REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET

DE LA RECHERCHE SCIENTIFQUE

UNIVERSITE YAHIYA FARESE DE MEDEA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

FILIERE : GENIE DE MECANIQUE

SPECIALITE : ENERGETIQUE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER

SIMULATION NUMERIQUE EN 3D D'UN ECHANGEURE DE CHALEUR COAXIAL

Réalisé par :

1-AMRANE NADJETE

2-BOUSADI NESRINE

Propose de dirige par :

Dr.REBHI REDA

Dr.Mekhtiche Hamid

Année universitaire 2021/2022

Remerciement

Tout d'abord, je voudrais remercier notre dieu pour le courage et la force qu'il nous a donnés pour mener ce travail jusqu'à la fin.

Nous exprimons également notre sincère remerciement et notre gratitude à notre professeur Dr Rabih Rida pour toutes les directions et les instructions qu'il nous a données pendant la période de travail et pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils.

Nous remercions également notre meilleur professeur Dr Mounir Zirari et tous les professeurs de génie mécanique spécialité énergétique.

Dédicaces

Je dide ce travail a :

Mes chers partants pour leurs efforts tout au long de mes études.

A mes frères : Mounir, Younes, et le chouchou de famille Yacine.

A mon mari pour son soutien et sa patience et à toute sa famille.

A ma chère cousine Chaima et sa fille Eline, et je le dédiée aussi ce travail à ma cousine Sarah

A mes tante maternelle et paternelle et tout la famille Amrane et Dahou sans exception

A mon binôme Bousadi Nasrine et tous mes amis (Amina, Farah Noura, Rania et Samiha) et tous mes collègues de2 éme années master énergétique.

Amrane Nadjet

Dédicace

Je dide ce travail a :

A mon cher Père et A ma chère Mère

A mes chers Frères Mohammed, Anas et Iyad et A ma chère sœur Roaya

A ma grand-mère et tous mes tantes son exception et mon ancle Amine

A mon cher binôme Amrane Nadjet

A mes amis Samiha Rania et Fairouz

A mon fiance Dhiaa dine Bouthamri et sa famille

A tout la famille Bousadi

A tout la promotion génie mécanique 2021-2022

Boussadi Nesrine

ملخص:

.اليوم في المجتمع الصناعي. يلعب المبادل الحراري المحوري دورا مهما للغاية، فهو يهتم كعنصر أساسي للتحكم في الطاقة

ترتبط المشاكل بالهيدروليك الحراري وتهتم قبل كل شيء بالبعد الحراري للأجهزة.

.لهدا نقدم دراسة عددية عن سلوك المبادل الحراري لاثنين من الانابيب المحورية ذات التيار المشترك والحالة المستقرة

.أجريت دراسة تأثير اتجاه السائلين (ساخن وبارد) في المبادل للتأكد من ان الحالة المشتركة الحالية تقدم نتائج مقبولة باستخدام برنامج ANSYS FLUENT

.يتم استخدام الطريقة الأخيرة المعتمدة على طريقة الحجم المحدود لحل المعادلات التي تحكم المشكلة المدروسة عدديا

وفقا للنتيجة التي توصلنا اليها، وجدنا ان المبادل الحراري المضطرب المحوري المضغوط له تكوين لأنه يعطي قوة تبادل .مهمة لأسطح التبادل الصغيرة

.**الكلمات الرئيسية**: متحد المحور، حلة ثابتة، مضطربة، تدفق ثلاثي الابعاد

Résumé :

Aujourd'hui dans la société industrielles l'échangeur de chaleur coaxial jeu un rôle très important, il concerne comme un élément essentiel pour la maitrise de l'énergie. Les problèmes relèvent de la thermo hydraulique concernent avant tout le dimensionnel thermique des appareils.

Pour cela nous présentons une étude numérique sur le comportement d'échangeur de chaleur de deux tubes coaxiaux a co-courant et on régime permanent.

L'étude de l'effet de l'orientation des deux fluides(chaude et froide) dans l'échangeur effectuée pour confirmer que le cas co-courant présente des résultat acceptables ,à l'aide d'un logiciel ANSYS Fluent .

Ce dernier basé sur la méthode de volume finis est utilisé pour résoudre numériquement les équations gouvernant le problème étudié.

D'après notre résultat on trouve que l'échangeur de chaleur coaxial compact turbulent possède une configuration puisque il donne une puissance d'échange important pour des petites surfaces d'échange.

Mot clé : échangeur, coaxial, turbulent régime permanent, écoulement tridimensionnel.

Abstract :

Today in industrial society the coaxial heat exchanger plays a very important role, it concerns as an essential element for the control of energy. The problems are related to thermal hydraulics and concern above all the thermal dimension of the devices.

For this, we present a numerical study on the heat exchanger behavior of two coaxial tubes with co-current and steady state.

The study of the effect of the orientation of the two fluids (hot and cold) in the exchanger carried out to confirm that the co-current case presents acceptable results, using ANSYS Fluent software.

The latter, based on the finite volume method, is used to numerically solve the equations governing the problem studied.

According to our result, we find that the compact turbulent coaxial heat exchanger has a configuration since it gives an important exchange power for small exchange surfaces.

Key word: exchanger, coaxial, turbulent steady state, three-dimensional flow.

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I : Etude bibliographe.	
Recherche bibliographique.	2
Chapitre II : généralité sur les échangeurs de chaleur.	
II.1 Introduction	6
2.2 Définition d'un échangeur de chaleur	6
2.3 Principe de fonctionnement d'un échangeur de chaleur	6
2.4 Les types d'un échangeur de chaleur	7
2.4.1 Échangeur tubulaire	7
2.4.1.1 Echangeur multitubulaire	7
2.4.1.2 Echangeur monotube	9
2.4.1.3 Echangeur coaxial	9
2.5 Les échangeurs à plaque	10
2.6 Échangeur a faisceau et calandre	10
2.7 Les éléments de l'échangeur tube et calandre	11
2.7.1 La calandre	11
2.7.2 Plaque tubulaire	11
2.7.3 Le faisceau	12
2.7.4 Les chicane	13
2.7.5 Boites de distribution ou chambres de distribution	13
2.8 Classification des échangeurs de chaleur	14
2.8.1 Classement suivant la nature du matériau des parois d'échange	14
2.8.2 Classement suivant la compacité de l'échangeur	14
2.8.3 Classement selon les sens des écoulements	15
2.8.4 Type de contact	16
2.8.5 Classement suivant les types d'échangeur	16
2.8.6 Classement fonctionnel	17
2.8.8 Classement suivant le procédé de transfert de chaleur	17
2.8.7 Classement suivant le mode de transfert de chaleur	17
2.9 Méthodes de calcul des échangeurs de chaleur	18
2.9.1 Méthodes analytiques :	18
2.9.1.1. Méthode DTLM	18
2.9.1.2 Méthode NUT	21
2.9.2 Méthodes numériques	23
2.9.2.1 Méthode des volumes finis	23
2.9.2.2 Méthode des éléments finis	24
2.9.2.3 méthodes spectrales	25
2.9.2.4 Méthode des différences finies	26
2.10 Le nombre de Reynolds	26
2.11 Nombre de Nusselt	27
2.12 Nombre de Prandtl	28
2.13 Les avantages et les inconvénients d'un échangeur de chaleur coaxial	28

2.13.1 Les avantages 28
2.13.2 Les inconvénients 28
Chapitre III : model physique et formulation mathématique
Introduction 29
3.1 Architecture de logiciel 29
3.2 Présentation de «Fluent » 29
3.3 Procédure sous « Fluent » 31
3.4 Création de la géométrie 31
3.5 Le maillage 32
3.5.1 Le choix de la méthode 32
3.6 Type de maillages 32
3.6.1 Maillage structuré 33
3. 6.2 Maillage non-structuré 33
3.6.3 Maillage hybride 33
3.7 Qualité de maillage 34
3.8 Modèles de turbulence 34
3.8.1 Modèle k-ε: 35
3.8.1.1 Modèle standard k-ε 35
3.8.1.2 Modèle RNG k-ε 36
3.8.1.3 Modèle Réalisable k-ε 36
3.9 Equation gouvernantes 36
3.10 Equation de continuité 37
3.11 Equation de quantité de mouvement 37
3.12 Equation d'énergie 37
3.13 Méthode de travail 38
3.13.1 Natice d'utilisation de WorksBench 38
3.13.2 Définir la géométrie 38
3.13.2.1 Dimensions de l'échangeur de chaleur 39
3.13.3 Le maillage utilisé 40
3.13.3.1 Les profils de différents maillages 40
3.13.3.2 Nombre de Nœuds et Elément 41
3.13.4 Simulation 41
3.13.4.1 Les déférentes données 41
3.13.4.2 Conditions aux limites 42
3.14 Conclusion 43
Chapitre VI : Résultats et discutions
Introduction 44
4.1 Validation des résultats 44
4.1.1 Effet de maillage 44
4.2 Les conteurs de température 48
4.3 Effet de la température à l'entrée pour l'eau chaude et froide 51
4.3.1 Tableau de variation de température 51
4.4 Effet de température sur les profils de vitesses 53

4.5 Conteur de champ de température et de vitesse pour déférente T (K°) et déférent station (Z) dans le maillage 02 55
4.6 conclusion générale 59

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1 :tube separe ……7

Figure 2.2 : tube rapproche…….8

Figure 2.3 : tube ailettes……..8

Figure 2. 4 :different types d'echangeurs tubulaires……9

Figure 2.5: Echengeur monotube……9

Figure 2.6 : Echangeur coaxial……9

Figure 2.7 :Composition d'un echangeur a plaque ……10

Figure 2.8 : schéma typique d'un échangeur tubes calandre…….10

Figure 2.9 La calandre d'un échangeur faisceau et calandre ……11

Figure 2. 10. Plaque tubulaire ……..12

Figure 2.11 : Disposition des tubes……12

Figure 2.12 : disposition des chicanes…….13

Figure 2.13 : type de chambre de distribution……13

Figure 2.14 : Classement suivant la compacité de l'échangeur……14

Figure 2.15 : Échangeur à Co-courant ……15

Figure 2.16 : Echangeur à contre-courant……15

Figure 2.17 : Echangeur à courant croisés……16

Figure 2.18 : organigramme de calcul par la méthode DTLM……20

Figure 2.19 : Organigramme de calcul par la méthode NUT……21

Figure 2.20 : régimes d'écoulement……27

Figure 3.1 : Création de la simulation sous WorksBench……31

Figure 3.2 : Type de maillages, 2D et 3D……32

Figure 3.3 : Maillage structuré……33

Figure 3.4 : Maillage non- structuré……33

Figure3.5 : Maillage hybride……34

Figure 3.6 : Interface de WorksBench……38

Figure 3.7 : géométrie de l'échangeur coaxial ……39

Figure 3.8 : caractéristiques de la géométrie……39

Figure 3.9 : échangeur coaxial maillage de différents profils……40

Figure 4.1. Effet de maillage sur les profils de la température pour Z=0.1m….....44

F.igure 4.2 Effet de maillage sur les profils de la température pour Z= 0.5….....45

Figure 4.3 effet de maillage sur les profils de la température pour Z= 0.9….....45

Figure 4.4 effet de maillage sur les profils de la température pour Z =1 m….....46

Figure 4.5 Effet de maillage sur les profils de la vitesse pour Z=0.1m ….....46

Figure 4.6 Effet de maillage sur les profils de la vitesse pour Z=0.5m….....47

Figure 4.7 Effet de maillage sur les profils de la vitesse pour Z=0.9m….....47

Figure 4.8 effet de maillage sur les profils de la vitesse pour Z= 1m….....48

Figure 4.9 : les champs de la température dans l'échangeur de chaleur pour les différents maillages dans déférente stations (Z=0, Z=0.5 et Z=1 m). ….....49

Figure 4.10 : Champ de vitesse dans l'échangeur de chaleur pour différant maillage dans différant stations (Z=0, Z=0.5 et Z=1m). ….....50

Figure 4.11 : Effet de température à l'entrée pour le fluide chaude et froide….....53

Figure 4.12 : Effet de température chaude et froide sur les profils de vitesse pour différant Stations Z=0.1, Z=0.5 ; Z=0.9 et Z=1m ….....55

Figure 4.13 : Champ de température pour déférant T (K°) et déférant station (Z m) ….....56

Figure 4.14 : champ de vitesse pour différant température….....57

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.1 : Différentes désignations de ϕ, Γ, S….....37

Tableau 3.2 : Dimension de l'échangeur de chaleur….....39

Tableau 3.3 : Nombre de Nœuds et Elément….....41

Tableau 3.4 : Les déférentes données….....41

Tableau 3.5 : Conditions aux limites….....42

Tableau 3.6 : les données de fluides chaude et froid….....42

Tableau 4.1 : de déférant température de l'eau chaude et froide….....51

Nomenclature

Cp : Chaleur spécifique à pression constante	$[J.Kg^{-1}.K^{-1}]$
K : Coefficient d'échange global	$[Wm^{-2}K^{-1}]$
L : Longueur de la conduite cylindrique (tube)	[m]
m_c : Débit du fluide chaud	$[Kgs^{-1}]$
m_f : Débit du fluide froid	[Kgs^{-1}]
P : La pression	[Pa]
R : Rayon du cylindre	[m]
r : Rayon adimensionnelle du cylindre	
Re: Nombre de Reynolds	
S : Surface d'échange	[m²]
T : Température	[K]
t : Temps	[s]
T_c : Température de fluide chaud	[K]
T_f : Température de fluide froid	[K]
NUT : Nombre d'unités de transfert (sans dimension)	
DTLM : La différence de température logarithmique moyenne	

Symboles grecs

Φ : Flux de chaleur	[W]
α : Diffusivité thermique du liquide	[m².s^{-1}]
μ : Viscosité dynamique	[Kg.$m^{-1}s^{-1}$]
λ : Conductivité thermique	[W.$m^{-1}K^{-1}$]
ρ : Masse volumique	$[kg/m^3]$
v : Le volume	$[m^3]$
v : Viscosité cinématique	$[m^2s^{-1}]$
$\dot{Q}$: La source de chaleur	[W.m^{-3}]
$\dot{m}.Cp$: Le Débit calorifique [KW.K^{-1}]	
Q : La quantité de chaleur	[J]

$\dot{m}$: Le débit volumique $[m^3/s]$

Q_m : Le débit massique [Kg/s]

∂ : Dérivée partielle

Ø : Variable dépendante

$S_\emptyset$: Terme source

$\Gamma_\emptyset$: Coefficient diffusion

Introduction général

La transmission de chaleur est devenue l'un des plus importants domaines scientifiques a couse de leur besoin et leur rôle dans la vie d'une part, et pour développer les moyens dans tous les domaines technologiques et économiques.

L'échangeur de chaleur, qui produit entre deux corps à des températures différentes, peut se faire selon trois modes :

- **Conduction**
- **Convection**
- **Rayonnement**

Dans les sociétés industrielles, l'échangeur de chaleur est un élément essentiel de toute politique de maitrise de l'énergie. Il est permis les appareils les plus importantes pour la récupération des énergies thermique c'est bien qui est le sujet de notre projet de fin d'étude.

Une grande part (90%) de cette énergie est utilisée dans les procèdes industriels transite au moins une fois par un échangeur de chaleur, aussi bien dans les procèdes eux-mêmes que dans les systèmes de récupération de l'énergie thermique de ces procèdes.

Les échangeurs de chaleur sont des composants prépondérants on les utilise principalement dans les secteurs de l'industrie (chimie, pétrochimie, agroalimentaire, production d'énergie, etc.) du transport (automobile, aéronautique), mais aussi dans secteur résidentiel et tertiaire (chauffage, climatisation, etc.)

La majorité des activités de transformation nécessite, à un stade de leur processus, un échange de chaleur, que cela soit pour évacuer une énergie excédentaire, réaliser un changement de phase, ou être converti en travail. De nombreux travaux prenant des formes diverses ont été conduits dons le but de les optimiser c'est à dire de les rendre plus compact plus légers et plus performants en termes de transfert.

Un échangeur de chaleur est un appareil destiné à transmettre la chaleur d'un fluide à un autre, le plus souvent à travers une paroi. En général. Les deux fluides sont séparés par une paroi (simple ou composée) constituant ainsi une résistance thermique. Dons certains équipements, le

transfert thermique se fait par contact direct entre les fluides. C'est le cas des condenseurs et évaporateurs, ou l'un des fluides subit un changement de phase.

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 d'un échangeur bien adapte, bien dimensionne, bien réalise et bien utilise permet un gain de rendement et d'énergie des procèdes.

Nous nous intéresserons aux échangeurs a fluides sépares, précisent aux échangeurs coaxiaux du fait de leur emploi quasi fréquent.

Ils présentent un certain nombre d'avantage, en particule ils sont faciles a fabriqué, relativement bon marché, de maintenance aisée et surtout ils peuvent être utilisés à des pressions élevées des fortes températures.

L'objectif de notre étude est de comprendre le comportement de l'écoulement turbulent dans un échangeur et simuler numériquement le transfert de chaleur par convection dans un échangeur, et de montrer l'effet des différents paramètres permettant d'améliorer les coefficients d'échange permettant ainsi d'obtenir une meilleure configuration d'changeur et quantifier le taux de transfert de chaleur en variant les concentrations des nanoparticules.

Organisation de travaille

Notre travail est reparti en quatre chapitres : le premier chapitre 's'intéressera sur les recherches bibliographiques.

Le deuxième chapitre est consacré à une description générale du principe de fonctionnement de l'échangeur de chaleur et son application dans l'industrie. Et présente la généralisation sur un échangeur coaxial.

Le troisième chapitre expose la description du problème et le modèle physique et la formulation mathématique et géométrie par le code de calcul ANSYS FLUENT. La réalisation de toutes les étapes de la simulation aux limites et l'exploitation des résultats sont effectuées par la plateforme (ANSYS WorksBench).

Dans le dernier chapitre nous interprètent les résultats obtenus, l'exploitation de ces résultats et leurs discutions nous mènent proposer quelque perspective et finaliser ce travail par une conclusion.

La recherche bibliographique

Les phénomènes énergétiques auxquels, les rechercher actuellement s'intéressent sont par exemple : écoulement d'un fluide a la présence du transfert de chaleur dans un échangeur de chaleur afin d'améliorer le coefficient du transfert, comportement des écoulements turbulents dans les échangeurs. Quelques recherches ont été entamées, citons :

M. Moussa, et al. [1], échangeur de chaleur : échangeur tubulaire échangeur à surface raclée. Ils ont fait une étude sur l'échangeur coaxial, et développer des équations analytiques donnant les températures des fluides pour un écoulement à contre-courant et Co courant en régime stationnaire aussi les puissances d'échanges. L'efficacité de cet échangeur et l'étude des profils de température dans un échangeur à contre-courant en fonction des valeurs prises par les débits de capacité thermique

Harhad, et al, 2], on utilise la méthode des volumes finis**,** qui a permis d'obtenir de bons résultats pour l'étude de l'influence des paramètres physiques des fluides et de la conduction bidimensionnelle dans la paroi sur les performances des échangeurs de chaleurs.

F. Benncheikh, [3], a fait une étude numérique de la zone d'entrée d'un échangeur de chaleur a doublé tube en configuration courants parallèles et courant inverses-effet dz la diffusion axiale.

Bencheikh [3], a fait une étude du transfert thermique dans la zone d'entrée d'un échangeur de chaleur a doublé tube concentrique.

T. FARIDE [4], étude comportement dynamique et thermique de deux écoulements de fluide dans un échangeur de chaleur, Mémoire de master en génie mécanique énergétique – (2013)

P. Tobaly, Echangeurs d'IUT de S. Denis licence professionnelle module [5], Ingénierie des systèmes multi technique, 14 mars, (2002)

MERZOUK AKIL, LAIDLI ELAID [6] : simulation numérique de transfert de chaleur dans un échangeur coaxial.

D.Nadjemeddine, [7] simulation d'une conception d'un échangeur a faisceau et calandre, mémoire de master en génie mécanique énergétique et l'environnent, université de Annaba (2017).

S.Sall [8], introduction général échangeur de chaleur : mémoire de fin d'étude université de Tlemcen (2014**).**

Bouchemal Mohamed lamine.et al, [8] modélisation des échangeurs de chaleur : mémoire de fin d'étude de master en électromécanique, université de Jijel (2018).

Bouhalli Saliha .et al, [9] étude thermique de condenseurs à tubes et a calandre : mémoire de fin d'étude master académique, université de Mostaganem (2019).

Marni Sandid Abdelfattah .et al, [10] étude numérique d'un écoulent turbulent a l'intérieure d'un échangeur de chaleur muni d'ailettes, université d'Ain-Temouchent (2017).

T.Farid, [11] étude comportement dynamique de deux écoulements du fluide dans un échangeur de chaleur : mémoire de master en génie énergétique (2013).

Benamar Bouhacina [12], simulation numérique du comportement dynamique et thermique d'un échangeur de chaleur bi-tubulaire muni d'ailettes densité pour le stockage l'énergie solaire. Pour obtenir le grade docteur en physique spécialité énergétique, université Tlemcen (2015).

Marzouk akil et Laidli Elaid [13], A fait une simulation numérique de transfert de chaleur dans un échangeur coaxial, mémoire de fin d'étude master en génie mécanique (2018).

Zouhair aouissi [14], simulation numérique en CFD de la convection mixte autour des tubes à ailettes d'un échangeur de chaleur : mémoire de master génie mécanique spécialité énergétique, université de Biskra(2018).

Mme Benkherbache Souad [**15],** simulation numérique directe de la convection dans des tubes coaxiaux : docteure en science en mécanique énergétique, université de Batna (2016).

Baatouche Riyane [16], étude numérique de l'effet de la forme des tubes sur les caractéristique thermo-hydrauliques d'un échangeur de chaleur : mémoire présente pour l'obtention du diplôme de master académique, université de M'silla (2020).

Elgaroui Rahima [17], A fait une simulation des échangeurs thermique dans un échangeur de chaleur à tubes concentriques : mémoire de fin d'étude master génie chimique : université de Ghardaïa (2019).

Chapitre 2

Generalites sur les echangeur de chaleur

II.1 Introduction

Un échangeur de chaleur est un système qui permet d'échanger la chaleur entre deux fluides sans se mélanger. Dans un échangeur thermique, le fluide chaud et le fluide froid sont séparés par une paroi (plante ou tubulaire). La transmission de la chaleur se fait du fluide chaud vers le fluide froid. Les fluides, chauffant er chauffé sont des fluides caloporteurs.

Dans le domaine des échangeurs de chaleur les résistances thermiques par conduction et par rayonnement sont souvent négligées devant la résistance convective globale des deux fluides.

Les échangeurs de chaleur constituent des appareilles importants ayant un champ d'applications très large : la production d'énergie mécanique ou électrique à partir de l'énergie thermique, l'agroalimentaire, les stations nucléaires, le chauffage et le conditionnement d'air, la réfrigération, … etc.

2.2 Définition d'un échangeur de chaleur

Un échangeur de chaleur est un dispositif permettant de transférer la chaleur entre un ou plusieurs fluides ayant une température différente. Dans la plupart des cas, les deux fluides ne sont pas en contact, et le transfert s'effectue à travers une surface d'échange.

En général, les deux fluides sont séparés par une paroi (simple ou composée) constituant ainsi une résistance thermique.

2.3 Principes de fonctionnement d'un échangeur de chaleur

Le principe le plus général consiste à faire circuler deux fluides à travers des conduits qui les mettent en contact thermique. De manière générale, les deux fluides sont mis en contact thermique à travers une paroi qui est le plus souvent métallique ce qui favorise les échanges de chaleur. On a en général un fluide chaud qui cède de la chaleur à un fluide froid. En d'autres termes, le fluide chaud se refroidit au contact du fluide froid et le fluide froid se réchauffe au contact du fluide chaud. Les deux fluides échangent de la chaleur à travers la paroi d'où le non

de de l'appareil. Le principe général est simple mais il donne lieu à un grand nombre de réalisations différentes par la configuration géométrique.

2.4 Les types des échangeurs de chaleur

Compte tenu de leurs nombreuses applications, il y a une grande diversité de types fonctionnels et constructifs des échangeurs de chaleur. La conception d'un échangeur de chaleur se fait en étudiant plusieurs paramètres : degré 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 adapte, bien dimensionne, bien réalise et bien utilise, permet un gain de rendement et d'énergie des procèdes.

A cous de ça ils ont classifié dans deux grandes familles :

- Les échangeurs tubulaires
- Les échangeurs à plaques

2.4.1 Les échangeurs tubulaires : ils représentent la majorité des échangeurs utilises dans l'industrie (chimique, pétrolière). Ils sont généralement constitués de deux tubes concentriques raccordés à leur extrémité par des codes. Pour les cas courants, ils sont faits de plusieurs tubes empilés sous forme d'un faisceau tubulaire d'où l'appellation échangeurs à faisceaux tubulaires ou d'échangeur a tube et calandre, et ce dernier il existe dans trois (3) formes :

2.4.1.1 Echangeur multitubulaire : existant sous quatre formes :

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

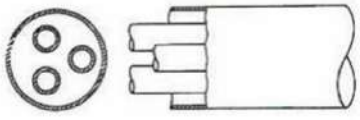


Figure2.1 : tube separe

Echangeur a tubes rapprochés : 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

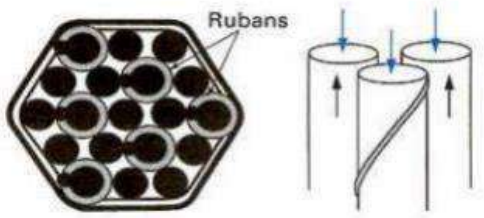
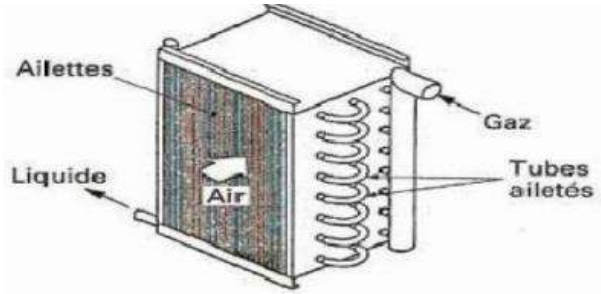


Figure2.2 : tube rapproche

Echangeur a tube ailettes : ces tubes permettant d'améliorer le coefficient d'échange thermique



Figeur2.3 : tube ailettes

Echangeur a faisceau tubulaire : est constitué d'un faisceau de tubes, se trouvant à l'intérieur d'une carcasse (l'échangeur est aussi appelé tubes et calandre-ou par l'expression anglaise « Shell-and tube ».

Il s'agit de l'échangeur le plus utilise actuellement.

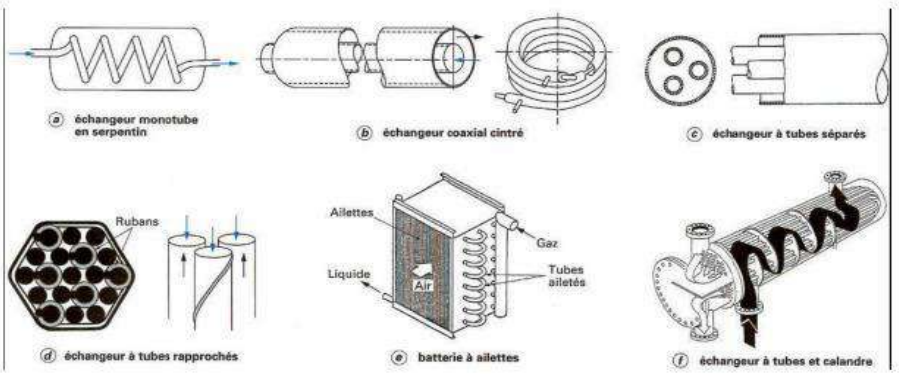


Figure2. 4 :different types d'echangeurs tubulaires

2.4.1.2 Echangeur monotube : le tube placé à l'intérieur d'un réservoir et a généralement la forme d'un serpentin.



Figure2.5: Echengeur monotube

2.4.1.3 Echangeur coaxial : un échangeur tubulaire simple est constitué de deux tubes cylindriques coaxiaux. L'un des fluides circuile dans le tube central tandis que l'autre circule dans l'espace annulaire entre les deux tubes. Le transfert de chaleur du fluide chaud au fluide froid s'effectue a travers la paroi qui constitue le tube intérieur .

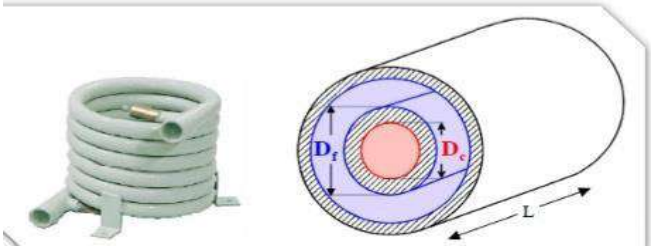
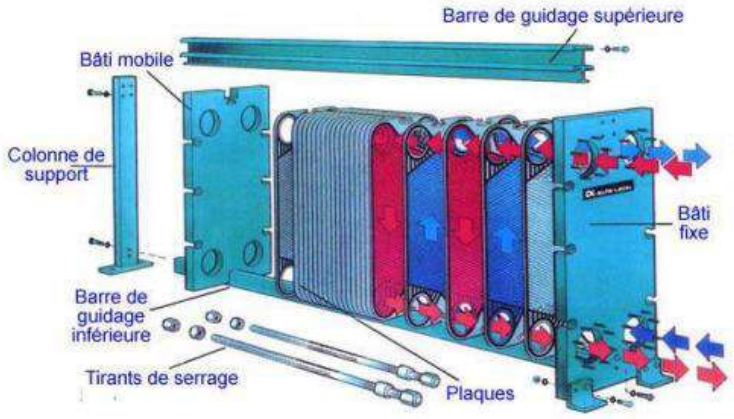


Figure 2.6 : Echangeur coaxial

2.5 Les echangeurs a plaque

Ceux sont des echangeurs compose d'un nombre variant de plaque disposeés les unes à cote des autres et séparés par un espace. Les fluides chauds et froids circulent en passages alternés, chaque fluide froid est entouré par deux fluides chauds et inversement. Du fait de leur compacité, ces échangeurs permettent une grande surface d'échange dans un volume limité.



Figeur 2.7 : Composition d'un echangeur a plaque

2.6 Echangeur a faisceau et calandre

Ce type d'echangeurs est de loin le plus repandu dans les unités de transformations des industries chimiques et pétrochimiques. Un faisceau de tubes est situé à l'interieur d'une calandre dans laquelle circule le deuxième fluide. Cette conception se retrouve également dans les condenseurs, les rebouilleurs et les fours multitubulaires.

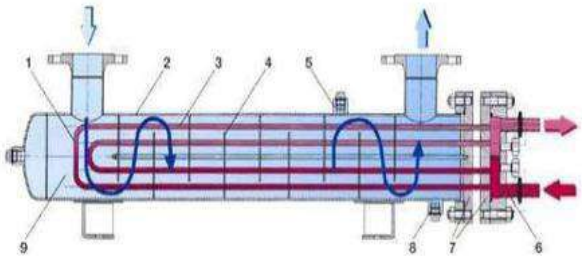


Figure2.8 : schéma typique d'un échangeur tubes calandre

2.7 les elements de l'echangeur tube et calandre :

2.7.1 La calandre :

C'est l'enveloppe metallique entourant le faisceau tubulaire, et généralement l'acir au carbone est le materiau le plus couramment utilisé pour la construction des caladres. Pour un diametre nominal inférieur à 24, la calandre est constituée par un tube d'acier, pour des pressions de service inférieures à 20 kg/cm². Au-delà de 24 la calandre est réalisée à partir de plaques d'acier roulées et soudées chaque extrémité sont soudées les brides qui porteront le couvercle et la boite de distribution. Les tubulures d'entrée et de sortie sont soudées avec plaque de renforcement ou non, selon la pression de service.

Enfin la calandre pourra être équipée d'anneaux pour le levage et portera la plaque d'identité de l'appareil.

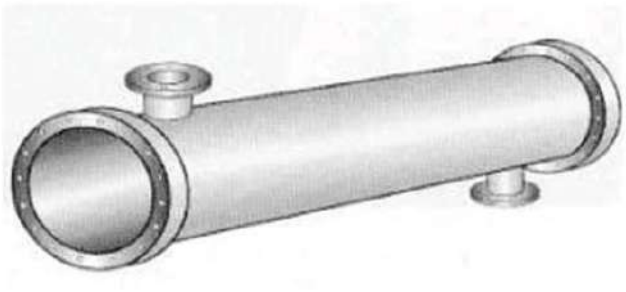


Figure 2.9 La calandre d'un échangeur faisceau et calandre

2 .7.2 Les plaques tubulaires

Ce sont des plaques percées supportant les tubes à leurs extrémités, leurs épaisseurs varient entre 5et 10 cm. Les tubes généralement sont fixés par : mandrinage, dudgeon nage, et par soudage dans les applications à haute pression.

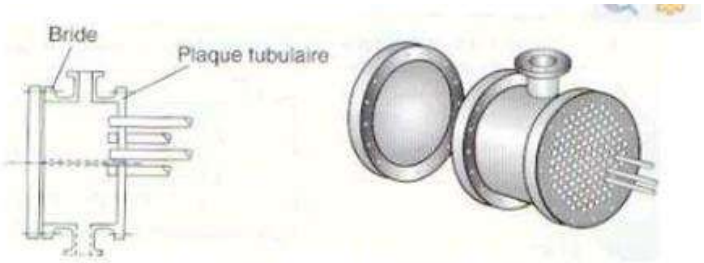


Figure2. 10. Plaque tubulaire

2.7.3 Le faisceau

C'est l'ensemble des tubes constituant le faisceau. Les épaisseurs de tubes sont normalisées selon le calibre BWG (Birmingham Wire Gage). La perforation des trous dans les plaques tubulaires est normalisée ; elle s'effectue selon une disposition soit au pas carré, soit au pas triangulaire. Le pas est la distance centre à centre de deux tubes voisins.

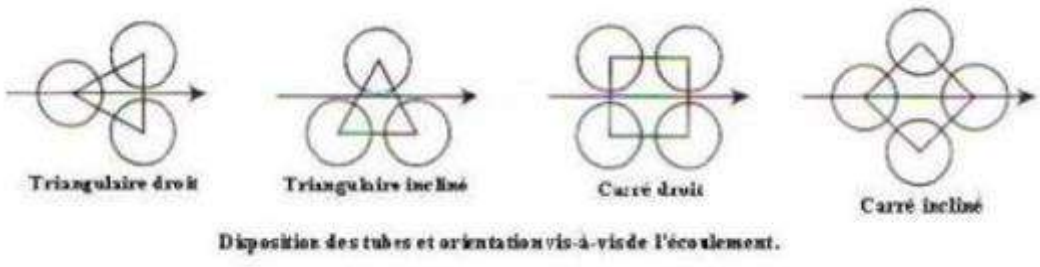


Figure 2.11 : Disposition des tubes

Le pas triangulaire permet de placer environ 10% de tubes de plus que le pas carré sur une plaque tubulaire de diamètre donne, mais en contrepartie, la disposition des tubes rend impossible leur nettoyage extérieur par insertion de grattoirs au de racloirs à travers le faisceau. Pour ces appareils, il faut avoir recours au nettoyage chimique et réserver leu remploi pour des fluides propres.

2.7.4 Les chicane

Les chicanes prouvent avoir deux rôles :

- Augmenter la rigidité du faisceau, pour éviter les phénomènes de vibration
- Augmenter la vitesse du fluide.

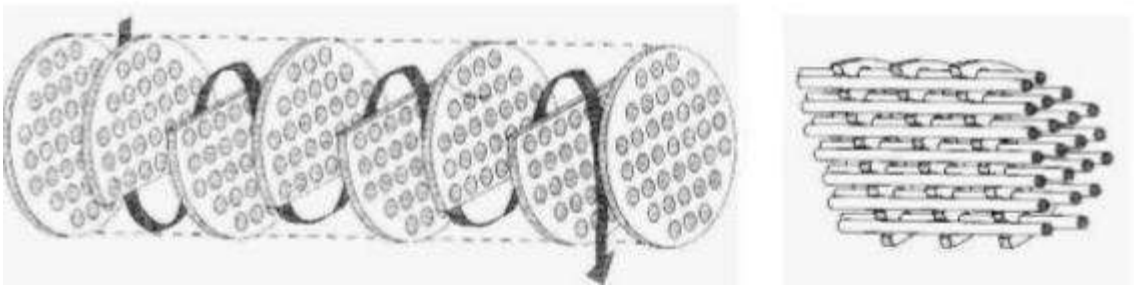


Figure2.12 : disposition des chicanes

2.7.5 Boites de distribution ou chambres de distribution

La chambre de distribution ou boites de distribution permet de distribuer le fluide en vue de réaliser 1, 2, 4,6 ou 8 passes. Le nombre de passe est généralement limite par la perte de charge admissible. Le second facteur limitant est si la différence de température à l'entrée et à la sortie est importante ; pour une différence de 150°C une seule passe s'impose

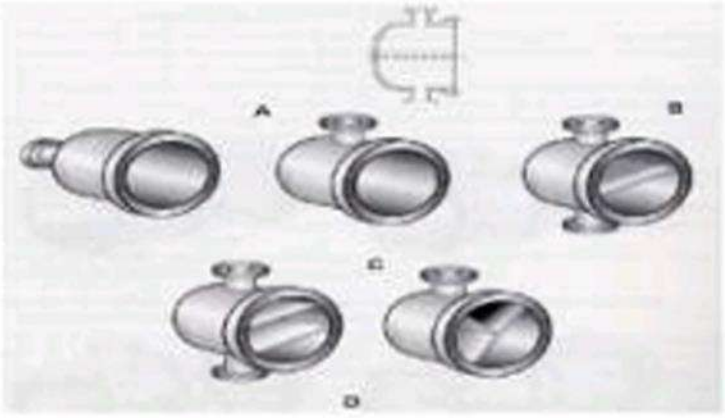


Figure 2.13 : type de chambre de distribution

2.8 Classification des échangeurs de chaleur

Il existe plusieurs critères de classement des différents types d'échangeurs. On cite les plus importants.

2.8.1 Classement suivant la nature du matériau des parois d'échange

On retiendra deux types de paroi :

1- Les échangeurs métalliques en acier, cuivre, aluminium, ou matériaux spéciaux : superalliages, métaux ou alliages réfractâmes
2- Les échangeurs non métalliques en plastique, céramique, graphite, verre, etc.

2.8.2 Classement suivant la compacité de l'échangeur

La compacité de l'échangeur est régie par les flux de transfert de chaleur aux parois. Elle est définie par le rapport de l'aire de la surface d'échangeur au volume de l'échangeur. Un échangeur soit considéré comme compact si sa compacité est supérieure à 700m² /m² cette valeur est susceptible de varier de 500à 800m²/m².

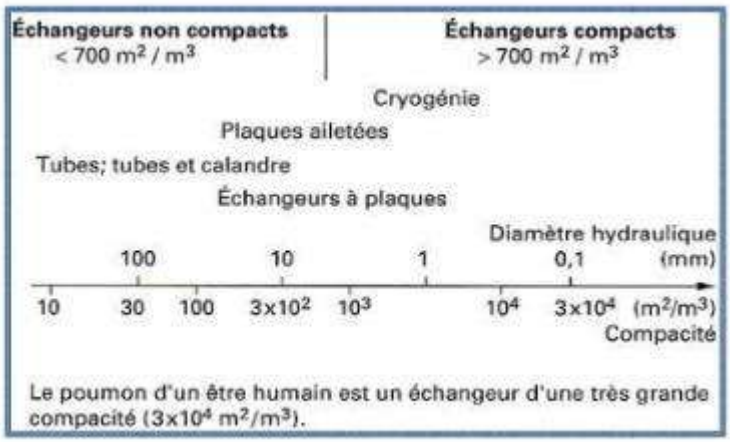


Figure2.14 : Classement suivant la compacité de l'échangeur

2.8.3 Classement selon les sens des écoulements

Echangeur à Co-courant :

Lorsque l'échangeur de chaleur fonctionne à courant parallèle, les deux fluides s'écoulent dans la même direction et entrent dans l'échangeur de chalumeur au même endroit. La température de sorite de la cote froide peut atteindre au maximum la température de sorite de la cote chaude.

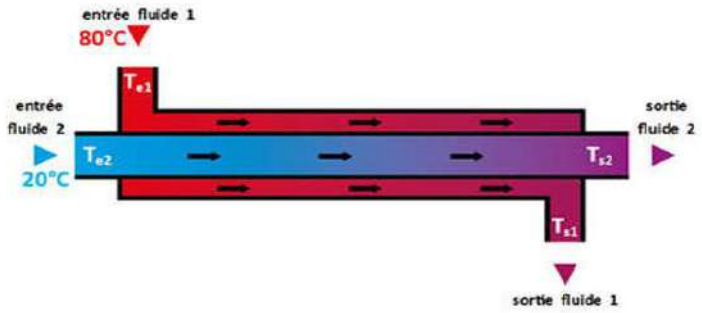


Figure2.15 : Echangeur à co-courant

Echangeur à contre-courant :

En fonctionnement à contre-courant, les deux fluides s'écoulent dans des directions opposées sans se toucher. Le lieu d'entrée du premier fluide est très bien conçu il est possible que la température de sorite soit plus élevée du cote froid que la température de sortie de cote chaude.

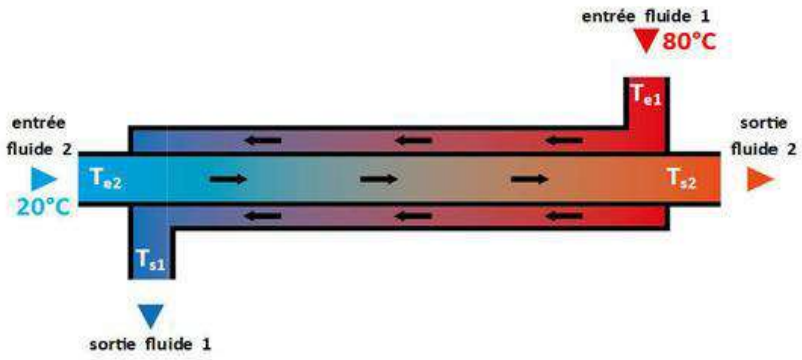


Figure2.16 : Echangeur à contre-courant

Echangeur à courant croisés :

En fonctionnement à courants croisés, les directions des fluides se croisent. Le fonctionnement à courants croisés est surtout utilisé pour assurer une distribution uniforme de la température du deux fluides. Ce type d'échangeur est la plus utilisé dans l'industrie.

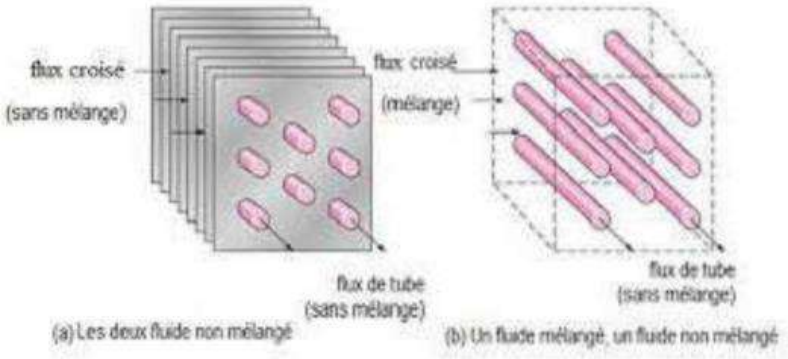


Figure 2.17 : Echangeur à courant croisés

2.8.4 Type de contact

- **Echangeur à contact direct :**

Le type le plus simple comprend un récipient ou canalisation dans lequel les deux fluides sont directement mélanges est atteignent la même température finale.

- **Echangeur à contact indirect :**

Les deux fluides s'écoulent dans des espaces sépares par une paroi.

2.8.5 Classement suivant les types d'échangeur

- **Echangeur sans changement de phase :**

Les échangeurs de chaleur sans changement de phase correspondent aux échangeurs dans les squales 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.

- **Echangeur avec changement de phase :**

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

1- L'un des fluides se condense alors que l'autre se vaporise : ces échangeurs sont rencontrés dans les machines frigorifiques.
2- 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.
3- Le fluide primaire se condense en cédant sa chaleur latente au fluide secondaire plus froid, lequel ne subit pas de transformation d'état.

2.8.6 Classement fonctionnel

Le passage des fluides dans l'échangeur peut s'effectuer avec ou sans changement de phase, suivant le cas, on dit que l'on a un écoulement monophasique ou diphasique. On rencontre alors les différents cas suivants :

- Les deux fluides ont un écoulement monophasique.
- Un seul fluide à un écoulement avec changement de phase, cas des évaporateurs ou des condenseurs.
- Les deux fluides ont un écoulement avec changement de phase, cas des évapore-condenseurs.

2.8.7 Classement suivant le mode de transfert de chaleur

Les trois modes de transfert de chaleur (conduction, convection, rayonnement) sont couplés dans la plupart des applications (chambre de combustion, récupération sur les fumées, etc.), il y a souvent un mode de transfert prédominant. Pour tout échangeur avec transfert de chaleur à travers une paroi, la conduction intervient.

2.8.8 Classement suivant le procédé de transfert de chaleur

Suivant qu'il y a ou non stockage de chaleur, on définit un fonctionnement en récupérateur ou en régénérateur de chaleur :

- Transfert sans stockage, donc en récupérateur, avec 2 ou n passages et un écoulement en général continu .
- Transfert avec stockage, donc en régénérateur, avec un seul passage et un écoulement intermittent, la matrice de stockage étant statique ou dynamique.

2.9 Méthodes de calcul des échangeurs de chaleur

2.9.1 Méthodes analytiques :

Il existe deux méthodes de calcul :

- Méthode de la différence de température logarithmique moyenne, appelée méthode DTLM.
- Méthode du nombre d'unités de transfert, dite méthode NUT, également utilisée en génie chimique pour le transfert de masse.

2.9.1.1. Méthode DTLM

Cette méthode permet de déterminer la surface d'échange S connaissant la puissance échangée et les températures d'entrée et de sortie des deux fluides chaud et froid

Considérons un échangeur tubulaire simple est constitué de deux tubes cylindriques coaxiaux. Un fluide (généralement le fluide chaud) circule dans le tube intérieur, et l'autre dans l'espace annulaire compris entre les deux tubes. Le transfert de chaleur du fluide chaud au fluide froid s'effectue à travers la paroi qui constitue le tube intérieur. Le fluide chaud entre dans l'échangeur à la température T_c^1et en sort à T_c^2. Le fluide froid entre à T_f^1et sort àT_f^2.

Le flux de chaleur peut être évalue de différentes manières :

- Pour toute la longueur de l'échangeur :

$$\emptyset = h \cdot S(T_c - T_f) \quad (2.1)$$

- Le transfert de chaleur dans une portion d'échangeur de longueur dx et une section dA

$$d\phi = h \cdot (Tc - Tf) \cdot ds \quad (2.2)$$

- Pert de chaleur par le fluide chaud :

$$d\phi = -\dot{m}_c c_{P_C} \cdot dT_c \quad (2.3)$$

- Gain de chaleur par le fluide froid :

$$d\phi = \dot{m}_{f \cdot C_{P_f}} \cdot dT_f \quad (2.4)$$

D'après les dernières équations, on peut écrire :

$$\frac{d(T_c - T_f)}{(T_c - T_f)} = -h\left[\frac{1}{\dot{m}_c \cdot c_{p_c}} + \frac{1}{\dot{m}_f \cdot c_{p_f}}\right] dS \quad (2.5)$$

Par intégration, nous obtenons :

$$\text{Log}\left(\frac{(T^2C - T^2f)}{(Tc - Tf)}\right) = -\text{h}.\left(\frac{1}{mc.cpc} + \frac{1}{mf.cpf}\right).\text{s} \quad (2.6)$$

Alors :

$$\phi = h.s((\Delta T)_{Lm} \quad (2.7)$$

Avec :

$$(\Delta T)_{lm} = \frac{\Delta T1 - \Delta T2}{log\frac{(\Delta T1)}{(\Delta T2)}} \quad (2.8)$$

$\Delta T1 et \Delta T2$: Différences de températures des fluides à chaque extrémité.

$(\Delta T)lm$: C'est la différence de température logarithmique moyenne entre les deux fluides sue tout l'échangeur. La surface peut être alors calculée :

$$s = \int \frac{d\phi}{h.(T1 - T2)} \quad (2.9)$$

T1etT2 sont les températures des fluides de part de d'autre de paroi.

Globalement, la surface d'échange ne peut être calculée qu'en admettant les hypothèses suivantes :

- ✓ On définit une température moyenne caractéristique.
- ✓ On suppose constant le coefficient d'échange global h détermine a la température caractéristique d'échange

La surface s'obtient par la relation :

$$s = \frac{\emptyset}{h.F.\Delta TLM} \qquad (2.10)$$

Dans la pratique, on préfère exprimer la DTTM à partir de la différence moyenne logarithmique d'un échangeur à contre-courant calculée avec les mêmes températures d'entrée et de sortie des fluides, multipliée par un facteur correctif Figure [18,19].

Ce facteur correctif F vaut 1 dans le cas d'un échangeur à contre-courant. Le déroulement des calculs peut se faire comme suit (Figure 2. 18)

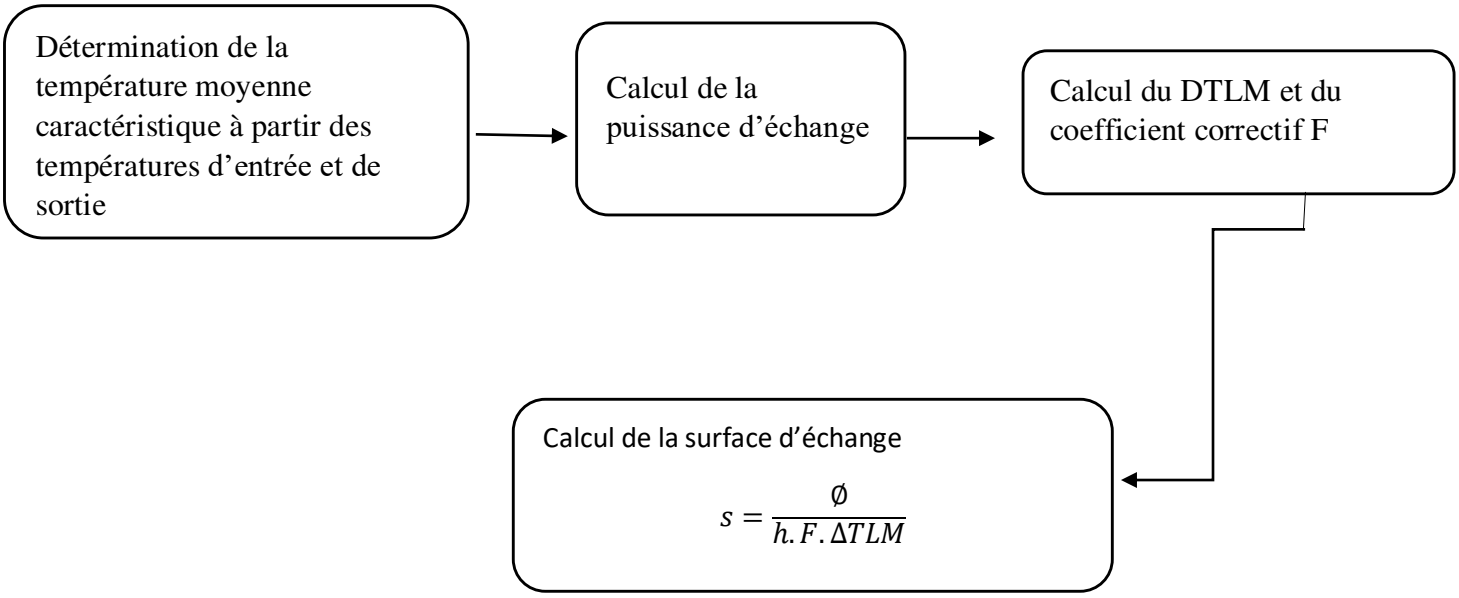


Figure2.18 : organigramme de calcul par la méthode DTLM

2.9.1.2 Méthode NUT

La méthode NUT permet d'apporter une réponse élégante et rapide à la plupart des problèmes qui se posent dans les études d'ingénierie relatives aux échangeurs. Ceux-ci se répartissent en deux grandes classes :

- Des problèmes de conception dans lesquels les températures d'entrée et une température de sortie sont imposées, les dédits étant connus. La question est : sélectionner le modèle d'échangeur le plus approprié, et chercher sa taille, c'est-à-dire la surface d'échange nécessaire pour obtenir la température de sortie désirée.

La méthode à employer consiste à la détermination du NUT puis l'efficacité pour calculer finalement la surface d'échange nécessaire. Le déroulement du calcul peut être schématisé comme suit (Figure II.) :

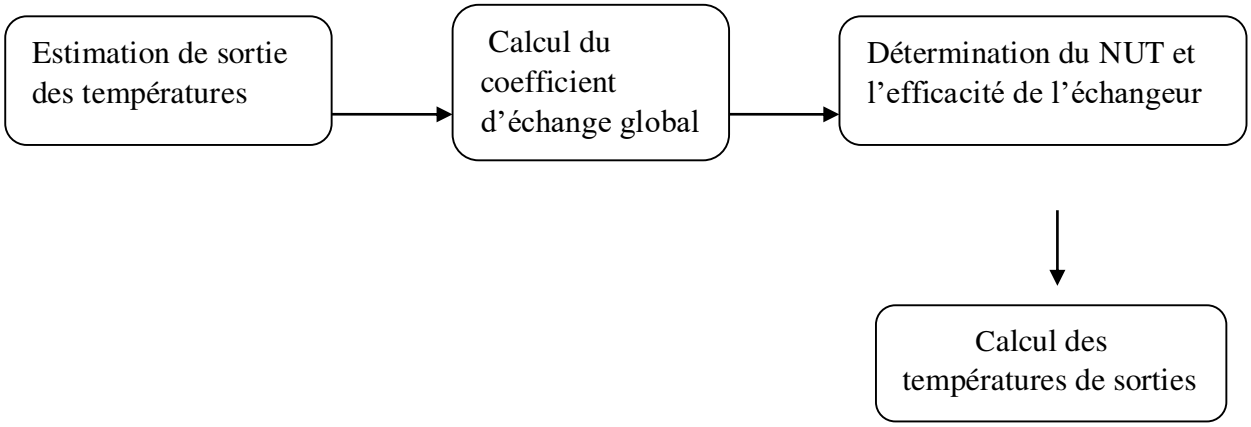


Figure 2.19 : Organigramme de calcul par la méthode NUT

- Des problèmes de performance où les données sont le modèle et la taille de l'échangeur, les débits et les températures d'entrée. Il s'agit alors de déterminer la puissance et les températures de sortie. La méthode permet de calculer NUT à partir des données initiales, d'où l'en déduit la valeur de l'efficacité et les deux températures de sorties

Le Rapport de déséquilibre : c'est le rapport des débits thermiques :

$$R = \frac{(\dot{m}.Cp)_f}{(\dot{m}.Cp)_c} \quad (2.11)$$

- Nombre d'unités de transfert

On appelle nombre d'unités de transfert, le nombre sans dimension donné par :

$$NUT = \frac{h.s}{\dot{m}.Cp} \quad (2.12)$$

Le nombre d'unités de transfert du coté chaud :

$$NUT_c = \frac{h.s}{(\dot{m}_c.Cp_c)} \quad (2.13)$$

Le nombre d'unités de transfert du coté froid

$$NUT_f = \frac{h.c}{(\dot{m}_f.Cp_f)} \quad (2.14)$$

Dans la pratique, seul le NUT correspondant au débit thermique minimum est utile. On le notera NUT sans préciser d'indice :

$$NUT = \frac{h.s}{(\dot{m}.C_p)_{min}} \quad (2.15)$$

L'idée de la méthode du NUT consiste à exprimer l'efficacité η de l'échangeur en fonction des deux paramètres R et NUT pour chaque configuration d'échangeur.

On dispose alors d'une fonction générale indépendante des conditions particulières de température ou de débite qui permet de calculer rapidement les flux mis en jeu sans connaitre les températures de sortie.

Dans ce cas, il suffit de calculer R puis le NUT puisqu'on connait les caractéristiques de l'échangeur et les débits ce qui permet de calculer η à partir de l'équation :

$$\eta = \frac{1-\exp(-NUT(1-R)}{1-R} \quad (2.16)$$

Il ne reste plus qu'à calculer le flux par l'équation :

$$\emptyset = \eta . \emptyset_{max} \quad (2.17)$$

Les températures de sortie seront déduites :

$$\emptyset = \dot{m}_c . C_p \, (T_c^2 - T_c^1) \quad (2.18)$$

$$\emptyset = \dot{m}_f . Cp_f (T_f^2 - T_f^1) \quad (2.19)$$ Le nombre d'unité de transfert NUT pour un problème posé où l'on connait les différentes températures aux bornes de l'échangeur caractérise le service thermique demandé.

Pour une circulation à simple passe, ce nombre est défini par

$$NUT = \frac{h.s}{(\dot{m}.Cp)_{min}} \quad (2.20)$$

Dans le cas où le un nombre d'unité de transfert est trop petit $(NUT < 1)$, l'échangeur est peu efficace, quel que soit le sens de circulation. Dans le cas contraire, si le nombre d'unité de transfert est assez grand (NUT = de 5 à 10), l'échangeur de chaleur est très efficace.

- Relation entre l'efficacité η et NUT

La relation entre l'efficacité et le nombre d'unité de transfert NUT est donnée par l'équation :

$$NUT = -\ln(1 - \eta) \quad (2.21)$$

2.9.2 Méthodes numériques

2.9.2.1 Méthode des volumes finis

C'est une méthode de simulation numérique, ou est une technique de discrétion qui convient les équations de conservation aux dérivées partielles en équations algébriques qui peuvent être les résolues numérique. La technique des volumes finis contrôles consiste dans l'intégration des équations aux dérivées partielles sur chaque volume de contrôle (VC).

Elle repose sue les principes suivants :

- Décomposition de l'échangeur en un certain nombre de volumes de contrôle ou de mailles.
- Sur chacune de ces cellules, un bilan d'énergie et effectue, en supposant la température du fluide constante a l'intérieure du volume.

Les avantages

- Préservation du caractère conservatif des équations sur chaque volume de contrôle (continuité des flux aux interfaces), valable pour n'importe quelle finesse du maillage.
- Mise en œuvre relativement facile.
- Applicable aux géométries complexes.
- Temps de calcule et stockage mémoire raisonnable (matrice de types bandes)

Les inconvénients

- Moins précis que les méthodes spectrales.

2.9.2.2 Méthode des éléments finis

C'est une méthode numérique d'approximation qui cherche une solution approchée à partir des équations exacte. Car les opérateurs différentiels sont discrétisés sur un maillage et leur principe mathématique basé sur les méthodes suivantes :

- Méthode variationnelles
- Méthodes des résidus pondérés.

Le principe fondamental de la méthode des éléments finis réside dans le découpage du domaine d'étude en domaines élémentaires de dimension finie. Sur chacune de ces domaines, appelés éléments finis, la fonction inconnue est approchée par un polynôme dont le degré peut varier d'une application à l'autre mais reste en général faible. Ces éléments, triangules ou quadrilatères, rectilignes ou curvilignes, doivent réalisés une partition du domaine d'étude (ils sont disjoints et leur union recouvre le domaine tout entier) cette partition qui est généralement

appelée découpage ou discrétisation du domaine doit respecter un certain nombre de règles qui permettent d'assurer un bon déroulement de calcul.

Les avantages

- Adapte aux géométries complexes.

Les inconvénients

- Formalisme mathématique plus complique et plus difficile à mettre en œuvre.
- Couteaux en stockage mémoire (matrices pleines) et en temps de calcul (inversion).
- Caractère conservatif des équations non forcement assure.

2.9.2.3 méthodes spectrales

Principe

On remplace, dans les équations modèles l'inconnue ∅ par développements tronque sur des bases de fonctions orthogonales (polynômes chebychv, Legendre, Fourier) et en utilisant leur propriété d'orthogonalité on se ramène à des systèmes d'équations différentielles ordinaires plus simples à résoudre.

Les avantages

- Permet d'obtenir des solutions d'une très grande précision.

Les inconvénients

- Formalisme mathématique plus complexe et mise en œuvre délicate.
- Difficultés pour traiter les géométries complexes et des conditions aux limites non académiques.

2.9.2.4 Méthode des différences finies

Principe

Le domaine de calcul est discrétisé en un nombre fini de points sur lesquels on approche les opérateurs de dérivation des équations modèles par des développements en séries de Taylor tronquées à l'ordre de précision choisie.

Les avantages

- Simplicité de mise en œuvre.
- Encombrement mémoire raisonnable (matrice de type brande) et temps de calcul raisonnable.

Les inconvénients

- Le principe de conservation n'est pas assure après la discrétisation.
- L'apparition d'instabilités numériques.
- Difficulté pour traiter les géométries plus complexes.

2.10 Le nombre de Reynolds

Le nombre de REYNOLDE est le rapport des forces d'inertie aux forces de viscosité donné par la formule suivante :

$$Re = \frac{UL}{V} = \frac{\rho UL}{\mu} \qquad (2.22)$$

Il caractérise le régime d'écoulement des fluides.

L'expérience de REYNOLDES relative à un écoulement dans une conduite cylindrique a mis en évidence deux régimes d'écoulement caractérisés par un paramètre (nombre de REYNOLDES).

Pour les faibles débits d'écoulement, le régime est dit laminaire. Dans le cas contraire, il est turbulent (Figure 2.20)

- **Régime laminaire**

Les filets fluides sont parallèles, les échanges s'effectuent entre les couches qui sont d'origine moléculaire (conduction).

L'écoulement reste laminaire tant que le nombre de REYNOLDS reste inférieur à 2300.

- **Régime turbulent**

L'écoulement est perturbé, le mouvement des particules fluides est aléatoire et tridimensionnel. Le régime d'écoulement est considéré comme turbulent si le nombre de REYNOLDS atteint ou dépasse 10000. Le régime correspondant au nombre de REYNOLES compris entre 2300 et 10000 est dit transitoire.

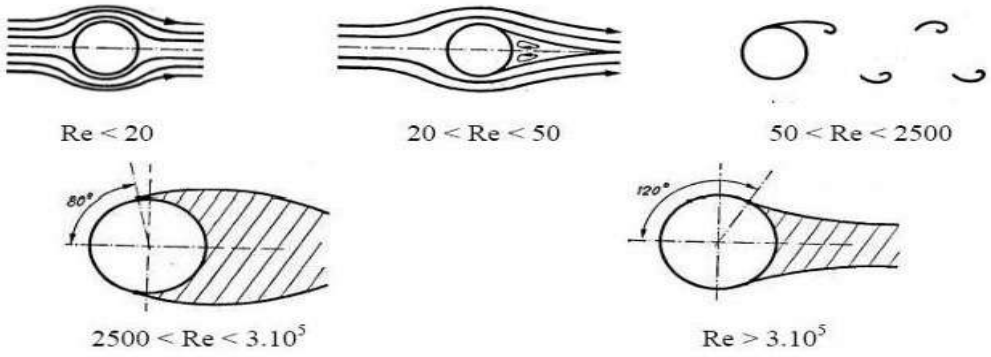


Figure 2.20 : régimes d'écoulement

2.11 Nombre de Nusselt

Ce nombre sans dimension précise l'importance relative du flux de chaleur réellement transmis par convection vis-à-vis d'un flux de chaleur conductife de référence pour le problème.

$$Nu = \frac{h.L}{\lambda_f} = \frac{\phi_{conv}}{\phi_{cond}} \quad (2.23)$$

h : Coefficient d'échange local ou global suivant les cas considérés.

En convection forcée, le nombre de Nusselt est lié au nombre de Reynolds et au nombre de Prandtl.

2.12 Nombre de Prandtl

Il caractérise l'influence de la nature du fluide sur le transfert de chaleur par convection :

$$\boldsymbol{Pr} = \frac{\boldsymbol{C_P.\mu}}{\boldsymbol{\lambda}} \quad (2.24)$$

2. 13 Les avantages et les inconvénients d'un échangeur de chaleur coaxial

2.13.1 Les avantages

- Ces appareils sont intéressants pour les facilites qu'ils offrent pour le démontage et l'entretien
- Ils peuvent fonctionner en contre-courant pur, ce qui permet d'obtenir de bons rendements
- Très bon coefficient de transmission thermique

2.13.2 Les inconvénients

- Puissance limitée
- Risque de « claquement »si le diamètre du trou est petit (d<50 mm) et si la longueur et grande
- Risque de fuites aux raccords
- Flexion du tube intérieur si la longueur est importante
- Surface d'échangeur faible
- Cet échangeur convient aux produits sales, pour des débits faibles, des températures et des pressions élevées pour les liquides visqueux

Chapitre III

Modèle physique et formulation mathématique

Introduction

Ce chapitre expose la description du problème et la simulation par le code de calcul ANSYS FLUENT, essentiellement la procédure qu'il propose pour résoudre les problèmes tels que le nôtre.

La construction des géométries avec génération de maillage et l'incorporation des conditions aux limites sont effectuées par le processeur ANSYS.

3.1 Architecture de logiciel

Ce tout logiciel de CFD, il est composé de trois éléments : le préprocesseur, le solveur et le post processeur.

- La définition du problème à résoudre s'effectue à l'aide du préprocesseur GAMBIT. Il permet de représenter la géométrie du système, de définir le type de condition limites aux frontières du domaine, de spécifier le type de matériau (fluide ou solide). Il fournit aussi la possibilité de discrétiser le domaine.
- Le solveur permet de définir numériquement les conditions opératoires (gravité, pression) dans lesquelles est effectuée la simulation, ainsi que la spécification des conditions aux limites. Enfin, il permet de choisir le processus itératif, en proposant notamment plusieurs schémas numériques pour la discrétisation spatiale et temporelle, et pour le couplage de la vitesse et de la pression. Il offre également une interface permettant de contrôler à tout moment l'état d'avancement des calculs.
- Le post processeur est l'élément qui permet de visualiser la géométrie et le maillage du domaine, mais surtout d'afficher les résultats obtenus. Il est ainsi possible de visualiser les champs du vecteur de vitesse, les champs de pression, de turbulence ainsi que toutes les autres grandeurs calculées sur un segment, une section du domaine ou sur tout le volume. Il offre aussi la possibilité de tracer des courbes et de visualiser les lignes de courant ou la trajectoire de particules.

3.2 Présentation de «Fluent »

FLUENT est un code de calcul pour modéliser les écoulements des fluides et les transferts thermiques dans des géométries complexes. Il peut résoudre des problèmes d'écoulement

avec des mailles structurés ou non structurées, qui peuvent être produites pour des géométries complexes avec une facilité relative. Les types de mailles supportées sont des mailles, en 2D, triangulaires ou quadrilatérales, ou en 3D (tétraédriques, hexaédriques et pyramidales) et les mailles mélangées (hybrides). FLUENT est écrit en langage de programmation C et utilise pleinement la flexibilité et la puissance offertes par ce langage (allocation de la mémoire dynamique). En outre, il utilise une architecture qui lui permet de s'exécuter en tant que plusieurs processus simultanés sur le même poste de travail ou sur des postes séparés, pour une exécution plus efficace. FLUENT s'utilise à travers une interface graphique. L'utilisateur expérimenté peut adapter ou augmenter aux besoins l'interface en écrivant des macros et des fonctions de menu afin d'automatiser certaines procédures. Ainsi, à titre non exhaustif, il a les capacités de modélisation suivantes :

- Ecoulements 2D ou 3D.
- Etats permanents ou transitoires.
- Ecoulements incompressibles ou compressibles en incluant toute la vitesse de régimes (subsoniques, transsoniques, supersoniques et hypersoniques).
- Ecoulements non visqueux, laminaires ou turbulents.
- Ecoulements Newtonien ou non.
- Transfert de chaleur forcé par conduction, par convection ou radiatif.
- Ecoulements avec changements de phases.
- Ecoulements en milieux poreux.

Ce code de calcul emploie la méthode des volumes finis comme procédé de discrétisation. Les équations intégrales qui gouvernent l'écoulement, tels que l'équation de continuité, l'équation de conservation de la masse, celle de l'énergie ainsi que d'autres scalaires, comme la turbulence, sont résolues par cette méthode statistique. En utilisant cette technique basée sur un volume de contrôle, FLUENT traite les étapes suivantes :

- Division du domaine en volumes de contrôle discrets en utilisant une grille (maillage) de calcul
- Intégration des équations gouvernantes sur les volumes de contrôle individuels afin de construire les équations algébriques pour les variables discrètes dépendantes, (les inconnues), telles que les vitesses, pression, température...

- Linéarisation des équations discrétisées et résolution du système d'équations linéaires résultant pour pouvoir mettre à jour les valeurs des variables dépendantes (inconnues).

3.3 Procédure sous « Fluent »

Au chargement du maillage sous FLUENT, avant tout, nous devons mettre la géométrie à l'échelle (millimètre, centimètre ou mètre). Le logiciel permet aussi de réordonner les nœuds, les surfaces et les cellules en mémoire, de telle façon qu'il ait 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.

3.4 Création de la géométrie

On crée un projet « fluide flow (fluent) » à partir de la liste « analysais système ». Le projet est composé de différentes cases associées aux différents étapes réalisées chacune avec un logiciel de la suite ANSYS. La figure (3.1) présente la fenêtre principale de WorksBench à partir de laquelle on crée et on choisit le type de projet.

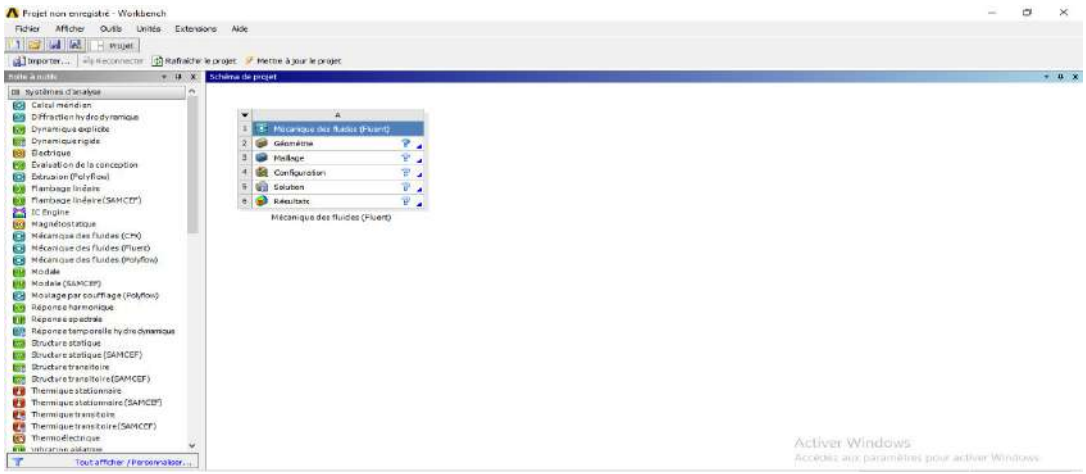
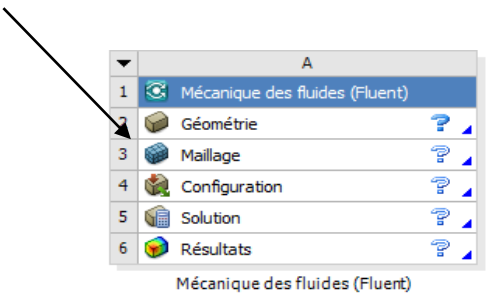


Figure 3.1 : Création de la simulation sous WorksBench

Puis on va faire double clic sur le mot **géométrie :**



3.5 Le maillage

La création de maillage se fait sous le progiciel ANSYS MESHING. Ce manilleur propose des solutions étendues pour les géométries les plus compliquées et permet d'importer des géométries en 2D ou 3D et de construire le maillage. Il génère des fichiers avec une extension msh pour ANSYS FLUENT. Il regroupe trois fonctions essentielles.

- Lecteur de la géométrie du problème
- Maillage et vérification du maillage
- Définition des frontières (type de condition aux limites) et définition des domaines de calcul

3.5.1 Le choix de la méthode

- La géométrie
- Le problème physique
- La performance de la machine

3.6 Type de maillages

Le maillage d'un domaine est donc un compromis entre précision recherchée et lourdeur de calcul. Les mailles primitives sont des tringles ou des quadrilatères en 2D. En 3D, on peut utiliser des tétraèdres, prismes, pyramides, (voir figures 3.1)

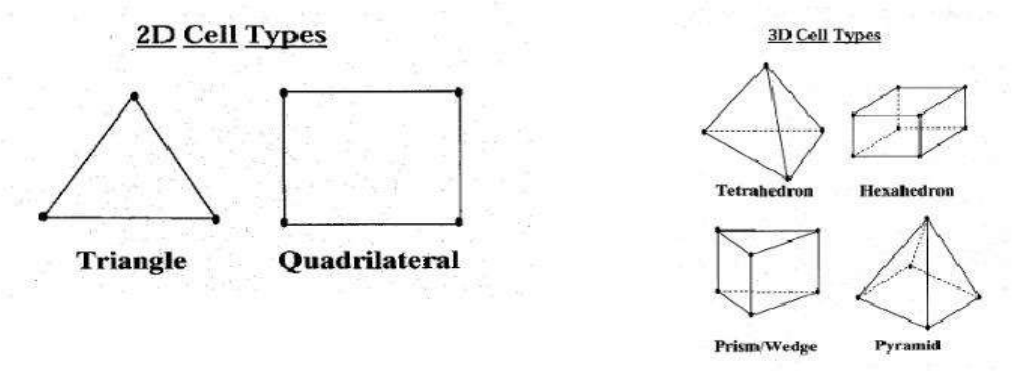


Figure 3.2 : Type de maillages, 2D et 3D

3.6.1 Maillage structuré

Pour les géométries simples (écoulements des cylindres, cubes, etc.), on peut se contenter d'un maillage structuré tel que ceux représentés sur la figure ci-dessous, (voir figure 3.2)

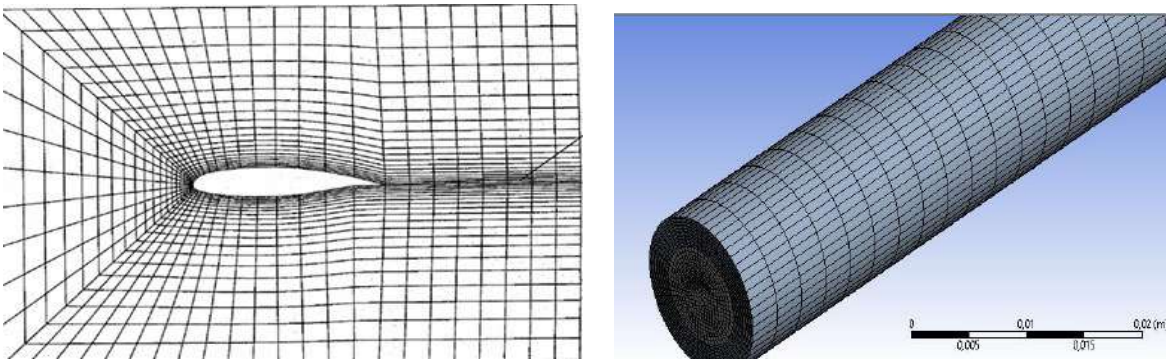


Figure 3.3 : Maillage structuré

3. 6.2 Maillage non-structuré

Pour une géométrie plus complexe, un maillage non- structurée tel que celui de la (figure 3.3) pourra être envisagé.

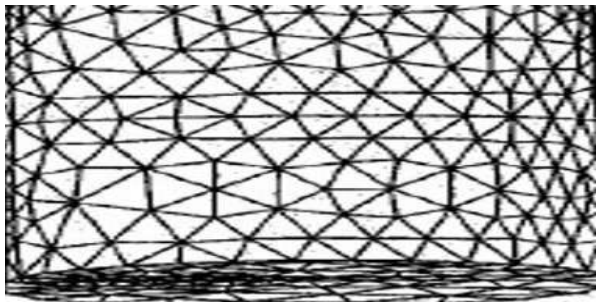


Figure 3.4 : Maillage non- structuré

3.6.3 Maillage hybride

Une combinaison des deux maillages structuré et non structuré est appelé maillage hybride, (voir figure 3.4)

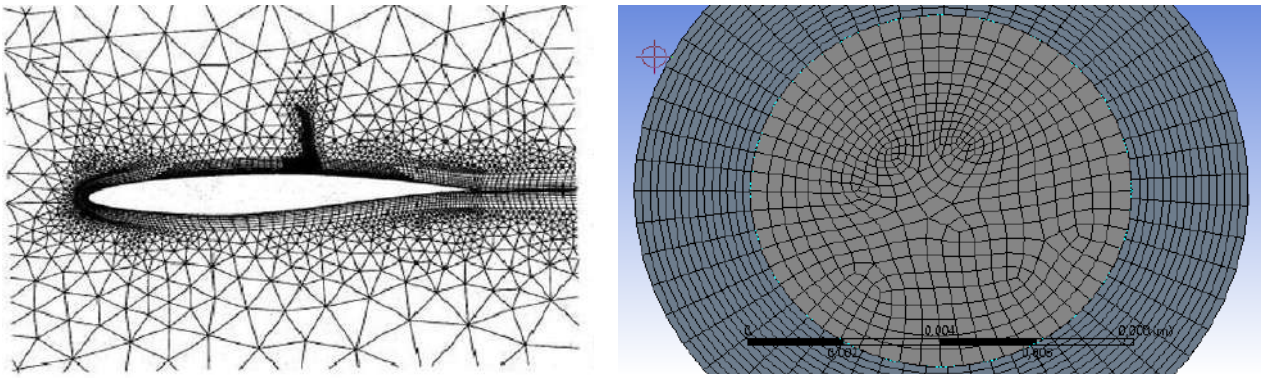


Figure 3.5 : Maillage hybride

3.7 Qualité de maillage

La génération d'une très bonne qualité de maillage est essentielle pour l'obtention d'un résulta de calcul précis, robuste et signifiant.

Une bonne qualité de maillage repose sur les éléments suivants :

- Minimisation des éléments présentant des distorsions
- Une bonne résolution dans les régions présentant un fort gradient (couches limites ondes de choc…)

3.8 Modèles de turbulence

Il existe différents niveaux de modèles qui se distinguent par leur degré de complexité ; c'est-à-dire par le nombre d'équations de transport supplémentaires introduites pour les quantités turbulentes pour fermer le problème : on parle ainsi de modèles turbulent à zéro, une ou deux équations. Il existe également des méthodes de résolution plus complexes et plus onéreuses en ressources informatiques (simulation directe, large-Eddy-simulation). Les modèles de turbulence plus utilisés à l'heure actuelle dans les codes CFD sont les modèles à 2 équations, et plus particulièrement le modèle de turbulent dit k-Ɛ standard qui est de loin le plus répandu.

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t}+\frac{\partial(ku_i)}{\partial x_i}=\frac{\partial}{\partial x_i}\left[\frac{\mu_t}{\sigma_k}\frac{\partial k}{\partial k_j}\right]+2\mu_t E_{ij}E_{ij}-\rho\varepsilon \qquad (3.1)$$

$$\frac{\partial(\rho\varepsilon)}{\partial t}+\frac{\partial(\rho\varepsilon u_i)}{\partial x_i}=\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\frac{u_t}{\sigma_\varepsilon}\frac{\partial_\varepsilon}{\partial x_j}\right]+C_{1\varepsilon}\frac{\varepsilon}{k}2\mu_t E_{ij}E_{ij}-C_{2\varepsilon}\rho\frac{\varepsilon^2}{k} \qquad (3.2)$$

- Cette simulation numérique a été réalisée à travers un modèle turbulent appelé k-ε standard.

  Trois modèles de turbulence sont disponibles dans Fluent :

  - Le modèle k-ε
  - Le modèle RSM
  - Le modèle RNG k-ε

3.8.1 Modèle k-ε:

3.8.1.1 Modèle standard k-ε

Le modèle standard k-ε a été développé par Launder et Spalding, en 1972. Ce modèle est basé sur deux équations de transport : une équation pour le transport de l'énergie cinétique turbulente k et une autre pour sa dissipation visqueuse ε.

- **Equation d'énergie cinétique turbulente k**

L'équation de d'énergie cinétique turbulente k est donnée par :

$$\left(\frac{\partial \rho \mathrm{uk}}{\partial \mathrm{x}}+\frac{\partial \rho \mathrm{vk}}{\partial \mathrm{y}}+\frac{\partial \rho \mathrm{wk}}{\partial \mathrm{z}}\right)=\frac{\partial}{\partial \mathrm{x}}\left[\Gamma_{\mathrm{K}} \frac{\partial \mathrm{k}}{\partial \mathrm{x}}\right]+\frac{\partial}{\partial \mathrm{y}}\left[\Gamma_{\mathrm{K}} \frac{\partial \mathrm{k}}{\partial \mathrm{y}}\right]+\frac{\partial}{\partial \mathrm{z}}\left[\Gamma_{\mathrm{K}} \frac{\partial \mathrm{k}}{\partial \mathrm{z}}\right]+\mathrm{G}_{\mathrm{K}}-\rho \varepsilon \tag{3.3}$$

- **Equation du taux de dissipationε**

L'équation de la dissipation d'énergie cinétique turbulente ε est donnée par :

$$\left(\frac{\partial \rho u \varepsilon}{\partial x}+\frac{\partial \rho v \varepsilon}{\partial y}+\frac{\partial w \varepsilon}{\partial z}\right) \tag{3.4}$$

$$=\frac{\partial}{\partial x}\left[\Gamma_{\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x}\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left[\Gamma_{\varepsilon} \frac{\varepsilon}{\partial y}\right]+\frac{\partial}{\partial z}\left[\Gamma_{\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial z}\right]+\frac{\varepsilon}{k} \mathrm{C}_{\varepsilon 1} \mathrm{C}_{k}-\mathrm{C}_{\varepsilon 2 \rho} \frac{\varepsilon^{2}}{k}$$

Où ; $\Gamma_{\varepsilon,k}=\Gamma_{\varepsilon}+\left(\mu+\frac{\mu_{t}}{\sigma_{\varepsilon,k}}\right)$

Dans ce modèle, la viscosité turbulente est modélisée par la formule suivante :

$$\mu_{t}=\mathrm{C}_{\mu} \rho \frac{K^{2}}{\varepsilon} \tag{3.5}$$

Le terme G_K, représente la production de l'énergie cinétique turbulente définie par :

$$G_{k}=\mu_{t}\left[\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)+\left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)+\left(\frac{\partial w}{\partial z}\right)\right]\left[\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)+\left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)+\left(\frac{\partial w}{\partial z}\right)\right] \tag{3.6}$$

3.8.1.2 Modèle RNG k-ε

Le modèle k-ε RNG (group de normalisation) est de la même forme que le modèle standard sauf que les coefficients sont différemment spécifiés CHOUDHURY, (1993).

$$\rho u_i \frac{\partial k}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i}\left(\alpha_p(\mu + \mu_t)\frac{\partial k}{\partial x_i}\right) + \mu_t S^2 - \rho\varepsilon \tag{3.7}$$

$$\rho u_i \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i}\left(\alpha_p(\mu + \mu_t)\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i}\right) + \mathrm{C}_{\varepsilon 1}\frac{\varepsilon}{k}\mu_t S^2 - \mathrm{C}_{\varepsilon 2}\rho\frac{\varepsilon^2}{k} - R \tag{3.8}$$

3.8.1.3 Modèle Réalisable k-ε

Le modèle réalisable k-ε est la version non linéaire du modèle k-ε. Il est proposé par shih et al, (1995) afin d'améliorer les déficits du modèle standard k-ε. Ce modèle maintient les deux équations du modèle k-ε, mais élargit également le modèle par l'intégration des effets additionnels pour expliquer l'anisotropie des contraintes de Reynold.

3.9 Equation gouvernantes

Les équations de la conservation peuvent se généraliser sous une seule forme d'équations aux dérivées partielles.

Si on note toute variable générale mesurée par le symbole ʇ, L'équation différentielle générale s'écrie :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\emptyset + div(\rho V\emptyset) = div\left(\Gamma_\emptyset \overrightarrow{grad}\,\emptyset\right) + S_\emptyset \tag{3.9}$$

Ou $\Gamma_\emptyset$: EST LE COEFFCIENT DIFFUSION.

V : est vecteur vitesse.

$S_\emptyset$: Et le terme source.

Les quatre termes de l'équation (3.9) représentent :

$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\emptyset)$: Terme transitoire d'accumulation

$div(\rho V\emptyset)$: Terme convectif

$div(\Gamma_\emptyset \overrightarrow{grad}\emptyset)$: Terme diffusif

Type d'équation ∅	∅	Γ	S
Equation d'énergie	T	Λ	0
Equation de la quantité de chaleur suivant X	U	M	$-\frac{\partial p}{\partial x}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\mu\frac{\partial u}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}(\mu\frac{\partial v}{\partial y})$
Equation de continuité	V	M	$-\frac{\partial p}{\partial y}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\mu\frac{\partial u}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}(\mu\frac{\partial v}{\partial y})$
Equation de la quantité de chaleur suivant Y	1	0	0

Tableau 3.1 : Différentes désignations de ϕ, Γ, S

On peut considérer que les équations suivantes décrivent le phénomène d'écoulement à l'intérieur d'un échangeur de chaleur :

3.10 Equation de continuité

$$\frac{\partial \mathrm{u}}{\partial \mathrm{x}}=\frac{\partial \mathrm{v}}{\partial \mathrm{y}}=0 \tag{3.10}$$

Ou u et v étant les composantes du champ de vitesse (u, v) dans les directions axiale (ox) et radiale (oy) respectivement.

3.11 Equation de quantité de mouvement

Suivant x :

$$u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x}+v(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}) \tag{3.11}$$

Suivant y :

$$u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y}+v(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}) \tag{3.12}$$

3.12 Equation d'énergie

$$\rho \mathrm{C_P}(\mathrm{u}\frac{\partial \mathrm{T}}{\partial \mathrm{x}}+\mathrm{v}\frac{\partial \mathrm{T}}{\partial \mathrm{y}})=\lambda_{\mathrm{f}}(\frac{\partial^2 \mathrm{T}}{\partial \mathrm{x}^2}+\frac{\partial^2 \mathrm{T}}{\partial \mathrm{Y}^2}) \tag{3.13}$$

L'écoulement de fluide est décrits par le système d'équations aux dérivées partielles qui an l'équation de continuité, de quantité de mouvement et d'énergie qu'il convient de résoudre pour connaitre les caractéristiques du champ thermique et du champ de vitesse.

3.13 Méthode de travail

3.13.1 Natice d'utilisation de WorksBench

Ce logiciel est utilisé pour définir et créer le modèle d'étude (surface ou volume) et de le mailler suivant le bon vouloir de l'utilisateur. Les différentes étapes d'utilisation de WorksBench sont définies dans la notice suivant.

Vue globale : Après avoir lancé le logiciel, l'interface d'utilisation apparait.

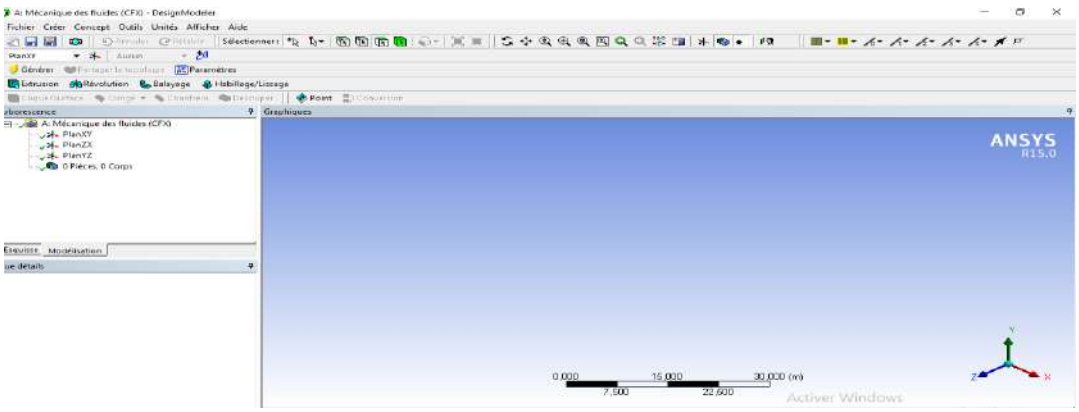


Figure 3.6 : Interface de WorksBench

3.13.2 Définir la géométrie

Notre géométrie est construite sur WorksBench 15.0 en 3D, vu sa complexité on a choisi de l'établir point par point, relier entre eux dans différentes directions les lignes sont créés, ensuite les faces sont formées, pour obtenir en dernier les volumes, qu'on a regroupé sous trois groupes.

Objectifs :

- Création d'un projet WorksBench
- Démarrer Design Modeler
- Créer une esquisse (sketch)
- Création d'une géométrie 3D
- Mise à jour et modification de la géométrie

- Navigation GUI (Graphical user interface)
- Creation de maillage.

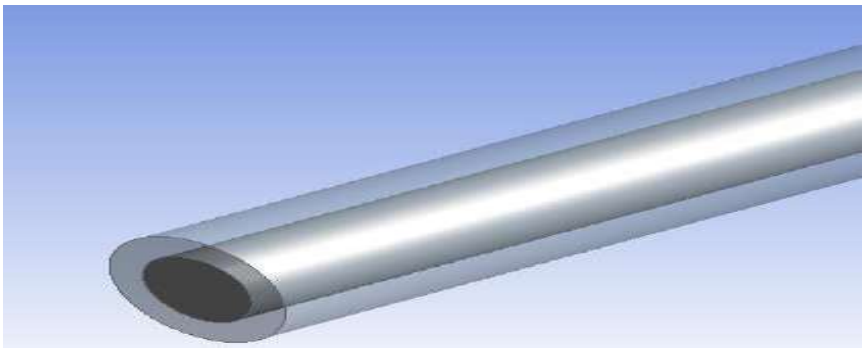


Figure 3.7 : géométrie de l'échangeur coaxial

3.13.2.1 Dimensions de l'échangeur de chaleur

Caractéristiques	Tubes
Diamètre externe (m)	$12.7.10^{-3}$
Diamètre interne (m)	$7.9.10^{-3}$
Longueur (m)	1000.10^{-3}

Tableau 3.2 : Dimension de l'échangeur de chaleur

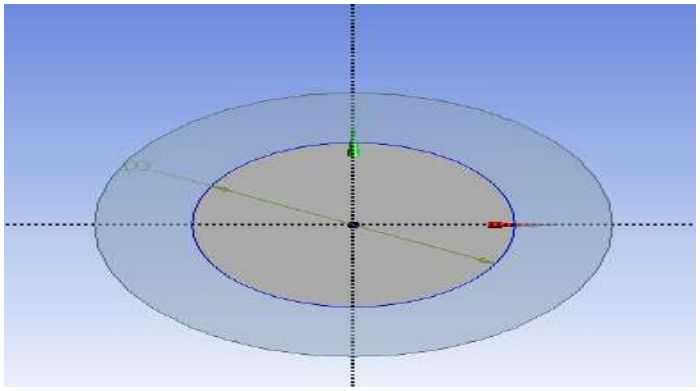


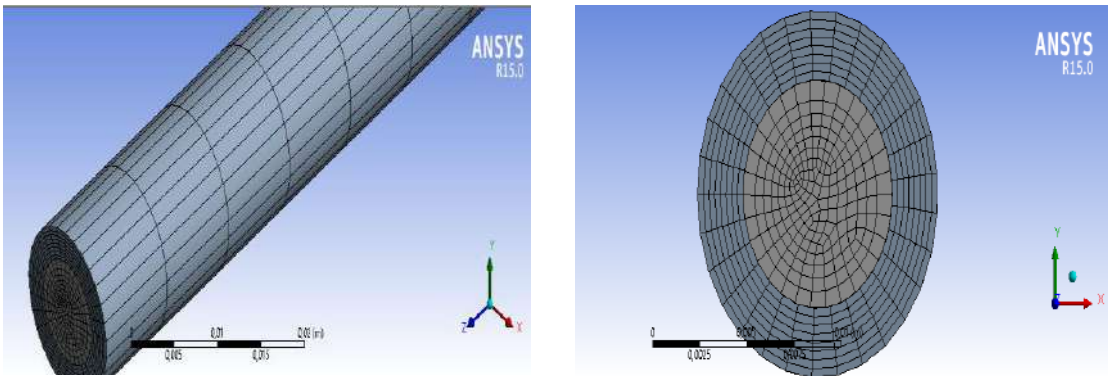
Figure 3.8 : caractéristiques de la géométrie

3.13.3 Le maillage utilisé

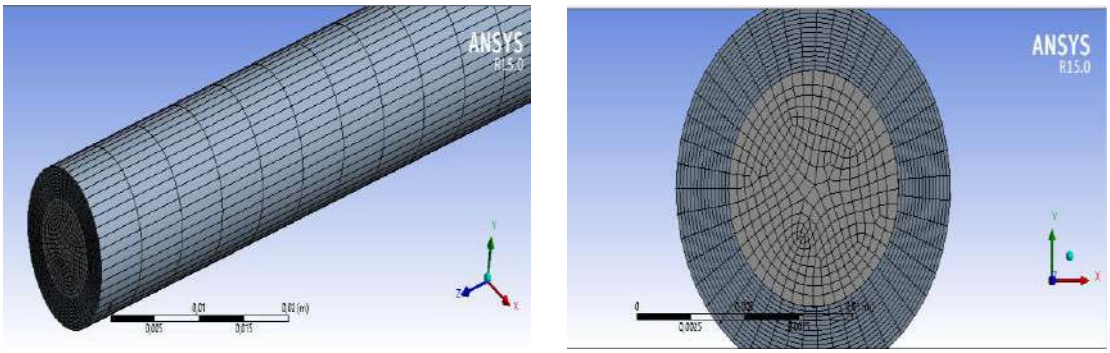
La spécification du maillage dépend de la complexité de la géométrie et du code de calcul FLUENT qui adopte le système cartésien. Le maillage tétraédrique structuré a été adopté pour le tube central et le maillage hexaédrique structuré a été adopté pour l'espace annulaire. Pour une meilleure précision de résultat, un test de dépendance de maillage doit être effectué pour différent nombres de cellules.

3.13.3.1 Les profils de différents maillages

Maillage 01



Maillage 02



Maillage 03

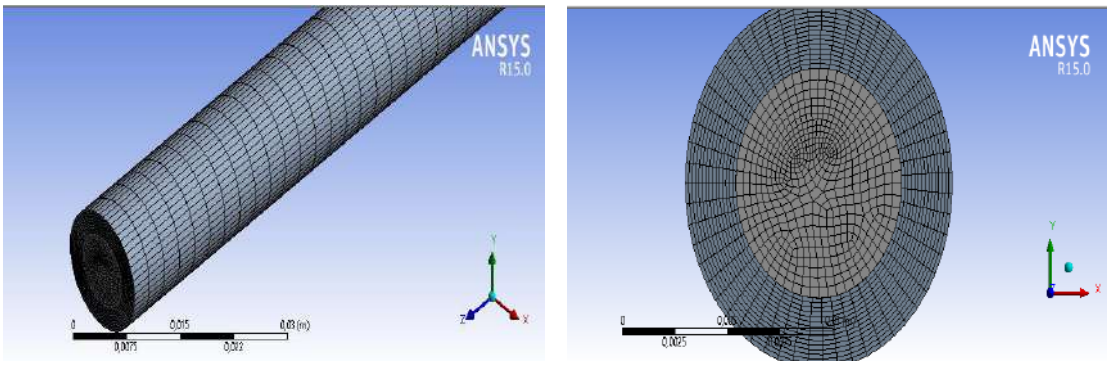


Figure 3.9 : échangeur coaxial maillage de différents profils

3.13.3.2 Nombre de Nœuds et Elément

	Nombre de Nœuds	Nombre d'Eléments
Maillage01	254395	234880
Maillage02	629008	584776
Maillage03	1220662	1154090

Tableau 3.3 : Nombre de Nœuds et Elément

3.13.4 Simulation

Le principe but de ce mémoire est d'étudier un échangeur Coaxial, dans cette étude deux fluides séparés à différentes températures, l'un s'écoule « fluide chaud » dans le tube intérieur et l'autre « fluide froid » à travers le tube extérieur.

3.13.4.1 Les déférentes données

Géométrie	**Cylindrique**
Régime de l'écoulement	**Turbulent**
Vitesse du fluide froid (m/s)	**0.4**
Vitesse du fluide chaud (m/s)	**0.3**
Diamètre hydraulique froid (mm)	**12.7**
Diamètre hydraulique chaud (mm)	**7.9**
Fluide froid	**Eau**
Fluide chaud	**Eau**

Tableau 3.4 : Les déférentes données

3.13.4.2 Conditions aux limites

La spécification des conditions aux limites est effectuée selon le problème traité. A notre quel espace maillé est pris par défaut comme fluide.

Région	**Géométrie (échangeur cylindrique)**
E entrées	**Vélo city in let**
Sortie	**Out let**
Paroi	**Wall**

Tableau 3.5 : condition limite

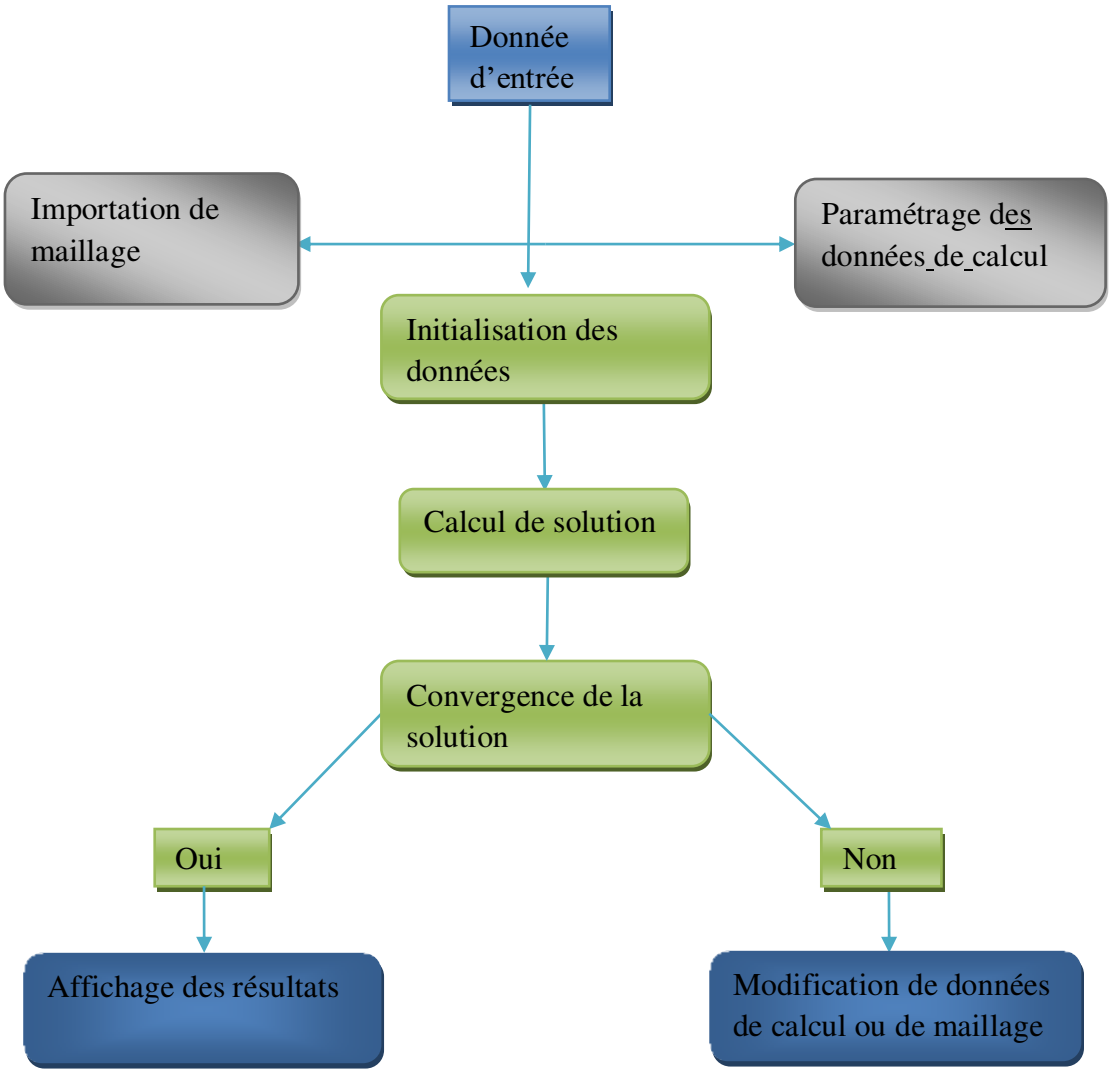
Pour cette étude, nous avons choisis les données suivantes pour les fluides chaude et froid :

	Eau froid	Eau chaud
Température entrée	288 k	320.2 k
vitesse	0.4 m/s	0.3 m/s
Débit	0.15 kg/s	0.15 kg/s
Densité	998 kg/m^3	991 kg/m^3
Viscosité	959*10^{-6} Pa.s	631* 10^{-6} Pa.s
K	606* 10^{-6} W/m. k	63410^{-6} W/m. k
Cp	4179 kJ/kg. k	4179 kJ/kg. k

Tableau 3.6 : les donnes de fluide chaud et froid

3.14 Conclusion

Sous fluent plusieurs séquences ont effectué dans le but sélectionner les paramètres du modèle de calcule et affichage des résultats. Ces étapes sont présentées dans la figure ci-dessous.



Chapitre IV
Résultats et discussions

Introduction

Dans ce chapitre, on a réalisé une simulation numérique d'un écoulement tridimensionnel turbulent de l'eau dans un échangeur coaxial. Celui-ci est du type à double tuyau avec de l'eau chaude coulant dans le tube central tandis que l'eau de refroidissement coule dans l'espace annulaire.

Et dans ce travail, on a utilisé le modèle mathématique K-ε à l'aide des volumes finis au sein du logiciel ANSYS Fluent, qui permet de résoudre des systèmes d'équations algébriques, et des équations différentielles et des équations à variables complexes. On s'intéresse dans ce chapitre à l'analyse de l'influence de la pression et la température

4.1 Validation des résultats

4.1.1 Effet de maillage

Les figures (4.1, 4.2, 4.3 et 4.4) représentent l'effet de maillage sur les profils de la température dans différant stations (Z=0.1, Z=0.5, Z=0.9 et Z=1m). Montrant les répartitions de la température de long de l'échangeur coaxial permettent de voir et d'analyse le transfert de chaleur du fluide chaude vers le fluide froide et de température de sortie dans les deux fluide

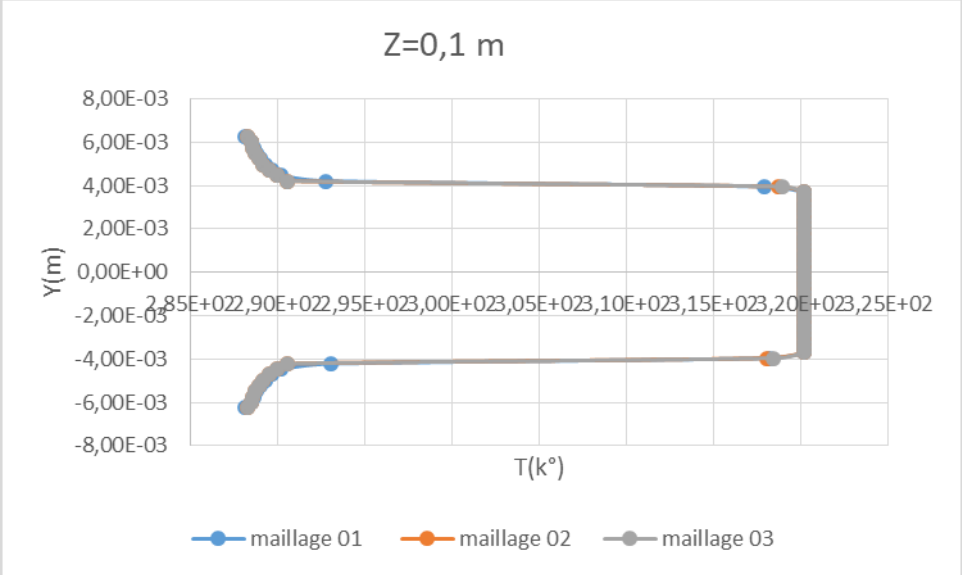


Figure 4.1. Effet de maillage sur les profils de la température pour Z=0.1m

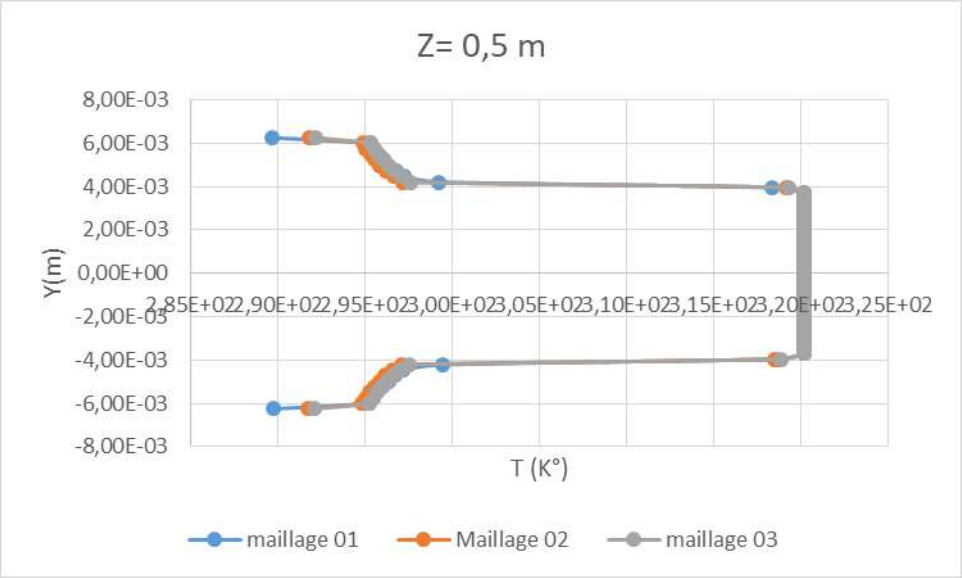


Figure 4.2 Effet de maillage sur les profils de la température pour Z= 0.5

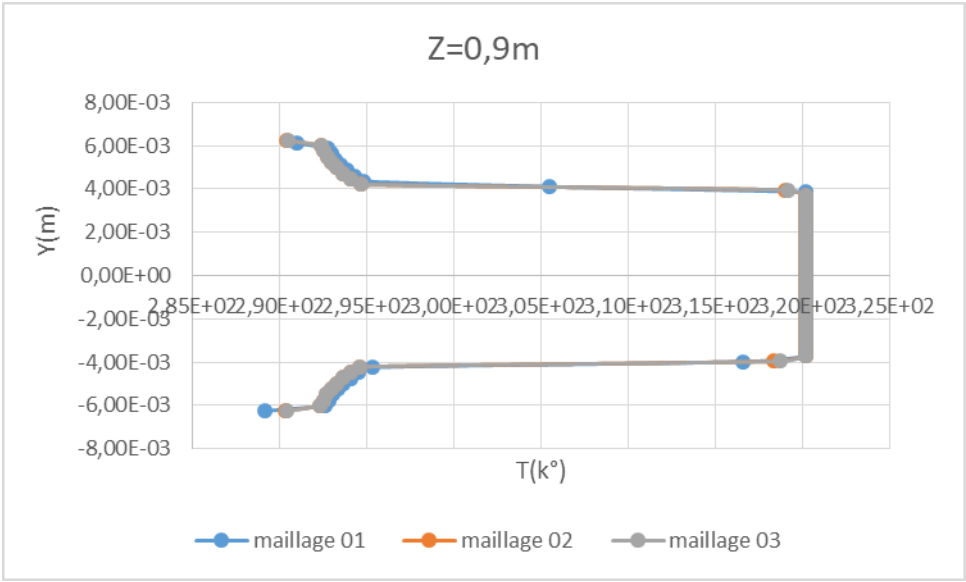


Figure 4.3 effet de maillage sur les profils de la température pour Z= 0.9

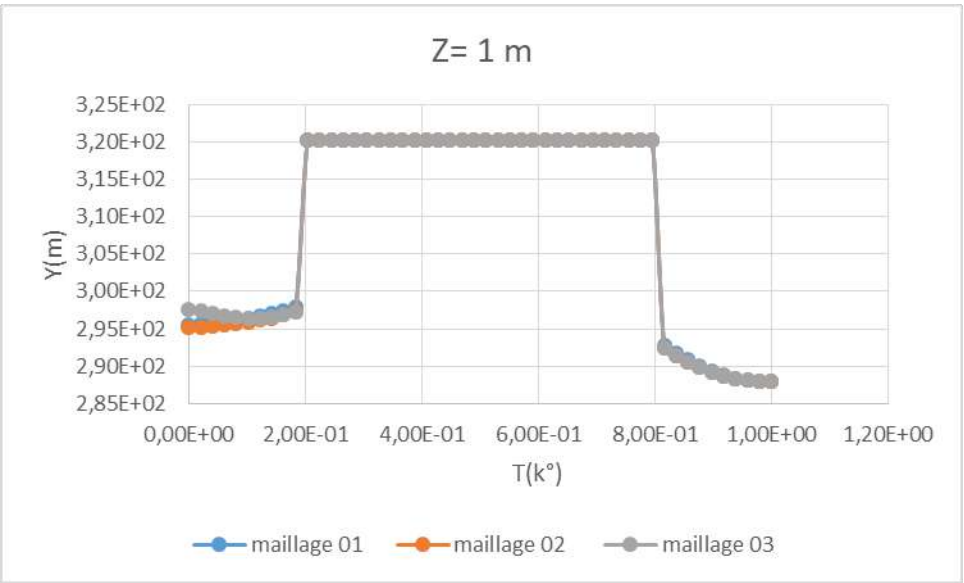


Figure 4.4 effet de maillage sur les profils de la température pour Z =1 m

Les figures (4.5, 4.6, 4.7, 4.7, 4.8) représentant l'effet de maillage sur les profils de vitesse pour plusieurs stations.

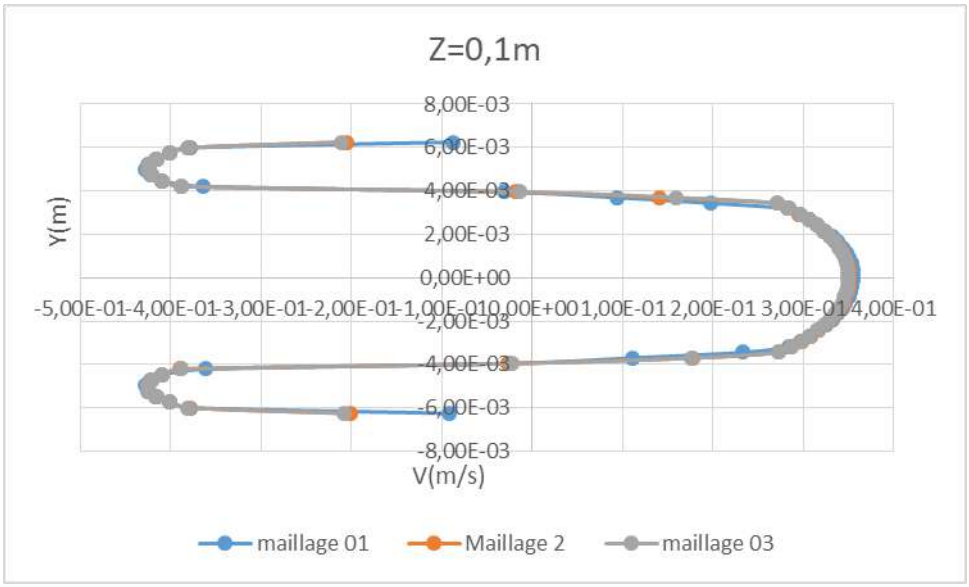


Figure 4.5 Effet de maillage sur les profils de la vitesse pour Z=0.1m

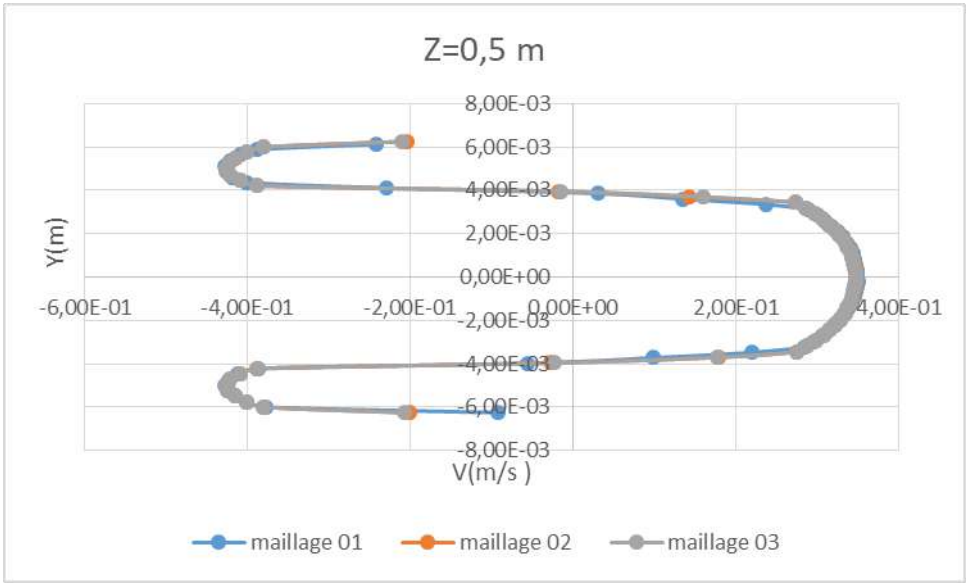


Figure 4.6 Effet de maillage sur les profils de la vitesse pour Z=0.5m

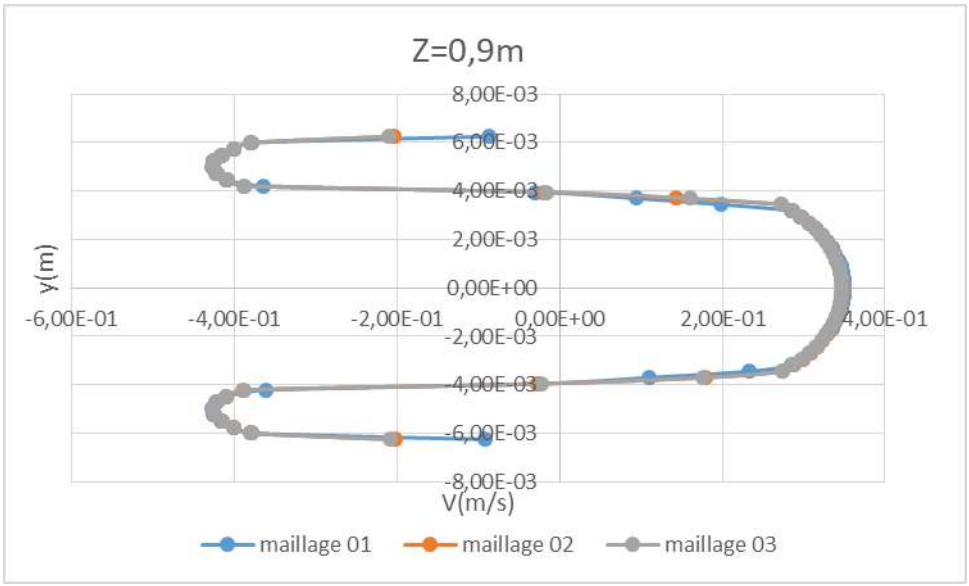


Figure 4.7 Effet de maillage sur les profils de la vitesse pour Z=0.9m

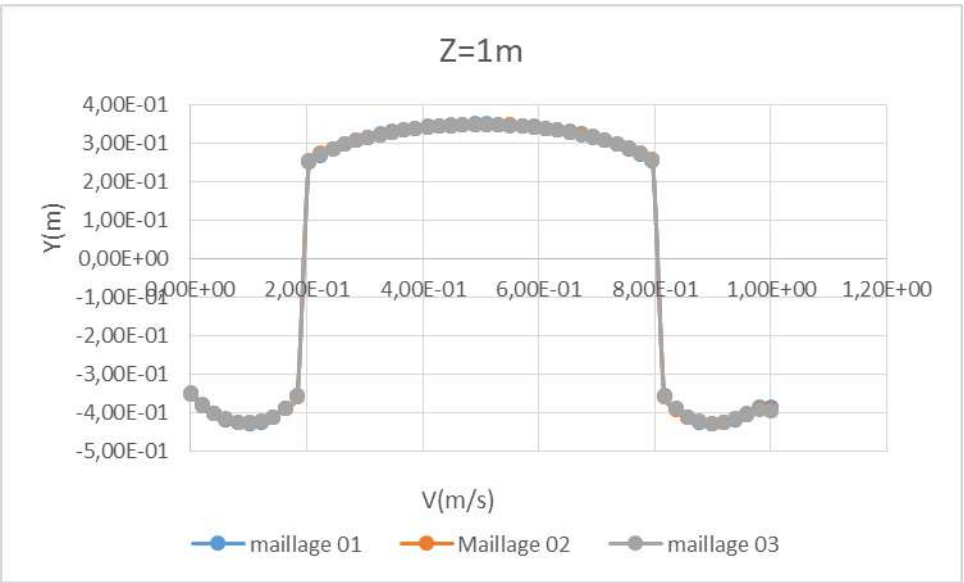


Figure 4.8 effet de maillage sur les profils de la vitesse pour Z= 1m

D'après ces résultats trouver pendants l'exécution de ce programme vont être présente sous forme de graphe et tableau, ceci nous permet de mieux distinguer l'évolution de déférents paramètre (variation de Z(m) et de T (K°)) et ont remarquant que les résultats ou bien les courbes de trois maillage sont identique et pour cela ont a choisi le maillage 2 pour traiter notre thème.

4.2 Les conteurs de température

La figure (4.9) représente le champ de température dans un échangeur de chaleur coaxial pour différant maillage (trois maillage) et différant station, on constate que la température d'entrée de fluide chaud dans le tube central est indiquée en rouge (valeur maximale) puis elle commence à diminuer est indiquée par le changement progressif de couleur (orange, vert et bleu). Par contre la température du fluide froid dans l'espace annulaire à l'entrée est indiquée en bleu (valeur minimale) puis elle commence à augmenter ce qui indique dans les conteurs. Et ce changement de couleur de température revient ou bien relier par le changement de température de fluide chaude et froide c'est-à-dire la température du fluide chaude est diminué par contre la température de fluide froide augmente.

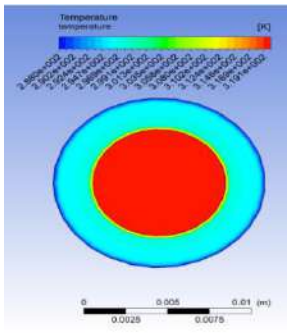
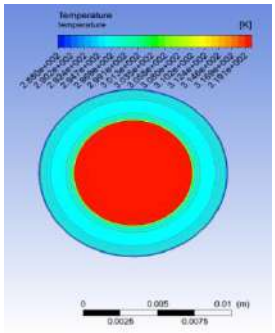
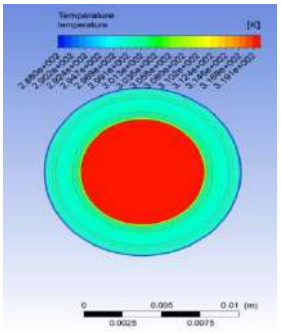
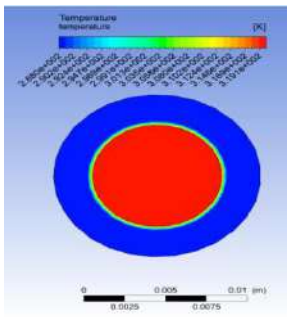
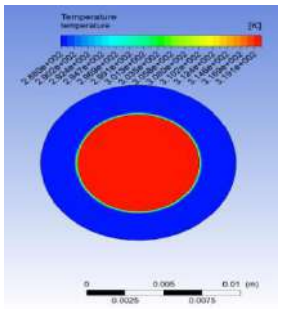
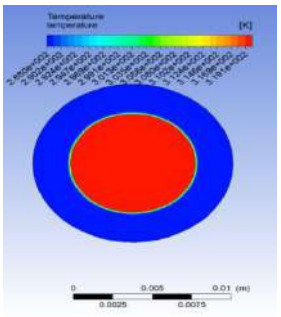
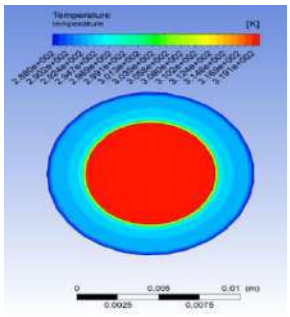
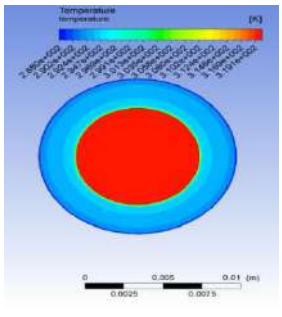
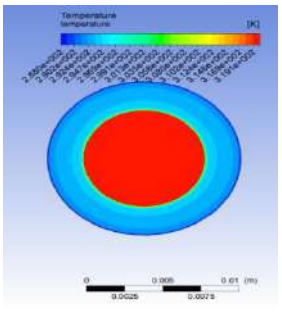
Température	Maillage01 (254395N)	Maillage02 (629008N)	Maillage03 (1220662N)
Z=0m			
Z=1m			
Z=0.5m			

Figure 4.9 : les champs de la température dans l'échangeur de chaleur pour les différents maillages dans déférente stations (Z=0, Z=0.5 et Z=1 m).

La figure (4.10) représente le **c**hamp de vitesse dans l'échangeur de chaleur pour différant maillage dans différant stations (Z=0, Z=0.5 et Z=1m). On observe que la vitesse augmente en grandeur à l'entrée de l'échangeur.

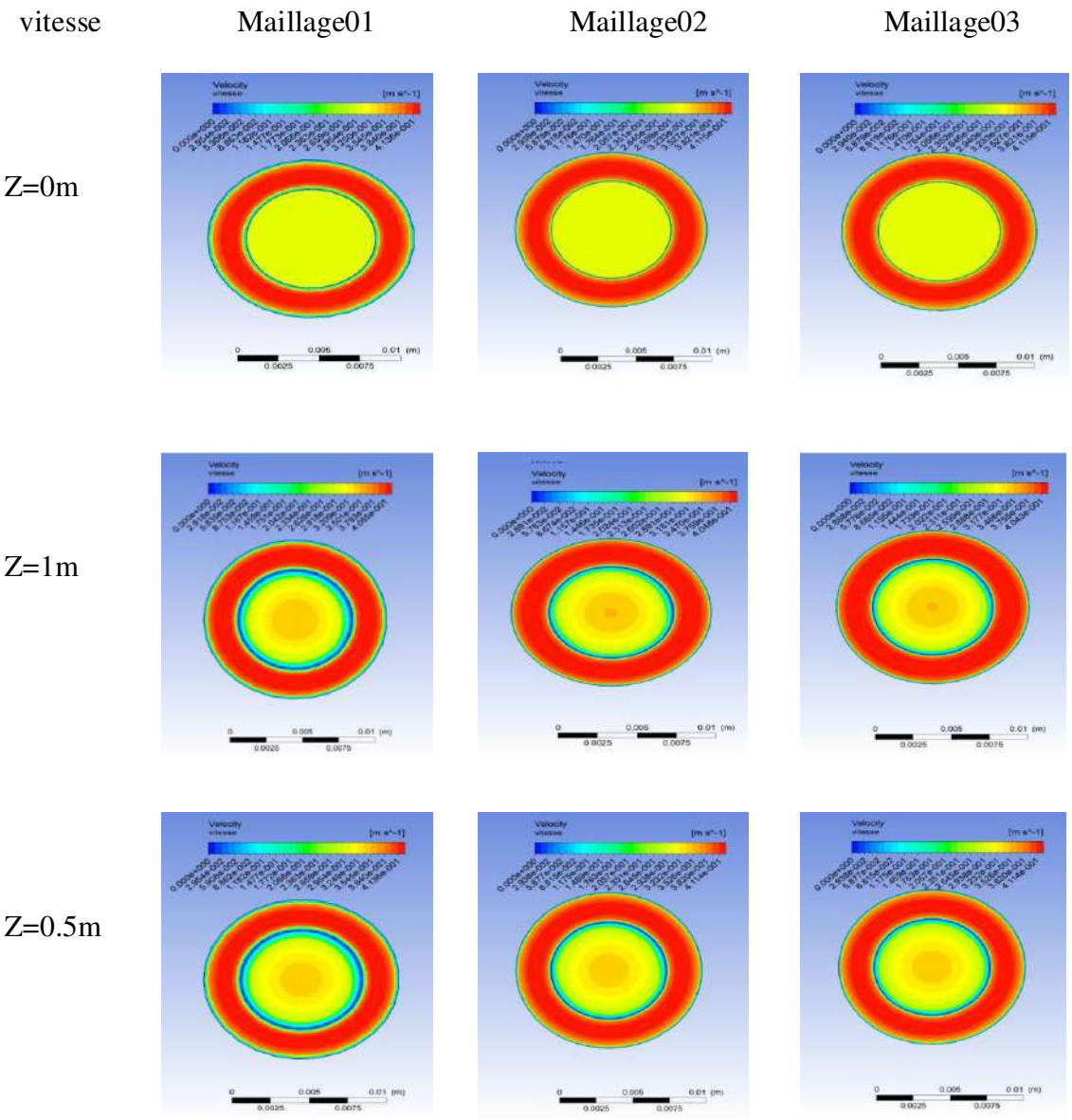


Figure 4.10 : Champ de vitesse dans l'échangeur de chaleur pour différant maillage dans différant stations (Z=0, Z=0.5 et Z=1m).

4.3 Effet de la température à l'entrée pour l'eau chaude et froide

La figure (4.12) représente l'effet de température à l'entrée et la sortie pour le fluide chaude et froide talque T1, T2, T3et T4 représente les variations de températures de fluide chaud et froid pour les lignes 1, 2, 3, et ligne 4 en ordre (T1 ligne 1 ainsi de suite) , et elle est indiquée dans le tableau suivant :

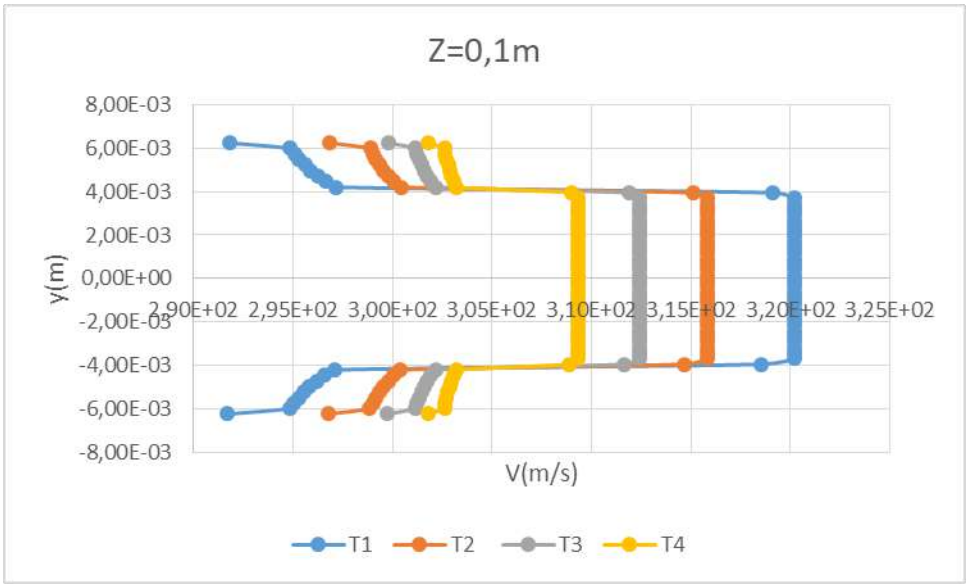
4.3.1 Tableau de variation de température

	T1	T2	T3	T4
T Chaud (K°)	320.20	315.80	312.40	309.30
T froid (K°)	288	294.3	298.1	300.8

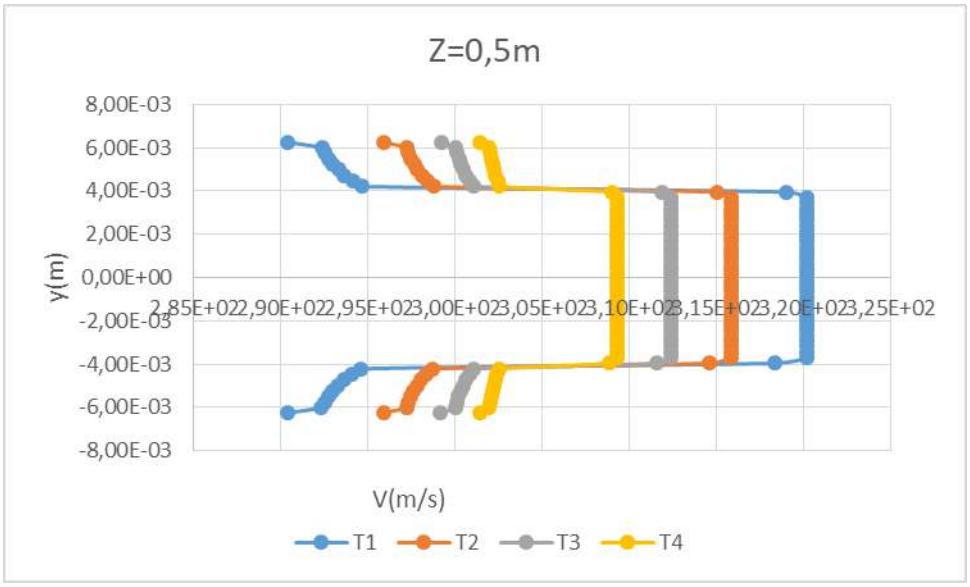
Figure (4.1) : Tableau de déférant température de l'eau chaude et froide

Remarque : la température du sortie de fluide chaud c'est du la même température de l'entrer de fluide froide.

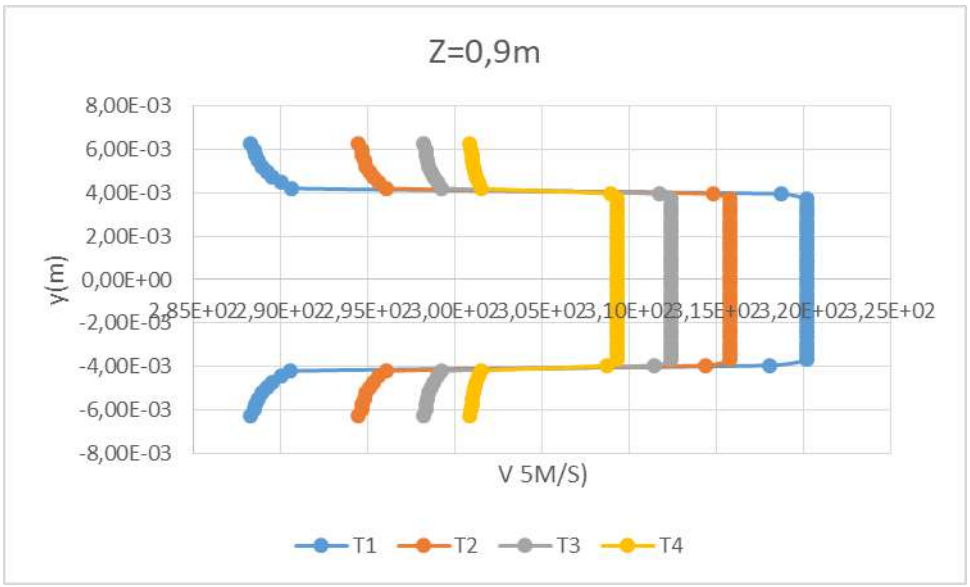
a) Pour Tc= 320.20K° et Tf= 288 k°



b) Pour Tc =315.80 k° et Tf= 294.3 k°



c) Pour Tc= 312.40 k° et Tf = 298.1 k°



d) Pour Tc= 309.30 k° et Tf = 300.8 k°

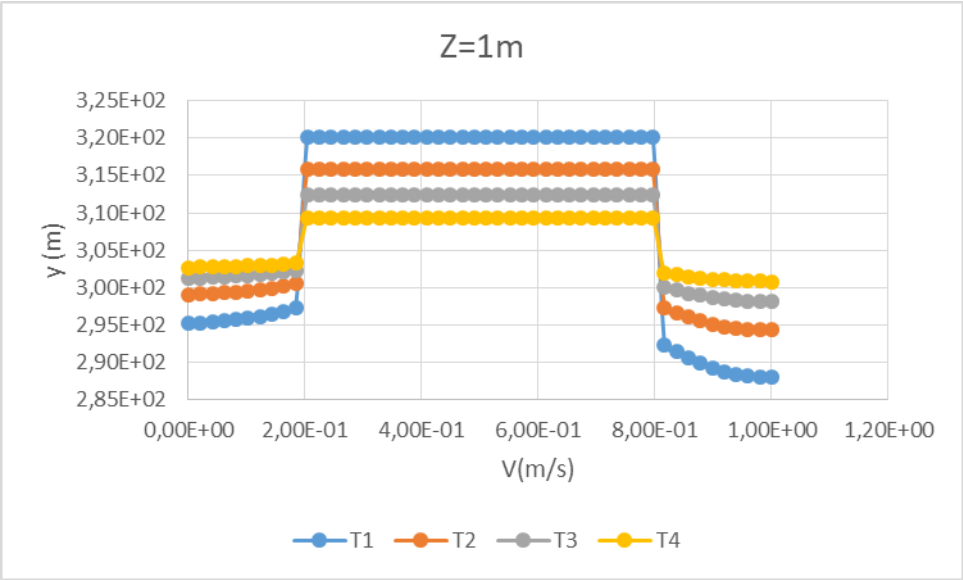
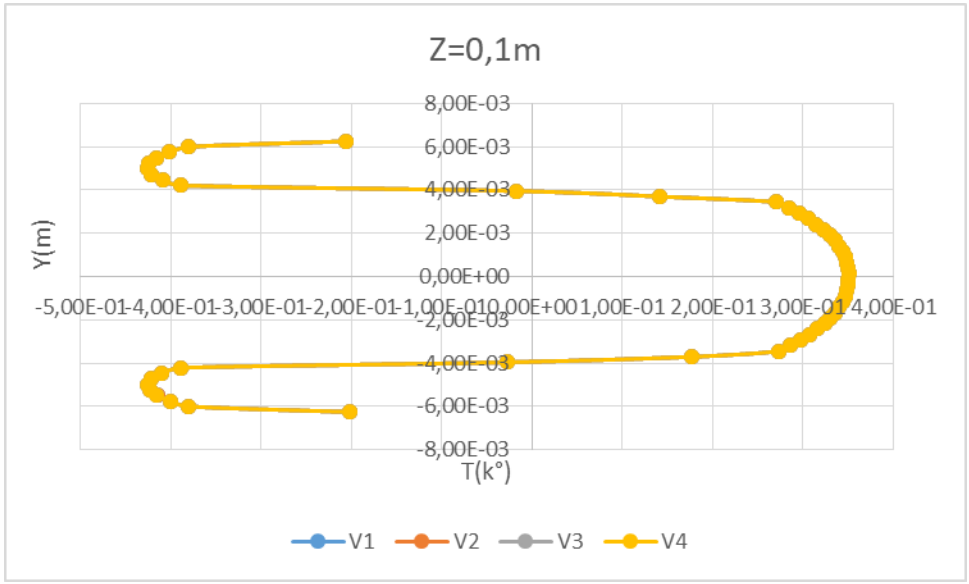


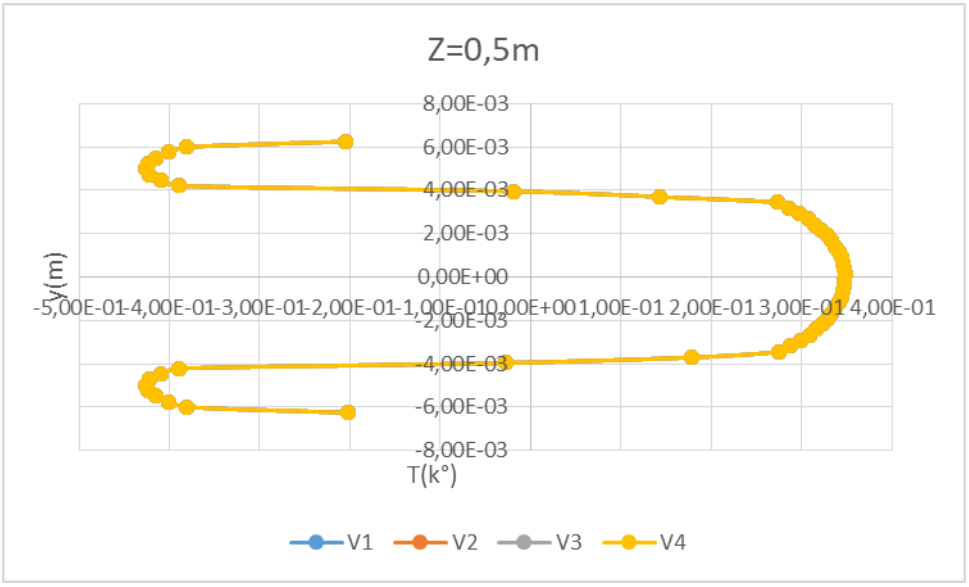
Figure4.11 : Effet de température à l'entrée pour le fluide chaude et froide

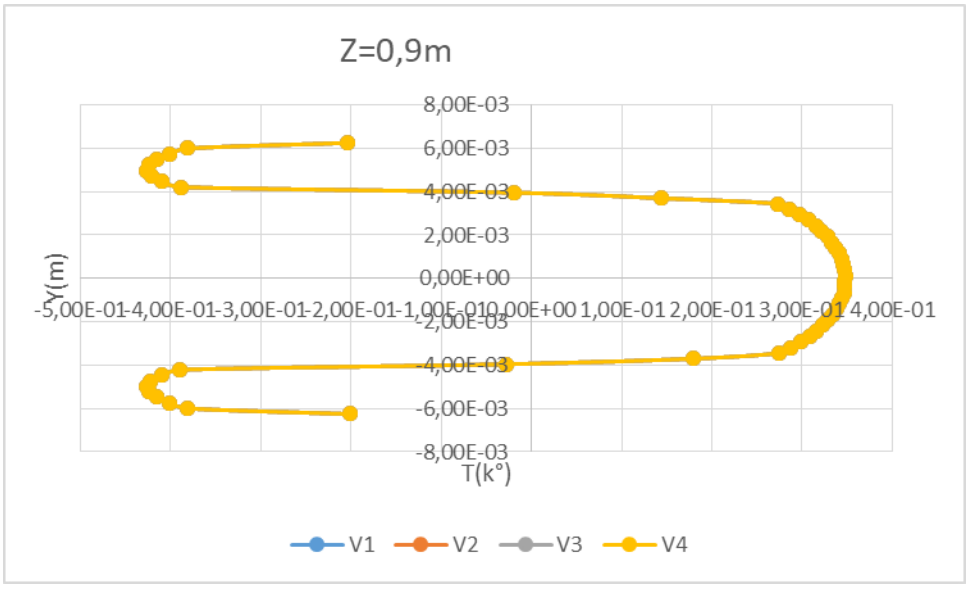
4.4 Effet de température sur les profils de vitesses pour Z=0.1m, Z=0.5m, Z=0.9m, Z=1m

La figure (4.12) représente l'effet de température chaude et froid sur les profils de vitesse pour déférant stations. Dans lequel V1, V2, V3 et V4 représente les vitesses des lignes par ordre (V1= vitesse ligne 1, V2=vitesse ligne 2, ainsi de suite)



(a)


Z=0,5m
8,00E-03
6,00E-03
4,00E-03
2,00E-03
0,00E+00
-2,00E-03
-4,00E-03
-6,00E-03
-8,00E-03
y(m)
-5,00E-01 -4,00E-01 -3,00E-01 -2,00E-01 -1,00E-01 0,00E+00 1,00E-01 2,00E-01 3,00E-01 4,00E-01
T(k°)
V1
V2
V3
V4


Z=0,9m
8,00E-03
6,00E-03
4,00E-03
2,00E-03
0,00E+00
-2,00E-03
-4,00E-03
-6,00E-03
-8,00E-03
Y(m)
-5,00E-01 -4,00E-01 -3,00E-01 -2,00E-01 -1,00E-01 0,00E+00 1,00E-01 2,00E-01 3,00E-01 4,00E-01
T(k°)
V1
V2
V3
V4

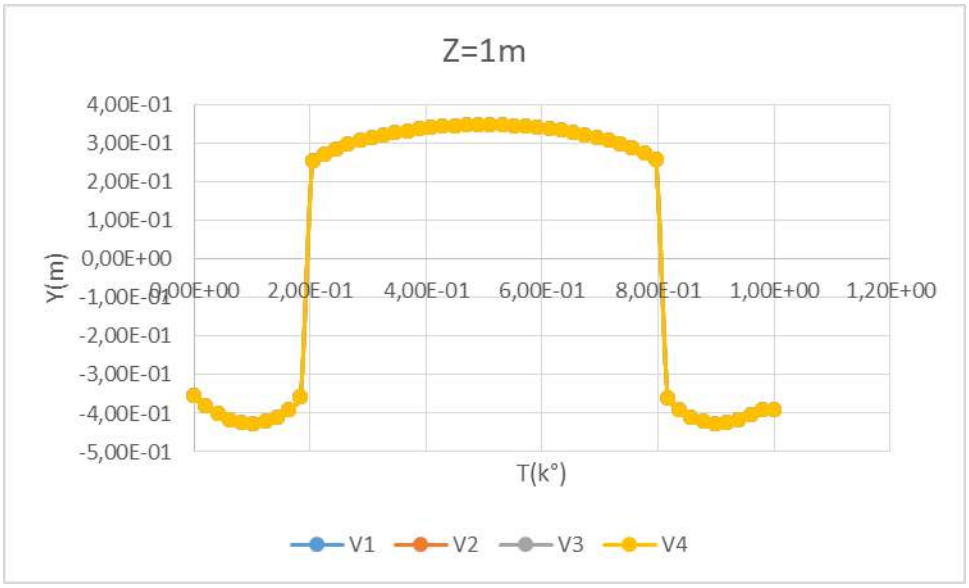


Figure 4.12 : Effet de température chaude et froide sur les profils de vitesse pour différant Stations Z=0.1, Z=0.5 ; Z=0.9 et Z=1m

4.5 Conteurs de champ de température et de vitesse pour déférente T (K°) et déférent station (Z) dans le maillage 02

La figure(VI.13) représente le champ de température pour déférant T (K°) dans déférant station(Z) On remarque que la température de fluide chaude et froide est augmentée dans déférente stations

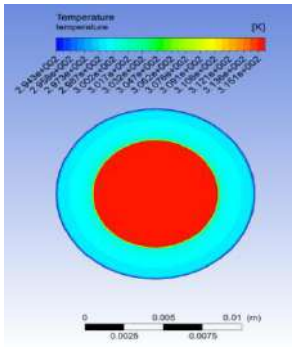
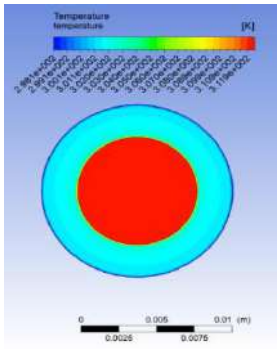
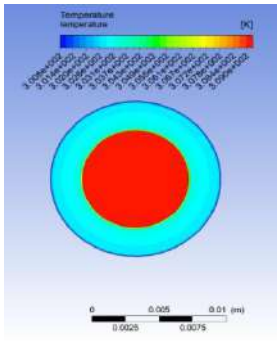
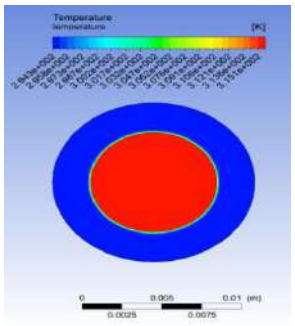
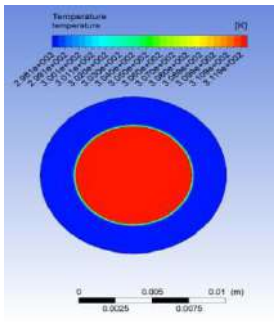
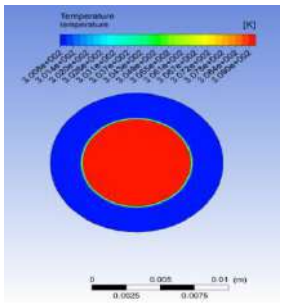
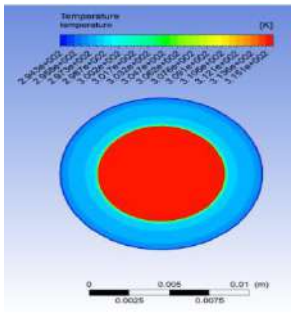
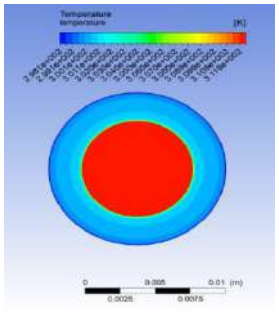
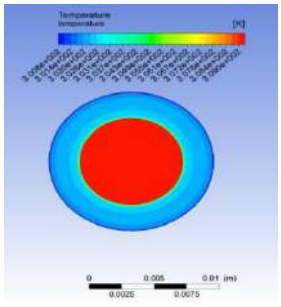
	T1	T2	T3
Maillage2	(Tc=315.20 K°, Tf= 294.3 K°)	(Tc=312.40 K°, Tf= 298.1K°)	(Tc=309.30K°, Tf=300.8K°)
Z=0m			
Z=1m			
Z=0.5m			

Figure 4.13 : Champ de température pour déférant T (K°) et déférant station (Z m)

La figure (4.14) représente le champ de vitesse pour différant température (Tc et Tf).

On remarque que la vitesse augment au long de l'échangeur de chaleur dans différant station à l'entrée de l'échangeur (la couleur orange) puis diminue au niveau de centre de conduite (couleur jaune).

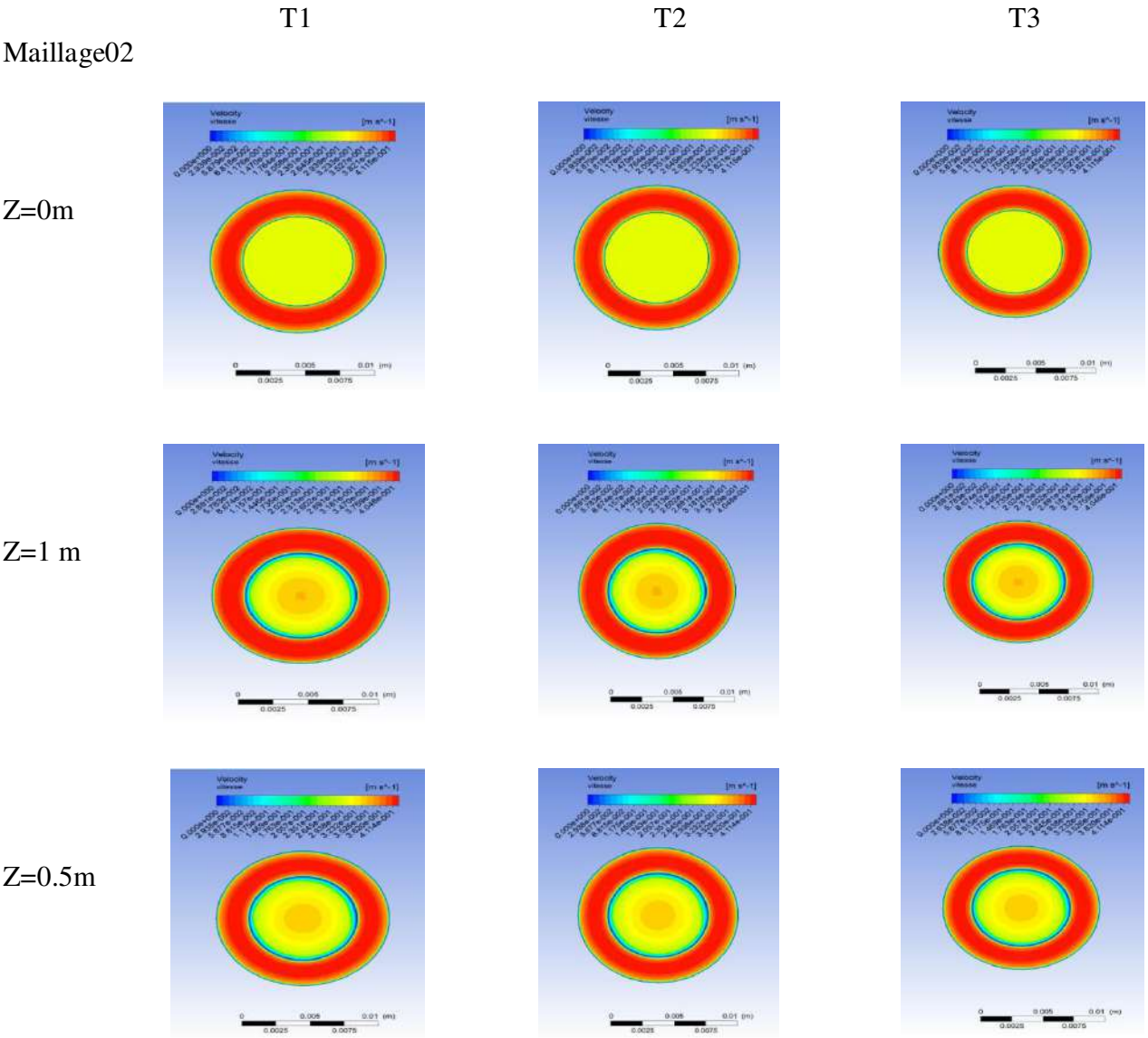


Figure 4.14 : champ de vitesse pour différant température

Conclusion générale

On a réalisée dans ce travail, une simulation numérique tridimensionnelle turbulente d'un échangeur de chaleur coaxial a doublé tuyau avec deux fluides.

Fluide chaude qui trouve dans le tube central et le fluide froide qui trouve dans l'espace annulaire.

On a fait la simulation numérique à l'aide d'un logiciel ANSYS Fluent pour traiter notre problème

La première des chausses on a dessiné la géométrie avec des valeurs prisé puis on a choisi le bon maillage entre les trois, et on a varié la température de deux fluides chaud et froid quatre fois pour suivre l'écoulement et les variations thermique. Ensuit on a amené les conteurs de température et de vitesse pour fait une petite comparaissent et nous avons conclu ce qui suit :

- L'échangeur de chaleur coaxial turbulent possède une bonne configuration puisque il donne une puissance d'échange important pour des petites surfaces d'échange.
- Cette simulation a été réalisé à travers d'un modelé turbulent K-Ɛ, et nous a donnée bon résultat.
- Le maillage approuve si le maillage structure.

[1] Moussa, J. MARIE PERRIERCORNET, JEAN, Échangeur de chaleur : échangeur tubulaire échangeur à surface raclée, CASTAING LASVINOTTES (2002).

[2] Harhad A. Guerri O. Ameure k. Labraga L, Evaluation du flux des distributions de pression autour des profils d'aubes : étude comparative, mémoire master énergies renouvelables (1999).

[3]F. Benncheikh, étude numérique de la zone d'entrée d'un échangeur de chaleur a doublé tube en configurations courants parallèles et courants inversés – effet de la diffusion axiale, mémoire de magister, université de Blida (1999).

[4] Bencheikh et A. Harhad, étude du transfert thermique dans la zone d'entrée d'un échangeur de chaleur a doublé tube concentrique.

[5] T. FARIDE, étude comportement dynamique et thermique de deux écoulements de fluide dans un échangeur de chaleur, mémoire master énergétique (2013).

[6] P. Tobaly, Echangeurs d'IUT de S. Denis licence professionnelle modale, Ingénierie des systèmes multi technique, 14 mars (2002).

[7] MERZOUK AKIL, LAIDLI ELAID, simulation numérique de transfert de chaleur dans un échangeur coaxial.

[8] Nadjemeddine, simulation d'une conception d'un échangeur à faisceau et calandre, université d'Annaba (2017).

[9] Sall, introduction général échangeur de chaleur : mémoire de fin d'étude université de Tlemcen(2014).

[10] Bouchemal Mohamed lamine, modélisation des échangeurs de chaleur, université de Jijel (2018).

[11] Bouhalli Saliha et Boualem Fouzia, étude thermique de condenseurs à tubes et à calandre, université de Mostaganem (2019).

[12] Marni Sandid Abdelfattah et Ismaili Abdelkader, étude numérique d'un écoulent turbulent a l'intérieure d'un échangeur de chaleur muni d'ailettes, université d'Ain-Temouchent (2017).

[13] T.Farid, étude comportement dynamique de deux écoulements du fluide dans un échangeur de chaleur : mémoire de master énergétique (2013).

[14] Marzouk akil et Laidli Elaid, simulation numérique de transfert de chaleur dans un échangeur coaxial, mémoire master en génie mécanique (2018).

[15] Zouhair aouissi, simulation numérique en CFD de la convection mixte autour des tubes à ailettes d'un échangeur de chaleur, mémoire de master énergétique, université de Biskra (2018).

[16] Mme Benkherbache Souad, simulation numérique directe de la convection dans des tubes coaxiaux, université de Batna (2016).

[17] Baatouche Riyane, étude numérique de l'effet de la forme des tubes sur les caractéristique thermo-hydrauliques d'un échangeur de chaleur, université de M'silla (2020).

[18] Elgaroui Rahima, simulation des échangeurs thermiques dans un échangeur de chaleur à tubes concentrique, université de Ghardaïa (2019).

[19] Dr. KORICHI université de Médéa (2019/2020), Coure mécanique de fluide.

[20] Dr. REBHI université de Médéa (2020/2021), Coure méthode numérique.

[21] Dr. ANNOUNE université de Médéa (2021/2022), Coure échangeur de chaleur.