

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEURE ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
CENTRE UNIVERSITAIRE SALHI AHMED– NAAMA



INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES
DÉPARTEMENT DE TECHNOLOGIE

MÉMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de **Master** en :

Génie Mécanique

Option : Énergétique

Intitulé :

INVESTIGATION NUMÉRIQUE DE L'EFFICACITÉ D'UN ÉCHANGEUR DE CHALEUR CHICANÉ : ASPECT HYDRODYNAMIQUE ET THERMIQUE

Présenté par :

- BAKIRAT Mohammed
- LESSEHAL Ahmed

Soutenu le : Juin/2021.....devant le Jury :

Mr. Naima Khatir	MCA	Centre Universitaire Naâma	Président
Mr. Ameer Houari	Pr.	Centre Universitaire Naâma	Encadrant
Mr. Kaid Nouredine	MCA	Centre Universitaire Naâma	Examineur

2020-2021

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A ma très chère mère, source de tendresse

A mon très cher père, qui m'encourage

Dans les instants délicats

A mes chers frères

A mes chères sœurs

A mes tantes et oncles

A toute ma famille A tous mes amis



Ahmed

DÉDICACE

2

Je dédis ce modeste travail à :

Mes chers parents pour leurs soutiens et leurs
encouragements durant

Toute ma carrière d'étude

Mes frères,

Mes sœurs,

Toute ma grande famille,

A tous les étudiants de génie mécanique

Ainsi qu'à tous mes amis et tous qui me connaissent.

Mohammed

REMERCIEMENTS

D'abord nous remercions le bon Dieu qui nous a donné la foi,
le Courage et la patience pour bien mener ce travail.

Ensuite j'exprime mon profonde gratitude à mon encadreur
monsieur **AMEUR Houari** qui a accepté de diriger ce
travail, ses conseils et sa disponibilité durant toute l'année
pour arriver à concrétiser ce document.

Par ailleurs nous tenons à remercier les membres du jury
qui nous ont fait l'honneur par leurs présences et leurs
disponibilités, à accepter d'évaluer ce travail.

Enfin, je tiens à remercier les personnes qui nous ont aidé de
près ou de loin.



Résumé

Le présent travail est une simulation numérique d'un échangeur de chaleur. Il s'agit d'une conduite rectangulaire dans laquelle circule un fluide industriel chaud (une huile). Le refroidissement est effectué à travers les parois de l'échangeur. L'influence de la présence de chicane et sa forme sur les structures hydrodynamiques et thermiques est mise en évidence. Des chicanes sous forme V sont insérées sur la paroi inférieure de la conduite. L'influence de la présence d'une coupure dans la chicane sur les performances globales de l'échangeur est explorée. Les effets du débit d'écoulement sont aussi examinés.

Mot clés: *Echangeur de chaleur; Chicane V; Chicane non-continue.*

Abstract

The present work is a numerical simulation of a heat exchanger. It consists of a rectangular duct in containing a hot industrial fluid (oil). The cooling is achieved across the heat exchanger walls. The effects of the presence of baffles and their design on the hydrodynamic and thermal fields are examined. V-shaped baffles are inserted on the bottom wall of the pipe. The influence of the presence of a break in the baffle on the overall performance of the exchanger is explored. The effects of flow rate are also examined.

Keyword: *Heat exchanger; V-baffles; non-continuous baffles.*

ملخص

العمل الحالي هو محاكاة رقمية لمبادل حراري. إنه أنبوب مستطيل يدور فيه سائل صناعي ساخن (زيت). يتم التبريد من خلال جدران المبادل. تم إبراز تأثير وجود الحاجز وشكله على الهياكل الهيدروديناميكية والحرارية. يتم إدخال حواجز على شكل V على الجدار السفلي للأنبوب. تم استكشاف تأثير وجود كسر في الحاجز على الأداء العام للمبادل. يتم أيضاً فحص تأثيرات معدل التدفق.

الكلمات الرئيسية: مبادل حراري، منعطف الخامس، منعطف غير مستمر.

Table de matière

Nomenclature

Liste des figures

Liste des tables

Introduction général 1

CHAPITRE I

Généralité sur le transfert de chaleur

I.1 Introduction 3

I.2 Définition 3

 I.2.1 Champ de température 4

 I.2.2 Gradient de température 4

 I.2.3 Flux de chaleur 5

I.3 Les types de transfert de chaleur 6

 I.3.1 Transfert de chaleur par conduction 6

 I.3.2 Transfert de chaleur par convection 6

 I.3.3 Transfert de chaleur par rayonnement 7

I.4 Les lois fondamentales du transfert de chaleur 8

 I.4.1 Loi fondamentale de la conduction (loi de Fourier)..... 8

 I.4.2 Loi fondamentale de la convection (loi de Newton) 10

 I.4.3 Loi fondamentale du rayonnement (loi de Stefan-Boltzmann) 10

I.5 Equation de la chaleur 11

 I.5.1 Equation de la chaleur en coordonnées cartésiennes..... 11

CHAPITRE II

Différents types des échangeurs de la chaleur

II.1 Introduction 12

II.2 Définition 12

II.3 Critères de classement des échangeurs de chaleur 12

 II.3.1 Classement suivant le type de contact 12

 II.3.2 Classement suivant les types d'échange 13

 II.3.3 Classement suivant la disposition des écoulements 13

II.4 Type des échangeurs de chaleur 14

 II.4.1 Échangeurs tubulaire et multitubulaires 14

 II.4.2 Échangeur à plaques 15

 II.4.3 Les échangeurs à tubes 18

 II.4.4 Autres types d'échangeurs 21

 II.4.4.1 Échangeurs de chaleurs spiralées 21

II.4.4.2 Aérothermes industriels (aéro-réfrigérants)	22
II.4.4.3 Échangeurs thermiques à surface raclée	22
II.4.4.4 Échangeurs à blocs	22
II.5 Phénomène d'encrassement	23
II.5.1 Les différents types d'encrassement	24
II.6 Choix de l'échangeur	25
II.6.1 Avantages et inconvénients des échangeurs	25

CHAPITRE III

Traitement numérique du problème

III.1 Simulation numérique	27
III.2 La présentation du code calcul CFX5	28
III.2.1 ICEM CFD	29
III.2.2 CFX Pre	29
III.2.3 CFX Solver	30
III.2.4 CFX Solver Manager	31
III.2.5 CFX Post	31

CHAPITRE IV

Résultats et discussion

IV.1 Présentation du problème étudié.....	33
IV.2 Génération de maillage	34
IV.3 Résultats et discussion	35
IV.3.1 Validation	35
IV.3.1 L'influence des obstacles sur l'écoulement	36
IV.3.2 L'influence du nombre de Reynolds	37
IV.3.2.1 Nombre de Reynolds	37
IV.3.2.2 L'influence du nombre de Reynolds sur la température	37
IV.3.2.3 L'influence du nombre de Reynolds sur la vitesse u	38
IV.3.2.4 L'influence du nombre de Reynolds sur les lignes de courant	40
IV.4 Etude numérique	41
Conclusion général	46
Références bibliographique	47

Nomenclature

dQ	Chaleur élémentaire	[J]
ds	Surface élémentaire	[m ²]
dT	Température élémentaire	[K]
dt	Temps élémentaire	[s]
\vec{n}	Vecteur unitaire normal à un élément de surface	
Q	Quantité de chaleur échangée	[J]
C	Chaleur spécifique	[J/kg.K]
\dot{q}	Génération d'énergie	[J]
a	Diffusivité thermique	[m ² /s]
S	Surface	[m ²]
T	Température	[K]
K	Coefficient de la conductivité thermique	[W/m.K]
h	Coefficient de la convection thermique	[W/m ² .K]
e	Epaisseur	[m]
l	Longueur	[m]
D	Diamètre	[m]
P	Pression	[Pa]
Re	Nombre de Reynolds	
V	Vitesse	[m/s]
u	Vitesse moyenne	[m/s]

Lettre grecques

Φ	Flux de chaleur	[W]
ε	L'émissivité de la surface	
σ	Constante de Stefan-Boltzmann	[kcal/h.m ² .K]
λ	Conductivité thermique	[W/m.K]
δ	Epaisseur d'un film mince du fluide	[m]
μ	Viscosité dynamique	[Kg/m.s]
ν	Viscosité cinématique	[m ² /s]
ρ	Masse volumique	[Kg/m ³]

Liste des figures

CHAPITRE I

Généralité sur le transfert de chaleur

Figure I.1	les trois types de transfert de chaleur	4
Figure I.2	Isotherme et gradient thermique	5
Figure I.3	Transfert de chaleur par conduction	6
Figure I.4	Transfert de chaleur par convection	7
Figure I.5	Transfert de chaleur par rayonnement	7
Figure I.6	plaque plane	8

CHAPITRE II

Différents types des échangeurs de la chaleur

Figure II.1	Différents modes de circulation des fluides	14
Figure II.2	Schéma d'un échangeur à faisceaux et calandres (multitubulaire)	14
Figure II.3	Coupes d'un échangeur à plaques	15
Figure II.4	Coupes d'un échangeur à plaques et joints	16
Figure II.5	un échangeur à plaques soudées ou cassettes	18
Figure II.6	Echangeur monotube en serpentin	18
Figure II.7	Echangeur coaxial cintré	19
Figure II.8	Echangeur à tube séparés	19
Figure II.9	Echangeur à tubes rapprochés	20
Figure II.10	Batterie à ailettes	20
Figure II.11	Echangeur à tube et calandre	21
Figure II.12	un échangeur de chaleur spiralé	21
Figure II.13	Echangeur à bloc	23
Figure II.14	Echangeur propre (à droite) et échangeur sale (à gauche)	24

CHAPITRE III
Traitement numérique du problème

Figure III.1	Les modules de base du CFX 17	26
Figure III.2	Interface graphique du module CFX-Pré	27
Figure III.3	Interface graphique du module CFX-solver	28
Figure III.4	Interface graphique du module CFX-Post	29

CHAPITRE IV
Résultats et discussion

Figure IV.1	La géométrie de cas étudié	30
Figure IV.2	Maillage du domaine de calcul (maillage du type tetrahedral)	31
Figure IV.3	Maillage raffiné près du profil	31
Figure IV.4	Validation des résultats du nombre de Nusselts	35
Figure IV.5	Validation des résultats du coefficient de frottement	36
Figure IV.6	L'influence des obstacles sur l'écoulement	36
Figure IV.7	Développement d'écoulement autour une chicane non-continue	41
Figure IV.8	Configurations géométrique étudiées	41
Figure IV.9	Variation du nombre de Nusselt en fonction du Re	42
Figure IV.10	Effet de la distance de coupure sur le nombre de Nusselt	43
Figure IV.11	Variation du coefficient de frottement en fonction du Re	44
Figure IV.12	Effet de la distance de coupure sur le coefficient de frottement	44
Figure IV.13	Coefficient de performance	45

Liste des tables**CHAPITRE II****Différents types des échangeurs de la chaleur**

Table II.1	Les avantages et inconvénients des échangeurs	25
-------------------	---	-----------

CHAPITRE IV**Résultats et discussion**

Table IV.1	L'influence du nombre de Reynolds sur la température	37
Table IV.2	L'influence du nombre de Reynolds sur la vitesse u	39
Table IV.3	L'influence du nombre de Reynolds sur les lignes de courant	40

Introduction générale

Les multiples procédés utilisés dans l'industrie sont très souvent le siège d'échanges de chaleur, soit parce que c'est le but recherché (fours, coulée, échangeurs, thermoformage, induction, lits fluidisés, trempe, refroidissement), soit parce que ceux-ci interviennent d'une manière inévitable (chocs thermiques, pertes de chaleurs, rayonnement).

Parmi les applications de transfert de la chaleur, il y a l'utilisation des échangeurs de chaleur qui permet de contrôler la température d'un système ou d'un produit en échangeant de la chaleur entre deux milieux. Ce principe est mis en œuvre dans de nombreuses applications courantes : chauffage, climatisation, réfrigération, refroidissement électronique, génie des procédés, stockage d'énergie ou production d'énergie mécanique (ou électrique) à partir d'énergie thermique. Dans l'échangeur classique, un fluide chaud transfère une partie de son enthalpie à un fluide froid. Ce type d'échangeur servira de base pour donner les définitions et les paramètres nécessaires à son dimensionnement, ainsi qu'à la compréhension des phénomènes.

L'objectif de ce travail est d'investiguer numériquement de l'efficacité d'un échangeur de chaleur chicané aspect hydrodynamique et thermique.

Le premier chapitre est consacré à des généralités sur le transfert de chaleur et des notions et des lois fondamentales sur les trois modes du transfert de chaleur.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons tout ce qui concerne d'échangeur de chaleur, y compris sa définition, ses types, ses avantages et ses inconvénients.

Le troisième chapitre est consacré à une présentation du logiciel CFX sur lequel la géométrie du problème considéré sera faite, et du code fluent, avec lequel les équations gouvernantes seront résolues. Un aperçu des étapes suivies, paramètres et application choisis sera présenté.

INTRODUCTION GENERALE

Dans le quatrième chapitre, nous présentons la validation du code de calcul et une étude de la sensibilité au maillage. Par la suite, nous présentons les principaux résultats découlant de la présente étude en évaluant l'impact des paramètres thermodynamique et thermique.

Enfin, l'étude se termine par une conclusion générale.

CHAPITRE I

Généralité sur le transfert de chaleur

I.1 Introduction

Les procédés utilisés dans l'industrie sont très souvent le siège d'échanges de chaleur (fours, échangeurs de chaleur, induction, refroidissement, chauffage). Les phénomènes de transfert thermique et en particulier de la chaleur, ont une importance décisive pour l'étude et le fonctionnement des appareils tels que ; les générateurs de vapeur, les fours, les échangeurs de chaleur, les condenseurs,etc. En raison de développement rapide de l'industrie et l'accroissement de la demande et du prix de l'énergie, l'utilisation efficace d'une installation (d'échange de chaleur) pour une dépense d'énergie minimale est le but recherché dans tous les cas.

Le transfert thermique est la science qui tente à prédire le transfert d'énergie entre les molécules ou les particules de la matière à différentes températures. Le but est d'expliquer la manière et de prédire le taux d'échange de la chaleur sous certaines conditions spécifiques. Il complète les deux premiers principes de la thermodynamique par des lois expérimentales additionnels afin d'établir les proportions de transfert d'énergie. Le transfert de chaleur est une science qui contient plusieurs concepts pratiques de base utilisés dans de nombreuses applications industriels. Le transfert de chaleur peut s'effectuer au moyen de trois mécanismes différents, la conduction, la convection et le rayonnement. Les connaissances de base dans ce domaine, sont donc indispensables pour comprendre et maîtriser l'utilisation pratique de ces phénomènes.

I.2 Définition

Le transfert de chaleur est l'un des modes les plus communs d'échange d'énergie. Il intervient naturellement entre deux systèmes dès qu'existe entre eux une différence de température et cela quel que soit le milieu, (même le vide), qui les sépare. De ce fait, les transferts thermiques ont, aussi bien dans le domaine des sciences pures que dans celui des applications technologiques, un rôle souvent essentiel. Ce rôle devient même déterminant lorsqu'il est à l'origine des techniques utilisées (échangeurs, moteurs thermiques, utilisation

de l'énergie solaire,...), on reconnaît généralement trois modes distincts de transmission de la chaleur : la conduction, la convection et le rayonnement (Figure I.1) [1].

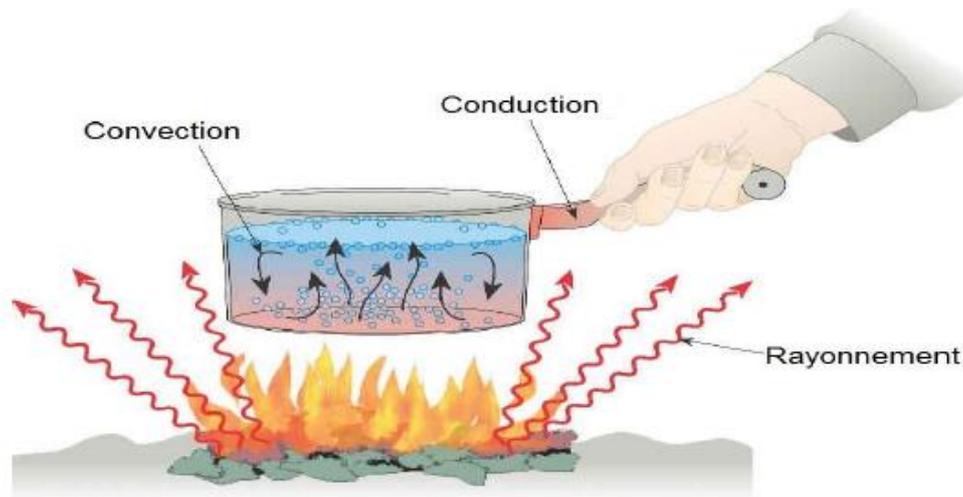


Figure I.1 : les trois types de transfert de chaleur

I.2.1 Champ de température

Les transferts d'énergie sont déterminés à partir de l'évolution dans l'espace et dans le temps de la température : $T = f(x, y, z, t)$. La valeur instantanée de la température en tout point de l'espace est un scalaire appelé champ de température. Nous distinguerons deux cas :

- Champ de température indépendant du temps : le régime est dit permanent ou stationnaire.
- Evolution du champ de température avec le temps : le régime est dit variable ou transitoire [2].

I.2.2 Gradient de température

Si l'on réunit tous les points de l'espace qui ont la même température, on obtient une surface dite surface isotherme. La variation de température par unité de longueur est maximale le long de la normale à la surface isotherme. Cette variation est caractérisée par le gradient de température (Figure I.2).

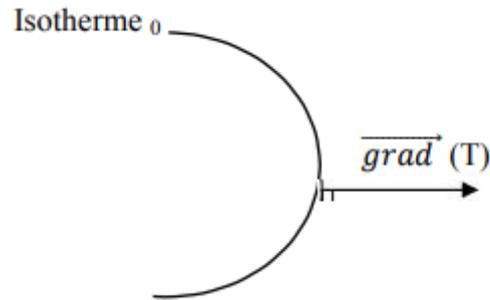


Figure I.2 : Isotherme et gradient thermique

$$\overrightarrow{\text{grad}}(T) = \vec{n} \cdot \frac{\partial T}{\partial n} \quad (\text{I.1})$$

Avec : \vec{n} : vecteur unitaire de la normale

$\frac{\partial T}{\partial n}$: Dérivée de la température le long de la normale

I.2.3 Flux de chaleur

La chaleur s'écoule sous l'influence d'un gradient de température par conduction des hautes vers les basses températures. La quantité de chaleur transmise par unité de temps et par unité d'aire de la surface isotherme est appelée densité de flux de chaleur :

$$\Phi = \left(\frac{1}{s}\right) \left(\frac{dQ}{dt}\right) \quad [\text{W/m}^2] \quad (\text{I.2})$$

Où S est l'aire de la surface (m²).

On appelle flux de chaleur la quantité de chaleur transmise sur la surface S par unité de temps :

$$\Phi = \frac{dQ}{dt} \quad [\text{W}] \quad (\text{I.3})$$

I.3 Les types de transfert de chaleur

I.3.1 Transfert de chaleur par conduction

La conduction est un des modes de transfert de chaleur dans lequel les échanges d'énergie ont lieu dans les solides et les fluides sans déplacement de matière (Figure I.3). Le transfert se fait dès qu'il existe un gradient de température au sein du système matériel, depuis les régions chaudes vers les régions plus froides. Dans le cas d'un solide, l'énergie est transportée par les quanta de vibration du réseau appelés phonons et par électrons libres dans le cas d'un matériau conducteur de l'électricité. Dans le cas des fluides, l'énergie est transportée essentiellement par translation des atomes ou molécules conduisant à des collisions [3].

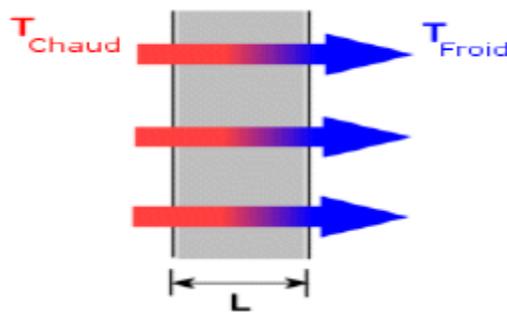


Figure I.3 : Transfert de chaleur par conduction

I.3.2 Transfert de chaleur par convection

Un débit ou une circulation de liquide ou de gaz peut transporter avec lui une certaine quantité d'énergie thermique. Ce transport de chaleur porte le nom de convection thermique (Figure I.4). Ce transport de l'énergie par un écoulement est analogue au transport d'autres quantités scalaires (non vectorielles): transport d'une concentration de sel par de l'eau, transport de l'humidité par l'air, ... On retiendra donc que dans la convection, la chaleur se sert du fluide comme véhicule pour se déplacer.

Sans entrer dans les détails, notons qu'il existe deux types de transferts convectifs:

- **La convection forcée** dans laquelle l'écoulement du fluide est forcé par un dispositif mécanique quelconque (pompe ou gravité pour un liquide, ventilateur pour de l'air).

- **La convection naturelle:** lorsqu'il existe une différence de température entre deux points d'un fluide, le fluide chaud, qui aura une masse volumique plus faible que le fluide froid aura tendance à monter sous l'effet de la poussée d'Archimède [4].

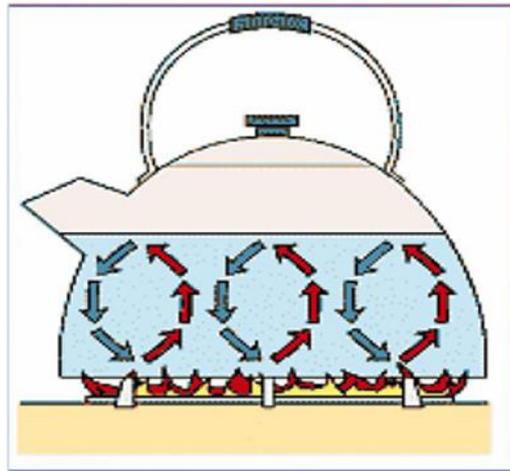


Figure I.4 : Transfert de chaleur par convection

I.3.3 Transfert de chaleur par rayonnement

C'est un mode de transfert de chaleur qui nous est familier: l'hiver devant un bon feu ou l'été sur la plage au soleil. La chaleur passe d'un corps à haute température vers un corps à basse température sous forme d'un rayonnement électromagnétique (photon); les deux corps devant être dans un milieu transparent (comme l'air ou le vide) [5].

La Figure I.5 représente le 3^{ème} mode de transfert de chaleur (par rayonnement).

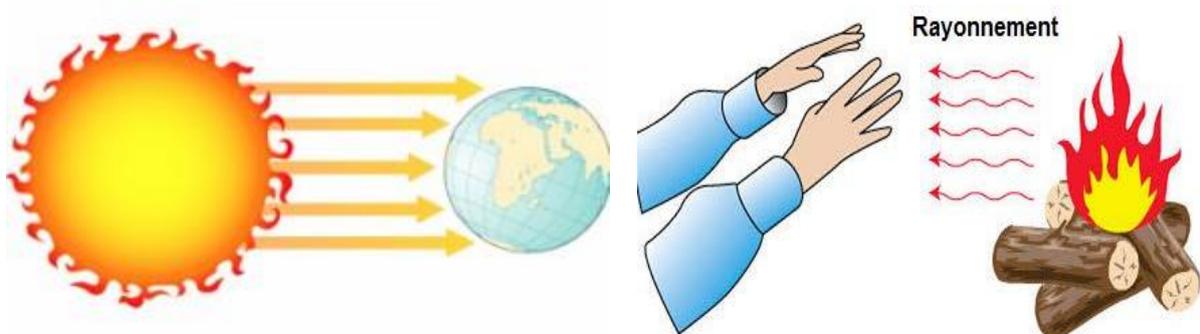


Figure I.5 : Transfert de chaleur par rayonnement

I.4 Les lois fondamentales du transfert de chaleur

I.4.1 Loi fondamentale de la conduction (loi de Fourier)

La loi fondamentale de la transmission de la chaleur par conduction, a été proposée par le mathématicien et physicien Français, Jean Baptiste Joseph Fourier en 1822 [6].

– Considérons une plaque plane (D), de surface (S) et d'épaisseur (e) (Figure. I .6);

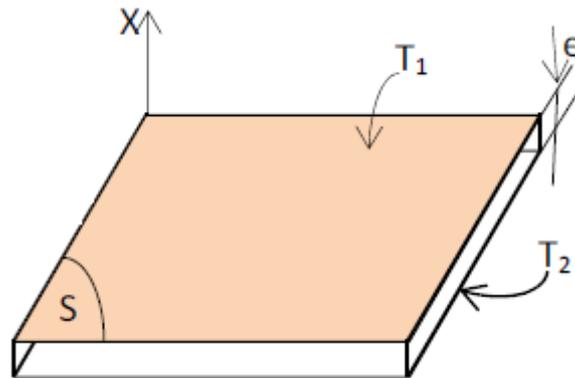


Figure I.6 : plaque plane

– Soit dQ , la quantité de chaleur échangée entre la plaque et l'air ambiant pendant le temps dt ;

– On définit le flux de chaleur (flux thermique Φ) comme la puissance échangée entre la surface S de la plaque et le milieu extérieur.

$$\Phi = \frac{dQ [J]}{dT [s]} ; [W] \quad (\text{I.4})$$

– On définit la densité de flux thermique comme la puissance échangée par unité de surface de la plaque:

$$\Phi = \frac{dQ [J]}{S dT [m^2.s]} ; \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (\text{I.5})$$

- Les principes fondamentaux de la thermodynamique nous font savoir que :

- L'énergie est conservée en l'absence d'une source de chaleur.
- La chaleur transmise passe toujours du corps chaud vers le corps froid (dans notre cas : $T_1 > T_2$).
- On peut vérifier expérimentalement que :

$$Q = K \cdot \frac{S}{e} \cdot (T_1 - T_2) \quad (\text{I.6})$$

Tels que :

Q : la quantité de chaleur échangée à travers la surface (S);

K : le facteur de proportionnalité appelé conductivité thermique qui est une caractéristique du matériau, son unité de mesure est [W/m.K] ou [kcal/h.m.C];

Pour un élément infinitésimal, ds, la relation (I.6) s'écrit:

$$dQ = d\Phi = -K \cdot ds \cdot \frac{dT}{dx} \quad (\text{I.7})$$

Le signe (-) : pour tenir compte du sens de flux thermique, le gradient qui va de la plus grande grandeur à la plus petite est négative.

L'équation (I.7) est attribuée au mathématicien et physicien Français J. B. Fourier.

La forme vectorielle de cette loi qui exprime la densité de flux thermique est définie comme étant la quantité de chaleur transmise par unité de surface, soit :

$$\vec{\Phi} = -K \cdot \overrightarrow{\text{grad}} T \quad (\text{I.8})$$

Pour un élément infinitésimal (ds), cette dernière relation s'écrit :

$$\Phi = K \cdot \frac{dT}{dx} \quad (\text{I.9})$$

I.4.2 Loi fondamentale de la convection (loi de Newton)

La loi fondamentale de la convection est la loi d'Isaac Newton (1643-1727), traduite par la relation expérimentale de flux de chaleur échangé par convection entre un fluide et une paroi solide [6].

La loi est définie comme suit :

$$\Phi = h \cdot S \cdot (T_{chaude} - T_{froide}) \quad (\text{I.10})$$

$$h = \frac{K_{fluide}}{\delta} \quad (\text{I.11})$$

Tels que :

Φ : Flux de chaleur transmis par la convection [W]

δ : représente l'épaisseur d'un film mince du fluide adhérent à la paroi solide

K_{fluide} : La conductivité thermique du fluide

h : représente le coefficient du transfert de chaleur par convection ; [W/m².K] ou [kcal/h.m².C]

T : La température [K]

S : Aire de la surface de contact solide/fluide [m²]

I.4.3 Loi fondamentale du rayonnement (loi de Stefan-Boltzmann)

Le flux de chaleur rayonné par un milieu de surface (S) et de température (T) s'exprime grâce à la loi de Joseph Stefan (1835-1893) et Ludwig Eduard Boltzmann (1844-1906) [6].

La loi est définie comme suit :

$$\Phi_{emis} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot S \cdot T^4 \quad (\text{I.12})$$

Tels que :

Φ_{emis} : Flux de chaleur transmis par rayonnement [W].

σ : Constante de Stefan-Boltzmann, $\sigma = 4.92.10^{-8}$ kcal/h.m².K

ε : L'émissivité de la surface sans unité.

S : Aire de la surface [m²].

T : La température [K].

I.5 Equation de la chaleur

I.5.1 Equation de la chaleur en coordonnées cartésiennes

Coordonnées cartésiennes (3D)

Dans le cas tridimensionnel, nous obtenons l'équation de la chaleur dans le cas le plus général [7]:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{q} \quad (\text{I.13})$$

Cette équation peut se simplifier dans un certain nombre de cas :

- a) Si le milieu est isotrope : $\lambda_x = \lambda_y = \lambda_z = \lambda$
- b) S'il n'y a pas de génération d'énergie à l'intérieur du système : $\dot{q} = 0$
- c) Si le milieu est homogène, λ n'est fonction que de T.

Les hypothèses a) + b) + c) permettent d'écrire :

$$\lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \frac{d\lambda}{dT} \left[\left(\frac{dT}{dx} \right)^2 + \left(\frac{dT}{dy} \right)^2 + \left(\frac{dT}{dz} \right)^2 \right] = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (\text{I.14})$$

d) Si de plus λ est constant (écart modéré de température), nous obtenons l'équation de Poisson :

$$a \nabla^2 T = \frac{\partial T}{\partial t} \quad (\text{I.15})$$

Le rapport $a = \frac{\lambda}{\rho c}$ est appelé la diffusivité thermique (m².s⁻¹) qui caractérise la vitesse de propagation d'un flux de chaleur à travers un matériau.

e) En régime permanent, nous obtenons l'équation de Laplace :

$$\nabla^2 T = 0 \quad (\text{I.16})$$

CHAPITRE II

Différents types des échangeurs de la chaleur

II.1 Introduction

L'échangeur de chaleur est un élément essentiel de toute politique de maîtrise de l'énergie. Une grande part (90 %) de l'énergie thermique utilisée dans les procédés industriels transite au moins une fois par un échangeur de chaleur, aussi bien dans les procédés eux-mêmes que dans les systèmes de récupération de l'énergie thermique de ces procédés. On les utilise principalement dans les secteurs de l'industrie (chimie, pétrochimie, sidérurgie, agroalimentaire, production d'énergie, etc.), du transport (automobile, aéronautique), mais aussi dans le secteur résidentiel et tertiaire (chauffage, climatisation, etc.). Le choix d'un échangeur de chaleur, pour une application donnée, dépend de nombreux paramètres : domaine de température et de pression des fluides, propriétés physiques et agressivité de ces fluides, maintenance et encombrement. Il est évident que le fait de disposer d'un échangeur bien adapté, bien dimensionné, bien réalisé et bien utilisé permet un gain de rendement et d'énergie des procédés [8].

II.2 Définition

Un échangeur de chaleur est un dispositif permettant de transférer de l'énergie thermique d'un fluide vers un autre, sans les mélanger. Le flux thermique traverse la surface d'échange qui sépare les fluides. La plupart du temps, on utilise cette méthode pour refroidir ou réchauffer un liquide ou un gaz qu'il est impossible ou difficile de refroidir ou chauffer directement, par exemple l'eau d'un circuit primaire de refroidissement de centrale nucléaire [9].

II.3 Critères de classement des échangeurs de chaleur

Il existe plusieurs critères de classement des différents types d'échangeurs. Énumérons les principaux :

II.3.1 Classement suivant le type de contact

- Échangeurs à contact direct : Le type le plus simple comprend un récipient ou canalisation dans lequel les deux fluides sont directement mélangés et atteignent la même température finale.
- Échangeurs à contact indirect : les deux fluides s'écoulent dans des espaces séparés par une paroi [10].

II.3.2 Classement suivant les types d'échange

a) *Échangeur sans changement de phase*

Les échangeurs de chaleur sans changement de phase correspondent aux échangeurs dans lesquels l'un des fluides se refroidit pour réchauffer le deuxième fluide sans qu'il y ait changement de phase. Les températures des fluides sont donc variables, tout le long de l'échangeur.

b) *Échangeur avec changement de phase*

Les échanges avec changement de phase sont caractérisés par trois cas différents:

- L'un des fluides se condense alors que l'autre se vaporise : ces échangeurs sont rencontrés dans les machines frigorifiques.
- Le fluide secondaire se vaporise en recevant de la chaleur du fluide primaire, lequel ne subit pas de changement d'état. Ils sont appelés évaporateurs.
- Le fluide primaire se condense en cédant sa chaleur latente au fluide secondaire plus froid, lequel ne subit pas de transformation d'état.

II.3.3 Classement suivant la disposition des écoulements

Dans les échangeurs à fluide séparés, les modes de circulation des fluides peuvent se ranger en deux catégories :

- Même sens « co-courants ».
- Sens contraire « contre-courant ».
- Ou bien les vecteurs vitesses sont perpendiculaire l'un à l'autre ; il s'agit cette fois de « courant croisés » [10].

La Figure II.1 représente les différents modes de circulation des fluides.

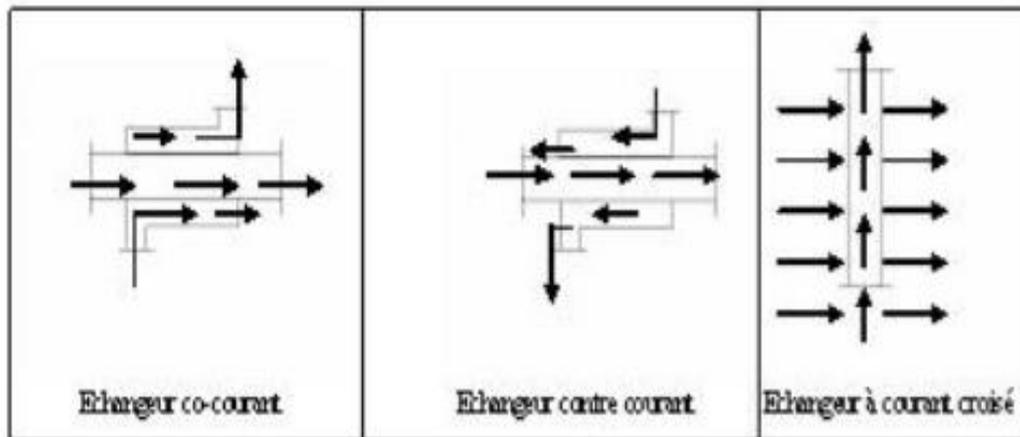


Figure II.1 : Différents modes de circulation des fluides

II.4 Type des échangeurs de chaleur

II.4.1 Échangeurs tubulaire et multitubulaires

Ils représentent la majorité des échangeurs utilisés dans les industriels chimiques et pétroliers. Dans leur plus simple configuration ; ils sont constitués de deux tubes concentriques raccordés à leurs extrémités par des coudes. Cependant, pour les cas courants, ils sont faits de plusieurs tubes empilés sous forme d'un faisceau, d'où l'appellation échangeur à faisceaux tubulaires ou d'échangeurs à faisceaux et calandres (Figure II.2).

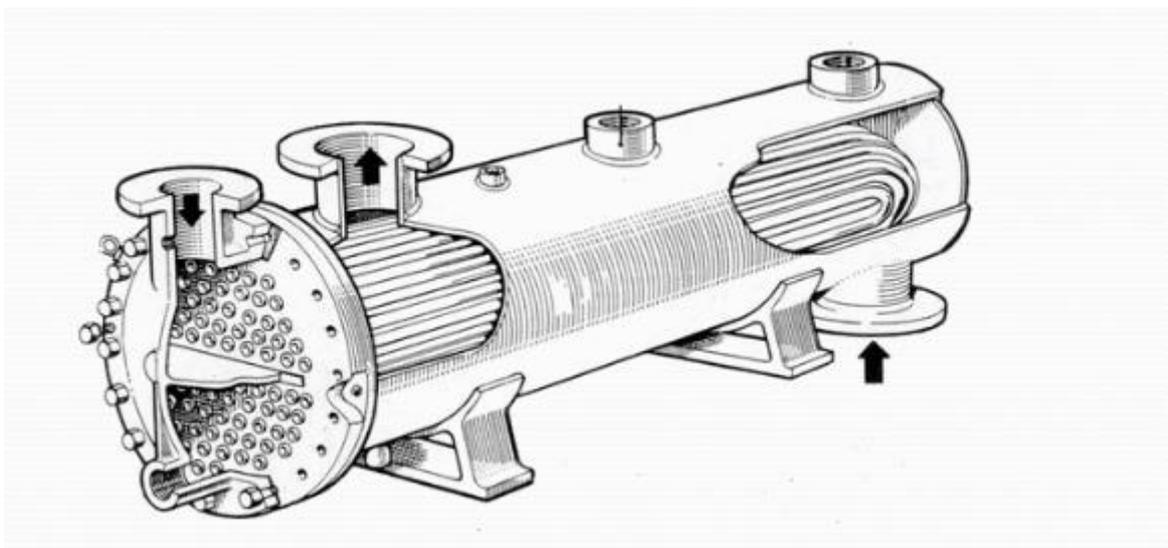


Figure II.2 : Schéma d'un échangeur à faisceaux et calandres (multitubulaire)

Les divers éléments sont tous assemblés par des raccords à démontage rapide, et un remplacement des tubes est possible. Les problèmes de dilatation thermique et d'étanchéité entre le tube intérieur et le tube extérieur sont résolus par l'utilisation de presse-étoupe ou de joint torique. Les tubes sont généralement en acier et les longueurs courantes sont de 3.6-4.5 ou 6m. On utilise quelque fois des tubes en verre et en graphite [11].

II.4.2 Échangeur à plaques

En règle générale, les échangeurs à plaque sont constitués par un empilement de plaques écartées les unes des autres par des entretoises pour former un ensemble de conduits plats. Un fluide circule dans les conduits pairs, l'autre dans les conduits impairs selon le schéma ci-dessous (Figure II.3):

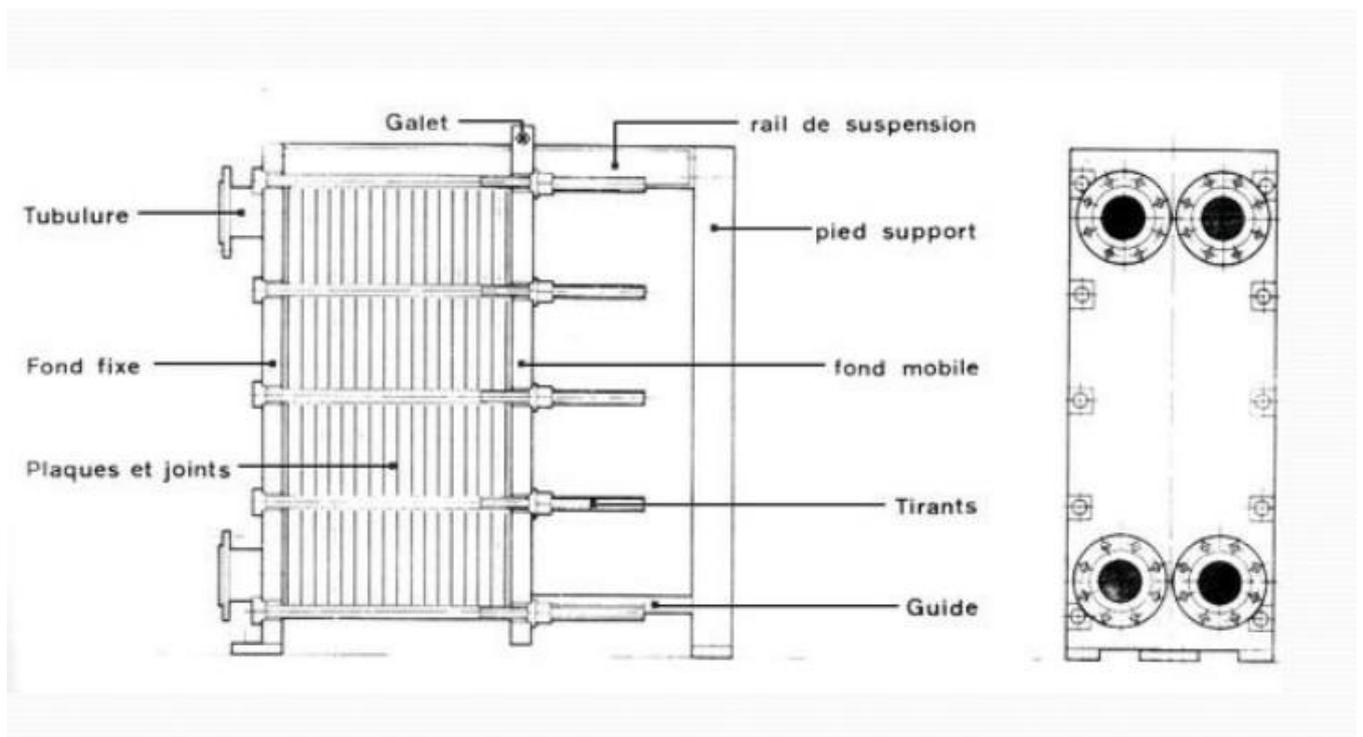


Figure II.3 : Coupes d'un échangeur à plaques

On peut distinguer principalement deux types d'échangeurs à plaques : échangeur à plaques et joints et échangeur à plaques brasées (ou cassettes) :

- *Échangeur à plaques et joints*

Ils sont constitués d'un grand nombre de plaques de métal minces, particulières conçues pour transférer la chaleur d'un liquide à un autre. Ces plaque de métal minces sont séparées et étanchées par un jeu des joints en caoutchouc qui fournit la distribution désirable des liquides sur le paquet de plaque. Le pacquer de plaque est installé dans un encadrement. Qui fournit les raccords pour les liquides et la compression appropriée des plaques et qui se fait au moyen d'un jeu de tirants (Figure II.4) [11].

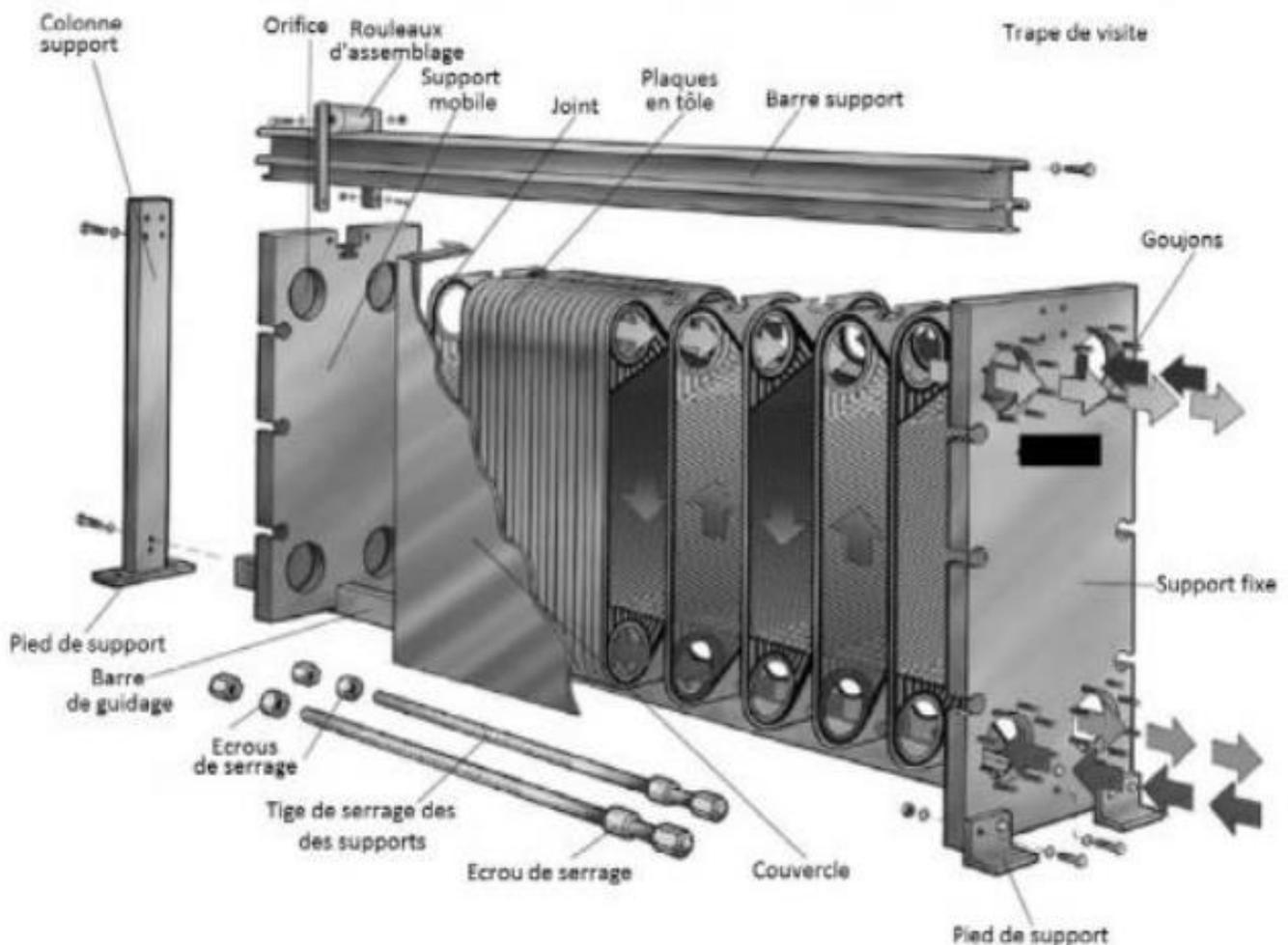


Figure II.4 : Coupes d'un échangeur à plaques et joints

L'assemblage des blocs de l'appareil permet d'obtenir le compromis recherché entre un bon coefficient de transfert et une perte de charge admissible. Les plaques ont des formes variées et dépendent du constructeur de l'appareil, ces formes sont gravées en relief (3D, sous forme d'ailettes) : elles ont pour rôle d'assurer la distribution du liquide et d'augmenter la turbulence ainsi que la surface d'échange (par conséquent, augmenter le coefficient d'échange).

La principale limitation des échangeurs à plaques sont liées aux :

- Limitations de pression,
- Limitations de températures à cause des joints,
- Prix au m² relativement élevé par rapport aux échangeurs tubulaires.

- *Échangeur à plaques soudées ou cassettes*

Contrairement aux échangeurs à plaques et joints, ces appareils ne possèdent ni bâti, ni tirant, les plaques étant assemblées entre elles par des brasures en inox. Les fluides circulent à contre-courant et le transfert thermique se fait par conduction au travers des plaques (Figure II.5). Généralement, toute la matière de l'échangeur à plaque brasées participe à l'échange de chaleur, ce qui en fait une technologie très compacte et très simple à installer. Ces échangeurs sont utilisés lorsqu'un haut coefficient d'échange est recherché en priorité (fluides propres, ne provoquant pas de problèmes d'encrassements). Exemple : eau déminéralisée, ammoniaque, industrie pharmaceutique et chimique fine (où une grande résistance à la corrosion est demandée), industrie alimentaire.

Cet échangeur est identique à celui à brassées. Néanmoins, il est plus compact et ne nécessite pas d'intervention pour désencrassement, il est donc totalement changé lors de sa contamination [11].

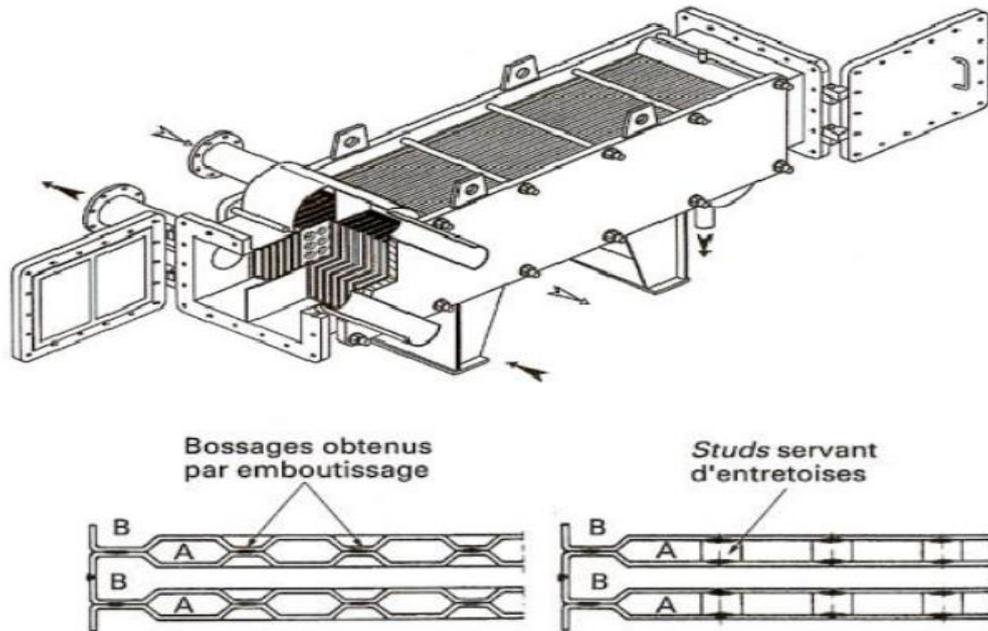


Figure II.5 : un échangeur à plaques soudées ou cassettes

II.4.3 Les échangeurs à tubes

Ce sont de loin les échangeurs les plus répandus, simple de conception et d'utilisation, ils sont répertoriés comme suit [12]:

a) échangeur monotube (Figure II.6), dans lequel le tube est placé à l'intérieur d'un réservoir et a généralement la forme d'un serpent.



Figure II.6 : Echangeur monotube en serpent

b) échangeur coaxial (Figure II.7) dans lequel les tubes sont le plus souvent cintrés ; en général, le fluide chaud ou le fluide à haute pression s'écoule dans le tube intérieur.

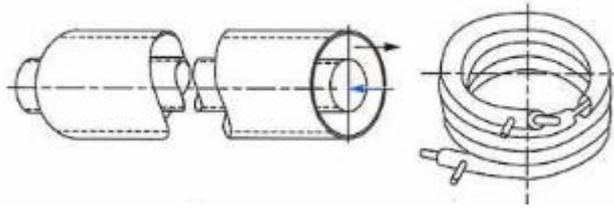


Figure II.7: Echangeur coaxial cintré.

c) échangeur multitubulaire, existant sous quatre formes :

Échangeur à tubes séparés (Figure II.8): à l'intérieur d'un tube de diamètre suffisant (de l'ordre de 100 mm) se trouvent placés plusieurs tubes de petit diamètre (8 à 20mm) maintenus écartés par des entretoises. L'échangeur peut être soit rectiligne, soit enroulé.

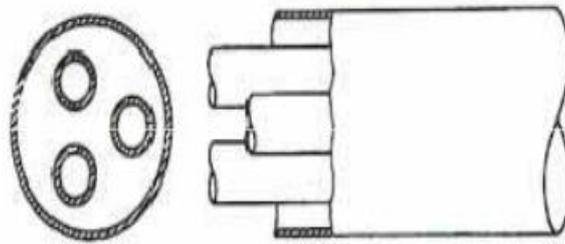


Figure II.8: Echangeur à tube séparés

Échangeur à tubes rapprochés (Figure II.9) pour maintenir les tubes et obtenir un passage suffisant pour le fluide extérieur au tube, on place un ruban enroulé en spirale autour de certains d'entre eux. Les tubes s'appuient les uns sur les autres par l'intermédiaire des rubans.

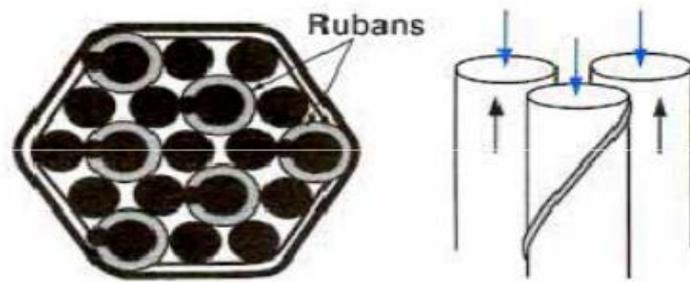


Figure II.9: Echangeur à tubes rapprochés

Echangeur à tubes ailettes (Figure II.10): ces tubes permettent d'améliorer le coefficient d'échange thermique.

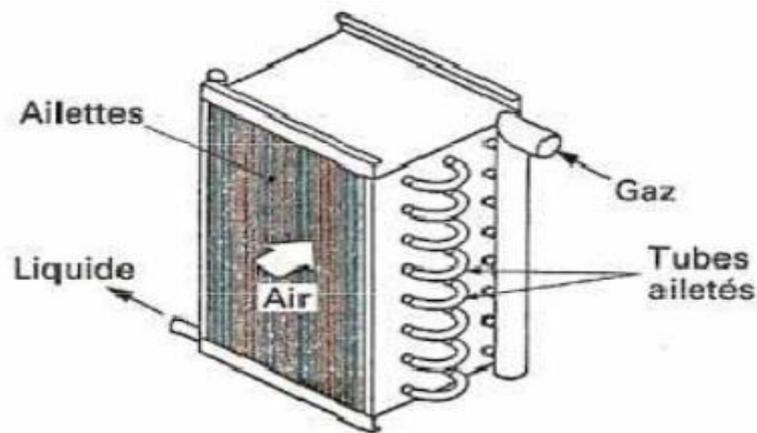


Figure II.10: Batterie à ailettes

Echangeur à tubes et calandre (Figure II.11): c'est l'échangeur actuellement le plus répandu, de ce fait nous y reviendrons dans le paragraphe qui suit de façon plus détaillée.

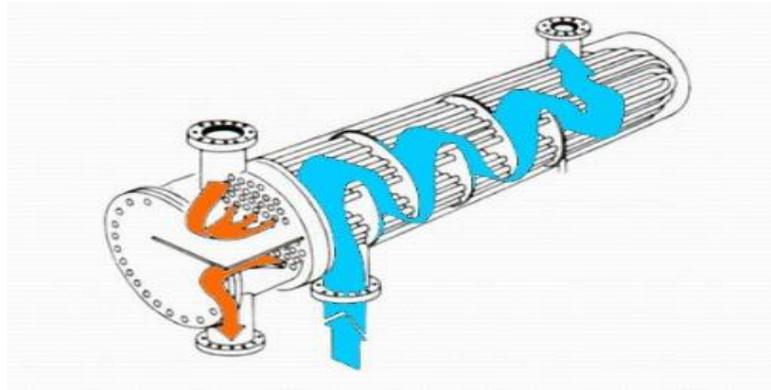


Figure II.11: Echangeur à tube et calandre

II.4.4 Autres types d'échangeurs

Il existe d'autres types d'échangeurs correspondant souvent à des conditions particulières de fonctionnement. Citons dans ce cadre, à titre d'exemple [11] :

II.4.4.1 Échangeurs de chaleur spiralés

Ils présentent des caractéristiques d'échange thermique et de gestion des fluides idéales pour un large éventail d'applications industrielle dites «difficiles » (Figure II.12). Ces échangeurs de chaleur sont adaptés aux produits visqueux et aux produits contenant des particules solides susceptibles de causer un encrassement ou une corrosion importants sur d'autres types d'échangeurs de chaleur.



Figure II.12: un échangeur de chaleur spiralé

II.4.4.2 Aérothermes industriels (aéro-réfrigérants)

L'aérotherme est un échangeur de chaleur composé d'une surface d'échange et d'un moyen de ventilation. Le fluide à refroidir s'écoule dans les tubes et l'air extérieur passe autour des tubes munis d'ailettes pour augmenter le coefficient d'échange thermique. Par exemple, la surface d'échange peut être composée de tubes en cuivrées d'ailettes en aluminium, avec des groupes moteurs-ventilateurs pour assurer la circulation de l'air et l'évacuation de la chaleur. Cet appareil est généralement utilisé pour refroidir les liquide s'écoulant à des débits importants par l'air ambiant (eau, eau glycolée, huile, fuel...) et aussi pour condenser et refroidir les gaz (gaz frigorigènes : R22, R134a, R404A, R407C, R410A, R717(NH3), R502, etc.). À une petit taille, la configuration des aéro-réfrigérant rejoint celle des échangeurs à tubes et ailettes utilisés pour le refroidissement de moteurs thermiques (radiateurs) et autres (climatiseurs, congélateurs...).

II.4.4.3 Échangeurs thermiques à surface raclée

Ce sont des échangeurs dans lesquels un rotor avec racleurs renouvelle les produits sur a surface d'échange. Ils sont adaptés au chauffage et au refroidissement des produits alimentaires thermosensibles ou visqueux. Ils sont habituellement destinés à la production de boisas et de produits alimentaires présentant une forte viscosité ou contenant des particules de types différents.

II.4.4.4 Échangeurs à blocs

L'échangeur à bloc est un type d'échangeur de chaleur réservé à des applications particulières (Figure II.13). Il consiste en un bloc d'une matière thermiquement conductrice percé de multiples canaux dans lesquels circulent les 2 fluides. Le bloc est le plus souvent composé de graphite additionné parfois de polymères pour améliorer les propriétés mécaniques de l'échangeur. Le bloc est placé dans une structure qui assure la distribution des liquides dans les canaux.

Le bloc peut avoir différentes formes : cylindrique ou cubique. Il peut encore être composé d'un seul bloc ou de plusieurs parties empilées de manière à permettre les fluides de passer d'une partie à l'autre. L'intérêt de ce type d'échangeur de chaleur est principalement sa résistance chimique aux liquides corrosifs ainsi que sa capacité modulaire : le bloc peut facilement être remplacé en cas de fuites. Le fait que le rapport volume libre pour passage des

fluides/volume du bloc est très petit crée une grande inertie dans les cas de changements de température : le bloc agit comme un réservoir et peut lisser les différences de température.

Les blocs sont cependant fragiles tant aux chocs qu'aux grands écarts de température (problème de dilatation non-uniforme pouvant conduire à des fissurations du bloc). Le prix est relativement élevé par rapport aux autres types d'échangeurs et le transfert de chaleur est en général moyen : l'épaisseur de la paroi d'échange est plus grande que pour une surface d'échange en métal pour cause de fragilité, ce qui augmente la résistance au transfert.



Figure II.13: Echangeur à bloc

II.5 Phénomène d'encrassement

L'encrassement qui, sous sa forme la plus générale, peut être défini comme l'accumulation d'éléments solides indésirables ou de substances non désirées sur une interface, affecte un grand nombre d'opérations industrielles (Figure II.14): Ce dépôt qui évolue dans le temps, peut être constitué de cristaux, de sédiments, de résidus biologiques, des produits d'une réaction chimique [8].



Figure II.14: Echangeur propre (à droite) et échangeur sale (à gauche)

Il est très important de considérer ce phénomène d'encrassement pour être en mesure de choisir un échangeur thermique qui ait les dimensions appropriées, car l'encrassement peut réduire considérablement la capacité de transmission de chaleur et d'augmenter la chute de pression. Un nettoyage et un entretien périodiques sont requis. Comme l'encrassement et les difficultés de maintenance augmentent avec le temps, les nettoyages doivent être fréquents. Il est souvent important de prévoir certains types de cloisons qui filtrent les impuretés de fluides caloporteurs avant son admission dans l'échangeur afin de réduire les risques d'encrassement.

Il a été démontré au cours des longues années passées dans la recherche de moyens de lutte contre l'encrassement, que ce dernier était lié aux conditions opératoires, aux propriétés physico-chimiques des fluides mis en jeu, à la géométrie du système ainsi qu'à la nature des surfaces. La connaissance de l'origine du phénomène est un facteur déterminant pour répondre aux variations de ces paramètres.

II.5.1 Les différents types d'encrassement

Il est possible de classer l'encrassement selon le mécanisme qui contrôle la vitesse de dépôt «régime d'écoulement», selon les conditions d'utilisation des équipements d'échange thermique Il existe cinq grands types d'encrassement différents :

- Encrassement par corrosion.
- Encrassement biologique.

- Encrassement par réaction chimique.
- Encrassement par précipitation (entartrage).
- Encrassement particulaire.
- Encrassement par solidification.

Quel que soit le phénomène d'encrassement considéré, il est plus ou moins critique selon la nature des fluides employés et/ou la conception des échangeurs. Dans les situations réelles d'encrassement, il est bien évident que ces différents mécanismes interagissent ou se superposent de manière plus ou moins complexe.

II.6 Choix de l'échangeur

Le choix d'un échangeur de chaleur pour une application donnée dépend de nombreux paramètres : les propriétés physiques des fluides, leur agressivité, les températures, ainsi que les pressions de service. Les contraintes d'encombrement et de maintenance doivent aussi être prises en compte, ainsi que les considérations économiques.

Tout d'abord, les échangeurs à faisceau tubulaire sont choisis pour des raisons technologiques. Puis, résiste aux fortes pressions et ces derniers sont économiques.

II.6.1 Avantages et inconvénients des échangeurs

Les avantages et les inconvénients des échangeurs cités au part avant sont classé dans le tableau suivant [13] :

Table II.1 : Les avantages et inconvénients des échangeurs

Types d'échangeurs	Avantages	Inconvénients
Echangeurs tubulaires	<ul style="list-style-type: none"> • Résiste aux fortes pressions. • Economique. • Accepte de grand écart de température 	<ul style="list-style-type: none"> • Encombrent. • Difficulté de nettoyage. • Sensible aux vibrations.

<p>Echangeurs à plaques</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Compact. • Modulable. • Prix compétitifs. • Peu de perte thermique. • Très bon coefficients de transferts 	<ul style="list-style-type: none"> • Faible écart de température envisageable. • Perte de charge importante. • Pression de travail limitée.
<p>Les aéroréfrigérants à air induit</p>	<ul style="list-style-type: none"> • bonne distribution de l'air. • Le niveau de bruit au sol et plus faible. • bonne protection du faisceau. moins de risques de recirculation d'air 	<ul style="list-style-type: none"> • exposition totale des tubes au soleil et à la pluie.
<p>Les aéroréfrigérants à air forcé</p>	<ul style="list-style-type: none"> • puissance consommée plus faible. bonne accessibilité du faisceau. • moins de vibrations. • maintenance plus facile. 	<ul style="list-style-type: none"> • distribution pauvre d'air au dessus de la section. • le niveau de bruit au sol est plus grand, • nettoyage des faisceaux difficile et se fait sous démontage.

Après cette comparaison notre choix s'est porté sur un échangeur à faisceau tubulaire, ce choix a été basé sur des points vue tels que, l'exploitation et l'encombrement, ainsi que, la facilité de nettoyage.

CHAPITRE III**Traitement numérique du problème**

III.1 Simulation numérique

Ce domaine de recherche s'étant beaucoup développé ces dernières années, grâce aux développements des codes de calcul commerciaux de plus sophistiqués.

La simulation numérique des écoulements consiste à résoudre les équations de Navier-Stokes à partir de différents modèles de turbulence.

Les résultats de la simulation numérique sont obtenus à l'aide d'un code de calcul dont la réalisation résulte d'études et de recherches portant successivement sur les thèmes suivants :

- La modélisation du problème physique : elle consiste à traduire la physique en un problème mathématique bien pose, complète par des conditions initiales et des conditions aux limites.
- Une étape de discrétisation, c'est d'approcher ces opérateurs classiques de l'analyse fonctionnelle par des expressions ne faisant intervenir que des opérations arithmétiques. On notera que cette opération de discrétisation se porte non seulement sur les EDP mais également sur le domaine de calcul discrétisé en un maillage constitué d'un ensemble discret d'éléments géométriques (volumes de contrôle élémentaires). Le résultat de cette discrétisation conduit à un système d'équations algébriques de très grande dimension.
- La troisième étape consiste à résoudre le système à l'aide d'un algorithme approprié.

Ces trois étapes fondamentales sont suivies d'une étape de mise en œuvre des discrétisations et des algorithmes associés dans un code de calcul dont la validation permet, d'une part, de vérifier la pertinence des choix techniques effectués et, d'autre part, de préciser le domaine d'application du logiciel et, par conséquent, des modélisations physiques et numériques sous-jacentes.

Le solveur CFX 16.0 est utilisé pour la résolution de notre problème. Il est pratiqué dans le domaine de la dynamique des fluides CFD (Computational Fluid Dynamics). Il utilise entre autre la méthode des volumes finis (MVF), c'est une méthode semi intégrale qui procède par intégration des équations locales sur un ensemble discret de volumes de contrôle englobant les points de calculs. Cela conduit à des équations discrètes exprimant la conservation exacte de toutes les quantités transportables.

III.2 La présentation du code calcul CFX5

Le but de cette section est de présenter une marche à suivre pour effectuer une simulation numérique sur le solveur CFX5 (version 17.2). Ce solveur est conçu pour les simulations dans le domaine de la dynamique des fluides. On propose ainsi une rapide description des problèmes liés à la définition de la géométrie, à la génération du maillage et à l'initialisation de la solution (Figure III.1). Cette section a uniquement pour but de faciliter la mise en œuvre d'une simulation en mettant en évidence quelques aspects pratiques au niveau de l'utilisation des différents logiciels. Le processus pour effectuer une simulation de CFD (Computational Fluid Dynamics) est composé comme suivant :

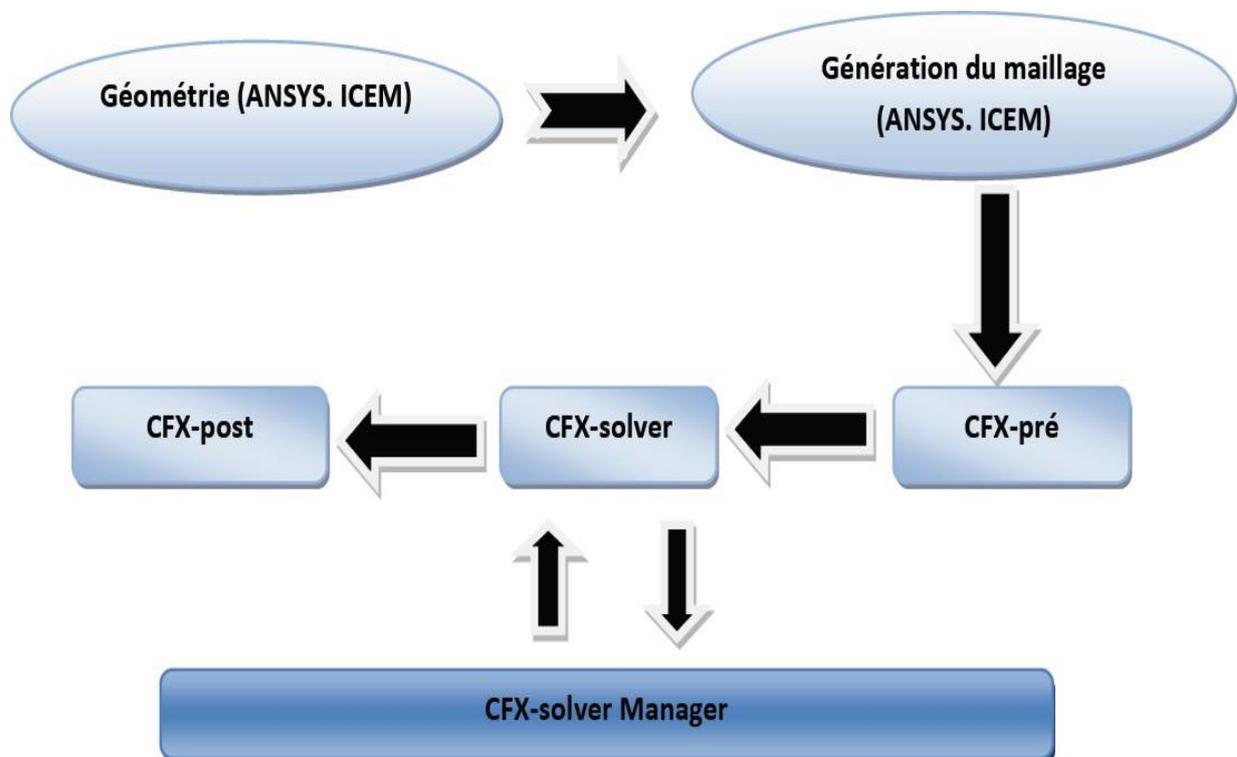


Figure III.1 : Les modules de base du CFX 17.2

III.2.1 ICEM CFD

Permet de préparer la configuration géométrique du problème étudié et de générer le maillage de manière assez conviviale bien qu'assez simple. Quand il s'agit de géométries complexes, ICEM CFD peut être couplé avec d'autres logiciels meilleurs pour la réalisation de la géométrie ainsi que le maillage. L'un des avantages de ce logiciel est sa simplicité ainsi que sa robustesse envers la réalisation des géométries les plus complexes. Pour le maillage, ICEM CFD 17.2 utilise des structures mono ou multi blocs en fonction de la géométrie, il permet de générer deux types de maillages, le maillage en tétraèdre et en hexaèdre.

Pour la création de la géométrie, et le maillage du domaine de calcul nous avons utilisé un software de haute qualité « ICEM CFD 17.2 » et qui permet d'exporter le maillage généré au CFX-Pre.

III.2.2 CFX Pre

C'est une interface puissante pour la définition du problème (modèle choisit, condition initiale, condition aux limite, propriété du fluide ...etc.) c'est le pré-processing « CFX-pre » (Figure III.2).

Il permet d'importer le maillage de la géométrie étudiée, construit par le module CFX-BUILD ou l'importer à partir d'un autre logiciel (DAO), générateur de maillage tels que ICEM CFD, GAMBIT. Le CFX-Pre est conçu pour spécifier la nature de l'écoulement (permanent ou transitoire), laminaire ou turbulent, et pour introduire les conditions initiales et aux limites du problème étudié ainsi que les paramètres de convergence (nombre d'itérations et la tolérance d'erreur).

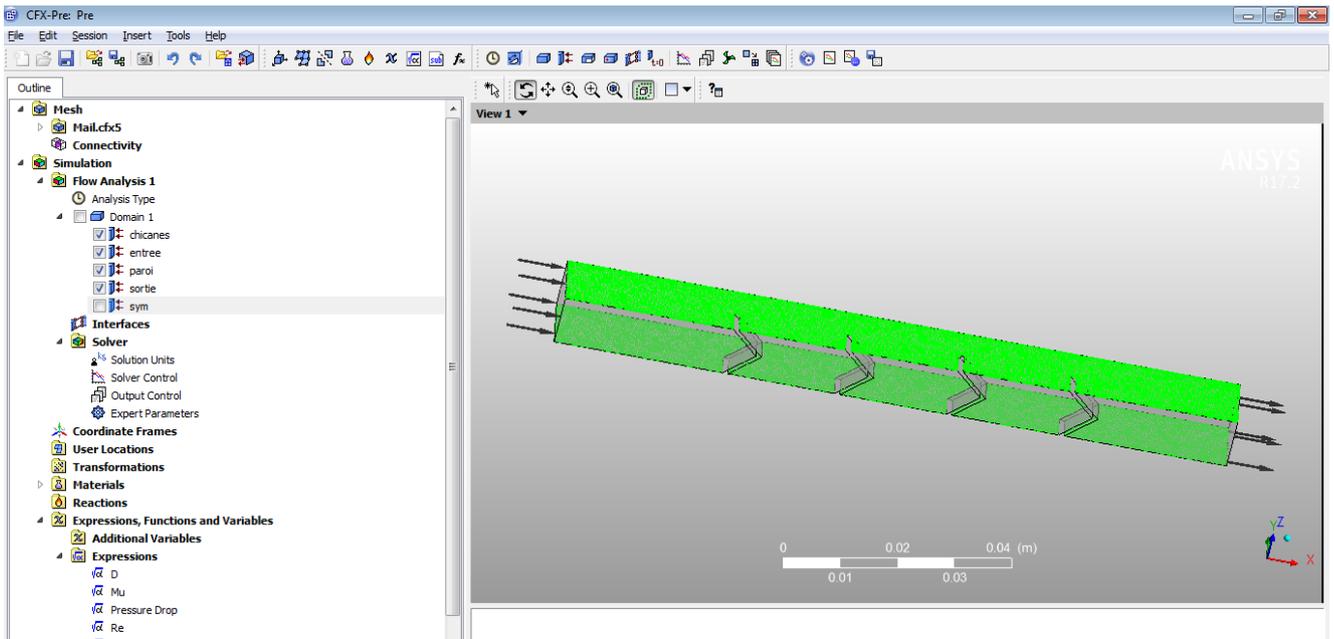


Figure III.2: Interface graphique du module CFX-Pré

III.2.3 CFX Solver

Il permet de résoudre les équations de l'hydrodynamique modélisant le problème physique étudié. Toutes les spécifications du problème produites dans le module CFX-Pre sont résolues par CFX Solver pour un nombre d'itération bien défini et une erreur tolérée.

Un solver de solution (solvermanager) qui permet le retour d'information sur la progression de convergence à travers la définition d'exécution et le contrôle, avec des graphes configurés pour l'utilisateur aussi bien que l'affichage de la multiple exécution simultanément sur écran (Figure III.3).

Exporter les résultats en différents formats, pour tracer l'évolution des variables avec d'autres logiciels graphiques tels que (Origine ou Tecplot).

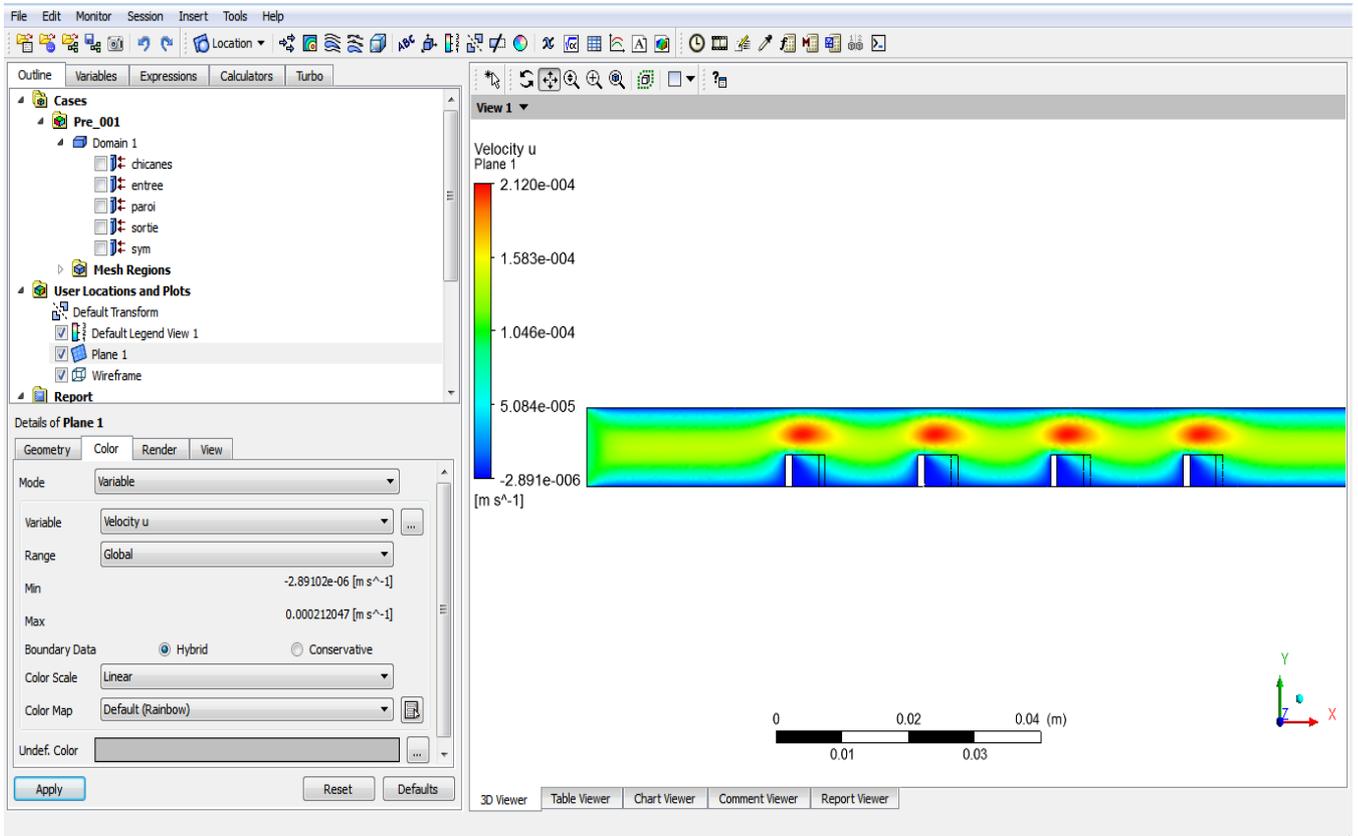


Figure III.4: Interface graphique du module CFX-Post

CHAPITRE IV

Resultats et discussion

IV.1 Présentation du problème étudié

En ce chapitre sont présentés les résultats de notre étude qui porte sur le refroidissement d'huile chaude autour de les parois de la tuyère d'un échangeur de chaleur sous l'effet des 4 obstacles (Figure IV.1). L'influence des obstacles et nombre de Reynolds de l'écoulement sur le profil sont étudiées en analysant la distribution de vitesse, de température et les lignes de courant.

Le but de la simulation numérique effectuée dans ce travail est de pouvoir maîtriser le code CFD afin d'optimiser la visualisation des résultats obtenus sous forme de contours de les paramètres hydrodynamique et thermique.

Les conditions aux limites sont :

- A l'entrée :

$T=70^{\circ}\text{C}$

$P=1\text{ atm}$

- A la sortie :

$P=0\text{ atm}$

- A la paroi :

$T=-5^{\circ}\text{C}$

- Les obstacles sont adiabatiques.

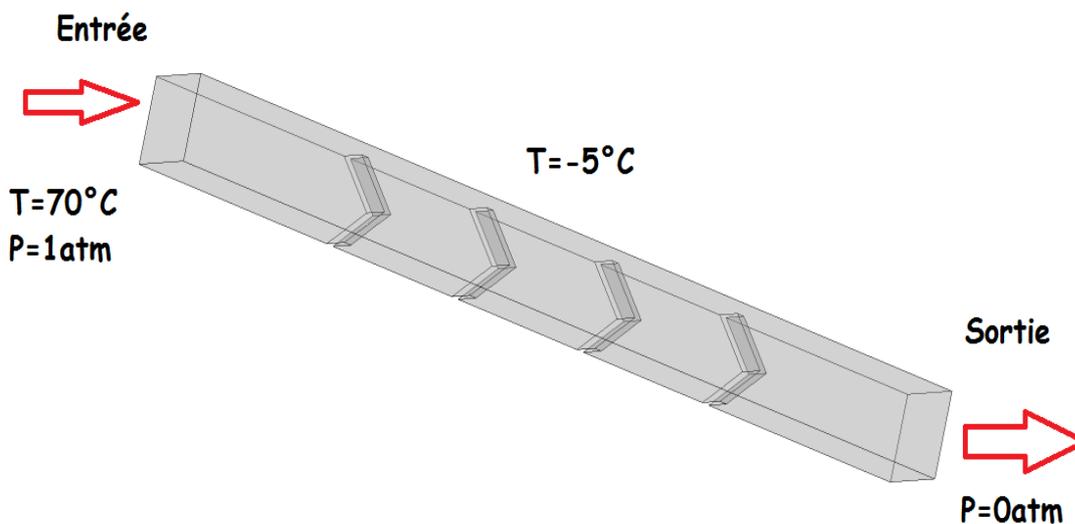


Figure IV.1: La géométrie de cas étudié

IV.2 Génération de maillage

Le maillage généré après le prisme par le CFD, autour de ce domaine est de 499953 éléments et 124012 nœuds. Le type de ce maillage est le maillage tétraédrique adapté au type de l'écoulement étudié.

Un maillage complet autour des profils de ce domaine et plus raffiné à proximité de la surface des profils pour détecter les détails de la couche limite, sont représentés sur les figures IV.2, et IV.3 respectivement.

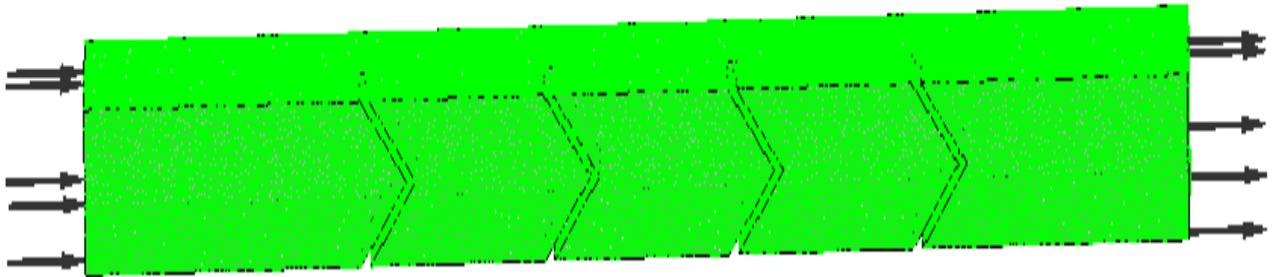


Figure IV.2 : Maillage du domaine de calcul (maillage du type tetrahedral)

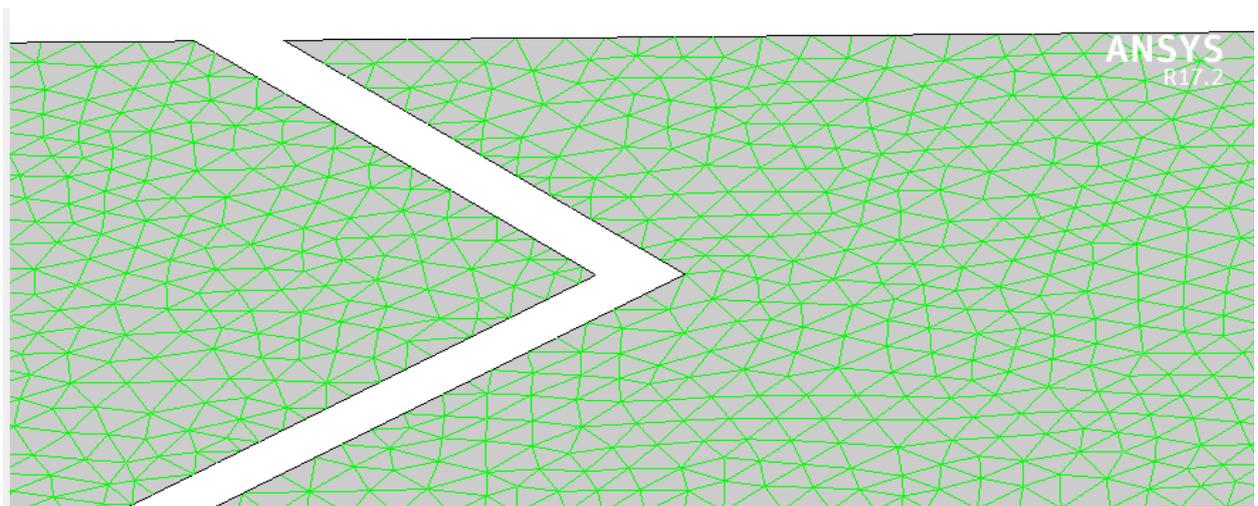


Figure IV.3 : Maillage raffiné près du profil

IV.3 Résultats et discussion

IV.3.1. Validation

Afin de vérifier la fiabilité de nos résultats de prédiction numérique, une validation des valeurs du nombre de Nusselt et le coefficient du frottement a été faite. La vérification est achevée pour une conduite simple en utilisant les corrélations suivantes :

La corrélation du nombre de Nusselt développée par Dittus-Boelter :

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4}$$

La corrélation du coefficient de frottement développée par Blasius :

$$f = 0.085 Re^{-0.25}$$

Les résultats de validation sont présentés sur les Figures IV.4 et IV.5 pour le nombre de Nusselt et le coefficient de frottement, respectivement. Comme le montre ces figures, la validation confirme de la fiabilité de nos résultats.

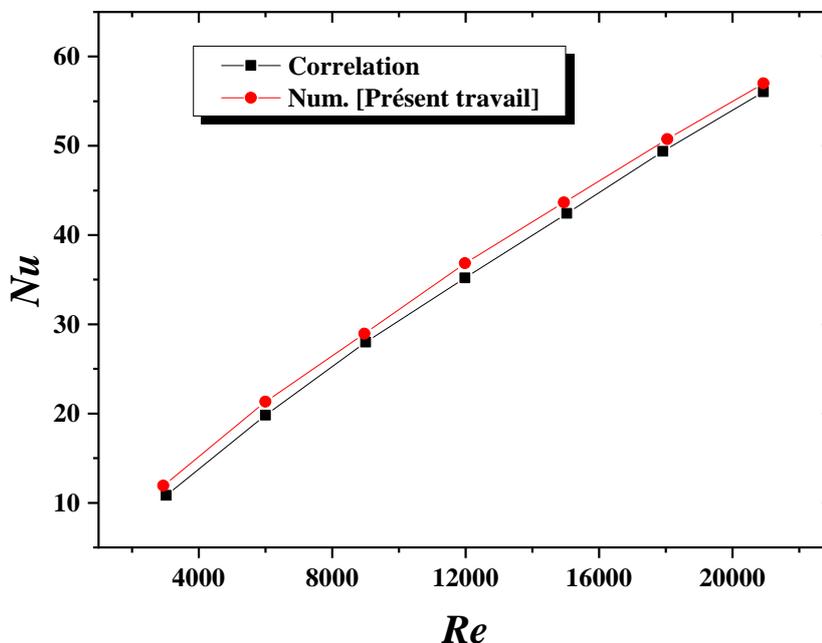


Figure IV.4 : Validation des résultats du nombre de Nusselts

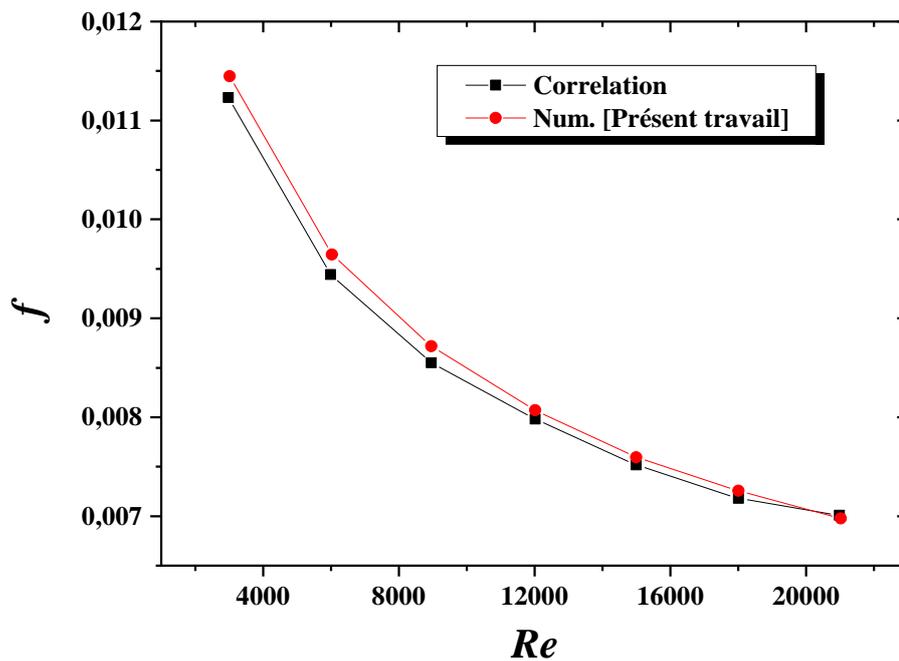


Figure IV.5 : Validation des résultats du coefficient du frottement

IV.3.2 L'influence des obstacles sur l'écoulement

Lorsque le fluide traverse l'échangeur de chaleur à une vitesse spécifique, le type d'écoulement est laminaire jusqu'à ce qu'il atteigne le premier obstacle. Puis lorsque l'écoulement atteint l'obstacle, une turbulence se produit sous forme de tourbillons (Figure IV.4). C'est ainsi que cela se passe avec les autres obstacles.

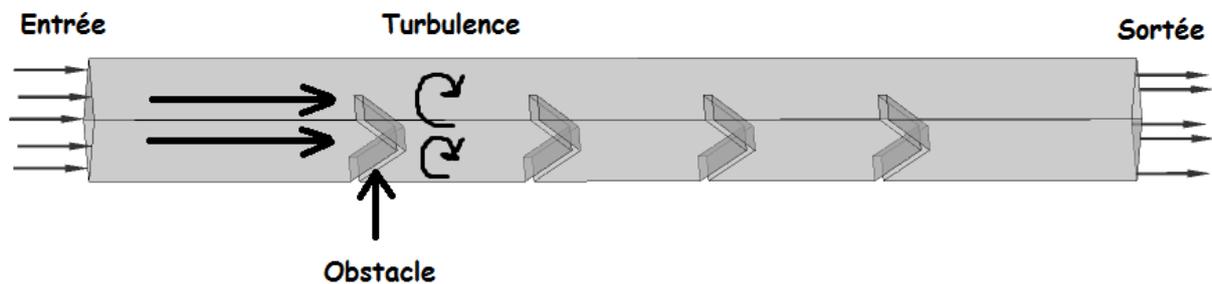


Figure IV.6: L'influence des obstacles sur l'écoulement

IV.3.3 L'influence du nombre de Reynolds

IV.3.3.1 Nombre de Reynolds

Le Nombre de Reynolds est un nombre sans dimension utilisé en mécanique des fluides. Il a été mis en évidence en 1883 par Osborne Reynolds. Il caractérise un écoulement, en particulier la nature de son régime (laminaire, transitoire, turbulent).

$$Re = \frac{D \cdot u \cdot \rho}{\mu} = \frac{D \cdot u}{\nu}$$

Avec : D : diamètre de la conduite (m)

u : vitesse moyenne d'écoulement (m/s)

ρ : masse volumique du fluide (kg/m³)

μ : coefficient de viscosité dynamique (Pa.s)

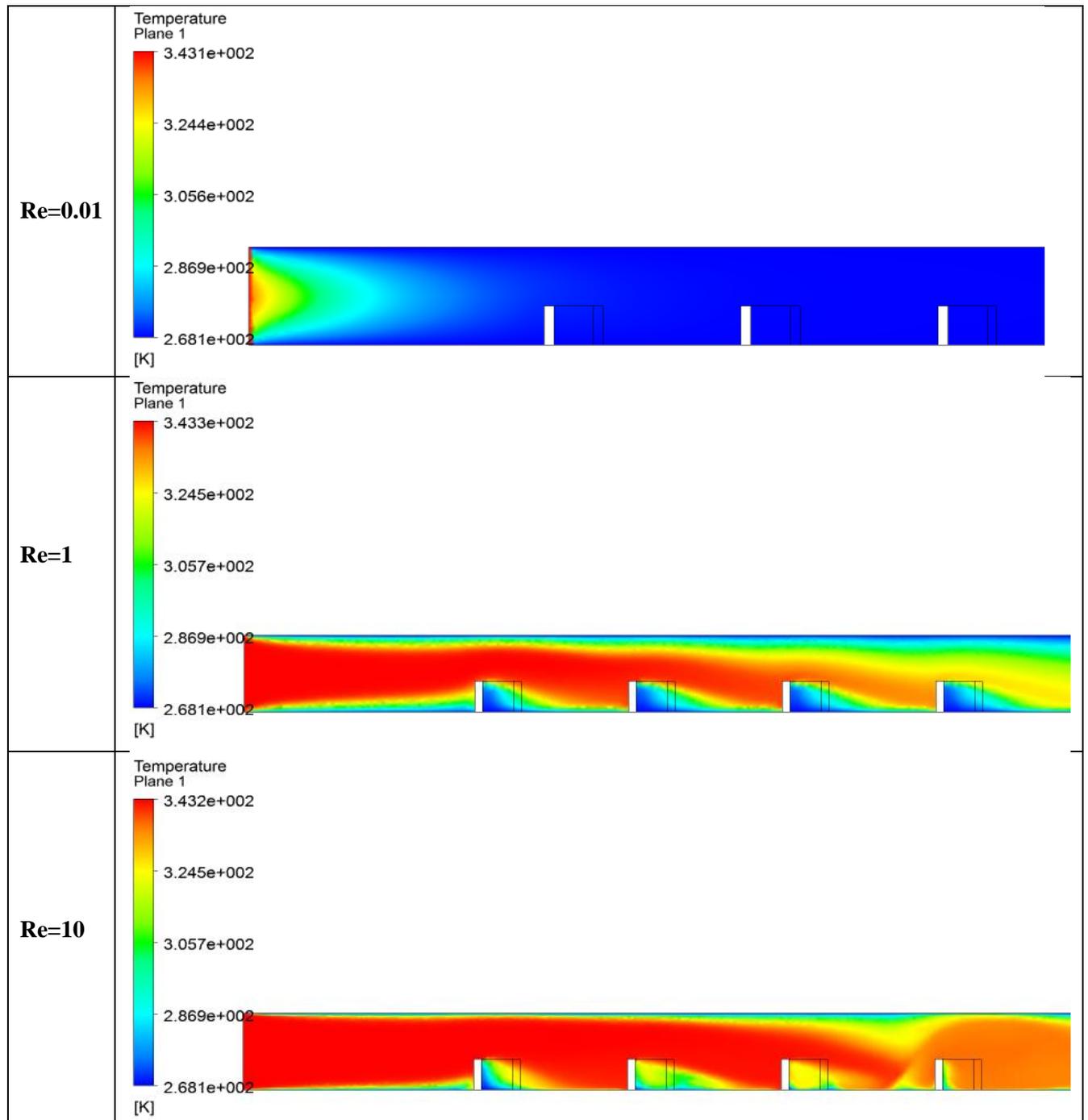
ν : coefficient de viscosité cinématique (m²/s)

IV.3.3.2 L'influence du nombre de Reynolds sur la température

Le nombre de Reynolds affecte négativement sur le refroidissement d'huile, car lorsque ce nombre augmente, la possibilité de refroidir ce liquide diminuera et nous n'obtiendrons pas la température souhaitée (Table IV.1).

Quand ce nombre être diminuer, le refroidissement sera meilleur et plus rapide.

Table IV.1 : L'influence du nombre de Reynolds sur la température



IV.3.3.3 L'influence du nombre de Reynolds sur la vitesse u

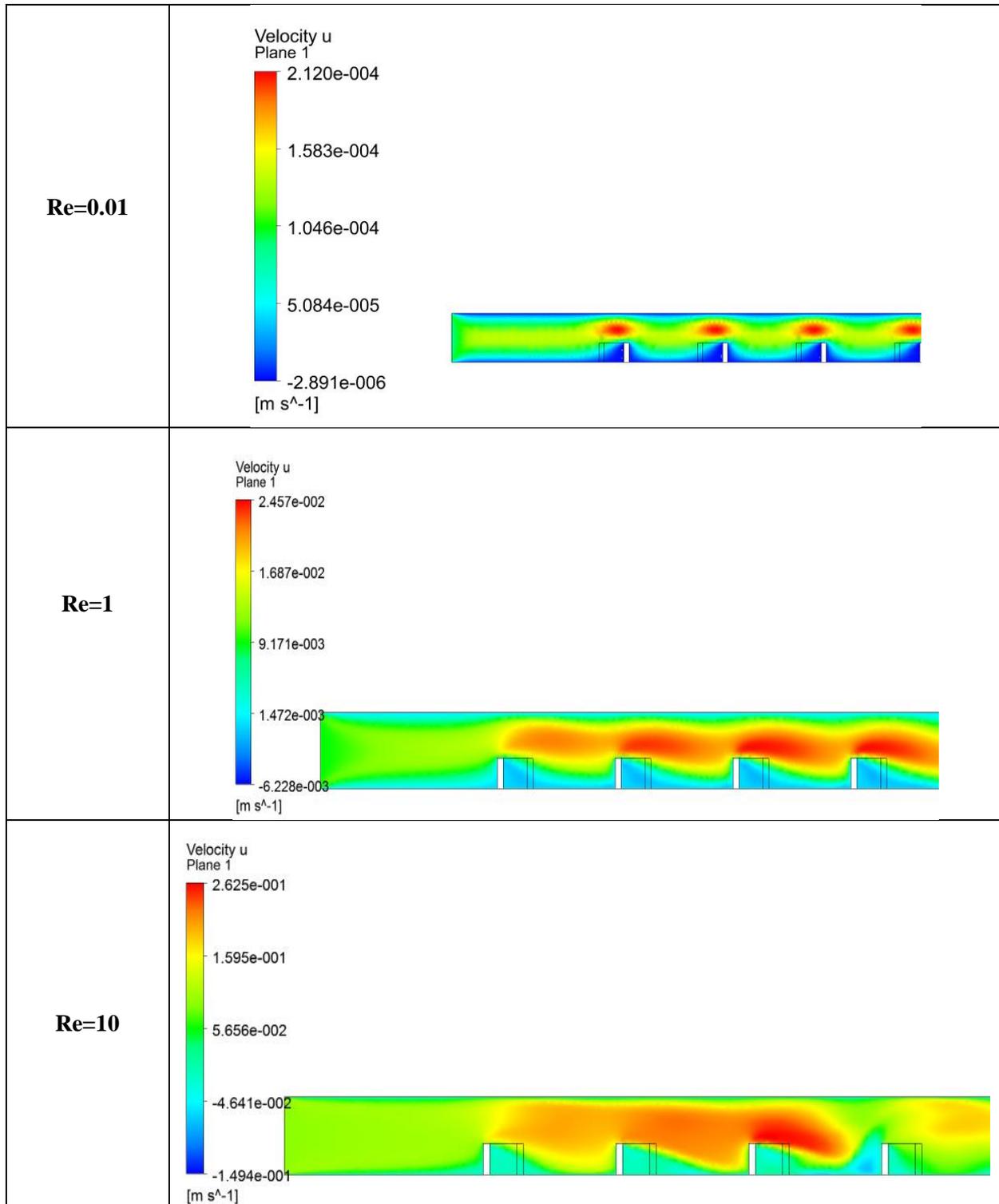
Pour $Re=0.01$ la vitesse augmente après que l'huile frappe chaque obstacle et être constante pour tous 4 obstacles.

Pour $Re=1$ La vitesse augmente progressivement en synchronisation avec 4 obstacles.

Pour $Re=10$ La vitesse augmente progressivement en synchronisation avec 3 obstacles mais le dernier obstacle, la vitesse sera faible.

Quand le nombre de Reynolds augmente, la vitesse de l'écoulement d'huile augment (Table IV.2).

Table IV.2 : L'influence du nombre de Reynolds sur la vitesse u

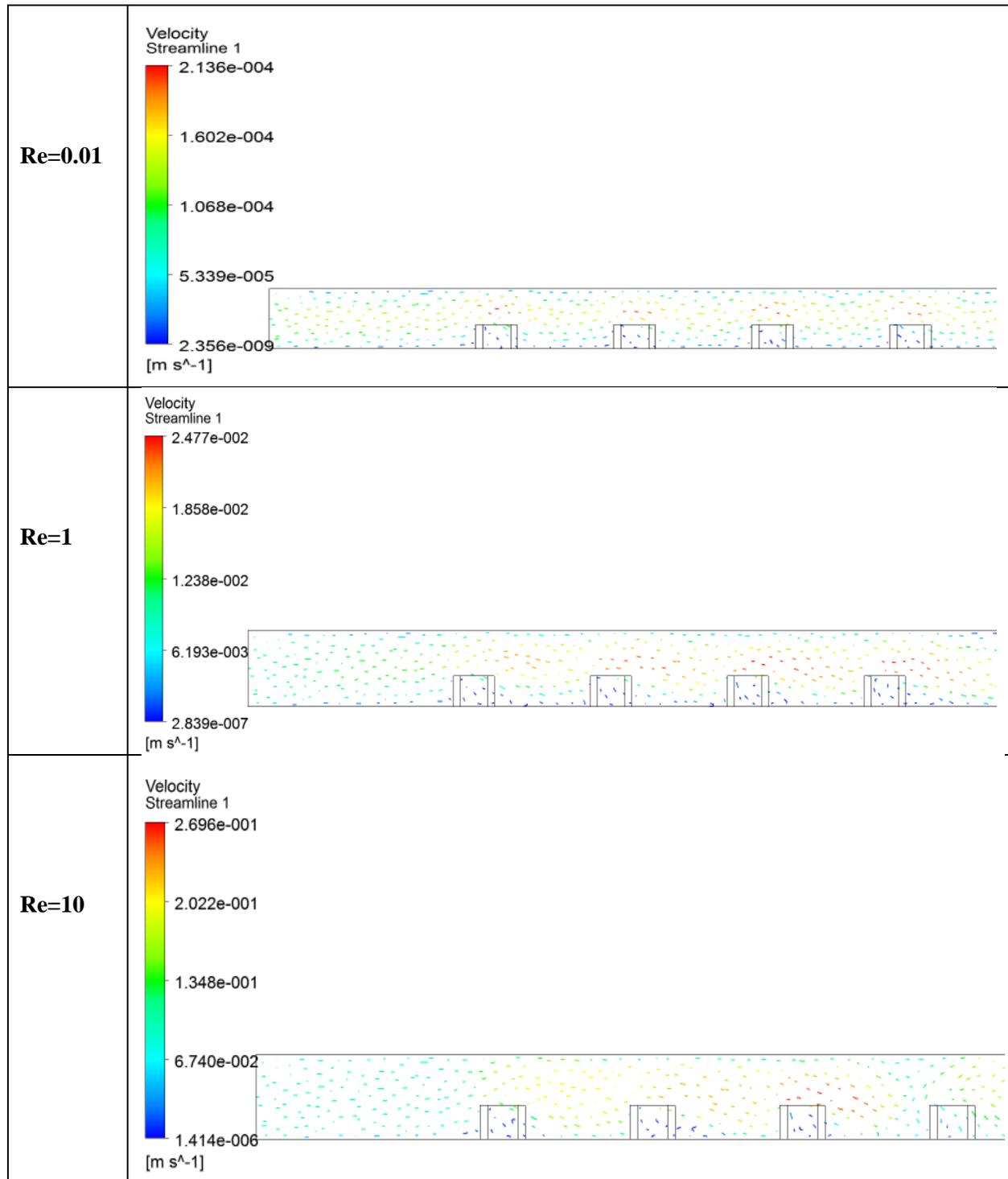


IV.3.3.4 L'influence du nombre de Reynolds sur les lignes de courant

Les lignes de courant sont déduites des trajectoires des traceurs qui permettent de mieux définir l'écoulement et d'effectuer des mesures sur les trajectoires des filets liquides.

Les lignes de courant sur la table IV.3 sur le profil ce domaine montre que la région d'écoulement turbulence devient plus grande, lorsqu'on augmente le nombre de Reynolds.

Table IV.3 : L'influence du nombre de Reynolds sur les lignes de courant



2^{ème} partie

IV.4 Etude numérique

Dans cette partie, on explore l'effet de présence d'ouverture dans la chicane. La figure VI.7 montre le développement d'écoulement autour une chicane non-continue. L'écoulement principal sera mélangé avec l'écoulement secondaire à travers le passage existant entre les deux segments de la chicane.

Pour achever l'investigation, trois configurations géométriques ont été réalisées, et qui sont $L_1/L_2 = 0.25, 0.5,$ et $0.75,$ respectivement.

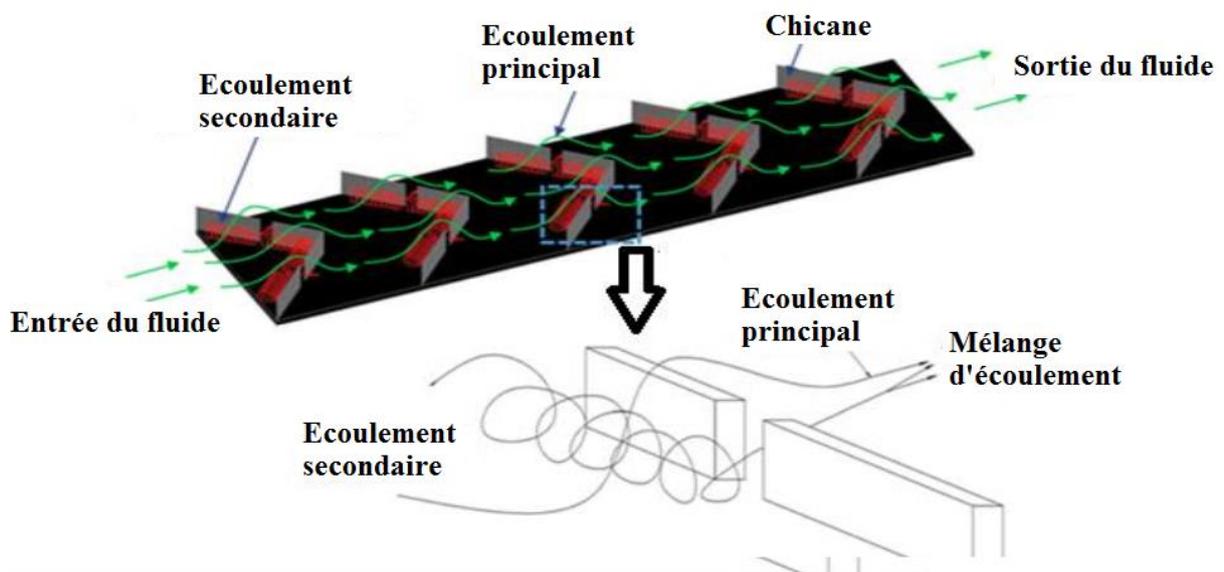


Figure VI.7 : Développement d'écoulement autour une chicane non-continue

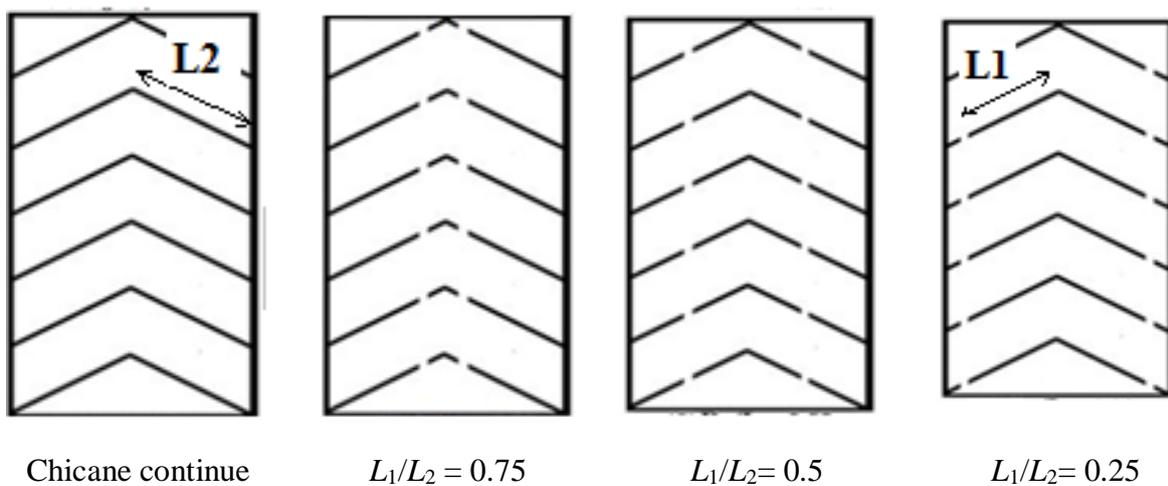


Figure VI.8: Configurations géométrique étudiées

Les résultats du nombre de Nusselt en fonction du nombre de Reynolds sont présentés sur les Figures VI.9 et VI.10 pour les différents cas étudiés. Premièrement, Nu augmente avec l'augmentation du Re , ce qui est dû à l'intensification d'interaction entre les molécules, et qui va provoquer par conséquence une amélioration du transfert de chaleur. Aussi, Nu est amélioré en utilisant une chicane, quelque soit sa forme. Cette amélioration sera aussi grande si on introduit une coupure (L_1/L_2) dans la chicane. D'autant plus L_1/L_2 est significatif, Nu est plus considérable.

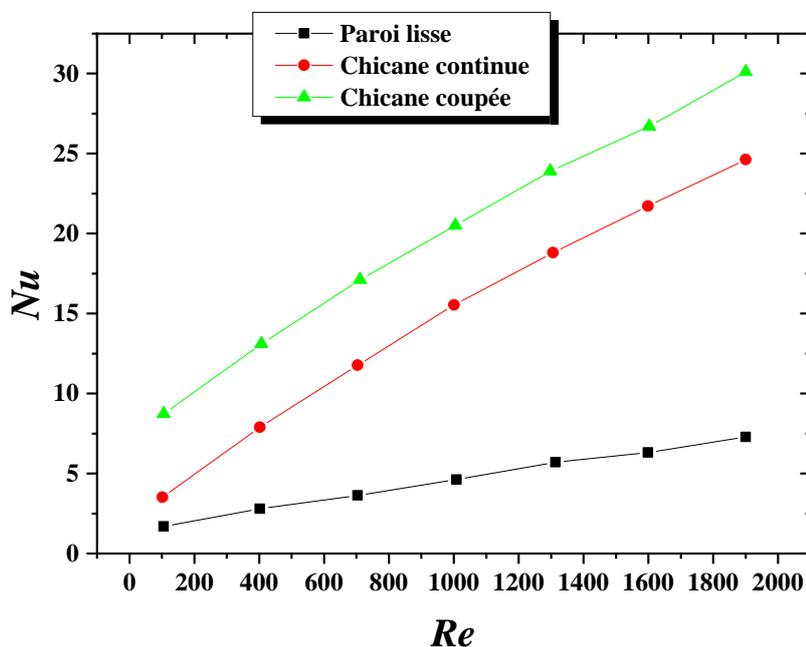


Figure VI.9 : Variation du nombre de Nusselt en fonction du Re

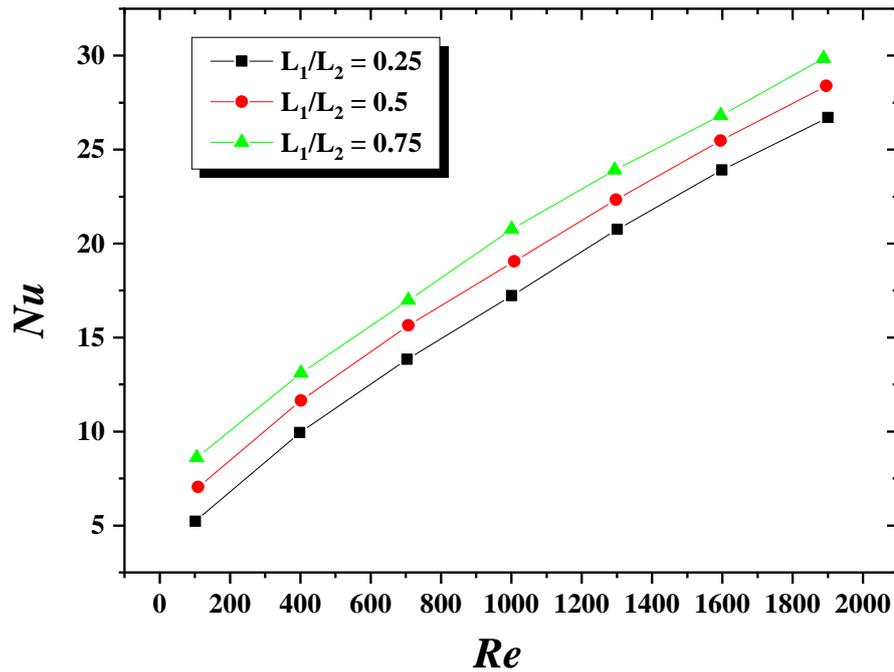


Figure VI.10: Effet de la distance de coupure sur le nombre de Nusselt

Le coefficient du frottement (f) est un autre paramètre à vérifier pour ce type de problèmes industriels. Les résultats du f sont illustrés sur les Figures VI.11 et VI.12. Ce coefficient diminue avec l'augmentation du Re , mais il augmente en utilisant des chicane. La présence de coupure dans la chicane fait intensifier les valeurs de f , et encore plus avec l'augmentation du L_1/L_2 , qui est probablement dû à la forte interaction entre les écoulements principaux et secondaires derrière la chicane non-continue.

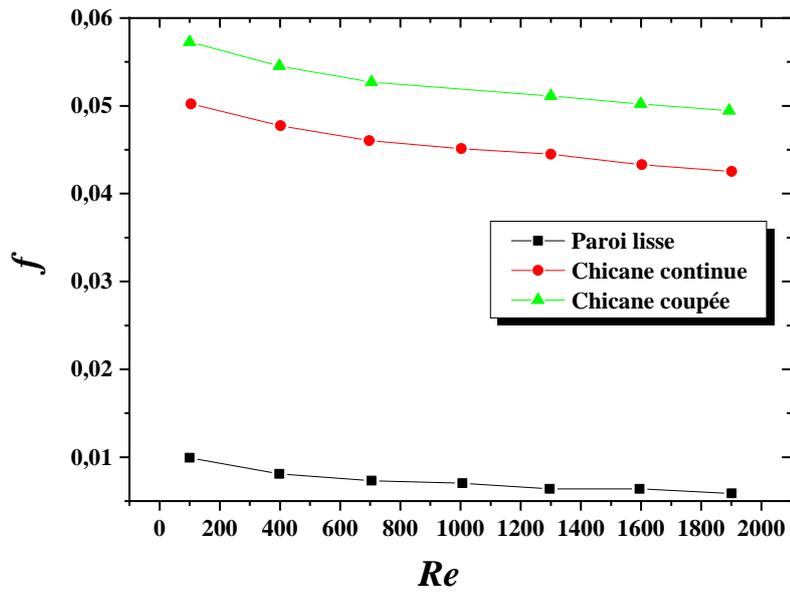


Figure VI.11 : Variation du coefficient de frottement en fonction du Re

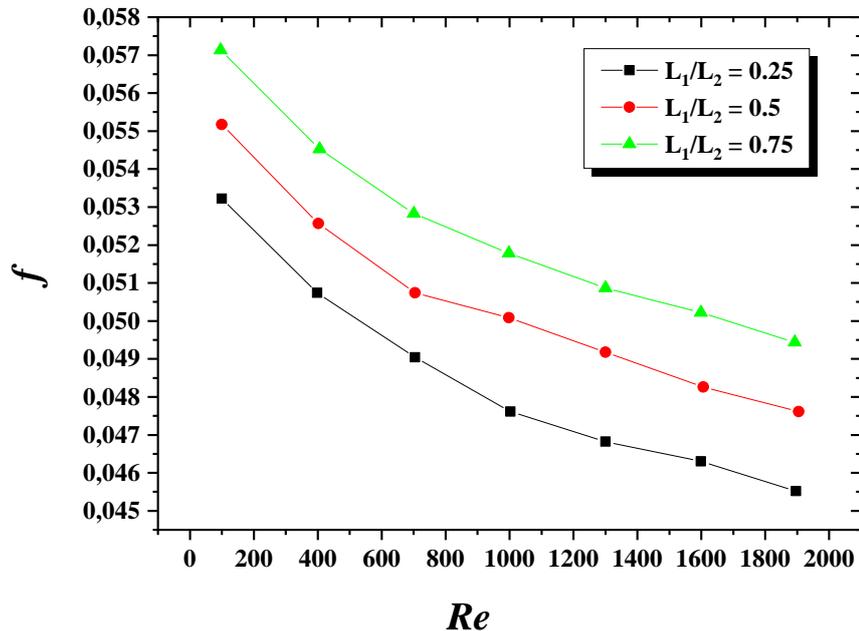


Figure VI.12 : Effet de la distance de coupure sur le coefficient de frottement

Le coefficient de performance peut juger globalement l'efficacité du dispositif. Les valeurs de ce coefficient sont résumées sur la Figure VI.13. A noter que, ces résultats sont présentés par rapport à une conduite non chicanée. Selon cette figure, l'insertion d'une chicane continue participe à une nette amélioration de l'efficacité globale de l'échangeur. Mais la chicane non-

continue semble plus efficace. On remarque aussi une augmentation du η avec L_1/L_2 , mais certainement il y a une certaine limite où η va diminuer du nouveau.

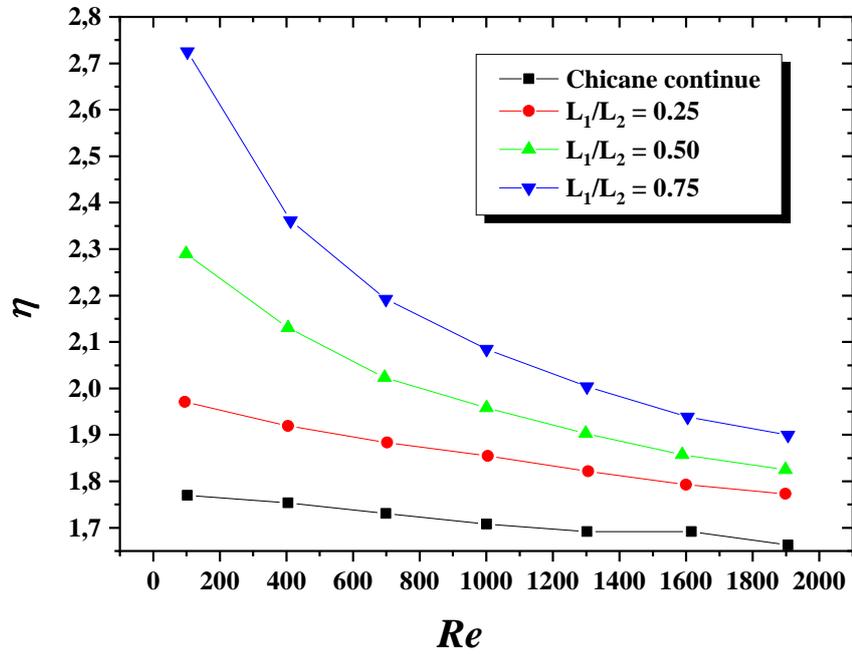


Figure VI.13: Coefficient de performance

Conclusion général

Le présent travail a porté essentiellement sur la simulation numérique d'un refroidissement d'un écoulement autour d'un échangeur de la chaleur, utilisant comme outil de calcul le code CFX.

Les principaux objectifs de ce travail sont atteints, notamment une maîtrise avancée du logiciel de calcul.

A travers les résultats obtenus dans ce mémoire on peut étudier l'influence du nombre de Reynolds sur la vitesse et la température d'écoulement.

On peut conclure que la diminution du nombre de Reynolds peut améliorer le processus de refroidissement du fluide dans un peu de temps et peut augmenter la vitesse d'écoulement du fluide.

Les recherches consacrées à l'étude de la turbulence effectuées ces dernières années montrent que des gains significatifs peuvent être obtenus les écoulements turbulents présentent par le les turbulences générées par l'écoulement, une meilleure dissipation thermique des aspects qui contribue à un refroidissement supplémentaire de l'huile du système.

La maîtrise de la turbulence nécessite de nombreuses études théoriques et expérimentales pour la prévision de la position de la transition.

L'insertion d'une chicane continue participe à une nette amélioration de l'efficacité globale de l'échangeur. Mais la chicane non-continue semble plus efficace.

Références bibliographique

CHAPITRE I

- [1] Sacadura "Initiation aux transferts thermiques" Technique et documentation, Paris, 4^e tirage 1993.
- [2] Y. Jannot " transferts thermiques " Ecole des Mines Nancy,2012.
- [3] A. Giovannini , B.Bédât "Transfert de chaleur "Cépaduès EDITIONS,Toulouse ,Réf 1024 ,2012.
- [4] P.Marty " Conduction et rayonnement" Université Joseph Fourier, Grenoble, version 9 Juillet 2012.
- [5] B.Grandjean " Transfert de chaleur " Volume 1, notes de cours, 2013.
- [6] M.Bordjane polycopé "Modes de transfert thermique" Université des Sciences et de la Technologie d'Oran «Mohamed Boudiaf», 2017.
- [7] V.Horak , P. Gruber Master Memory "Parallel Numerical Solution of 2-D Heat Equation" Departement of Scientific Computing, University of Salzburg,2004.

CHAPITRE II

- [8] W. M. Kays , A. L. London."Compact Heat Échangeur "Elsevier Science & Technology Books 3rd Edition. New York: McGraw-Hill, January 2001.
- [9] T. Slimane ; la remise en services de l'échangeur E1505 comme palliatif à l'arrêt de la colonne de stabilisation DA4501; projet de formation d'induction; 2014-2015; 52 p
- [10] M.Maroua mémoire de master "dimensionnement d'un échangeur a tubes et calandre de l'unité de décarbonatation du complexe gllk Skikda", Université Badji Mokhtar Annaba, 2017.
- [11] M.Bennajah , N.Chaouni " Échangeurs De Chaleur " Edition TECHNIP, Paris, Réf 75007, 2014.

[12] J.Taborek, G.F.Hewitt, N.Afgan. "Heat Echargers : Theory and Practice" Hemisphere Publishing Corp., Washington,New York :Hemisphere,1983.

[13] A.M. Ougana mémoire de master "Etude et dimensionnement d'un système de refroidissement Tchín-lait, Candia" Université Abderrahmane Mira Bejaia ,2019.