

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique

Université Akli Mohand Oulhadj - Bouira -

X·⊙V·EX ·KllE E:K:IA :llK·X - X:⊙EO÷t -



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة أكلي محمد أوحاج
- البويرة -

FACULTE DES SCIENCES ET DES SCIENCES APPLIQUEE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

Présenté pour l'obtention du Diplôme de Master en **Génie Mécanique**
Option : **Énergétique**

Thème :

**SIMULATION DES PARAMETRES D'ECHANGES
CONVECTIFS DANS UN ECOULEMENTS AUTOUR DES
OBSTACLES**

Présenté par :

ATTABI IKRAM et BENTOUTAH ASMA

Soutenu le : 03/07/2022

Par le jury composé :

Président : M^r. AZZOUG.M

Grade Université Bouira

Encadreur M^r. MESSAI.T

Encadreur M^r. MOUSSAOUI. M

Université Bouira

Examineurs :

M^r ABERKANE.S

Université Bouira

2021/2022

Remerciements



Avant tout nous remercions Allah tout puissant qui nous a comblé de ces bienfaits et nous a donné assez de force pour achever ce travail.

Toute la gratitude et le merci à Dieu notre créateur...

Ainsi nos parents qui nous aident.

Nous tenons à remercier en premier lieu et très chaleureusement notre encadreur et Co-encadreur : Mr.Messai.tarek et

Mr.Moussaoui.mohammed

Pour avoir accepté de diriger notre travail, pour ses précieux conseils, pour son esprit d'ouverture et sa disponibilité ; Nous vif remerciments vont également aux Mlle.FELLAK. Hassina, Mlle.CHAIB.Naima et Mr. Barak Le responsable des laboratoires génie mécanique aussi. Grâce à lui, notre travail est déroulé sans lui ce travail ne serait pas fini dans les délais.

*Nous remercions toutes personnes qui nous ont aidés
de près ou de loin à la finalisation de ce travail, nous
tenons à leur exprimer notre vive gratitude.*

*Enfin nos remerciements à tous les enseignants qui
ont contribué à notre formation à l'université de
AKLI mohand oulhadj BOUZRA.*

Merci 

Dédicaces



Je dédie ce modeste travail :

*A mon très Cher Père : **OMAR.***

*A ma très Chère Mère : **FOUZIA**, je les remercie pour leur soutien, leur encouragement et leurs conseils aussi.*

A tous mes Frères : SAMIR et ADEM.

A tous mes sœurs : KHAOULA KHADIDJA et MAROUA.

A mes chers et fidèles amis : HASSINA, NAIMA et MAROUA.

*A ma chère binôme : **ASMA.***

A toute la promotion Génie mécanique énergétique.

2021/2022



JKRAM

Dédicaces



Je dédie ce modeste travail:

*A mon très Che Père : **REZKI.***

*A ma très Chère Mère : **ZINA**, je les remercie pour leur soutien, leur encouragement et leur conseil aussi.*

*A mon Frère : **AMER.***

*A tous mes sœurs : **SOUAD** et **LYNDA**, **RITADJ.***

*A mes chers et fidèles amis : **HASSINA**, **NAIMA**, **MAROUA**, **LYNDA.***

*A ma chère binôme : **IKRAM.***

*A toute la promotion Génie mécanique
Énergétique.*



Asma

Résumé :

Ce travail, a pour but d'étudier le comportement thermique de l'écoulement du fluide autour des obstacles a fuseau tubulaire et a ailettes plane vu leurs larges applications industrielles dans plusieurs domaines.

Pour avoir plus d'information sur le phénomène de l'écoulement bidimensionnel en régime laminaire pour un fluide incompressible, une étude a été entamé par simulation numérique.

Pour ce faire, On utilise Ansys Fluent version 16.0.

Le but de ce travail est comprendre le phénomène de convection naturel et mixte autour d'un obstacle et l'influence de forme de ces obstacles les résultats montrent que la forme cylindrique crée des vortex qui augmentent l'échange convectif dans le domaine. Et le refroidissement augmente pour des valeurs faibles de Richardson.

Mots clés : écoulement autour d'un obstacle, obstacles cylindrique, chicane, vortex, ANSYS fluent.

Abstract:

This dissertation aims to study the thermique behavior of fluid flow around square and cylindrical obstacles given their wide industrial applications in several fields.

To have more information on the phenomenon of two-dimensional flow in laminar regime for an incompressible fluid, a study was started by numerical simulation.

To do this, we use Ansys Fluent version 16.0.

The purpose of this work is to understand the phenomenon of natural and mixed convection around an obstacle and the influence of the shape of these obstacles. The results show that the cylindrical shape creates vortices which increase the convective exchange in the field. And cooling increases for low Richardson values.

Keywords: flow around an obstacle, cylindrical obstacles, baffle, vortex, fluent ANSYS.

الخلاصة

تهدف هذه الرسالة إلى دراسة السلوك الحراري الهوائي لتدفق السوائل حول العوائق المربعة والأسطوانية نظرًا لتطبيقاتها الصناعية الواسعة في العديد من المجالات.

للحصول على مزيد من المعلومات حول ظاهرة التدفق ثنائي الأبعاد في النظام الرقائقي لسائل غير قابل للضغط، بدأت دراسة عن طريق المحاكاة العددية.

للقيام بذلك، نستخدم Ansys Fluent الإصدار 16.0.

الغرض من هذا العمل هو فهم ظاهرة الحمل الحراري الطبيعي والمختلط حول العائق وتأثير شكل هذه العوائق، وأظهرت النتائج أن الشكل الأسطواني يخلق دوامات تزيد من التبادل الحراري في الحقل. ويزيد التبريد لقيم رينشاردسون المنخفضة.

الكلمات المفتاحية: انسياب حول عقبة، عوائق أسطوانية، حاجز، دوامة، Ansys Fluent.

Liste de matières :

Remerciements	
Dédicace.....	
Sommaire.....	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Nomenclatures.....	
Introduction générale.....	

Chapitre I : Généralité et étude bibliographique

I. Généralité et étude bibliographique.....	15
I.1 Introduction.....	15
I.2 Les différents modes de transfert de chaleur	15
I.2.1 Transfert de chaleur par conduction	15
I.2.2 Transfert de chaleur par rayonnement	16
I.3 Types d'écoulements.....	19
I.3.1 Ecoulement laminaire et écoulement turbulent	19
I.3.2 Ecoulement unidimensionnel et bidimensionnel.....	20
I.3.3 Ecoulement interne et écoulement externe.....	20
I.3.4 Ecoulement compressible et incompressible.....	20
I.3.5 Ecoulement potentiel	20
I.3.6 Ecoulement irrotationnel plans.....	21
I.4 Les écoulements autour d'un obstacle.....	21
I.4.1 Ecoulement autour d'un obstacle cylindrique et carré.....	21
I.5 Etude Bibliographie dans un écoulement autour d'un obstacle.....	22

Chapitre II : formulation mathématique

II. Formulation mathématique	31
II.1 Introduction.....	31
II.2 Description de problème.....	31
II.3 Formulation mathématique	32

II.4	Les hypothèses simplificatrices	33
II.5	Formulation des équations en coordonnées cartésiennes	34
II.6	Les conditions aux limites	34
II.7	La forme adimensionnelle des équations du modèle mathématique	38
II.8	Signification des nombres adimensionnels	39
II.8.1	Nombre de Grashof	39
II.8.2	Nombre de Reynolds	39
II.8.3	Nombre de Richardson	39
II.8.4	Nombre de Prandtl	40
II.8.5	Nombre de Rayleigh.....	40

Chapitre III : étude numérique

III.1	Introduction.....	42
III.2	La CFD	42
III.2.1	Qu'est ce que La CFD ?	42
III.2.2	Étapes de la CFD.....	43
III.2.3	Modélisation CFD des écoulements.....	45
III.3	Volume finis.....	45
III.3.1	Principe de la méthode des volumes finis	45
III.3.2	Etapes de résolution par la méthode des volumes finis	49
III.3.3	Différents types de Grille en volumes finis	51
III.4	Fluent.....	52
III.4.1	Définition de modélisation numérique	52
III.4.2	Les étapes du logiciel ANSYS Workbench.....	53
III.5	Propriétés de fluide.....	61
III.6	Facteurs de sous relaxation	62

Chapitre IV: Résultats et discussion

IV.	Introduction.....	64
IV.1	: Le choix de maillage	64
IV.2	Convection naturelle:.....	66
IV.2.1	Pour le 1er cas chicane :.....	66
IV.2.2	Pour le 2eme cas cylindre :	70
IV.3	Convection mixte	74
IV.3.1	Pour le 1er cas chicane.....	74

IV.3.2	Pour le 2eme cas cylindrique :	78
IV.4	Nombre de Nusselt moyenne :	82
V.	Conclusion Générale	85



Notations



NOMENCLATEURE

Lettres latines

∂	Dérivée partielle
D	Diamètre de la conduite (m)
S	Aire de la section de passage du flux de chaleur (m²)
T_p	Température de surface (K)
T_∞	Température de milieu environnant la surface (k)
C_p	Chaleur spécifique à pression constante (J/kg.K)
K	Conductivité thermique (w/m.k)
g	Accélération de pesanteur (m/s²)
L	Longueur dimensionnelle de la cavité (m)
N_U	Nombre de Nusselt local
$\overline{N_U}$	Nombre de Nusselt moyen
T	Temps (s)
\vec{V}	Vecteur de vitesse du fluide (m/s)
u,v	Composantes de la vitesse (m/s)
U,V	Composantes de la vitesse adimensionnelle
x,y	Coordonnées cartésiennes dimensionnelle (m)
X,Y	Coordonnées cartésiennes adimensionnelles
P	pression (pa)
Pr	Nombre de Prandtl
Re	Nombre de Reynolds
Ri	Nombre de Richardson

Gr Nombre de Grashof

S_ϕ Le terme source

Symboles Grecs

α Diffusivité thermique (m^2/s)

β Coefficient d'expansion thermique à pression constante (K^{-1})

ϕ Variable d'épandent générale

ν Viscosité cinématique (m^2/s)

μ Viscosité dynamique ($kg/m.s$)

ρ Masse volumique (kg/m^3)

ρ_0 Masse volumique à T_0 (kg/m^3)

ψ Fonction de courant (m^2/s)

ΔT Différence de température entre la surface du solide et la surface libre du fluide (C°)

λ Coefficient de conductivité thermique du fluide ($w/m.k$)

ϕ Flux de chaleur transmis par rayonnement (w)

Γ Coefficient de diffusion

ε Facteur d'émission de la surface

σ Constante de Stefan Boltzmann ($w/m^2 \cdot K^4$)

Exposants

* Paramètre adimensionnel

Liste des figures

CHAPITRE I

Figure I.1 : Shéma du transfert de chaleur conductif	15
Figure I.2 : Phénomène de convection thermique	17
Figure I.3 : Ecoulement laminaire	
Figure I.4 : Régime turbulent	19
Figure I.5 : Ecoulement d'un fluide d'Oswald autour d'un cylindre confiné asymétriquement dans un canal plan (Nirmalkar et al., 2012)	23
Figure I.6 : Ecoulement d'un fluide de deux cylindres confinés l'un verticalement à côté de l'autre dans un canal plan (Chaitanya et al. 2012)	23
Figure I.7 : Ecoulement autour d'un cylindre circulaire asymétriquement confiné (Laidoudi and Bouzit, 2018).	24
Figure I.8 : Ecoulement vertical suite à une convection mixte autour d'un cylindre carré (Kumar et Dhiman, 2016)	26
Figure I.9: Graphe représentant le rapport du nombre de Nusselt en convection mixte	27

CHAPITRE II

Figure II.1 : les appareils de convection libre et forcée (TD1005)	31	
Figure II.2: Surface <i>a fuseau tubulair</i>	Figure II.3 : Surface a ailette plane	32
Figure II.4 : Géométrie	36	
Figure II.5 : Géométrie	37	

CHAPITRE III

Figure III.1 : Étapes de CFD	44
Figure III.2 : Quelque domaine d'application de la CFD	45

Figure III.3 : Volume de contrôle typique bidimensionnel	46
Figure III.4 : Volume de contrôle décalé pour u et v dans un maillage entrelacé	47
Figure III.5 : Schéma du volume de contrôle dans le cas bidimensionnel	49
Figure III.6 : Simulation numérique des flux d'air sur une tendeuse d'herbe. (solsi-cad)	53
Figure III.7 : l'interface de logiciel ANSYS Workbench	54
Figure III.8 : l'interface de Le logiciel ANSYS Design Modeler	55
Figure III.9 : Maillage pour deux différentes Géométrie	56
Figure III.10 : Fenêtre de démarrage de fluent	58
Figure III.11 : Schéma de convergence	61
Figure III.12 : Propriétés thermo-physiques du Gallium métaux liquides	61
Figure III.13 : Facteur de sous-relaxation	62

CHAPITRE IV

Figure IV.1 : profil de température pour 3 maillage différents (Gr=105)	65
Figure IV.2 : Axe de géométrie avec les cylindres	
Figure IV.3 : Axe de géométrie avec des chicanes	65
Figure IV.4 : contours de température, et ligne de courants pour Gr = 103	67
Figure IV.5 : contours de température, et ligne de courants pour Gr = 106	67
Figure IV.6 : contours de température, et ligne de courants pour Gr = 108	68
Figure IV.7 : contours de température, et ligne de courants pour Gr = 109	69
Figure IV.8 : profile de température	69
Figure IV.9 : profile de vitesse	70

Figure IV.10 : profile de vitesse	70
Figure IV.11 : contours de température, et ligne de courants pour $Gr = 103$	71
Figure IV.12 : contours de température, et ligne de courants pour $Gr = 105$	71
Figure IV.13 : contours de température, ligne de courants pour $Gr = 107$	72
Figure IV.14 : contours de température, et ligne de courants pour $Gr = 109$	72
Figure IV.15 : profil de température	73
Figure IV.16 : profile de vitesse	73
Figure IV.17 : profile de vitesse	74
Figure IV.18 : contours de température, et ligne de courants pour $v = 0.05$	75
Figure IV.19 : contours de température, et ligne de courants pour $v = 0.09$	75
Figure IV.20 : contours de température, et ligne de courants pour $v = 1.5$	76
Figure IV.21 : contours de température, et ligne de courants pour $v = 2.5, (Ri = 0.005)$	76
Figure IV.22 : profile de température	77
Figure IV.23 : profile de vitesse	77
Figure IV.24 : profile de vitesse	78
Figure IV.25 : contours de température, et ligne de courants pour $v = 0.05$	79

Figure IV.26 : contours de température,et ligne de courants pour $v = 0.09$	
79	
Figure IV.27 : contours de température, et ligne de courants pour $v = 1.5\text{m/s}$	
80	
Figure IV.28 : contours de température, et ligne de courants pour $v = 2.5$	
80	
Figure IV.29 : profile de température	81
Figure IV.30 : profile de vitesse	81
Figure IV.31 : profile de vitesse	82
Figure IV.32 : nombre de Nusselt dans la géométrie avec des obstacles cylindrique	82
Figure IV.33 : nombre de Nusselt dans la géométrie avec des chicanes	83

Liste des Tableaux

CHAPITRE I

Tableau I-1 : Constantes Cetmenfonction de la géométrie du cylindre et deRed	28
Tableau I-2 : Constantes Cetmen fonction de la géométrie du cylindre et deRed.	29

CHAPITRE III

Tableau III-1 : les termes de l'équation de transport (convection naturelle)	48
Tableau III-2 : les termes de l'équation de transport (convection mixte)	48
Tableau III-3 : Les résultats de maillage	55



INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale

La mécanique des fluides est une science qui s'intéresse à l'étude du comportement des fluides à l'état statique et dynamique. C'est une science qui trouve des applications dans plusieurs domaines tels que l'aérodynamique, l'hydraulique, les turbomachines et les équipements thermiques...etc. L'étude des écoulements autour des objets est un problème classique de mécanique des fluides qui peut être très utile dans la pratique comme dans la conception mécanique et thermique de nombreux systèmes en engineering, à savoir l'aéronautique, l'automobile, le bâtiment...etc. En parallèle, l'étude des phénomènes hydro/aérodynamiques qui surgissent dans le sillage d'un obstacle reste un sujet d'actualité dans divers domaines, car la connaissance des structures laminaire générées derrière ces obstacles et leurs différents régimes est d'une utilité primordiale dans la conception des ouvrages exposés aux écoulements des fluides. Le choix de l'étude des obstacles résulte de leurs simplicités géométriques permettant d'avoir des facilités expérimentales et numériques. Plusieurs expériences dans le domaine ont été réalisées et confrontées aux méthodes numériques. Pour cette dernière une large gamme de méthodes mathématiques ont été développées afin de s'approcher de la réalité de l'écoulement et de fournir le maximum d'information qui peuvent se produire. Pour notre cas, on a utilisé le code Fluent, qui est un outil de simulation numérique afin de simuler un écoulement autour d'un obstacle cylindre et carré. L'objectif de notre mémoire est d'étudier avec une simulation numérique le comportement dynamique d'un écoulement laminaire en présence par un obstacle à fuseau tubulaire et à ailette plane.

Dans ce mémoire, nous nous intéressons à étudier avec une simulation numérique le comportement d'un écoulement perturbé par la présence d'un obstacle. Le présent manuscrit s'organise en quatre chapitres présentés comme suit :

- Dans le premier chapitre, nous allons exposer les définitions de base de la mécanique des fluides, des écoulements autour des obstacles et certains travaux de recherches. Le deuxième chapitre sera réservé aux formulations mathématiques, où on expose les équations mathématiques régissant l'écoulement bidimensionnel d'un fluide incompressible autour d'un obstacle. Par la suite, Le troisième chapitre est dédié à la méthode des volumes finis et CFD (Fluent). Le quatrième chapitre est dédié à la présentation et à la discussion des résultats ; Finalement on termine par une conclusion générale.

A blue scroll graphic with a white border and a white shadow. The scroll is unrolled in the middle, showing the text "Chapitre I". The top and bottom edges of the scroll are curled up, and the left edge is also curled up.

Chapitre I

I. Généralité et étude bibliographique

I.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous avons présenté des généralités sur le transfert de chaleur et des notions sur l'écoulement autour d'un obstacle, en terminant par des revues bibliographiques.

Le concept d'énergie est utilisé en thermodynamique pour préciser l'état d'un système. Il est bien connu le fait que l'énergie n'est ni créée ni détruite, mais seulement transformée d'une forme à l'autre. La science de la thermodynamique étudie la relation entre la chaleur et d'autres formes d'énergie mais l'objectif de la science du transfert de chaleur (du transfert thermique) est l'analyse du taux de transfert thermique ayant lieu dans un système. L'énergie transférée par transfert de chaleur n'est pas directement mesurable mais peut être appréciée par une quantité mesurable appelée la température.

I.2 Les différents modes de transfert de chaleur

Dans l'étude du transfert thermique, on distingue trois modes de transmission de la chaleur: la conduction, la convection et le rayonnement.

I.2.1 Transfert de chaleur par conduction

C'est le transfert de chaleur au sein d'un milieu opaque, sans déplacement de matière, sous l'influence d'une différence de température. La propagation de la chaleur par conduction à l'intérieur d'un corps s'effectue selon deux mécanismes distincts : une transmission par les vibrations des atomes ou molécules et une transmission par les électrons libres.

La théorie de la conduction repose sur l'hypothèse de Fourier : la densité de flux est proportionnelle au gradient de température :

$$\vec{\varphi} = -\lambda S \overrightarrow{\text{grad}}(T) \quad (\text{I.1})$$

Ou sous forme algébrique :

$$\varphi = -\lambda S \frac{\partial T}{\partial x} \quad (\text{I.2})$$

Avec :

- φ Flux de chaleur transmis par conduction (W).
- λ Conductivité thermique du milieu ($Wm^{-1}C^{-1}$).
- x Variable d'espace dans la direction du flux (m).
- S Aire de la section de passage du flux de chaleur (m^2).

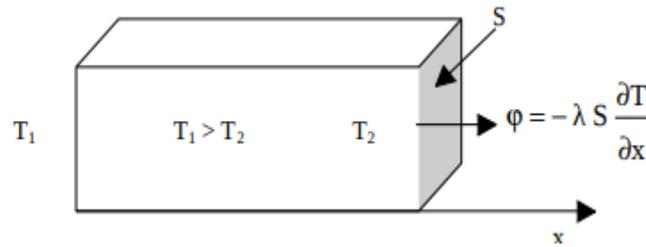


Figure I.1 : Schéma du transfert de chaleur conductif

I.2.2 Transfert de chaleur par rayonnement

C'est un transfert d'énergie électromagnétique entre deux surfaces (même dans le vide). Dans les problèmes de conduction, on prend en compte le rayonnement entre un solide et le milieu environnant et dans ce cas nous avons la relation :[1]

$$\varphi = \sigma \varepsilon_p S (T_p^4 - T_\infty^4) \quad (\text{I.3})$$

Avec :

φ Flux de chaleur transmis par rayonnement (W).

σ Constante de Stefan ($5,67 \cdot 10^{-8}$) ($Wm^{-2}K^{-4}$).

ε_p Facteur d'émission de la surface

T_p Température de la surface (K)

T_∞ Température du milieu environnant la surface (K)

S Aire de la surface (m^2).

Le transfert par 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 molécules du fluide adjacent. L'énergie ainsi transmise sert à augmenter la température et l'énergie interne de ces molécules du fluide. Ensuite, les molécules vont se mélanger avec d'autres molécules situées dans une région à basse température et transférer une partie de leur énergie. Dans ce cas, l'écoulement transporte le fluide et l'énergie. L'énergie est, à présent, emmagasinée dans les molécules du fluide et elle est transportée sous l'effet de leur mouvement. La transmission de chaleur par convection est désignée, selon le mode

d'écoulement du fluide, par convection libre, convection forcée et par la combinaison des deux (convection mixte).[2]

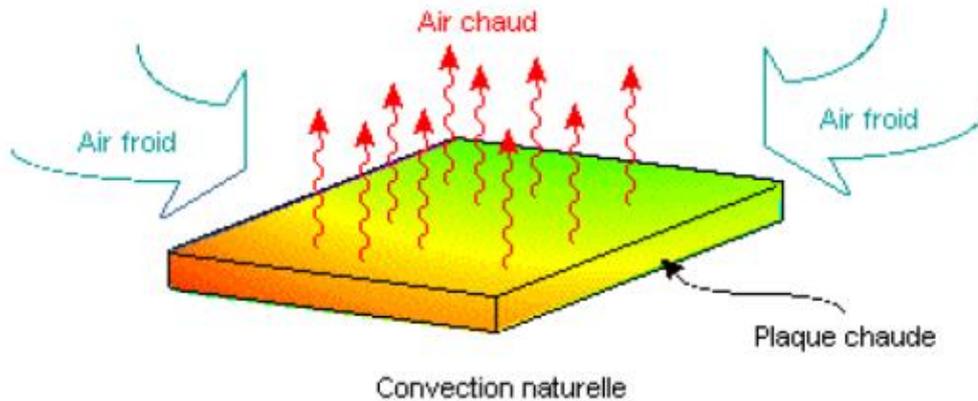


Figure I.2 : *Phénomène de convection thermique*

Le mécanisme de transfert thermique par convection est régi par la loi de Newton :

$$\phi = hS(T_p - T_\infty) \quad (\text{I.4})$$

Avec :

ϕ : Flux de chaleur transmis par convection (W)

h : Coefficient de transfert de chaleur par convection ($Wm^{-2}K^{-1}$)

T_p : Température de surface du solide (K)

T_∞ : Température du fluide loin de la surface du solide (K)

S : Aire de la surface de contact solide/fluide (m^2)

I.2.2.1 Les différents types de convection

a) Convection forcée

La convection forcée dans laquelle le mouvement est provoquée par un procédé mécanique indépendant des phénomènes thermiques ; c'est donc un gradient de pression extérieur qui provoque les déplacements des particules du fluide. L'étude de la transmission de chaleur par convection est donc étroitement liée à celle de l'écoulement des fluides. La convection est dite forcée quand il existe une cause du mouvement autre que les variations de températures du fluide, cette cause étant la seule à prendre en compte en raison de son importance relative.

b) Convection naturelle

C'est celle dans laquelle le mouvement du fluide est créé par des différences de densité, celles-mêmes dues à des différences de température existant dans le fluide. La convection naturelle dans laquelle le mouvement résulte de la variation de la masse volumique du fluide avec la température ; cette variation crée un champ de forces gravitationnelles qui conditionne les déplacements des particules fluide. La convection naturelle est due au contact du fluide avec une paroi plus chaude ou plus froide et qui crée des différences de masse volumique, génératrice du mouvement au sein du fluide. On retrouve dans plusieurs applications industrielles ce mode de transfert de chaleur, Par exemple, dans les échangeurs de chaleur où deux fluides en mouvement, séparés par une paroi solide s'échangent de l'énergie [3].

c) Convection mixte

Il existe une cause externe au mouvement du fluide mais insuffisante pour que la poussée d'Archimède puisse être négligée (frontière entre la convection libre et la convection forcée)

I.2.2.2 Coefficient d'échange convectif

Le coefficient d'échange convectif est un paramètre pertinent lorsqu'il s'agit de modéliser le comportement thermique d'un système physique. Ce coefficient est en réalité une fonction dépendante de manière complexe d'une multitude de variables, comme par exemple :

La nature de l'écoulement, la vitesse du fluide, les températures du fluide et du solide au contact, les paramètres physiques du fluide, la géométrie de l'espace occupé par le fluide ; son calcul peut être effectué en recourant à différentes méthodes :

- Détermination d'une solution analytique ou numérique des équations de conservation (méthode recommandée pour le régime laminaire) ;
- Similitude ou l'analyse dimensionnelle combinée avec des résultats expérimentaux ;
- Formulation d'analogies entre le transfert de quantité de chaleur et le transfert de quantité de mouvement (essentiellement dans le cas du régime turbulent). [4]

$$h = \frac{-\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{x=0}}{(T_p - T_\infty)} \quad (\text{I.5})$$

Pour obtenir le coefficient moyen d'échange \bar{h} , il suffit d'intégrer le coefficient local (h), comme le montre l'intégrale ci-après :

$$\bar{h} = \frac{1}{s} \int h ds \quad (\text{I.6})$$

I.3 Types d'écoulements

I.3.1 Écoulement laminaire et écoulement turbulent

L'introduction de marqueurs (fumée dans le cas des gaz, colorant pour les liquides), permet d'observer des différences importantes dans le comportement des écoulements des fluides. Dans certains écoulements, les particules marquées diffusent très lentement c'est à dire s'écartent peu les unes des autres, les différentes couches (lamelles) glissent les unes par rapport aux autres sans se mélanger : l'écoulement est dit laminaire. Au contraire dans d'autres écoulements les particules marquées s'éloignent très rapidement de manière "aléatoire, irrégulière, dans toutes les directions "les unes des autres, on ne retrouve plus de trace de marquage significative très près de l'endroit où le marqueur a été introduit : l'écoulement est dit turbulent.

D'évidence, l'écoulement sera laminaire à faible vitesse alors que les grandes vitesses provoqueront l'instabilité des particules c'est à dire le caractère turbulent de l'écoulement. En fait, la transition entre écoulement laminaire et turbulent dépend de la vitesse, mais aussi des caractéristiques (viscosité) du fluide, de la forme de l'écoulement (espace fermé -canalisation-; espace ouvert sur une surface à l'air libre"). Il découle de ces propos que, pour un écoulement turbulent, les variables, en un point donné, qui caractérisent l'écoulement varient de manière aléatoire et que la notion d'écoulement permanent ne peut être comprise qu'en moyenne (la valeur moyenne de toute variable caractéristique de l'écoulement étant, alors, indépendante du temps). Au contraire, pour un écoulement laminaire, les fluctuations des variables sont négligeables, à la limite nulle.

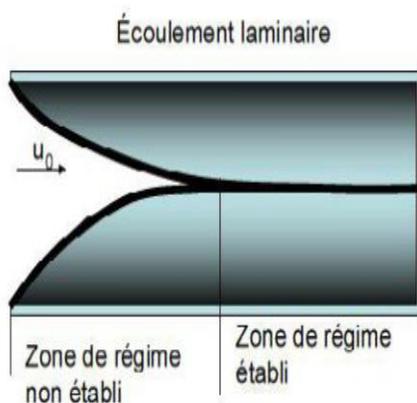


Figure I.3 : Écoulement laminaire

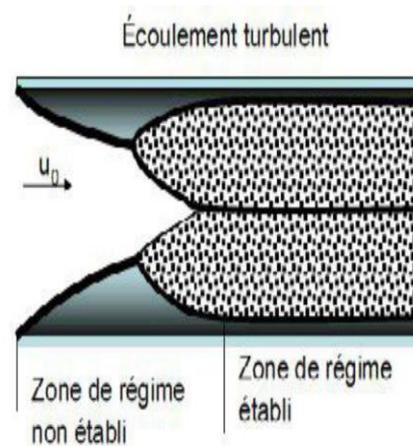


Figure I.4: Régime turbulent

I.3.2 Ecoulement unidimensionnel et bidimensionnel

Dans certains cas particuliers intéressants. L'étude d'un problème physique réel tridimensionnel peut se ramener à l'étude d'un écoulement théorique bidimensionnel ou unidimensionnel. C'est pour quoi, on peut considérer que l'écoulement est de grande étendue suivant l'axe (Oz) est alors sera considéré comme un écoulement bidimensionnel suivant les axes (Ox) et (Oy), et toutes les grandeurs du fluide ne dépendent alors que de deux variables d'espace.

I.3.3 Ecoulement interne et écoulement externe

Les écoulements externes représentent les écoulements autour des obstacles. Les écoulements internes sont ceux de l'intérieur des conduites et qui sont limités par des parois fixes ou mobiles.

I.3.4 Ecoulement compressible et incompressible

Un fluide est dit incompressible lorsque sa masse volumique ne dépend pratiquement pas de la pression ou de la température. Traditionnellement, les liquides sont considérés comme incompressibles et les gaz sont compressibles, l'approximation fluide incompressible est souvent justifiée pour un gaz s'écoulant à faible vitesse par rapport à la vitesse du son (on montre que le fluide peut être considéré comme incompressible si le nombre de Mach -rapport de la vitesse du fluide à la vitesse du son dans le fluide- est inférieur à 1/3). Ainsi c'est la nature de l'écoulement qui permet de distinguer l'écoulement compressible de l'écoulement incompressible et non la nature du fluide.

I.3.5 Ecoulement potentiel

L'hypothèse la plus importante et à partir de laquelle découle la théorie de l'écoulement potentiel, consiste à considérer le fluide comme parfait. Dans lequel tout effet de viscosité est négligé, ce qui simplifie les équations de mouvement de fluide.

Cette hypothèse est toujours valable loin des parois rigides. Soit un écoulement permanent incompressible et homogène dont la vitesse dérivé d'un potentiel

$$\vec{v} = \overrightarrow{\text{grad } \varphi} \quad (\text{I.7})$$

$$\text{Avec : } \mathbf{u} = \frac{\partial \varphi}{\partial x} ; \quad \mathbf{v} = \frac{\partial \varphi}{\partial y} ; \quad \mathbf{w} = \frac{\partial \varphi}{\partial z}$$

La condition de continuité $\text{div} \vec{V} = 0$ conduit à :

$$\Delta\varphi = \frac{\partial^2\varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\varphi}{\partial z^2} + \frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2} \quad (\text{I.8})$$

Cela élimine les termes de viscosité dans les équations de Navier- stokes par la suite. Les forces de viscosité provoquent de la dissipation énergétique mais elles s'équilibrent entre elles, c'est pour cela qu'elles ne figurent pas dans les équations dynamiques de mouvement.

I.3.6 Écoulement irrotationnel plans

Un écoulement irrotationnel a été défini à partir de $\overrightarrow{\text{rot}}(\overrightarrow{V}) = \mathbf{0}$ Une fonction dont le rotationnel est nul peut être toujours représentée par le gradient d'une fonction scalaire $\overrightarrow{\text{rot}}(\overrightarrow{\text{grad}}\phi) = \mathbf{0}$, il existe alors une vitesse V tel que $\overrightarrow{V} = \overrightarrow{\text{grad}}\phi$ et par conséquent un écoulement irrotationnel est dit potentiel. On peut satisfaire l'équation de continuité en posant

$$U_x = \frac{\partial\Psi}{\partial y}, U_y = -\frac{\partial\Psi}{\partial x} \quad \Psi: \text{Fonction de courant.} \quad (\text{I.9})$$

$$U_x = \frac{\partial\varphi}{\partial x}, U_y = -\frac{\partial\varphi}{\partial y} \quad \varphi: \text{Fonction de potentiel} \quad (\text{I.10})$$

Les fonctions Ψ et φ sont donc liées par les relations :

$$\frac{\partial\Psi}{\partial y} = \frac{\partial\varphi}{\partial x}, \frac{\partial\Psi}{\partial x} = -\frac{\partial\varphi}{\partial y} \quad (\text{I.11})$$

Rappelons que les courbes $\Psi = Cte$ sont les lignes orthogonales aux lignes de courant. Les relations montrent que les équipotentielles ($\varphi = Cte$) sont les lignes orthogonales aux lignes de courant. Le long d'un arc de courbe quelconque AB dans le plan, $\varphi_B - \varphi_A$ représente la circulation du vecteur vitesse, tandis que $(\Psi_B - \Psi_A)$ est le flux de fluide à travers cet arc. De la nullité du rotationnel de la vitesse, ou de l'équation de continuité, on déduit que la fonction de courant Ψ est elle aussi harmonique : $\Delta\Psi = 0$. [5]

I.4 Les écoulements autour d'un obstacle

Les écoulements autour des objets est un phénomène qui se produit fréquemment dans la pratique et nécessaire pour la conception mécanique et thermique de nombreux systèmes en engineering comme : avions, automobiles, bâtiments, composant électroniques, les aubes de turbines et les obstacles cylindrique a section carrée et circulaire. L'indentification et l'étude des phénomènes hydro et aérodynamiques qui surgissent dans le sillage d'un obstacle restent un sujet d'intérêt dans divers domaines.

I.4.1 Écoulement autour d'un obstacle cylindrique et carré

Les études traitant le problème de l'écoulement autour d'un cylindre ont suscité un

Intérêt considérable ces dernières années. Cet intérêt découle de la variété d'applications dans le domaine de l'ingénierie faisant appel à des formes cylindriques.

Malgré la simplicité de l'obstacle à sections circulaires ou à section carrées, L'écoulement fait intervenir des mécanismes complexes. Ceci a suscité beaucoup d'intérêt pour la communauté scientifique. L'écoulement autour d'un cylindre placé dans un écoulement uniforme établi peut prendre plusieurs formes. La forme du sillage peut être Déterminée en premier lieu par le nombre de Reynolds, défini par : $Re = \frac{U_\infty D}{\nu}$ où « U_∞ » représente la vitesse à l'infini amont, « D » le diamètre du cylindre à section circulaire et « A » le coté du cylindre à section carrée avec : $A = \frac{\pi D^2}{4}$ et « ν » la viscosité cinématique du fluide considéré. Les changements structuraux dans le sillage sont dus à la transition des paramètres de l'écoulement tel que la couche limite ou l'écoulement cisailé. Ces transitions s'amorcent à des valeurs particulières du nombre de Reynolds (Re). [6]

Les obstacles aérodynamiques

On peut classer les obstacles de forme géométrie simple en trois types :

- ✚ Les obstacles à courbure progressive : pour lesquels le point de décollement de la couche limite est susceptible de se déplacer : le modèle géométrique est la sphère ou la cylindre.
- ✚ Les obstacles à arrête vive, pour lesquels le point de décollement de la couche limite est fixe : le modèle géométrique est la plaque plane inclinée sur la direction de la vitesse V .

Les obstacles profilés, pour lesquels il n'y a pas de décollement de la couche limite : le modèle géométrique est la plaque plane parallèle à V . [7]

I.5 Etude Bibliographie dans un écoulement autour d'un obstacle

Beaucoup de travaux de recherches ont été réalisés pour modéliser l'écoulement autour des obstacles. Pour cela, plusieurs expériences dans le domaine ont été réalisées et confrontées aux méthodes numériques. Certains des travaux les plus pertinents dans cette thématique sont exposés ci-dessus :

Nirmalkar et al. (2012)[8] ont présenté dans leur travail l'effet de l'asymétrie sur la convection forcée d'un fluide non-newtonien, dit fluide d'Ostwald, qui passe autour d'un cylindre circulaire placé asymétriquement dans un canal plan. (**FigureI.8**). Le degré d'asymétrie est défini par le rapport de l'écart et qui est limité entre les valeurs $\gamma = (0.25 - 1)$. Les conditions initiales sont : $Re = (0.1 - 100)$. $n = (0.3 - 1)$. $Pr = (1 - 100)$. L'étude est faite pour trois valeurs

du rapport de blocage $B = (1/5, 1/3, 1/1.5)$. **Nirmalkar et al.** Ont déduit que le degré d'asymétrie fait augmenter le coefficient de portance et agit sur la valeur du coefficient de traînée, ainsi que l'asymétrie cause l'augmentation du pourcentage de transfert thermique jusqu'à la valeur (60-70)% pour les fluides fluidifiants.

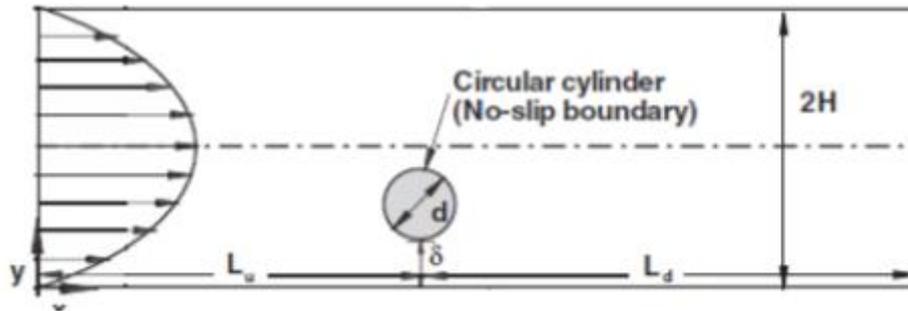


Figure I.5 : *Écoulement d'un fluide d'Oswald autour d'un cylindre confiné asymétriquement dans un canal plan (Nirmalkar et al., 2012) [8]*

Chaitanya et al. (2012)[9] ont présenté dans leur littérature une analyse numérique des fluides non-newtoniens régis par la loi d'Oswald autour deux cylindres circulaires placés l'un à côté de l'autre dans un canal plan. (**Figure I.9**). L'étude est reposée sur l'impact de la distance entre les deux cylindres et le comportement rhéologique du fluide sur les forces hydrodynamiques et la convection forcée. Les conditions initiales du travail sont :

$Re = (1 - 40)$. $n = (0.4 - 1.8)$. $Pr = (50)$. $T/d = (1.5 - 4.0)$. Ils ont trouvé que le coefficient de traînée diminue et le nombre d'échange thermique augmente avec l'augmentation du nombre

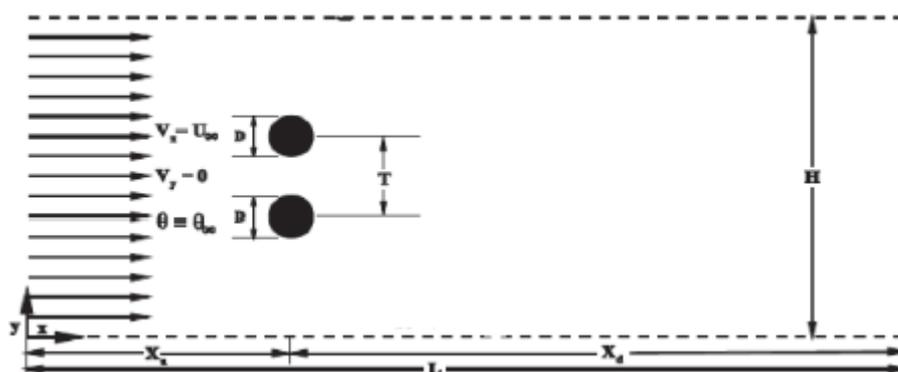


Figure I.6 : *Écoulement d'un fluide de deux cylindres confinés l'un verticalement à côté de l'autre dans un canal plan (Chaitanya et al. 2012) [9]*

Laidoudi H. and Bouzit M., 2018[10] ont menu une étude de CFD en utilisant le code commerciale ANSYS CFX pour examiner les effets de la flottabilité thermique sur les caractéristiques thermo hydrodynamiques d'un écoulement de Poiseuille incompressible autour

de cylindres confinés symétriquement et asymétriquement immergés (**Figure I.10**). Les résultats numériques ont été présentés et discutés pour des gammes de conditions suivantes : $10 \leq Re \leq 40$, nombre Richardson $0 \leq Ri \leq 4$, et le facteur d'excentricité $0 \leq \varepsilon \leq 0,7$ pour un nombre de Prandtl $Pr = 1$, et un taux de blocage $B = 20\%$. Les profils aérodynamiques représentatifs et les isothermes ont été présentés pour interpréter la visualisation du flux et du transport thermique. Lorsque la flottabilité est ajoutée, on observe que la séparation de l'écoulement diminue progressivement pour disparaître complètement pour une valeur critique du paramètre de flottabilité thermique. De plus, ils ont observé que pour être supprimé, le vortex inférieur nécessite plus de chaleur, par rapport au vortex supérieur. Le coefficient de traînée total augmente avec l'augmentation du nombre de Richardson à ($\varepsilon = 0$). De plus, une augmentation du facteur d'excentricité de 0 à 0,3 augmente ce coefficient de 37% pour un $Re = 10$ et de 30% pour un $Re = 20$ pour $Ri = 4$. Une augmentation du facteur d'excentricité de 0 à 0,4 augmente le nombre de Nusselt Nu de 20,4% pour un $Re = 10$, et 18,6% pour un $Re = 30$ et un $Ri = 4$.

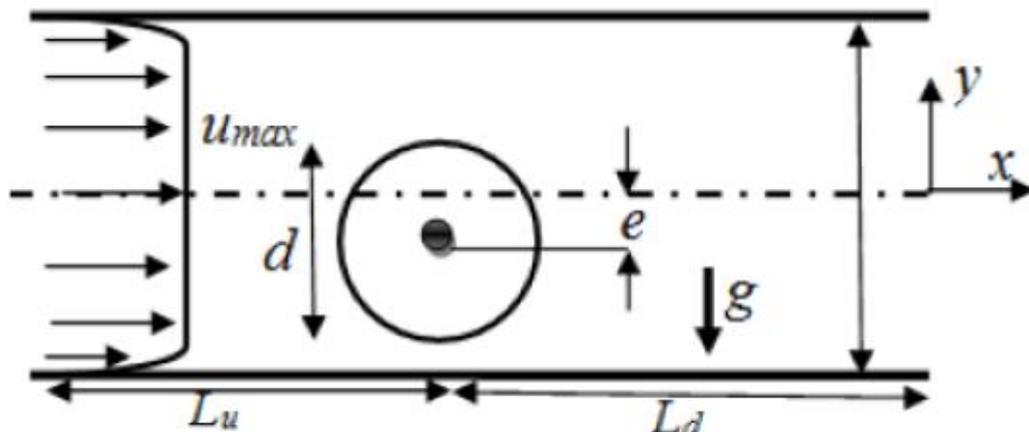


Figure I.7 : *Écoulement autour d'un cylindre circulaire asymétriquement confiné (Laidoudi and Bouzit, 2018). [10]*

B.Gera et al. (2010)[11] ont étudié avec CFD (computationnel fluide dynamique) l'écoulement instationnaire 2D autour d'un obstacle carré. La simulation a été réalisée afin d'analyser le comportement de sillage. Le nombre de Reynolds a été pris de l'ordre de 50 à 250.

N.Hafida et S.Mohamed (2010) [12] ont mené une étude numérique des effets des obstacles carrés sur le profil du vent. Cette étude leur permis d'évaluer les perturbations aérodynamiques engendrées par la présence d'un obstacle carré dans un champ de vitesse caractérisé par un profil incident parallèle et logarithmique. Les équations régissant l'écoulement du fluide supposé incompressible ont été résolues via des modèles numériques CFD. Toutefois, les zones de recirculations, les longueurs de rattachement et les points de séparations ont été évalués pour

des nombres de Reynolds de l'ordre de 10^4 et 10^5 . Ils ont montré l'évolution des forts gradients de vitesse qui se forment autour du bâtiment et près du sol.

P.F. Zhang et al. (2006) [13] ont effectué une étude numérique de l'écoulement laminaire bidimensionnel autour d'une tige ascendante et d'un cylindre circulaire. Les résultats obtenus à l'aide du logiciel de simulation Fluent démontrent que le coefficient de traînée moyenne et le coefficient de fluctuation de portance du cylindre peuvent être réduits par une tige ascendante.

BehniaMasud, Wataru Nakayama et Jeffrey Wang (1998)[14] ont mené une série d'expériences dans le but de mesurer le champ d'écoulement et le transfert de chaleur dans une géométrie simple d'un morceau échauffé dans un jet d'air. L'étude consiste à simuler les champs dynamiques et thermiques dans un écoulement entre deux plaques parallèles avec un bloc chauffé monté sur le plancher. La vitesse d'écoulement à l'entrée du canal varie entre 1 et 74m/s. Divers modèles de turbulence ont été testés, et l'effet de l'écoulement à l'entrée du canal sur le taux de transfert de chaleur a été déterminé en considérant un état stable et entièrement développé. Le coefficient de transfert de chaleur est déterminé numériquement. Les résultats indiquent que l'écoulement au voisinage du bloc présente une séparation d'écoulement et formation de vortex, menant à une distribution complexe du coefficient local de transfert de chaleur. La température de l'air suivant le plancher est fortement affectée par le transfert de chaleur à partir du bloc, qui mène à la formation d'un sillage en aval du bloc. Les données expérimentales sont utilisées pour valider les prévisions de CFD, et l'accord avec quelques paramètres s'avère favorable.

Kumar et Dhiman (2016)[15] ont étudié numériquement, pour des nombres des nombres de Reynolds $1 \leq Re \leq 100$, de Richardson $0 \leq Ri \leq 1$, et des rapports de blocage $10 \leq \beta \leq 50\%$, la convection mixte d'un cylindre carré chauffé disposé dans un canal vertical (**Figure I.12**). De l'air a été prit comme fluide moteur. Les auteurs ont observé un début d'un changement d'un régime stable à un régime périodique pour un $Ri = 0$ (à $Re = 35, 65, 74$ et 62),

$Ri = -0,5$ (à $Re = 12, 39, 48$ et 54), et $Ri = -1$ (à $Re = 9, 30, 39$ et 50) pour un rapports de blocage $\beta = 10\%, 25\%, 30\%$ et 50% , respectivement. L'amorce de la séparation d'écoulement est également déterminée. Finalement, les auteurs ont déterminé des corrélations pour le nombre de Strouhal, pour le coefficient de traînée et pour le coefficient de transfert thermique.

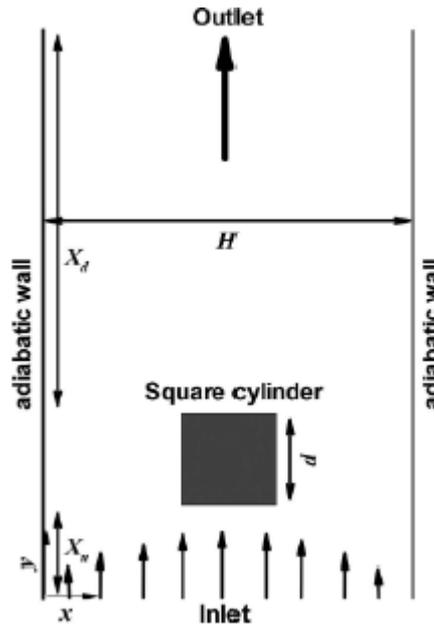


Figure I.2 : *Écoulement vertical suite à une convection mixte autour d'un cylindre carré (Kumar et Dhiman, 2016) [15]*

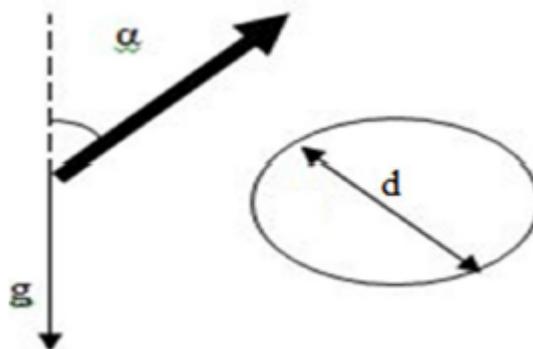
FAND [16] a quant à lui démontré que pour un écoulement de liquides autour d'un cylindre dont le nombre de Reynolds varierait entre $10^{-1} < Re_f < 10^5$ les propriétés du fluide sont prises à la température du film. Le coefficient de transfert de chaleur serait mieux représenté par la corrélation suivante :

$$Nu_f = (0.35 + 0.56 Re_f^{0.52}) Pr_f^{0.3} \quad (I.12)$$

OOTHUISEN P.H. ET MADAN S. [17] ont, quant à eux, pris pour l'étude du transfert de chaleur par convection un écoulement d'air faisant un angle α avec la verticale dans leur publication pour l'étude du transfert de chaleur en convection mixte.

Pour cela, ils ont pris des cylindres de diamètres $19\text{mm} \leq d \leq 38\text{mm}$ et supposé que

$Nu_d \approx Nu_{d,CF}$ à 5% près.



Ils ont donc pu réaliser plusieurs graphes pour des valeurs du nombre de Richardson qui sont en fonction de l'angle de l'écoulement.

Pour des différentes valeurs de α on remarque que la valeur limite de Ri qui définit la Transition entre les deux modes d'échange de chaleur par convection forcée et mixte Évolue comme suit :

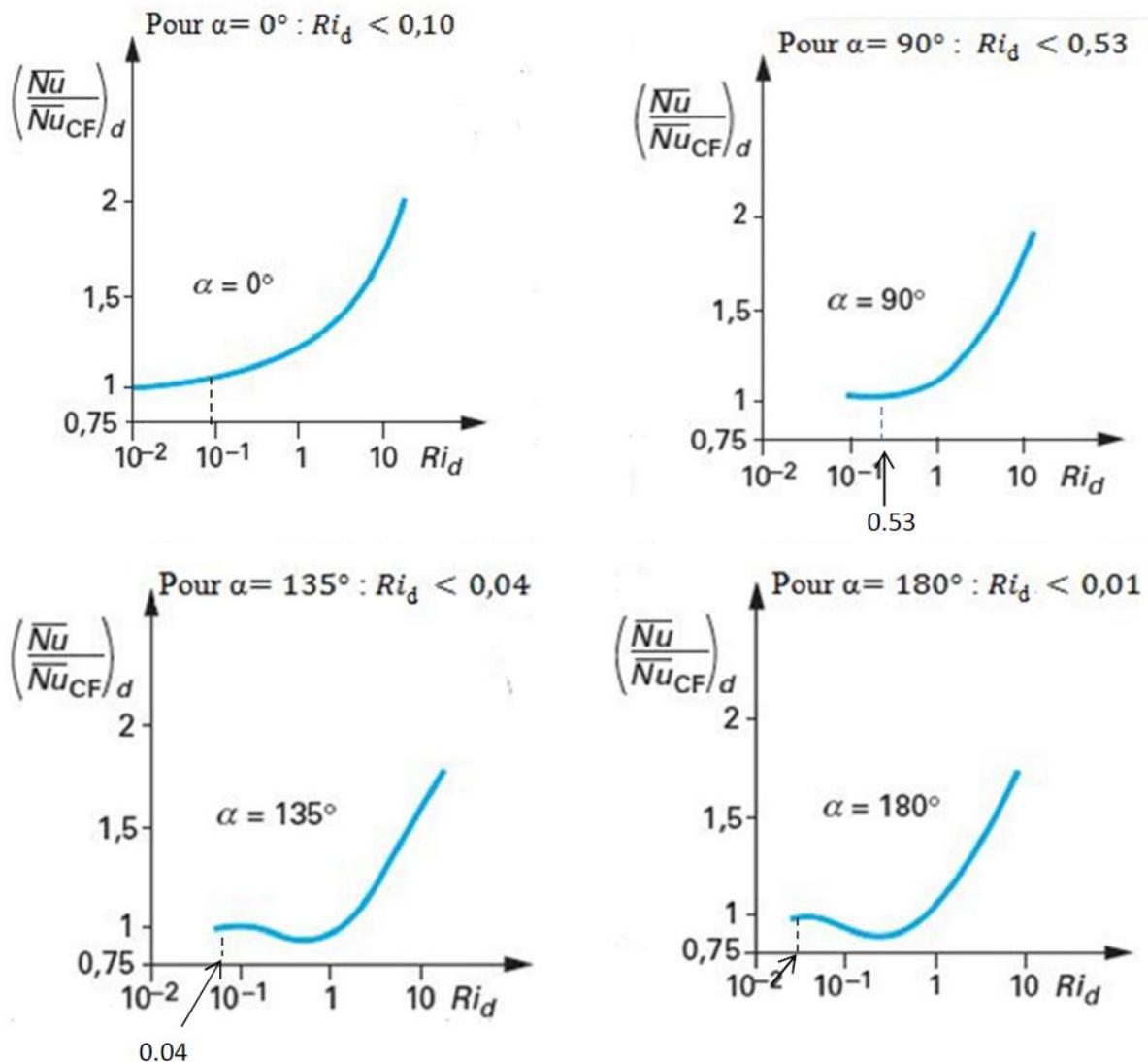


Figure I.9: Graphe représentant le rapport du nombre de Nusselt en convection mixte Au nombre de Nusselt en convection forcée en fonction du nombre de Richardson

X.K. Wang et al [18] : ont étudié numériquement et expérimentalement l'écoulement autour de quatre cylindres dans une configuration carrée pour différents arrangements et dispositions, avec un nombre de Reynolds fixe $Re=8000$. **Obstacle de section diverse** : Pour le cas de

cylindres avec différentes sections, deux chercheurs, en l'occurrence **HILPERT R. [19]** et **REIHER H. [20]** ont mené des expériences sur différentes formes de cylindre isotherme $T_p = cst$ dans le but de déterminer le nombre de Nusselt suivant la relation suivante :

$$Nu_d = \frac{\bar{h}.d}{\lambda} = C Re_d^m Pr^{0.35} \quad (I.13)$$

a) Résultats de HILPERT R. tirés de -VDI-Forschungsheft N°355(1932) :

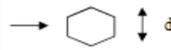
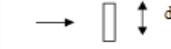
Géométrie	Re_d	C	M
	5.10^3 à 10^5	0.25	0.588
	5.10^3 à 10^5	0.156	0.638
	5.10^3 à $1.95.10^4$	0.162	0.638
	195.10^4 à 10^5	0.0395	0.782
	3.10^3 à 2.10^4	0.264	0.66

Tableau I-1 : Constantes C et m en fonction de la géométrie du cylindre et de Re_d

b) Résultats de REIHER H. tirés de -Forschungsarb.a.d. Geb. Ingenieurives N°269(1925) :

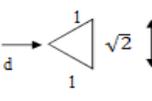
Géométrie	Re_d	C	M
	$2.5 \cdot 10^3$ à $8 \cdot 10^3$ $5 \cdot 10^3$ à 10^5	0.180 0.104	0.699 0.675
	$2.5 \cdot 10^3$ à $1.5 \cdot 10^4$	0.25	0.612
	$3 \cdot 10^3$ à $1.5 \cdot 10^4$	0.096	0.804
	$4 \cdot 10^3$ à $1.5 \cdot 10^4$	0.232	0.731
	$3 \cdot 10^3$ à $2 \cdot 10^4$	0.246	0.61

Tableau I-2 : Constantes C et M en fonction de la géométrie du cylindre et de Re_d .

conclusion

Dans ce chapitre , nous avons basé notre présentation sur le transfert de chaleur et les écoulement autour d'un obstacle a fuseau tubulaire et a ailettes plane.



Chapitre II

II. Formulation mathématique

II.1 Introduction

L'étude d'un phénomène physique passe par la formulation des lois sous forme d'équations mathématiques reliant les différentes variables intervenant dans le déroulement du phénomène.

En général, ces équations sont : l'équation de continuité qui traduit le principe de conservation de masse, les équations de Navier-Stokes qui traduisent le principe de conservation de la quantité de mouvement et l'équation de l'énergie qui représente le principe de conservation de l'énergie. La description d'un problème donnée par processus est stationnaire par des conditions initiales.

II.2 Description de problème

Dans ce travail nous avons mené une étude numérique portant sur un problème de convection mixte et naturelle

Le banc d'étude (TD1005), **Figure II.1** de TecQuipment a été conçu pour étudier la transmission de la chaleur par convection naturelle et forcée dans un écoulement d'air.

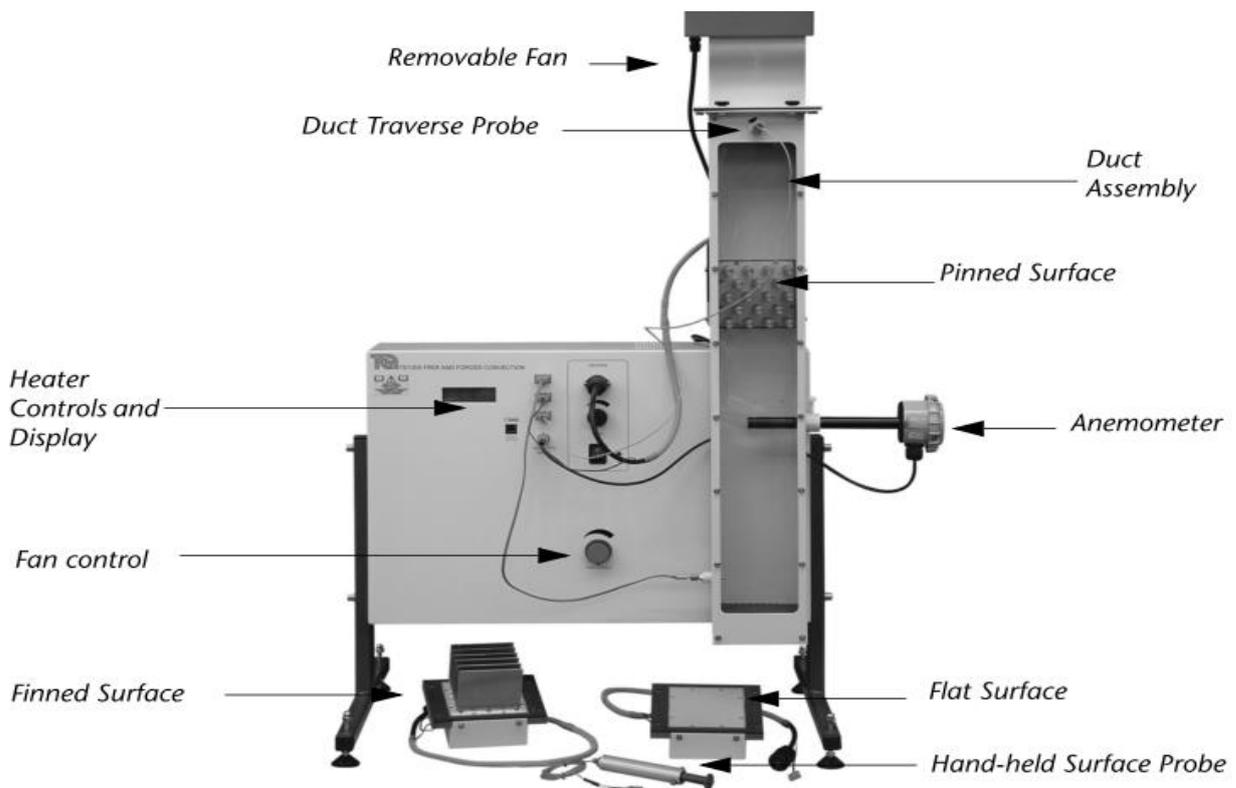


Figure II.2 : les appareils de convection libre et forcée (TD1005)

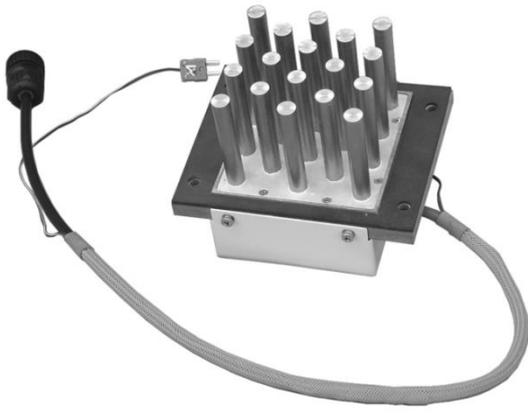


Figure II.3: plaque à fuseau tubulaire

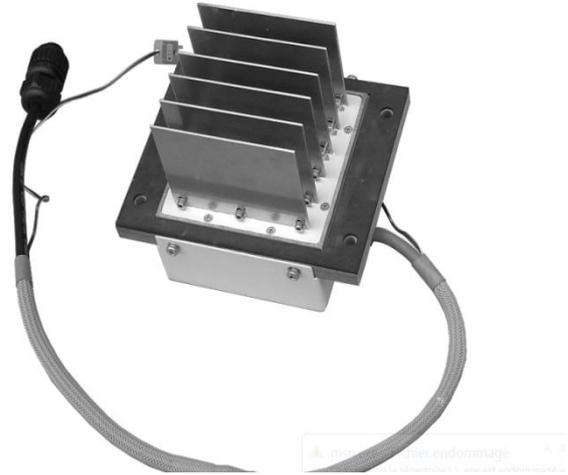


Figure II.4 : plaque à ailette plane

II.3 Formulation mathématique

Les équations régissant l'écoulement sont les équations de Navier-Stokes et l'équation d'énergie, qui expriment la conservation de masse de la quantité de mouvement ainsi que de l'énergie.

La formulation de ces équations sous la forme vectorielle est la suivante :

- **Equation de la continuité**

C'est l'équation qui découle de la loi de la conservation de la masse :

$$\frac{d\rho}{dt} + \rho \cdot \text{div}\vec{V} = 0 \quad (\text{II.1})$$

ρ : La densité du fluide.

t : temps.

\vec{V} : Vecteur de vitesse du fluide.

- **Equation de mouvement**

Le principe de conservation de la quantité de mouvement permet d'écrire l'équation du mouvement sous la forme suivante :

$$\rho \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{\nabla}P + \rho\vec{g} + \mu\overline{\Delta}\vec{V} \quad (\text{II.2})$$

\vec{V} : Vecteur de vitesse du fluide.

\vec{g} : Accélération de la pesanteur.

μ : Viscosité dynamique.

P : La pression.

- **Equation de l'énergie**

L'équation de conservation d'énergie est obtenue à partir du premier principe de la thermodynamique :

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + (\vec{\nabla} \cdot \vec{V}) T \right) = \text{div}(\lambda \overrightarrow{\text{grad}T}) \quad (\text{II.3})$$

Avec :

λ : Conductivité thermique du fluide.

T : Température du fluide.

C_p : Capacité calorifique massique à pression constante du fluide.

II.4 Les hypothèses simplificatrices

Afin de simplifier notre problème, nous avons retenues quelques hypothèses simplificatrices qui sont les suivantes :

- Le fluide (air) est newtonien et incompressible.
- Nous admettons que l'écoulement est bidimensionnel, permanent et laminaire.
- La dissipation visqueuse et le travail des forces de pression sont négligeables dans l'équation de l'énergie.
- Pas source de chaleur et absence d'échange par rayonnement au sein du fluide.
- La densité du fluide dans le terme des forces de volume varie linéairement avec la température T selon l'approximation de **j. Boussinesq**
- Les propriétés physiques du fluide dans les autres termes des équations sont constantes et déterminées à partir de la température de référence T_0

L'hypothèse de Boussinesq suppose que la densité du fluide dans le terme des forces de volume varie linéairement avec la température, ce qui amène à la relation suivante :

$$\rho(T) = \rho_0(1 - \beta_T(T - T_0))$$

Où ρ_0 est la densité à la température T_0 de référence, β_T est le coefficient d'expansion volumique thermique exprimé ci-dessous :

$$\beta_T = -\frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_{P,C}$$

II.5 Formulation des équations en coordonnées cartésiennes

Les équations dimensionnelles sous la forme vectorielle sont exprimées dans les coordonnées cartésiennes avec la considération des hypothèses simplificatrices.

Les équations (II.1), (II.2), (II.3) s'écrivent de la manière suivante :

- **Equation de continuité**

$$U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} \quad (II.4)$$

- **Equation de quantité de mouvement**

La projection de l'équation (II.2) sur les axes (x) et (y) avec l'introduction de l'approximation de Boussineq nous donne les deux équations suivantes :

Suivant x :

$$U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) \quad (II.5)$$

Suivant y :

$$U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial y} - g\beta_T(T - T_0) + \nu \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) \quad (II.6)$$

- **Equation de l'énergie**

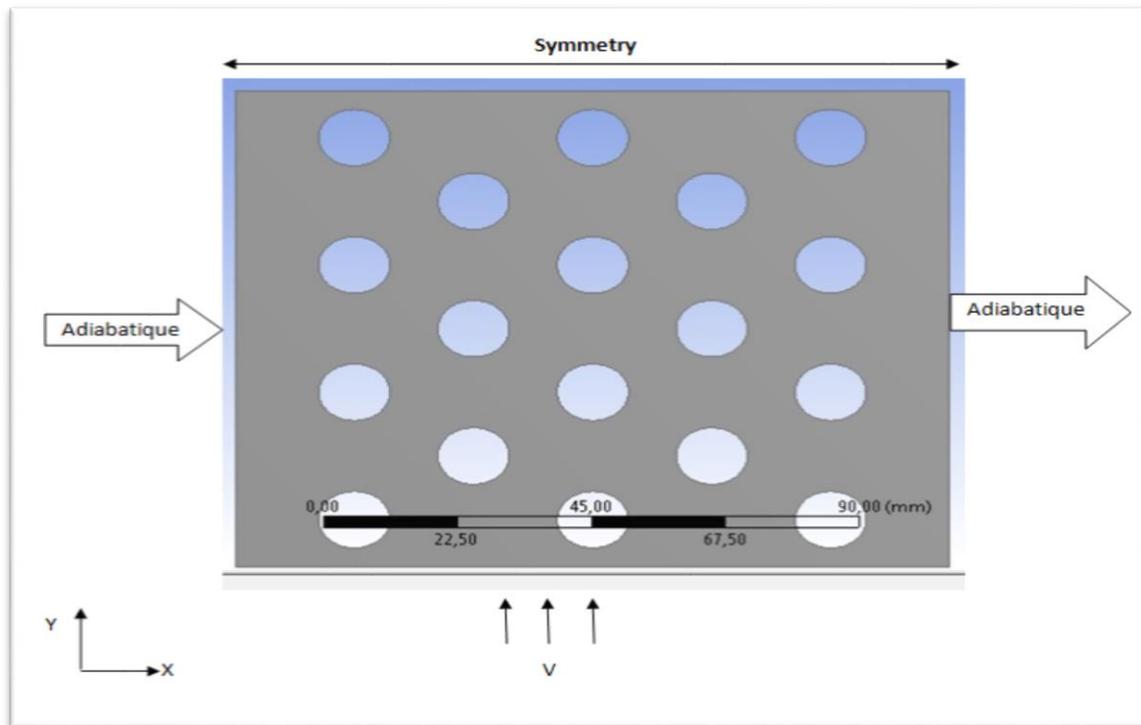
$$U \frac{\partial T}{\partial x} + V \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (II.7)$$

$\alpha: \frac{\lambda}{\rho c_p}$: La diffusivité thermique.

II.6 Les conditions aux limites

Les conditions aux limites dans notre cas sont résumées sur les figures (II.4 et II.5) :

a) Mixte



Températures :

$$T_{haut} = \text{symmetry}; T_{droite} = T_{gauche}: \text{adiabatique}; T_{circles} = 313k$$

Et la vitesse d'entrée : $0.05m/s < v < 2.5m/s$

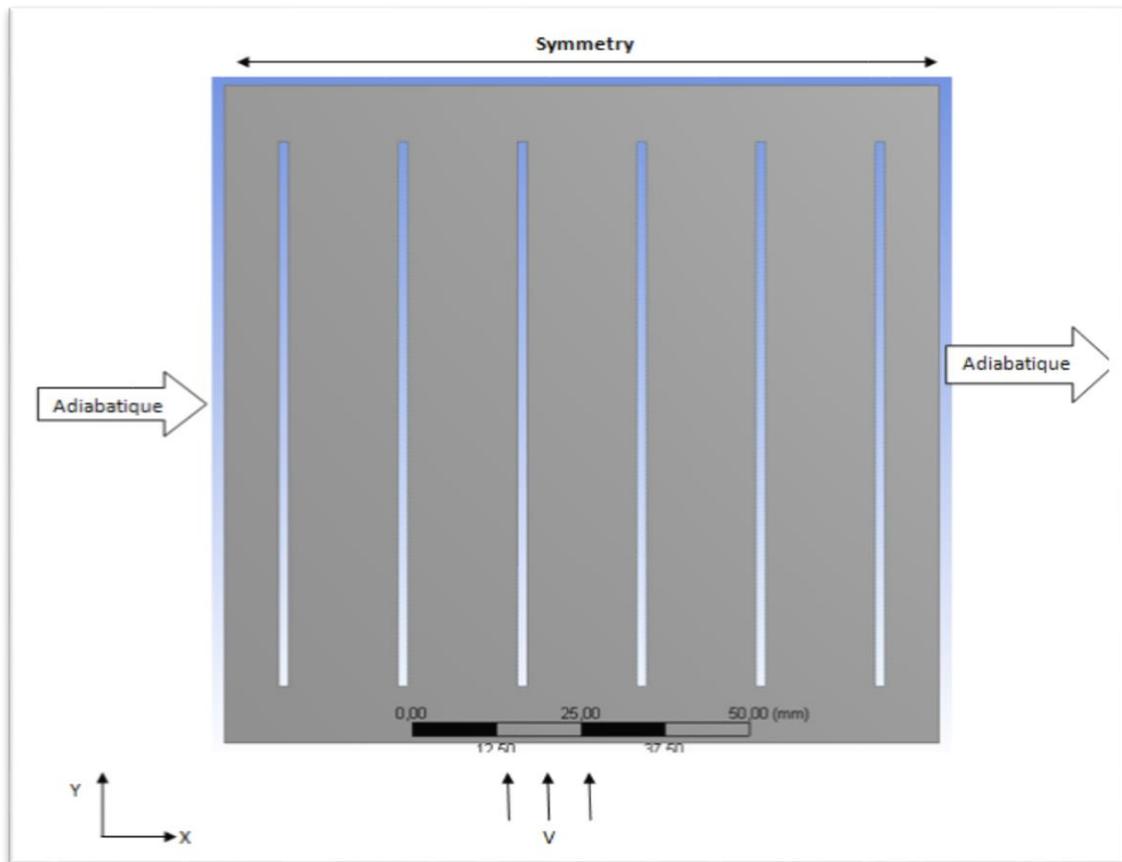


Figure II.5 : Géométrie

$$T_{haut} = \text{symmetry}; T_{droite} = T_{gauche}: \text{adiabatique}; T_{chicane} = 313k$$

Et la vitesse d'entrée : $0.05m/s < v < 2.5m/s$

$$x = 0; 0 < y < H; U = V = 0; \frac{\partial T}{\partial x} = 0$$

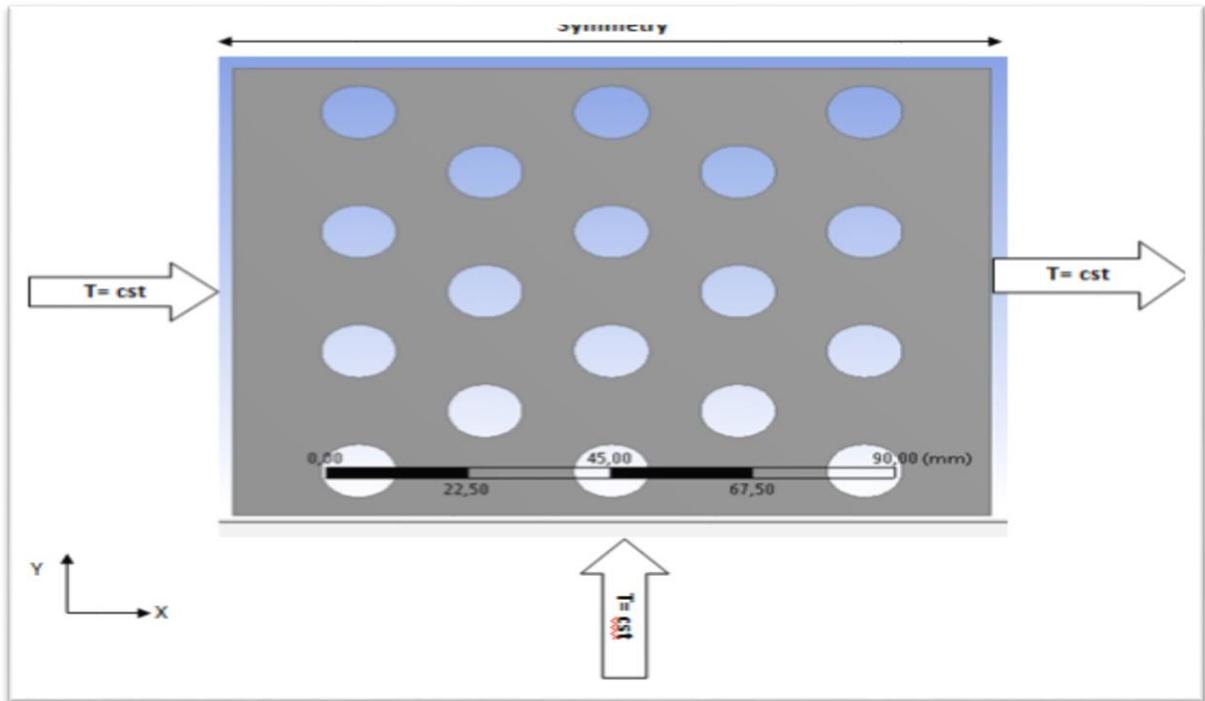
$$x = L; 0 < y < H; U = V = 0; \frac{\partial T}{\partial x} = 0$$

$$y = 0; 0 < x < H; U = 0; V = V_0; T = T_c$$

$$y = H; 0 < x < H; \frac{\partial u}{\partial y} = 0; \frac{\partial v}{\partial y} = 0; \frac{\partial T}{\partial y} = 0$$

Cercle ; Chicane : $U = 0; V = V_0; T = T_H$

b) Naturelle



$$T_{haut} = \text{symmetry}; T_{bas} = 293k; T_{droite} = 293k; T_{gauche} = 293k; T_{circles} = 313k$$

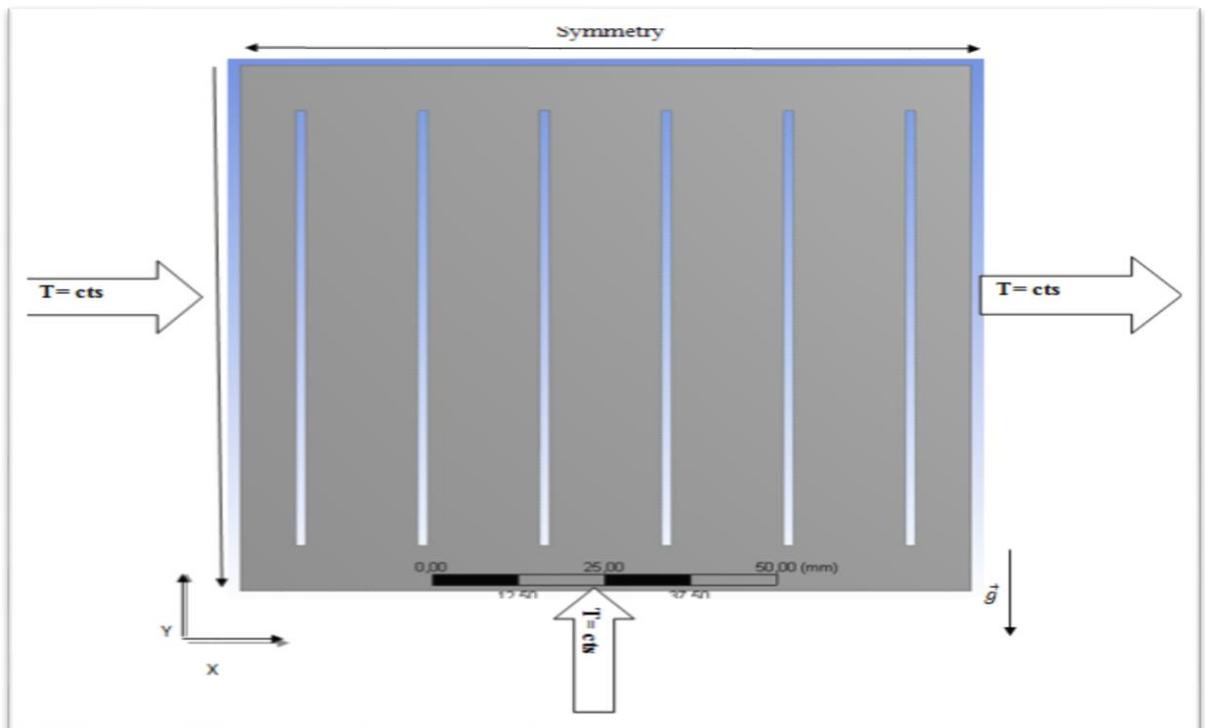


Figure II.6 : Géométrie

$$T_{haut} = \text{symmetry}; T_{bas} = 293k; T_{droite} = 293k; T_{gauche} = 293k; T_{circles} = 313k$$

$$\begin{aligned}
x = 0 ; 0 < y < H ; U = V = 0 ; T = T_c \\
x = L ; 0 < y < H ; U = V = 0 ; T = T_c \\
y = 0 ; 0 < x < H ; U = 0 ; V = V_0 ; T = T_c \\
y = H ; 0 < x < H ; \frac{\partial u}{\partial y} = 0 ; \frac{\partial v}{\partial y} = 0 ; \frac{\partial T}{\partial y} = 0
\end{aligned}$$

Cercle ; Chicane : $U=0 ; V=V_0 ; T=T_H$

II.7 La forme adimensionnelle des équations du modèle mathématique

IL est plus commode de présenter les équations régissant le problème sous une forme adimensionnelle, des nombres sans dimensions caractéristiques vont apparaitre et qui réduiront considérablement la complexité du problème.

Les variables adimensionnelles sont données par :

$$x^* = \frac{x}{l} ; y^* = \frac{y}{l} ; \text{Pr} = \frac{\nu}{\alpha} ; V^* = \frac{v}{\alpha} ; U^* = \frac{u}{\alpha} ; T^* = \frac{T-T_f}{T_c-T_f} , P^* = \frac{P L^2}{\rho \alpha^2}$$

a) Convection naturelle

En introduisant les grandeurs sans dimensions dans les équations de continuité (II.4), de mouvement (II.5 et II.6) et d'énergie (II.7), on obtient respectivement :

$$\frac{\partial U^*}{\partial x^*} + \frac{\partial V^*}{\partial y^*} = 0 \quad (\text{II.8})$$

$$U^* \frac{\partial U^*}{\partial x^*} + V^* \frac{\partial U^*}{\partial y^*} = - \frac{\partial P^*}{\partial x^*} + \text{Pr} \left(\frac{\partial^2 U^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 U^*}{\partial y^{*2}} \right) \quad (\text{II.9})$$

$$U^* \frac{\partial V^*}{\partial x^*} + V^* \frac{\partial V^*}{\partial y^*} = - \frac{\partial P^*}{\partial y^*} + \text{Pr} \left(\frac{\partial^2 V^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 V^*}{\partial y^{*2}} \right) + \text{Ra} \cdot \text{Pr} \cdot T^* \quad (\text{II.10})$$

$$U^* \frac{\partial T^*}{\partial x^*} + V^* \frac{\partial T^*}{\partial y^*} = \left(\frac{\partial^2 T^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 T^*}{\partial y^{*2}} \right) \quad (\text{II.11})$$

Convection mixte :

Les équations générales de conservation à savoir, l'équation de continuité, les équations de mouvement suivant x et y et l'équation de l'énergie, sont données sous leur forme adimensionnelle comme suit :

$$\frac{\partial U^*}{\partial x^*} + \frac{\partial V^*}{\partial y^*} = 0 \quad (\text{II.12})$$

$$U^* \frac{\partial U^*}{\partial x^*} + V^* \frac{\partial U^*}{\partial y^*} = - \frac{\partial P^*}{\partial x^*} + \frac{1}{Re} \left(\frac{\partial^2 U^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 U^*}{\partial y^{*2}} \right) \quad (\text{II.13})$$

$$U^* \frac{\partial V^*}{\partial x^*} + V^* \frac{\partial V^*}{\partial y^*} = - \frac{\partial P^*}{\partial y^*} + \frac{1}{Re} \left(\frac{\partial^2 V^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 V^*}{\partial y^{*2}} \right) + \text{Ri} \cdot T^* \quad (\text{II.14})$$

$$U^* \frac{\partial T^*}{\partial x^*} + V^* \frac{\partial T^*}{\partial y^*} = \frac{1}{Re \cdot Pr} \left(\frac{\partial^2 T^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 T^*}{\partial y^{*2}} \right) \quad (\text{II.15})$$

II.8 Signification des nombres adimensionnels

II.8.1 Nombre de Grashof

Le nombre de Grashof est un nombre sans dimension utilisé en mécanique des fluides pour caractériser la convection libre dans un fluide. Il correspond au rapport des forces de gravité sur les forces visqueuses. On le définit de la manière suivant :

$$\text{Gr} = \frac{g \beta \Delta T L_c^3}{\nu^2} \quad (\text{II.16})$$

II.8.2 Nombre de Reynolds

Nombre de Reynolds exprimant par le rapport des forces d'inertie aux forces de viscosité. On le définit de la manière suivante :

$$\text{Re} = \frac{V L_c}{\nu} \quad \text{Avec} \quad L_c = \frac{4S}{P} \quad (\text{II.17})$$

II.8.3 Nombre de Richardson

Le nombre de Richardson Ri est un nombre sans dimension utilisé notamment en thermodynamique qui a été développé. Il s'agit du rapport entre l'énergie potentielle gravitationnelle d'une parcelle de fluide et son énergie cinétique. On le définit de la manière suivante :

$$\text{Ri} = \frac{Gr}{Re^2} \quad (\text{II.18})$$

Le rapport de $\frac{Gr}{Re^2}$ détermine quelle type de convection :

- Convection forcée $\frac{Gr}{Re^2} < 0.1$
- Convection naturelle $\frac{Gr}{Re^2} > 16$
- Convection mixte $0.1 \leq \frac{Gr}{Re^2} \leq 16$

II.8.4 Nombre de Prandtl

Le nombre de Prandtl est un nombre sans dimension. Il représente le rapport entre la diffusivité de quantité de mouvement ν (ou viscosité cinématique) et la diffusivité thermique. On le définit de la manière suivant :

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad (\text{II.19})$$

Le nombre de Prandtl compare la rapidité des phénomènes thermiques et des phénomènes hydrodynamiques dans un fluide.

II.8.5 Nombre de Rayleigh

Le Nombre de Rayleigh, c'est le rapport entre les forces motrices du fluide (force d'Archimède) et les forces de frottement. Le nombre de Rayleigh regroupe les nombres de Prandtl et Grashof est donné par :

$$Ra = Gr Pr \quad (\text{II.20})$$

En fonction de la valeur du nombre de Rayleigh, le transfert de chaleur a les caractéristiques suivantes :

$Ra < 10^3$: 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.

II.8.6 Nombre de Nusselt

Ce nombre exprime les échanges convectifs et conductifs au niveau de la paroi d'échange thermique, il est lié au coefficient d'échange convectif h par l'équation suivant :

$$Nu = \frac{h L_c}{k} \quad (\text{II.21})$$

$$\text{Car } L_c = \frac{\pi d^2}{4}$$

CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons présenté le modèle physique considéré et les équations qui régissent le phénomène étudié. Ensuite, nous avons spécifié les conditions aux limites de toute la frontière de ce domaine.



Chapitre III

III.

III.1 Introduction

Au cours de ce chapitre, nous présenterons des définitions, généralités sur la CFD et fluente ainsi que la méthode des volumes finis.

Les équations du modèle mathématique doivent être résolues avec des méthodes numériques. La modélisation numérique est basée sur la reformulation des équations de conservation sur chaque élément du maillage, Il est nécessaire de passer par une approximation du problème, c'est-à-dire de le remplacer par plusieurs problèmes discrets représentant localement le problème continu de façon approchée. Cette procédure, appelée discrétisation ou approximation, permet notamment une résolution numérique discrète des équations continues. Il existe de nombreuses méthodes pour représenter les problèmes continus de façon discrète comme par exemple les approximations par différences finis, par éléments finis, par volumes finis.

III.2 La CFD

III.2.1 Qu'est ce que La CFD ?

III.2.1.1 Définition

La CFD ou, Computational Fluid Dynamics, pourrait se traduire par Simulation numérique de la Dynamique des Fluides. Elle consiste à étudier les écoulements d'un fluide, le transfert de chaleur et de masse, les réactions chimiques et des phénomènes connexes, en résolvant numériquement l'ensemble des équations mathématiques gouvernantes :

- ✚ Conservation de la masse
- ✚ Conservation de la quantité de mouvement
- ✚ Conservation de l'énergie
- ✚ Conservation des espèces

La CFD est actuellement un passage obligé avant tout développement de dispositifs dont le fonctionnement est lié à la circulation d'un fluide. Comparées aux essais expérimentaux, la CFD permet de faire plus de simulations avec la possibilité de faire varier plus de paramètres et de configurations à moindre coût. Même si les essais expérimentaux sont toujours nécessaires notamment pour valider les simulations numériques, la CFD permet de réduire le nombre d'essais des nouveaux dispositifs. L'analyse CFD complète les tests et l'expérimentation en réduisant l'effort total et le coût requis pour l'expérimentation et l'acquisition de données. Elle est donc devenue un outil indispensable pour le développement de la recherche et de l'industrie.

La CFD est particulièrement utile pour :

- ✚ Pre-dimensionnement.
- ✚ Optimisation de forme/process.
- ✚ Calcul/Dimensionnement d'efforts sur des structures.
- ✚ Visualisation des champs de pression, vitesse, etc.

III.2.2 Étapes de la CFD

En pratique, les simulations CFD s'effectuent en quatre grandes étapes (Figure **III.1**):

1. Identification du problème
2. Pré-traitement (Pre-processing)
3. Résolution
4. Post-traitement (Post-processing)

Au cours de la première étape, on définit les objectifs de notre simulation et le domaine d'étude.

Dans la deuxième étape, «Pré-traitement», on construit la géométrie qui contient le domaine d'étude. Le maillage est ensuite généré à l'intérieur de ce domaine. Ensuite, on spécifie les propriétés physiques du fluide et on choisit les modèles à appliquer, l'algorithme de calcul, les méthodes d'interpolation et autres schémas.

La troisième étape, «Résolution», c'est la phase de calcul, ou de résolution des équations algébriques.

La quatrième et dernière étape, «Post-traitement», c'est la phase de traitement et d'interprétation des résultats

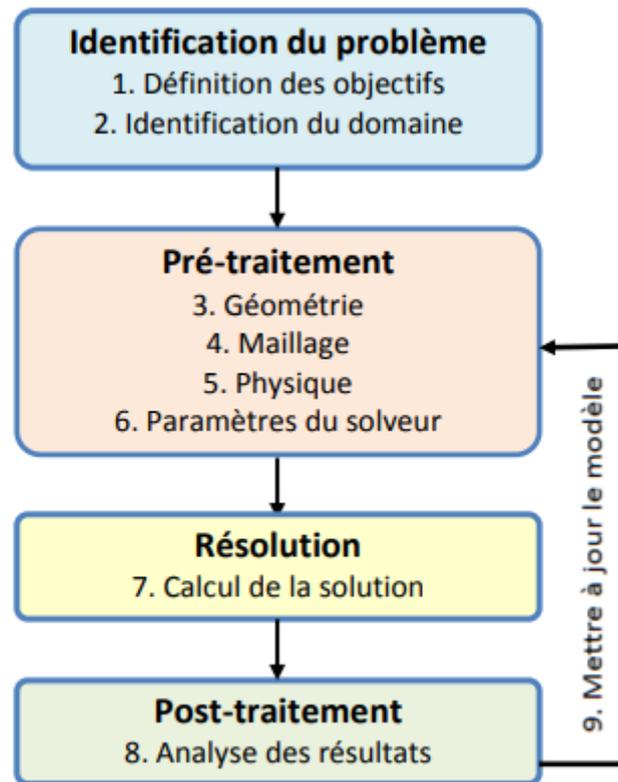


Figure III.1 : Étapes de CFD

Domaines d'applications de la CFD

L'analyse CFD a des applications dans de nombreux secteurs pour concevoir ou améliorer les systèmes ou développer de nouveaux produits. On peut citer celles de :

- Industries de l'automobile et de l'aérospatiale
- Industries des procédés et de la chimie
- Turbomachines (ventilateur, turbine, compresseur, soufflantes et pompes, etc.)
- Centrale thermique et nucléaire
- Combustion, incendie et pollution de l'environnement
- Chauffage et ventilation des bâtiments, des voitures, des bus et des avions civils
- Prévission météo
- Applications de défense et spatiales
- Applications biomédicales

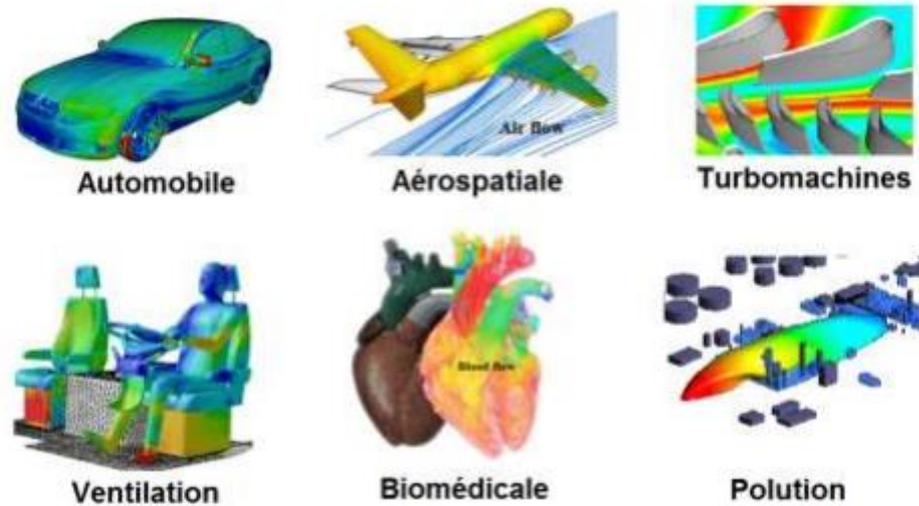


Figure III.2 : *Quelque domaine d'application de la CFD [23]*

III.2.3 Modélisation CFD des écoulements

La modélisation des écoulements fluides, utilisant les codes de simulation numérique CFD (computational fluid Dynamics), a connu un véritable succès ces dernières décennies.

L'apparition de grands moyens de calcul a favorisé l'émergence des codes commerciaux, utilisant la méthode des volumes finis pour la résolution des écoulements 2D, à l'instar des codes comme ANSYS Fluent, ANSYS CFX, etc. ils sont utilisés pour les calculs des phénomènes de mécanique des fluides simples et complexes. Les logiciels CFD sont destinés à faire une analyse numérique des écoulements de fluide, des transferts de chaleur, MHD et des phénomènes qui leurs sont liés.

Cet outil de calcul ne nécessite que la connaissance de la géométrie, l'étude des conditions aux limites. Il permet de présenter les écoulements tridimensionnels (champ de vitesse, vorticité,.....). Dans la présente étude, nous avons utilisé le code CFD ANSYS FLUENT. [24]

III.3 Volume finis

III.3.1 Principe de la méthode des volumes finis

Le domaine de calcul est divisé en un certain nombre de volumes élémentaires entourant des points du réseau de maillage. L'équation différentielle qui gouverne le problème est intégrée sur chaque volume de contrôle, vérifiant ainsi le principe de conservation à la proximité des points ou nœuds du réseau de maillage discret. Le résultat est l'équation de discrétisation qui contient les valeurs de ϕ dans le domaine étudié. L'équation de discrétisation obtenue de cette manière exprime le principe de conservation de ϕ dans un volume infinitésimal de contrôle.

La méthode des volumes finis est aussi une technique de discrétisation qui convertit les équations de conservation aux dérivées partielles en équation algébriques, qui peuvent être résolus numériquement elle consiste à intégrer les équations de transport ou aux dérivées partielles (EDP) sur chaque volume de contrôle, couvrant ainsi tout le domaine physique. Pour obtenir les équations discrétisées qui conservent toutes les grandeurs physiques sur un volume de contrôle (V_c).

❖ Volume de contrôle typique

Ce volume de contrôle est utilisé pour l'expression des bilans des grandeurs scalaires. Les faces de ce volume sont localisées au point e, w, n, s.

Avec p le centre du volume de contrôle. E, W, N, S, sont les centres des volumes de contrôle adjacents. (Figure III.3) [25]

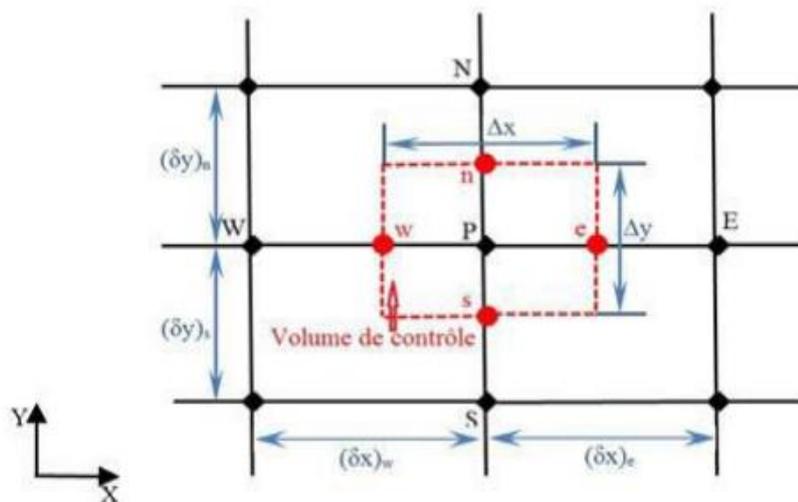


Figure III.3 : Volume de contrôle typique bidimensionnel

Pour un nœud principal P, les points E, W, N et S sont les centres des volumes de contrôle adjacents, situés respectivement à l'Est, à l'Ouest, au Nord et au Sud du point P. Le volume de contrôle P est montré par les lignes discontinues, et ces faces sont localisées aux points e et w dans la direction x, n et s dans la direction Y. La subdivision du domaine d'étude en grilles longitudinales et transversales dont l'intersection présente un nœud, où on trouve la variable P et les composantes u et v du vecteur de vitesse qui se trouve au milieu des segments reliant deux nœuds adjacents qui se séparent par les incréments de distance (Δy , δx_w , δx_e , δy_n , δy_s) sont définis sur la (Figure III.3). Les scalaires ϕ sont stockés au nœud central. Les composantes

de vitesse u et v sont stockées dans des nœuds décalés (Figure III.4). L'emploi de tels maillages entrelacés permet de calculer les gradients de pression dans les équations de quantité de mouvement, sans interpolation des pressions et le calcul des flux convectifs dans les équations sans interpolations des vitesses, cette technique nous permet d'éviter l'instabilité [26].

Dans lequel des cellules de réseau supplémentaires montrent des solutions complètement différentes.

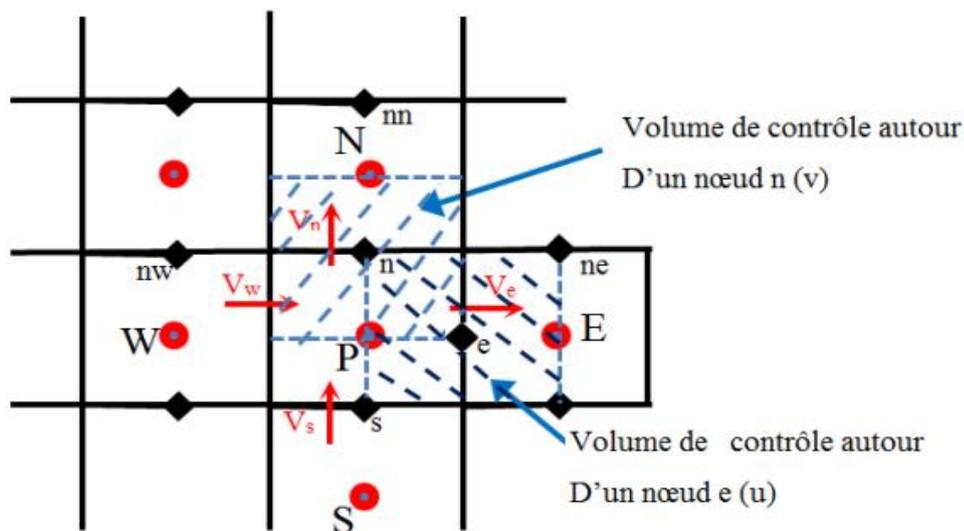


Figure III.4 : Volume de contrôle décalé pour u et v dans un maillage entrelacé

❖ **Volume de contrôle décalé**

On peut utiliser ce type de volume de contrôle pour calculer les vitesses u et v (Figure III.4). [25]

Pour expliciter l'application de cette méthode, on considère l'équation générale de transport qui s'écrit pour une propriété Φ , comme suit :

$$\frac{\partial \rho \phi}{\partial t} + \text{div}(\rho \Phi \mathbf{u}) = \text{div}(\Gamma_{\phi} \text{grad} \Phi) + S_{\phi}$$

En d'autres termes :

$$(\text{Variation de } \Phi \text{ dans un élément de fluide}) + \underbrace{(\text{flux net de l'élément de fluide})}_{\text{terme convectif}} =$$

$$\underbrace{(\text{Variation de } \Phi \text{ due à la diffusion})}_{\text{terme diffusif}} + \underbrace{(\text{variation de } \Phi \text{ due aux sources})}_{\text{terme source}}$$

Tel que :

Γ_ϕ : Le coefficient de diffusion.

S_ϕ : Le terme source.

La résolution de l'équation par la méthode des volumes finis, réside essentiellement dans l'intégration de celle-ci sur un volume de contrôle :

$$\int_{cv} \frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} dv + \int_{cv} \text{div}(\rho\phi u) dv = \int_{cv} \text{div}(\Gamma_\phi \text{grad}\phi) dv + \int_{cv} S_\phi$$

Pour notre système des équations gouvernante de la convection naturelle les coefficients de l'équation générale de transport sont :

Grandeur transporté	ϕ	Γ	S_ϕ
Equation de continuité	1	0	0
Equation de mouvement selon l'axe x	U^*	Pr	$-\frac{\partial P^*}{\partial x^*}$
Equation de mouvement selon l'axe y	V^*	Pr	$-\frac{\partial P^*}{\partial x^*} + Gr \cdot T^*$
Equation de l'énergie	T^*	1	0

Tableau III-1 : les termes de l'équation de transport (convection naturelle)

Pour notre système des équations gouvernante de la convection mixte les coefficients de l'équation générale de transport sont :

Grandeur transporté	ϕ	Γ	S_ϕ
Equation de continuité	1	0	0
Equation de mouvement selon l'axe x	U^*	$1/Re$	$-\frac{\partial P^*}{\partial x^*}$
Equation de mouvement selon l'axe y	V^*	$1/Re$	$-\frac{\partial P^*}{\partial x^*} + Ri \cdot T^*$
Equation de l'énergie	T^*	1	0

Tableau III-2 : les termes de l'équation de transport (convection mixte)

III.3.2 Etapes de résolution par la méthode des volumes finis

III.3.2.1 Maillage

Le domaine de calcul est divisé en une série de sous domaines appelés volumes de contrôle. Ces volumes de contrôle enveloppent tout le domaine de calcul, de telle façon que la somme de leurs volumes soit égale exactement au volume du domaine de calcul.

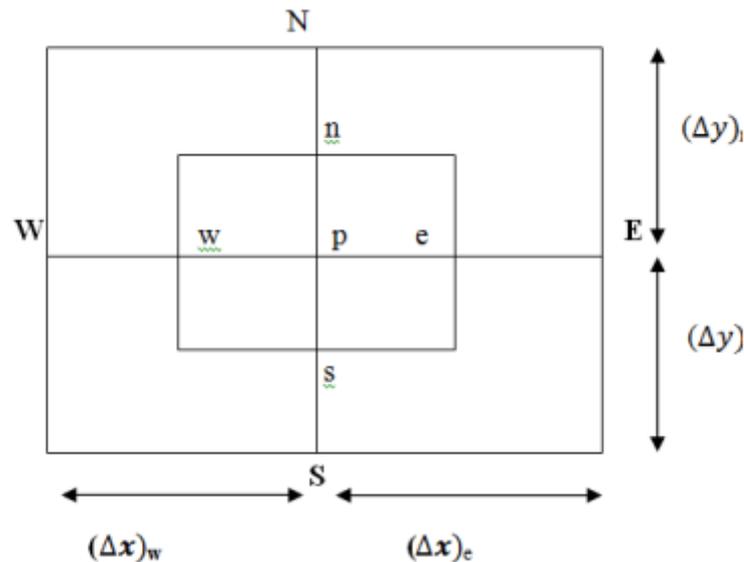


Figure III.5 : Schéma du volume de contrôle dans le cas bidimensionnel

Les variables dépendantes sont stockées dans des points discrets appelés nœuds (points d'intersection des lignes du maillage) voir figure. (III-1). Les nœuds sont numérotés de 1 à N_i , suivant x le nœud (i, j) est appelé P , il est entouré par les nœuds E (Est), N (Nord), W (West) et S (Sud). À chaque nœud est associé un volume fini (fig. III-1), les faces du volume sont situées au milieu entre les nœuds, la surface de VC consiste en quatre plans, notés par des lettres minuscules correspondant à leur direction e , w , n et s (Exemple : la face w est au milieu entre les nœuds W et P).

Les incréments de distance Δx , Δy , Δx_w , Δx_e , Δy_n , Δy_s sont définis sur la (fig. III-1). Les scalaires ϕ (pression P , température T) sont stockés au nœud central. Les composantes de vitesse u et v sont stockées dans des nœuds décalés. L'emploi de tels maillages entrelacés permet le calcul des gradients de pression dans les équations de quantité de mouvement, sans interpolation des pressions et le calcul des flux convectifs dans les équations sans interpolations des vitesses.

III.3.2.2 Discrétisation

Schémas employés dans la partie Fluent

❖ pression (Schéma standard)

Les valeurs de la pression sont stockées aux centres des cellules. Pour obtenir les valeurs des pressions aux faces, nécessaires pour la résolution de l'équation de continuité, FLUENT propose plusieurs schémas d'interpolation tel que le schéma standard.

L'interpolation s'effectue en utilisant les coefficients de l'équation de quantité de mouvement, Cette procédure fonctionne bien pour des petites variations de la pression entre les centres des cellules. Devant les problèmes de diffusion numérique, des schémas numériques plus précis ont été testés comme celui-ci qui s'appuie sur les deux mailles amont.

Le principal problème que nous rencontrons dans la discrétisation des termes de convection est le calcul des valeurs de la propriété transportée Φ sur les faces du volume de contrôle et son flux convectif à travers ces limites.

Afin d'obtenir les équations discrétisées pour la diffusion et le terme source nous avons introduit la différentiation centrée. Il semble évident d'essayer d'utiliser cette technique pour les termes convectifs.

Malheureusement, le phénomène de diffusion influence la distribution de la propagation de la propriété et de ses gradients dans toutes les directions, alors que la convection ne montre son influence que dans le sens de l'écoulement.

❖ Couplage vitesse pression

Les équations des composantes de quantités de mouvement sont couplées par la pression qui agit par les composantes de son gradient, or nous ne disposons pas d'équation propre à cette variable.

L'idée de Patankar et Spalding consiste à utiliser l'équation de continuité pour obtenir le champ de pression, car si le bon champ de pression est pris en compte dans le traitement des équations des quantités de mouvement, alors les vitesses obtenues vérifient l'équation de continuité. Donc cette dernière apparaît comme une contrainte à vérifier par le champ de pression.

Trois algorithmes sont considérés par FLUENT pour diriger la liaison vitesse-pression

- ❖ **SIMPLE**: «Semi ImplicitMethod for Pressure Linked Equations» : le plus robuste.
- ❖ **SIMPLEC** : «Semi ImplicitMéthod for Pression-linked Equation Consistent» : il donne une convergence plus rapide pour les problèmes simples.
- ❖ **PISO**: « Pressure Implicit Solution by Split Operator»: il est utile pour des problèmes des écoulements instables.

L'algorithme choisit dans notre étude est l'algorithme SIMPLE. A l'initialisation du calcul, un champ de pression fixé a priori est introduit dans l'équation de bilan de la quantité de mouvement, permettant de calculer un premier champ de vitesse. La combinaison des équations de bilan de masse et de quantité de mouvement permet ensuite de corriger ces premiers champs de pression et de vitesse. Les autres équations de transports sont ensuite résolues et le champ de pression corrigé est utilisé pour initialiser le calcul à l'itération suivante. Cette succession d'opération est répétée jusqu'à ce que les critères de convergences soient atteints.

- ❖ **Algorithme simple** La discrétisation d'une équation de transport diffusion sur un volume de contrôle par la méthode des volumes finis fait intervenir les valeurs des vitesses aux interfaces des volumes (U_e, U_w, U_s, U_n). Il est donc intéressant de calculer ces vitesses directement sur les interfaces (sans avoir à effectuer d'interpolations). D'autre part, la discrétisation de l'équation de continuité et du gradient de pression avec l'utilisation d'une interpolation linéaire peut induire des erreurs importantes du fait qu'une répartition de pression ou de vitesse en "damier" est vue comme un champ uniforme. Pour contourner ces difficultés on préfère utiliser des grilles décalées "staggeredgrid". Une grille principale est construite sur laquelle on calcule la pression, la température et la concentration. Deux grilles décalées vers la droite et vers le haut respectivement sont utilisées pour le calcul des vitesses horizontale et verticale.

L'algorithme SIMPLE, acronyme pour « Semi-Impliquait Method for Pressure LinkedEquations» permet de résoudre le système d'équations discrétisées. Cet algorithme stipule l'existence d'une relation entre les vitesses corrigées et les pressions corrigées, en vue de vérifier l'équation de conservation de la masse. [27]

III.3.3 Différents types de Grille en volumes finis

III.3.3.1 Approche usuelle

- CV définis par les coordonnées des nœuds du maillage

- Assignation du nœud au centre du CV

Avantage: la valeur moyenne sur le CV donne une approximation de la valeur au nœud centrale au second ordre.

III.3.3.2 Approche alternative

- Définir d'abord la position du nœud central
- Construire les CV autour de ces nœuds tels que les interfaces entre les cellules soient au milieu des nœuds.

Avantage: Approximations centrées des dérivés (flux) aux frontières sont plus précises.

III.3.3.3 Autres variantes

Structuré

- Tous les points du maillage sont à l'intersection de 2/3 lignes (2D/3D).

Non Structuré

- Les mailles sont des triangles ou des quadrilatères en 2D, des tétraèdres ou des pyramides en 3D.
- Les cellules sont identifiées par leur numéro et ne peuvent être identifiées par leurs coordonnées indicielles (i, j, k).

Remarques : Le principe des volumes finis est le même quel que soit le type de grille. Les seuls changements sont les relations entre les positions des nœuds sur la grille et les précisions des approximations. [22]

III.4 Fluent

III.4.1 Définition de modélisation numérique

La «modélisation » est la représentation d'un système par un modèle. C'est aussi la construction du modèle. La «simulation » a pour but de faire vivre un système. C'est une méthode qui consiste à utiliser un modèle comme substitut de la réalité (Ouillon, 1993). Un modèle mathématique ou numérique désigne un algorithme, et on peut parler de logiciel ou programme lorsqu'il s'agit d'un modèle de simulation. Ainsi, le terme modèle est souvent complété par un mot particulier. Par exemple, un modèle de déversoir peut signifier la schématisation d'un déversoir réel.

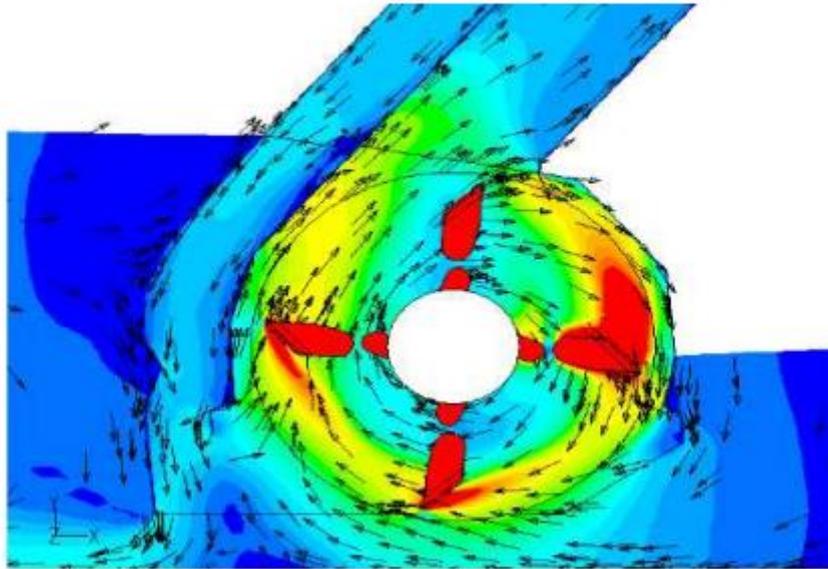


Figure III.6 : Simulation numérique des flux d'air sur une tendeuse d'herbe. (solsi-cad)[28]

III.4.2 Les étapes de simulation

Le Workbench permet de gérer les fichiers et le lancement des différents logiciels à partir d'une fenêtre unique. C'est à partir de la fenêtre principale du Workbench que vont être créés les fichiers, lancés les logiciels et gérés les interactions entre les différents logiciels utilisés pour la géométrie, le maillage, la simulation proprement dite et le post-traitement. Pour réaliser notre simulation numérique par ANSYS FLUENT, On a suivi les étapes suivantes :

- Création de la géométrie sous le logiciel Design Modeler.
- Création du maillage avec le logiciel ANSYS Meshing.
- Définition du problème sous le logiciel ANSYS FLUENT.
- Calcul avec ANSYS FLUENT pour les différents cas retenus.
- Analyse des résultats obtenus. [29]

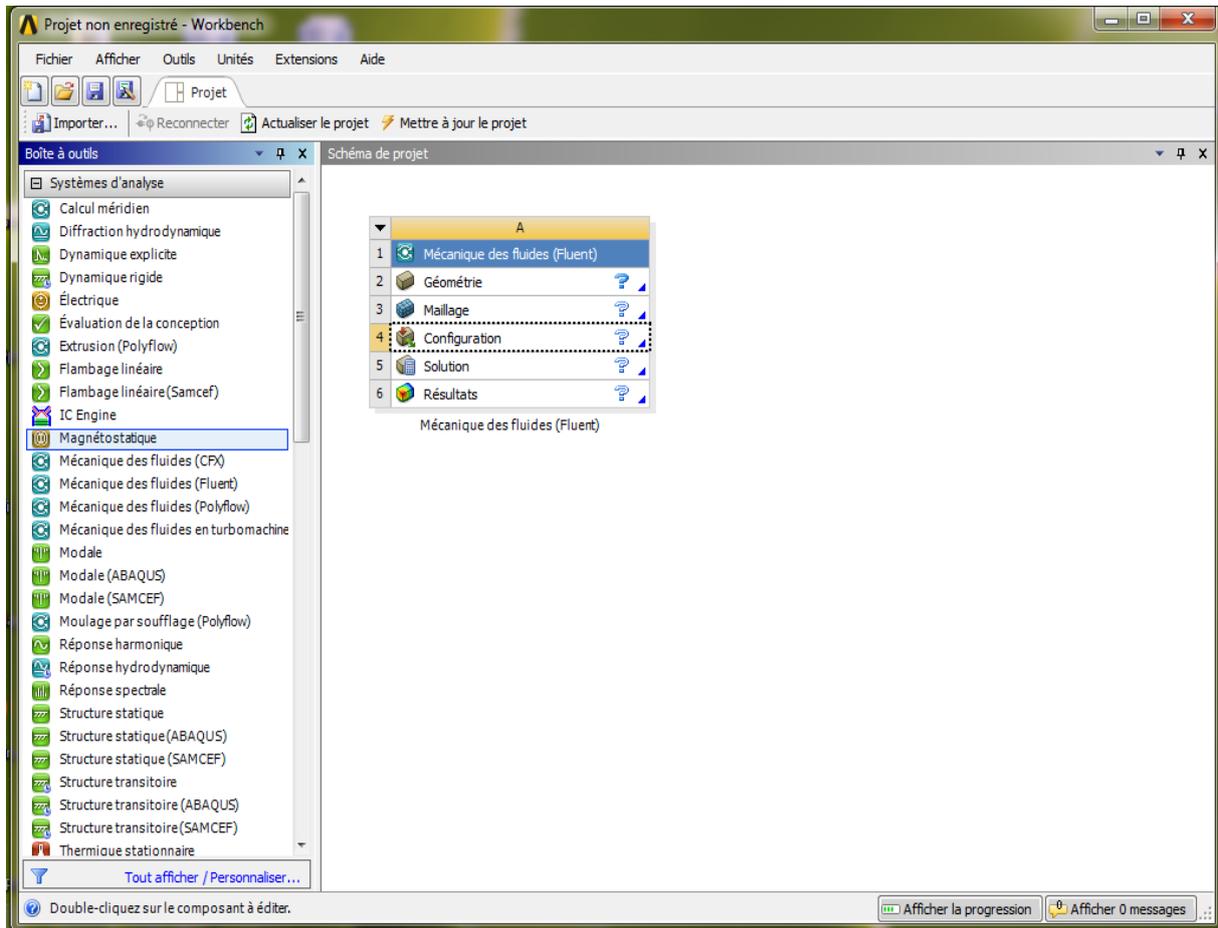


Figure III.7 : l'interface de logiciel ANSYS Workbench

III.4.2.1 Création de la géométrie

On a créé la géométrie avec Le logiciel ANSYS Design Modeler, qui permet de réaliser des tracés 2d (Sketch), de créer à partir des sketches des objets 3d (par extrusion etc....) et de manipuler les objets 3d. Dans notre cas, on va travailler en 2d dans le plan XY pour créer la géométrie du problème.

Tout d'abord, le logiciel demande de choisir l'unité caractéristique du système, dans ce cas il S'agit du millimètre.

Pour créer une géométrie, il faut :

- commencé par tracer l'esquisse (juste les formes),
- préciser les côtes,
- transformer le dessin en edge (bord de la géométrie pour le maillage),
- préciser les zones et leur nature (fluide ou solide). Pour cela il faut choisir le plan dans lequel on travaille ; ici ce sera le plan XY ; pour le sélectionner, cliquer sur XY Plane dans Tree Outline (au milieu de la colonne de gauche). Le repère apparaît. Pour le mettre

perpendiculaire à un plan, il faut cliquer sur le plan en question et sur dans la barre d'outils. Vous devez obtenir cela:

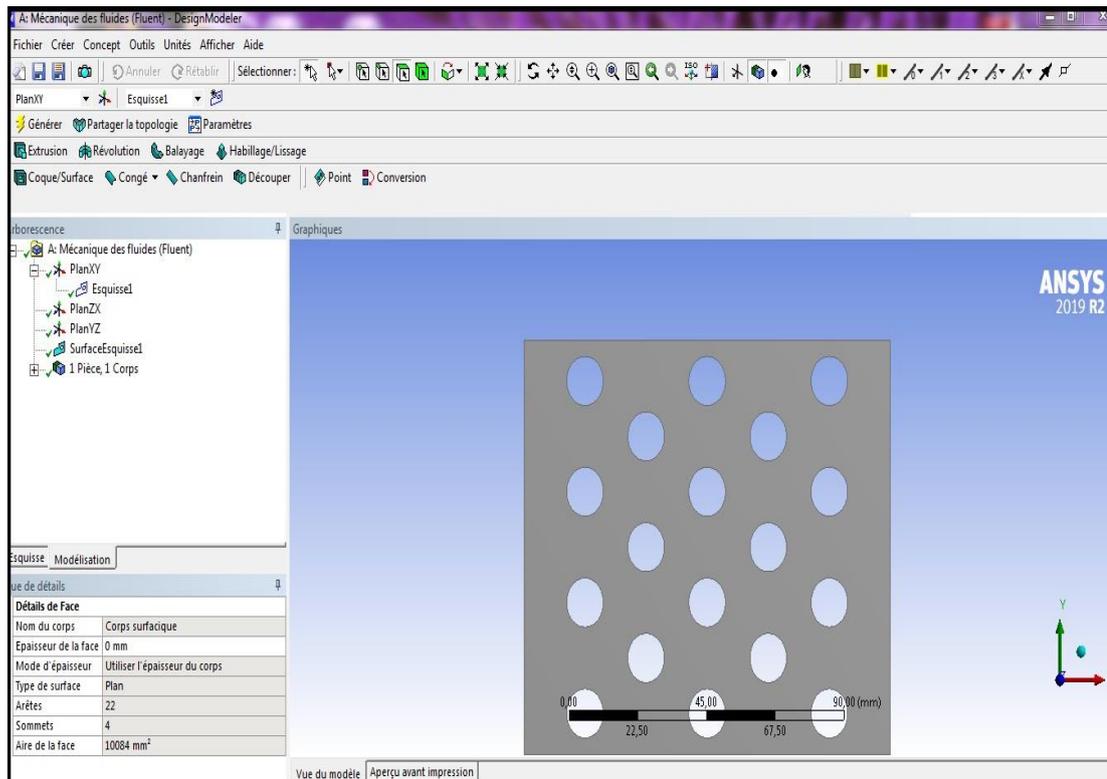


Figure III.8 : l'interface de Le logiciel ANSYS Design Modeler

III.4.2.2 Discrétisation des domaines de calcul (le maillage)

Pour créer le maillage, on lance ANSYS Meshing en double cliquant sur Maillage dans la boîte Workbench. Le choix du maillage est une étape essentielle de la simulation numérique. Il est donc important de bien choisir un maillage qui s'adapte au mieux aux problèmes considérés. Dans cette étude, nous avons choisi un maillage triangulaire structuré uniforme raffiné au niveau des parois.

Les résultats de maillage générés sont présentés dans le tableau suivant :

Maillage	nœuds	éléments
100	12791	24096

Tableau III-3 : Les résultats de maillage

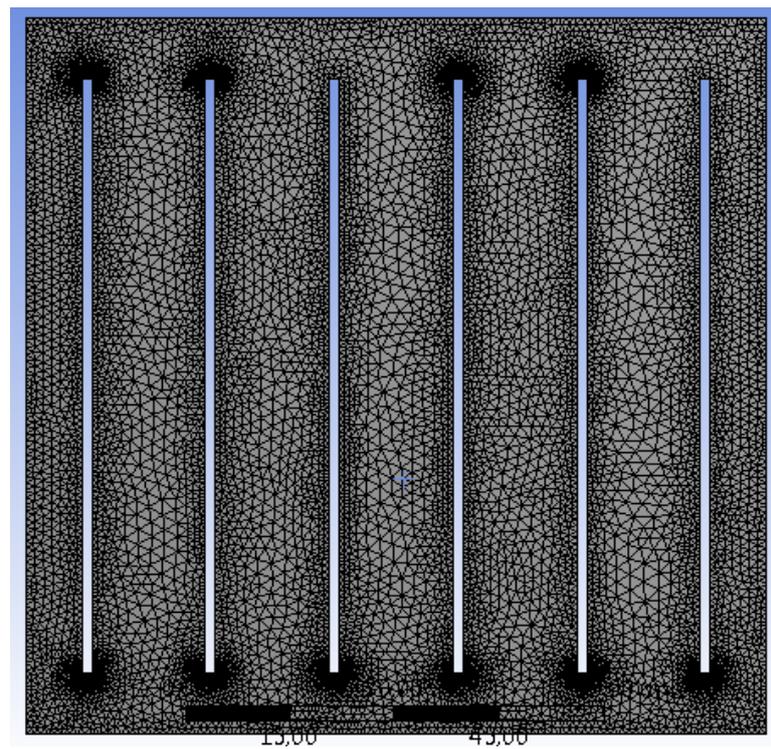
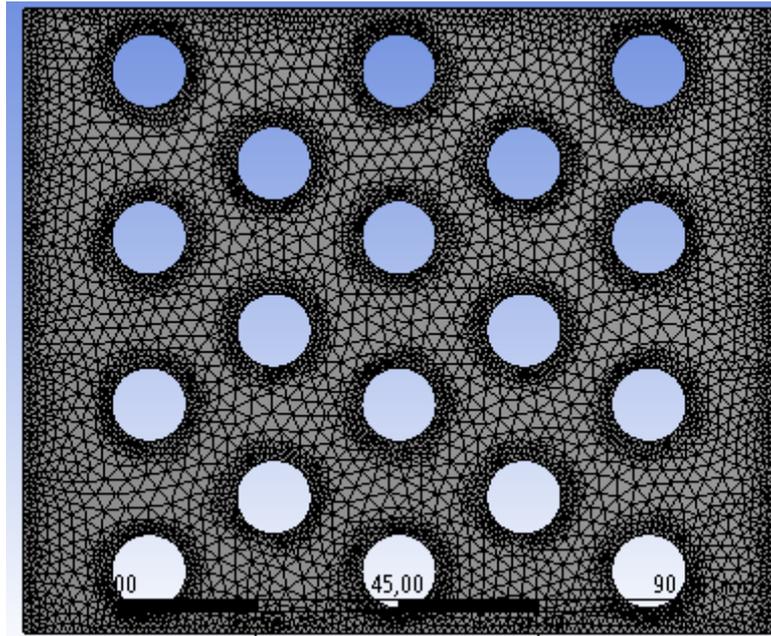


Figure III.9 : Maillage pour deux différentes Géométrie

III.4.2.3 ANSYS FLUENT

FLUENT est un code de calcul pour modéliser les écoulements des fluides et les Transferts thermiques à l'intérieur ou autour des géométries complexes. Ce logiciel très Répandu au sein de l'industrie (aérospatiale, automobile, nucléaire, chimique, biomédicales, Environnement, météo, etc...), permet de résoudre des problèmes d'écoulement avec des Mailles non structurées, pour des géométries complexes, avec une relative facilité.

Les types de mailles supportées sont :

- Mailles en 2D, triangulaires ou quadrilatérales
- Mailles en 3D, tétraédriques/hexaédriques/pyramidales
- Mailles (hybrides) mixtes

Le logiciel FLUENT est basé sur la méthode de modélisation numérique connue pour sa Puissance de calcul et facilité de mise en œuvre ; méthode des volumes finis. Cette méthode Est décrite pour la première fois en 1971 par Patankar et Spalding.

Le principe de cette méthode

Est basé sur une technique de discrétisation qui convertit les équations de conservation aux dérivées partielles en équations algébriques. Ces dernières sont Résolues numériquement. La technique des volumes de contrôle consiste à l'intégration des Équations aux dérivées partielles sur chaque volume de contrôle pour obtenir les équations Discrétisées qui on servent toutes les grandeurs physiques sur un volume de contrôle.

FLUENT est écrit en langage de programmation C et utilise pleinement la flexibilité et la Puissance offerte par ce langage (allocation de la mémoire dynamique).

III.4.2.3.1 Procédure sous "Fluent"

Au chargement du maillage sous "Fluent", avant tout, nous devons mettre la géométrie à L'échelle, (millimètre, pour notre cas). Le logiciel permet aussi de réordonner les nœuds, les Surfaces et les cellules en mémoire, de telle façon qu'ils aient la même disposition dans la Grille et dans la mémoire, pour améliorer les performances du calcul et l'efficacité de l'accès à La mémoire.

III.4.2.3.2 Choix de Simple précision ou double précision ?

"Fluent" offre deux modes de calcul: le mode "double précision" et le mode "simple Précision". Dans le mode "double précision", les nombres à virgule flottante sont représentés en Utilisant 64 bits, alors que le mode "simple précision" utilise une représentation à 32 bits. Le Revers de cette précision est que le premier mode requiert beaucoup plus de mémoire. En Outre, Le mode "double précision" est préconisé, entre autres, pour les écoulements Impliquant des longueurs d'échelles très disparates, comme dans notre cas (très long canal

Mince). Donc, c'est le mode que l'on va utiliser. [29]

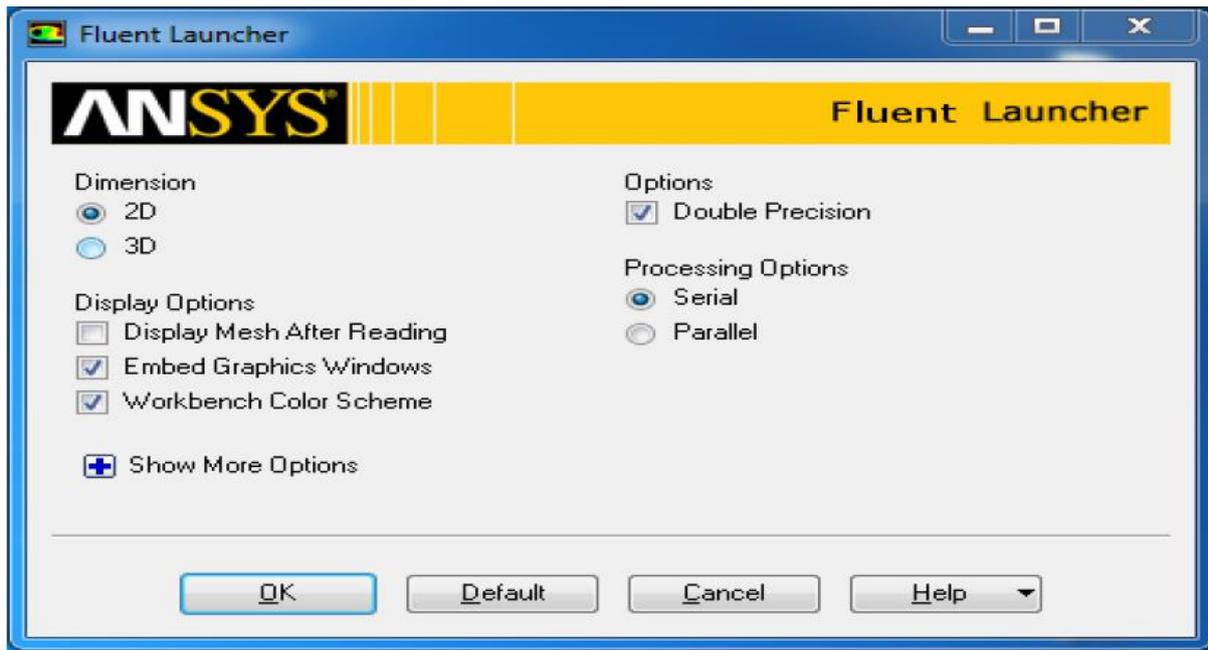


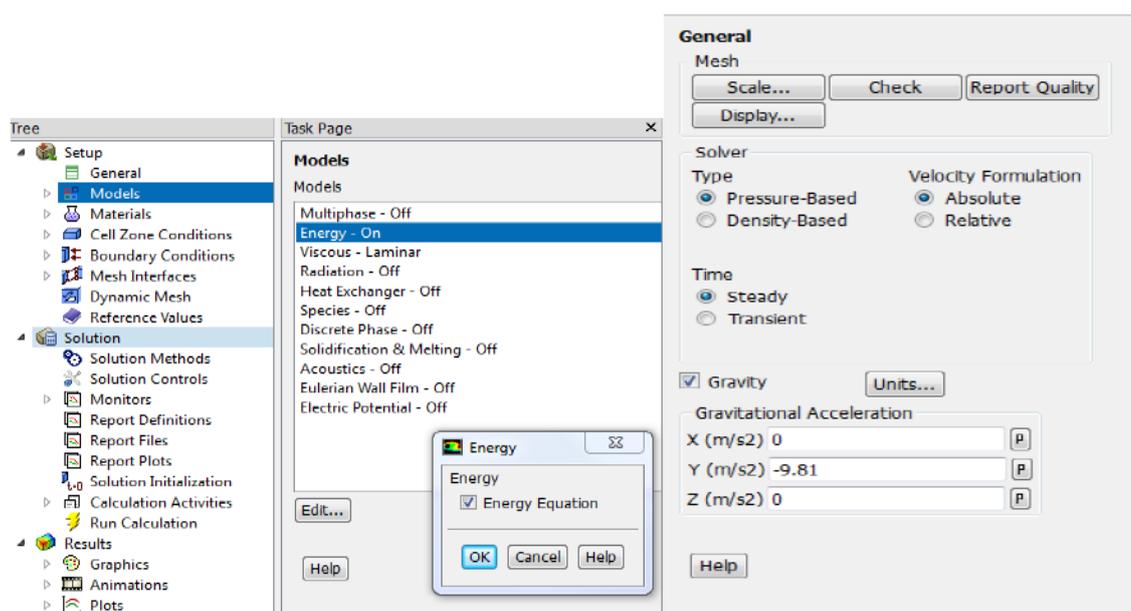
Figure III.10 : Fenêtre de démarrage de fluent

Insérer les propriétés physiques du système

➤ Activation de l'équation d'énergie et la gravité

Dans cette étude, nous devons exécuter l'équation d'énergie, alors il faut suivre les étapes suivantes :

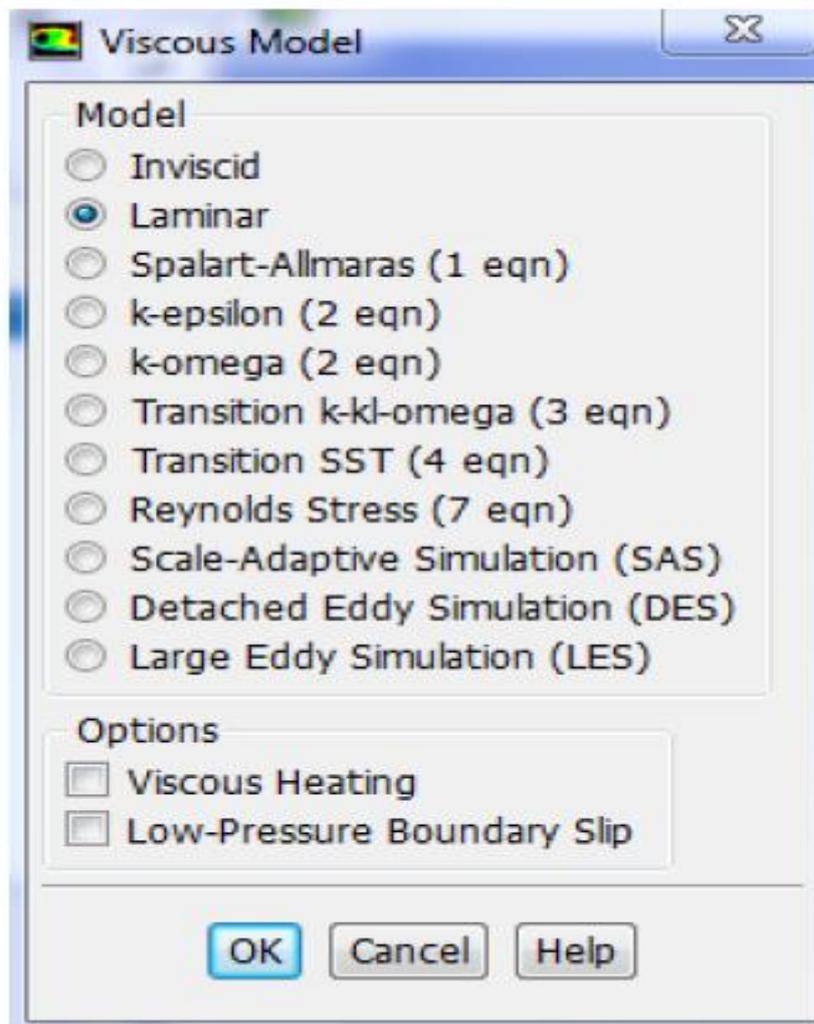
Model > Energy > on > ok.



➤ **Choix de modèle laminaire**

Pour sélectionner le modèle souhaité il faut procéder comme suit :

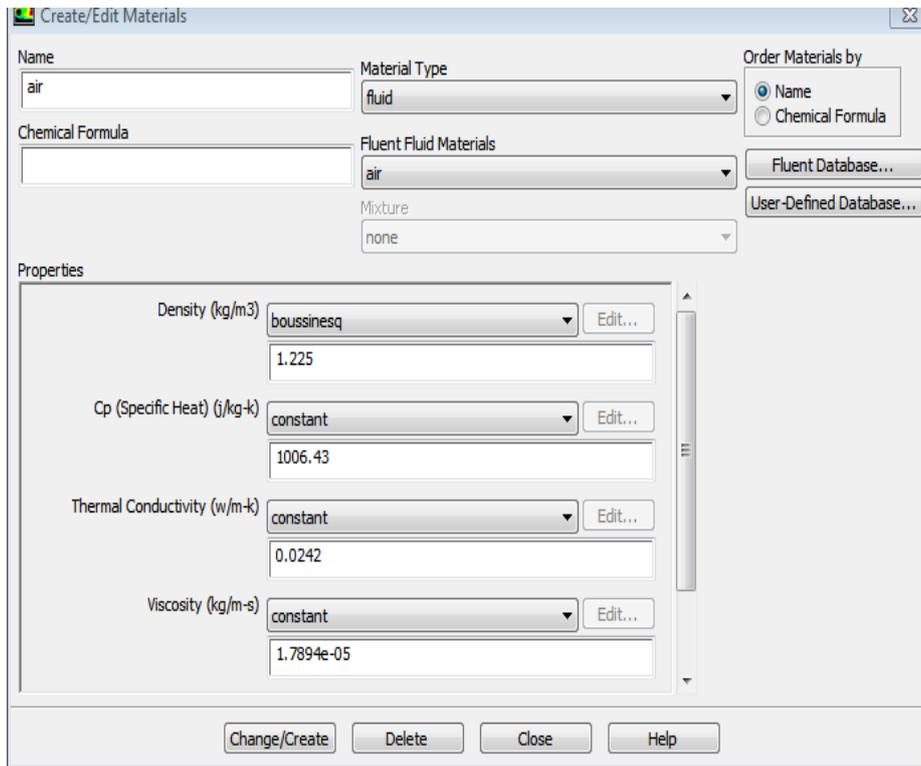
Model >laminaire>ok



➤ **Les caractéristiques physiques de fluide**

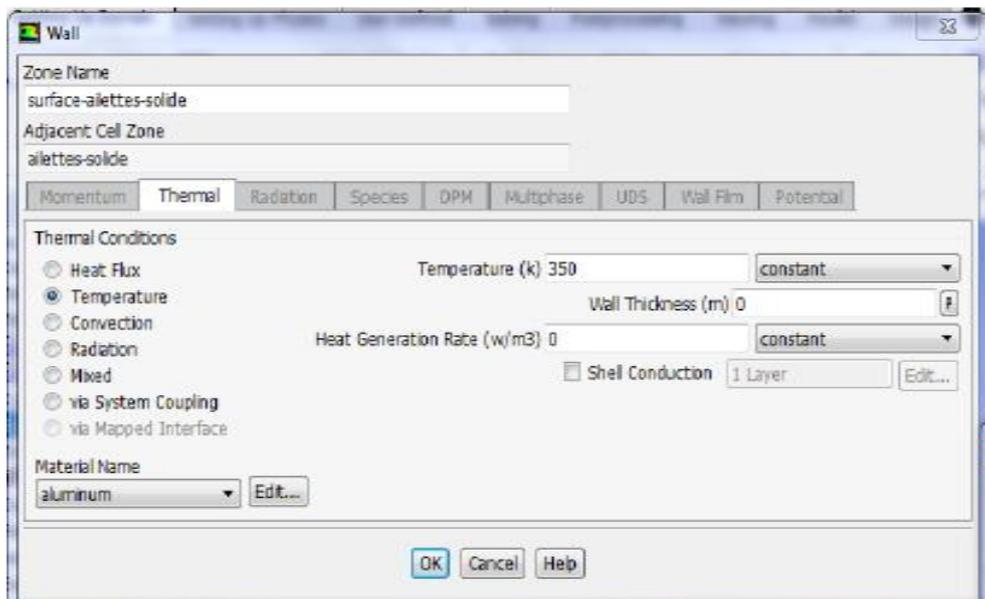
Pour notre étude le fluide est l'air. Les caractéristiques du fluide sont chargées à partir de la bibliothèque des données de Fluent.

Materials >fluide ou solide



➤ Insérer les Conditions aux limites

Dans notre travail il faut insérer la température de la paroi intérieure de tube, la température de l'air ambiant, la vitesse de l'air et la pression de l'entrée et de sortie de système.



➤ Lancer le calcul

Le solveur part de la solution initiale et grâce à un algorithme itératif de système obtenu par discrétisation, va effectuer des itérations. Si tout se passe bien, chaque itération doit modifier la solution courante pour la remplacer par une solution plus proche de la solution exacte recherchée. À chaque itération et pour chaque équation une erreur nommée résidu, est calculée par rapport à une solution exacte de système. Un calcul diverge si les résidus augmentent au cours des itérations.

 Schéma de convergence :

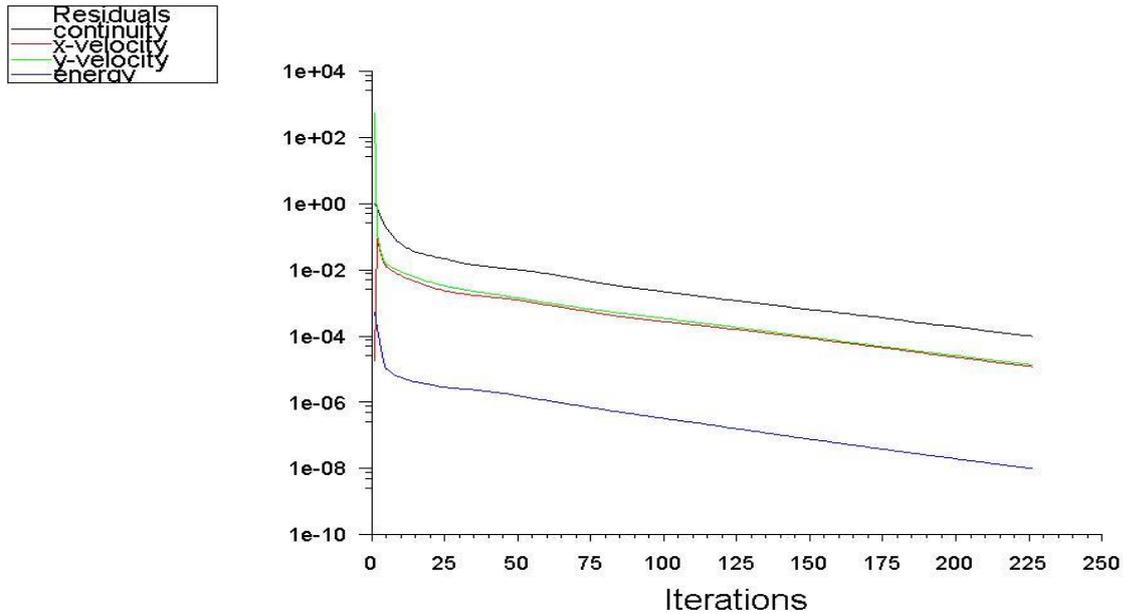


Figure III.11 : Schéma de convergence

III.5 Propriétés de fluide

L'air compressible. Il peut occuper un volume plus petit que la normale. Alors sa pression augmente. L'air est expansible car il peut utiliser un volume plus important que la normale.

Le fluide utilisé est l'air et ses propriétés thermo-physiques sont présentées dans le Figure III.12 :

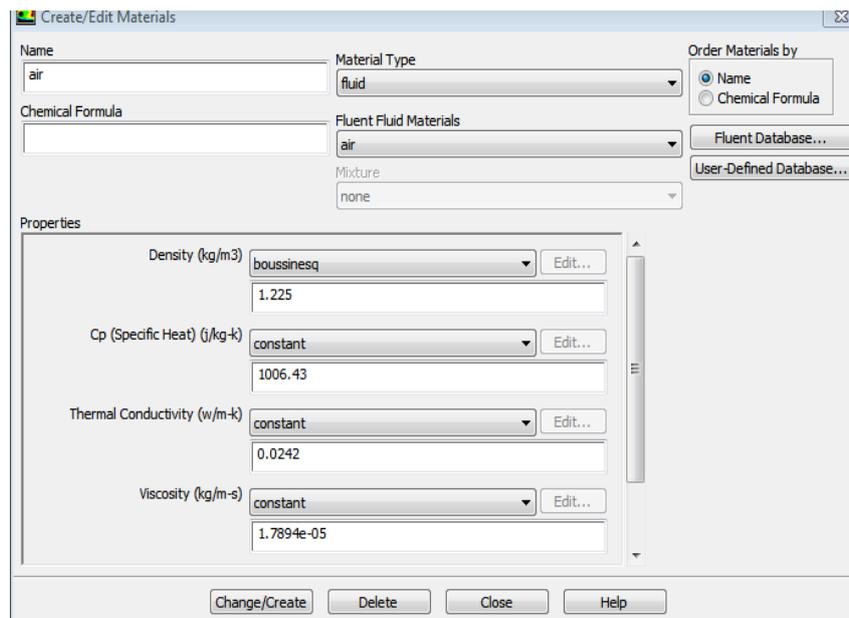


Figure III.12 : Propriétés thermo-physiques du Gallium métaux liquides

III.6 Facteurs de sous relaxation

Dans le présent travail, les facteurs de sous relaxation sont :

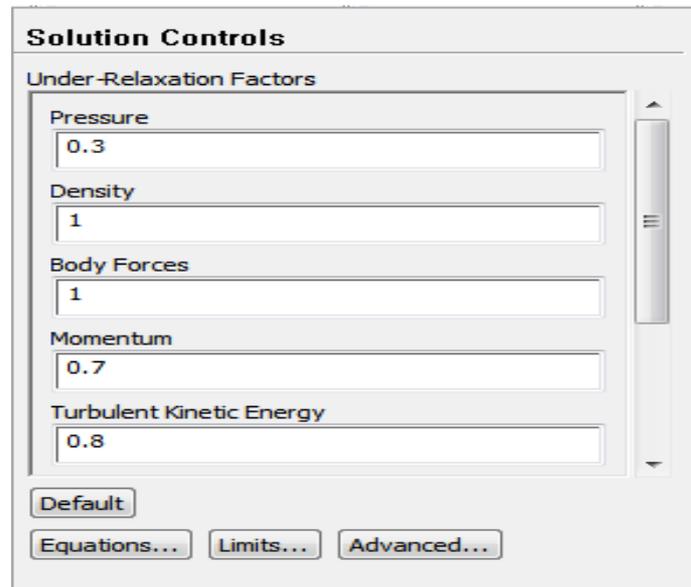


Figure III.13 : Facteur de sous-relaxation

Conclusion

Dans ce chapitre nous aborderons 3 éléments : CFD, Volume finis et Fluent. On a cités les différentes étapes de la simulation numérique, tels que la création de la géométrie utilisant ANSYS Design Modeler, génération de maillage utilisant ANSYS Meshing avec la mise en données utilisant le code calcul Fluent.



Chapitre VI



IV. Introduction

Dans ce chapitre nous présentons les résultats des simulations numériques obtenus par le code de calcul utilisé. Notre problème porte sur l'étude du comportement dynamique et thermique d'un écoulement laminaire en présence d'obstacles, on s'intéresse au profil de vitesse et de températures, les contours et les vecteurs.

Les géométries considérées et les conditions aux limites ont été présentes dans le deuxième chapitre. Ainsi que la distribution des points de maillage et la simulation numérique ont été faites respectivement à l'aide de logiciel ANSYS Fluent 16.2. Les étapes de bases de l'utilisation de logiciel Fluent sont présentées dans le chapitre précédent.

Deux simulations ont été réalisées dans ce chapitre :

La première simulation touchant l'étude numérique du champ dynamique et thermique de l'écoulement d'air en convection naturelle laminaire pour le nombre de Grashof varie de $10^3, 10^5, 10^7, 10^9$ et $10^3, 10^6, 10^8, 10^9$ avec obstacles chauffante des types cylindrique et chicane.

La deuxième simulation de l'étude du champ dynamique et thermique de l'écoulement d'air en convection mixte pour le refroidissement d'obstacles, on fixe le nombre de Grashof et on varie de nombre de Richardson qu'il indique la convection mixte $0.05m/s, 0.09m/s, 1.5m/s, 2.5m/s$ ($0.005 < Ri < 14$).

Les deux simulations sont fondées pour justifier l'influence de Nombre de **Grashof** et de Nombre de **Richardson** sur le comportement dynamique et thermique de l'air dans un domaine avec des obstacles.

Les profils des températures est vitesse sont calculés et illustré dans l'axe gauche ($x=0.029$) Voir figure IV.2 et IV.3.

IV.1 : Le choix de maillage

Maillage		nœuds	élément
B	100	12791	24096
C	110	13653	25744
D	120	14733	27816

Tableau IV.1 : trois différents maillages

L'influence du maillage sur l'exactitude de la solution numérique a été examinée avant de passer aux calculs de notre étude. Nous avons considéré le cas de la convection naturel, dont Le nombre de $Gr=10^5$

Afin de procéder à cette étude, nous avons pris en compte trois différents maillages illustré dans le tableau (IV.1). Le profil de température dans l'axe gauche de domaine ($x = 0.029$) obtenus par ces grilles sont très proches et vu que le temps d'exécution du programme de calcul pris en utilisant le maillage B, ce choix est dans le but d'un calcul.

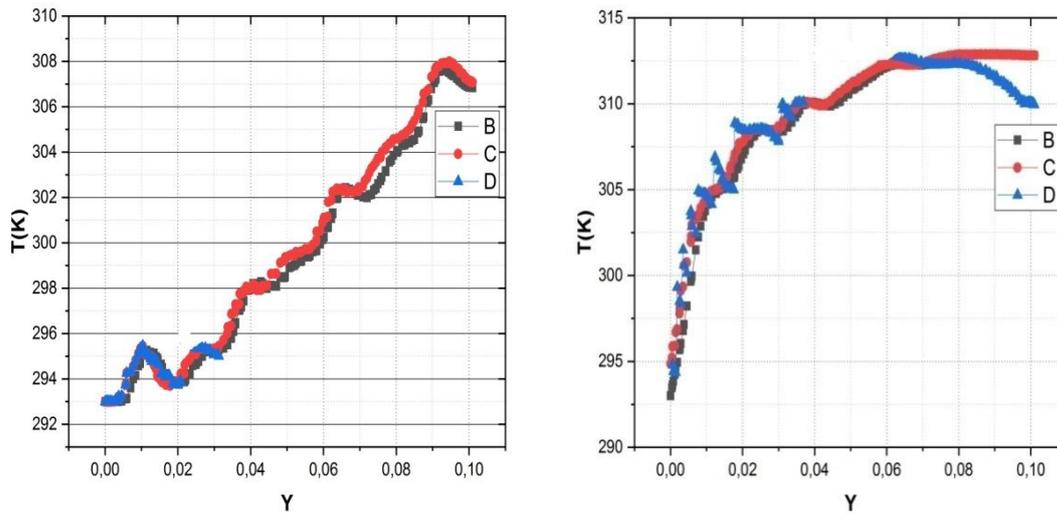


Figure IV.1 : profil de température pour 3 maillage différents ($Gr=10^5$)

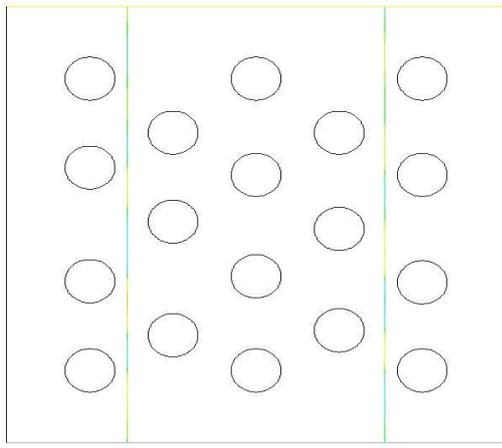


Figure IV.2 : Axe de géométrie avec les cylindres

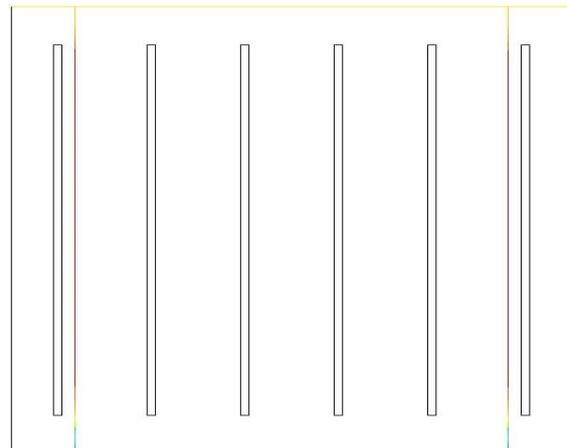


Figure IV.3 : Axe de géométrie avec
Des chicanes

- Pour la figure (VI.2) : $0.029 < x < 0.091$
- Pour la figure (VI.3) : $0.012 < x < 0.094$

IV.2 Convection naturelle:

Dans la 1^{er} partie on fait une étude numérique sur la convection naturelle pour deux cas d'obstacle (cylindrique, chicane) le fluide est l'air ($Pr = 0.71$) et le paramètre de contrôle est le nombre de Grashof qui indique la convection naturelle.

IV.2.1 Pour le 1^{er} cas chicane :

IV.2.1.1 Champ thermique

Les figures (VI.4, VI.5, VI.6, VI.7) présentés les contours de températures, on remarque 3 structure d'écoulement, la 1^{er} structure c'est pour le range de première ($10^3 < Gr \leq 10^6$) et le deuxième ($10^6 < Gr \leq 10^8$) et la troisième ($10^8 < Gr \leq 10^9$)

On générale les particules chaude monte vers le haut et change la chaleur avec les particules froides qui descende vers le bas à cause des forces de flottabilité.

Le transfert thermique est concentré entre les chicanes et à cause de faible valeur de Gr le régime conductif.

Pour confirmer cette remarque on a illustré les contours des vitesses, et pour ce cas les valeurs des vitesses sont assez faible comme illustré dans la figure (VI.7)

Avec l'augmentation de Gr le régime devient convectif que conductif, et la valeur de vitesse devient assez important de 10^{-1} (l'écoulement est instable) le régime est prés de la transition entre laminaire et turbulents, les contours de température est de forme nodulaire instable dans la base de domaine, pour les contours de vitesse, les valeurs sans environ de $3m/s$, et on remarque une création de deux vortex dans les coins.

Pour toutes les une remarque importante sur la concentration des vitesses dans les chicane dans ce cas les chicane sont comme des ailettes.

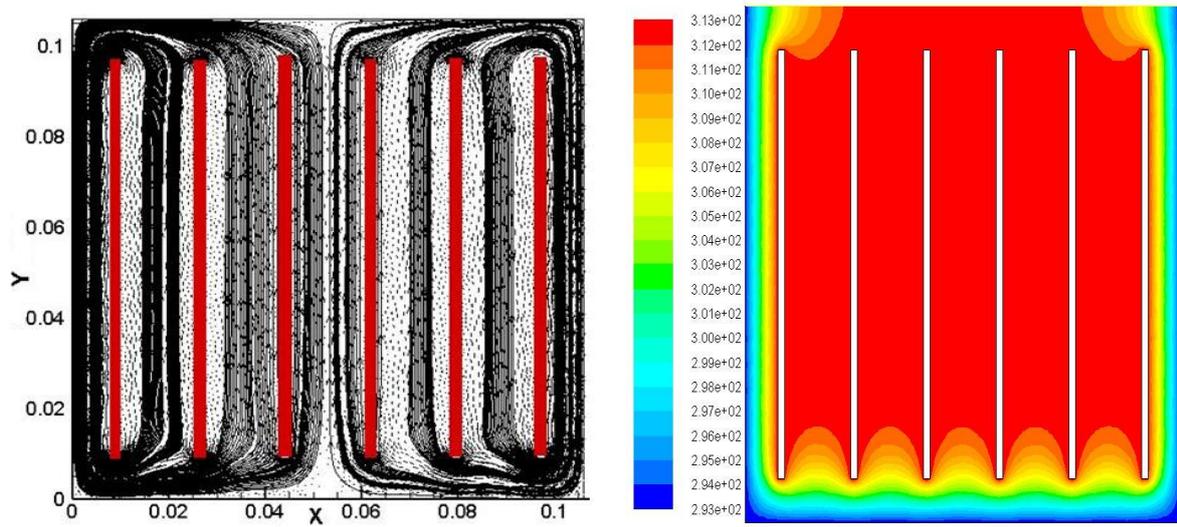


Figure IV.4 : contours de température, et ligne de courants pour $Gr = 10^3$

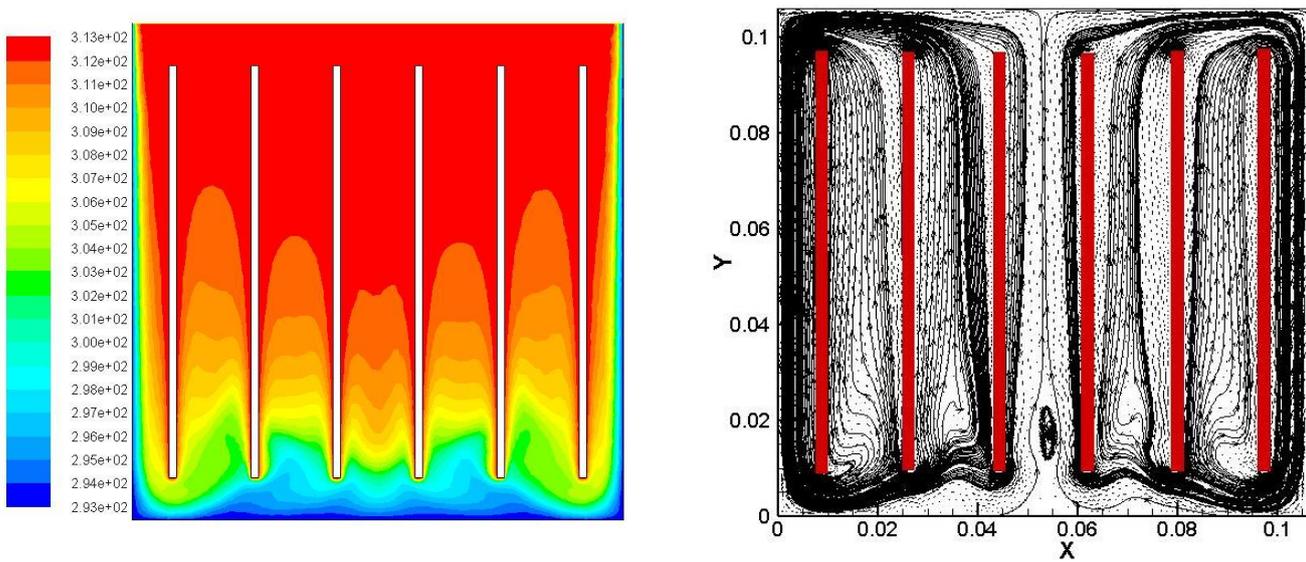


Figure IV.5 : contours de température, et ligne de courants pour $Gr = 10^6$

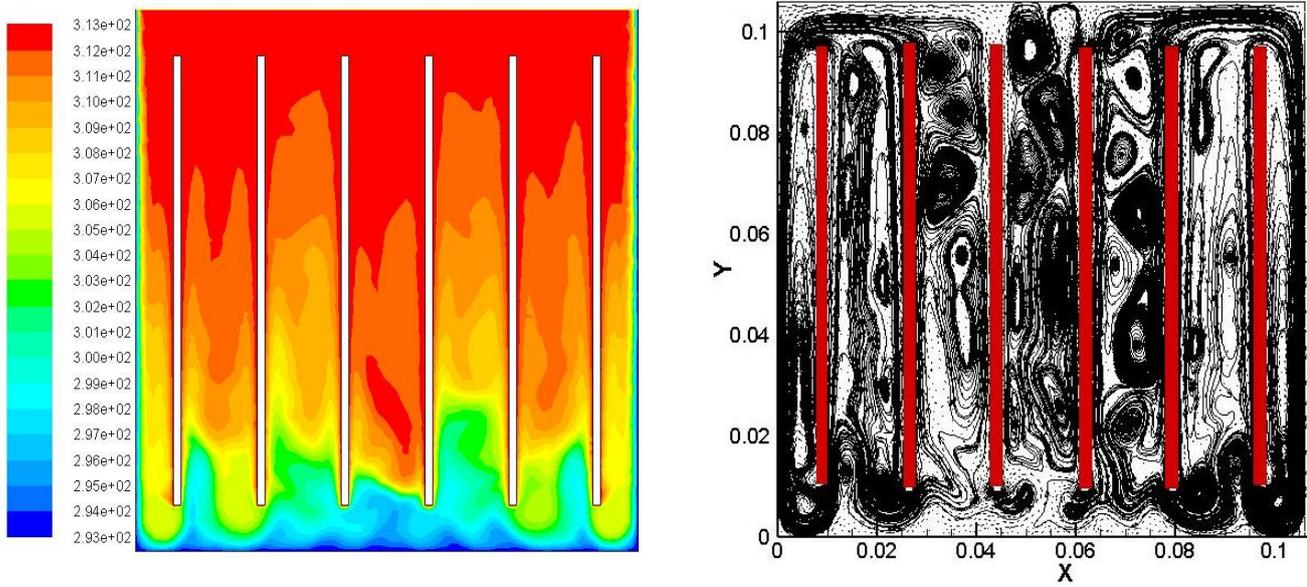


Figure IV.6 : contours de température, et ligne de courants pour $Gr = 10^8$

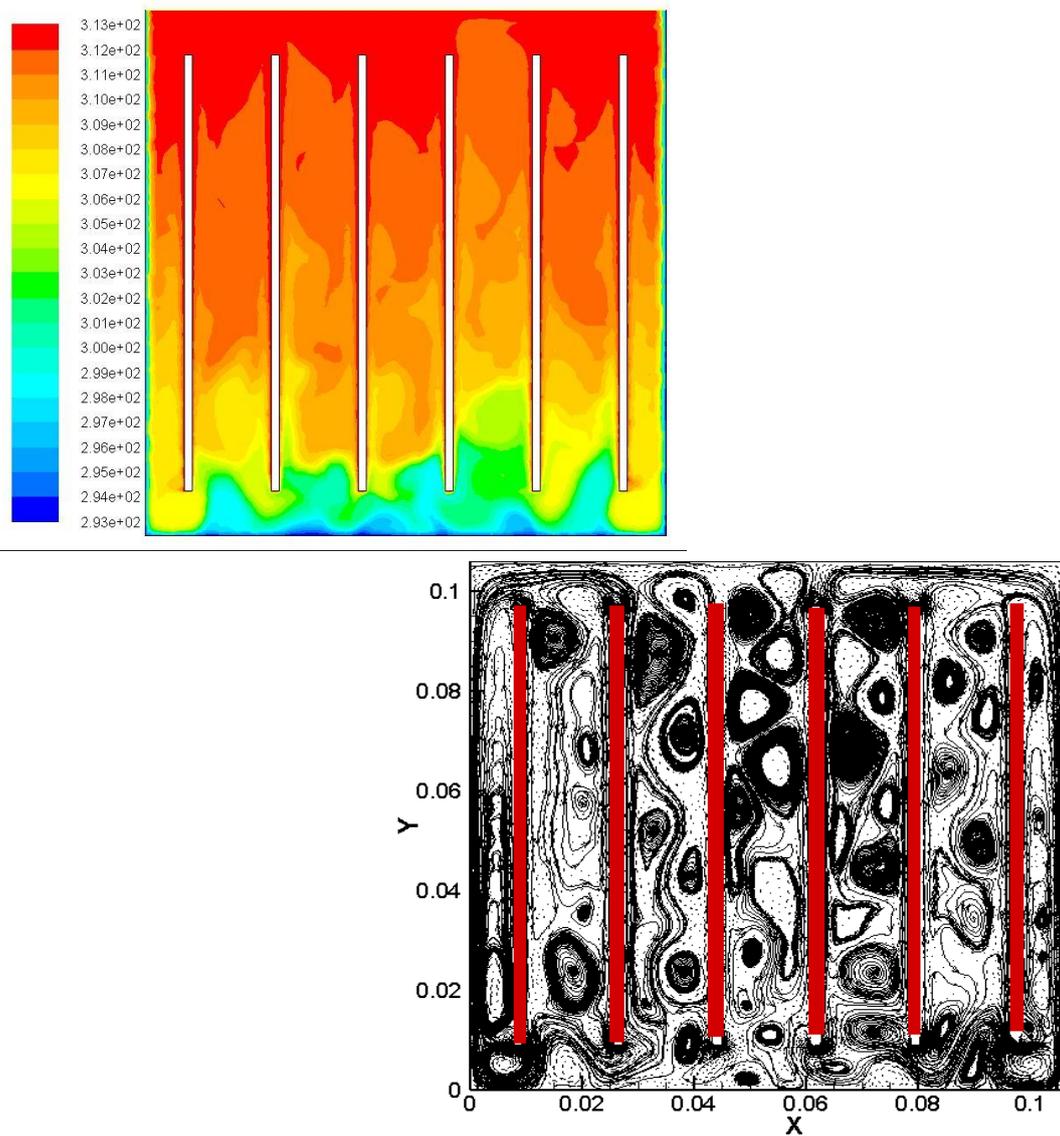


Figure IV.7 : contours de température, et ligne de courants pour $Gr = 10^9$

IV.2.1.2 Les profils de Température et de vitesse :

Pour faible valeurs de Grashof, la température augment linéairement pour $0 < x < 0.01$ puis il stabilise d'une valeur de **313K** et à la sortie il diminue linéairement de cette cas le régime est conductif puisque les vitesses est faible.

A l'augmentation de $Gr=10^6$ le profil devient ondulaire est augment vers la température maximale. Pour une grande valeur de $10^8 \leq Gr \leq 10^9$ la forme il reste presque la même mais il existe un simple changement dans la zone $0.3 < x < 0.5$, à cause des vortex (transition d'écoulement).

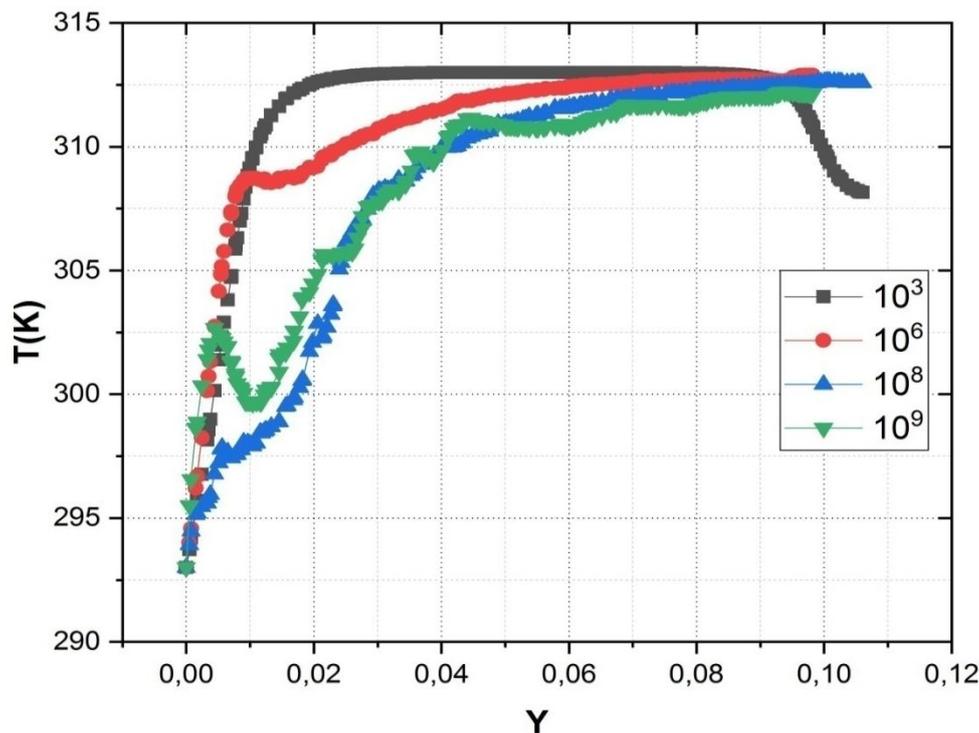


Figure IV.8 : profile de température

b) vitesse

Pour les profils de vitesse verticale de la figure (VI.10) pour faible valeur de Gr (B, C, D, E) l'allure presque linéaire à cause faible valeur de vitesse et le régime d'écoulement presque conductif pour $Gr=10^8$, les valeurs de vitesse change et la forme vibratoire amorti mais pour $Gr=10^9$ l'ondulation et assez important et la valeur maximale de vitesse et **2.7 m/s**.

Pour les autres profils la même remarque pour l'ondulation mais il existe certaine symétrie de vitesses verticales figure (VI.9).

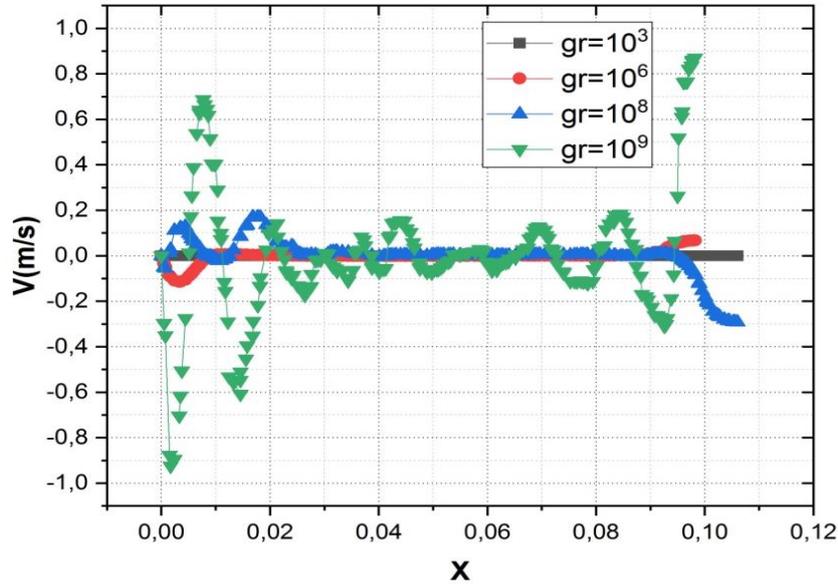


Figure IV.9 : profile de vitesse

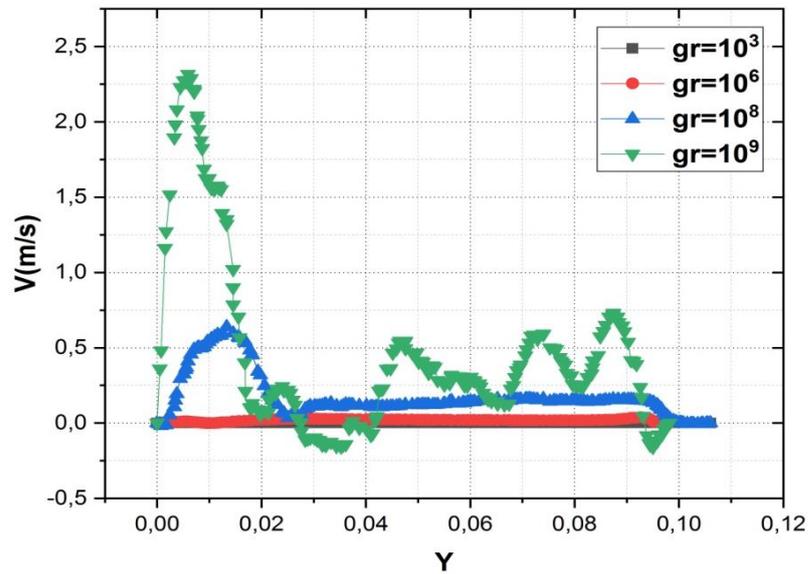


Figure IV.10 : profile de vitesse

IV.2.2 Pour le 2^{eme} cas cylindre :

Après les calculs de cette cas pour un range de Grashof ($10^3 < Gr < 10^9$)

IV.2.2.1 Champ thermique :

Les figures (VI.11, VI.12, VI.13, VI.14) présentent les contours de températures, on remarque 3 structure d'écoulement, la 1^{er} structure c'est pour le range de première ($10^3 < Gr \leq 10^5$) et le deuxième ($10^5 < Gr \leq 10^7$) et la troisième ($10^7 < Gr \leq 10^9$)

Pour les obstacles cylindriques il est clair qu'il existe 3 structures d'écoulement mais les obstacles créent des zones de sillage quand le nombre de Grashof augmente l'écoulement dévient instables comme illustré dans les iso courant, pour $Gr=10^9$ les vortex créés un écoulement transitoire près de la turbulence.

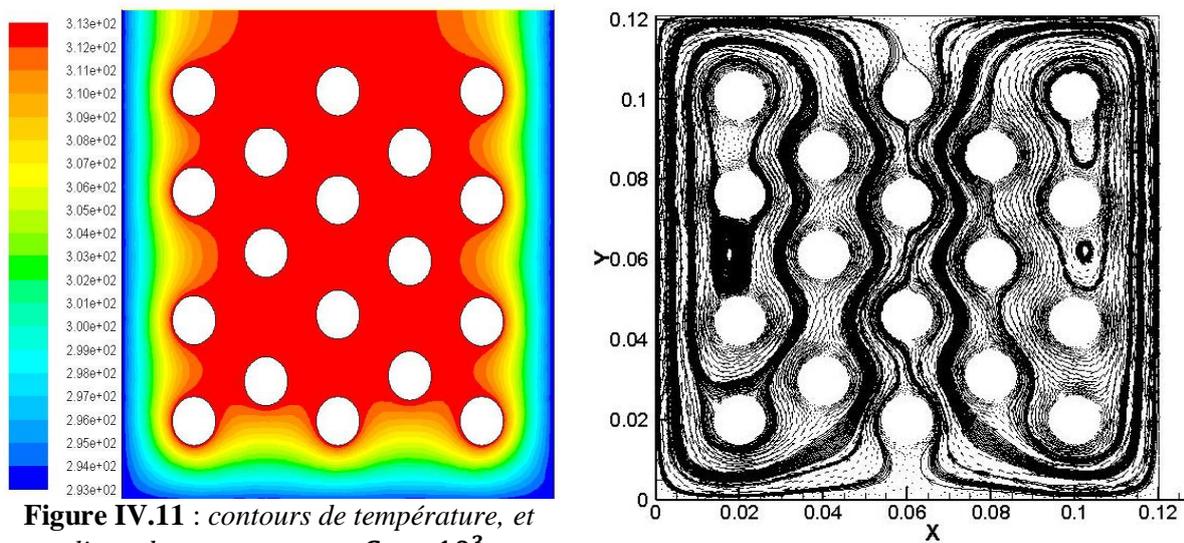


Figure IV.11 : contours de température, et ligne de courants pour $Gr = 10^3$

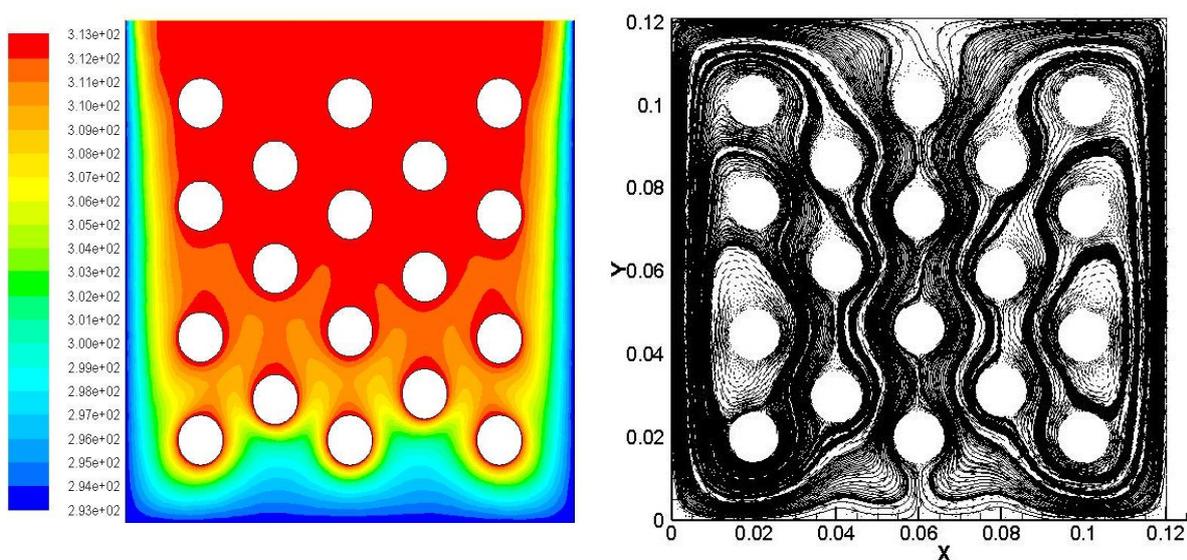


Figure IV.12 : contours de température, et ligne de courants pour $Gr = 10^5$

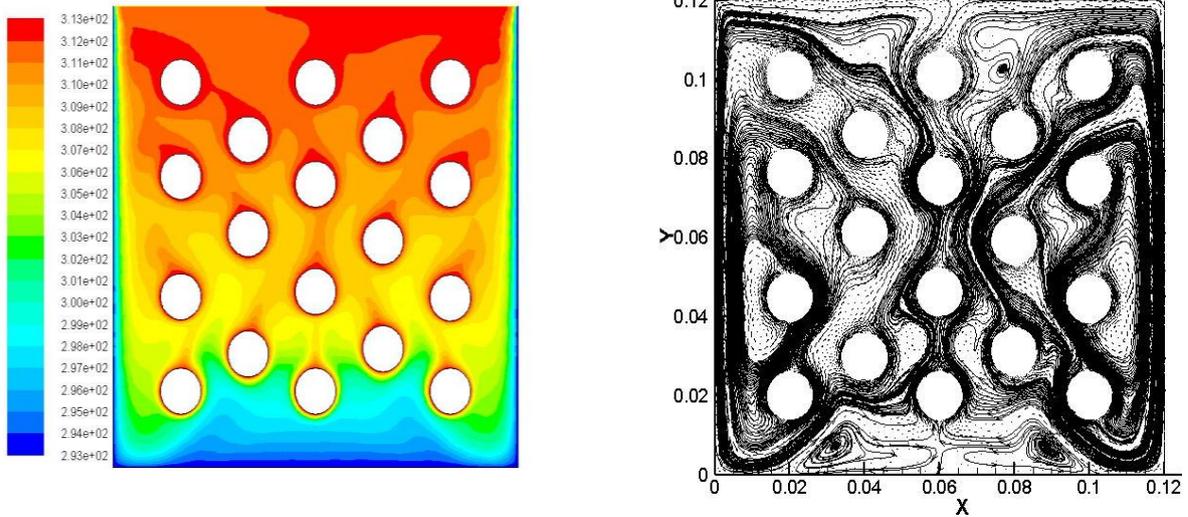


Figure IV.13 : contours de température, et ligne de courants pour $Gr = 10^7$

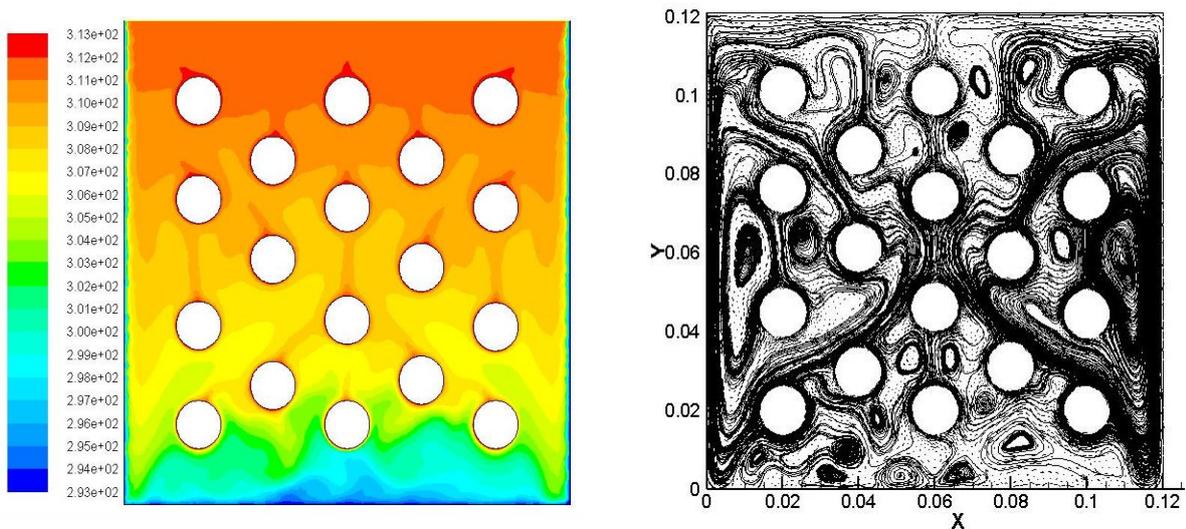


Figure IV.14 : contours de température, et ligne de courants pour $Gr = 10^9$

IV.2.2.2 Les profile de température et de vitesses

a) Température

Au premier vue des courbes figures (VI.15), on remarque le fluide augment brusquement juste au niveau parallèle a la position de l'obstacle et elle reste constant après ça comme on a dit auparavant, la température la plus élever est celle de nombre de Gr , la température augment jusqu'au 313k.

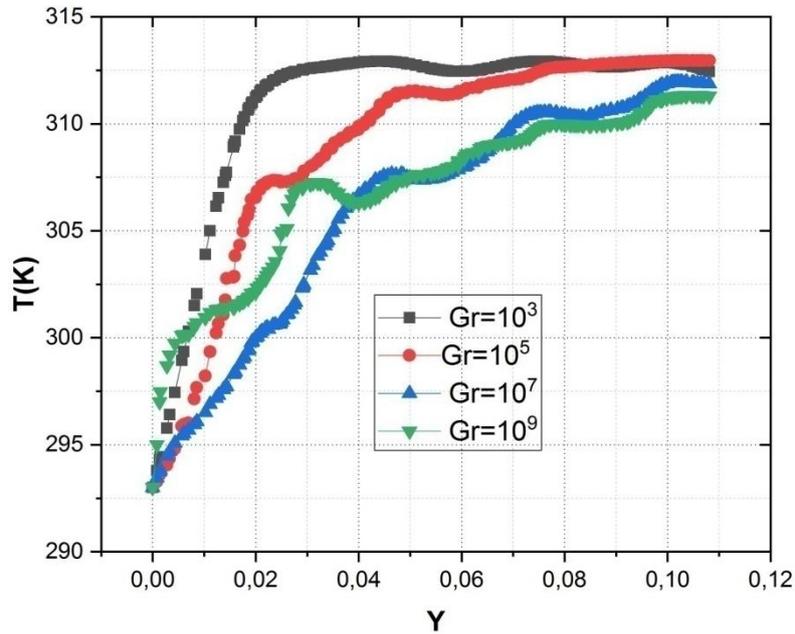


Figure IV.15 : profil de température

b) Vitesse

La figure (VI.16) illustre l'évolution du profil de la vitesse suivant la direction OX Pour différentes valeurs du nombre de Grashof, en fonction de la longueur du domaine.

On remarque que les vitesses, aux alentours de l'obstacle, deviennent importantes quand Le nombre de Grashof augmente. En effet, on note un pique de vitesse au voisinage de laquelle diminue en s'éloignant du corps chaud. Cela s'explique par le réchauffement du fluide au voisinage de la paroi du cylindre et son Refroidissement au loin.

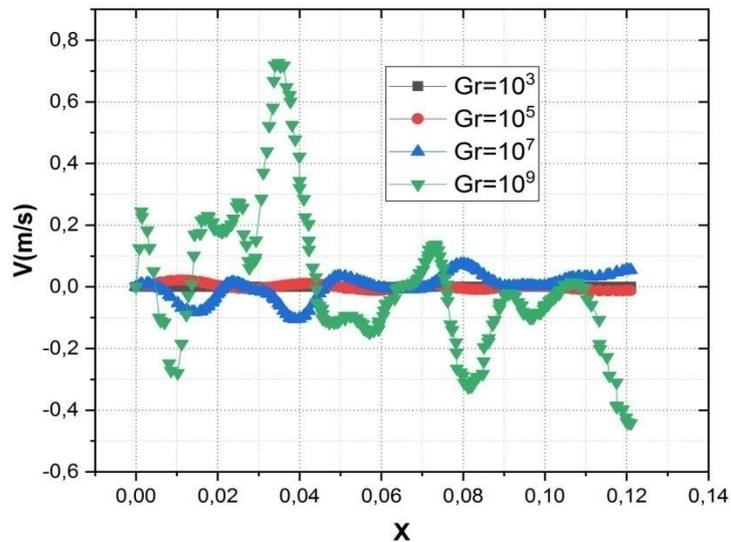


Figure IV.16 : profil de vitesse

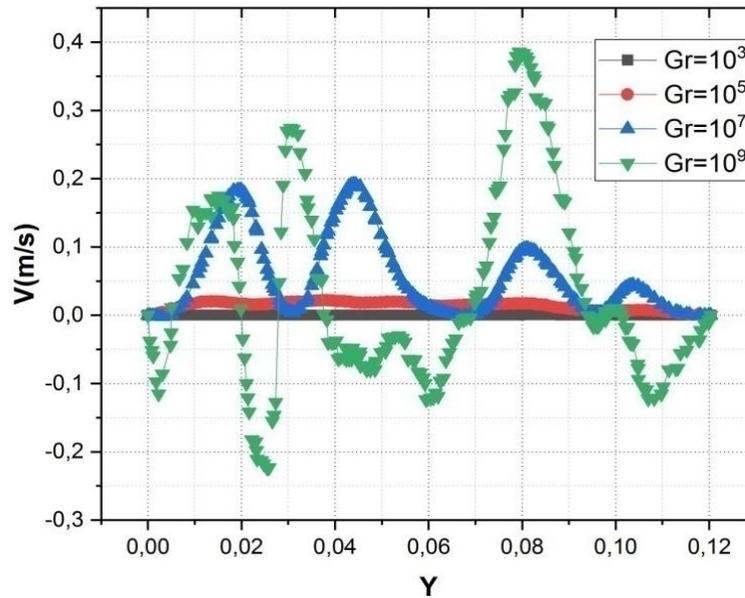


Figure IV.17 : *profile de vitesse*

IV.3 Convection mixte

Dans la 1^{er} partie on fait une étude numérique sur la convection mixte pour deux cas d'obstacle (cylindrique, chicane) le fluide est l'air ($Pr=0.71$) et le paramètre de contrôle est le nombre de **Richardson** qui indique la convection mixte.

IV.3.1 Pour le 1^{er} cas chicane

IV.3.1.1 Champ thermique

Les figures (VI.18, VI.19, VI.20, VI.21) présentés les contours de températures, on remarque 3 structure d'écoulement, la 1^{er} structure c'est pour le range de première

($4.31 < Ri \leq 13.98$) Et le deuxième ($0.0155 < Ri \leq 4.316$) et la troisième

($0.0055 < Ri \leq 0.0155$)

D'une manière générale quand on augmente la vitesse d'entrée le refroidissement augmente, la chaleur échangé vers la sortie de domaine l'écoulement est sous forme des lignes parallèles comme illustré dans les lignes des courants.

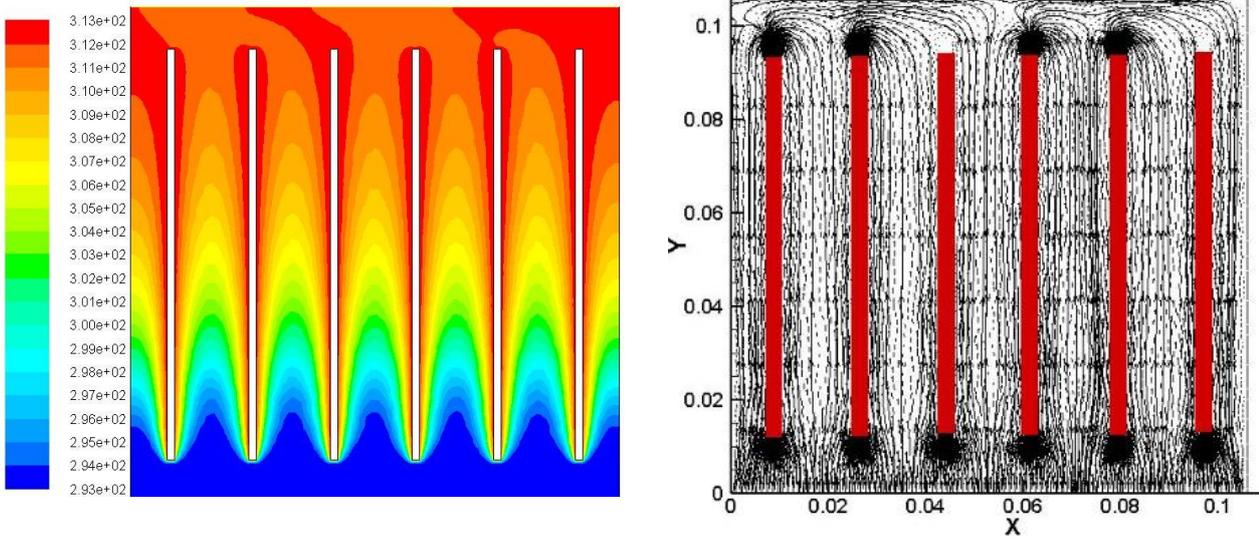


Figure IV.18 : contours de température, et ligne de courants pour $Ri=13.98$

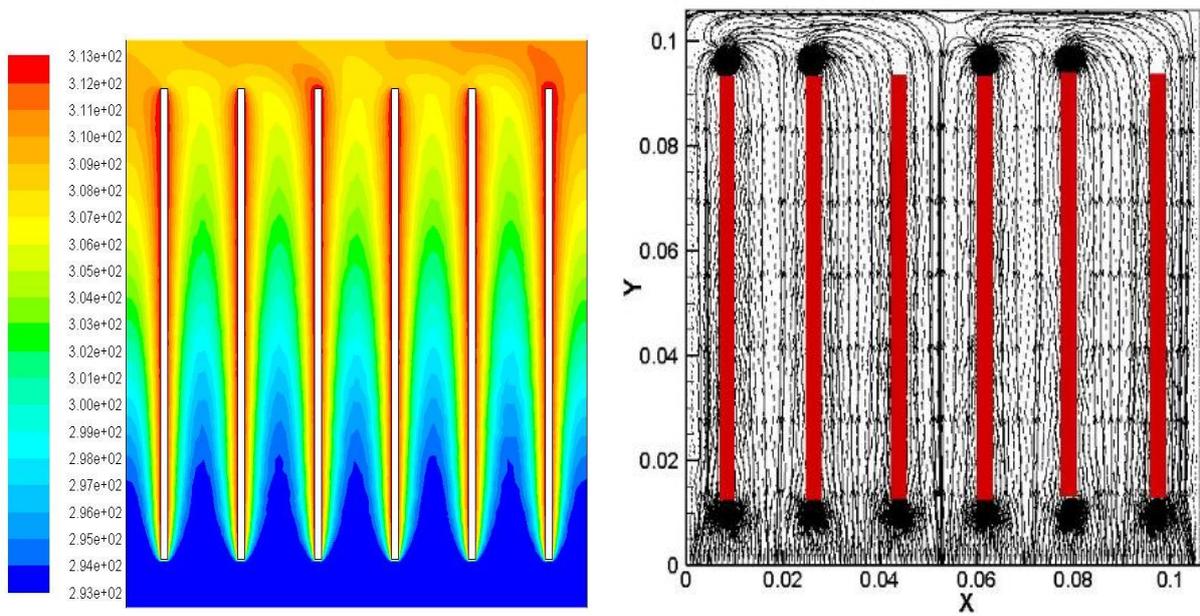


Figure IV.19 : contours de température, et ligne de courants pour $Ri=4.32$

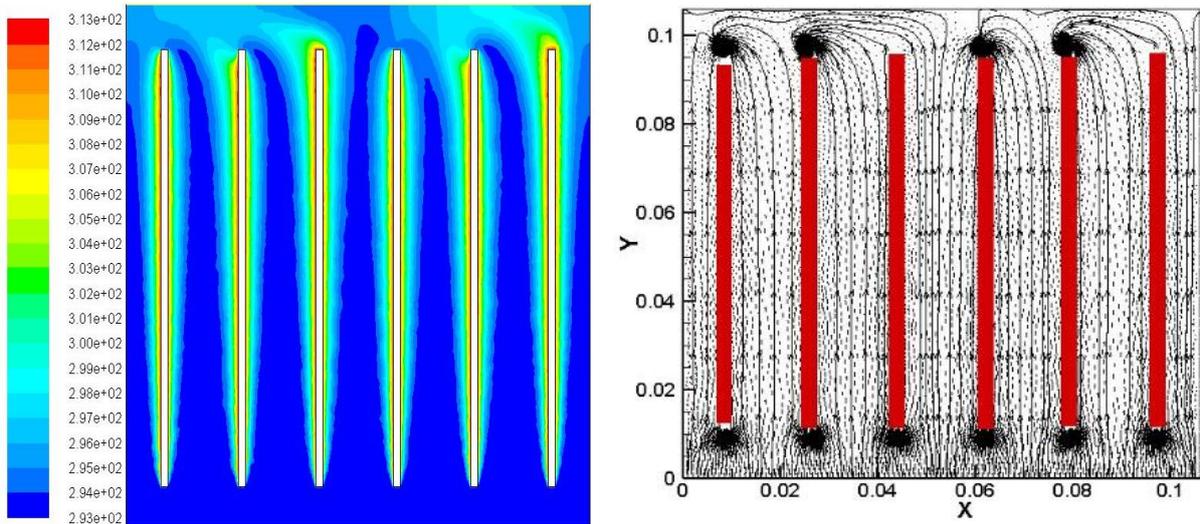


Figure IV.20 : contours de température, et ligne de courants pour $Ri = 0.016$

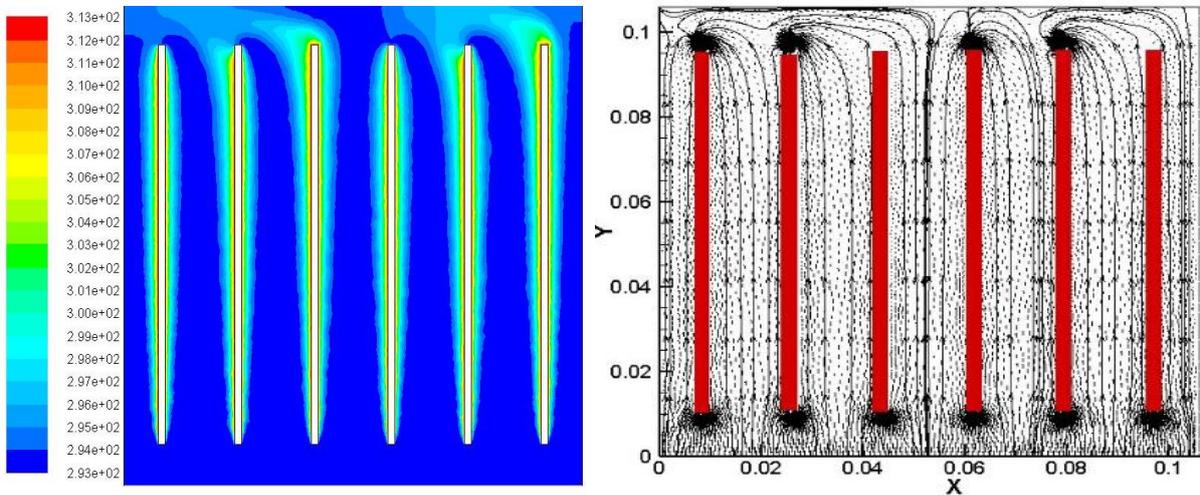


Figure IV.21 : contours de température, et ligne de courants pour $Ri = 0.005$

IV.3.1.2 Les profils de Température et de vitesse

a) Température

On remarque dans la figure (VI.22) que les profils il avait la mémé forme du une manière générale, les profils augment brusquement et presque linéairement à l'entrée ($x=0.02$).

On peut dire que le régime est conductif, puis la forme change vers une forme curviligne pour le régime convectif, pour la perturbation dans les courbes $\nu=1.5$ et $\nu=2.5$ à cause de sillage dans l'écoulement.

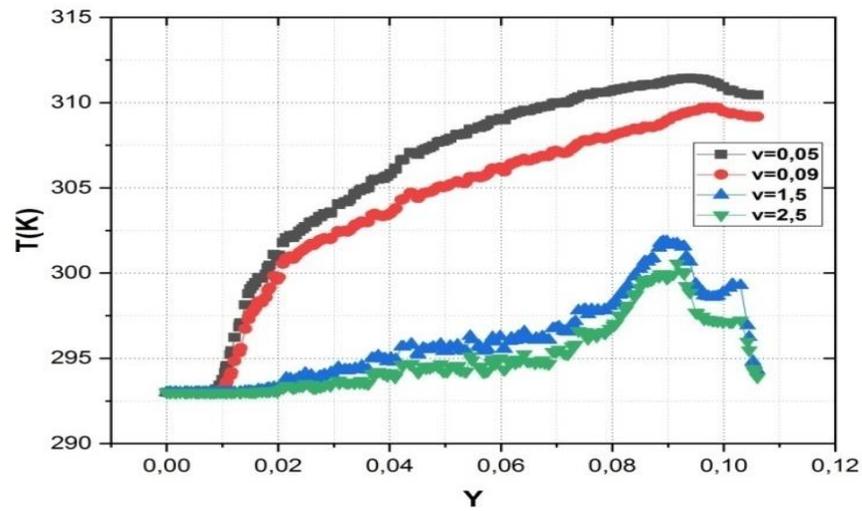


Figure IV.22 : *profile de température*

b) Vitesse

Les vitesses axial est vertical sont présentés dans les figure IV.23 et IV.24, l'allure de vitesse axial u est symétrie, presque linéaire pour les faibles valeurs de Richardson mais à l'augmentation de Ri on note deux pique de vitesse l'un est positif et l'autre est négative et pour la zone intermédiaire de l'axe la vitesse est de faible valeurs.

Pour la vitesse vertical la vitesse commence des valeurs grandes et diminuer d'une façon courbé et pour les faibles valeurs des Ri la vitesse est presque nulle.

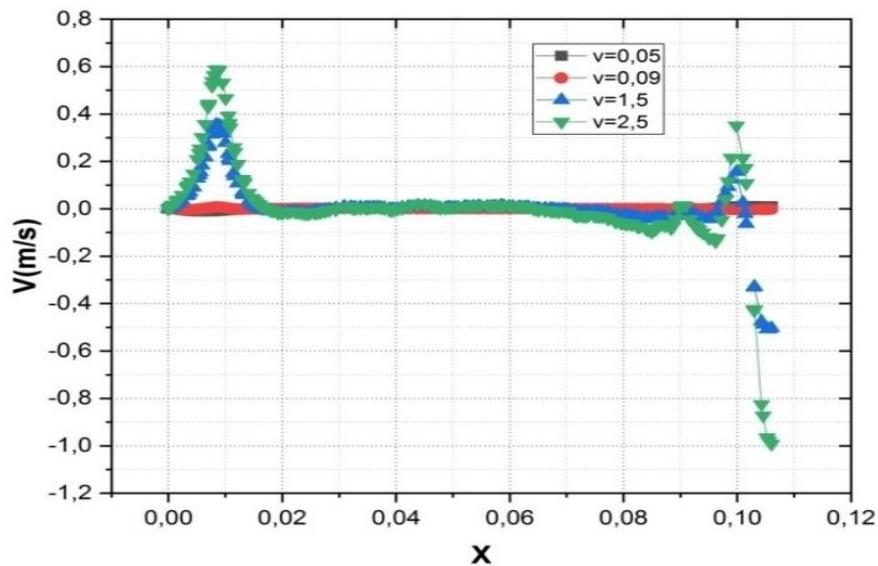


Figure IV.23 : *profile de vitesse*

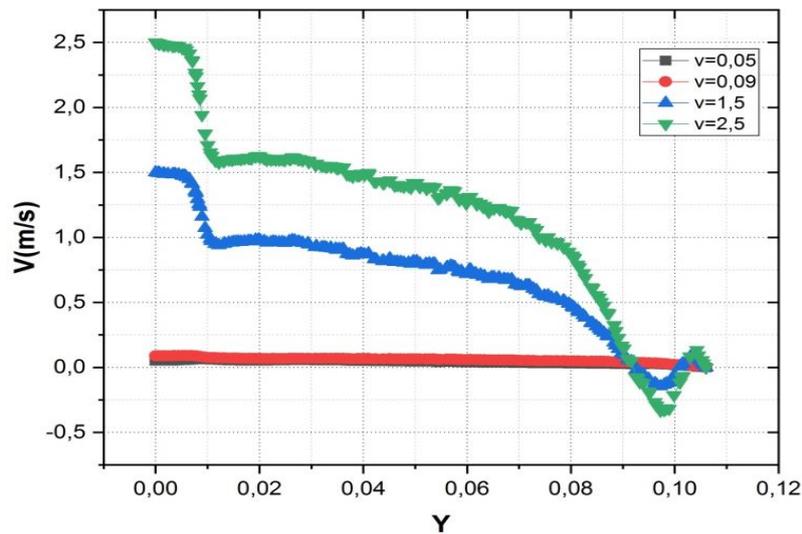


Figure IV.24 : *profile de vitesse*

IV.3.2 Pour le 2^{eme} cas cylindrique :

IV.3.2.1 Champ thermique :

L'écoulement d'entrée est refroidi les obstacles plus proche de cette partie la convection est mixte, et pour les obstacles loin l'entré les vitesses son de faible valeur et le régime d'écoulement conductif.

Par l'augmentation de la vitesse l'échange et devient mixte pour la moitié de cavité et la vitesse sont augment par l'augmentation d'échange de chaleur entre les cylindres et le fluide.

Pour les grandes vitesses de refroidissement presque tous le domaine et refroidir, les valeurs de vecteur vitesse sont augment d'une manière important environ de valeur maximale (**4.74 m/s**), on peut dire que la convection devient forcée de cette cas.

Pour les lignes des courants on remarque toujours qu'il existe des vortex après l'obstacle qu'il consomme l'énergie et augmente le transfert de chaleur de cette région.

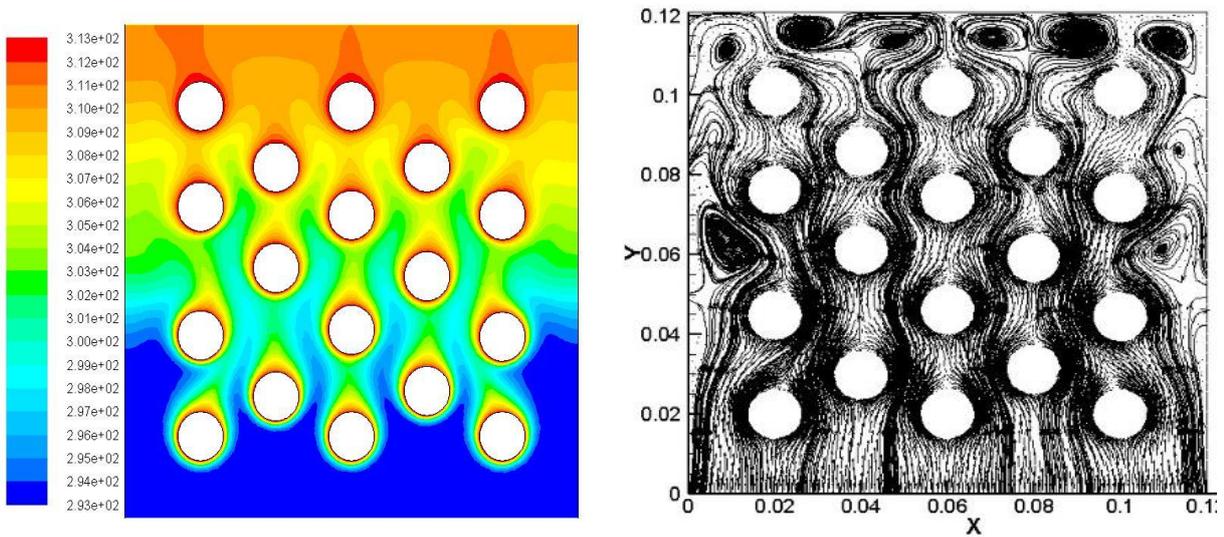
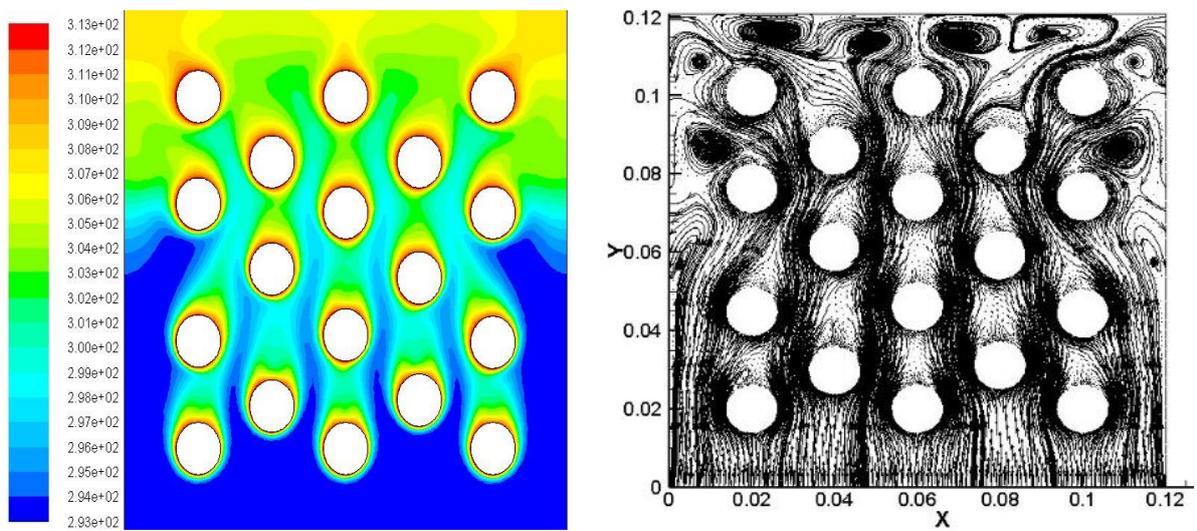


Figure IV.25 : contours de température, et ligne de courants pour $Ri = 13.98$



IV.26 : contours de température, et ligne de courants pour $Ri = 4.32$

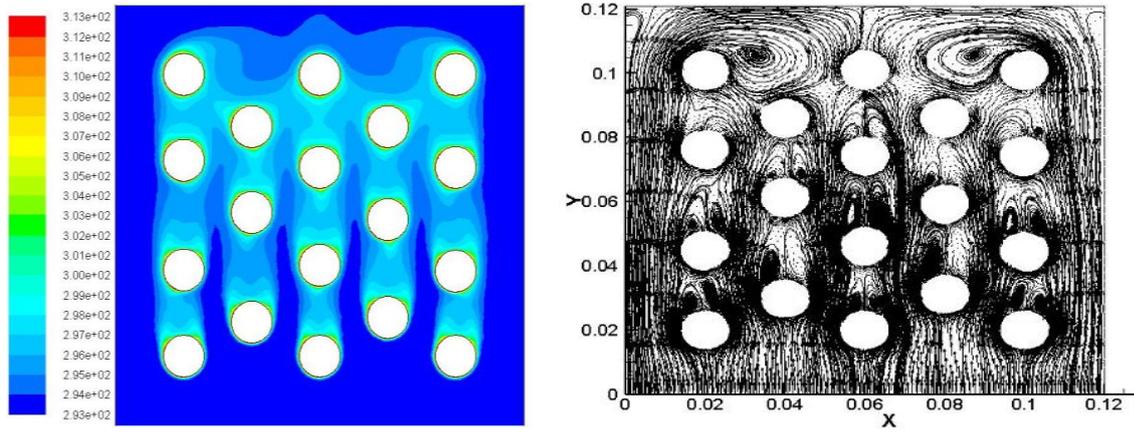


Figure IV.27 : contours de température, et ligne de courants pour $Ri=0.016$

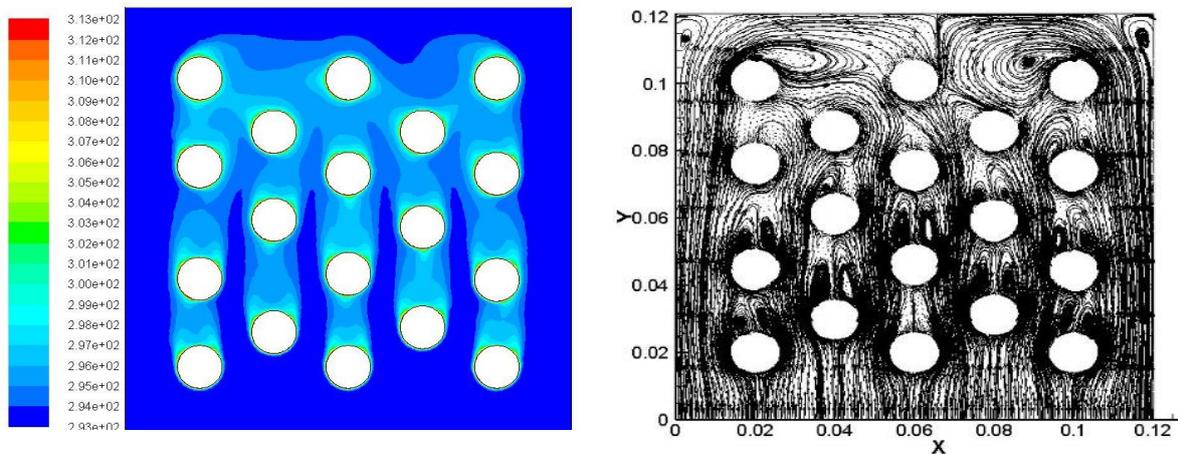


Figure IV.28 : contours de température, et ligne de courants pour $Ri = 0.005$

IV.3.2.2 Les profile de température de vitesse :

a) Température

Pour ce cas la vitesse augmente d'une forme ondulaire et la perturbation à cause des vortex et zones des sillages autour des obstacles d'autre part si la vitesse augmente le refroidissement augmente d'une manière rapide qui signifie la chute de températures pour $v=1.5$ et $v=2.5$.

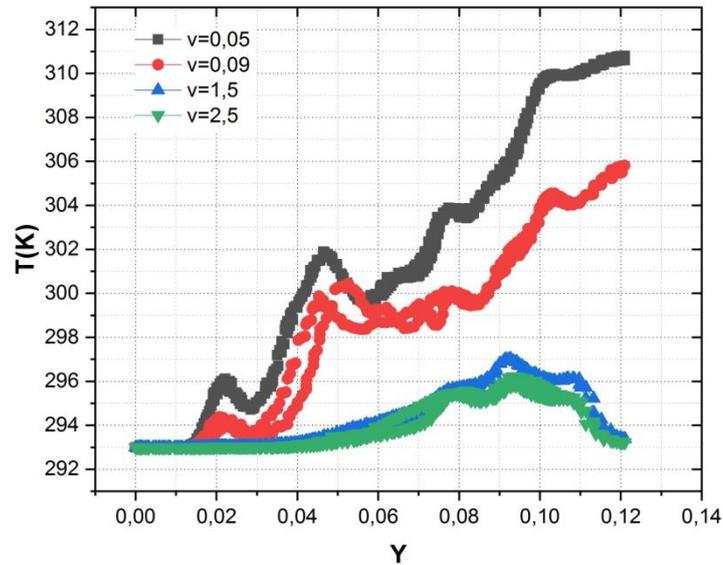


Figure IV.29 : *profile de température*

b) Vitesse

La vitesse axiale de cette cas figure VI.30 et changé d'une manière sinsuidale a cause de forme gémoetrique des obstacles,mais les valeurs sont grands pour $\nu=1.5$ et $\nu=2.5$.pour la vitesse horizontale il augmente pour une certain valeur maximale et puis de cette valeur on remarque une perturbation ζ cause de création de vortex dans l'écoulement et il diminuer d'une façon brusque jusqu'au zero.

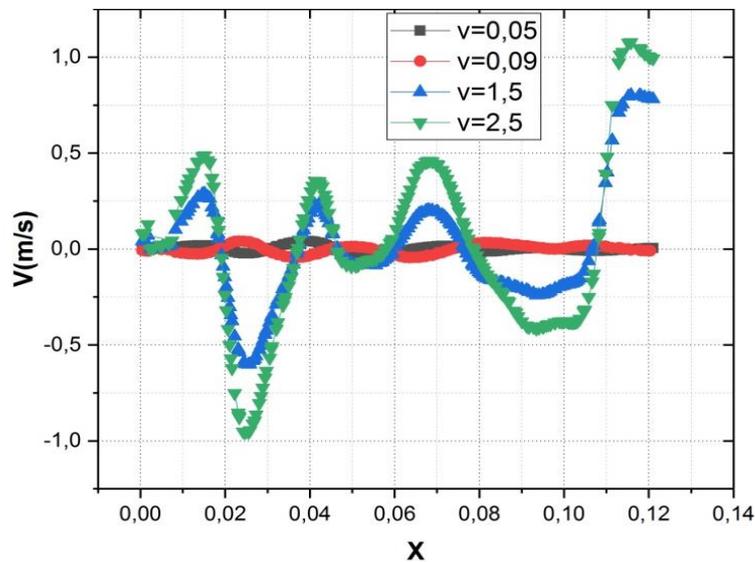


Figure IV.30 : *profile de vitesse*

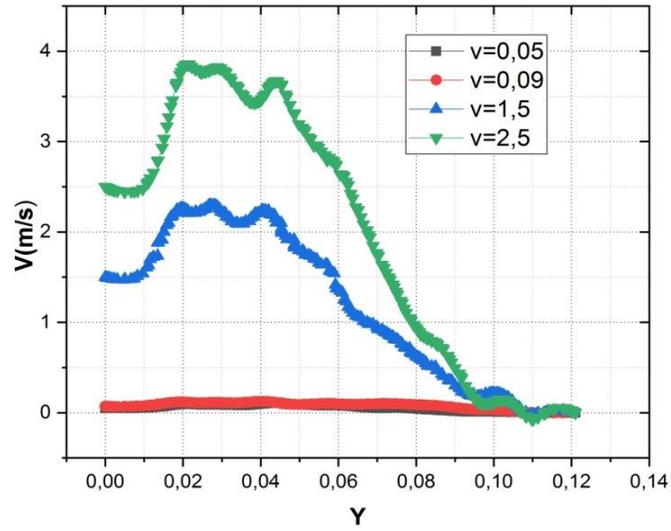


Figure IV.31 : profile de vitesse

IV.4 Nombre de Nusselt moyenne :

Par définition le nombre de Nusselt est le rapport d'échange convectif par rapport à l'échange conductif et donc pour notre cas on présente ce nombre pour la convection naturel et mixte.

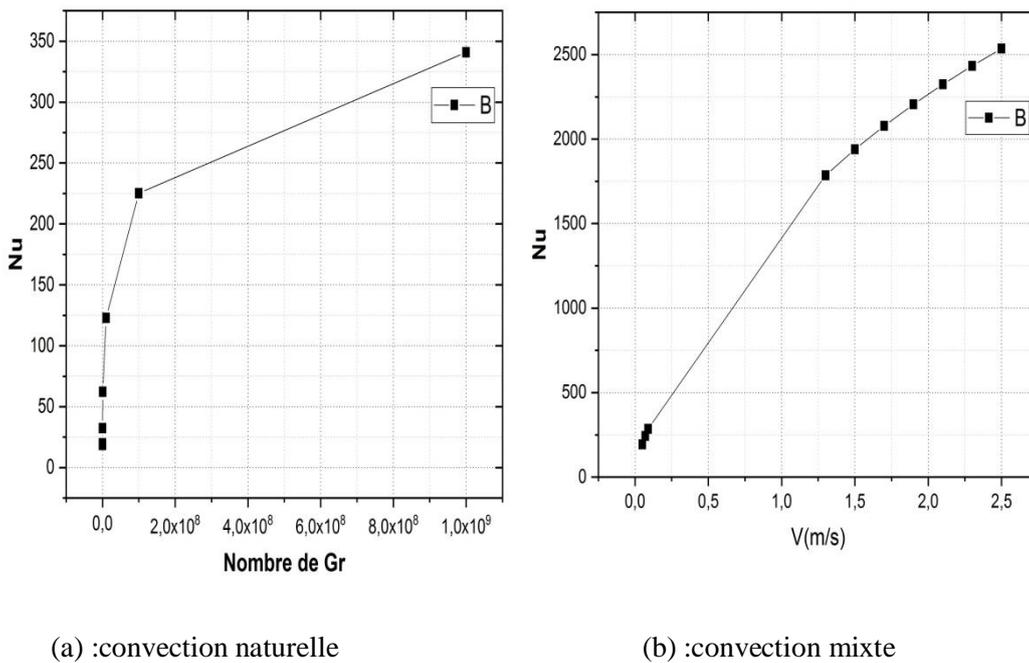


Figure IV.32 : nombre de Nusselt dans la géométrie avec des obstacles cylindrique

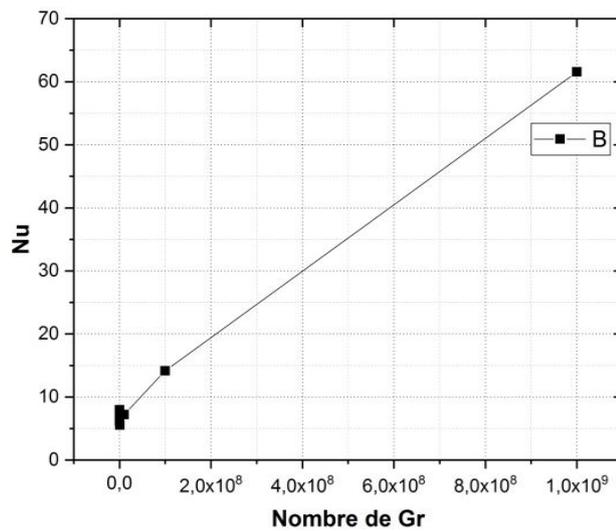
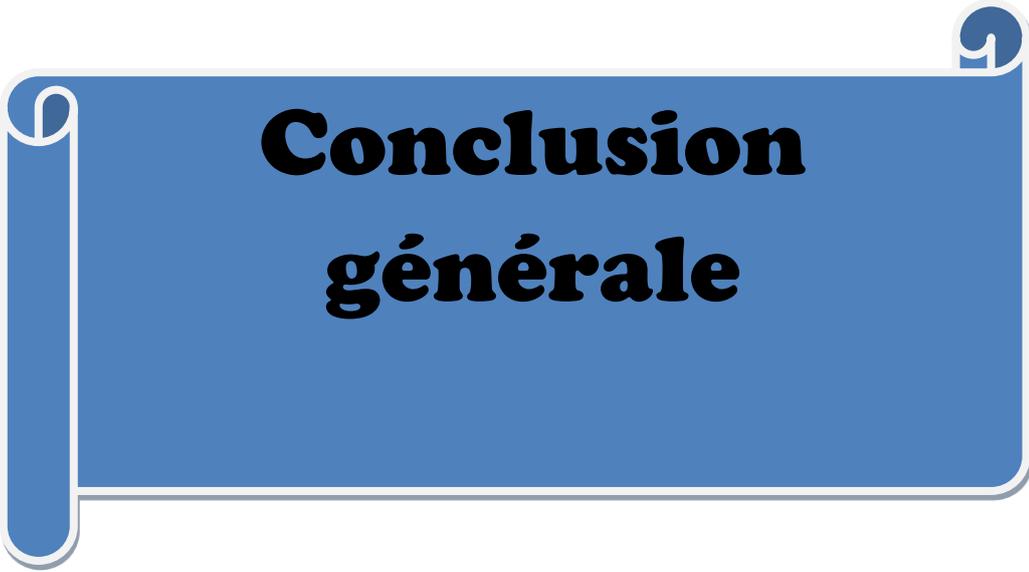


Figure IV.33 : nombre de Nusselt dans la géométrie avec des chicanes

Pour la convection naturel l'allure est curviligne et augmente jusqu'à une valeur de 350 pour la convection mixte la vitesse augmente l'échange et le profil devient presque linéaire et le régime commence conductif puis mixte et pour de grandes valeurs des vitesses la convection est forcée et refroidit les obstacles à fuseau tubulaire d'une façon rapide. Pour les ailettes plane le profil est presque linéaire à cause de forme simple des obstacles.

A blue scroll graphic with a white border and a white shadow. The scroll is unrolled in the middle, revealing the text. The top and bottom edges of the scroll are curled up.

Conclusion générale

V. Conclusion Générale

Ce manuscrit résume un travail de simulation numérique qui a pour objectif l'étude d'un écoulement bidimensionnel autour d'un obstacle cylindre et chicane. La simulation numérique par le code de calcul fluent a été adoptée pour résoudre les équations d'écoulement d'un fluide. Ce travail nous a permis de tirer de riches renseignements sur les comportements d'un écoulement bidimensionnel.

Le modèle mathématique est représenté par les équations de continuité, de quantité de mouvement et de l'énergie pour le cas bidimensionnel. On a l'approximation Boussinesq et des hypothèses simplificatrices sont adoptées afin de simplifier le système d'équations. La discrétisation des équations est réalisée par la méthode des volumes finis.

Les résultats obtenus représentent l'influence de nombre de Grashof sur la structure de l'écoulement généré par la convection naturelle, et l'influence de nombre de Richardson dans le cas de la convection mixte.

On a fait varier le nombre de Grashof de 10^3 jusqu'à 10^9 ou nous avons constaté que au-delà de cette dernière valeur notre code présente une instabilité pendant le calcul.

Puis on a fait varier le nombre de Richardson de $0.0055 < Ri < 13.98$ Dans le cas de la convection mixte.

Le résultat montre que la forme des obstacles influe sur l'échange convectif par la création des vortex et le refroidissement et augmente avec la vitesse d'entrée d'écoulement. La structure d'écoulement est liée aux paramètres de contrôle sachant que le nombre de Grashof et Richardson.

Références bibliographiques

- [1] **Yves Jannot**, *Ecole des Mines Nancy, 2ème année, transfert thermique* ;(page 6,7).
- [2] **Daniel Brito et al** ,’’*Experimental study of ageostrophic vortex of gallium in a transverse magnetic field*’’ département Terre atmosphere Océan, école Normale Supérieure. (1995).
- [3] **zouhair Aouisi**, *Simulation numérique en CFD de la convection mixte autour des tubes à ailettes d’un échangeur de chaleur* ; Mémoire ; 2019.
- [4] **Mlle Mahdjouba AKERMA** ; *Etude des échanges convectifs autour d’un cylindre horizontal* ; mémoire ; 2013.
- [5] <http://thesis.univ-biskra.dz/2283/2/CHAPITRE%20I.pdf>.
- [6] **BEDJEGHIT el-houas** ; *étude expérimentale et numérique d’un écoulement autour d’obstacles carré et cylindrique* ; mémoire ; 2009/2010.
- [7] **SAMIR Khene**, « *Mécanique des fluides* », *Publications de l’université Badji Mokhtar, Annaba*, 2000.
- [8] **Nirmalkar N., Chhabra R.P., 2012**, *Forced convection in power-law fluids from an asymmetrically confined a heated cylinder, International Journal of Heat and Mass Transfer* 55 (2012), pp. 235-250
- [9] **Chaitanya N.S.K., Dhiman A.K., 2012**, *Non-Newtonian power-law flow and heat transfer across a pair of side-by-side circular cylinders, International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55 (2012), pp. 5941-5958.
- [10] **Laidoudi H. and Bouzit M., 2018**, *Mixed convection in Poiseuille fluid from an asymmetrically confined heated circular cylinder. Thermal Science*, Vol. 22, Issue 2, pp 821 - 834.
- [11] **Gera.B, PavanK.Sharma, Singh R.K,**“ *CFD analysis of 2D unsteady flow around a square cylinder*”, *International Journal of Applied Engineering Research* , DINDIGUL, Volume1, N 3, 2010.
- [12] **Hafida .N, Mohamed.S (2010)**,“ *Etude numérique des effets d’obstacles sur le profil du vent* », *Revue des énergies renouvelable SMEE’10 Bou Ismail –Tipaza*, 2010.

- [13] **P.F. Zhang, J.J. Wang, L.X. Huang**, *Numerical simulation of flow around cylinder with an upstream rod in tandem at low Reynolds numbers*, *Applied Ocean Research* Vol 28 PP183–192. 2006.
- [14] **BEHNIA MASUD, WATARU NAKAYAMA AND JEFFREY WANG**, “*CFD simulations of heat transfer from a heated module in an air Stream: comparison with experiments and a parametric study*”, *Intersociety conference on thermal phenomena, IEEE*, 0-7803-4475, USA, 1998.
- [15] **D.Kumar, A .Dhiman (2016)**, *Opposing buoyancy characteristics of Newtonian fluid flow around a confined cylinder at low and moderate Reynolds numbers*, *Numerical Heat Transfer, Part A : Applications*, 69 (2016) 874-897.
- [16] **Fand, R. M.** “*Heat Transfer by Forced Convection from a Cylinder to Water in Crossflow*,” *Int J. Heat Mass Transfer*, vol. 8, p. 995, 1965. Reporté par J.P.Holman
- [17] **OOSTHUIZEN (P.H.) ET MADAN (S.)**. – *The effect of flow direction on combined Convective heat transfer from cylinders to air*. *Journal of Heat Transfer*, p. 240-2, may 1971. Jacques PADET.
- [18] **X.K. Wang, K. Gong, H. Liu, J.-X. Zhang et S.K. Tan**, «*Flow around four cylinders arranged in a square configuration* », *Journal of Fluids and Structures* 43(2013)179–199.
- [19] **Hilpert, R.** (1932) – *VDI – Forshungsheft N° 355*. . Reporté par Jacques PADET.
- [20] **Reiher H.** (1925) – *Forshungsarb. a. d. Geb. d. Ingenieurives N° 269*. . Reporté par Jacques PADET.
- [21] **BELABES KHALED, BOUSBAINÉ AMINE** *Comparaison des efficacités des ailettes de quelques formes géométriques* ; mémoire ; 2017/2018.
- [22] **MADAOUÏ Lamine – MESSAOUDI Mohammed** *Etude numérique de transfert de chaleur d’un écoulement de fluide dans un canal cylindrique*. Mémoire ; 2019
- [23] : **MR.ALLOUI ZINEDDINE** _ cours ; l’Université BATNA2.
(<http://staff.univ-batna2.dz/sites/default/files/alloui-zineddine/files/chap-1-ulcfd.pdf>)

[24] : **Laouarsalima** ; *influence d'un champ magnétique sur le transfert de chaleur dans les écoulements rotatifs* " ; mémoire ; l'Université des sciences et de la technologie houari boumedieneusthb /Alger ; (2012).

[25] : **SASSANE Nadjette** ; *"Modélisation du transfert de chaleur lors de l'écoulement d'un fluide à l'intérieur d'une paroi poreuse* " ; mémoire ; l'Université 20 Août 55, Skikda ;(2008).

[26]: **S.V.PATANKAR**,*"Numerical heat transfer and fluid flow"*, me graw-hill, (1980).

[27]:**Boutalwalid, et Addou Mohammed** *"étude de transfert de chaleur de nanofluide dans une cavité carrée sous champ magnétique* " ; mémoire ; l'Université AKLI MOHAND OULHADJ /Bouira (2020)

[28] : **LPEME KOUYI G.,** , *Expérimentations et modélisations tridimensionnelles de l'hydrodynamique et de la séparation particulaire dans les déversoirs d'orage* ; Thèse de Doctorat, l'Université Louis Pasteur – Strasbourg I, page 23-34-58-67-73- 77.

[29] : **Mefi Mohamed et Bousiga Rabah** *"étude de l'influence de champ magnétique sur le transfert de chaleur dans les écoulements rotatifs* " ; mémoire ; l'Université AKLI Mohand oulhadj(27/06/2016).

