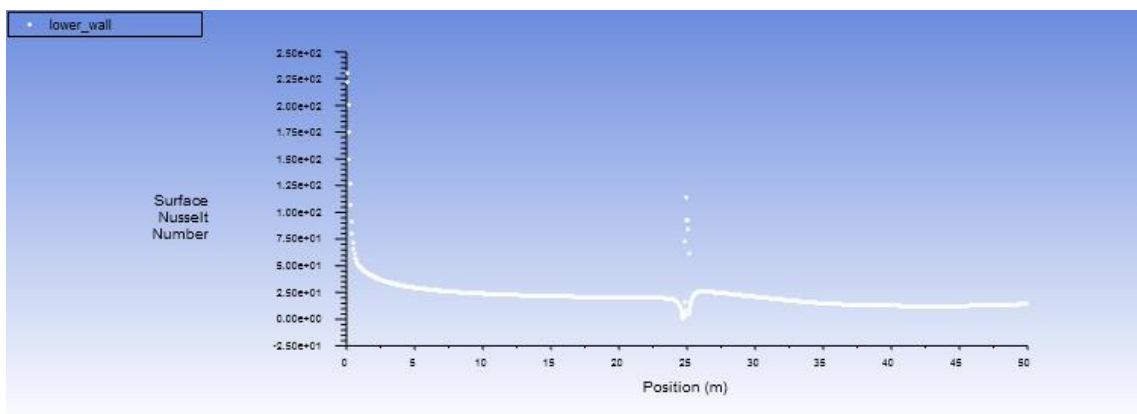
Figure(IV.47) : contour de vitesse



Figure(IV.48) : contour de température

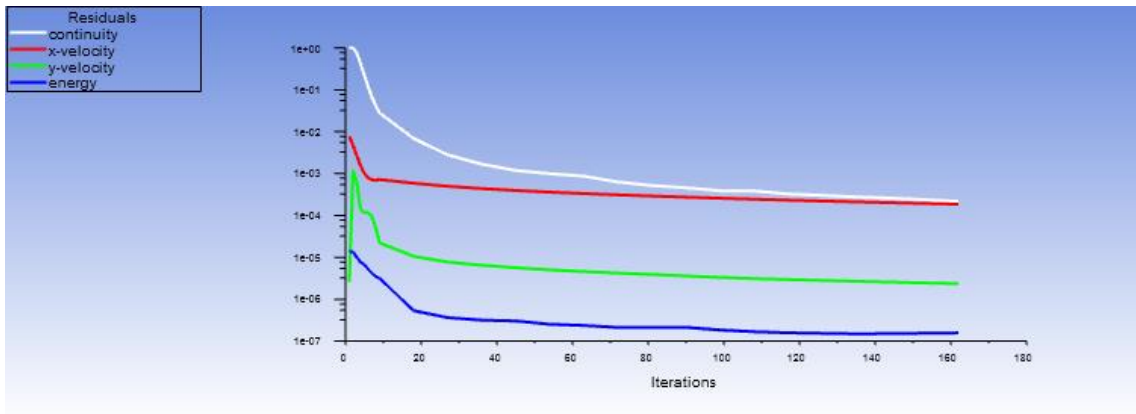


Figure(IV.49) : profil de vitesse

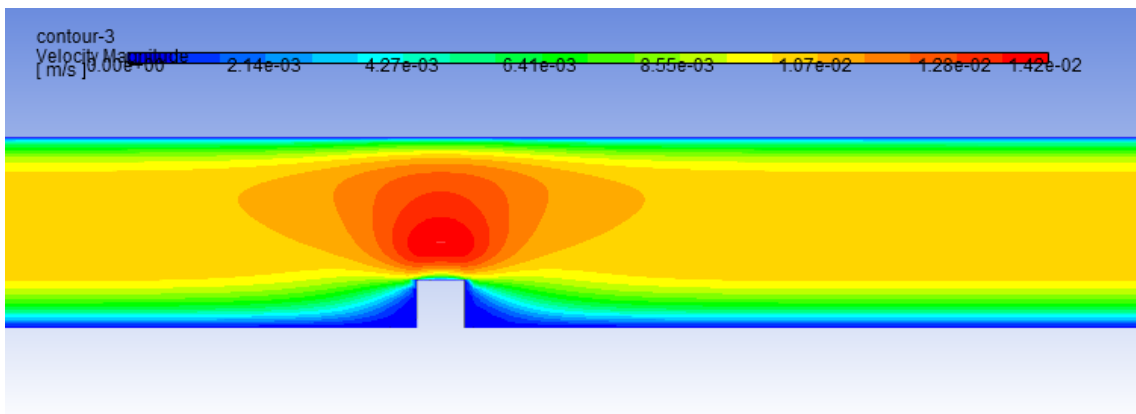


Figure(IV.50) : évolution du nombre de Nusselt

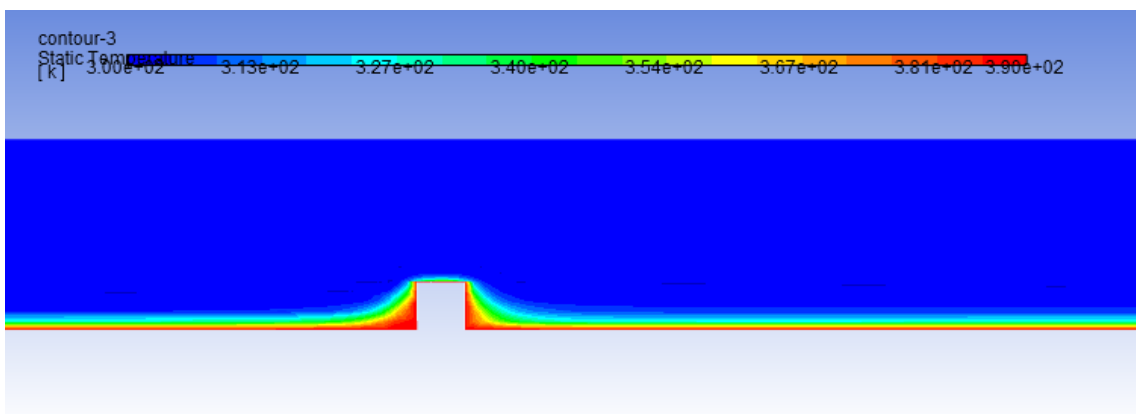
- $n=0.71$:



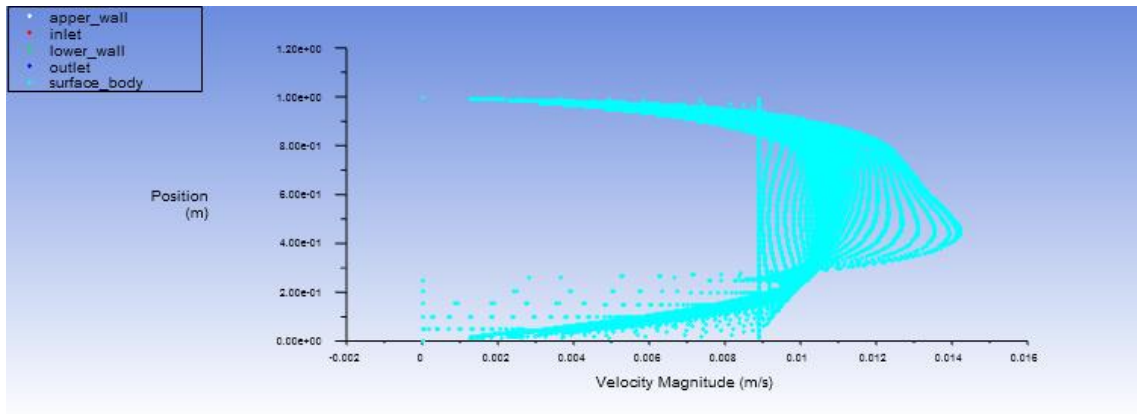
Figure(IV.51) : critère de convergence des résultats



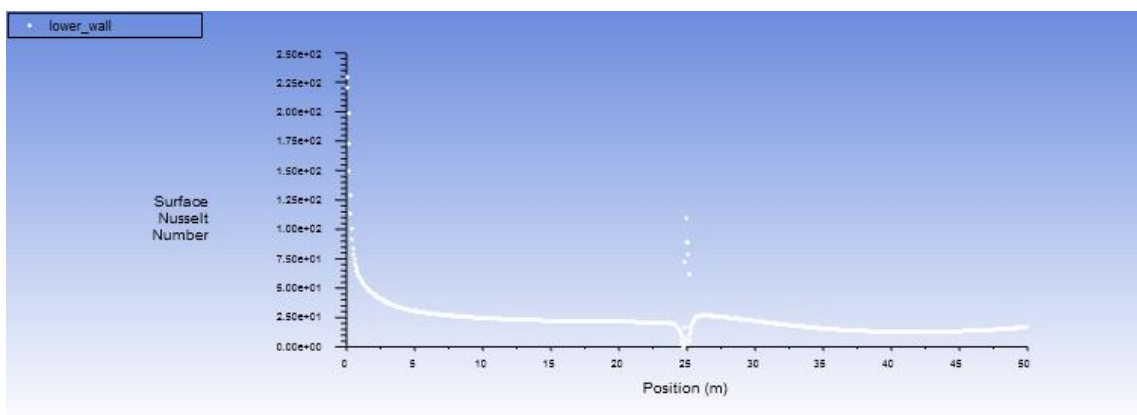
Figure(IV.52) : contour de vitesse



Figure(IV.53) : contour de température

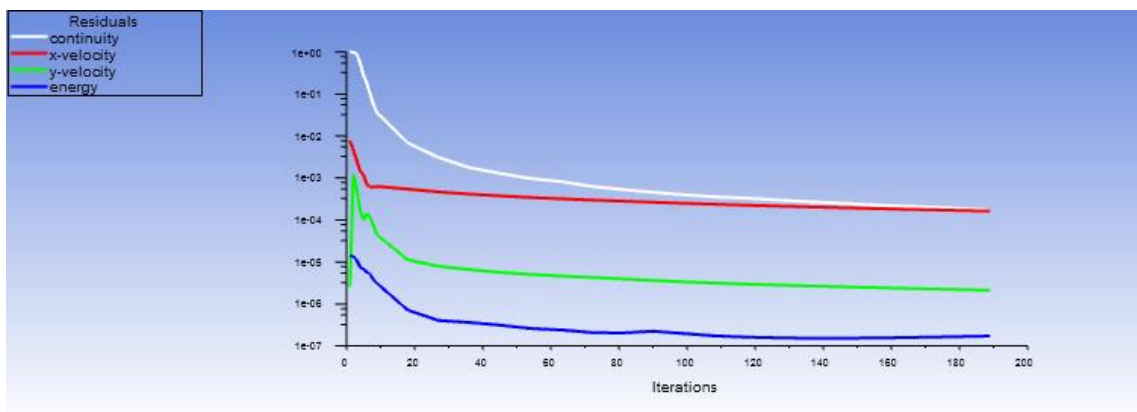


Figure(IV.54) : profil de vitesse

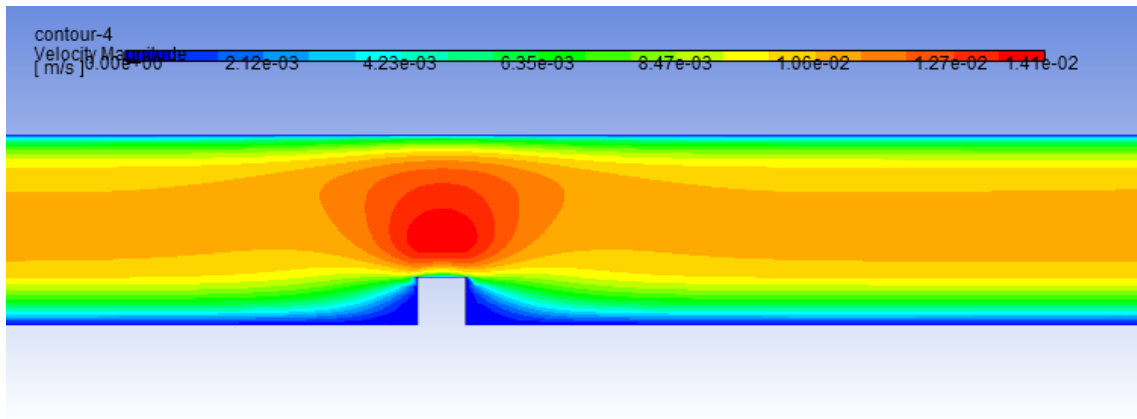


Figure(IV.55) : évolution du nombre de Nusselt

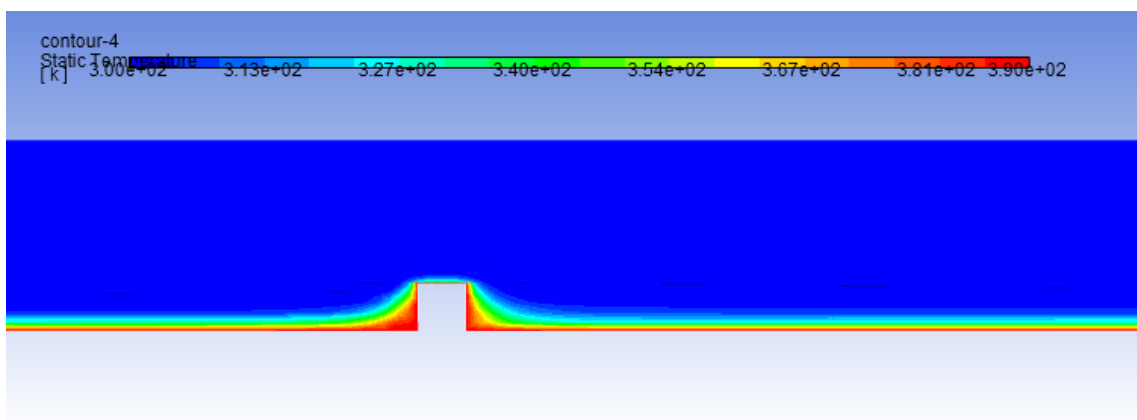
- $n=0.99$:



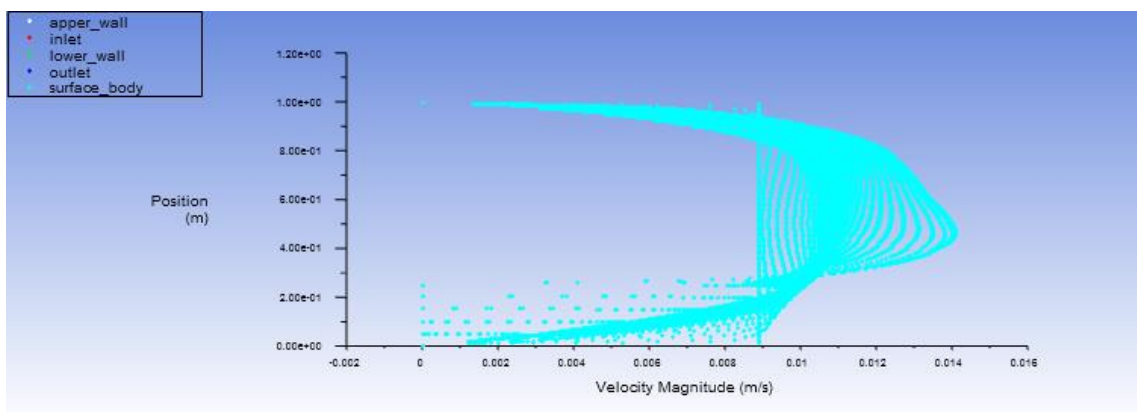
Figure(IV.56) : critère de convergence des résultats



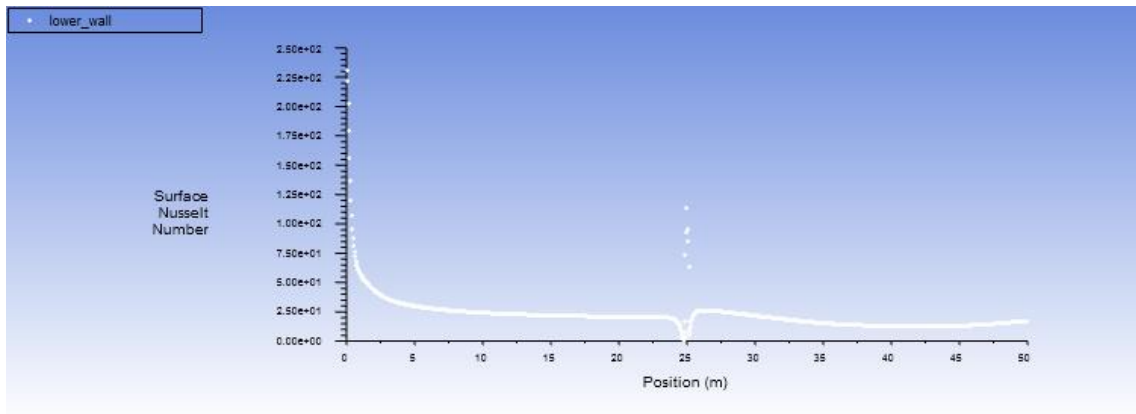
Figure(IV.57) : contour de vitesse



Figure(IV.58) : contour de température



Figure(IV.59) : profil de vitesse



Figure(IV.60) : évolution du nombre de Nusslet

Tableau (IV.7) : Représente la variation de nombre de Nusselt pour chicane de $\frac{1}{4} D$

Re	n =0.86	n =0.71	n =0.99
50	21.76	22.93	22.63
100	22.32	22.98	22.79
150	23.15	23.43	23.10
200	23.86	23.78	24.21
250	23.98	24.11	24.46
300	24.42	24.99	24.82

- ✚ pour deux obstacles :
- Pour n=0.86 et Re=50 :

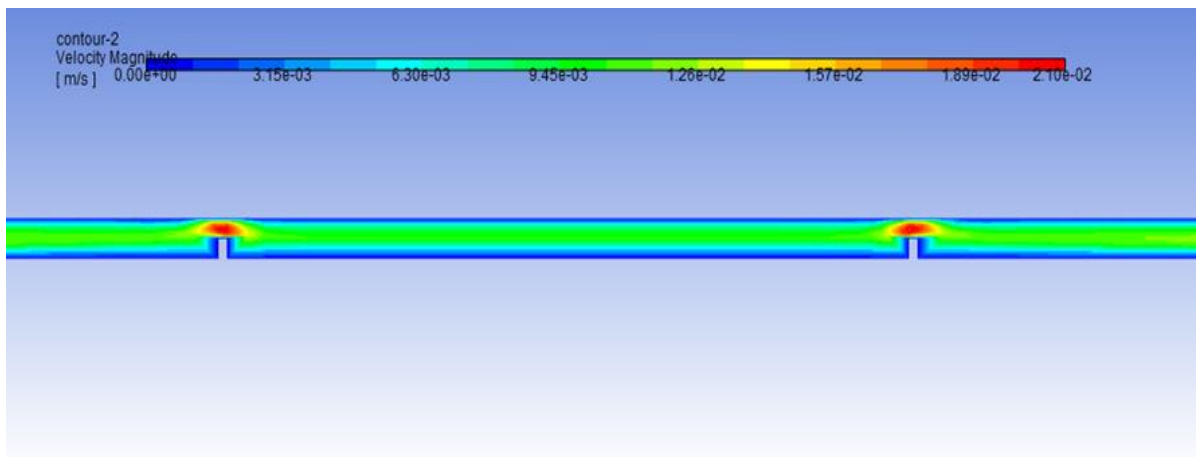
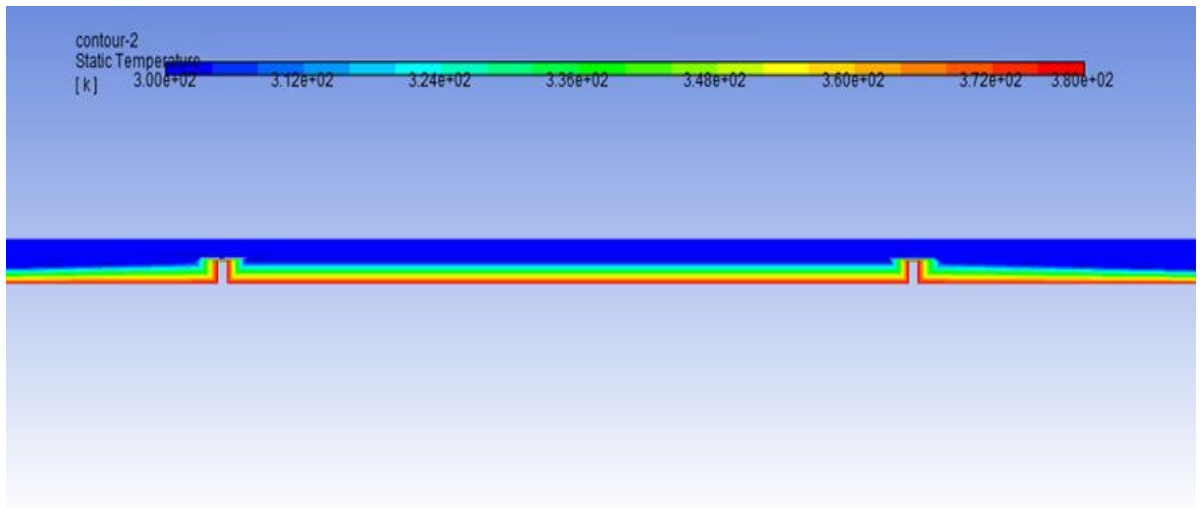


Figure (IV.61) :contour de vitesse



Figure(IV.62): contour de température

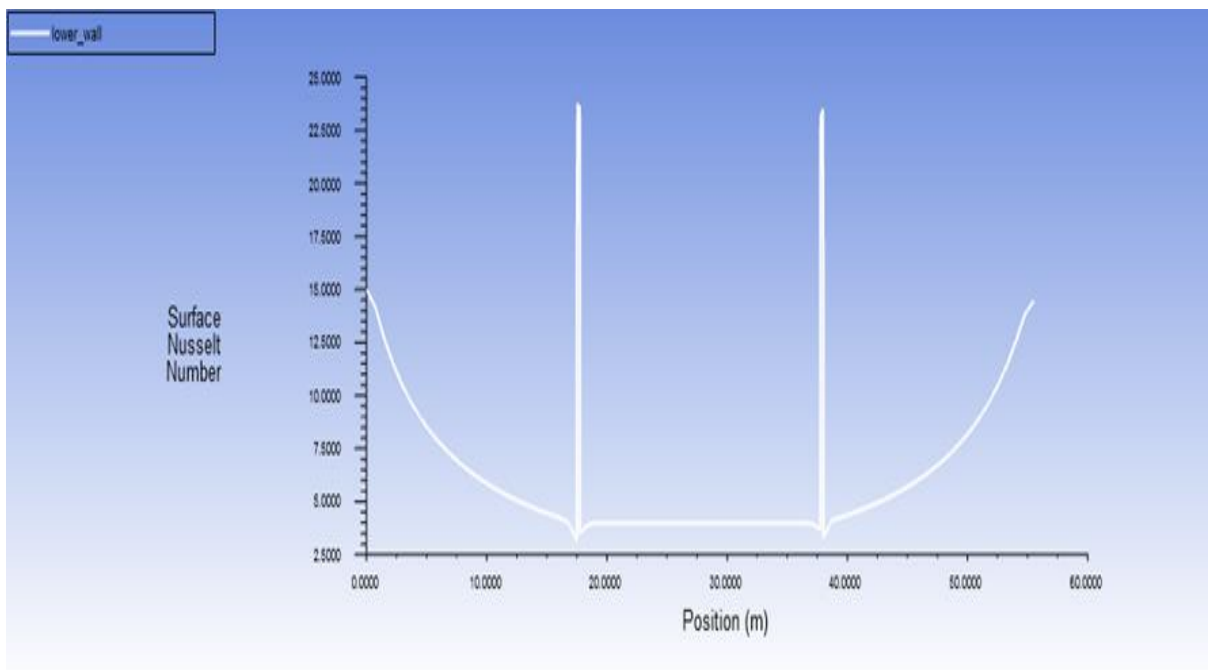


Figure (IV.63) : évolution de Nusselt

- Pour $n=0.71$ $Re=50$:

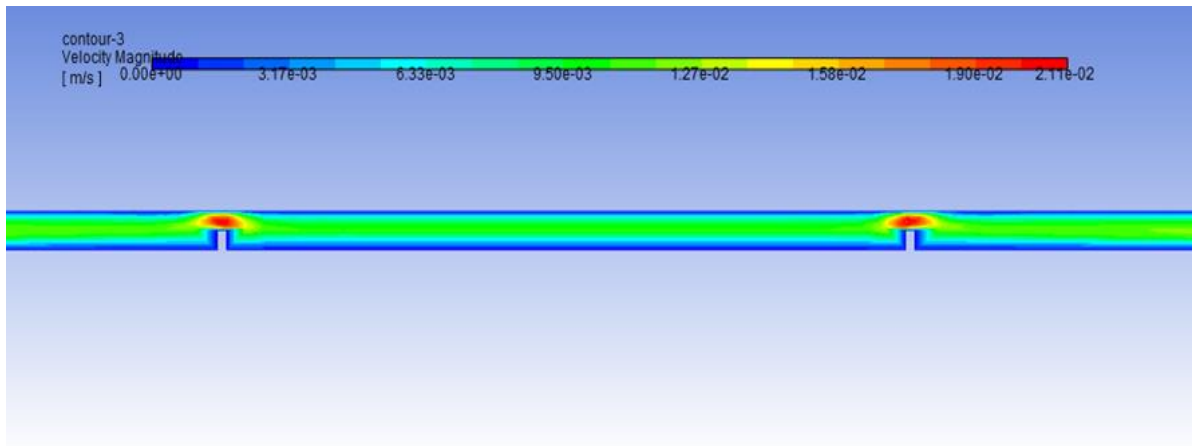


Figure (IV.64) : contour de vitesse

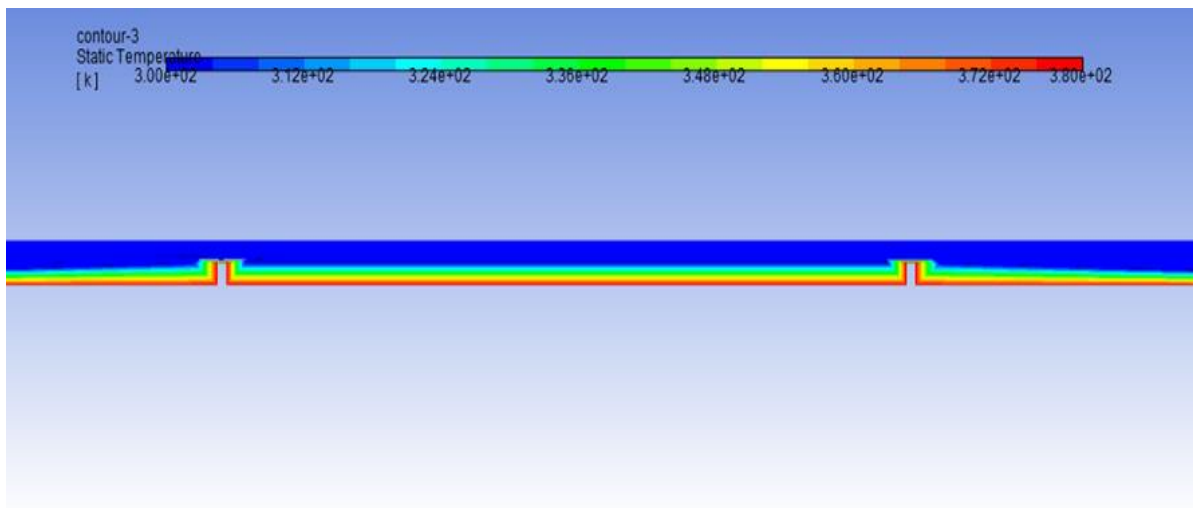


Figure (IV.65): contour de température

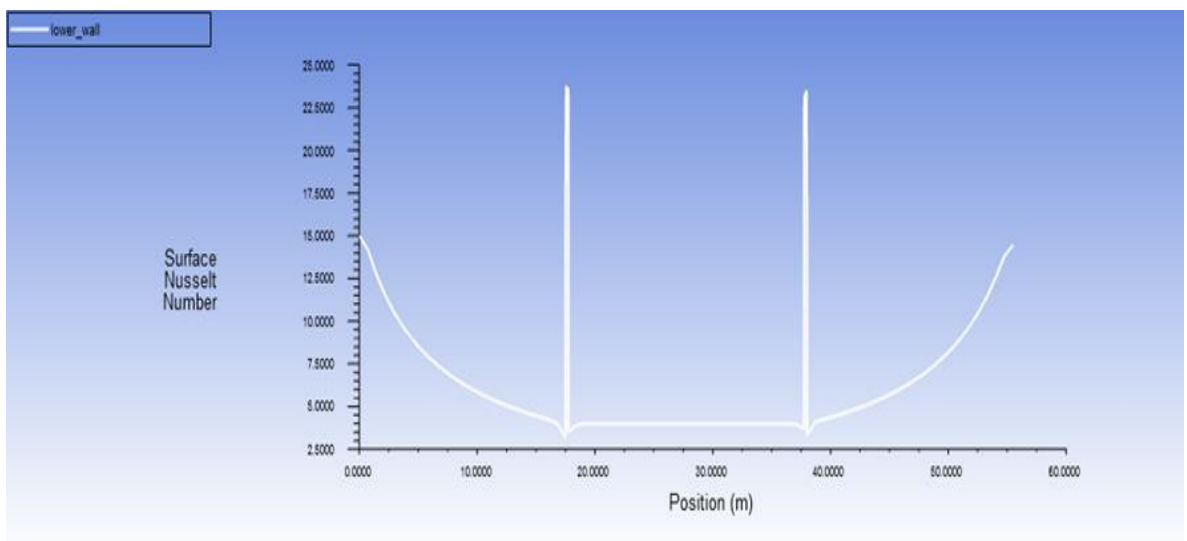


Figure (IV.66): diagramme de Nusselt

- Pour $n=0.99$ $Re=50$:

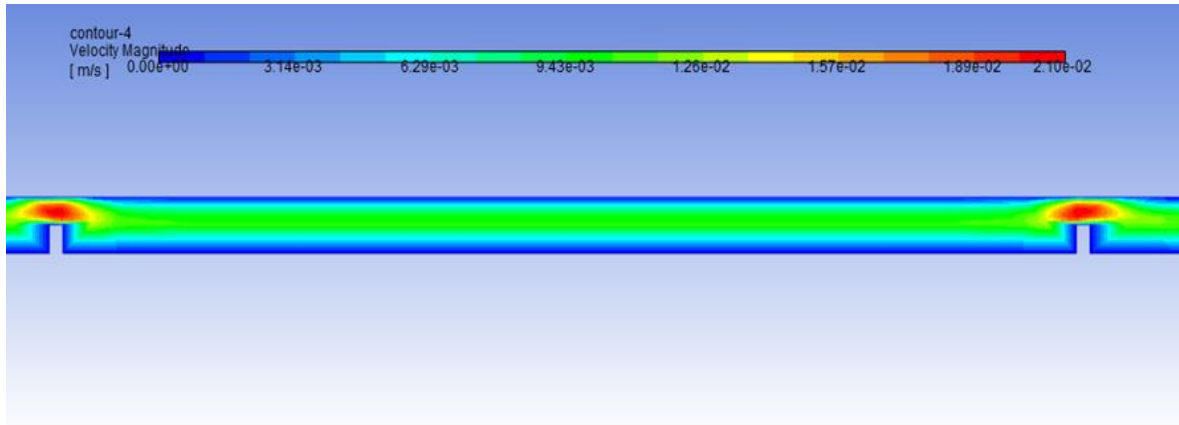
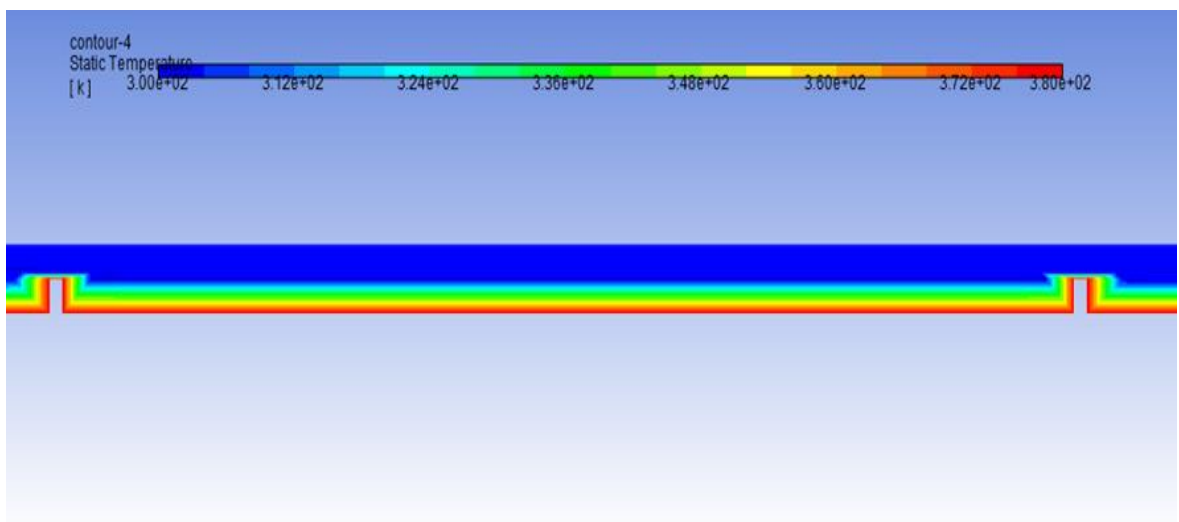


Figure (IV.67): contour de vitesse



Figure(IV.68) : contour de température

- ✚ pour trois obstacles :
- Pour $n=0.86$ et $Re=50$:

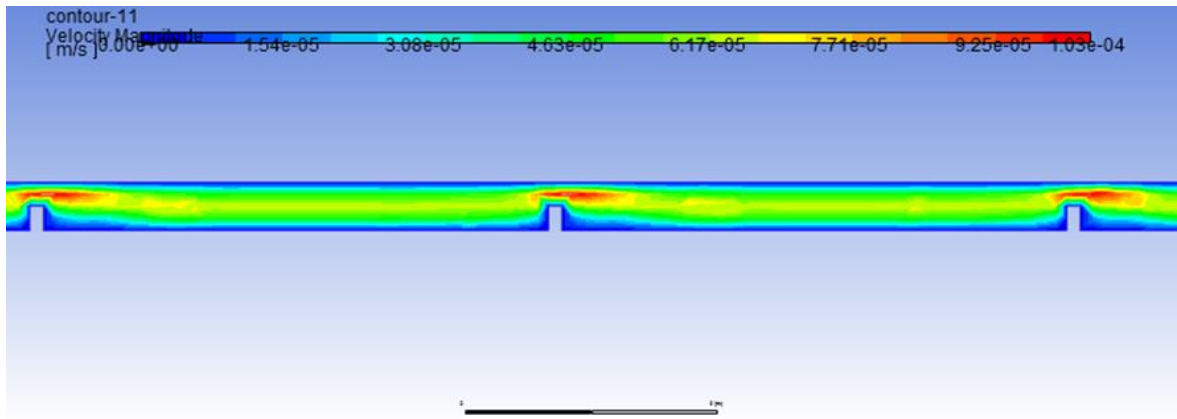
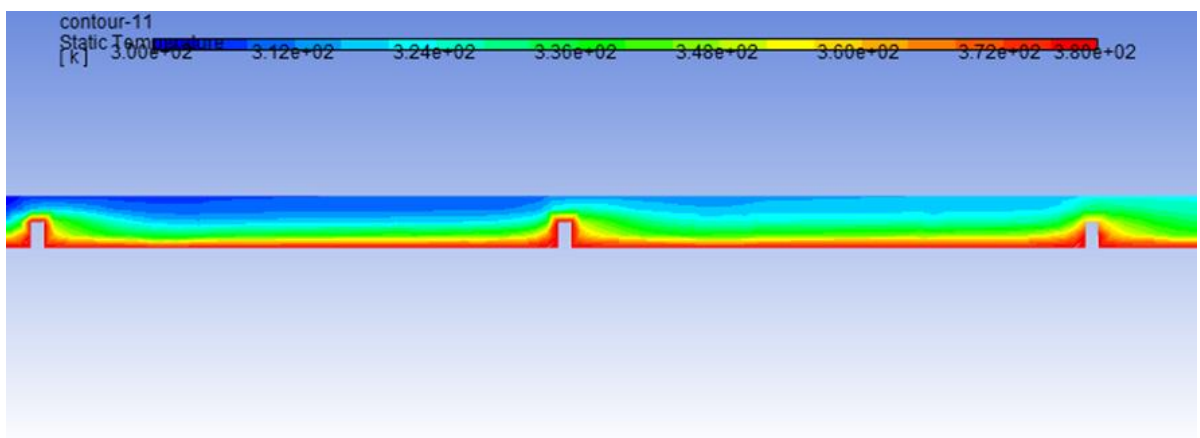


Figure (IV.69) : contour de vitesse



Figure(IV.70): contour de température

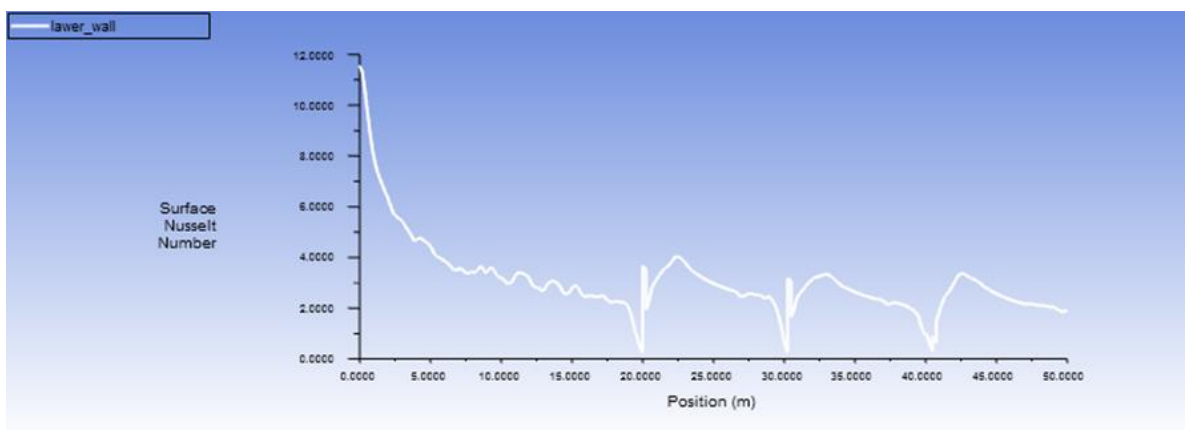


Figure (IV.71): évolution de Nusselt

- Pour $n=0.71$ $Re=50$:

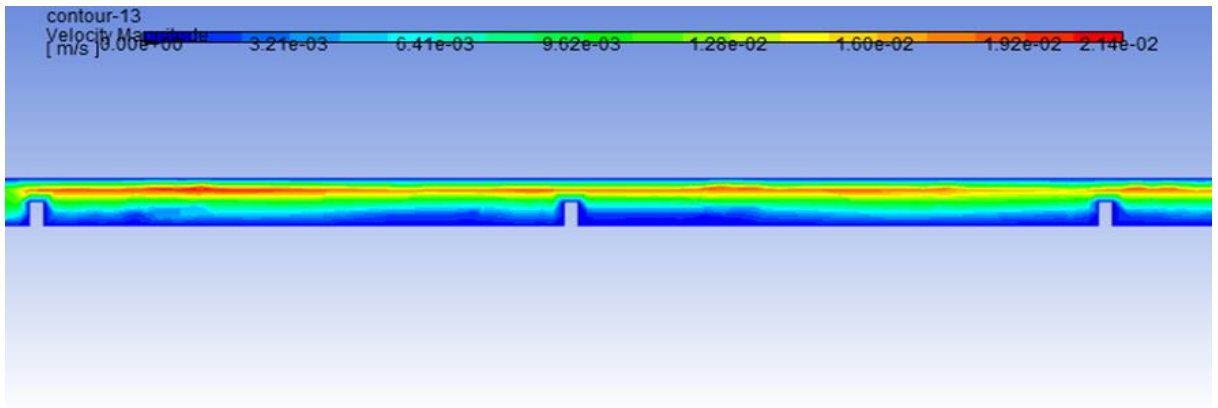
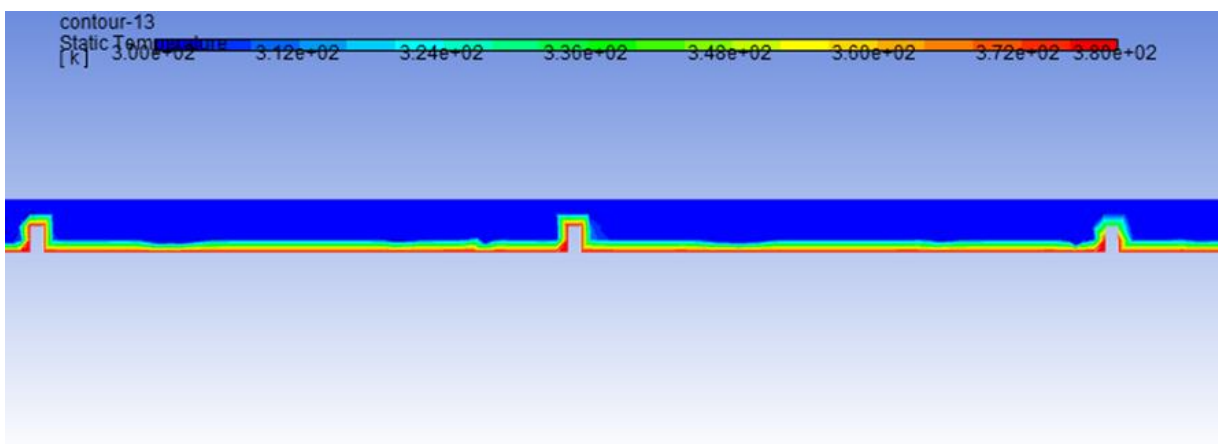


Figure (IV.72): contour de vitesse



Figure(IV.73): contour de température

- Pour $n=0.99$ $Re=50$:

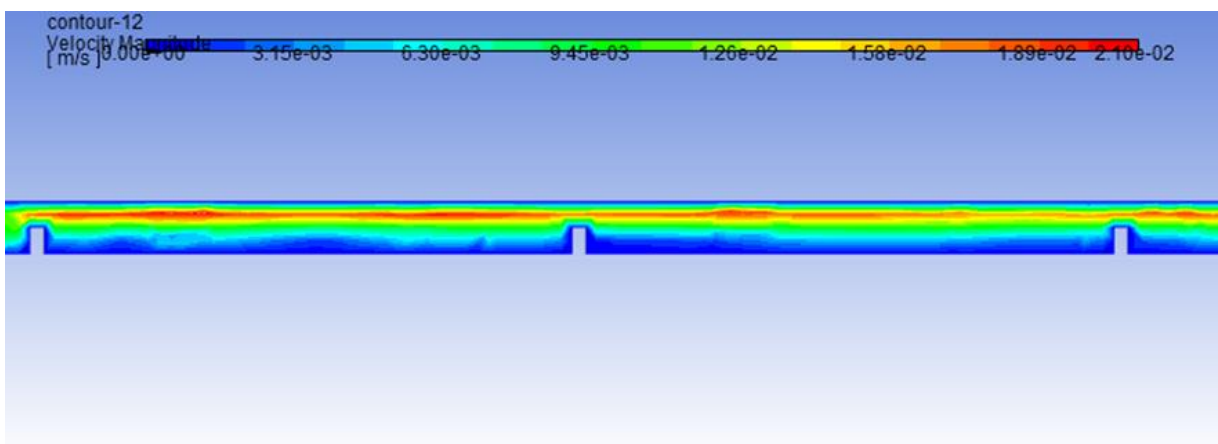
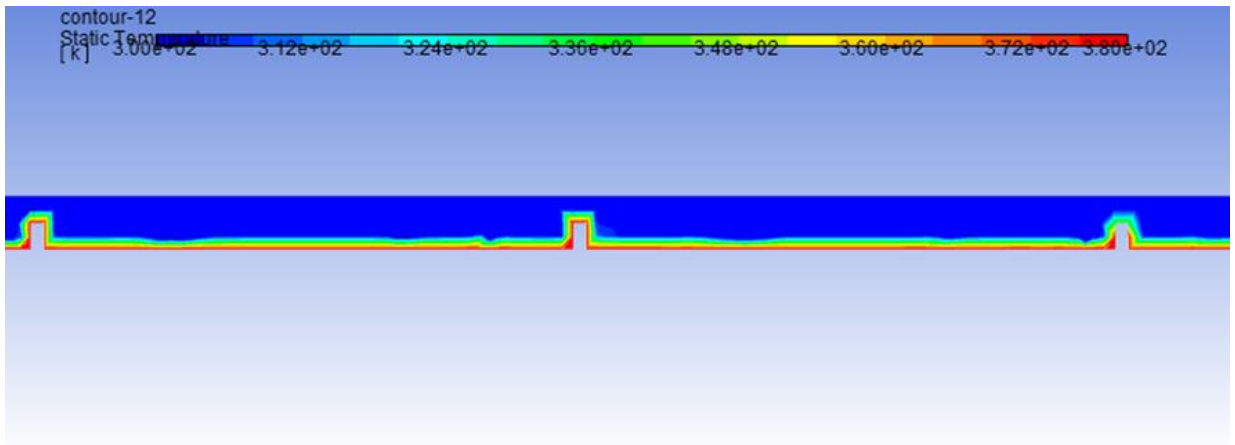
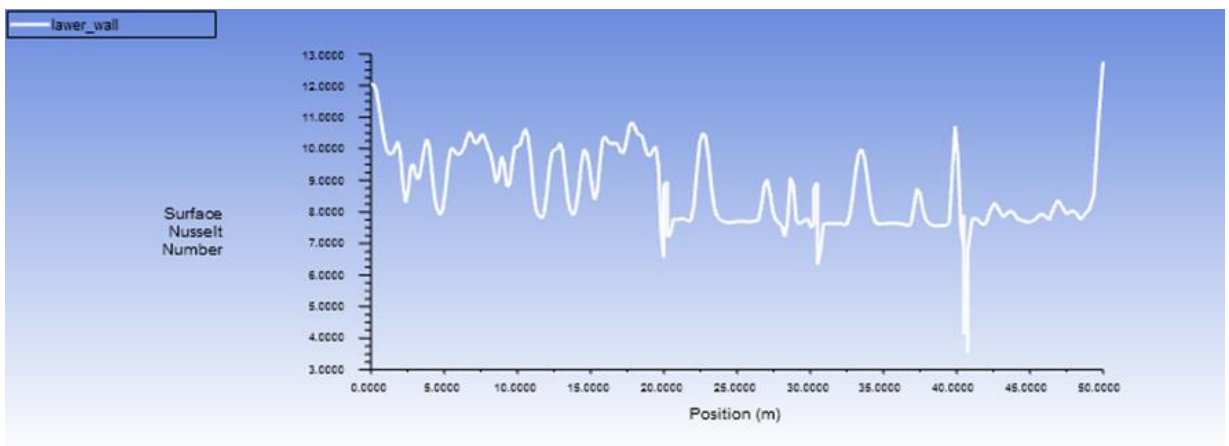


Figure (IV.74) : contour de vitesse



Figure(IV.75) : contour de température



Figure(IV.76) : évolution de Nusselt

Observation :

Dans ce cas pour différents nombres de chicane et de nombre de Reynolds et pour n'importe quel indice (0.71, 0.86, 0.99) nous remarquons que la vitesse augmente lorsque le nombre de chicane augmente et elle se maximise où la section de l'écoulement diminue ou le niveau de chaque chicane.

9. Résultats de simulation des configurations avec chicane :

Tableau (IV.8): variation du nombre de Nusselt pour une chicane de $\frac{1}{2} D$

Re	n=0.86	n=0.71	n=0.99
50	19.85	19.80	19.90
100	35.19	32.61	35.64

150	43.67	39.36	42.25
200	50.56	44.88	52.22
250	56.06	48.70	57.42
300	60.46	52.84	61.54

Tableau (IV.9) : Représente la variation de nombre de Nusselt pour chicane de $\frac{1}{4} D$

Re	n =0.86	n =0.71	n =0.99
50	21.76	22.93	22.63
100	32.32	38.98	36.79
150	43.15	43.43	42.10
200	43.86	47.78	44.21
250	50.98	52.11	56.46
300	57.42	59.99	60.82

Alors d'après les résultats qu'on a trouvé les valeur de Nusselt pour les configuration ont très proche donc on a choisi de continue avec les chicane de $\frac{1}{2} D$.

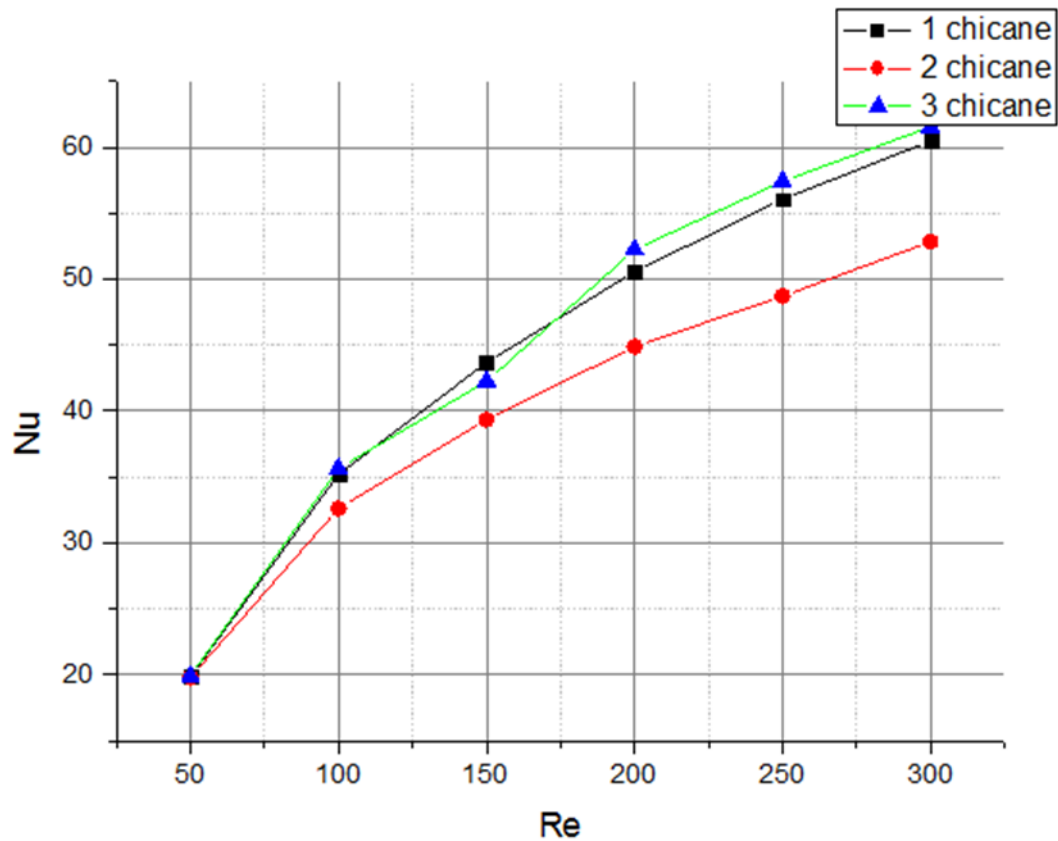


Figure.(IV.77): diagramme de variation du nombre de Nusselt en fonction du nombre de Reynolds d'une seule chicane

Tableau(IV.10): Représente évolution de nombre de Nusselt en fonction de nombre de Reynolds pour deux chicane

Re	n=0.86	n=0.71	n=0.99
50	10.13	10.25	9.45
100	11.16	12.05	9.88
150	11.70	12.45	10.12
200	12.50	13.60	11.02
250	12.87	14.78	11.20
300	13	14.99	11.94

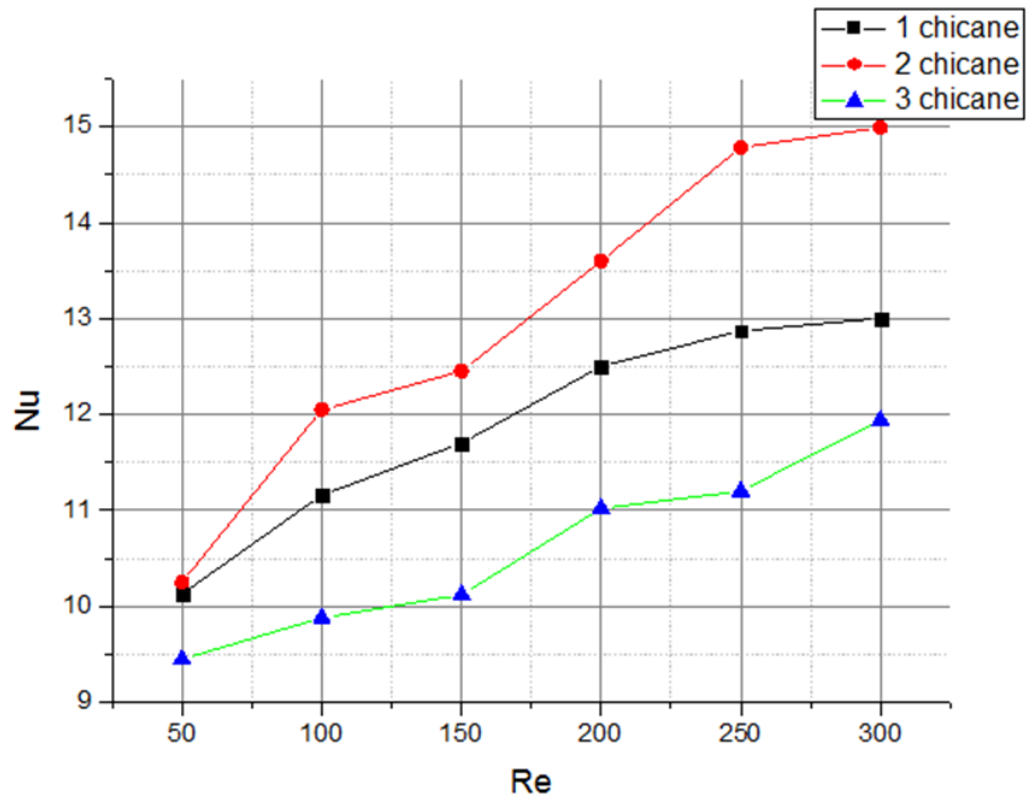


Figure.(IV.78): diagramme de variation du nombre de Nusselt en fonction du nombre de Reynolds pour deux chicanes

Tableau(IV.11): Représente Evolution de nombre de Nusselt en fonction de Reynolds pour trois chicanes

Re	n=0.86	n=0.71	n=0.99
50	8.67	8.66	8.66
100	8.70	8.72	8.70
150	8.73	8.74	8.71
200	8.74	8.77	8.77
250	8.76	8.78	8.78
300	8.79	8.79	8.80

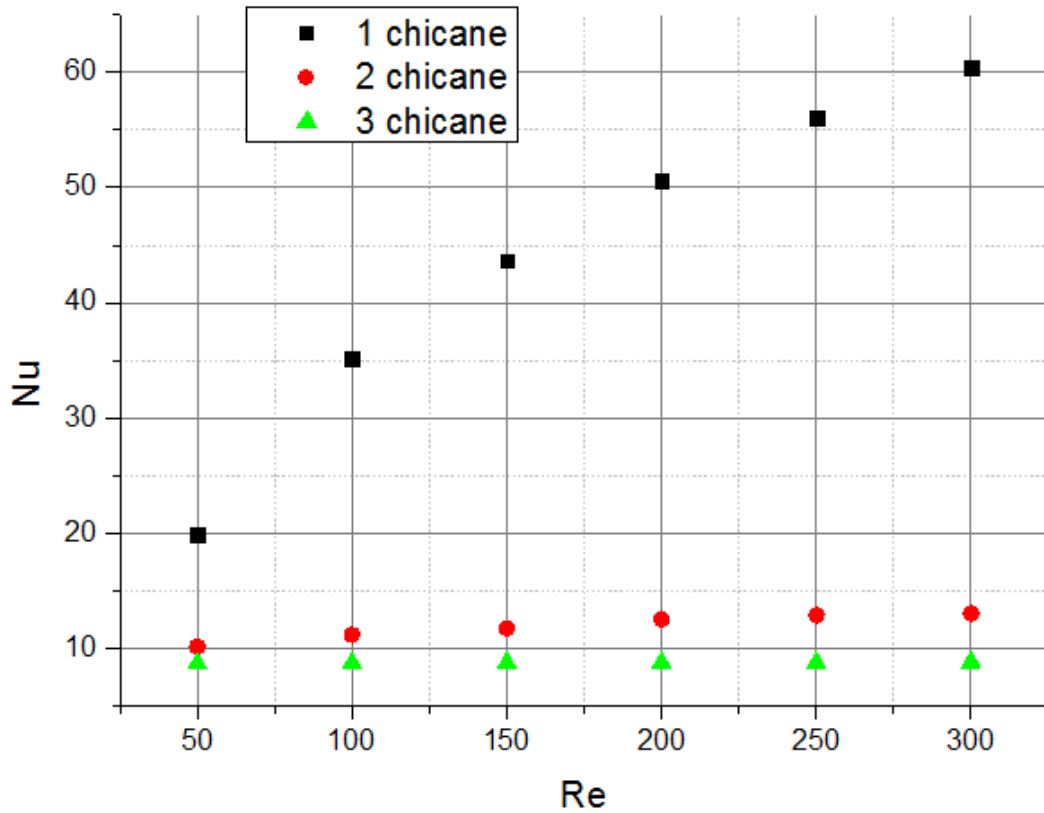
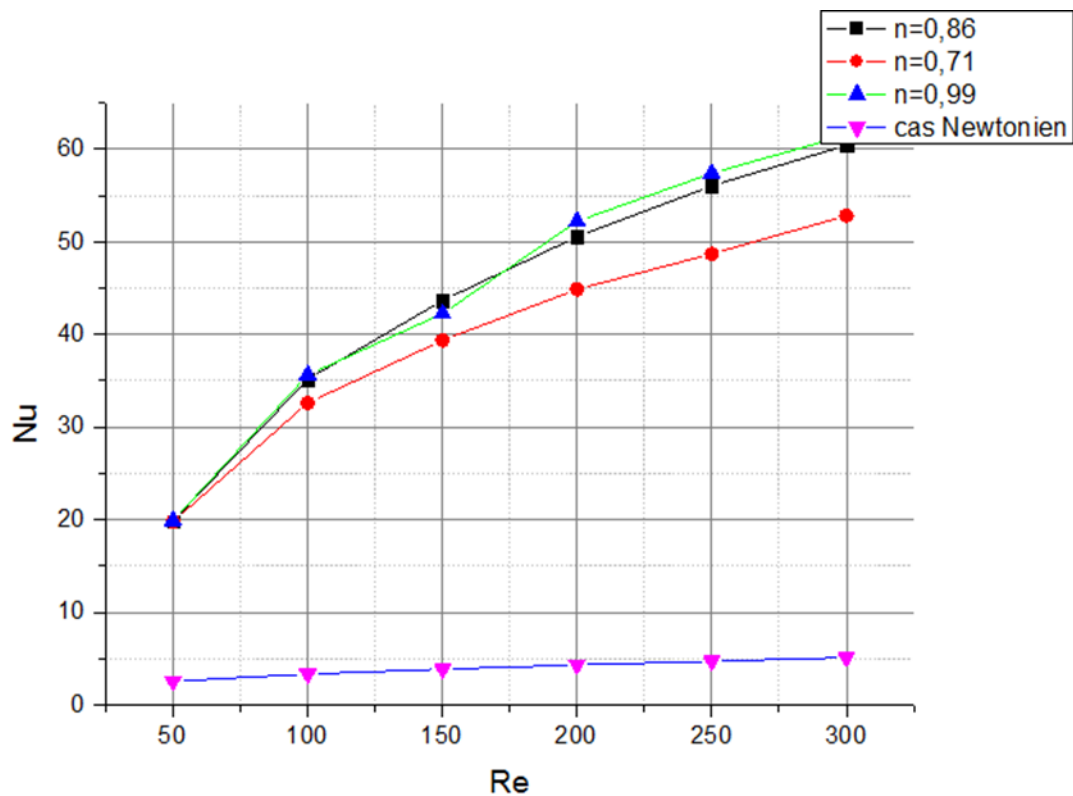


Figure (IV.79) : Diagramme de variation du nombre de Nusselt en fonction du nombre de Reynolds pour 3 obstacle à l'indice ($n=0.86$)



Figure(IV.80): Diagramme de variation du nombre de Nusselt en fonction du nombre de Reynolds (cas Newtonien et non Newtonien) pour 1 chicane.

a) Observation des contours de vitesse :

A partir des résultats obtenue (les contours de vitesse) on peut voir que pour cette configuration la vitesse maximale augmente lorsque le fluide passe ou desues de la chicane la ou la section de la cavité diminue , et aussi la vitesse maximale augmente lorsque le nombre des chicanes augment .

b) Variation de nombre de Nusselt :

les tableaux IV.II.1 , IV.II.2 , IV.II.3 , IV.II.4 ;montre la variation du nombre de Nusselt Nu_{moy} en fonction de nombre de Reynolds Re , pour les différents nombres de chicanes (obstacles) rectangulaire . on remarque que le nombre de Nusselt augmente avec l'augmentation du nombre de Reynolds quelque soit le nombre de chicane dans le cas du fluide Newtonien .

On remarque aussi que le nombre de Nuselt diminue à chaque fois qu'on ajoute une chicane de plus dans le cas du fluide Non-Newtonien.

Et comme Nu est bien élevé dans le cas d'une seule chicane ; cela signifie que la diffusivité thermique, qui est liée au taux de transfert de chaleur par conduction. Plus le nombre de Nusselt est élevé, plus la conduction est efficace. et ça veut dire que l'énergie thermique peut être transmise rapidement.

Discussion :

Nous constatons que les résultats obtenus à partir de simulations fluides s'accordent généralement très bien avec la modélisation mathématique. Cela confirme que dans les simulations numériques, le modèle de Herschel-Bulkley fournit de bons résultats pour les études rhéologiques de différents fluides non newtoniens avec une contrainte critique (cisaillement).

On utilisant le code de fluent pour la simulation numérique , on voit que c'est le moyen le plus rapide a obtenir des résultats vrai comparant par l'expérimental

qu'on a pris comme référence et on peut calculer le profil de vitesse par plusieurs modèles (herschel-bulkley, bingham...) et depuis nos résultats on déduit que le fluide étudié (pétrole) est un fluide non-newtonien avec une contrainte critique de type herschel-bulkley. On remarque que la vitesse est presque nulle à la paroi de la conduite et atteint une valeur maximale au milieu lorsqu'il devient un profil bien établi (veut-dire qu'il a pris sa forme finale, profil de vitesse=cst).

Conclusion générale :

Dans ce travail on a étudié l'écoulement de poiseuille pour un fluide Rhéofluidifiant Non-Newtonien , nous avons simulé numériquement l'effet des chicanes sur l'amélioration du transfert de chaleur dans un canal rectangulaire de paroi supérieure adiabatique et inférieure surchauffée .

Le mode de transfert utilisé est la convection mixte en régime laminaire pour différents nombre de Reynolds .

Nous avons développé le modèle mathématique décrivent notre problème physique . Ensuite nous avons introduit la méthode de génération du maillage pour mailler les domaines physique ,et réécrire notre modèle mathématique dans un domaine de calcul plus simple. Le modèle numérique mis au point est basé sur la méthode des volumes finis .

Les résultats numériques obtenue par la méthode des volume finis sont validés et présentés pour analyser le comportement dynamique et thermique de l'écoulement .

L'influence du nombre de Reynolds de 50 à 400 .les résultats montrent que l'augmentation du nombre de Reynolds fait accélérer l'écoulement dans le canal ;et la configuration des chicanes rectangulaire empêche la circulation libre de l'écoulement quelque soit le nombre de Reynolds et la diminue avec l'augmentation du nombre de chicanes.

Pour la configuration d'une seule chicane y a une évolution de transfert thermique par rapport les autres configuration par rapport au deux configuration de $\frac{1}{2}$ le diamètre et de $\frac{1}{4}$ le diamètre par-ce-que au niveau des deux on a trouvés pratiquement les même valeur de nombre de Nusselt , la vitesse aussi sera maximale au niveau des chicanes (au dessus) peu importe le nombre de chicane.

Pour les différents nombre de chicane dans le cas d'un fluide Newtonien , le nombre de Nusselt moyen en fonction de nombre de Reynolds augmente pour toutes les configuration , et dans le cas du fluide Non-Newtonien le Nusselt moyen augmente remarquablement dans la configuration d'une seule chicanes par rapport au résultats obtenue dans la configuration simple pour le même fluide ; et a chaque fois qu'on ajoute une chicane en forme rectangle le nombre déminue.

Bibliographie :

- [1]. P.-L. Viollet, J.-P. Chabard, and P. Esposito, *Mécanique des fluides appliquée: écoulements incompressibles dans les circuits, canaux et rivières, autour des structures et dans l'environnement*, 2003.
- [2]. A. FALL, "Rhéophysique des fluides complexes Ecoulement et Blocage de suspensions concentrées " doctorat, université Paris 7 2008.
- [3]. C. Verdier. cours de rhéologie. Available: <http://www-lyphy.ujfgrenoble.fr/pagesperso/verdier/>
- [4]. D. S. Gillet Steve, "Viscosité," ed.
- [5]. R. Mohamed, "Simulation Numérique d'un Ecoulement Non Newtonien dans une Conduite rectangulaire avec une contraction brusque 4 :1 " magister université des sciences et de la technologie d'Oran, 2014
- [6]. J. Koszkuł and J. Nabialek, "Viscosity models in simulation of the filling stage of the injection molding process," *Materials Processing Technology*, vol. 157-158, pp. 183187, décembre 2004.
- [7]. "Rheologie des fluides complexes ", université des sciences et de la technologie d'Oran.
- [8]. C. W. Macosko, *Rheology Principles, Measurements, and Applications*, Wiley ed., 1994.
- [9]. M. M. Cross, "Rheology of non-Newtonian fluids : A new flow equation for pseudoplastic systems," *Colloid Science*, Elsevier, vol. 20, 1965.
- [10]. Van Cleef, J. F. (2020). Gel rhéoépaississant pour compresser le pansement d'un ulcère veineux. *JMV-Journal de Médecine Vasculaire*, 45, S120-S121.
- [11]. Xavier Nicolas. *Simulation numérique et stabilité des écoulements de convection mixte en conduite rectangulaire chauffée par le bas. Mécanique des fluides* [physics.class-ph]. Université Paul Sabatier Toulouse III, 1997. Français. tel-00812211.
- [12]. Mahfoud, M., Benhadid, S., & Lebouché, M. (2005). Frottements et pertes de pression des fluides non newtoniens dans des conduites non circulaires. *Comptes Rendus Mécanique*, 333(6), 513-520.
- [13]. H. Bénard, *Les tourbillons cellulaires dans une nappe liquide transportant de la chaleur par convection en régime permanent*, *Annales de chimie et de physique*, Série 7(23) :pp62-144, 1901 , J. W. Rayleigh, *On convection currents in a horizontal layer of fluid, when the higher temperature is on the under side*, *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, Sixth series, Vol.32-no.192 :pp.529-546, 1916.

- [14]. F. KREITH Traduction de B. KHODJA, Transmission de la Chaleur et Thermodynamique, Ed. Masson, (1967).
- [15].]B. Ammar Instabilités thermoconvectives dans un canal horizontal soumis à un phénomène de convection mixte. Université El Hadj Lakhdar Batna (2012).
- [16]. X. Nicolas Simulation numérique et stabilité des écoulements de convection mixte en conduite rectangulaire chauffée par le bas, Université de Paul Sabatier - Toulouse III, (1997).
- [17]. P. Idrac Étude sur les courants de convection atmosphérique et leur rapport avec le vol à voile et la formation des bandes nuageuses (1920).
- [18]. De Langre, E. (2000). Analyse dimensionnelle en interaction fluide-structure. La Houille Blanche, (3-4), 14-18.
- [19]. M. BELHI. Étude Numérique de la Convection Naturelle dans une Cavité ayant plusieurs entrées, Mémoire De Magister (2007).
- [20]. [Thermal-engineering.org/fr/quest-ce-que-external-vs-internal-nusselt-nuber-definition/](http://thermal-engineering.org/fr/quest-ce-que-external-vs-internal-nusselt-nuber-definition/).