Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique

Université Yahia Farés-Médéa
Faculté de la Technologie
Département du Génie des procèdes

Spécialité : chimie Pharmaceutique & Analytique

Mémoire de fin d'étude
pour l'obtention du diplôme de master en Génie des procédés
de thème:

L'influence des paramètres liés aux déflecteurs sur les performances thermiques d'un échangeur « Application Pharmaceutique »

Proposé par:

Dr. ZIRARI Mounir

Etudié par :

BENBABAALI Hadjer.

-

TLEMCANI Selma .

.

ANNEE UNIVERSITAIRE

2016/2017

Remerciements

Nous remercions en premier notre Dieu tout puissant « ALLAH » de nous avoir donner la force d'arriver à notre but, de nous avoir permis et aider à accomplir ce travail.

Nous remercions également notre promoteur Mr ZIRARI Mounir, pour ses conseils, son assistance, son suivi et son soutient pour mener à tenir nos différents travaux de notre mémoire de fin d'étude.

Nos gratitudes vont aussi à tous les enseignants du centre Universitaire de Médéa à Dr Yahia Fares, et en particulier les enseignants de département Génie des Procédés et Environnement.

TLEMCANI Selma

&

BEN BABAALI Hadjer

Dédicaces

Je dédie ce travail, à ma chère mère et mon père repos en paix.

A ma sœur, mes frères, ses femmes, mes neveux et nièces.

Bien sur, à mon marrie BENAOUDA Annouar, ma belle mère, mon beau père et mes beaux frères.

A mes cousins,cousines et toute la famille BENBABAALI,SAHRAOUI,BENAOUDA et BOUZIENI .

A mes proches amies : Anissa, Amira et Nour El Houda sans oublier ma chère amie et mon binôme Selma.

A toute la promotion de Procédés Pharmaceutiques.

BENBABA ALI Hadjer

Dédicaces

Avec toute sincérité et modestie, et à la fin de mes études, je tiens à dédier ce projet de fin d'étude a :

Mes plus grands amours et les plus chers personnes a mon cœur après Allah et son Prophète, Aux prunelles de mes yeux : Mes chères parents Mohamed et Hafida qui ont toujours veillés sur nous et sur notre avenir

Mes chères sœurs : Manel , Asmaa et son mari Ishak sans oublier Midou que dieu la sauver et garder pour nous

Mon frère : Oussama

Mon fiancé : ANNANE Billel et sa petite famille

Toutes mes cousines et cousins ainsi que toute la famille TLEMCANI et la famille ZIRARI

A mon Professeur et Promoteur Dr ZIRARI Mounir

A toutes mes amis qui ont passé avec moi des bons moments surtouts : B Hadjer , S Amira , B Anissa

Ainsi que notre promotion LMD Génie Des Procèdes 2017.

TLEMCANI Selma.

ملخص :
في المجتمعات الصناعية، المبادل الحراري هو عنصر أساسي في أي سياسة الحفاظ على الطاقة، وبالتالي، حماية البيئة.عملنا بشكل رئيسي على دراسة الظواهر بما في ذلك مجالات الهسابات الرقمية لديها لمبادلات لوحة متعرجة مع تكوينات متعددة هندسية، مع وبدون انحراف لإنتاج تدفق حركة المرور باستخدام تفريد العناصر المحدودة.
والتمييز أن التكوين الهندسي يؤثر على مبادل حراري عن طريق تحسين المبادلات الحرارية فضلا عن انحراف تعطيل تدفق من خلال زيادة العرض من طبقات الحدود وبالتالي تعزيز التبادل الحراري وفقدان الضغط.

كلمات مفتاحية :

مبادل حراري، كابح، المحاكاة العددية،برنامج ANSYS.

Résumé :

Dans les sociétés industrielles, l'échangeur de chaleur est un élément essentiel de toute politique de maitrise de l'énergie et par conséquence, de protection de l environnement. Notre travail est essentiellement sur l'étude des phénomènes dont les domaines de calcul numérique des échangeurs a plaque en ZIGZAG par plusieurs configurations géométrique, sans et avec déflecteurs pour produire des circulations d'écoulement en utilisant la discrétisation par élément finis.

On distingue que la configuration géométrique influe sur l'échangeur de chaleur en améliorant les échangeurs thermiques ainsi que les déflecteurs perturbent l'écoulement en augmentant la largeur des couches limites par conséquent favoriser l'échange thermique et les pertes de charges.

Mots clé :

Echangeur de chaleur, Déflecteur, Simulation numérique, Ansys.

Abstract :

In industrial societies, the heat exchanger is an essential element of any policy of energy control and therefore of environmental protection.Our work is mainly on the study of phenomena including numerical calculation domains of ZIGZAG plate exchangers by several geometric configurations, without and with deflectors to produce flow flows using finite element discretization.
It can be seen that the geometrical configuration influences the heat exchanger by improving the heat exchangers and the deflectors disturb the flow by increasing the width of the boundary layers and consequently favor heat exchange and pressure drops.

Key words :

Heat exchanger, Deflector, Numerical simulation, Ansys.

Liste des figures :

CHAPITRE 1 :

Figure (I-1) : Evolution qualitative des températures dans un échangeur tubulaire ou à plaques à Co-courant……..3

Figure (I-2): Evolution qualitative des températures dans un échangeur tubulaire contre courant ……5

Figure (I-3): Schéma de deux types d'échangeurs à courants croisés……..5

Figure (I-4): Croquis de principe figurant un échange de chaleur méthodique et anti-méthodique ……6

Figure (I-5): Schéma d'un échangeur à tubes en U……8

Figure (I-6): Schéma d'un échangeur tubulaire……9

Figure (I-7) : Schéma d'un échangeur tubulaire……10

Figure (I-8): Schéma d'un échangeur à spirale ……11

Figure (I-9) : Schéma d'un échangeur à plaques……12

Figure (I-10) : Une plaque avec un profil à chevrons……13

Figure (I-11) : figure de la colonne de Bouhy……13

Figure (I-12): Schéma d'un échangeur à bloc complexe……14

Figure (I-13): Schéma d'un échangeur à bloc simple……15

Figure (I-14) : Echangeur air d'automobile……16

Figure (I-15) : Radiateur pour l'électronique……17

Figure (I-16): Schéma d'échangeur à plaque……18

Figure (I-17):Détail plaque d'échange avec joint d'étanchéité……18

CHAPITRE 2 :

Figure (**II**-1) : Fluctuation d'une grandeur autour d'une valeur moyenne……22

CHAPITRE 3 :

Figure (**III** -1): L'interface utilisateur graphique d'ANSYS (GUI) ……35

CHAPITRE 4 :

Figure (IV-1): Le maillage d'un échangeur à plaque……..40

Figure (IV-2):Profil de température en les 4 positions (échangeur a plaques)……..42

Figure (IV-3):Profil de température en Position2 (échangeur a plaques)……42

Figure (IV-4):Profil de température en position 3 (échangeur a plaques)……43

Figure (IV-5):Profil de température en position 4 (échangeur a plaques)……43

Figures (IV-6) : la représentation graphique de La variation du profil de la température en fonction de la largeur(x) du canal pour deux positions, l'un a l'entrée et l'autre a la sortie du canal (y) pour l'eau et lait……44

Figure (IV-7):Profil de vitesse en les 4 positions (échangeur a plaques)……..44

Figure (IV-8):Profil de vitesse en position 2 (échangeur a plaques)……42

Figure (IV-9):Profil de vitesse en position3 (échangeur a plaques)……45

Figure (IV-10):Profil de vitesse en position 4 (échangeur a plaques)……46

Figure (IV-11) : la représentation graphique de La variation du profil de la pression en fonction de la largeur(x) du canal pour deux positions, l'un a l'entrée et l'autre a la sortie du canal (y) pour l'eau et lait……46

Figure (IV-12):Profil de pression en les 4 positions (échangeur a plaques)……47

Figure (IV-13):Profil de pression en position 2(échangeur a plaques)……47

Figure (IV-14):Profil de pression en position 3 (échangeur a plaques)……50

Figure (IV-15):Profil de pression en position 4 (échangeur a plaques)……50

Figure (IV-16) : champ du Température en les 4 positions (échangeur zigzag)……51

Figure (IV-17) : champ du Température en position2 (échangeur zigzag)……51

Figure (IV-18) : champ du Température en position3 (échangeur zigzag)……53

Figure (IV-19) : champ du Température en position4 (échangeur zigzag)……54

Figure (IV-20) : la représentation graphique de La variation du profil de la température entre un échangeur à plaque et autre zigzag en fonction de la largeur(x) du canal pour des différentes positions dans le canal (y) pour l'eau et lait……54

Figure (IV-21) : champ de la vitesse en 4 positions (échangeur zigzag)……55

Figure (IV-22) : champ de la vitesse en position 3 (échangeur zigzag)……55

Figure (IV-23) : champ de la vitesse en position 2 (échangeur zigzag)……57

Figure (IV-24) : champ de la vitesse en position 4 (échangeur zigzag)……58

Figure (IV-25) : la représentation graphique de La variation du profil de la vitesse entre un échangeur à plaque et autre zigzag en fonction de la largeur(x) du canal pour des différentes positions dans le canal (y) pour l'eau et lait……58

Figure (IV-26) : champ du Pression en Les 4 positions (échangeur zigzag)……59

Figure (IV-27) : champ du Pression en position2 (échangeur zigzag)……59

Figure (IV-28) : champ du Pression en position4 (échangeur zigzag)……61

Figure (IV-29) : champ du Température en les 4 positions (échangeur zigzag modifié)….62

Figure (IV-30) : champ du Température en position2 (échangeur zigzag modifié)……62

Figure (IV-31) : champ du Température en position3 (échangeur zigzag modifié)……63

Figure (IV-32) : champ du Température en position4 (échangeur zigzag modifié)……65

Figure (IV-33) : la représentation graphique de La variation du profil de la température entre un échangeur zigzag et autre zigzag modifié en fonction de la largeur(x) du canal pour des différentes positions dans le canal (y) pour l'eau et lait……67

Figure (IV-34) : champ de la Vitesse en les 4 positions (échangeur zigzag modifié)……67

Figure (IV-35) : champ du Vitesse en position2 (échangeur zigzag modifié)……79

Figure (IV-36) : champ du Vitesse en position3 (échangeur zigzag modifié)……70

Figure (IV-37) : champ du Vitesse en position4 (échangeur zigzag modifié)……70

Figure (IV-38) : la représentation graphique de La variation du profil de la vitesse entre un échangeur zigzag et autre zigzag modifié en fonction de la largeur(x) du canal pour des différentes positions dans le canal (y) pour l'eau et lait……71

Figure (IV-39) : champ du pression en les 4 positions (échangeur zigzag modifié)……71

Figure (IV-40) : champ de la pression en position 2 (échangeur zigzag modifié……73

Figure (IV-41) : champ de la pression en position 3 (échangeur zigzag modifié)……73

Figure (IV-42) : champ de la pression en position 4 (échangeur zigzag modifié)……74

Figure (IV-43) : champ du Température en les 4 positions (échangeur zigzag avec déflecteurs a l'entrée)……74

Figure (IV-44) : champ du Température en position2 (échangeur zigzag avec déflecteurs a l'entrée)……75

Figure (IV-45) : champ du Température en position3 (échangeur zigzag avec déflecteurs a l'entrée)……75

Figure (IV-46) : champ de la Température en position4 (échangeur zigzag avec déflecteurs a l'entrée)…….76

Figure (IV-47) : champ de la vitesse en position4 (échangeur zigzag avec déflecteurs a l'entrée)……76

Figure (IV-48) : champ de la vitesse en position2 (échangeur zigzag avec déflecteurs a l'entrée)……..77

Figure (IV-49) : champ de la vitesse en position3 (échangeur zigzag avec déflecteurs a l'entrée)……77

Figure (IV-50) : champ de la vitesse en position4 (échangeur zigzag avec déflecteurs a l'entrée)……78

Figure (IV-51) : champ de la pression en les 4 positions (échangeur zigzag avec déflecteurs a l'entrée)……78

Figure (IV-52) : champ de la pression en position2 (échangeur zigzag avec déflecteurs a l'entrée)……80

Figure (IV-53) : champ de la pression en position3(échangeur zigzag avec déflecteurs a l'entrée)……..80

Figure (IV-54) : champ de la pression en position4 (échangeur zigzag avec déflecteurs a l'entrée)……81

Figures (IV-55) : le maillage d'un échangeur zigzag avec plusieurs déflecteurs……81

Figure (IV-56) : champ de la Température les 4 positions (échangeur zigzag avec plusieurs déflecteurs)……..82

Figure (IV-57) : champ de la Température en position2 (échangeur zigzag avec plusieurs déflecteurs)……82

Figure (IV-58) : champ de la Température en position3 (échangeur zigzag avec plusieurs déflecteurs)……..84

Figure (IV-59) : champ de la Température en position4 (échangeur zigzag avec plusieurs déflecteurs)……..84

Figures (IV-60) : la représentation graphique de a variation du profil de la température entre échangeur zigzag avec déflecteurs à l'entrée et l'autre avec plusieurs déflecteurs en fonction de la largeur(y) du canal pour des différentes positions dans le canal(x) ……85

Figure (IV-61) : champ de la vitesse en les 4 positions (échangeur zigzag avec plusieurs déflecteurs)……..85

Figure (IV-62) : champ de la vitesse en position2 (échangeur zigzag avec plusieurs déflecteurs)……86

Figure (IV-63) : champ de la vitesse en position3 (échangeur zigzag avec plusieurs déflecteurs……88

Figure (IV-64) : champ de la vitesse en position4 (échangeur zigzag avec plusieurs déflecteurs)……..89

Figure (IV-65) : la représentation graphique de a variation du profil de la vitesse entre échangeur zigzag avec déflecteurs à l'entrée et l'autre avec plusieurs déflecteurs en fonction de la largeur(y) du canal pour des différentes positions dans le canal(x) ……89

Figure (IV-66) : champ de la pression en les 4 positions (échangeur avec plusieurs déflecteurs)……..90

Figure (IV-67) : champ de la pression en position2 (échangeur avec plusieurs déflecteurs)……92

Figure (IV-68) : champ de la pression en position3 (échangeur avec plusieurs déflecteurs)……92

Figure (IV-69) : champ de la pression en position4 (échangeur avec plusieurs déflecteurs)……..94

Figure (IV-70) : la représentation graphique de a variation du profil de la vitesse et température entre deux échangeur zigzag,un sans déflecteur et l'autre avec plusieurs

déflecteurs en fonction de la largeur(y) du canal pour des différentes positions dans le canal(x) ……..94

Liste des tableaux :

CHAPITRE 1 :

Tableau (**I**- 1) : Avantages & inconvénients d'échangeur a tubes ……..7

Tableau (**I**-2) : Avantages & inconvénients d'échangeur tubulaire ……..9

Tableau (**I**- 3): Avantages & inconvénients d'échangeur à faisceau tubulaire vertical……...10

Tableau (**I**-4) : Avantages & inconvénients d'un échangeur à spirale……11

Tableau (**I**-5) : Avantages & inconvénients d'un échangeur à bloc……13

Tableau (**I**-6) : Avantages & inconvénients d'un échangeur à ailette……15

Tableau (**I**-7) : Avantages & inconvénients d'un échangeur à plaque……16

CHAPITRE 2:

Tableau (II-1) : Expression des coefficients d'échange et des termes sources pour les différentes variables……30

CHAPITRE4:

Tableau (IV -1) : la géométrie de l'échangeur de chaleur à plaque……..38

Tableau (IV -2) : les propriétés du fluide et matériau d'échangeur de chaleur……38

Tableau (IV-3) : La géométrie d'un échangeur de chaleur zigzag……49

Tableau (IV-4) : la géométrie de l'échangeur de chaleur zigzag modifié……60

Tableau 05 : la géométrie de l'échangeur de chaleur zigzag avec déflecteurs a l'entrée de chaque fluide……72

Tableau 06 : la géométrie de l'échangeur de chaleur zigzag avec plusieurs déflecteurs……88

v_t	La viscosité cinématique turbulente	m^2/s^2
ε	Taux de dissipation de l'énergie cinétique turbulente	m^2/s^2
v	La viscosité cinématique	m^2/s^2
δ_{ij}	Symboles de Kronecker	
λ	La conductivité thermique	j/s.m.k
ρ	La masse volumique	kg/m^3
c_p	Chaleur massique	
□	Variable généralisée par unité de masse	
α	La diffusivité thermique	

NOTATION	SIGNIFICATION	UNITÉ
c_μ	Coefficient du mode k-ε	
K	énergie cinétique turbulente	J/Kg
$\overline{u_i u_j}$	Tension de Reynolds	
T	Température	$^\circ K$
t	temps	s
D_{ij}	Diffusion visqueuse	
U	Composante de la vitesse moyenne dans la direction X	
V	Composante de la vitesse moyenne dans la direction Y	

ABRÉVIATION :

MPa : Micro Pascal.

Min : Minimum.

Max : Maximum.

RMQ : Remarque.

A : Echangeur à Plaque.

B : Echangeur En Zigzag.

C : Echangeur Avec Déflecteur a l'entrée seulement.

D : Echangeur Avec Plusieurs Déflecteurs.

E : Echangeur En Zigzag Modifié Sur l'angle.

Sommaire

Introduction Générale ……1

Chapitre 1 : Généralité……2

I-01/-Introduction……2

I-02/-Principe de fonctionnement ……2

I-03/-Les trois modes de transfert de chaleur……2

I-04/-Principaux modes d'écoulement des deux fluides……4

I-05/-Les types d'échangeurs thermique……7

I-6/-Echangeurs à plaques……18

I-7/-Etat de l'art……19

I-8/-Conclusion……19

Chapitre II : Modélisation mathématique……20

II-1/Introduction……20

II-2/-Equation de transport de la dynamique……20

II-3/-L'équation de la continuité……20

II-4/-L'équation de Navier-Stocks……21

II-5/-La décomposition de Reynolds (la décomposition statique)……22

II-6/-Traitement statistique des écoulements turbulents……23

II-7/-Les équations des mouvements moyennes……24

II-8/-Quelques hypothèses classiques de la fermeture de turbulence……28

II-9/-Modélisation du transfert de chaleur ……..28

II-10/-Conclusion……..30

Chapitre III : Discrétisation ……31

III-1/Introduction……..31

III-2/-Les trois grandeurs méthodes de discrétisation ……31

III-3/-Choix d'un maillage ……..33

III-4/-Discrétisation de l'équation de chaleur par élément fini ……33

III-5/-PROGRAMME ANSYS ……35

III-6/-Conclusion……37

Chapitre IV/- Résultats et discussions……38

IV-1/Introduction……38

IV-2/-Identification……38

IV-3/-Les résultats dans un milieu fluide ……41

IV-4/- Interprétations des résultats ……50

IV-5/-L'étude de zigzag à l'influence d'échangeur à plaque ……50

IV-6/- Les résultats dans un milieu fluide ……54

IV-7/- Interprétations des résultats……59

IV-8/-L'étude de zigzag modifié à l'influence d'échangeur zigzag ……60

IV-9/Les résultats dans un milieu fluide ……61

IV-10/- Interprétations des résultats ……72

IV-11/-L'étude de zigzag à l'influence de l'orientation de déflecteurs ……72

IV-12/Les résultats dans un milieu fluide ……73

IV-13/Les résultats dans un milieu fluide……78

IV-14/- Interprétations des résultats ……88

IV-15/Comparaison Entre Deux Echangeurs De Chaleur En Zigzag Un Sans Déflecteur Et L'autre Avec Plusieurs Déflecteurs ……90

IV-16/-Interprétations des résultats……92

IV-17/-Conclusion……95

Introduction Générale

« INTRODUCTION GÉNÉRALE »

Les échangeurs de chaleur sont très utilisés dans les centrales nucléaires et dans l'industrie alimentaire, les avantages principaux de ces appareils est leur flexibilité, l'arrangement de flux, les flux de transfert de chaleur très élevés et possibilités de les nettoyer en les ouvrants.
Ils jouent un rôle très important dans les procèdes industriels, en particulier grâce a leur maintenance et leur nettoyage aisé. [1]

L'utilisation de la technologie des réacteurs a plaques pour conduire des réactions chimiques est en visageable sous réserve d'améliorer les performances de mélange. il en résulterait une réduction de consommation d'énergie. Une grande flexibilité grâce à leur multifonctionnalité et par conséquent une réduction des couts. [1]

l'objectif principale de notre projet est de créer des nouveaux modèles d'échangeurs thermique pour but de large les couches limites qui donnent des meilleurs échanges thermiques entre les deux fluides circulants dans l'échangeur de chaleur.

Ce mémoire est composé de quatre chapitres :

Nous verrons dans le premier chapitre, le principe de fonctionnement d'un échangeur thermique, leurs différents modes de transfert de chaleur, ainsi que la classification des échangeurs de chaleur (avec ses avantages & inconvénients) et on finira par l'état de l'art des principaux types d'observateurs existants pour des systèmes d'échangeurs.

Le chapitre 2, consiste en une modélisation mathématique par un système d'équations aux dérivées partielles de Prandtl, Navier-Stocks et Reynolds.

Le chapitre 3 suivant présentera la méthode de discrétisation des équations du chapitre précédent, le logiciel ANSYS et ses principes fondamentaux.

Enfin, pour le chapitre 4,nous avons d'abord comparé entre notre travail sur l'ANSYS avec un autre prenant d'une thèse de Magistère en Génie Mécanique, ensuite on a créé des nouveaux modèles des échangeurs thermiques pour améliorer les performances des échanges entre les fluides et la paroi et d'obtenir des meilleurs résultats que celas d'échangeur de chaleur a plaque.

Chapitre 1:

Généralités

I-1/-INTRODUCTION :

Les échangeurs de chaleur sont des dispositifs très utilisés dans l'industrie pour cela l'objectif de ce chapitre est de donner quelques généralités sur ces équipements.

Dans les sociétés industrielles, l'échangeur de chaleur est un élément essentiel de toute politique de maîtrise de l'énergie et donc, par voie de conséquence, de protection de l'environnement. Une grande part de l'énergie thermique utilisée dans les procédés industriels transite au moins une fois par un échangeur de chaleur, aussi bien dans les procédés eux mêmes que dans les systèmes de récupération de l'énergie thermique de ces procédés. [2] donc c'est un système qui permet d'échanger la chaleur entre deux fluides ou plus. Dans un échangeur thermique, le fluide chaud et le fluide froid sont séparés par une paroi bien adaptée et par principe la transmission de la chaleur se fait du fluide chaud vers le fluide froid. [3] aussi un composant incontournable dans la plupart des systèmes énergétiques plus ou moins complexes et permet de transférer une énergie thermique entre deux fluides à des températures différentes. En général, les deux fluides ne sont pas en contact, et le transfert d'énergie thermique s'effectue à travers une surface d'échange. [4]

I-2/-Principe de fonctionnement :

Le même fluide peut conserver son état physique liquide ou gazeux ou se présenter successivement sous les deux phases (le cas de condenseurs, évaporateur,…. Ou des tours le refroidissement.

I-3/-Les trois modes de transfert de chaleur :

I-3-1/-La conduction :

La conduction est le moyen par lequel la chaleur circule de proche en proche dans un matériau ou passe d'un corps à un autre en contact physique direct, par simple interaction moléculaire. Les molécules du secteur le plus chaud se heurtent vivement entre elles et transmettent leur énergie de vibration aux molécules voisines. Le flux de chaleur va toujours des zones chaudes vers les zones froides.

Alors, le conduction thermique est un transfert thermique spontané d'une région de température élevée vers une région de température plus basse, et est décrite par la loi dite de Fourier établie mathématiquement par Jean-Baptiste

Biot en 1804 puis expérimentalement par Fourier en 1822 : la densité de flux de chaleur est proportionnelle au gradient de température.[5]

Loi de Fourier :

$$\vec{\varphi} = -\lambda \overrightarrow{grad}\,(T)$$

λ: Conduction thermique du matériau (W.m^{-1}. k^{-1}).

$\vec{\varphi}$: La densité de flux de chaleur (W.m^{-2}).

T : La température (K).

I-3-2/-la Convection :

On définit la convection comme :

A /- l'échange de chaleur entre une surface et un fluide mobile à son contact,

B /- le déplacement de chaleur au sein d'un fluide par le mouvement d'ensemble de ses molécules d'un point à un autre.

C /-La convection est le mode de transmission de la chaleur qui implique le déplacement d'un fluide, liquide ou gazeux.

Dans le processus de convection, la chaleur se déplace comme toujours des zones chaudes vers les zones froides.

Loi de Newton :

Il s'agit d'une relation dont la simplicité est trompeuse, mais qui permet d'expliquer le phénomène global de la convection : [6]

$$\dot{\square} = \alpha a(T_s - T_\infty)$$

• a : le coefficient d'échange convectif (W m-2 K-1)

•T_s : La température de la surface considérée

•T_∞: La température du fluide « au large » (suffisamment loin de la surface)

• a dépend de l'état de surface, de la vitesse du fluide, et d'autres facteurs, mais on le traitera souvent comme une grandeur invariable.

I-3-3/-Le rayonnement :

Le rayonnement thermique est le mode de transmission par lequel la chaleur passe d'un corps à haute température à un autre plus froid, les deux corps ne se touchent pas, mais ils sont séparés par un milieu transparent tel l'air, ou le vide.

I-4/-Principaux modes d'écoulement des deux fluides :

Il existe plusieurs types d'échangeurs de chaleur :

I-4-1/-À Co-courant (ou échangeur anti-méthodique) :

les deux fluides sont disposés parallèlement et vont dans le même sens. Dans un échangeur anti-méthodique la température de sortie du fluide froid est nécessairement moins élevée que la température de sortie du fluide chaud.

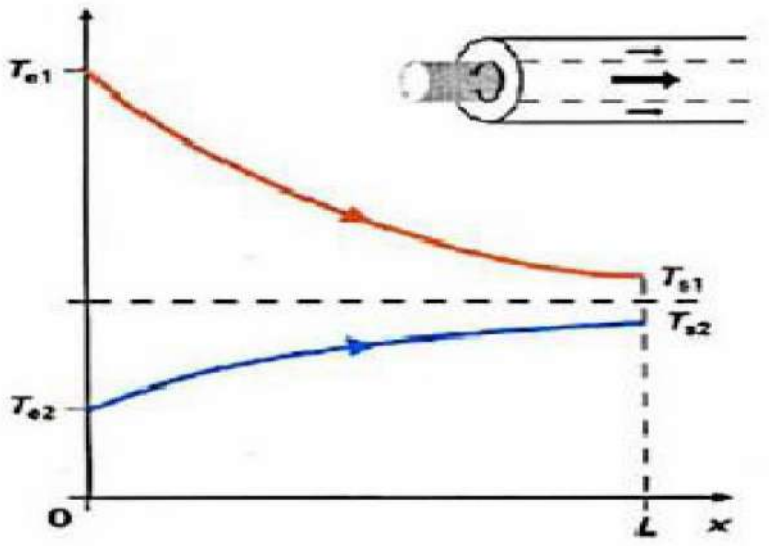


Figure (I-1) : Evolution qualitative des températures dans un échangeur tubulaire ou à plaques Co-courant [4]

I-4-2/-À contre-courant (on dit aussi : échangeur méthodique) :

Idem, mais les courants vont dans des sens opposés. Dans un échangeur méthodique, le coefficient d'échange est sensiblement supérieur à celui d'un échangeur anti-méthodique et la température de sortie du fluide froid peut être plus élevée que la température de sortie du fluide chaud.

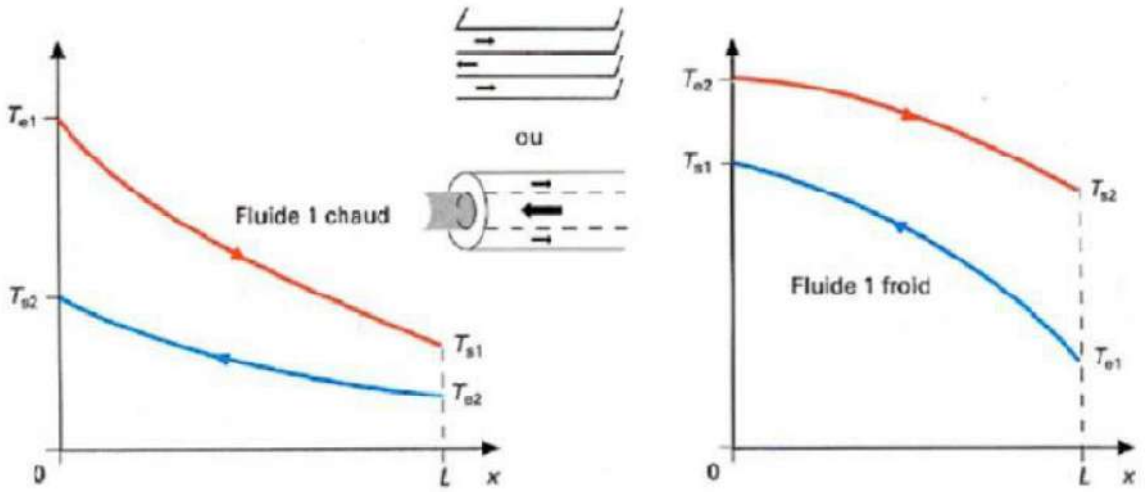


Figure (I-2): Evolution qualitative des températures dans un échangeur tubulaire contre courant [5]

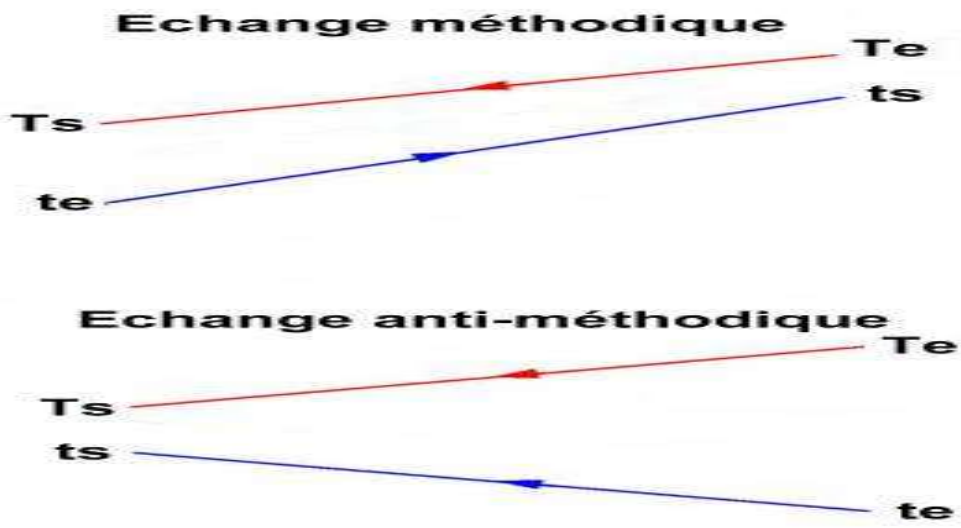


Figure (I-3) : Croquis de principe figurant un échange de chaleur méthodique et anti-méthodique. Dans l'échange méthodique la température de sortie du fluide froid peut être plus élevée que celle du fluide chaud. Dans l'échange anti-méthodique ce n'est pas possible [5]

I-4-3/-À courants croisés :

Les deux fluides sont positionnés perpendiculairement.

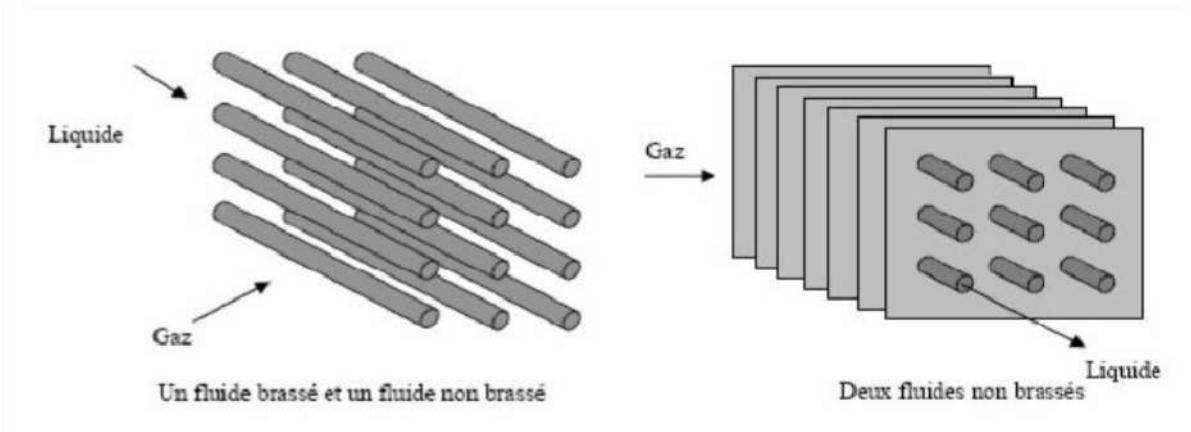


Figure (I- 4) : Schéma de deux types d'échangeurs à courants croisés [5].

I-4-4/-À tête d'épingle :

Un des deux fluides fait un demi-tour dans un conduit plus large, que le deuxième fluide traverse. Cette configuration est comparable à un échangeur à courant parallèle sur la moitié de la longueur, et pour l'autre moitié à un échangeur à contre-courant.

I-4-5/-À contact direct ou à mélange :

Les deux fluides peuvent être mis en contact comme c'est le cas dans les tours de refroidissement, des buses projetant de l'eau chaude sont disposées sur les parois intérieures de la tour, l'air extérieur admis par le bas s'échauffe et du fait de son changement de densité monte de bas en haut, permettant ainsi de refroidir l'eau.

Exemples :

-Échangeur thermique par surface.

-Échangeur thermique avec des fluides en contact direct

I-5/-Les types d'échangeurs thermique :

I-5-1/-Contexte industriel de l'étude :

Les échangeurs thermiques sont indispensables dans de très nombreux domaines :

Industriels : chauffage et froid, pétrochimie, chimie, distillerie, agroalimentaire, papeterie, automobile, ...

Pour ces divers types d'échangeurs, l'échange thermique se fait généralement entre deux fluides distincts .les échangeurs thermiques doivent présenter une grande surface d'échange de chaleur sous un volume externe le plus réduit possible. Il existe différents types d'échangeurs de chaleur :

- les échangeurs à tubes et calandre (tubes lisses ou à ailettes) ;
- les échangeurs à plaques corrigées (brasés, ou avec des joints pour permettre leur démontage). [7]

Il existe différents types d'échangeurs selon les objectifs recherchés :

Il s'agit de l'échangeur le plus commun.

I-5-1-1/-Echangeur à tube en U :

Tableau (I-1) : Avantages & inconvénients d'échangeur a tubes [5]

Avantages	Inconvénients	Utilisation
-Résiste aux fortes pressions. -Libre dilatation des tubes et du corps. -Toutes puissances.	-Encombrement. -Prix de revient élevé. -Débouchage difficile.	-vapeur/eau. -Eau surchauffée/eau. -Huile/eau. -Process.

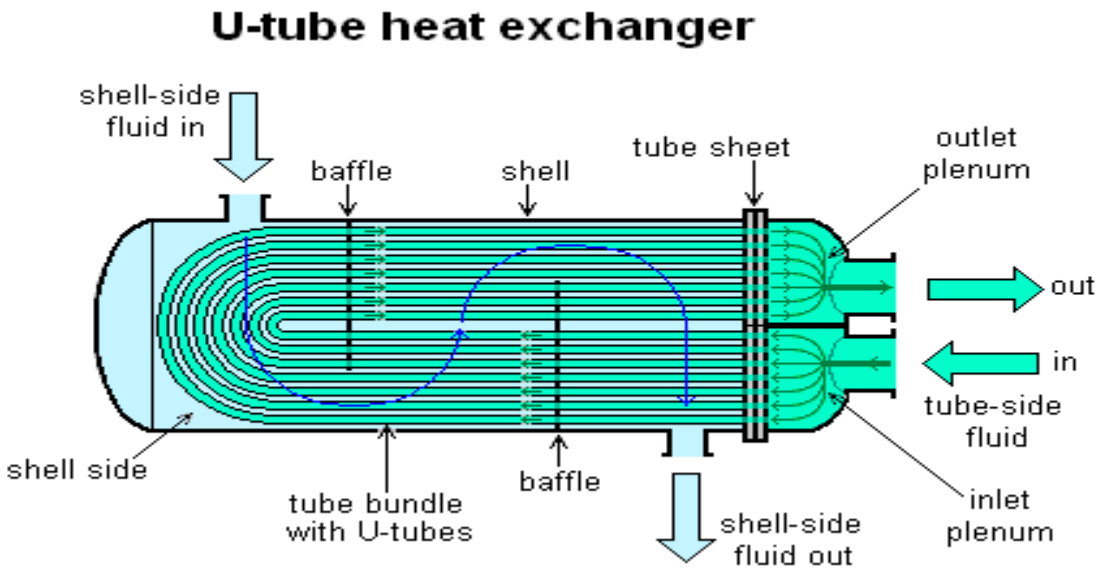


Figure (I-5) : Schéma d'un échangeur à tubes en U [5]

I-5-1-2 /-Échangeur à faisceau tubulaire horizontal :

Un schéma typique d'un échangeur tubes calandre (*shell and tubes exchanger* ou échangeur à tubes et virole) est présenté ci-contre. L'appareil est constitué d'un faisceau de tubes, disposés à l'intérieur d'une enveloppe dénommée calandre. L'un des fluides circule à l'intérieur des tubes et l'autre à l'intérieur de la calandre, autour des tubes. On ajoute en général des chicanes dans la calandre, qui jouent le rôle de promoteurs de turbulence et améliorent le transfert à l'extérieur des tubes.

À chaque extrémité du faisceau sont fixées des boîtes de distribution qui assurent la circulation du fluide à l'intérieur du faisceau en une ou plusieurs passes. La calandre est elle aussi munie de tubulures d'entrée et de sortie pour le second fluide (qui circule à l'extérieur des tubes) suivant le chemin imposé par les chicanes (voir figure).

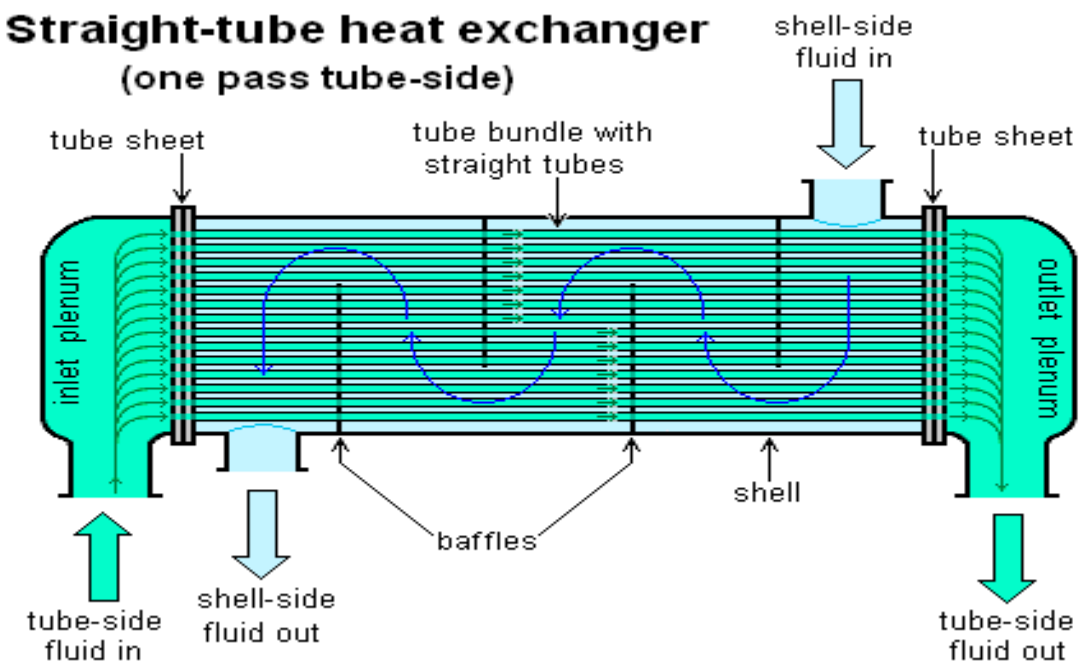


Figure (I-6): Schéma d'un échangeur tubulaire [8]

Tableau (I-2) : Avantages & inconvénients d'échangeur tubulaire. [5]

Avantages	Inconvénients	Utilisation
-Résiste aux fortes pressions. -Pour toutes les puissances. -Economique. -Accepte des grands écarts de température. -Peut être utilisé en condensation partielle.	-Contraintes sur les tubes. -Difficulté de nettoyage (multitube). -Sensible aux vibrations.	-Eau/eau. -Vapeur/eau. -Huile/eau. -Eau surchauffée/eau.

I-5-1-3/-Echangeur à faisceau tubulaire vertical :

Tableau (I- 3): Avantages & inconvénients d'échangeur à faisceau tubulaire vertical. [5]

Avantages	Inconvénients	Utilisation
-Faible encombrement. -L'échangeur peut être plein de condensat. -Parfaitement adapté à l'échange vapeur haute pression/eau.	-Vapeur HP/eau.	-Eau surchauffée/eau. -Fluide thermique/eau. -Fumées/eau. -Process.

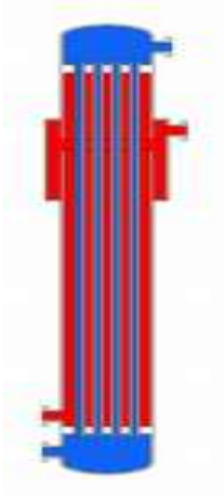


Figure (I-7) : Schéma d'un échangeur tubulaire [8]

I-5-1-4/-Echangeur à spirale :

Un échangeur à spirales consiste en 2 plaques de métal enroulées de manière hélicoïdale pour former une paire de canaux en spirale. Le diamètre de l'échangeur est relativement grand, avec une surface d'échange maximale d'environ 450 m^2 pour un diamètre de 3 m^2, ce qui le place dans la catégorie des échangeurs non-compacts. L'échange de chaleur n'est pas aussi bon que celui de l'échangeur à plaques, car la surface d'échange ne possède pas en règle générale de profil, mais pour une même capacité d'échange, un échangeur spiral nécessite 20 % de moins de surface d'échange qu'un échangeur à faisceau tubulaire.

Il est utilisable pour les liquides visqueux ou pour les mélanges liquide-solide et possède une capacité autonettoyante garantissant un encrassement réduit par rapport à l'échangeur à faisceau tubulaire. Il ne peut travailler qu'avec des différences de températures et de pression limitées.

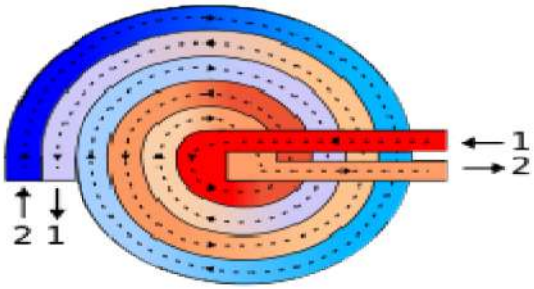


Figure (I-8) : Schéma d'un échangeur à spirale [5]

Tableau (I-4) : Avantages & inconvénients d'un échangeur à spirale. [5]

Avantages	Inconvénients	Utilisation
-Grande surface de contact. -Large passage. -Encombrement réduit. -Excellent condenseur. -Autonettoyant.	-Non démontable. -Ecarts de T limités.	-Eau/eau. -Vapeur/eau. -Eau surchauffée/eau.

I-5-1-5/-Echangeur de chaleur rotative :

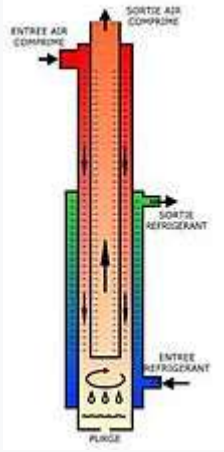


Figure (I-11) : Colonne de bouhy. [5]

Excellente alternative aux échangeurs à plaques dans les sécheurs d'air comprimé, la colonne de Bouhy est en fait un échangeur à tête d'épingle auquel a été ajouté un séparateur air/eau centrifuge dans la partie inférieure. Le dispositif dispose de deux échangeurs coaxiaux. Le premier est à mener l'air en dessous de son point de rosée, le second servant à la fois à ramener l'air à une température convenant à son utilisation et surtout à augmenter l'efficacité du refroidissement. Ce type d'échangeur se caractérise par une très faible perte en charge …

I-5-1-6/-Echangeur à bloc :



Figure (I-12) : Schéma d'un échangeur à bloc complexe [5]

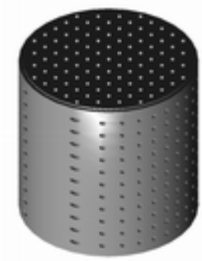


Figure (I-13) : Schéma d'un échangeur à bloc simple [5]

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

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

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

Tableau (I-6) : Avantages & Inconvénients d'un échangeur a bloc. [5]

Avantages	Inconvénients	Utilisation
-Bonne résistance. chimique. -Inertie. -Peu de pertes thermiques -Modulable.	-Sensible aux grands écarts de T. -Sensible aux chocs. -Coefficients de transfert moyen.	-Vapeur/eau. -Eau/eau. -Eau surchauffée/eau. -Liquides corrosifs.

I-5-1-7/Echangeur a ailette :



Figure (I-14) : Échangeur eau/air d'automobile. [5]

Un échangeur à ailettes est un échangeur relativement simple : il consiste en un conduit cylindrique ou rectangulaire sur lequel sont fixées des lames métalliques de différentes formes. Le fluide de refroidissement est en général l'air ambiant. La chaleur est transférée du fluide chaud circulant dans le conduit principal aux lames métalliques par conduction thermique ; ces lames se refroidissent au contact de l'air.

Ce type d'échangeur est utilisé pour le chauffage dans les bâtiments : de l'eau est chauffée dans l'installation de chauffage et circule dans des radiateurs qui sont des échangeurs à ailettes. On utilise

également ce type d'installation pour refroidir les moteurs de voiture ou encore les moteurs en tout genre. Dans ce dernier cas, la chaleur due aux frottements et à l'induction magnétique (cas d'un moteur électrique) est directement transférée à la protection extérieure du moteur qui possède des ailettes fixées à sa surface.



Figure (I-15) : Radiateur pour l'électronique [5]

Le transfert thermique est limité notamment du côté du fluide de refroidissement par manque d'un système de circulation : l'air circule principalement par convection naturelle autour de l'échangeur. Cette limitation peut toutefois être supprimée par ajout d'un système de ventilation. Cet échangeur est très simple et peut prendre des formes particulières, ce qui le rend intéressant dans l'électronique.

Tableau (I-7) : Avantages & Inconvénients d'un échangeur a ailettes.

Avantages	Inconvénients	Utilisation
-Bon rendement. -Peut prendre des formes précises.	-Craint les chocs.	-eau/air. -huile/air. -solide/air.

I-5-1-8/Échangeur à fils fin :

De nouveaux échangeurs à fils fins permettent des échanges eau/air à très faibles écarts de température en chauffage ou refroidissement.

I-6/Echangeurs à plaques :

L'échangeur à plaques est un type d'échangeur de chaleur qui connaît un usage croissant dans l'industrie. Il est composé d'un grand nombre de plaques disposées en forme de millefeuilles et séparées les unes des autres d'un petit espace (quelques millimètres) où circulent les fluides. Le périmètre des plaques est bordé d'un joint qui permet par compression de la structure d'éviter les fuites. [10]

Les plaques ne sont pas plates, mais possèdent une surface ondulée selon un schéma bien précis afin de créer un flux turbulent synonyme d'un meilleur transfert de chaleur, mais permet également de canaliser les fluides se déplaçant à la surface vers les coins de la plaque. Le fluide se déplace, par exemple, du coin inférieur gauche vers le coin supérieur droit de la plaque, où un orifice lié à un tuyau lui permet de passer de l'autre côté de la plaque et de sauter une couche du millefeuille (un espace entre 2 plaques) avant de s'écouler à nouveau le long de la plaque suivante. Ainsi chaque fluide ne circule parallèlement à une plaque que tous les 2 espaces.

L'avantage de ce type d'échangeur est sa simplicité qui en fait un échangeur peu coûteux et facilement adaptable par ajout/retrait de plaques afin d'augmenter/réduire la surface d'échange en fonction des besoins (Attention : la surface ne peut être augmentée de manière infinie à cause de la perte de charge). La surface en contact avec l'extérieur est réduite au minimum, ce qui permet de limiter les pertes thermiques et l'étroitesse de l'espace où circulent les fluides ainsi que le profil des plaques assurent un flux turbulent qui permet un excellent transfert de chaleur. [11]

Toutefois ces derniers paramètres entraînent une importante perte de charge qui limite le nombre de passage des fluides entre les plaques. Cette perte de charge ne peut être compensée par une pression d'entrée des fluides élevée (<2.5 MPa) car une trop grande pression causerait des fuites au travers des joints placés entre les plaques. La différence de températures entre les 2 fluides ne doit pas être trop grande également pour éviter une déformation des plaques par dilatation/contraction de ces dernières qui empêcherait les joints entre les plaques d'être parfaitement étanches.

La turbulence permet de réduire l'encrassement de la surface d'échange de 10-25 % par rapport à un échangeur à faisceau tubulaire. Comparativement à un échangeur à faisceau tubulaire la surface d'échange est inférieure de 50 % pour le même transfert de chaleur.

¶

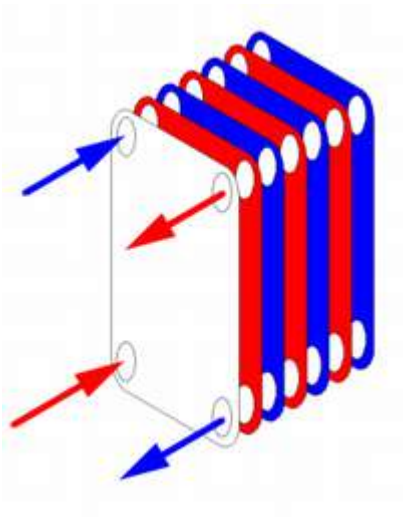


Figure (I-16) : Schéma d'un échangeur à plaques. [9]

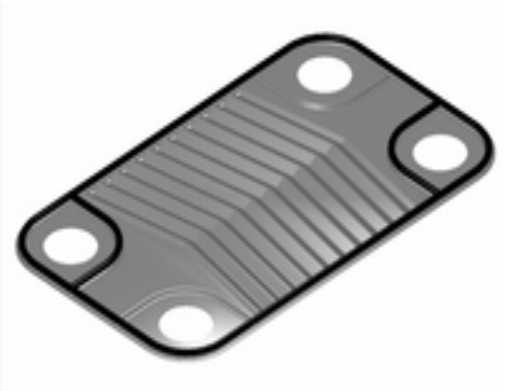


Figure (I-17) : Une plaque avec un profil à chevrons. [9]

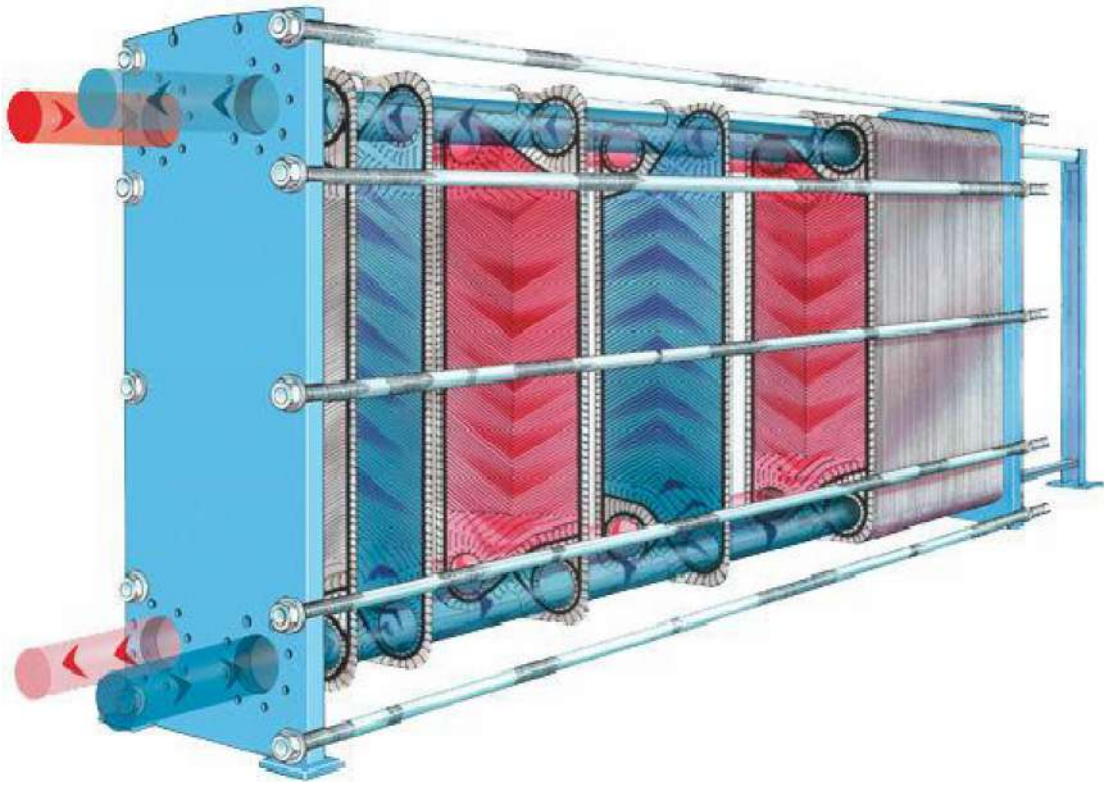


Figure (I-18) : Schéma d'échangeur à plaque. [5]

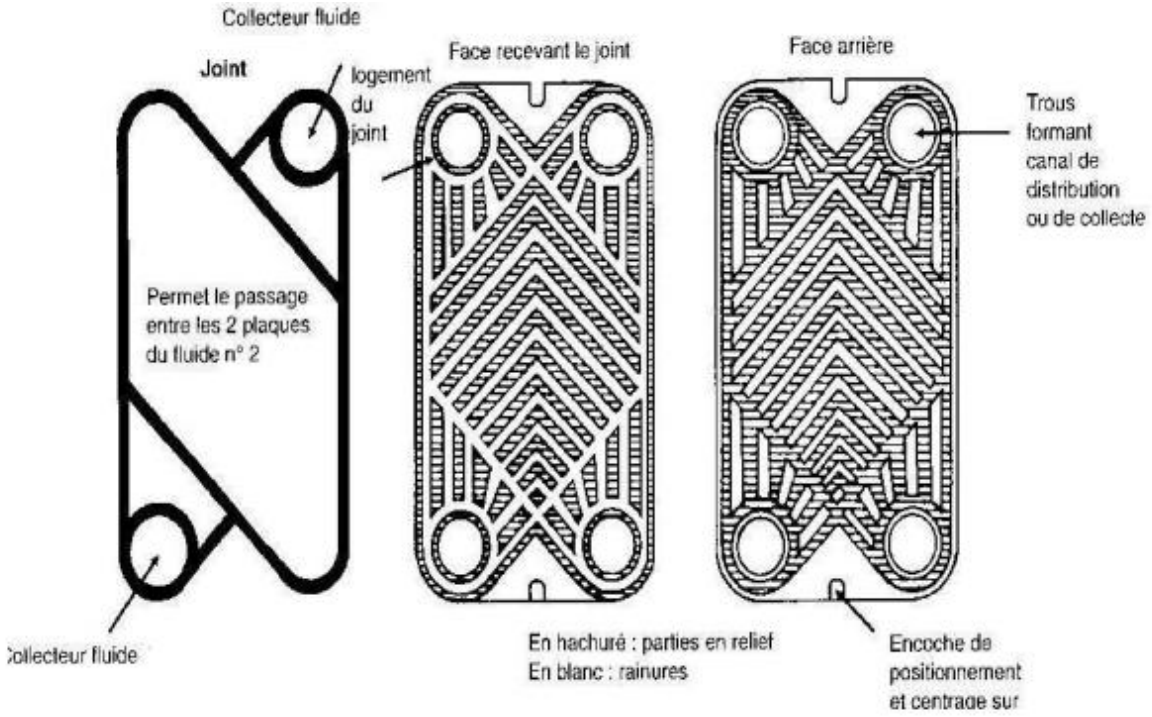


Figure (I-19): Détail plaque d'échange avec joint d'étanchéité [11]

Tableau (I-5) : Avantages & Inconvénients d'un échangeur à plaques. [5]

Avantages	Inconvénients	Utilisation
-Compact. -Très bons coefficients de transfert. -Prix compétitifs. -Peu de pertes thermiques. -Modulable.	-Faible écart de T possible. -Régulation. -Perte de charge importante. -Pression de travail limitée.	-Vapeur BP/eau. -Eau/eau. -Huile/eau. -Eau surchauffée/eau.

I-7/Etat de l'art :

Dans les sociétés industrielles, l'échangeur de chaleur est un élément essentiel pour la maitrise de l'énergie, les problèmes relèvent de la thermo hydraulique concernant avant tout le dimensionnement thermique des appareils. Pour cela, le garde de maitre et al.[12] ont étudiés numériquement le comportement dynamique et thermique d'un écoulement en convection forcée pour deux fluides pour améliorer les performances des échangeurs de chaleur à l'aide de code « FLUENT » ,dans le cas simple et avec les ailettes dans la veine d'écoulement des fluides pour avoir la différence entre les deux cas, et pour voir la net amélioration des performances dans l'échangeur de chaleur.

Pour déterminer le champ de la température pour les deux fluides (chaud et froid) qui circulent respectivement dans le conduite cylindrique en régime permanent, Moummi et al,[13] ont utilisés leurs travail par le biais d'un logiciel de simulation numérique nommée « fluent 6.0.12 » ainsi que l'étude thermique exige la résolution de l'équation d'énergie par les méthodes numériques et la construction d'un langage « MATLAB ».

Pour caractériser le comportement thermique d'échangeurs destinés à la gestion de l'humidité dans les serres, TAOURIT Farida, [14] a déterminée les corrélations les plus appropriées pour estimer le transfert à l'intérieur et à l'extérieur des tuyaux de drainage corrugués formant le cœur des appareils (corrélation Colburl pou caractériser l'écoulement interne et la méthode de Threlkeld est pour déterminer le transfert externe).

Pour améliorer les performances des échanges entre les deux fluides circulants dans un échangeur de chaleur à plaque et la paroi afin d'agrandir les couches limites et de diminuer les couts énergétiques, on a proposé de simuler numériquement l'écoulement conjugué au transfert de chaleur dans un échangeur en configuration zigzag en présence des déflecteurs dans l'objectif d'optimiser les caractéristiques géométriques de l'échangeur pour une meilleur efficacité thermique et dynamique.

Chapitre 2:

Modélisation mathématique

II-1/INTRODUCTION :

L'écoulement de fluide est décrit par le système d'équations aux dérivées partielles qui ont : 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.

Dans ce chapitre on s'intéresse à la modélisation mathématique de transfert de chaleur et l'écoulement diphasique turbulent depuis quelques décennies, Prandtl, Navier-Stocks et Reynolds qui ont pu découvrir les lois fondamentales de la mécanique des fluides.

II-2/-Equation de transport de la dynamique :

Dans un repère cartésien, les écoulements newtoniens, incompressibles et visqueux sont quantifies par les équations définies dans les paragraphes ci après. [15]

II-3/-L'équation de la continuité :

Cette équation concerne le principe de conservation de la masse dans un élément.

Elle exprime l'égalité de la variation de la masse d'élément et de la déférence entre la quantité de fluide qui entre et celle qui quitte pendant le même temps. [15]

L'équation de continuité globale est donnée par :

$$\frac{D\rho}{Dt} + \rho\vec{\nabla}\vec{V}=0 \qquad \text{Avec : } \left(\frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + V^p.\square^p\right)$$

Dans un régime permanent on a donc :

$$\frac{\partial U_i}{\partial X_i} = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

II-4/-L'équation de Navier-Stocks :

En mécanique des fluides, les équations de Navier-Stocks sont des équations aux dérivées partielles non linéaires qui décrivent le mouvement des fluides dans l'approximation des milieux continus. Elles gouvernent par exemple les mouvements de l'air de l'atmosphère, les courants océaniques, l'écoulement de l'eau dans un tuyau, le mouvement d'air dans les locaux et de nombreux autres phénomènes d'écoulement de fluides. Elles sont nommées d'après deux physiciens du XIX^e siècle, Claude Navier et George Stocks.[15]

Donc on va utiliser les équations suivantes :

$$\overbrace{\underbrace{\frac{\partial U_i}{\partial t}}_{(3)} + U_j \underbrace{\frac{\partial U_i}{\partial X_j}}_{(4)}}^{(1)} = \overbrace{\underbrace{-\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial X_i}}_{(5)} + \underbrace{V\frac{\partial^2 U_i}{\partial X_j \partial X_j}}_{(6)}}^{(2)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

Est la conséquence de directe du théorème de quantité de mouvement.

(1) : terme force d'inertie.

(2) : terme force appliquée.

(3) : terme in stationnaire.

(4) : terme converti.

(5) : terme pression.

(6) : terme visqueux.

II-5/-La décomposition de Reynolds (la décomposition statique) :

La décomposition de Reynolds est dite que tout champ (□ = U ou P) se décompose en un champ moyen $\overline{\emptyset}$. Et en un champ fluctuant □ de moyenne nulle.

$$□ = \overline{\emptyset} + \grave{\emptyset}$$

Donc on aura le système suivant :

$$U_i = \overline{U}_i + u_i \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

$$p = \overline{P} + P \ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

Les lettres minuscules désignent les fluctuants ou les écarts des valeurs par rapport à ces moyennes. Le symbole (-) désigne moyenne statistique ou moyenne d'ensemble (moyenne sur un ensemble de réalisation). Elle est définie comme la limite statistique de moyenne arithmétique prise à travers un certain nombre d'expériences réalisées dans les mêmes conditions générales d'écoulement. Cette moyenne vérifie les règles de Reynolds. [15]

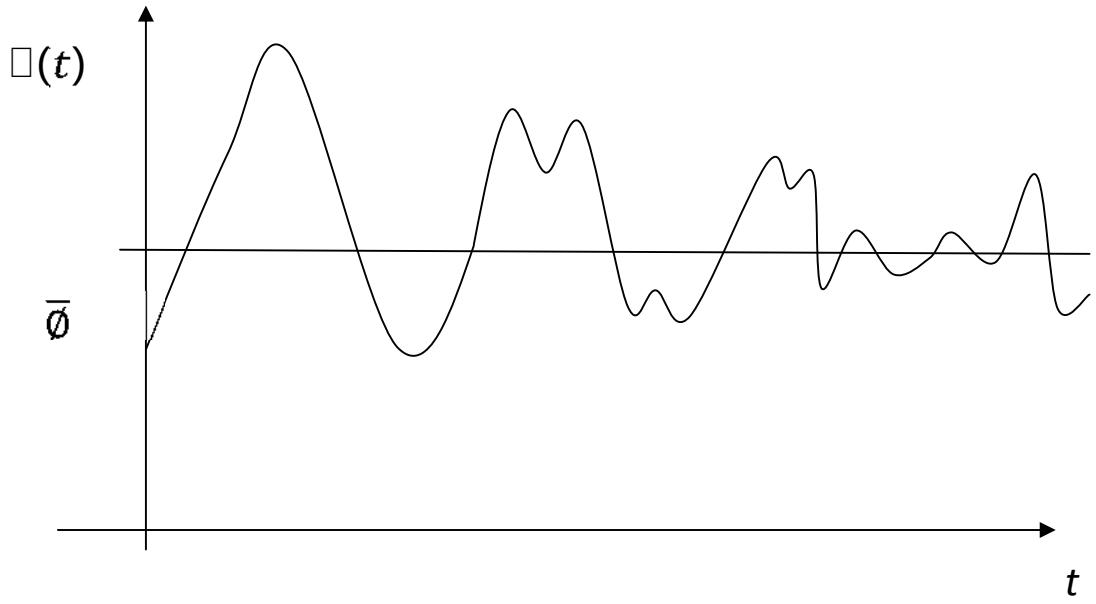


Figure (II-1) : Fluctuation d'une grandeur autour d'une valeur moyenne. [15]

En appliquant les lois de la moyenne à deux quantités turbulentes quelconques f et g. On aura :

$$\overline{(f+g)}=\bar{f}+\bar{g} \quad ; \quad \overline{af}=\bar{f}a \quad ; \quad \overline{\bar{f}g}=\bar{f}\bar{g} \quad ; \quad \overline{\partial f/\partial\xi}=\overline{\partial f}/\partial\xi$$

ξ:Variable d'espace ou de temps.

Dans le cas d'une turbulence stationnaire, les moyennes d'ensemble ne dépendent pas du temps. Dans le cas des écoulements homogènes, on pourra de même utiliser des moyennes spatiales.

La décomposition de Reynolds permet de distinguer l'écoulement moyen de l'écoulement fluctuant.

II-6/-Traitement statistique des écoulements turbulents :

Nous avons dit que la turbulence consistait en des fluctuations aléatoires des grandeurs caractéristiques et par conséquent l'approche statistique est utilisée pour l'étude de ces écoulements.

Malgré le fait que la théorie statistique et la simulation numérique sont des options nobles, presque tous les efforts de recherche axée sur la turbulence ces derniers décennies ont utilisés le concept des moyennes temporelles des équations de Navier-Stocks résultant en des équations du mouvement, dites de Reynolds, en terme de grandeurs moyennes et de fluctuations.

En suivant l'idée originale de Reynolds (1895), on supposera que le fluide est à l'état turbulent non permanent et aléatoire, une solution turbulente est toujours une solution compliquée non stationnaire des équations du mouvement, présentant des fluctuations irrégulières dans l'espace et dans le temps, Pour résoudre les équations du mouvement il faut spécifier les conditions initiales des variables du mouvement (Peut) en tous points et à chaque instant.

Il est très difficile de capturer les fines perturbations sur une échelle ou l'incrément de temps est infinitésimal, on adopte alors une approche statistique et on s'intéresse à des équations moyennes, cela permet de décomposer la valeur instantanée □ a une valeur moyenne $\overline{\emptyset}$ et une fluctuation φ.On écrit alors :

$$\square = \overline{\emptyset} + \grave{\emptyset} \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (5)$$

Avec : $$\overline{\emptyset} = \frac{1}{T}\int_0^T \square \, dt$$

Ou T une grandeur comparer à la période de fluctuations.

Cette décomposition (décomposition de Reynolds) a un avantage considérable dans le traitement mathématique des équations de mouvement.

$$\overline{\overline{U_\iota U_J}} = \overline{U_\iota U_J} \quad , \quad \overline{U_\iota U_J} = \overline{U_\iota U_J} + \overline{u_\iota u_j} \quad , \quad \overline{\overline{U}_\iota U_J} = \overline{U_\iota \overline{U}_J} = 0$$

$$\frac{\partial \overline{U}}{\partial x} = \frac{\partial U}{\partial x} = \frac{1}{T}\int_0^T \frac{\partial U}{\partial x}\partial t = \frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{1}{T}\int_0^T U dT\right] = \frac{\partial \overline{U}}{\partial x}$$

II-7/-Les équations des mouvements moyennes :

Les relations fondamentales régissant l'écoulement d'un fluide incompressible sont les équations de Navier-Stocks et celles de continuité qui s'appliquent aux écoulements turbulents aussi bien qu'un écoulement laminaire.

Si ce système d'équations a été résolu avec succès pour un grand nombre d'applications dans le cas d'écoulement laminaire [16], il est au contraire hors de question de calculer une solution complète quand il s'agit des écoulements turbulents dans un écoulement quelque peut complexe exigerait des capacités des machines de calcul.

La moyenne est à l'origine une moyenne d'ensemble (moyenne stochastique), c'est-à-dire qu'elle prise sur un ensemble d'expériences effectuées dans les conditions édéniques.

L'hypothèse d'périodicité [Favre, 1976] il est équivalent de considérer une expérience répétée une infinité de fois ou une seule expérience menée à l'infini dans le temps-permet le passage à des moyennes temporelles, et par conséquent un traitement statistique des équations. Les équations ne sont alors a priori valables que pour des écoulements stationnaires mais dans la pratique elles sont alors largement utilisée les cas in stationnaires. [15]

Pour des écoulements à faible nombre de Mach, il est courant de considérer comme négligeables les fluctuations de la masse volumique [Schiste, 1993], ce qui se traduit par la relation suivante :

$$\rho = \bar{\rho}$$

En remplaçant dans les équations fondamentales expressions instantanées des écoulements par leurs expressions sous la forme de la relation (5), et en moyennant les équations obtenues, on obtient les équations suivantes :

II-7-1 /-Equation de continuité des mouvements moyennes :

L'équation de continuité du champ moyen est obtenue par moyenne de l'équation (1) :

$$\frac{\partial \overline{U_i}}{\partial X_i} + \frac{\partial u_i}{\partial X_i} = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

II-7 -2/-Equation de Navier-Stocks moyenne :

L'équation de Reynolds (obtenues par moyenne de l'équation (2) après avoir introduit la décomposition de Reynolds) :

$$\frac{\partial \overline{U_i}}{\partial t} + \overline{U_J}\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + U_j\frac{\partial \overline{U_i}}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \nu\frac{\partial^2 \overline{U_i}}{\partial x_j \partial x_j} \quad \ldots\ldots (7)$$

On écrit finalement :

$$\frac{\partial \overline{U_i}}{\partial t} + U_j\frac{\partial \overline{U_i}}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \frac{1}{\rho}\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\overline{\tau_{ij}} + R_{ij}\right) \quad \ldots\ldots\ldots (8)$$

Introduisent les corrélations doubles $\overline{\rho U_\iota U_j}$ qui forment le tenseur des tensions de Reynolds, ce tenseur est symétrique et sa trace est égale au double de l'énergie cinétique de la turbulence.

La condition d'incompressibilité implique :

$$U_i \overline{\frac{\partial U_\iota}{\partial x_j}} = \overline{\frac{\partial U_\iota U_J}{\partial x_j}},$$

Les tensions de Reynolds ou les contraintes de Reynolds $\overline{\rho U_\iota U_j}$ peuvent etre s'ecrit sous la forme suivante :

$$[R_{ij}] = -\rho \begin{bmatrix} \overline{UU} & \overline{VU} & \overline{UW} \\ \overline{UV} & \overline{VV} & \overline{VW} \\ \overline{UW} & \overline{VW} & \overline{WW} \end{bmatrix}$$

Ou $[\tau_{ij}]$ est le tenseur des contraintes visqueuse, défini par :

$$[\tau_{ij}] = \Gamma \left[\frac{\partial \overline{U_\iota}}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right] \text{ avec } \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} = \Gamma \frac{\partial^2 \overline{U_\iota}}{\partial x_j \partial x_j}$$

L'équation de la vitesse fluctuante est obtenue par différence (2) et (8)

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + \overline{U_j} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = -U_j \frac{\partial \overline{U_\iota}}{\partial x_j} - U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(V \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \overline{U_\iota U_j} \right) \quad \ldots\ldots (9)$$

La divergence des fluctuations de vitesse (équation obtenue par différence (1)-(6) est également nulle :

$$\frac{\partial U_i}{\partial X_i} = 0 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (10)$$

II-7-3/-Equation de transport des tensions de Reynolds :

Les équations de transport sont de la forme générale :

$\frac{d\square}{dt}$ =Production+diffusion-dissipation+sources additionnelles.

Ou $\frac{d}{dt}$: représente la dérivée particulaire (rappelons que $\frac{d\square}{dt} = \frac{\partial \square}{\partial t} + U_j \frac{\partial \square}{\partial x_j}$).

Les équations de départ sont les équations (1) et (2) dans lesquelles on a introduit l'équation (3) et (4).On part de l'équation (2) :

$$\frac{\partial(\overline{U_i}+U_i)}{\partial t}+(\overline{U_k}+U_k)\frac{\partial(\overline{U_i}+U_i)}{\partial x_k}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial(\bar{P}+P)}{\partial x_i}+V\frac{\partial^2(\overline{U_i}+U_i)}{\partial x_k\partial x_k} \quad \ldots\ldots\ldots(11)$$

On fait la différence (9)-(7) :

$$\frac{\partial u_i}{\partial t}+\overline{U_k}\frac{\partial u_i}{\partial X_k}+u_k\frac{\overline{\partial U_j}}{\partial X_k}+\frac{\partial\left(u_k u_j-\overline{u_k u_j}\right)}{\partial X_k}=\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x_j}+V\frac{\partial^2 u_j}{\partial X_k\partial X_k} \quad \ldots\ldots\ldots(12)$$

On peut écrire (10) pour l'indice j :

$$\frac{\partial u_j}{\partial t}+\overline{U_k}\frac{\partial u_j}{\partial X_k}+u_k\frac{\overline{\partial U_j}}{\partial X_k}+\frac{\partial\left(u_k u_j-\overline{u_k u_j}\right)}{\partial X_k}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial X_j}+V\frac{\partial^2 u_j}{\partial X_k\partial X_k} \quad \ldots\ldots\ldots(13)$$

On multiple (12) par u_j et (13) par u_i et on somme les deux equations obtenus.En regroupant certains termes, il vient :

$$\frac{\partial R_{ij}}{\partial t}+U_k\frac{\partial R_{ij}}{\partial x_k}=-R_{ik}\frac{\overline{\partial U_j}}{\partial x_k}-R_{jk}\frac{\partial\overline{U_i}}{\partial x_k}+\frac{\bar{P}}{\rho}\left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j}+\frac{\partial U_i}{\partial x_i}\right)-\frac{\partial}{\partial x_k}\left(\overline{U_i U_j U_k}\right)-$$

$$\frac{\partial}{\partial x_k}\left[\frac{\bar{P}}{\rho}\left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j}+\frac{\partial U_j}{\partial x_i}\right)\right]-2V\frac{\partial U_i}{\partial x_k}\frac{\partial U_j}{\partial x_k}+V\frac{\partial^2 R_{ij}}{\partial x_k\partial x_k}$$

Cette équation fait apparaitre au second membre plusieurs contributions : les deux premiers termes traduisent l'action des gradients de vitesse moyenne sur le champ turbulent et représentent la production des tensions de Reynolds (son signe peut dans certain cas être négatif).Le terme de corrélation pression-déformation s'annule par contraction et réalise dons une redistribution d'énergie sur les composantes des tenseurs de Reynolds.

Schématiquement on écrira :

$$\frac{\partial R_{ij}}{\partial t}+\overline{U_k}\frac{\partial R_{ij}}{\partial x_k}=P_{ij}+T_{ij}+D_{ij}-\varepsilon_{ij}+V\frac{\partial^2 R_{ij}}{\partial x_k\partial x_k} \quad \ldots\ldots\ldots(14)$$

T_{ij}: Transport diffusif du aux fluctuations de vitesse et aux fluctuations de pression.

P : Production.

ε_{ij}:Dissipation visqueuse (car il consiste un puits du à la viscosité moléculaire).

D_{ij}:Diffusion visqueuse.

L'équation (12) est appelée équation de tension de Reynolds ou équation des corrélations doubles

$$R_{ij} = \overline{U_\iota U_j}$$

II-7-4/-Equation de l'énergie cinétique fluctuante :

K=1/2 R_{ij}

$$\frac{\partial K}{\partial t} + \bar{U}_j \frac{\partial K}{\partial x_j} = -R_{iK} \frac{\partial \overline{U_J}}{\partial x_K} \left(U_K \frac{\overline{U_\iota U_J}}{2} \right) \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\overline{U_J P} \right) \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_j} \left(U_j \bar{P} \right) - V \frac{\partial U_j}{\partial x_K} \frac{\partial U_j}{\partial x_K} + V \frac{\partial^2 K}{\partial x_K \partial x_K}$$

. . . . . (15)

Cette équation que l'on peut obtenir par contraction tensorielle de l'équation aux tensions de Reynolds, exprime que la variation de l'énergie cinétique de la turbulence est due aux effets des termes du second membre :

Production d'énergie par action des gradients de vitesse et pression ; dissipation visqueuse et enfin diffusion visqueuse.

Schématiquement on écrira :

$$\frac{\partial K}{\partial t} + \overline{U_K} \frac{\partial K}{\partial x_K} = P + D - \varepsilon + V \frac{\partial^2 K}{\partial x_K \partial x_K} \quad . . . . . (16)$$

L'équation de K est utilisée notamment dans les modèles simplifiés a un ou deux équations de transport.

II-7-5/-Equation du taux de dissipation de l'énergie cinétique fluctuante :

Multipliant l'équation (9) par $\left(-2V \frac{\overline{u_k u_\iota}}{\partial x_j \partial x_j} \right)$ et prenant la moyenne, on obtient :

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \bar{U}_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = -2V \left[\frac{\partial \overline{U_K} \partial^2 \bar{U}_\iota}{\partial x_j \partial x_j \partial x_K} + \frac{\overline{\partial U_K \partial U_\iota} \partial U_i}{\partial x_j \partial x_j \partial x_K} + \frac{\overline{\partial U_J \partial U_J \partial U_K}}{\partial x_K \partial x_j \partial x_K} \right]$$

L'équation du taus de dissipation de l'énergie turbulente est plus délicate a interpréter et a modéliser, elle est utilisée pour calculer l'échelle de longueur caractéristique de la turbulence.

II-8/-Quelques hypothèses classiques de la fermeture de turbulence :

II-8-1/-Hypothèse de chou :

$$v_t = c_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$$

II-8-2/-Hypothèse de viscosité turbulente de bousines :

$$-\overline{u_i u_j} = v\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right) - \frac{2}{3}k\delta_{ij}$$

II-8-3/-Hypothèse de longueur de mélange de Prandtl :

$$v_t = L^2 m\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j}\right)$$

Qui devient en écoulement de type couche limite :

$$v_t = L^2 m \frac{\partial u_1}{\partial u_2}$$

Lm : Etant la longueur de mélange qui peut être détermine facilement pour un certain nombre d'écoulement. [16]

II-8-4/-Hypothèse de Prandtl-Kolmogorov :

II-9/-Modélisation du transfert de chaleur :

II-9-1/-Equation d'énergie :

La modélisation des transferts de chaleur est basée sur une formulation en température des échanges thermiques, dans laquelle le changement de phase ou la dissipation visqueuse sont pris en compte grâce à des termes sources ou polynomiaux formulés en terme de température. [16]

II-9-2/-Transferts de chaleur en écoulements incompressibles :

La modélisation des transferts thermiques convectif et conductif en interaction avec un écoulement incompressible sont modélisés à partir d'une formulation conservative et d'une approche non-conservative [17].

$$\rho_{C_P}\left(\frac{\partial T}{\partial t} + \nabla(VT)T\square V\right) + \alpha T = \square(\lambda\square T) + \square + S$$

S(Le terme αT est un terme linéaire laissé à la libre utilisation de l'utilisateur ainsi que le terme source S

Le terme est le terme de dissipation visqueuse donnée par la relation suivante :

$$\square = 2_{\mu} D_{ij}\frac{\partial u_i}{\partial x_i} \qquad \text{Avec} \qquad D_{ij} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right)$$

Finalement le système à résoudre est le suivant :

Forme générale des équations du système :

Les équations du système sont écrites sous la forme généralisée suivante :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho c_{\square} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho v_x c_{\square}\square)\frac{\partial}{\partial x}(\rho v_y c_{\square}\square) = \frac{\partial}{\partial x}\left(\Gamma_{\emptyset}\frac{\partial \emptyset}{\partial y}\right) + S_{\emptyset}$$

Ou :

 : Variable généralisée

$c_{\square}$: Coefficient d'advection transitoire.

$\Gamma_{\square}$ Coefficient de diffusion.

$S_{\square}$ Termes source.

Le tableau suivant regroupe les expressions des différents termes dans les différentes équations du système :

Tableau (II-01) : Expression des coefficients d'échange et des termes sources pour les différentes variables.

Variable □	Coefficient d'advection $C_{□}$	Diffusivité Γ□	Termes source $S_{□}$
V_x	1	μ	$\frac{\partial p}{\partial x}+\frac{\partial}{x}\left(\mu\frac{\partial u}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\mu\frac{\partial u}{\partial y}\right)-\delta□\left\|\frac{\nabla_c}{\|\nabla_c\|}\right\|\frac{\nabla_c}{\|\nabla_c\|}$
V_y	1	μ	$\frac{\partial p}{\partial y}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\mu\frac{\partial u}{\partial x}\right)-\delta□\left\|\frac{\nabla_c}{\|\nabla_c\|}\right\|\frac{\nabla_c}{\|\nabla_c\|}$
T	1	$\frac{K}{\rho c^e}$	$\frac{\varphi}{pc^e}$
P	1	0	0

CONCLUSION :

Les équations que nous avons obtenir dans ce chapitre sont des équations partielles alors, pour passer du continue vers le discontinue en convertirait les équations sous forme algébrique car il est impossible analytiquement de résoudre ce système alors on fait appelé à la résolution numérique exposée dans le chapitre suivant.

Chapitre 3:

Discrétisation

III-1/INTRODUCTION :

Dans ce chapitre on va utiliser la méthode de discrétisation des équations du chapitre 2 qui nous permet de convertir les équations aux dérivées partielles en équations algébriques qui sont alors résolues par la méthode numérique traditionnelles, Le procédé de discrétisation par élément fini consiste a écrire après intégration ,l'équation généralisée sous forme matricielle élémentaire.

Les trois méthodes numériques utilisées pour la résolution des équations différentielles partielles qui régissent les écoulements turbulents sont : la méthode des volumes finis, des différences finies et les éléments finis.

III-2/-Les trois grandeurs méthodes de discrétisation :

Pour passer d'un problème exact continu régit par une EDP au problème approché discrète, il existe trois grandes familles des méthodes :

- La méthode des différences finies(MDF) procède par approximation des dérivées d'une fonction en termes de ces valeurs approchées aux nœuds du maillage.
- La méthode des éléments finis.
- La méthode des volumes finis.

III-2-1/-méthode des différences finies :

La méthode des différences finies consiste à remplacer les dérivées apparaissant dans le problème continu par des différences divisées ou combinaisons de valeurs ponctuelles de la Fonction en un nombre fini de points discrets ou nœuds du maillage.

Avantages : grande simplicité d'écriture et faible cout de calcul.

Inconvénients : limitation de la géométrie des domaines de calculs, difficultés de prise en compte des conditions aux limites portant sur les dérivées ou les gradients de l'inconnue.

III-2-2/-méthode des volumes finis :

Cette méthode est utilisée pour résoudre numériquement des équations aux dérivées partielles comme la méthode des différences finies et la méthode des éléments finis mais, contrairement à la méthode de

différence finies qui utilise des approximations de dérivées, la méthode de volume fini utilise comme la méthode d'éléments finis, des approximations d'intégrales.

Dans la méthode des volumes finis les lois de conservations (de la masse, de quantité de mouvement et de l'énergie) sont exprimées localement sons une forme intégrale.

La clé de cette méthode réside dans l'application du théorème de la divergence ou théorème d'Ostrogradski, qui permet de changer une intégrale de volume en intégrale de surface.

L'un des principaux avantages de la méthode des volumes finis est d'assurer une conservation intégrale exacte des grandeurs quelle que soit la taille du maillage et c'est pour raison qu'elle est très largement utilisée pour la résolution des phénomènes gouvernés par des équations à dérivées partielles.

III-2-3/-méthode des éléments finis :

La méthode des éléments finis consiste à rapprocher les équations différentielles régissant pour un système avec un ensemble d'équations algébriques concernant un nombre limité de variables. Ces méthodes sont populaires parce qu'ils peuvent facilement être programmés. Les techniques des éléments finis ont été initialement développées pour des problèmes structurels, mais ils ont été étendus à de nombreux problèmes du terrain. Le solide est décomposé en éléments de forme géométrique simple ayant des côtés communs et dont les sommets ou nœuds sont les points d'articulation de plusieurs éléments entre eux.

Ces nœuds seront les points d'application des forces intérieures ou extérieures. L'opération de décomposition est le maillage. Un bon maillage doit faciliter les opérations prévues par un programme d'ordinateur. Il faut donc adopter une méthode systématique de numérotation des éléments et des nœuds.

Avantages : traitement possible de géométries complexes, détermination plus naturelle des conditions aux limites, possibilité de démonstrations mathématiques de convergence.

Inconvénients : complexité de mise en œuvre et cout en temps de calcul et en mémoire.

III-3/-Choix d'un maillage :

La méthode des éléments finis repose sur un découpage de l'espace selon un maillage.

D'habitude l'on choisit un maillage carré ou triangulaire mais rien n'interdit de choisir des maillages plus complexes. Il n'est pas non plus nécessaire que le maillage soit régulier et l'on à tendance à resserrer le maillage près des endroits d'intérêts (par exemple aux endroits ou l'on pense que la solution va beaucoup varier), cependant il faut veiller à avoir des éléments faiblement distordus (se rapprocher d'un polygone régulier). Plus ce maillage est resserré plus la solution que l'on obtient par la méthode des éléments finis sera précise et proche de la << vraie >>solution de l'équation aux dérivés partiels.

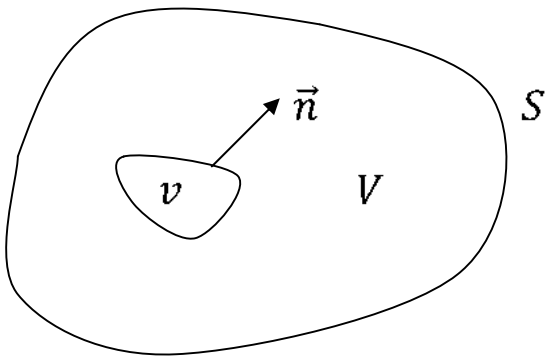
Même si une structure géométriquement complexe peut être maillée avec des éléments tétraédriques, elles mai exigent de nombreux éléments et que mai conduire à l'échec parce que la simulation des ressources informatiques. Même un volume de forme régulière mai exigent de nombreux éléments tétraédriques si elle a un ratio très grand aspect. Ici, les éléments hexaèdres ou d'un coin serait un meilleur choix. « Objet avec un aspect ratio Large », illustre cette différence. Il montre que le nombre d'éléments tétraédrique (a) est beaucoup plus grand quelle nombre d'éléments hexaédrique (b), si une densité de maillage similaire est maintenue sur la section transversal.

III-4/-Discrétisation de l'équation de chaleur par élément fini :

III-4-1/-Bilan Thermique :

A/- Equation De Chaleur :

Soit v une partie quelconque de V limitée par la surface s. [16]



B/- Bilan thermique

La puissance thermique stockée dans v est égale a la somme de la puissance thermique q générée par les sources volumiques contenues dans V et de la puissance thermique reçue sous forme de flux à travers la surface S [18]:

$$\int \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} dV = \int q dV + \int -\vec{n}\left(-\bar{\bar{\lambda}}\overrightarrow{gard}T\right)ds \ldots\ldots\ldots (17)$$

Le domaine v étant arbitraire, on en déduit : en tout point du solide :

$$\rho c_p \dot{T} - div\left(\bar{\bar{\lambda}}\overrightarrow{gard}T\right)q = 0$$

Pour un matériau homogène et isotrope, l'équation (17) s'écrit dans le repère orthonormé $\{x, y\}$ [17,18]

$$\rho c_p \dot{T} = \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right) + q \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (18)$$

Ou :

$$\dot{T} = \frac{\partial T}{\partial t}$$

C/-Forme discrétisée :

1/-Eléments finis :

La solution analytique de l'équation (18) est en général inaccessible. On est donc conduit à chercher une solution approchée par une méthode numérique : la méthode des éléments finis. Cette méthode est un cas particulier de la méthode de Galérien : le champ de températures et les fonctions test appartiennent au même espace de dimension finie.

Le domaine V est décomposé en sous-domaine Ve de forme géométrique simple (les éléments) relies entre eux en des points appelés nœuds. Cette opération s'appelle maillage.

III-4-2/- la méthode de discrétisation :

Dans cette étude, la formulation des volumes de contrôle est adaptée puisque :

- Elle est simple dans la dérivation des équations algébriques.
- Elle exprime le principe de conservation pour un volume de contrôle, de la même façon qu'une EDP l'exprime sur un volume de contrôle infinitésimal.
- La solution obtenue implique la conservation intégrale de toutes les quantités (énergie, masse…) sur un groupe de volumes de contrôle ou sur tout le domaine de calcul.
- Elle est largement utilisée et testée.

Nous considérons l'équation de la chaleur en régime stationnaire et in-stationnaire [18].

III-5/-Programme ANSYS :

III-5-1/Historique :

ANSYS Inc., créé en 1970 aux Etats-Unis, est le numéro un mondial des logiciels de QW8U²modélisation et simulation. Depuis, son objectif est de développer et de fournir des logiciels de simulation en mécanique des structures, mécanique des fluides, électromagnétique et explicite (très grande vitesse et très grandes déformations). Pour mener notre étude par modélisation numérique, on a utilisé le logicielle numérique ANSYS, qui est l'un des codes de calcul, basé sur la méthode d'éléments finis.

Le logicielle<< ANSYS>> comprend plusieurs composantes telles que :

ANSYS/ Professionnel, ANSYS/ Multiphasiques, ANSYS/ Structural….etc.

Chaque composante est destinée à l'un des domaines d'ingénierie, et son choix met automatiquement à la disposition de l'utilisateur les processus adéquats (type d'élément, conditions aux limites, tracés,….etc.). Dans notre analyse, on a utilisé les modules thermal dans ANSYS/ Multiphasique, qui permet de traiter la majorité des problèmes du mécanique des fluides et des transferts de chaleur.

III-5-2/- INTRODUCTION

Les outils de simulation numérique occupent une place prépondérante dans les études. La démarche de conception optimale qui résulte de l'épuisement des ressources énergétiques et du souci de préservation de l'environnement, n'a fait qu'amplifier leur utilisation.

La simulation se définit comme l'utilisation ou la résolution de modèles correspondant à un système donné pour étudier le comportement de ce dernier dans un contexte précis. Elle est la suite logique de la modélisation qui est la première approche d'une simulation.

La simulation se présente presque toujours sous forme d'un programme ou d'outils informatiques. Ces derniers sont couramment appelés des environnements de simulation [18].

Parmi les outils informatiques de calcul on cite les codes ANSYS. Il s'agit d'un ensemble d'outils numériques édités par une société Américaine depuis 1970. Ses produits majeurs sont des logiciels qui mettent en œuvre la méthode des éléments finis, afin de résoudre des

Modèles préalablement discrétisés. Nous présentons ici ANSYS CFX un logiciel permettent d'effectuer des simulations en matière de mécanique des fluides.

III-5-3/-PRINCIPES FONDAMENTAUX D'ANSYS :

A/-Définition d'ANSYS :

ANSYS est un code éléments finis d'usage général dédié à la résolution numérique d'une large variété de problèmes physique en général et de mécanique en particulier. Ces problèmes portent notamment : analyse structurale en statique et en dynamique (linéaire et non linéaire), transfert de chaleur, dynamique des fluides, acoustique, électromagnétique [19].

Au cours de l'analyse que vous communiquerez avec ANSYS via une interface d'utilisateur

Graphique (GUI), qui est décrit ci- dessous et illustré la Figure III. 1.

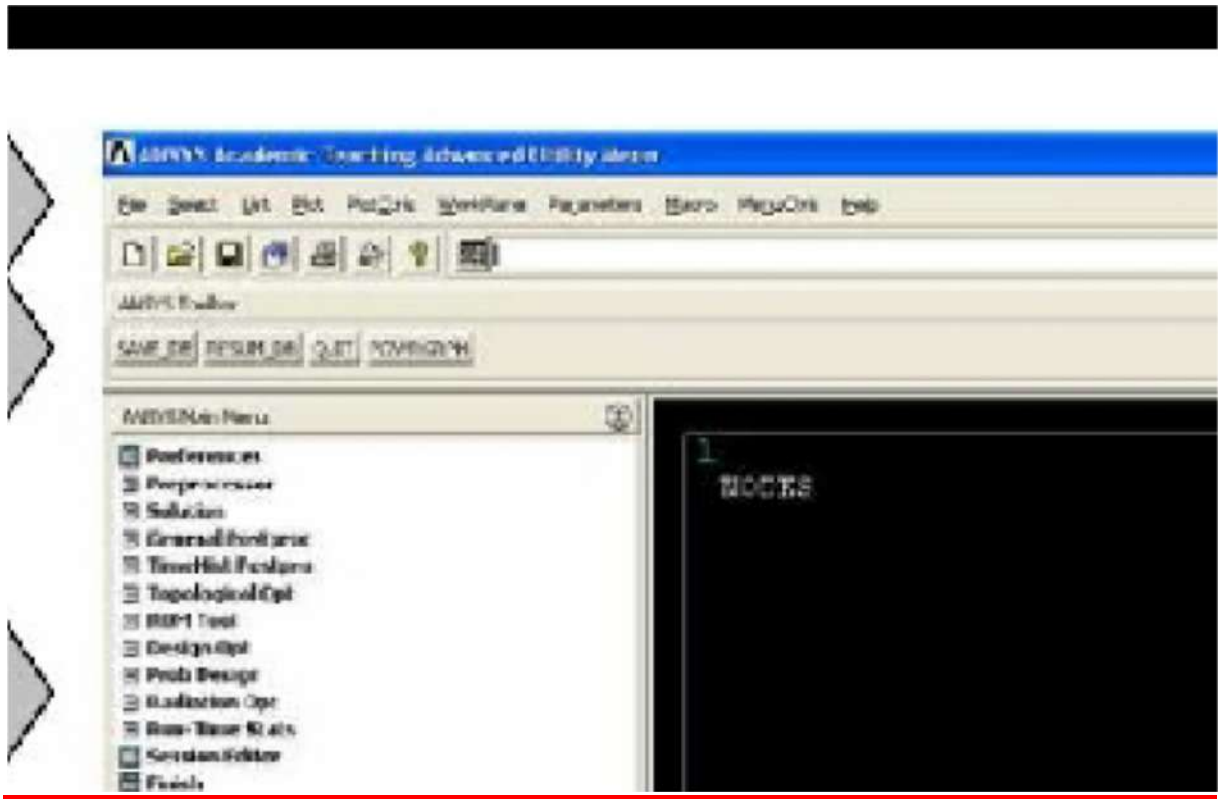


Figure (III .1): L'interface utilisateur graphique d'ANSYS (GUI) [2].

1. Menu de service : Ici vous pouvez accéder et ajuster les propriétés de votre session, tels que fichiers, liste et graphique de contrôle.

2. Barre d'outils : Boutons pour les commendes couramment utilisées.

3. Menu principal : Ici vous pouvez trouver les processeurs utilisés lors de l'analyse de votre problème.

4. Fenêtre graphique : Dans la fenêtre graphique votre modèle s'affiche, éléments, la géométrie, la visualisation des résultats et ainsi de suite.

5. Fenêtre de saisie : Vous pouvez taper des commandes dans la fenêtre de saisie.

De façon générale, une résolution par éléments finis comporte trois étapes [20] :

Pré- processor :

La phase de préprocesseur est celle ou sont spécifiées les données. L'utilisateur peut choisir le système de coordonnées et le type d'éléments, définir des constantes et des propriétés de Matériaux, créer des modèles solides et les mailler, ainsi que définir des équations de couplage et contraintes, l'utilisateur peut aussi exécuter un programme qui lui indiquera la taille des fichiers générés, la mémoire nécessaire, le temps d'exécution et le wavefront nécessaire. Le maillage peut être de 3 types : [21]

1/-maillage conforme (seulement des briques)

2/-maillage libre (tétraédrique)

3/-maillage adaptatif (itératif)

Solveur :

Le type d'analyse sélectionné détermine les équations qui seront utilisées par le solveur .les

Catégories disponibles incluent :

1/-Structure, thermique, champ EM, champ électrique, électrostatique, fluides, acoustique.

2/-Champ couplés : ceci signifie qu'il est possible de résoudre simultanément plusieurs aspects (par exemple, la thermomécanique, l'hydromécanique, thermo-fluidique, etc.).

Post-processor :

C'est la phase ou l'utilisateur peut manipuler les résultats de la phase précédente et les visualiser interactivement ou faire des sauvegardes pour impression et/ ou vidéo.

Les points forts des outils ANSYS :

1/-Une interface WORKBENCH intuitive et très facile à prendre en main.

2/-L'associativité avec tous les outils CAO 3D disponibles sur le marché.

3/-La possibilité de communiquer avec tous les logiciels CAO du marché : en format natif avec Catia V4 et V5, Solide Edge, NX-Unigraphics, Pro/Engineer, SolidWorks, Autodesk Inventer et Mechanical Desktop, et par l'intermédiaire de passerelles Acis et Parasolid intégrées avec tous les autres produits. [22]

1/-Des notes de calcules automatiques.

2/-Des meilleurs robustes.

3/-Des outils de convergence automatique.

4/-Une gestion automatique des assemblages et des contacts.

5/-La possibilité d'avance progressivement dans la complexité des phénomènes traités.

CONCLUSION :

L'ANSYS est un programme de simulation numérique qui nous a facilité les méthodes et les résultats obtenus seront dans le chapitre suivant.

Chapitre 4:

Resultats et discussions

IV-1/INTRODUCTION :

Dans un échangeur, la chaleur est transmise d'un fluide à un autre. Une grande part de l'énergie thermique utilisée dans les procédés industriels transite au moins une fois par un échangeur de chaleur, alors dans chapitre on va étudier l'échangeur a plaque pour connaitre sa géométrie (surface d'échange et section de passage des fluides) ,ses caractéristiques thermo physique, la vitesse d'écoulement des fluides, les profils de température et de pression ensuite de créer autres modèles des échangeurs de chaleur en jouant sur la géométrie pour les comparer finalement.

IV-2/-Identification :

Dans cette partie on a refaire la même simulation avec les mêmes méthodes de la thèse présenté pour l'obtention du diplôme de Master au niveau de l'université Docteur Yahia Fares en chimie de spécialité normes et contrôle de qualité afin de comparer nos résultats avec ceux de la thèse précédemment.

IV-2-1/Les démentions de l'échangeur à plaque simulé au programme ANSYS :

Tableau (IV-1) : la géométrie de l'échangeur de chaleur à plaque.[2]

	Variation de X(m)		Variation de Y(m)	
Carrée N1	0	0.0315	0	1.2
Carrée N2	0.0045	0.027	0	1.2
Carrée N3	00135	0.018	0	1.2

e : Le diamètre de plaque=0.0045m.

d : Le diamètre hydraulique=diamètre entre les deux plaques=0.009m.

IV-2-2/Les propriétés :

Tableau (IV- 2) : les propriétés du fluide et matériau d'échangeur de chaleur. [2]

	Lait	Eau	Aluminium
Chaleur spécifique CP	3912	4037.24	900
Conductivité	0.642	0.68	237
Densité	1001.34	983.34	2700
Viscosité	0.000604	0.00033	/
Température	77.5	103	/
Pression	0	0	
Vitesse	-0.52	0.52	

IV-2-2/Les étapes du travail sur ANSYS :

1/-La géométrie :

a)-Créer les points :

Preprocessor/Modeling/Create/Keypoints/In active CS (tableau pour le numéro du chaque point avec sa position (x,y)).

b)-Créer les lignes entre les points :

Keypoints/Lines/Lines/Straight line/Tru KPt (tableau pour créer des lignes entre chaque deux point)

c)-Créer la surface entre les lignes :

Keypoints/Area/Arbitrary/By lines (sélectionner les lignes pour créer la surface).

Create/Operate/Booleens/Overlap/Area/Glue.

Elément type/(Add/Edit/Delete)/(tableau)/Add/FLOTRAN CFD/2D FLOTRAN 141/ok/Option/(number of spicies(K1=2))/ok/close./Elément type/material props/material models(tableau)/material/new/tableau(=2)/mat1=le fluide(créer ses propriétés(CFD/conduction par exemple/Iso(tableau pour créer la valeur) et la même chose pour mat2(le materiau(alimunium dans notre cas).

d)-Le maillage :

Modeling/Meshing/Mesh tool (tableau à droite)/set global (tableau(=1))/Sélectionner la surface des deux fluides (ok(tableau à gauche(0,001)(ok)/set area/Mesh/reselectionner la surface/ok(maillage du surface de circulations des deux fluides)/Set global(tableau(=2))/sélectionner la surface des parois/(ok(tableau à gauche(0.001)ok/set area/Mesh/reselectionner la surface/ok(maillage de surface des parois.

Pour confirmer le maillage :Plot Ctrl/Numbering/tableau(selectionner Area,Element devient materials number et [NUM] devient Color only)/ok./plot/Area.

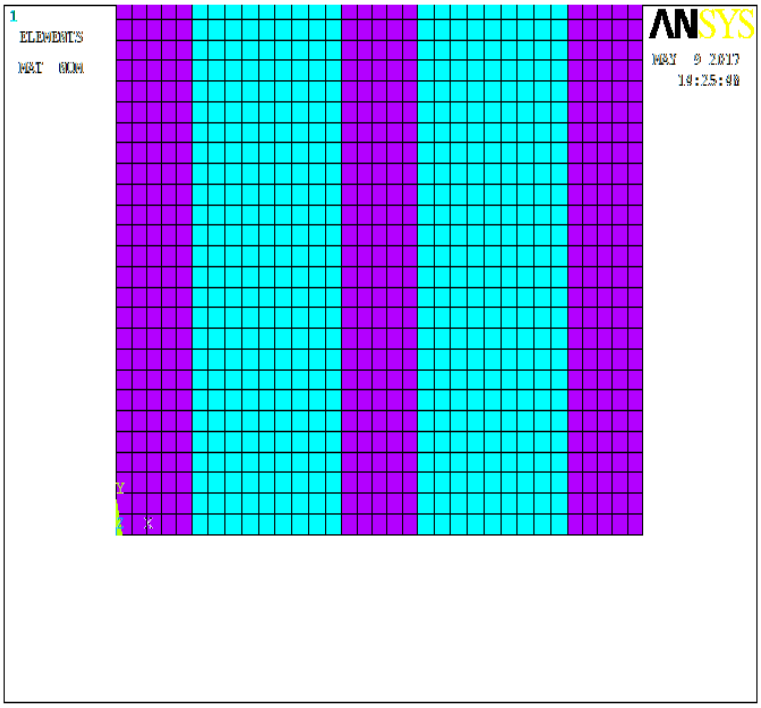


Figure (IV-1): Le maillage d'un échangeur à plaque.

e)-Les conditions limitent :

Loads/Define loads/Apply/thermal/température/on lines/Sélectionner l'entré de l'eau/ok(103°C)ok/température/on lines/sélectionner l'entrée de lait/ok(77.5°C)ok.

(Fluid/CFD)/Velocity/By lines/sélectionner l'entrée de l'eau(0.52m/s)ok/Velocity/By lines/Sélectionner l'entrée de lait (-0.52m/s car il circule au sens inverse)/ok.

Velocity/PressureDOF/On lines/sélectionner la sortie de l'eau et de lait/tableau (P=0 car c'est la pression atmosphérique).

Fluid CFD/species/on lines/tableau(ok)/selectioner l'entrée de l'eau(species1=1(100% eau) et species2=0(0% lait) et la même chose avec le lait mais l'inverse(1=0 et 2=1).

Flotran det up/fluid prop/(tout=CMIX)/ok/ok.

Flotran set up/multi species/ok

On a : species1 :General/ok/eau/ok et species2 = lait.

Species1/propriétés/tableau/la même chose avec species2 (lait).

Flotran set up/solution option/(multispecies+thermal(selectionner) et laminaire devient turbulent)/ok.

Exécution ctrl/300 itérations/solution option/flotran set up/Run (patientez jusqu'à le programmes resoudre le max des équations)/Solution done/General post/plot results/read results/last set/plot/contour plot/Nodal/DOF et choisir le profile (temperature, pression et vitesse).

IV-3/Les résultats dans un milieu fluide :

IV-3-1/-le profil de température :

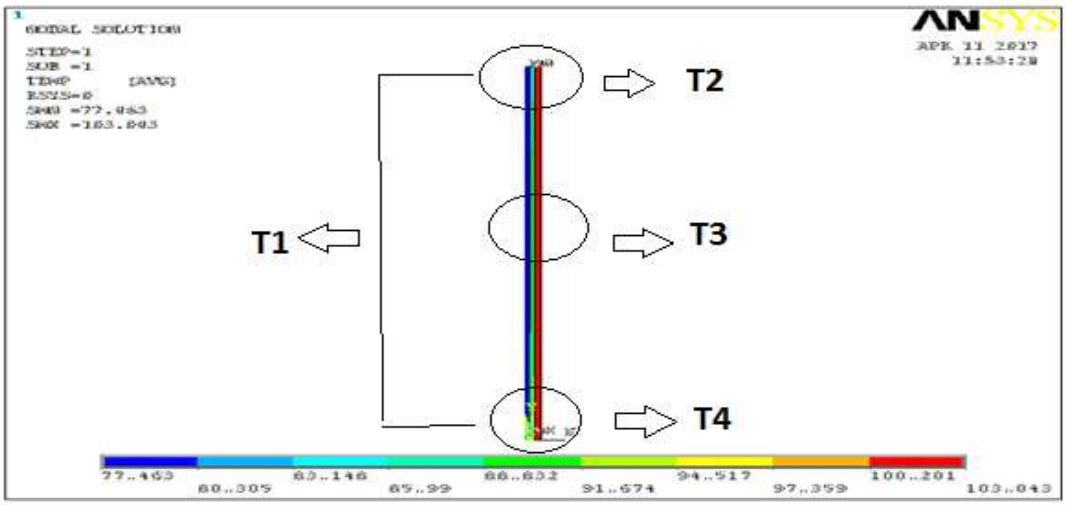


Figure (IV-2):Profil de température en les 4 positions (échangeur a plaques)

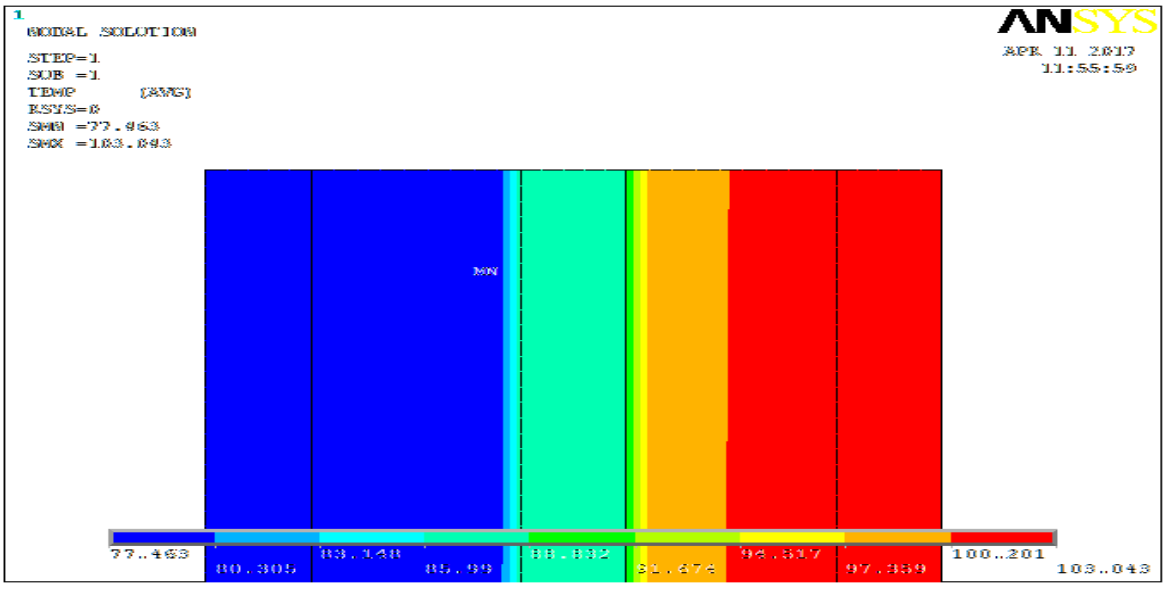


Figure (IV-3):Profil de température en Position2 (échangeur a plaques)

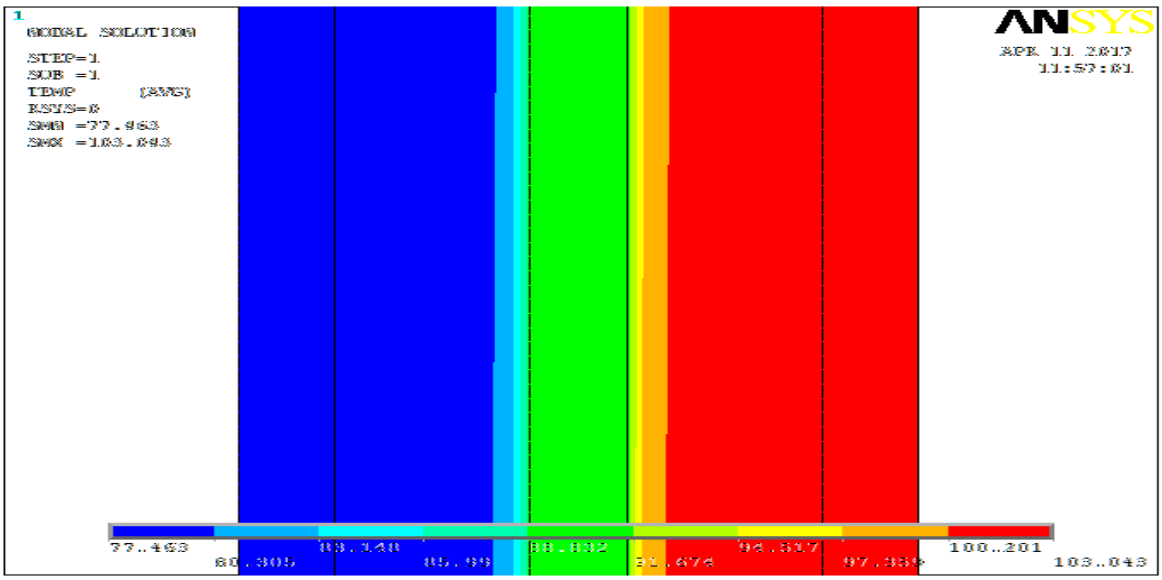


Figure (IV-4):Profil de température en position 3 (échangeur a plaques)

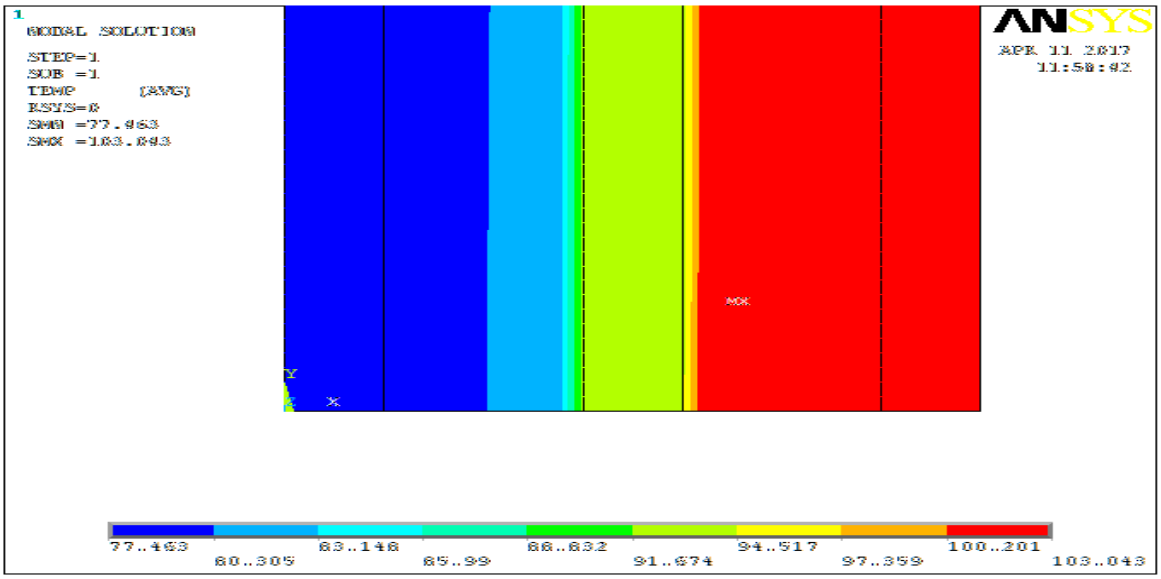


Figure (IV-5):Profil de température en position 4 (échangeur a plaques)

La variation de la température à la longue de canal (notre cas avec [] dans les mêmes graphes) :

La variation du profil de la température en fonction de la largeur(x) du canal est représentée sur les graphes suivants et ce pour deux positions, l'un a l'entrée et l'autre a la sortie du canal (y) pour l'eau et lait :

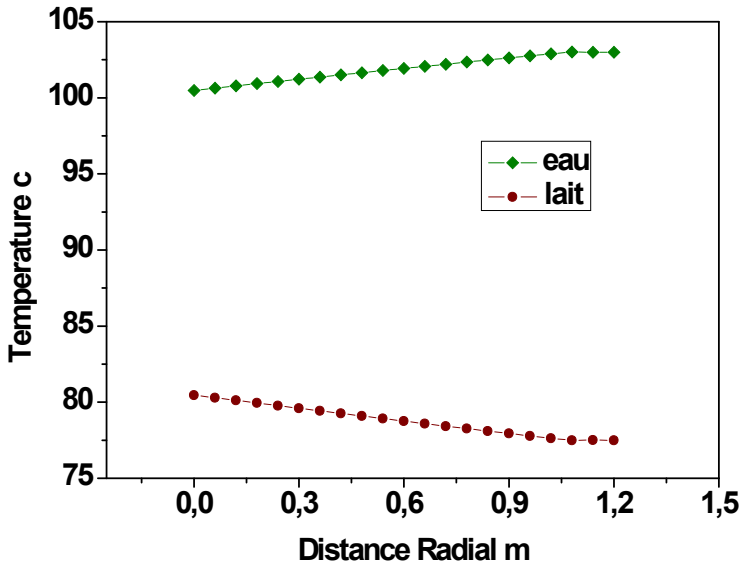


Figure (IV-6): la représentation graphique de La variation du profil de la température en fonction de la largeur(x) du canal pour deux positions, l'un a l'entrée et l'autre a la sortie du canal (y) pour l'eau et lait

IV-3-2/-le profil de la vitesse :

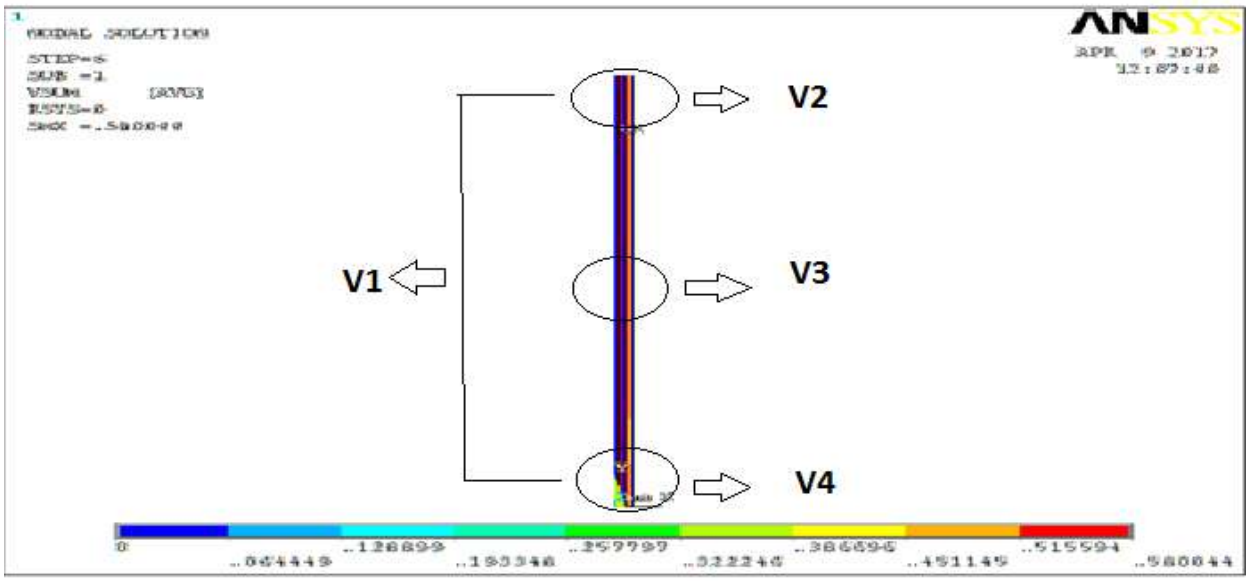


Figure (IV-7):Profil de vitesse en les 4 positions (échangeur a plaques)

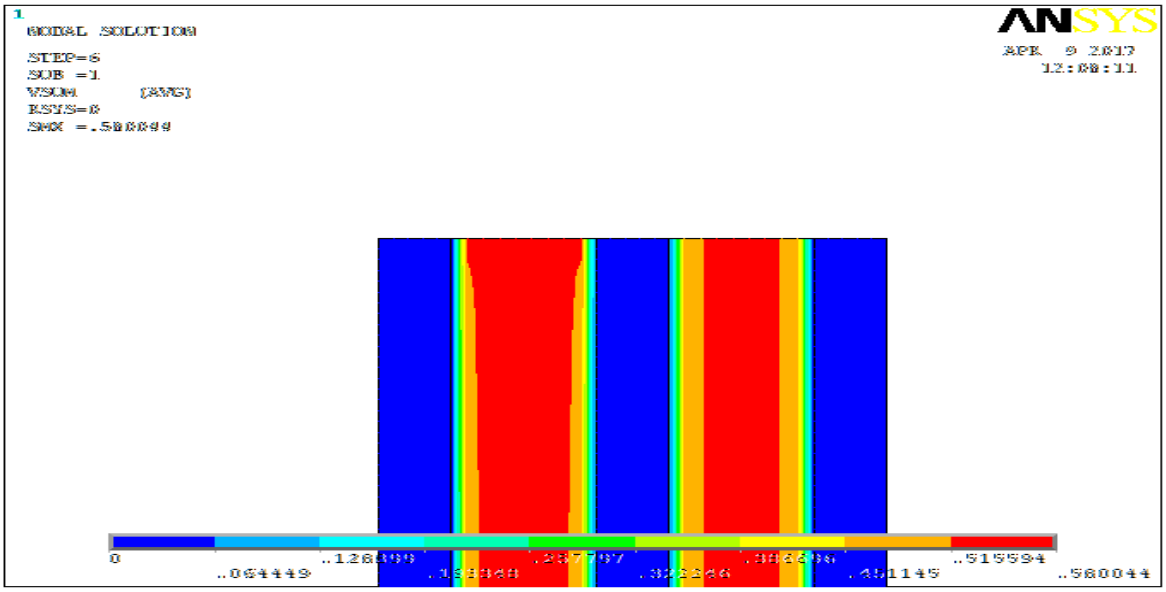


Figure (IV-8):Profil de vitesse en position 2 (échangeur a plaques)

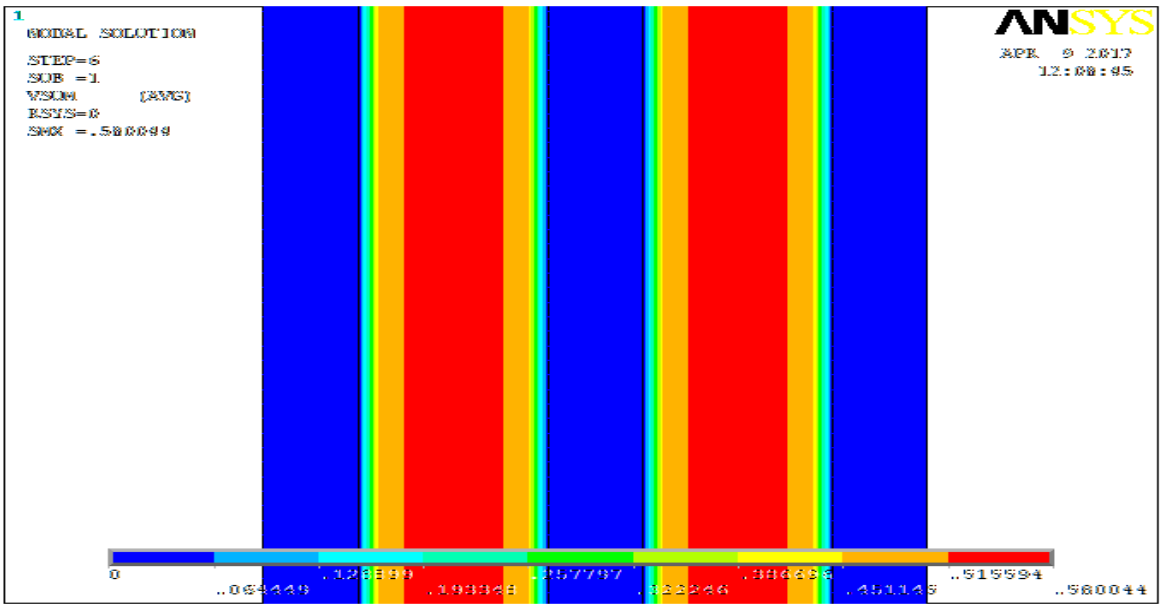


Figure (IV-9):Profil de vitesse en position3 (échangeur a plaques)

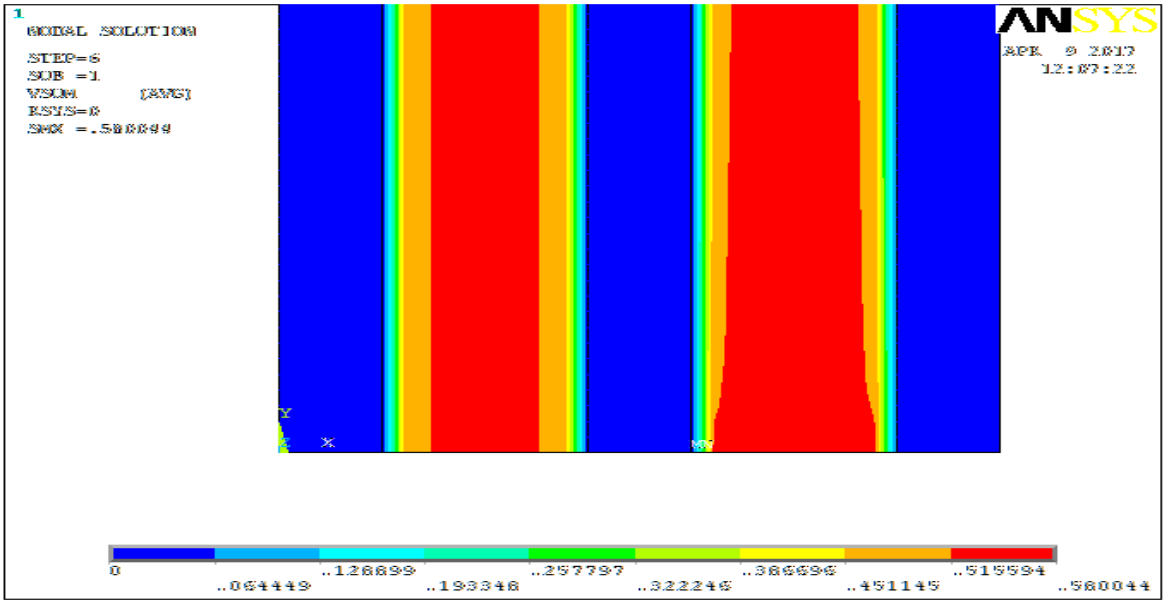


Figure (IV-10):Profil de vitesse en position 4 (échangeur a plaques)

IV-3-3/-le profil de la pression :

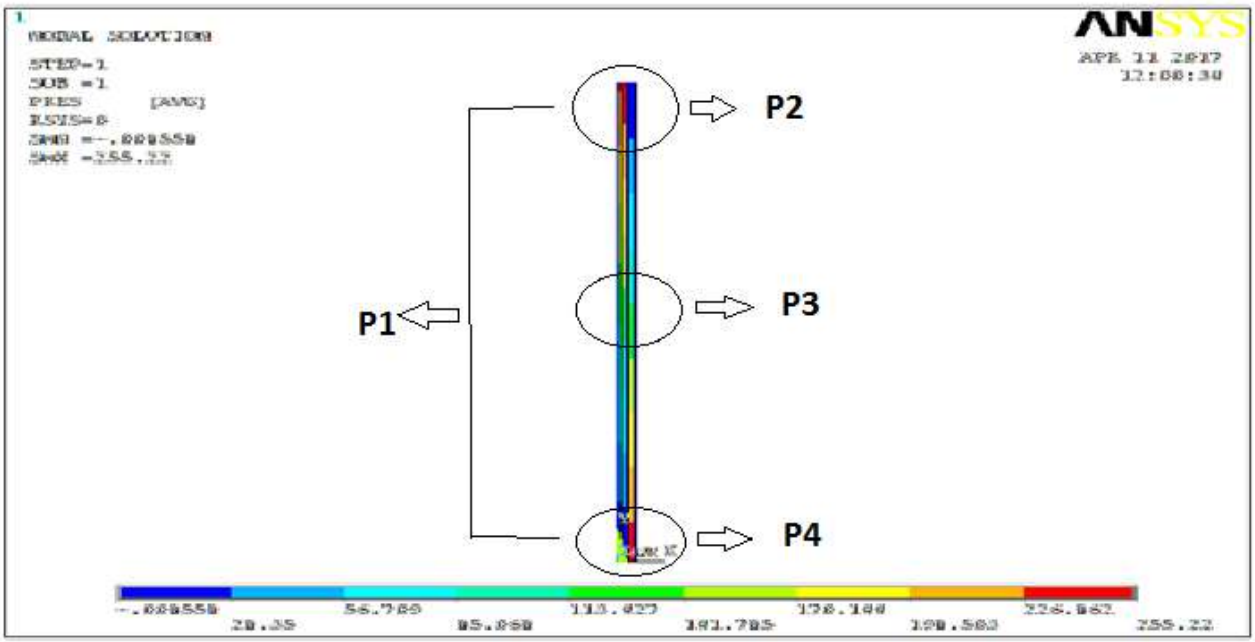


Figure (IV-11):Profil de pression en les 4 positions (échangeur a plaques)

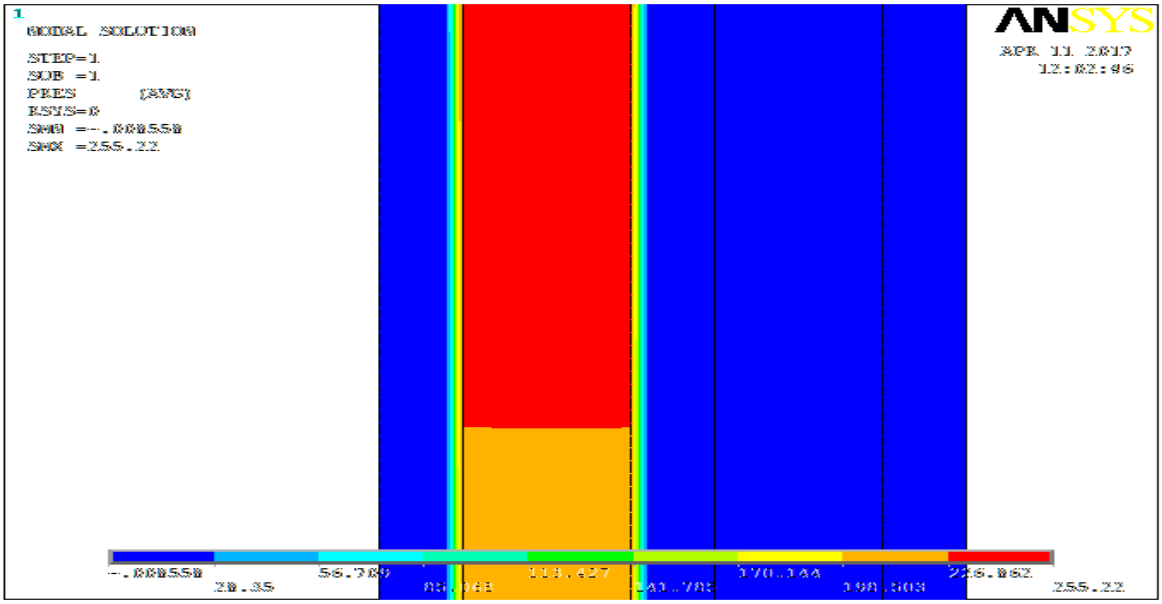


Figure (IV-12):Profil de pression en position 2(échangeur a plaques)

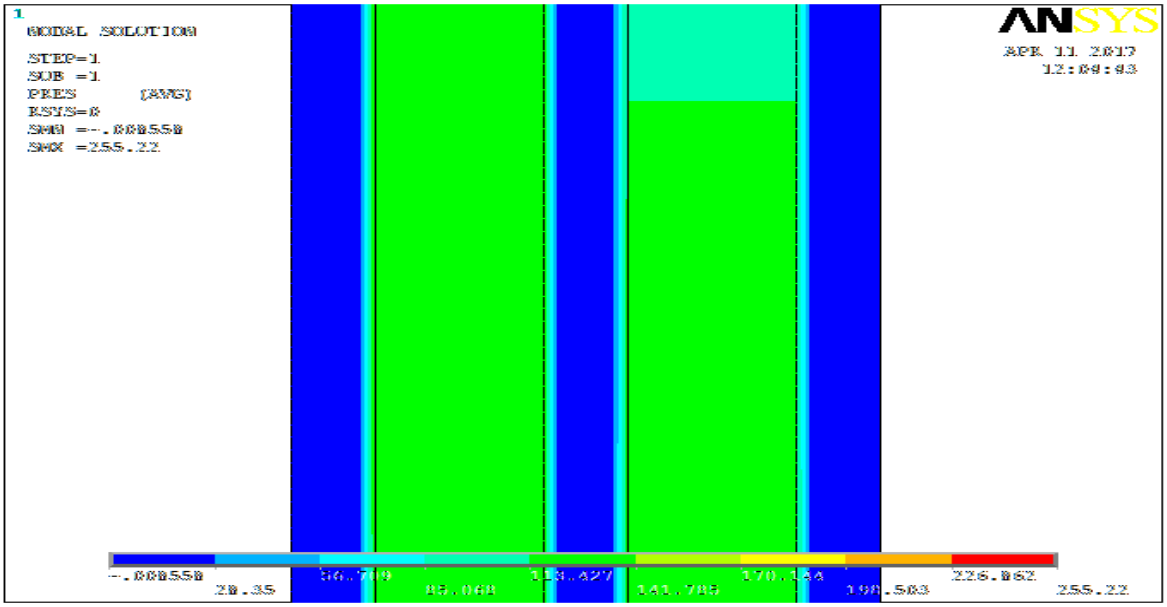


Figure (IV-13):Profil de pression en position 3 (échangeur a plaques)

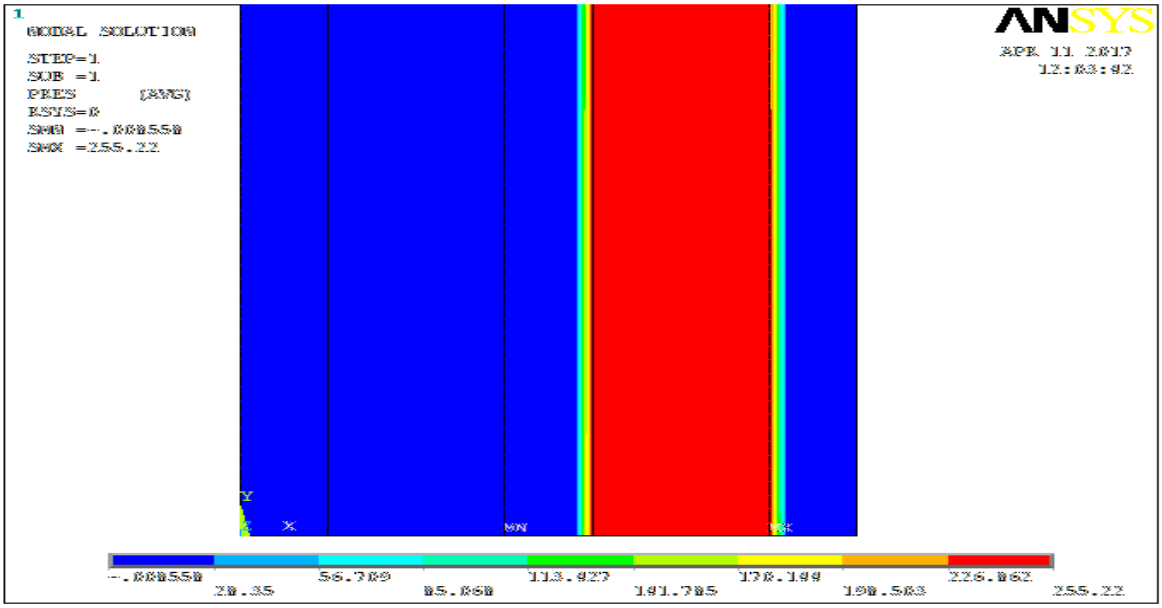


Figure (IV-14):Profil de pression en position 4 (échangeur a plaques)

La variation de la pression à la longue de canal (échangeur à plaque) :

La variation du profil de la pression en fonction de la largeur(x) du canal est représentée sur les graphes suivants et ce pour deux positions, l'un a l'entrée et l'autre a la sortie du canal (y) pour l'eau et lait :

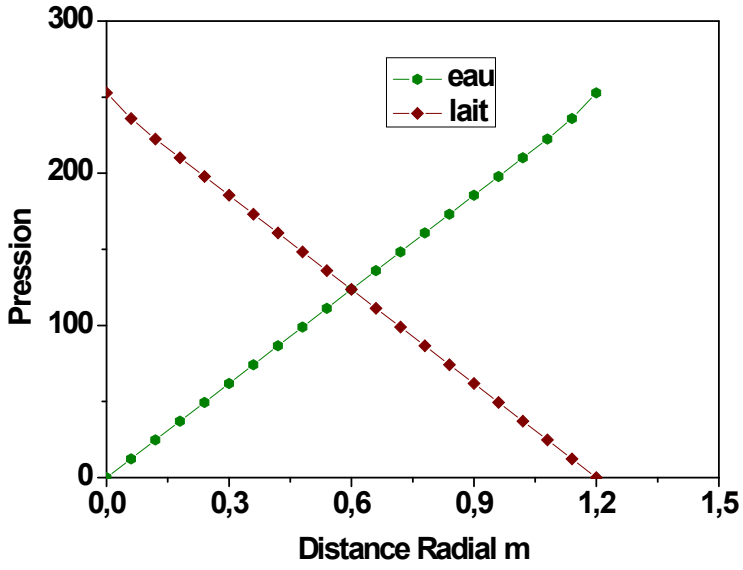


Figure (IV-15): Figure (4-10) : la représentation graphique de La variation du profil de la pression en fonction de la largeur(x) du canal pour deux positions, l'un a l'entrée et l'autre a la sortie du canal (y) pour l'eau et lait

IV-4/- Interprétations des résultats :

a)-pour la température :

Dans le coté eau , on observe une température élevée a l'entrée du fluide après une diminution de la température ,le long du canal est observée en raison de l'échange thermique avec le lait froid circulant en contre courant dans l'échangeur de chaleur, ensuite elle diminue rapidement prés de la parois froide, la valeur max est observée a l'entrée d'eau et la valeur min a la sortie ;par contre on observe une température base a l'entrée de lait après elle augmente le long du canal due à l'échange thermique avec la vapeur d'eau circulant en contre courant dans l'échangeur ensuite elle augmente rapidement près de la paroi chaude avec une valeur min a l'entrée et max a la sortie.

b)-Pour la pression :

Dans le coté eau , on observe une pression élevée a l'entrée du fluide avec une grande pente a cause des frottements après une diminution de la pression; ensuite elle diminue rapidement prés de la parois froide, la valeur max est observée a l'entrée d'eau et la valeur min a la sortie ;par contre on observe une diminution de la pression a l'entrée de lait après elle augmente le long du canal ;ensuite elle augmente rapidement près de la paroi chaude avec une valeur min a l'entrée et max a la sortie.

RMQ :

Le graphe de la pression dans le coté lait est l inverse de cela de l'eau car le lait circule dans le sens opposé de l'axe.

Alors : le mode d'écoulement observée dans notre cas est Contre-courant.

IV-5/-L'étude de zigzag à l'influence d'échangeur à plaque :

Dans cette partie, on veut diminuer les pertes de charges (pression) et augmenter les échanges entre les deux fluide au long du canal en créant un échangeur zigzag (avec des points).

Les démentions de l'échangeur à plaque zigzag simulé au programme ANSYS :

Tableau (IV-03) : La géométrie d'un échangeur de chaleur zigzag.

Point 1	X= 0	Y= 0
Point 2	X= 0.1	Y= 0.0045
Point 3	X= 0.2	Y= 0
Point 4	X= 0.3	Y= 0.0045
Point 5	X= 0.4	Y= 0
Point 6	X= 0.5	Y= 0.0045
Point 7	X= 0.6	Y= 0
Point 8	X= 0.7	Y= 0.0045
Point 9	X= 0.8	Y= 0
Point 10	X= 0.9	Y= 0.0045
Point 11	X= 1	Y= 0
Point 12	X= 1.1	Y= 0.0045
Point 13	X= 1.2	Y= 0

Le diamètre du plaque = 0.0045.

Le diamètre entre 2plaques = 0.009.

Les propriétés :

Nous avons gardé les mêmes propriétés et les conditions limitent précédentes.

IV-6/Les résultats dans un milieu fluide :

IV-6-1/-le profil de température :

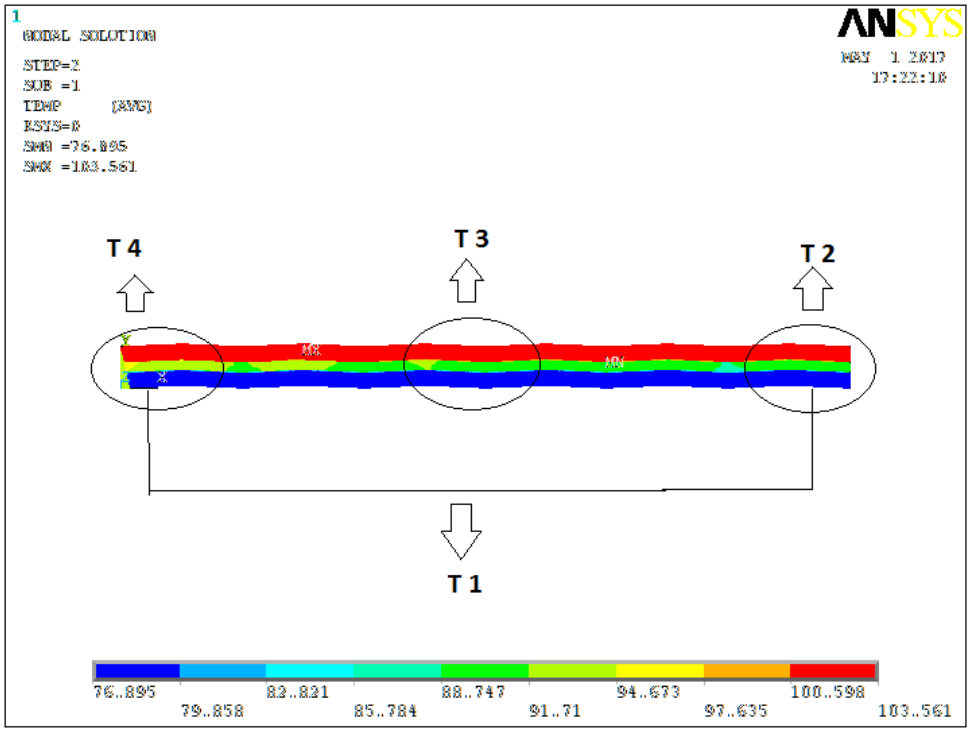


Figure (IV-16) : champ du Température en les 4 positions (échangeur zigzag)

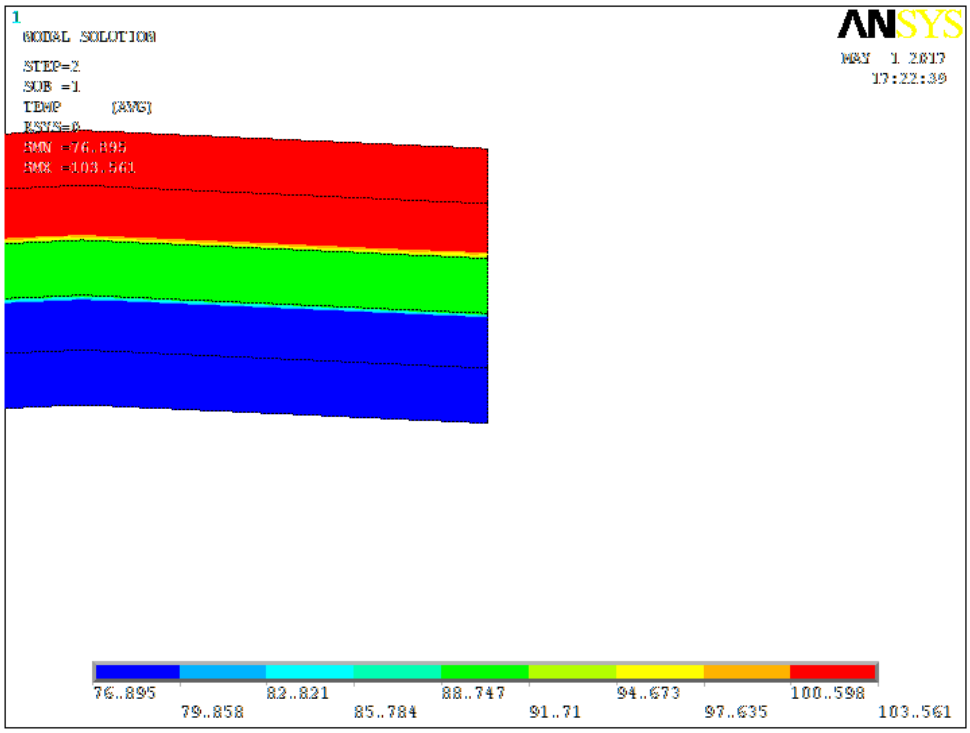


Figure (IV-17) : champ du Température en position2 (échangeur zigzag)

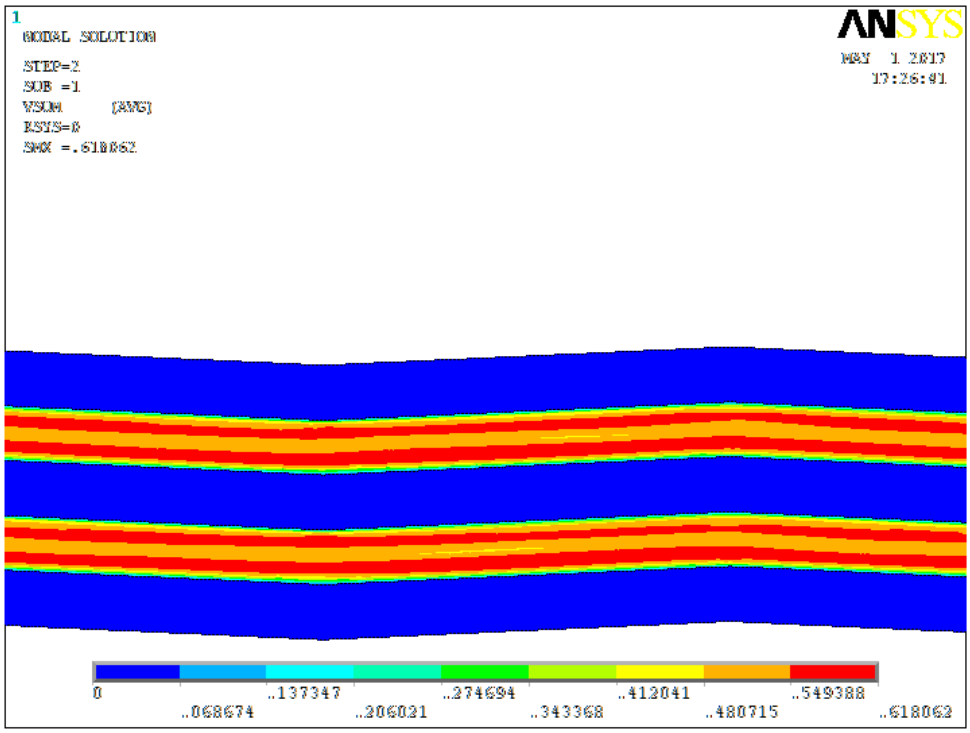


Figure (IV-18) : champ du Température en position3 (échangeur zigzag)

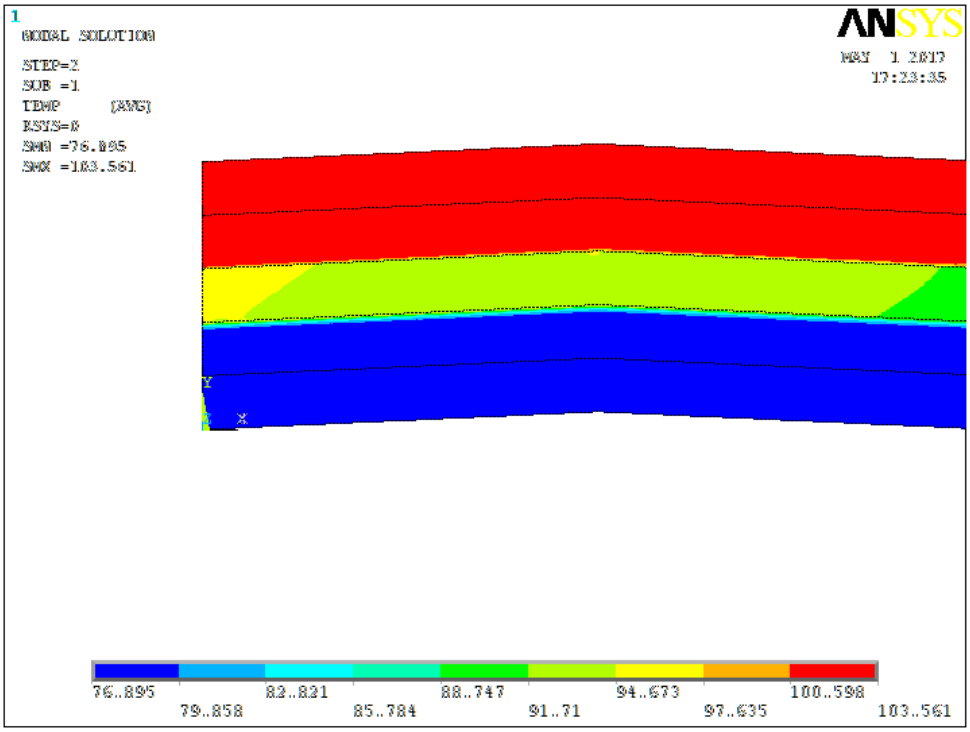


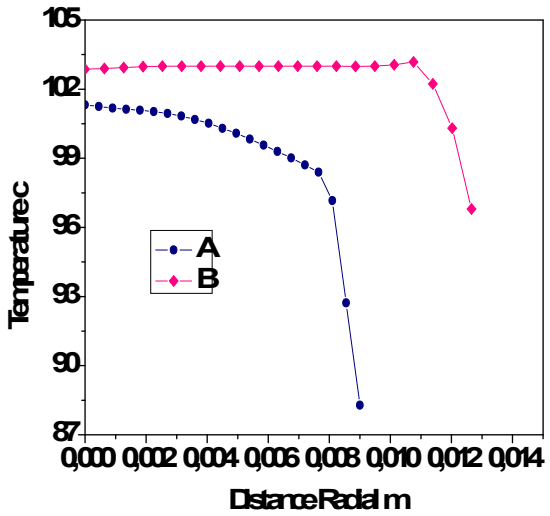
Figure (IV-19) : champ du Température en position4 (échangeur zigzag)

La variation de la température à la longue de canal :

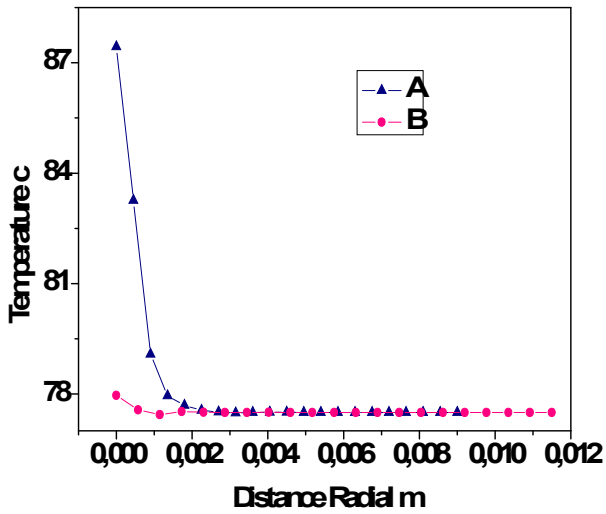
La variation du profil de la température entre l'échangeur à plaque et zigzag en fonction de la largeur(y) du canal est représentée sur les graphes suivants et ce pour des différentes positions dans le canal(x) :

Pour X =Y=1.1

a)-Coté eau :

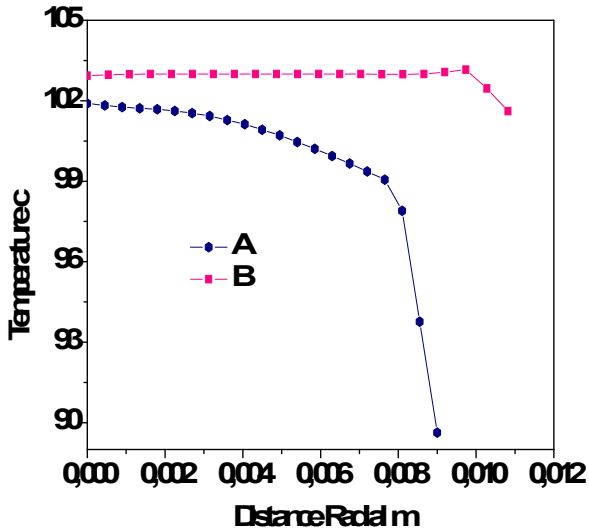


b)-Coté lait

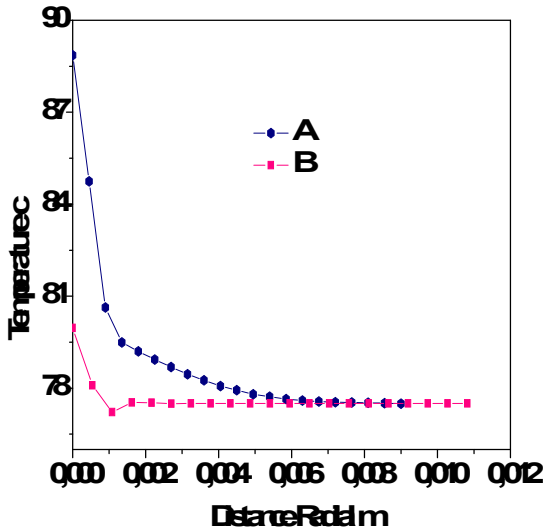


Pour y = 0.9

a)-Coté eau :

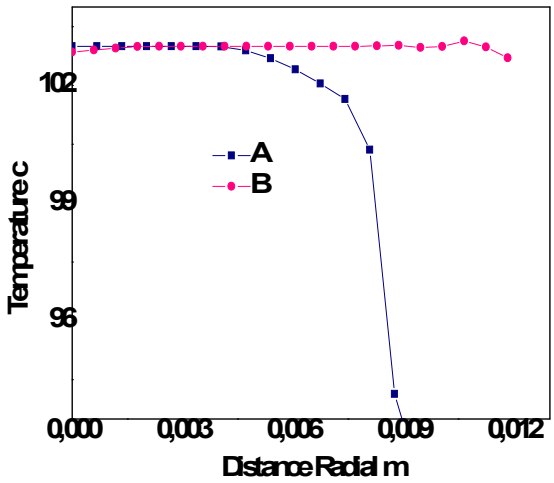


b)-Coté lait

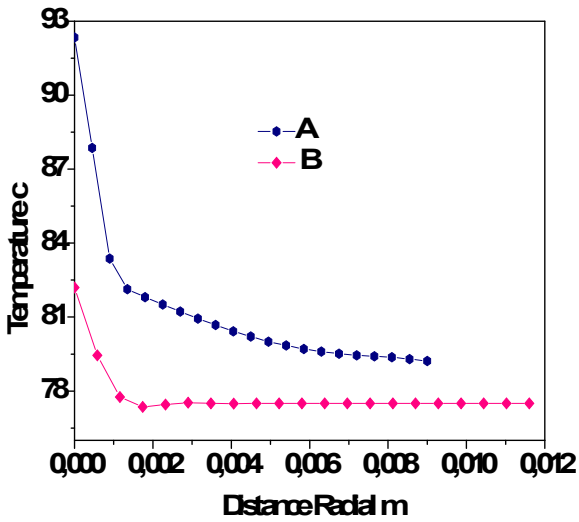


Pour X =Y= 0.5

a)-Coté eau :

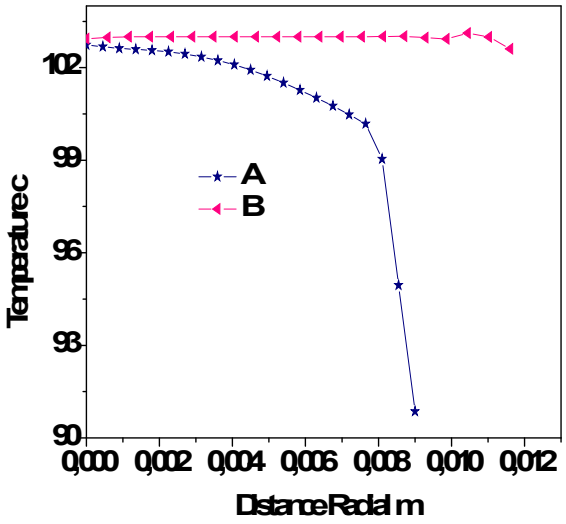


b)-Coté lait :

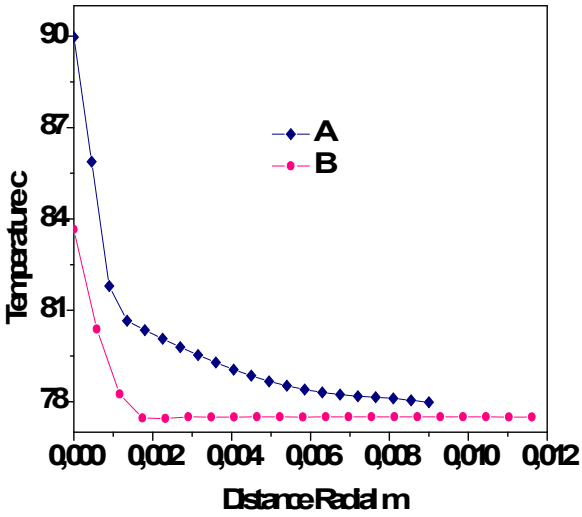


Pour y = 0.1

a)-Coté eau :



b)-Coté lait :



Figures (IV-20) : la représentation graphique de La variation du profil de la température entre un échangeur à plaque et autre zigzag en fonction de la largeur(x) du canal pour des différentes positions dans le canal (y) pour l'eau et lait

IV-6-2/-le profil de la vitesse :

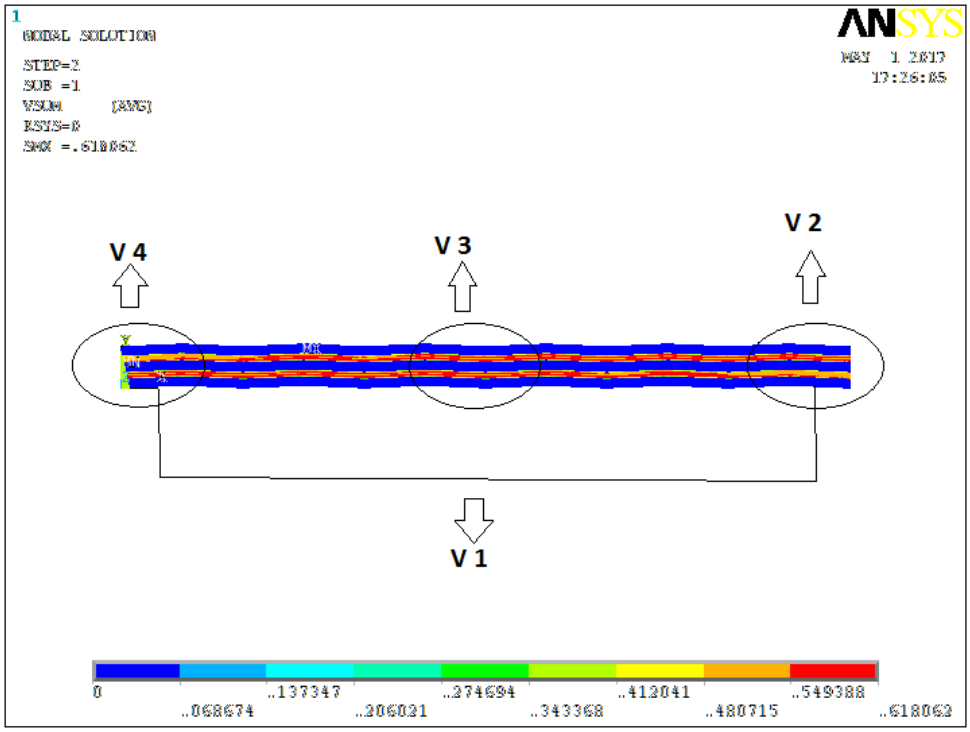


Figure (IV-21) : champ de la vitesse en 4 positions (échangeur zigzag)

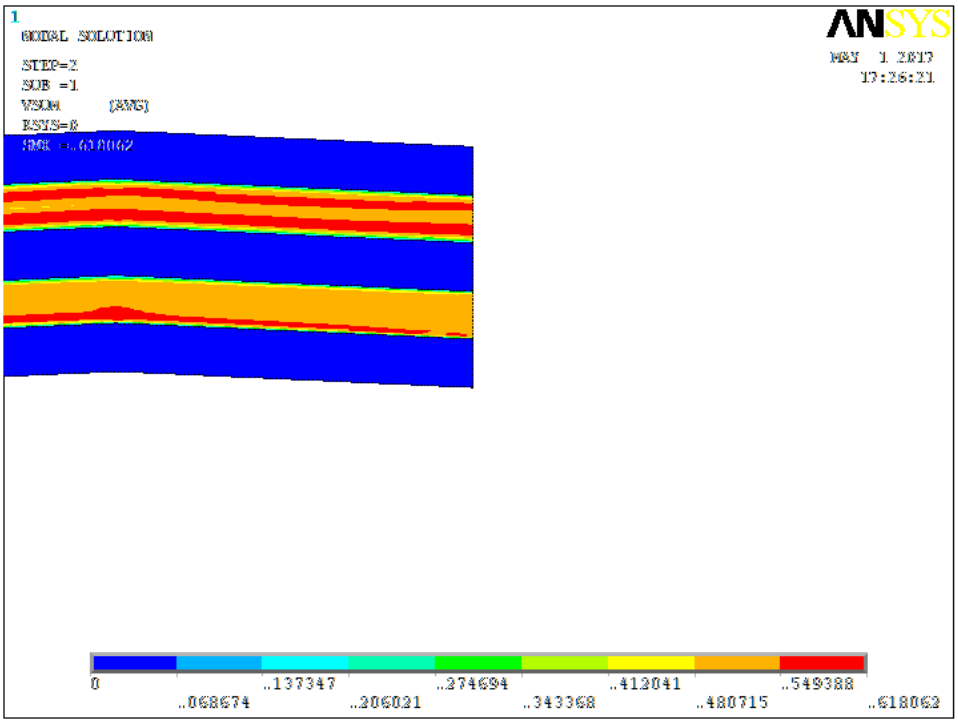


Figure (IV-22) : champ de la vitesse en position 2 (échangeur zigzag)

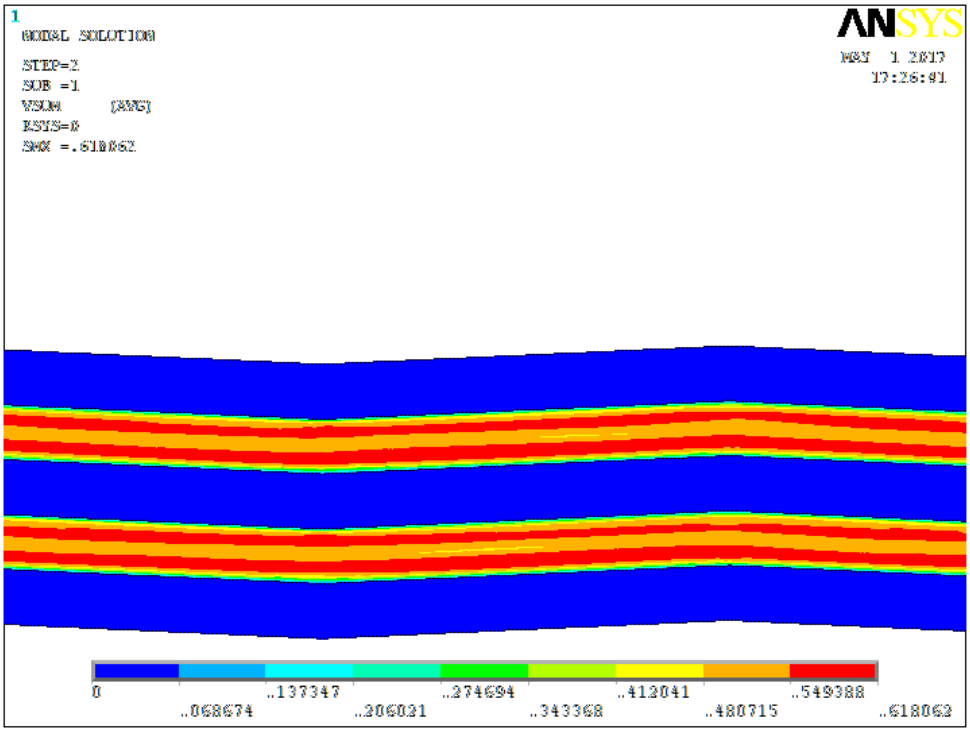


Figure (IV-23) : champ de la vitesse en position 3 (échangeur zigzag)

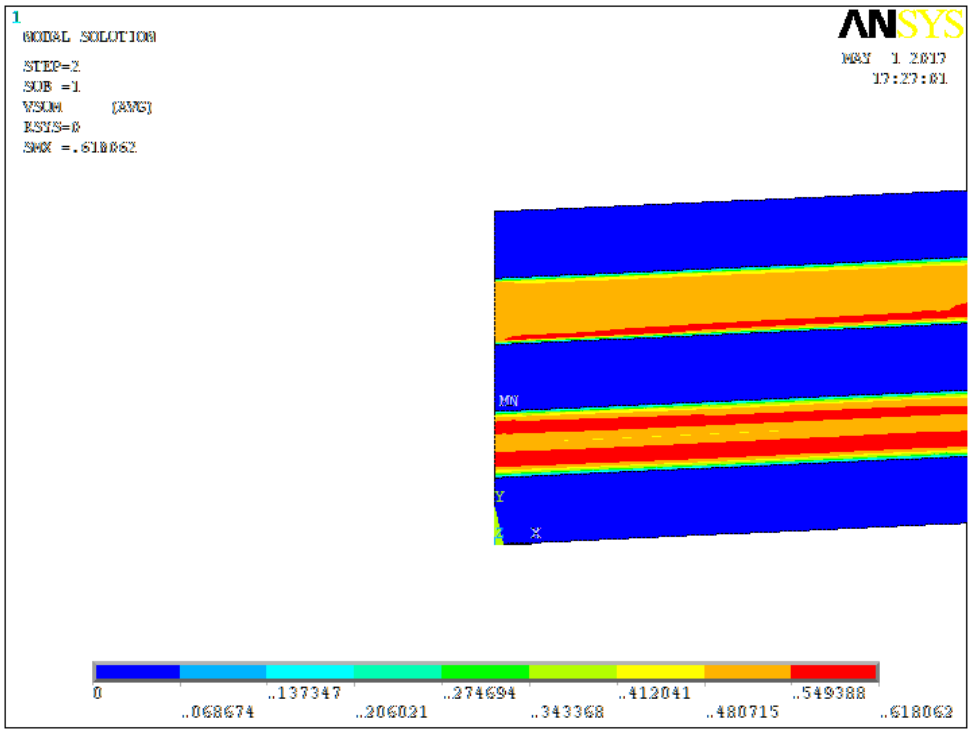


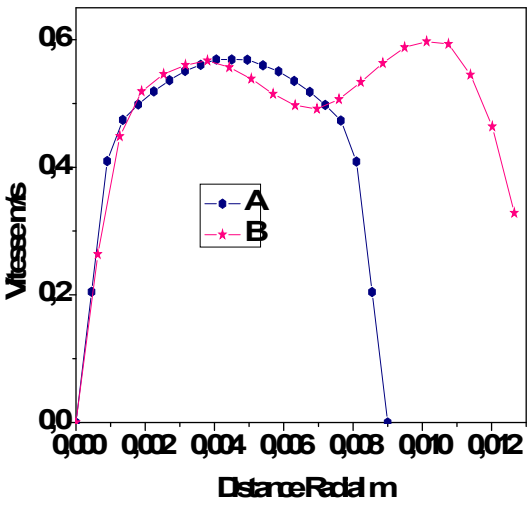
Figure (IV-24) : champ de la vitesse en position 4 (échangeur zigzag)

La variation de la vitesse à la longue de canal :

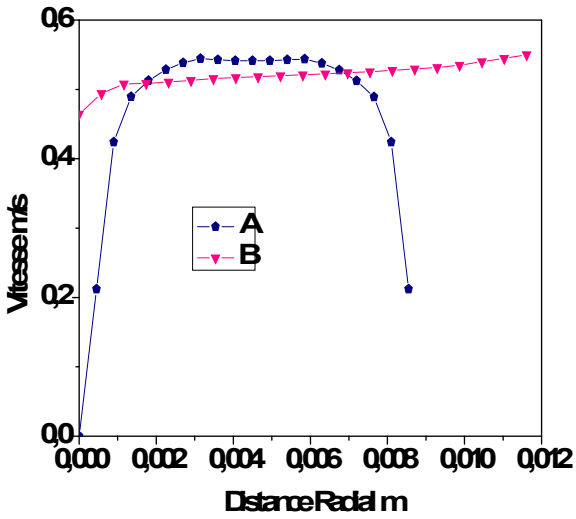
La variation du profil de la vitesse en fonction de la largeur(y) du canal est représentée sur les graphes suivants et ce pour des différentes positions dans le canal(x) :

Pour x = 1.1

Coté eau :

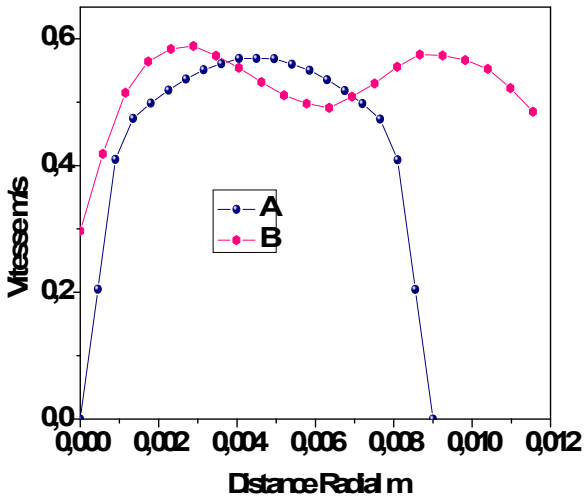


coté lait :

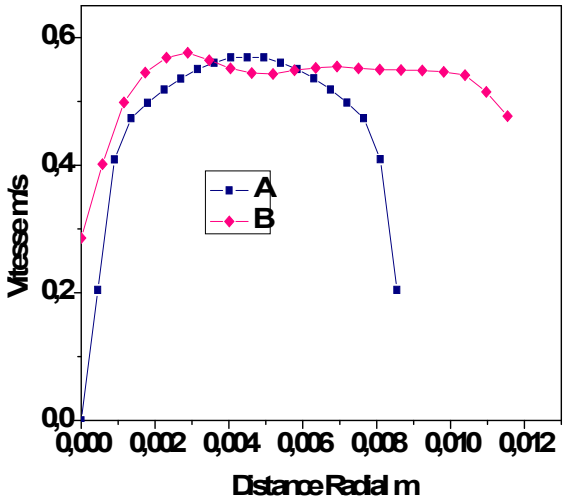


Pour x = 0.9

a)-Coté eau :

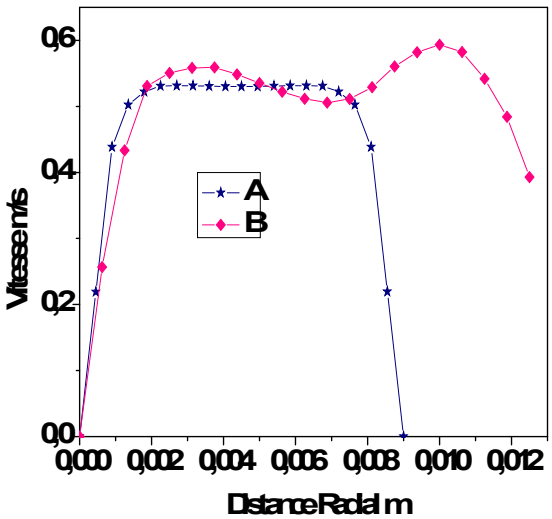


b)-Coté lait :

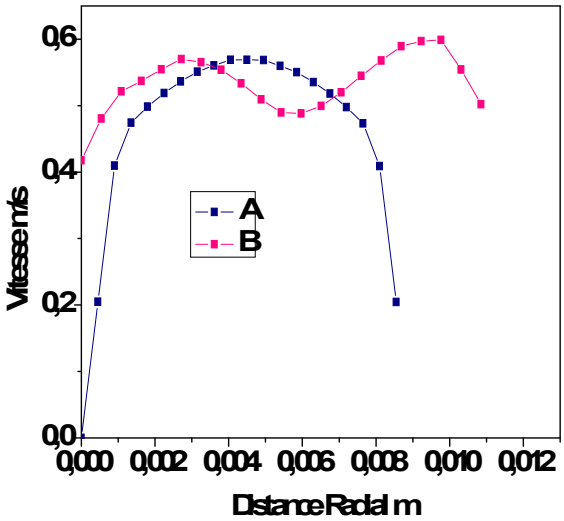


Pour x =y= 0.5

a)-Coté eau :

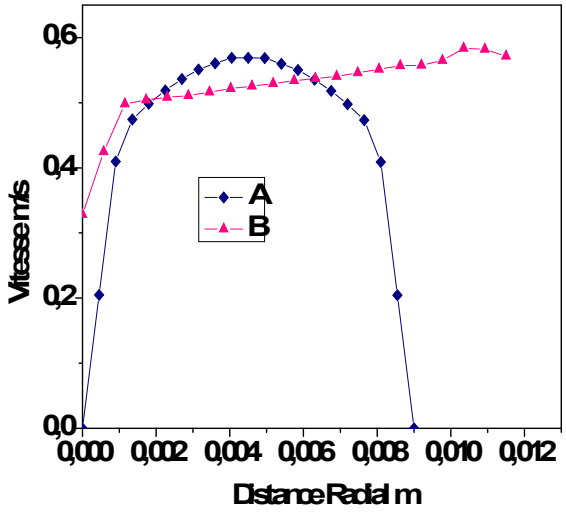


b)-Coté lait :

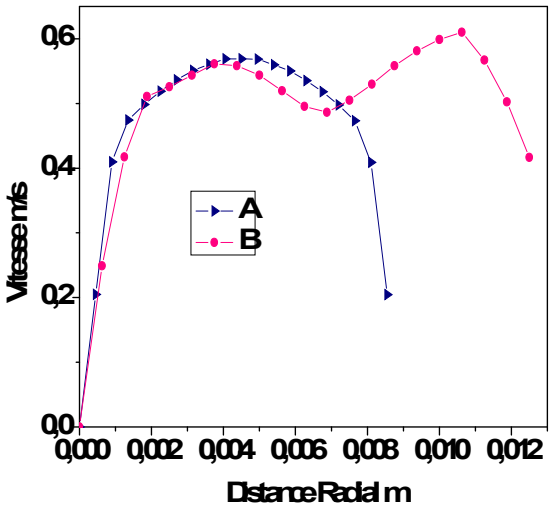


Pour y = 0.1

a)-Coté eau :



b)-Coté lait :



Figures (IV-25) : la représentation graphique de La variation du profil de la vitesse entre un échangeur à plaque et autre zigzag en fonction de la largeur(x) du canal pour des différentes positions dans le canal (y) pour l'eau et lait

IV-6-3/-le profil de la pression :

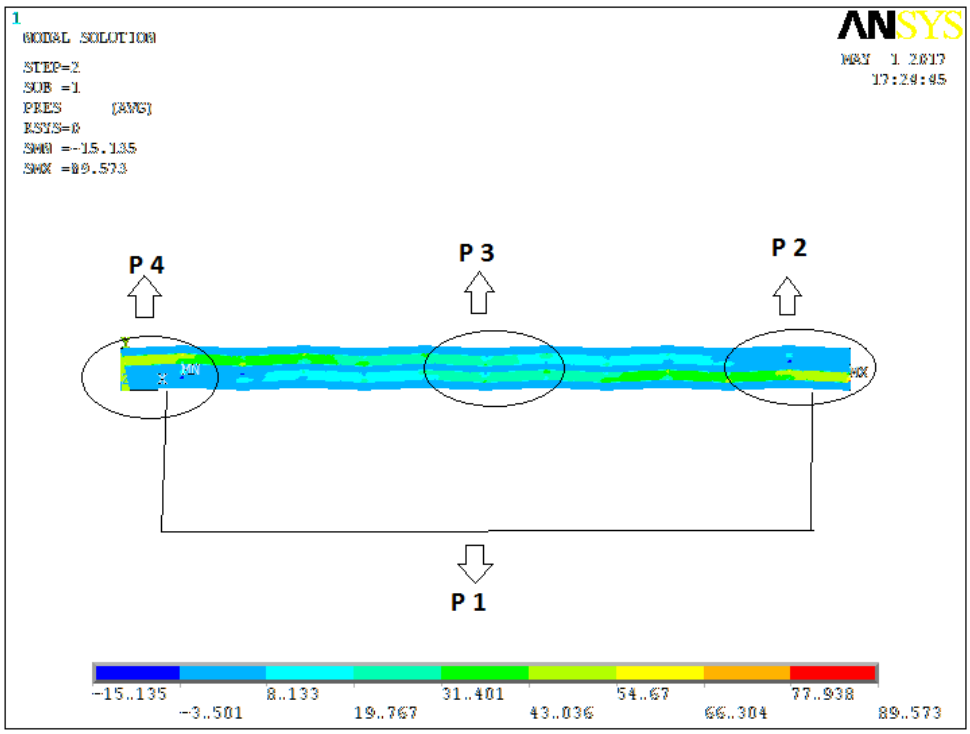


Figure (IV-26) : champ du Pression en Les 4 positions (échangeur zigzag)

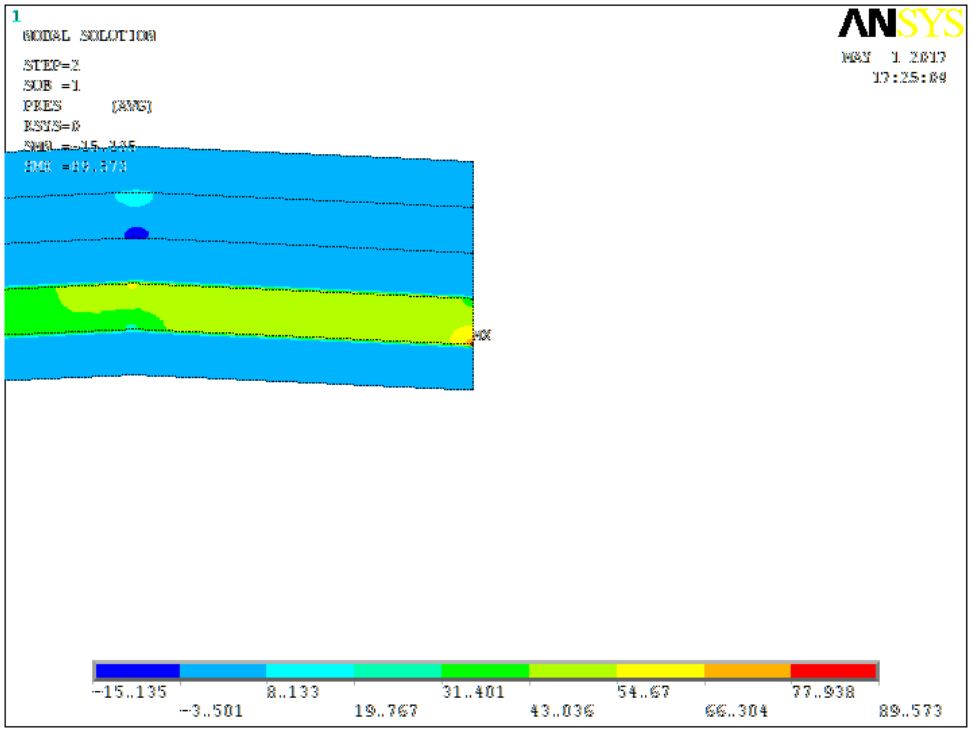


Figure (IV-27) : champ du Pression en position2 (échangeur zigzag)

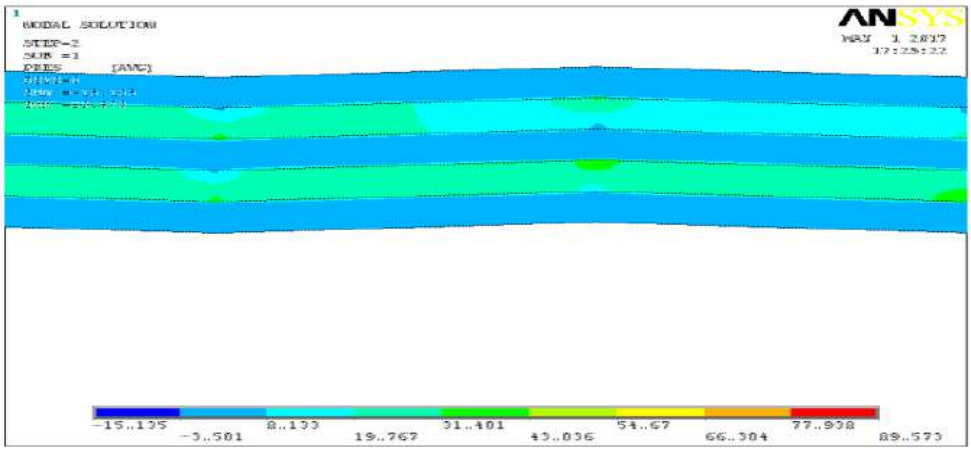


Figure (IV-28) : champ du Pression en position3 (échangeur zigzag)

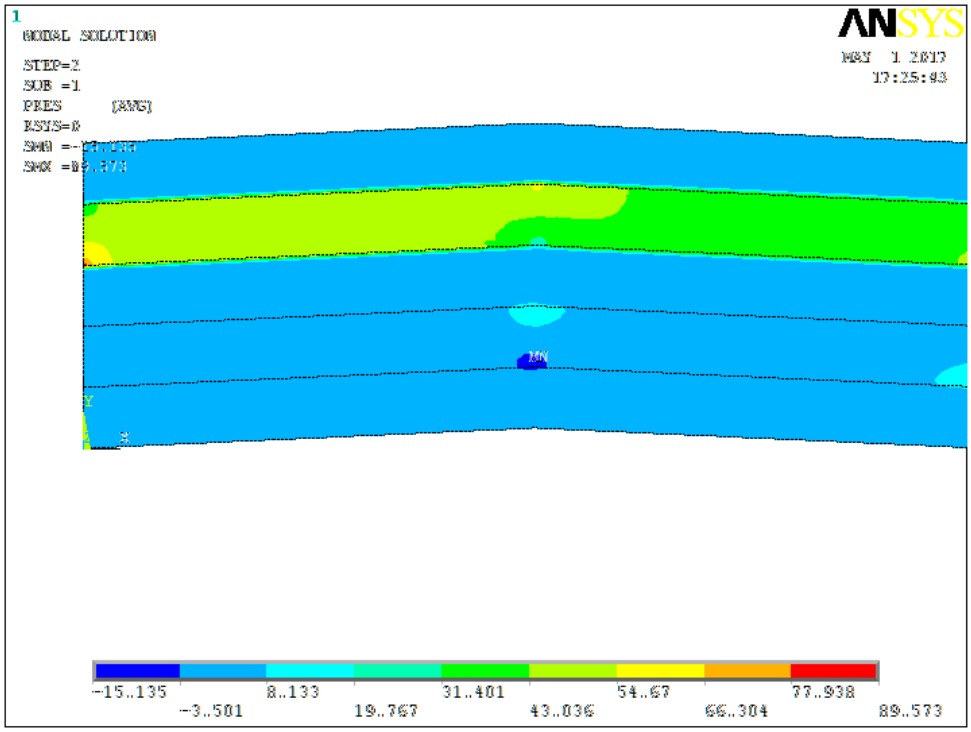


Figure (IV-29) : champ du Pression en position4 (échangeur zigzag)

IV-7/- Interprétations des résultats:

On remarque qu'à l'échangeur zigzag (B), l'épaisseur de la couche limite est plus large que cela de l'échangeur à plaque (A), donc l'échangeur zigzag (B) possède un bon échange thermique (T) et dynamique (V).

Alors : plus que la couche limite est grande plus qu'on a un bon échange thermique & dynamique.

IV-8/-L'étude de zigzag modifié à l'influence d'échangeur zigzag :

Dans cette partie, on va créer des zigzags en créant des angles entres chaque trois points qui se suies.

Les démentions de l'échangeur zigzag modifié simulé au programme ANSYS :

Tableau (IV-04) : la géométrie de l'échangeur de chaleur zigzag modifié.

Point 01	**X=0**	**Y=0**
Point 02	**X= 0.1**	**Y=0.0045**
Point 03	**X=0.8**	**Y=0.004**
Point 04	**X=0 .12**	**Y=0.004**
Point 05	**X=0.2**	**Y=0**
Point 06	**X=0.18**	**Y=0.0005**
Point 07	**X=0.22**	**Y=0.0005**
Point 08	**X=0.3**	**Y=0.0045**
Point 09	**X=0.28**	**Y=0.004**
Point 10	**X=0.32**	**Y=0.004**
Point 11	**X=0.4**	**Y=0**
Point 12	**X=0.38**	**Y=0.0005**
Point 13	**X=0.42**	**Y=0.0005**
Point 14	**X=0.5**	**Y=0.0045**
Point 15	**X=0.48**	**Y=0.004**
Point 16	**X=0.52**	**Y=0.004**
Point 17	**X=0.6**	**Y=0**
Point 18	**X=0.58**	**Y=0.0005**
Point 19	**X=0.62**	**Y=0.0005**
Point 20	**X=0.7**	**Y=0.0045**
Point 21	**X=0.68**	**Y=0.004**
Point 22	**X=0.72**	**Y=0.004**
Point 23	**X=0.8**	**Y=0**
Point 24	**X=0.72**	**Y=0.0005**
Point 25	**X=0.82**	**Y=0.0005**
Point 26	**X=0.9**	**Y=0.0045**
Point 27	**X=0.88**	**Y=0.004**
Point 28	**X=0.92**	**Y=0.004**
Point 29	**X=1**	**Y=0**
Point 30	**X=0.98**	**Y=0.0005**
Point 31	**X=1.02**	**Y=0.0005**
Point 32	**X=1.1**	**Y=0.0045**
Point 33	**X=1.08**	**Y=0.0004**
Point 34	**X=1.12**	**Y=0.004**
Point 35	**X=1.2**	**Y=0**

Les propriétés :

On a gardé les mêmes propriétés et conditions limites précédentes.

IV-9/Les résultats dans un milieu fluide :

IV-9-1/-le profil de température :

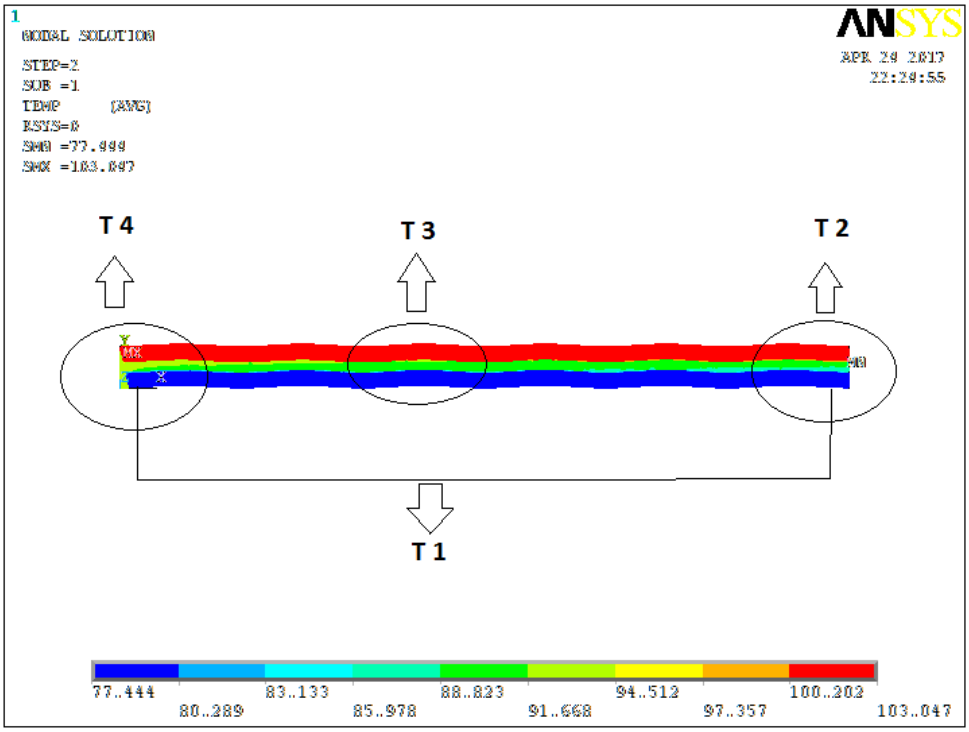


Figure (IV-30) : champ du Température en les 4 positions (échangeur zigzag modifié)

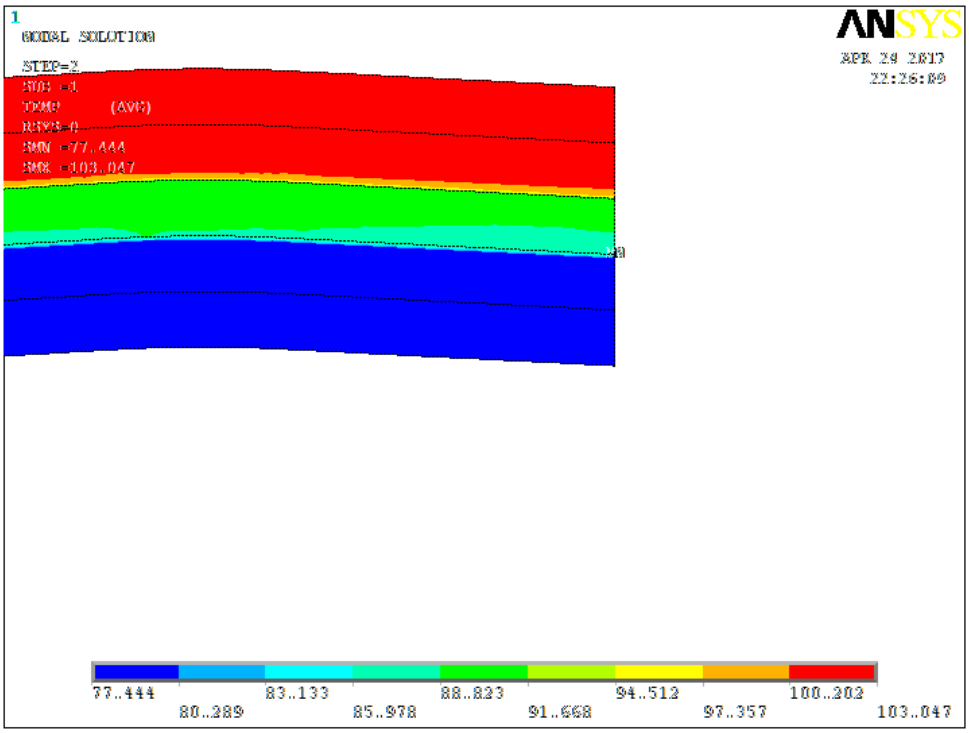


Figure (IV-31) : champ du Température en position2 (échangeur zigzag modifié)

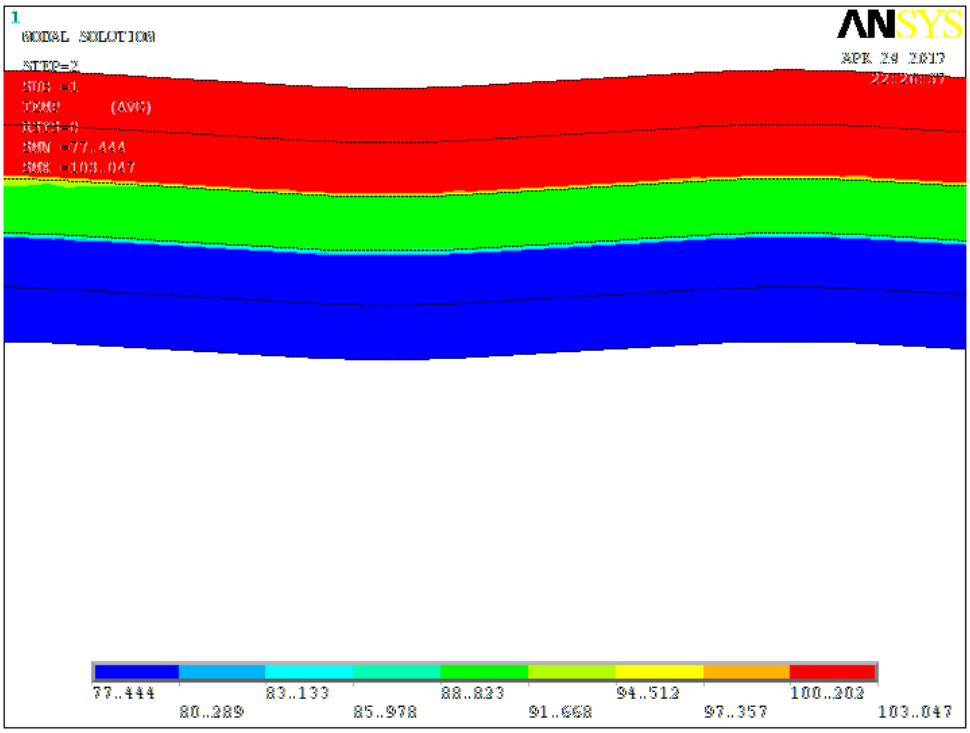


Figure (IV-32) : champ du Température en position3 (échangeur zigzag modifié)

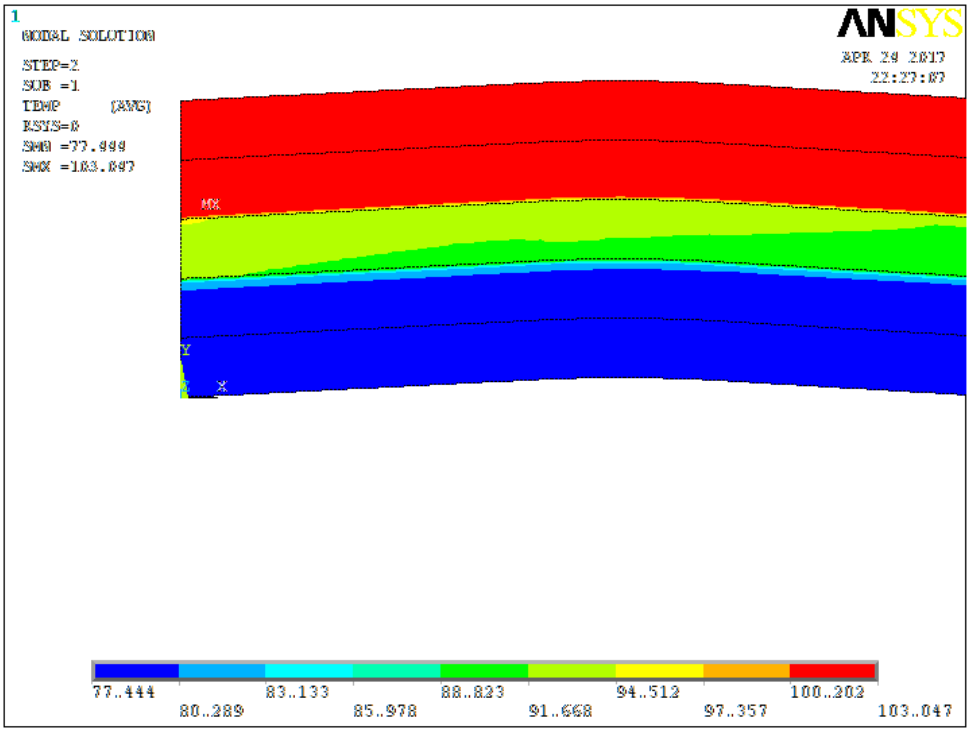


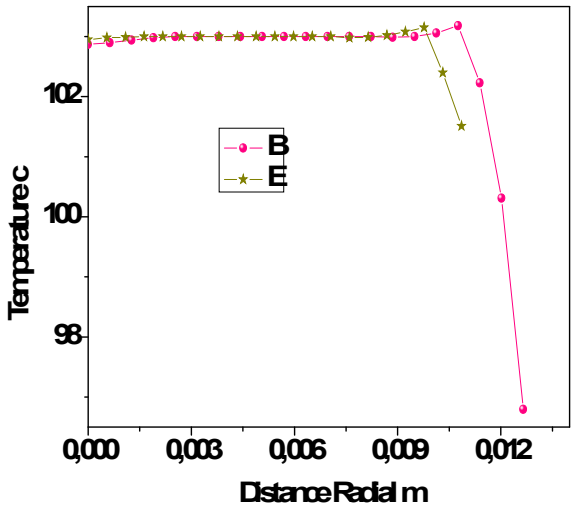
Figure (IV-33) : champ du Température en position4 (échangeur zigzag modifié)

La variation de la température à la longue de canal :

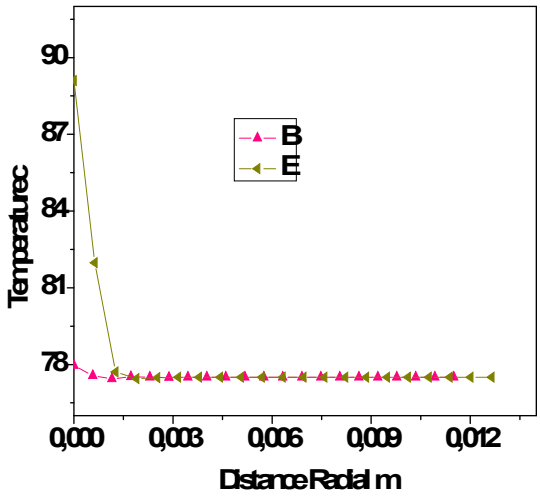
La variation du profil de la température entre échangeur zigzag et échangeur zigzag modifié en fonction de la largeur(y) du canal est représentée sur les graphes suivants et ce pour des différentes positions dans le canal(x) :

Pour x = 1.1

a)-Coté eau :

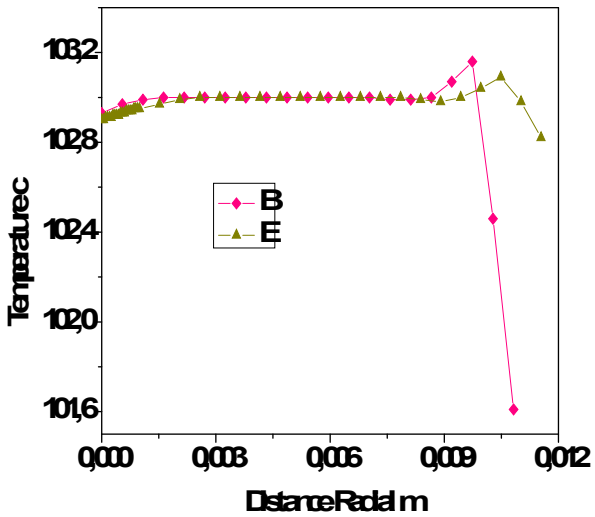


b)-Coté lait :

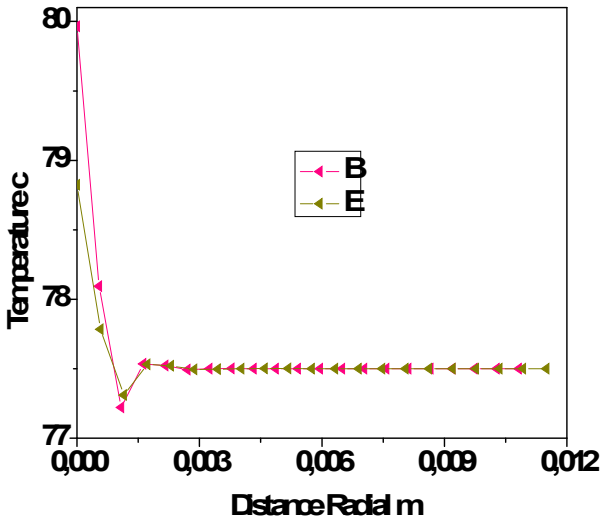


Pour x = 0.9

a)-Coté eau :

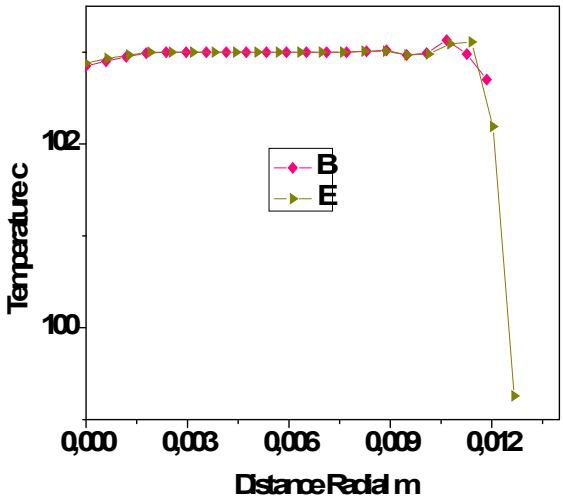


b)-Coté lait :

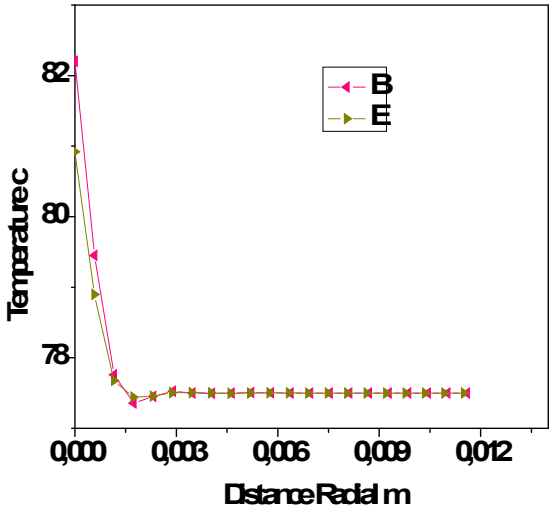


Pour x = 0.5

a)-Coté eau :

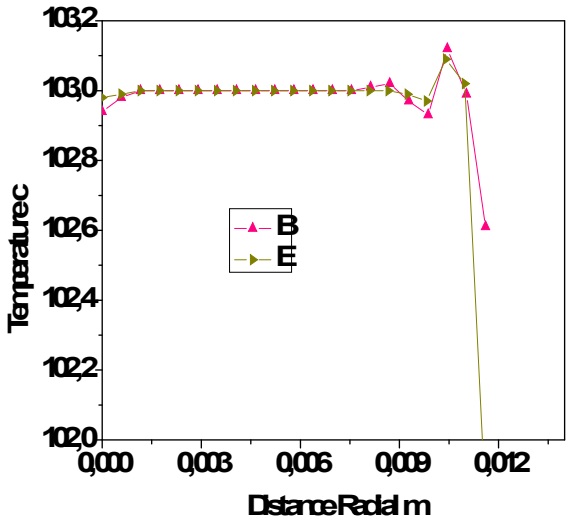


b)-Coté lait :

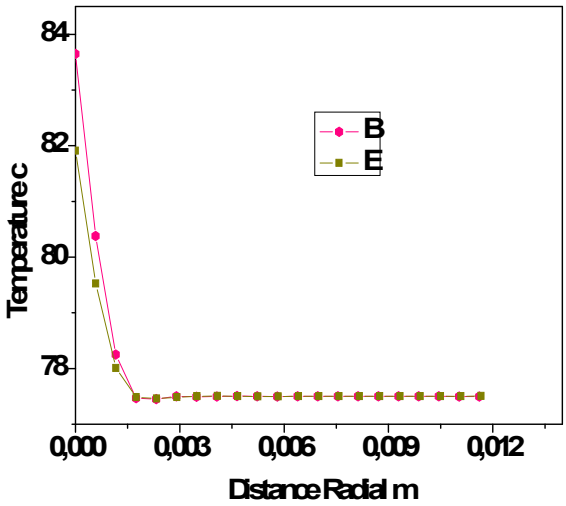


Pour x = 0.1

a)-Coté eau :



b)-Coté lait :



Figures (IV-34) : la représentation graphique de La variation du profil de la température entre un échangeur zigzag et autre zigzag modifié en fonction de la largeur(x) du canal pour des différentes positions dans le canal (y) pour l'eau et lait

IV-9-2/-le profil de vitesse :

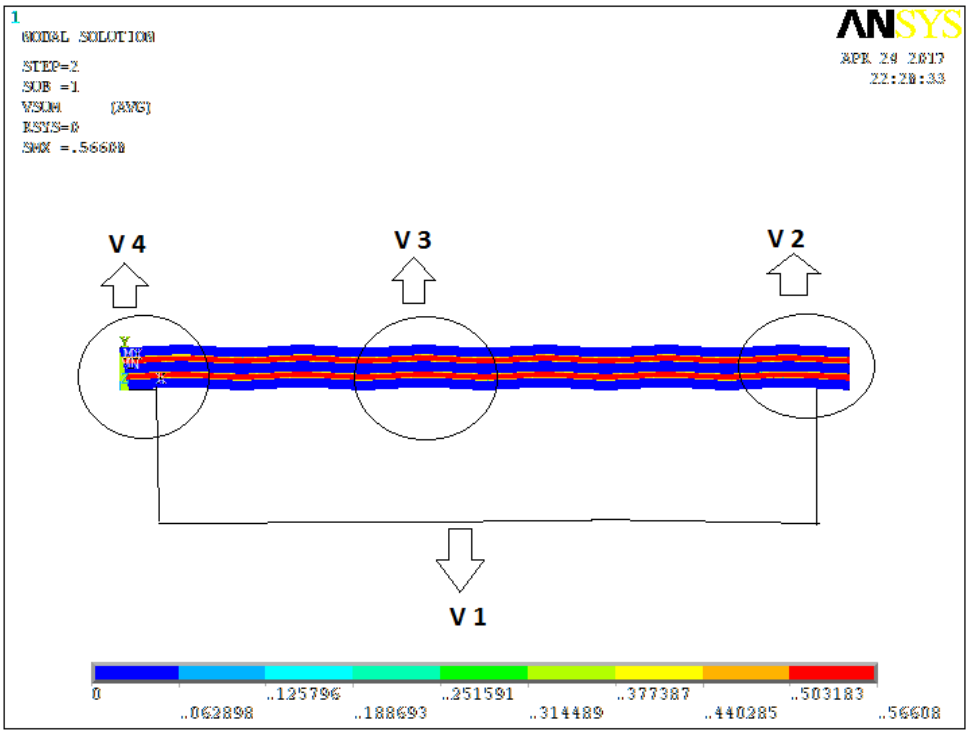


Figure (IV-35) : champ de la Vitesse en les 4 positions (échangeur zigzag modifié)

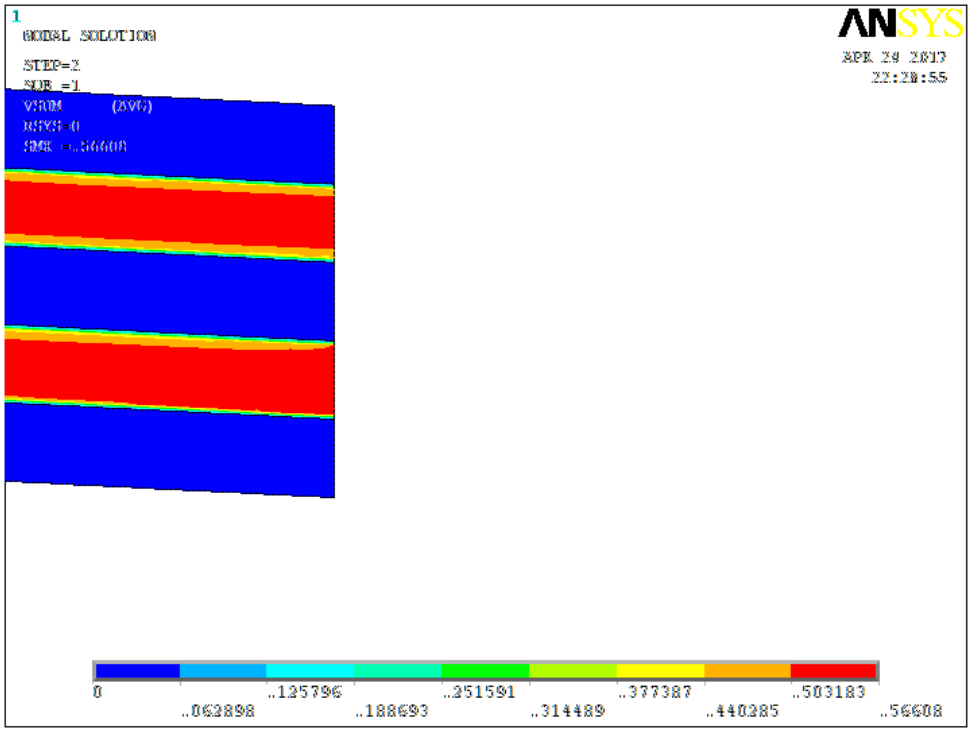


Figure (IV-36) : champ du Vitesse en position2 (échangeur zigzag modifié)

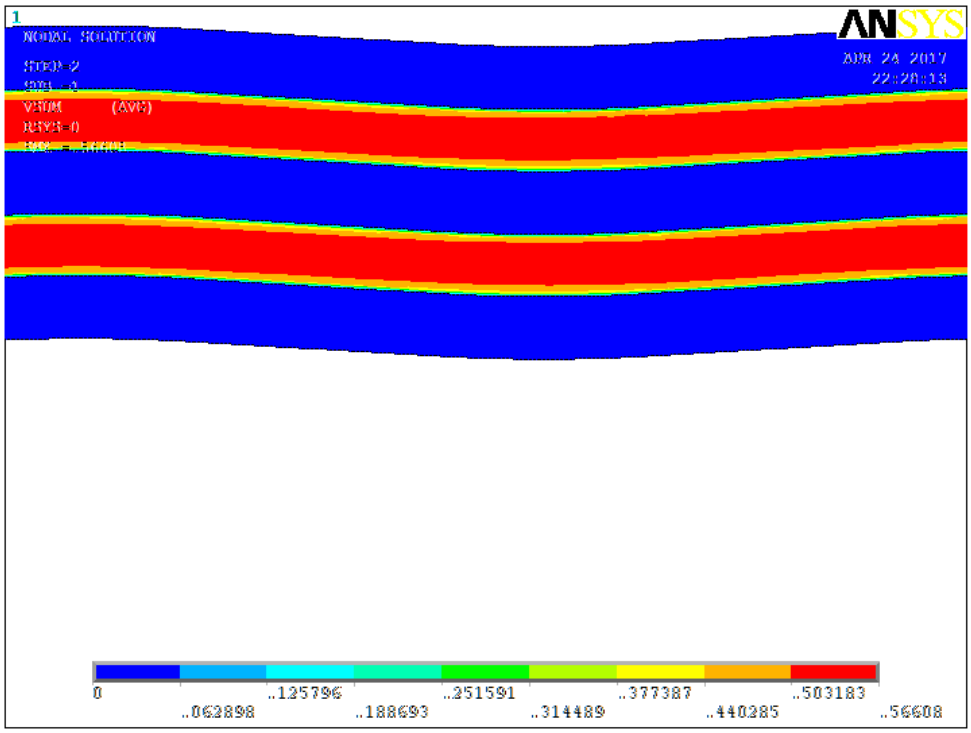


Figure (IV-37) : champ du Vitesse en position3 (échangeur zigzag modifié)

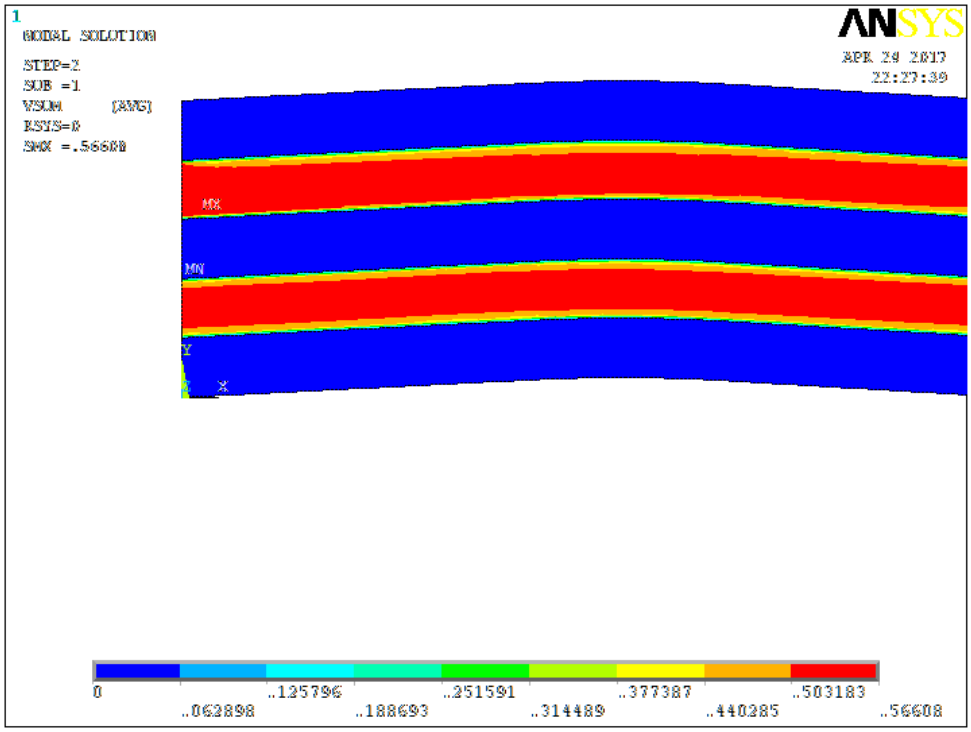


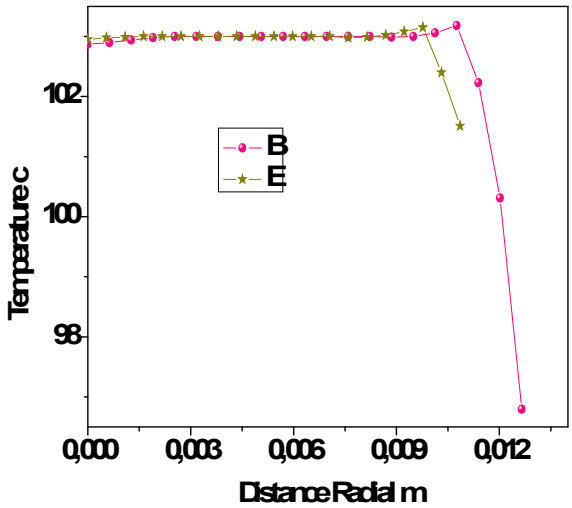
Figure (IV-38) : champ du Vitesse en position4 (échangeur zigzag modifié)

La variation de la vitesse à la longue de canal :

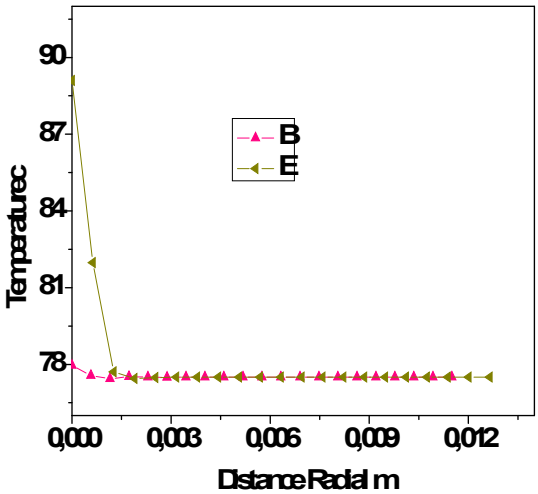
La variation du profil de la vitesse entre échangeur zigzag et autre modifié en fonction de la largeur(y) du canal est représentée sur les graphes suivants et ce pour des différentes positions dans le canal(x) :

Pour x = 1.1

a)-Coté eau :

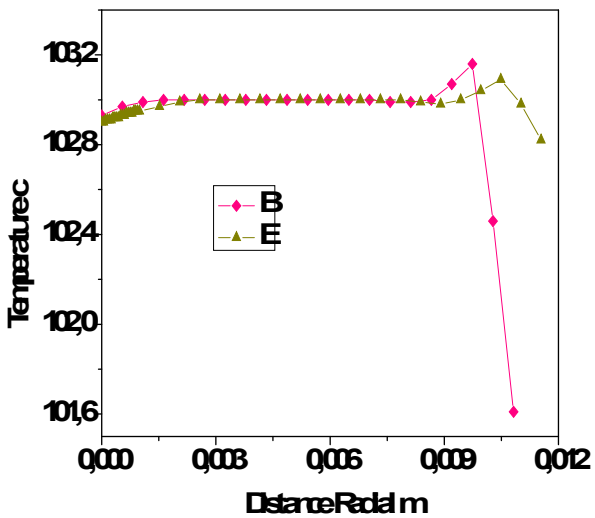


b)-Coté lait :

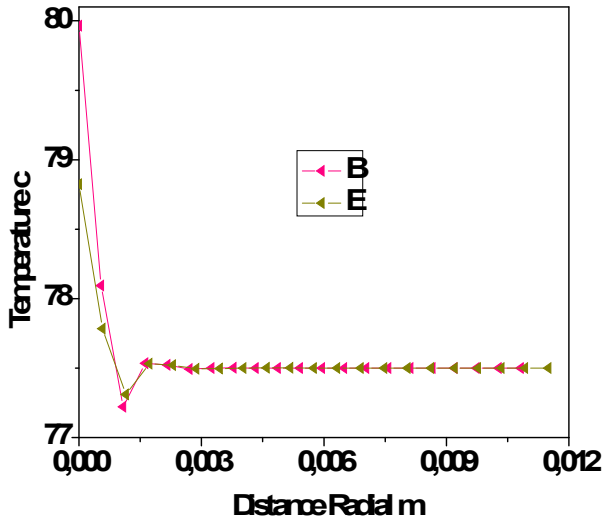


Pour x = 0.9

a)-Coté eau :

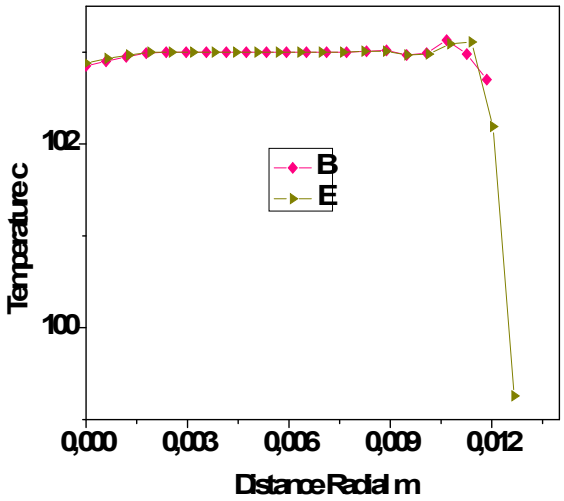


b)-Coté lait :

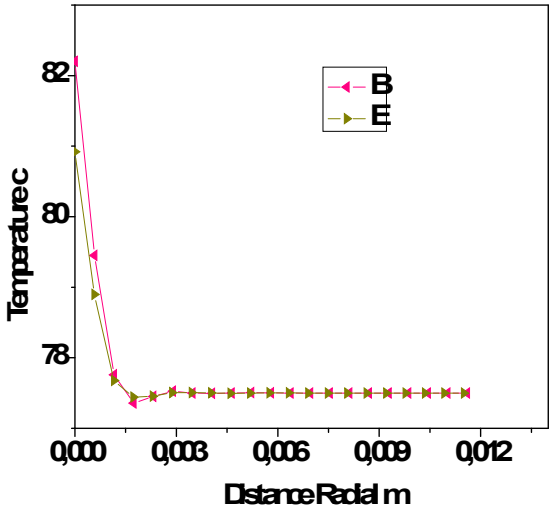


Pour x = 0.5

a)-Coté eau :

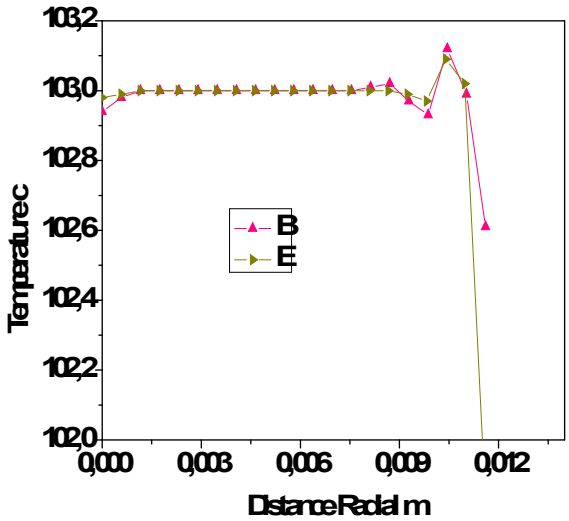


b)-Coté lait :

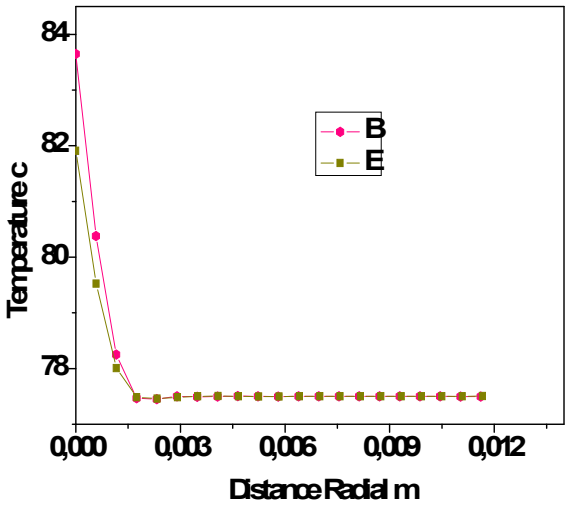


Pour x = 0.1

Coté eau :



coté lait :



Figures (IV-39) : la représentation graphique de La variation du profil de la vitesse entre un échangeur zigzag et autre zigzag modifié en fonction de la largeur(x) du canal pour des différentes positions dans le canal (y) pour l'eau et lait

IV-9-3/-le profil de pression :

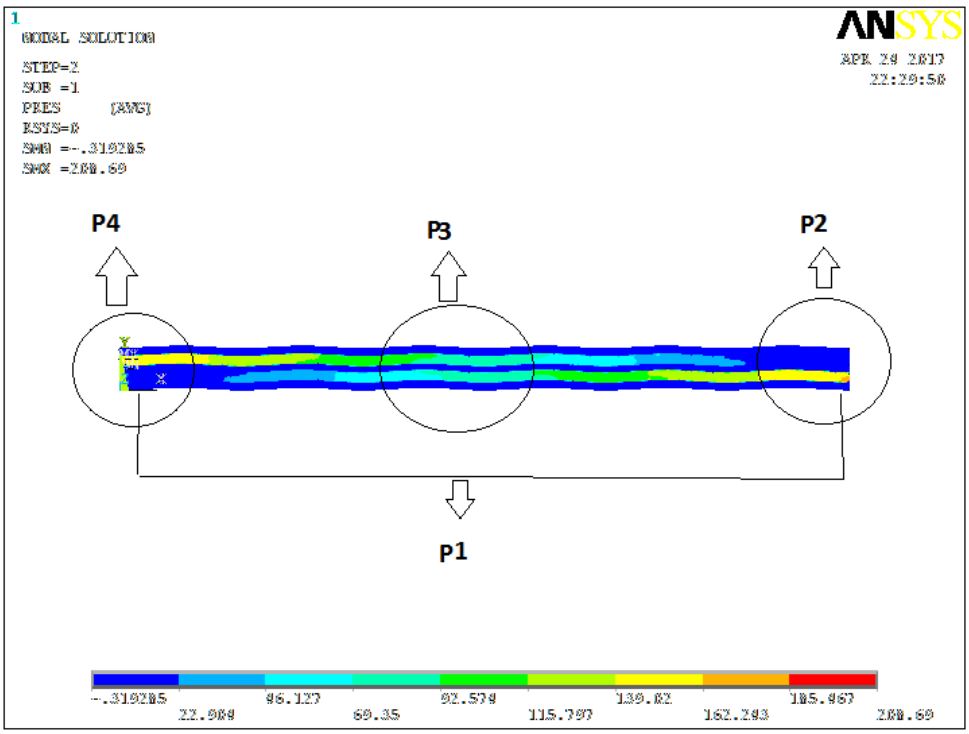


Figure (IV-40) : champ de la pression en les 4 positions (échangeur zigzag modifié)

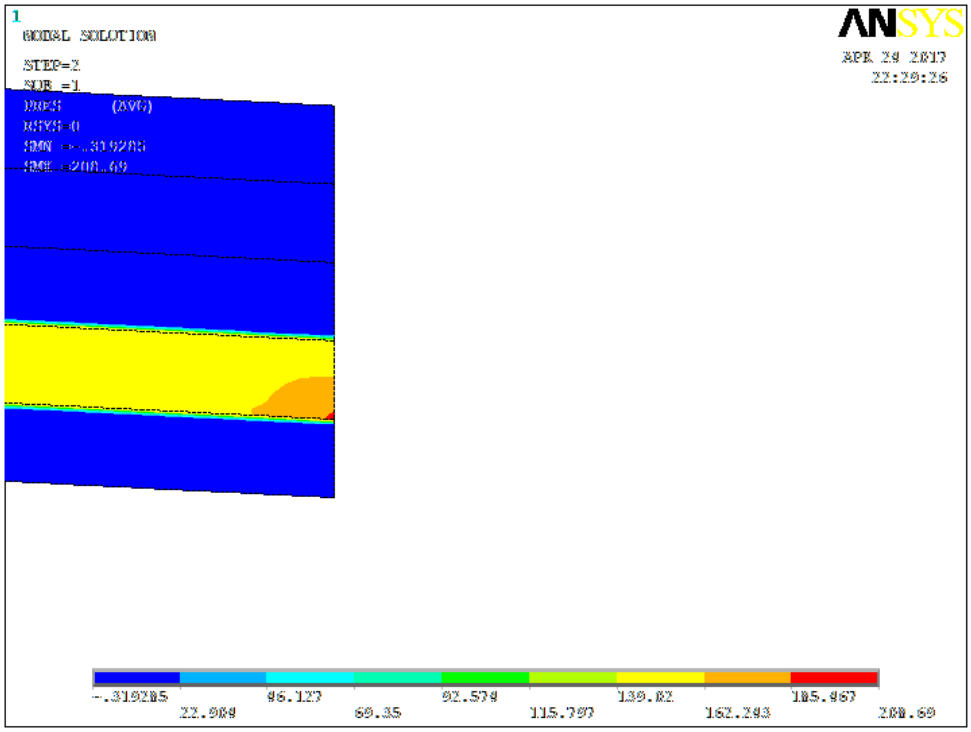


Figure (IV-41) : champ de la pression en position 2 (échangeur zigzag modifié)

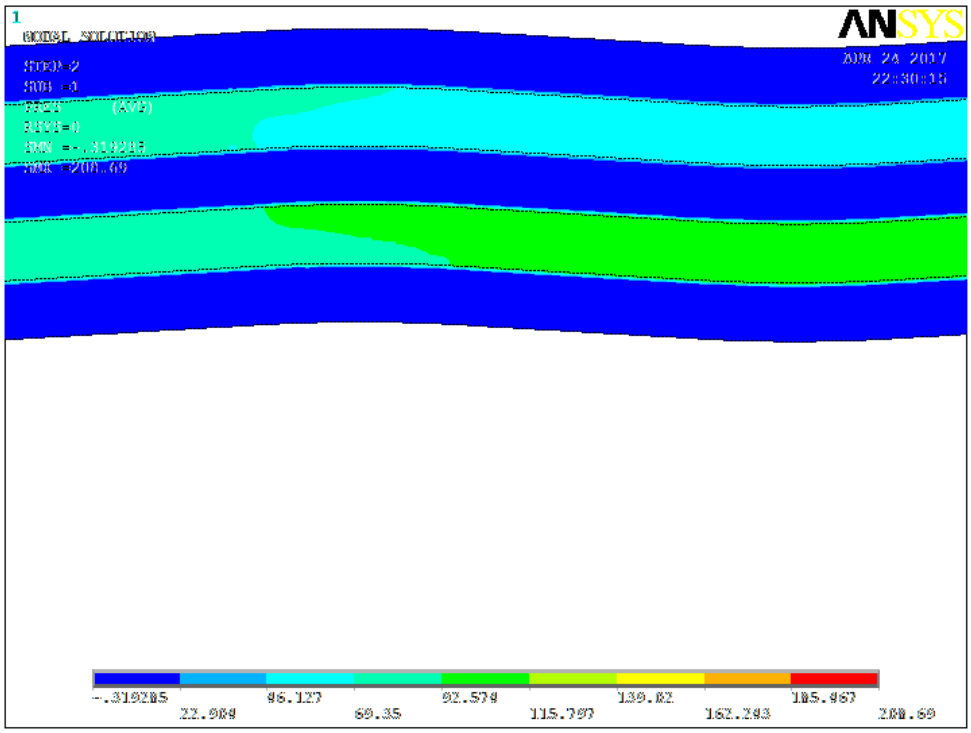


Figure (IV-42) : champ de la pression en position 3 (échangeur zigzag modifié)

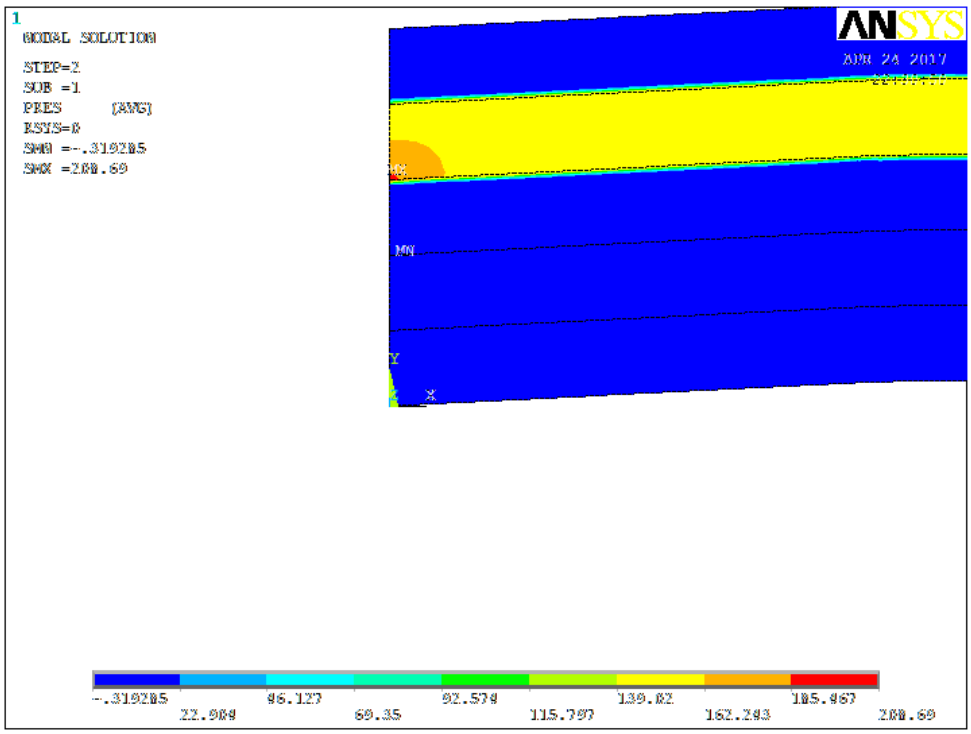


Figure (IV-43) : champ de la pression en position 4 (échangeur zigzag modifié)

IV-10/- Interprétations des résultats :

Les mêmes observations précédentes en remarquant que la géométrie joue un grand rôle sur l'influence d'échange thermique et dynamique.

IV-11/-L'étude de zigzag à l'influence de l'orientation de déflecteurs :

Dans cette partie, on va créer des déflecteurs a l'entrée de chaque fluide ensuite des plusieurs déflecteurs à la longueur d'échangeur zigzag.

IV-11-1/-Echangeur zigzag avec déflecteurs a l'entrée de chaque fluide :

Les démentions de l'échangeur zigzag avec déflecteurs a l'entrée de chaque fluide simulé au programme ANSYS :

Les mêmes dimensions de l'échangeur zigzag précédent en ajoutant des déflecteurs a l'entrée de chaque fluides qui ont la géométrie suivante :

Tableau (IV-5) : la géométrie de l'échangeur de chaleur zigzag avec déflecteurs a l'entrée de chaque fluide.

	Déflecteurs a l'entrée	Plusieurs déflecteurs
Coté eau	X1=0.02 et X2=0.06 Y1=0.05 et Y2=0.052	Copier avec : X=0.53 et Y=0 X=1.1 et Y=0
Coté lait	Idem	Copier tout avec : X=0 et Y=-0.025

Les propriétés :

Nous avons gardé les mêmes propriétés et les conditions limitent précédentes.

IV-12/Les résultats dans un milieu fluide :

IV-12-1/-le profil de température :

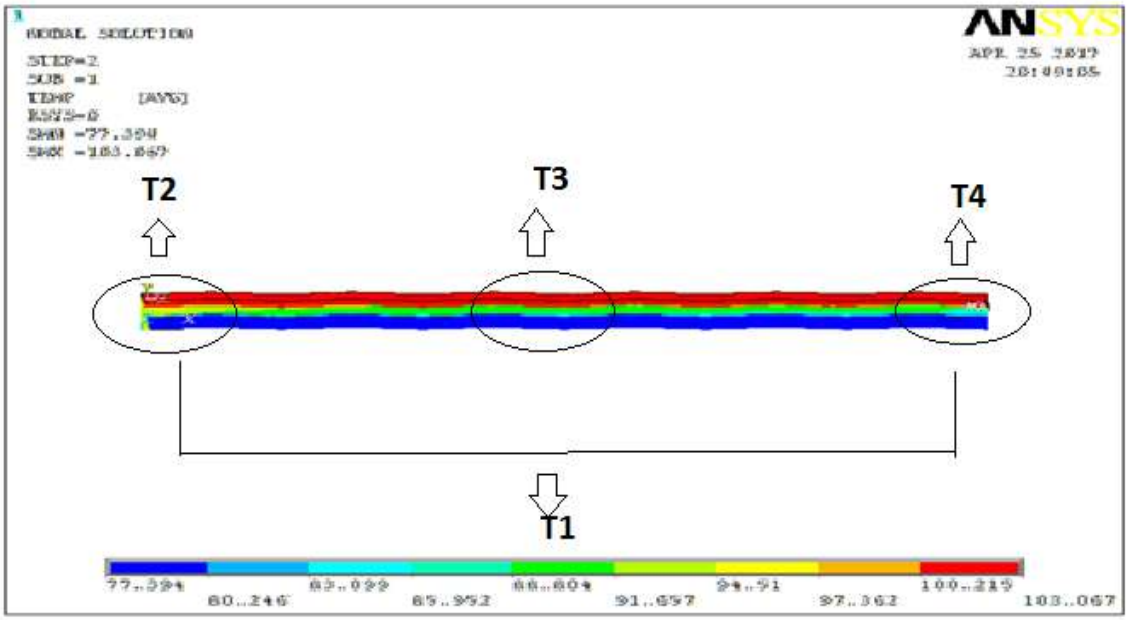


Figure (IV-44) : champ du Température en les 4 positions (échangeur zigzag avec déflecteurs a l'entrée)

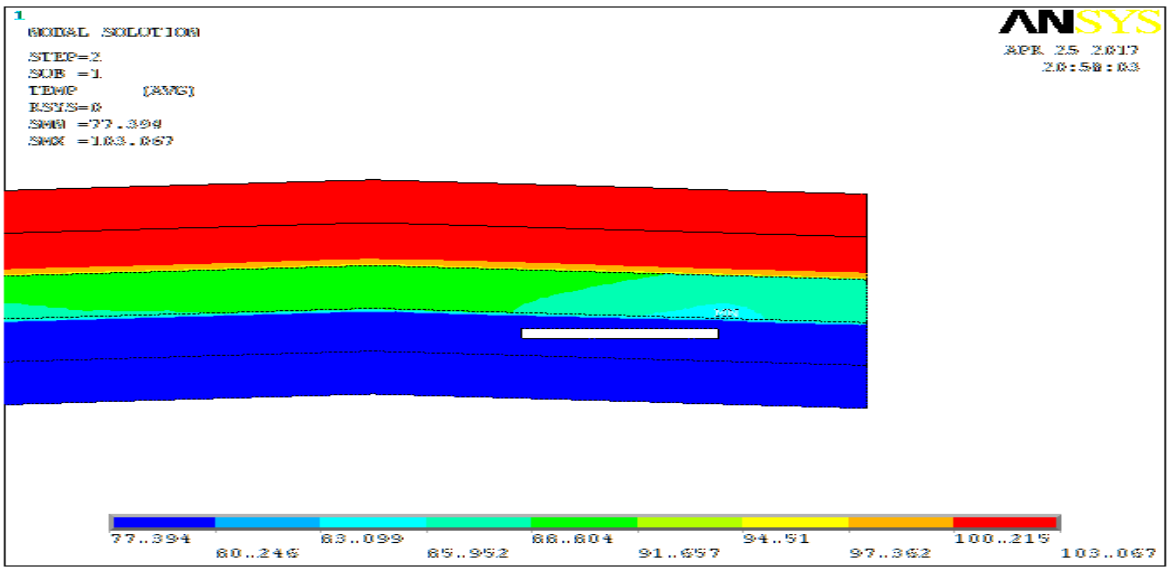


Figure (IV-45) : champ du Température en position2 (échangeur zigzag avec déflecteurs a l'entrée)

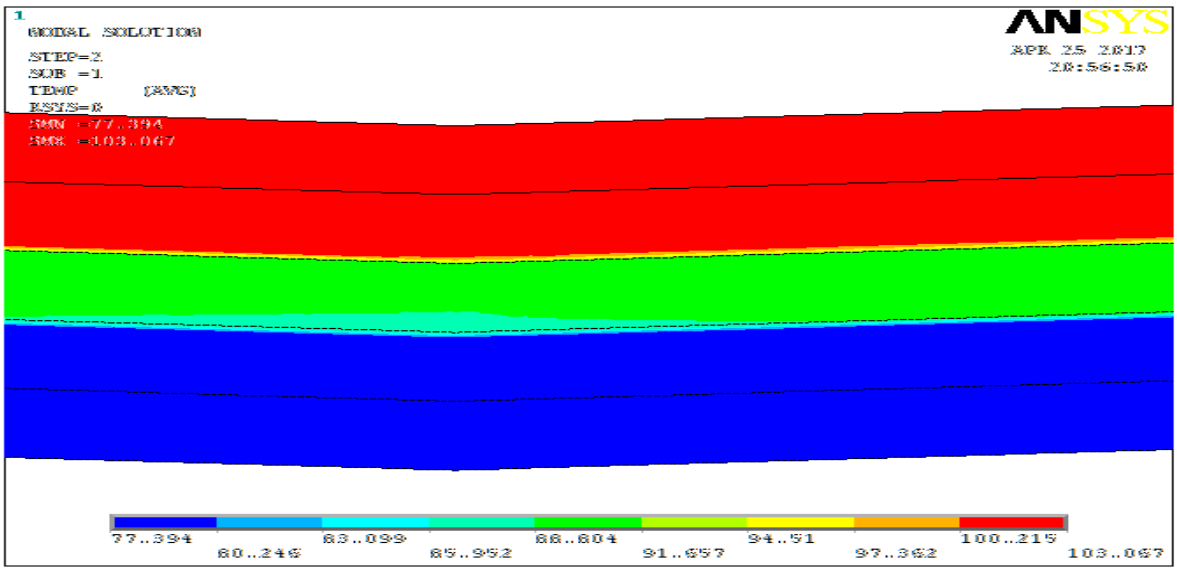


Figure (IV-46) : champ de la Température en position3 (échangeur zigzag avec déflecteurs a l'entrée)

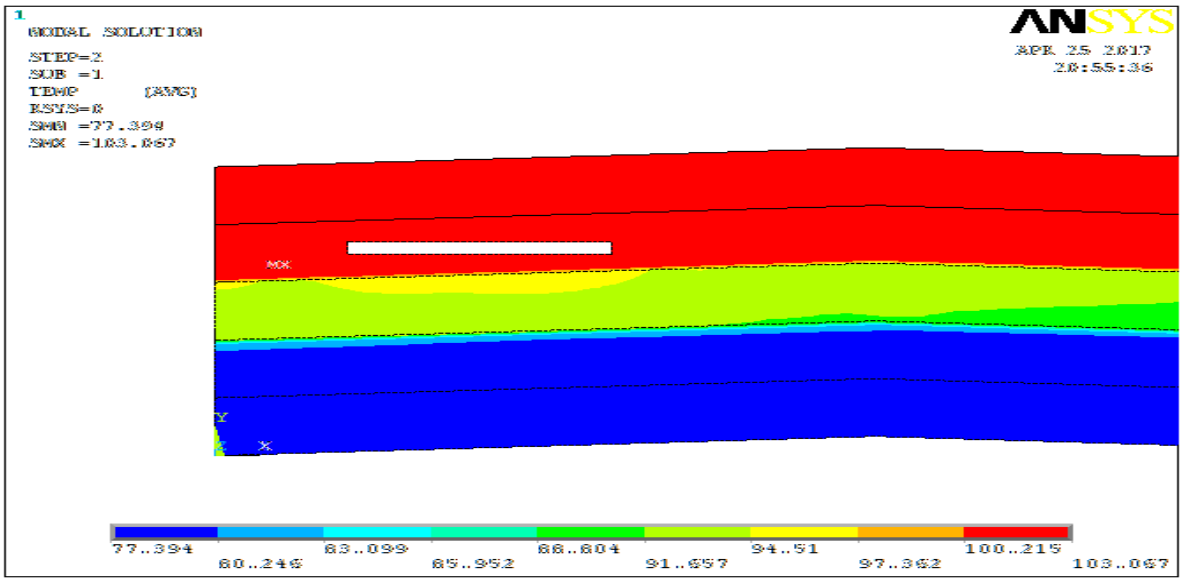


Figure (IV-47) : champ de la Température en position4 (échangeur zigzag avec déflecteurs a l'entrée)

IV-12-2/-le profil de vitesse:

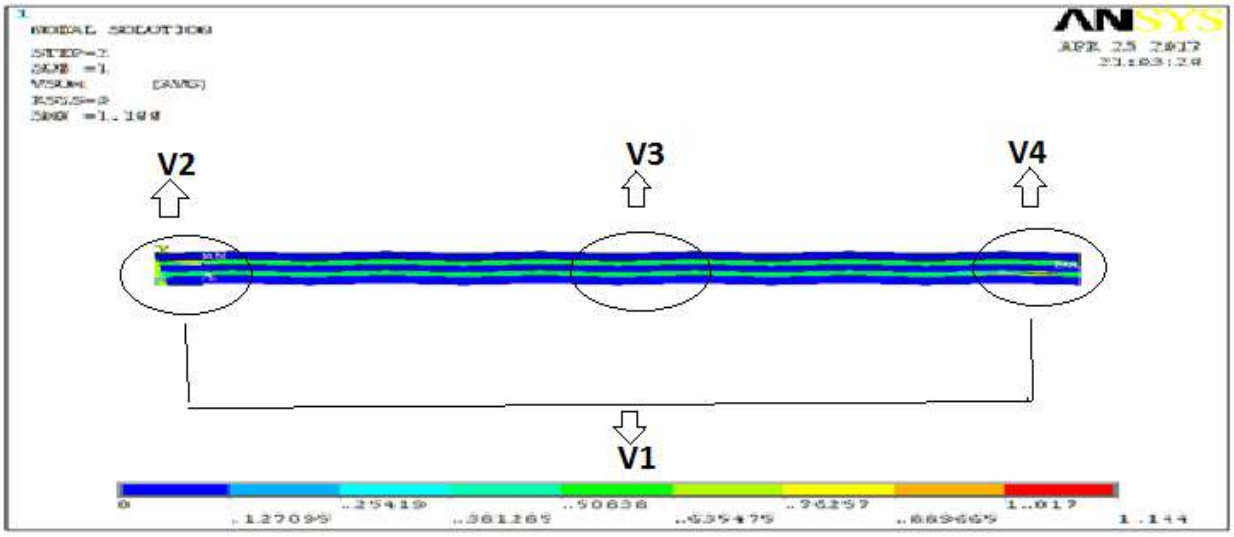


Figure (IV-48) : champ de la vitesse en position4 (échangeur zigzag avec déflecteurs a l'entrée)

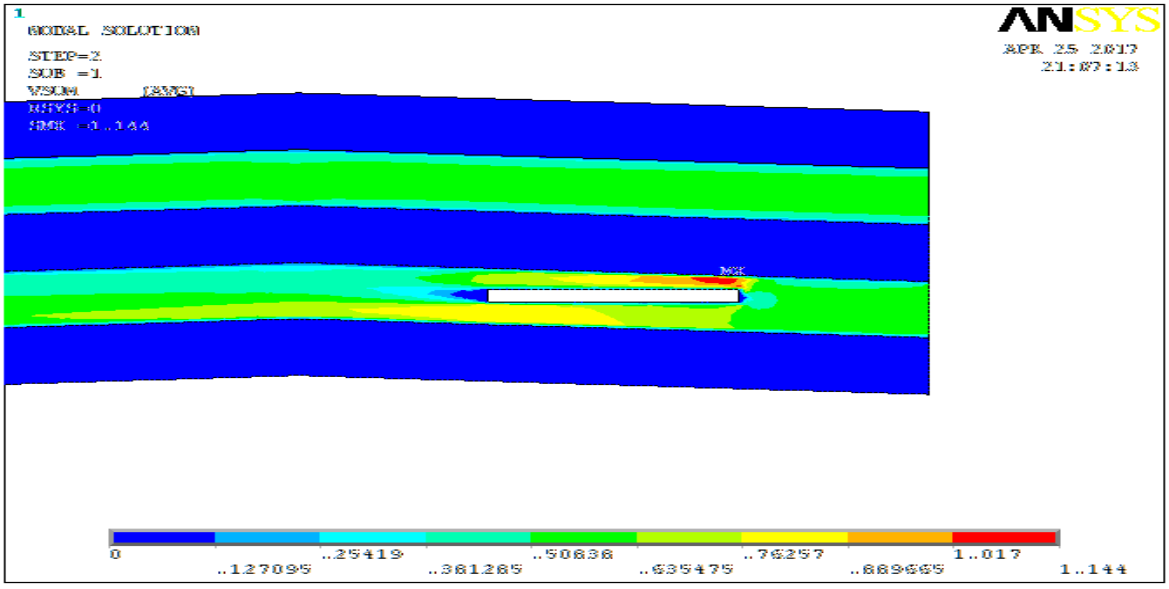


Figure (IV-49) : champ de la vitesse en position2 (échangeur zigzag avec déflecteurs a l'entrée)

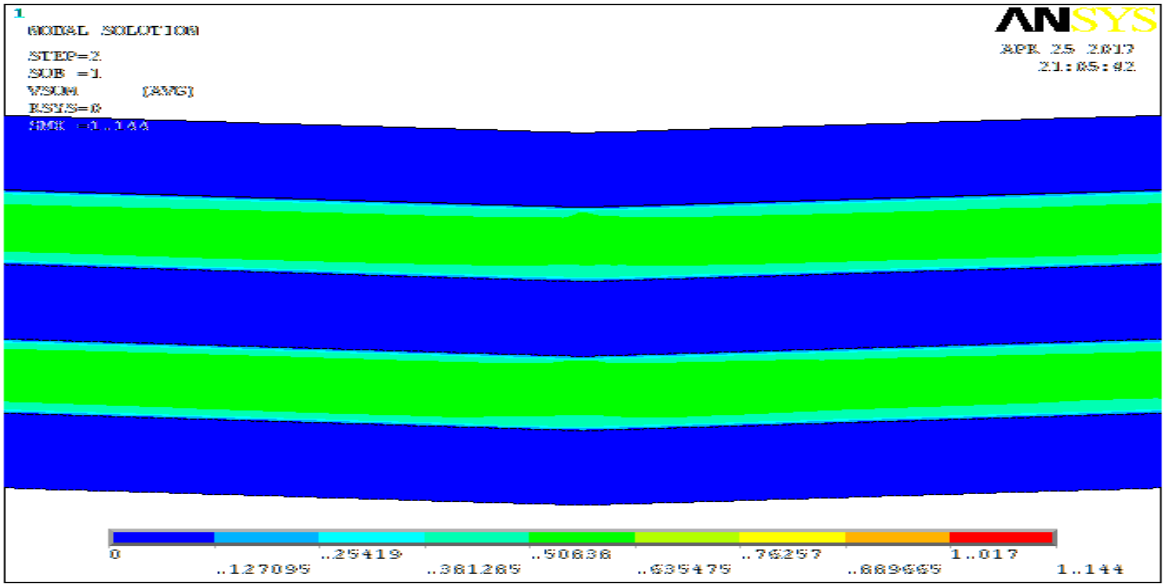


Figure (IV-50) : champ de la vitesse en position3 (échangeur zigzag avec déflecteurs a l'entrée)

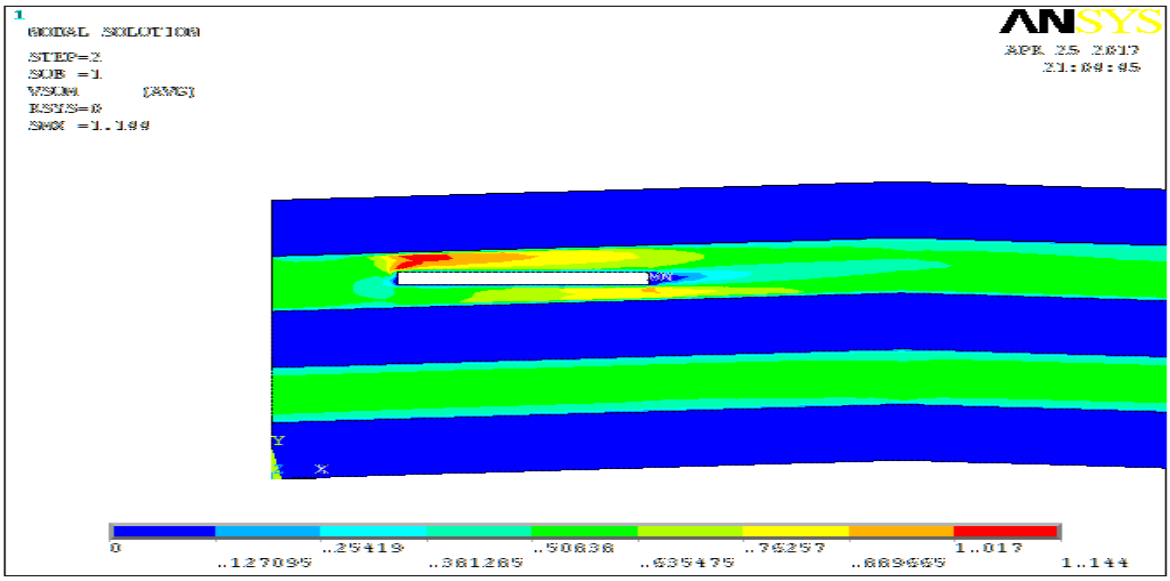


Figure (IV-51) : champ de la vitesse en position4 (échangeur zigzag avec déflecteurs a l'entrée)

IV-12-3/-le profil de pression:

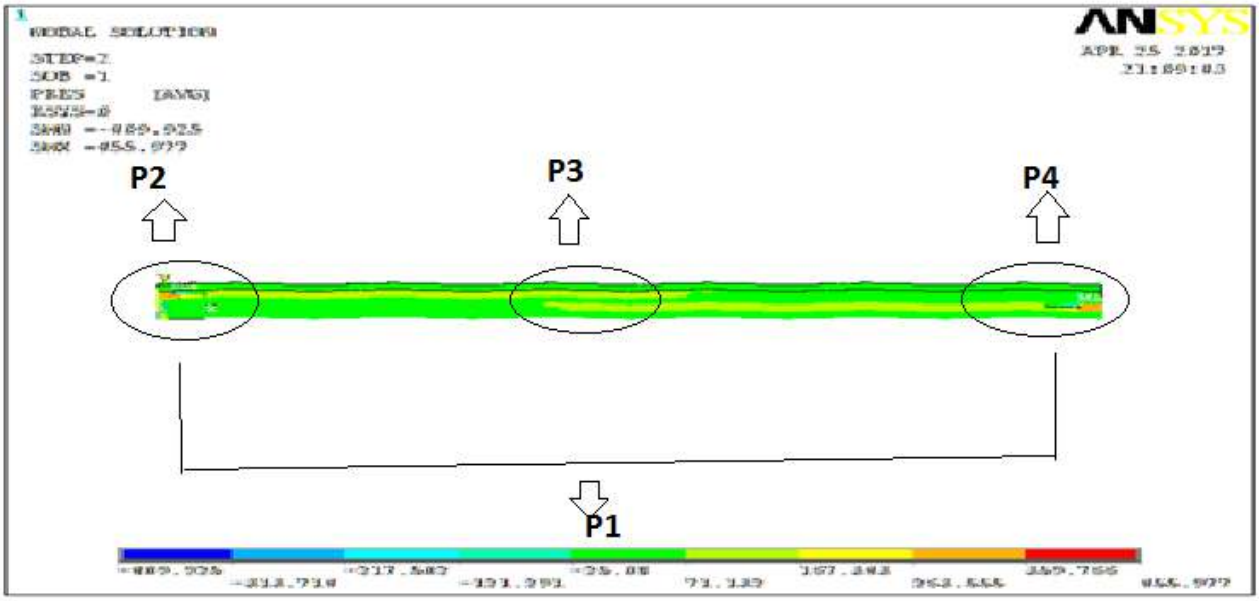


Figure (IV-52) : champ de la pression en les 4 positions (échangeur zigzag avec déflecteurs a l'entrée)

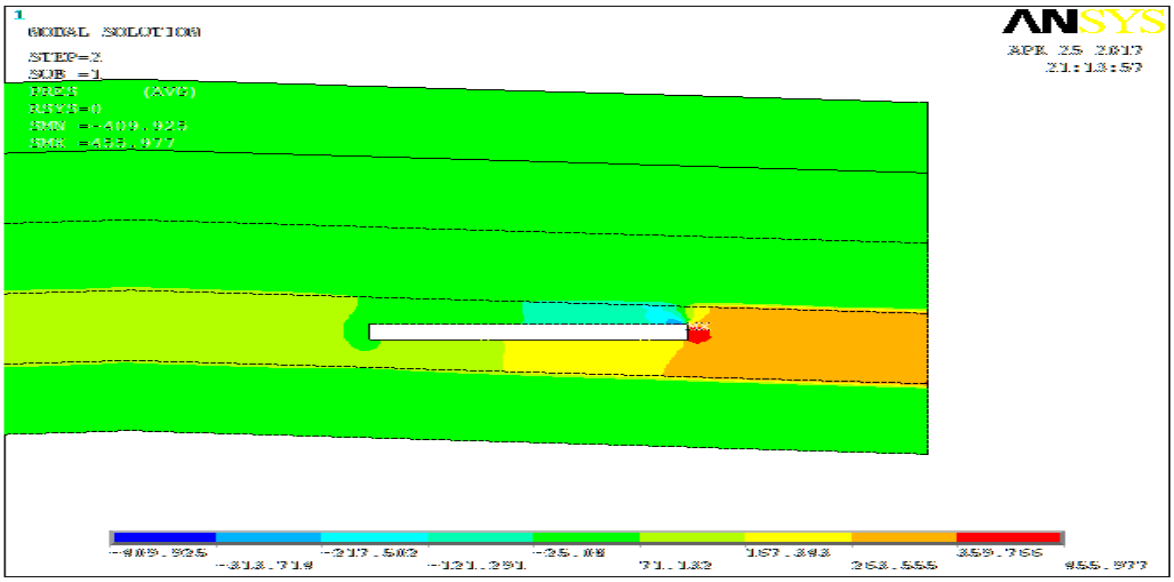


Figure (IV-53) : champ de la pression en position2 (échangeur zigzag avec déflecteurs a l'entrée)

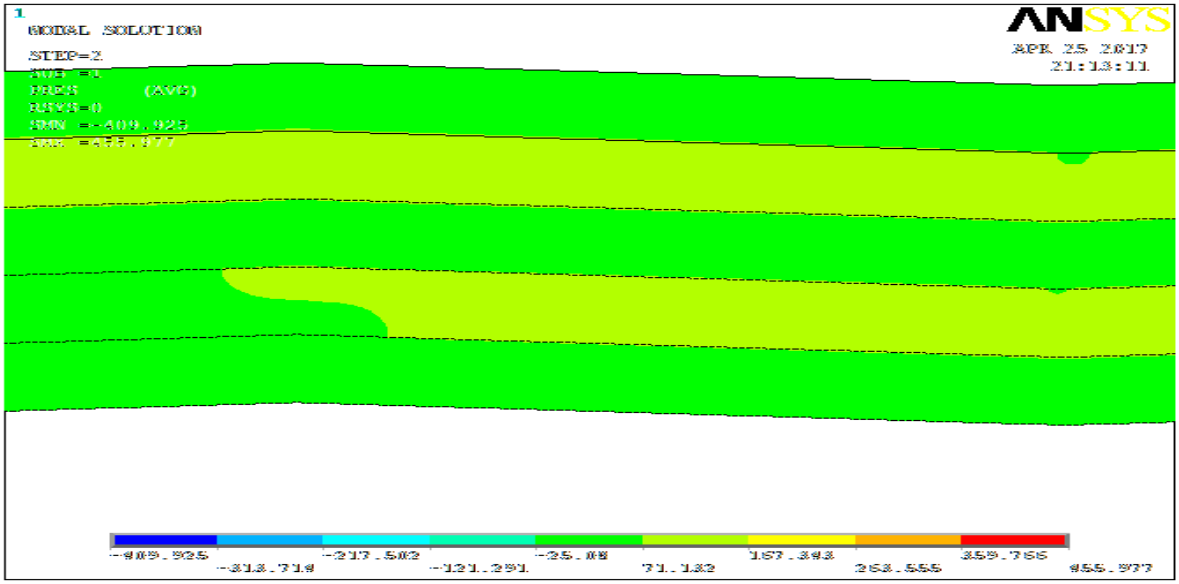


Figure (IV-54) : champ de la pression en position3 (échangeur zigzag avec déflecteurs a l'entrée)

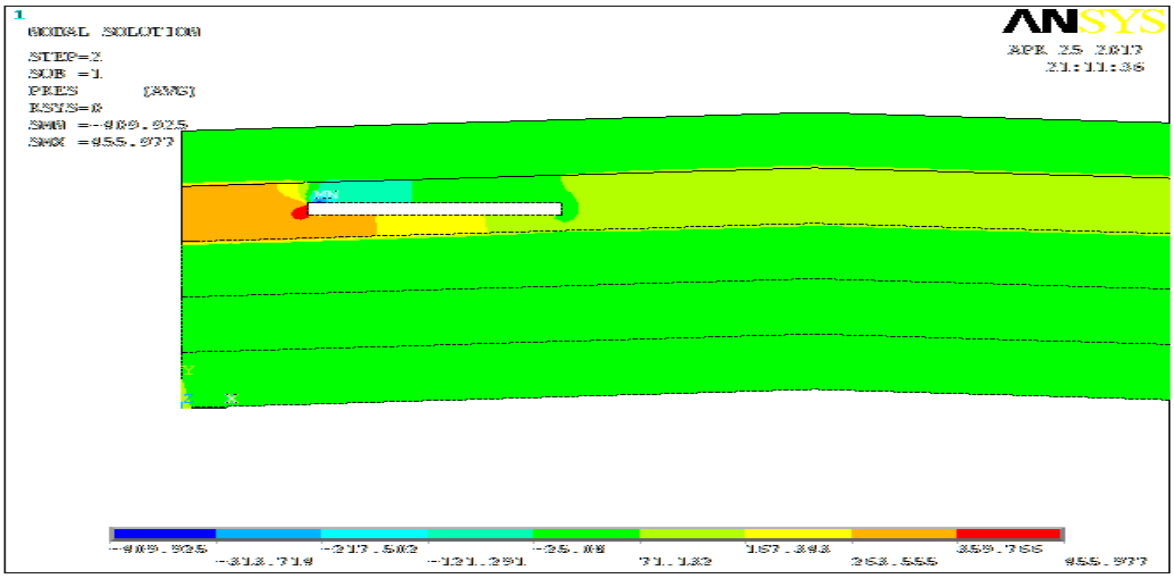


Figure (IV-55) : champ de la pression en position4 (échangeur zigzag avec déflecteurs a l'entrée)

IV-12-4/-L'étude de zigzag simple à l'influence d'échangeur zigzag avec déflecteurs:

Dans cette partie, on va créer des zigzags en ajoutant des déflecteurs.

Les démentions de l'échangeur zigzag avec plusieurs déflecteurs simulé au programme ANSYS :

Tableau (IV-06) : la géométrie de l'échangeur de chaleur zigzag avec plusieurs déflecteurs.

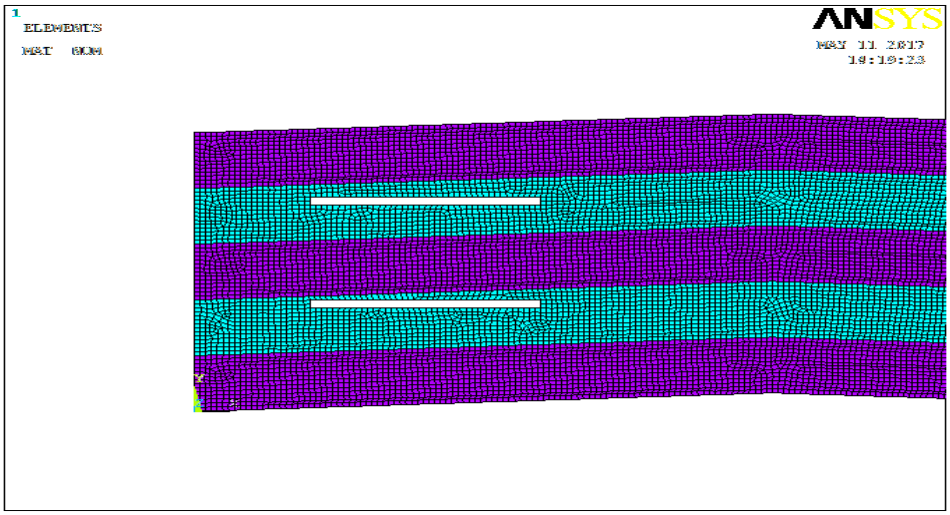
	Déflecteurs a l'entrée	Plusieurs déflecteurs
Coté eau	X1=0.02 et X2=0.06 Y1=0.05 et Y2=0.052	Copier avec : X=0.53 et Y=0 X=1.1 et Y=0
Coté lait	Idem	Copier tout avec : X=0 et Y=-0.025

Les propriétés :

On a gardé les mêmes propriétés et conditions limites précédentes.

Le maillage :





Figures (IV-55) : le maillage d'un échangeur zigzag avec plusieurs déflecteurs.

IV-13/Les résultats dans un milieu fluide :

IV-13-1/-le profil de température :

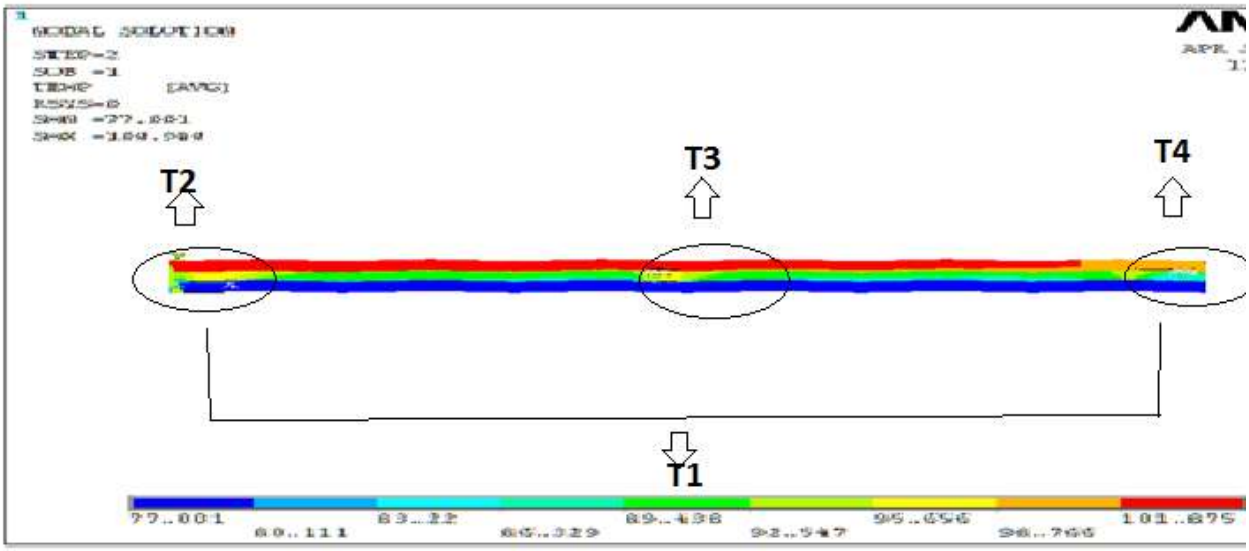


Figure (IV-56) : champ de la Température les 4 positions (échangeur zigzag avec plusieurs déflecteurs)

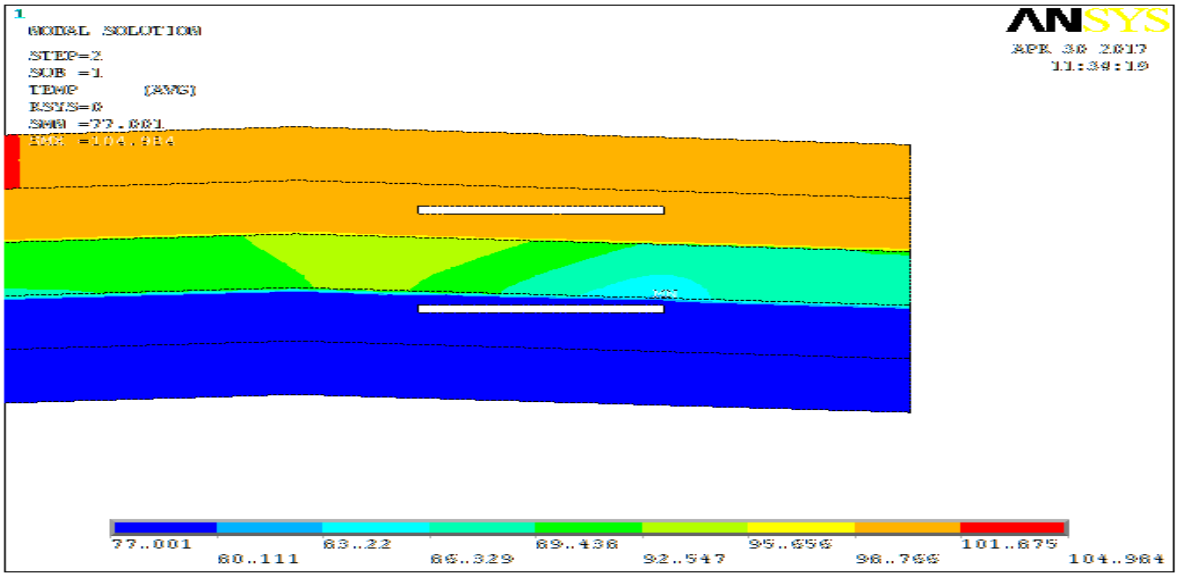


Figure (IV-57) : champ de la Température en position2 (échangeur zigzag avec plusieurs déflecteurs)

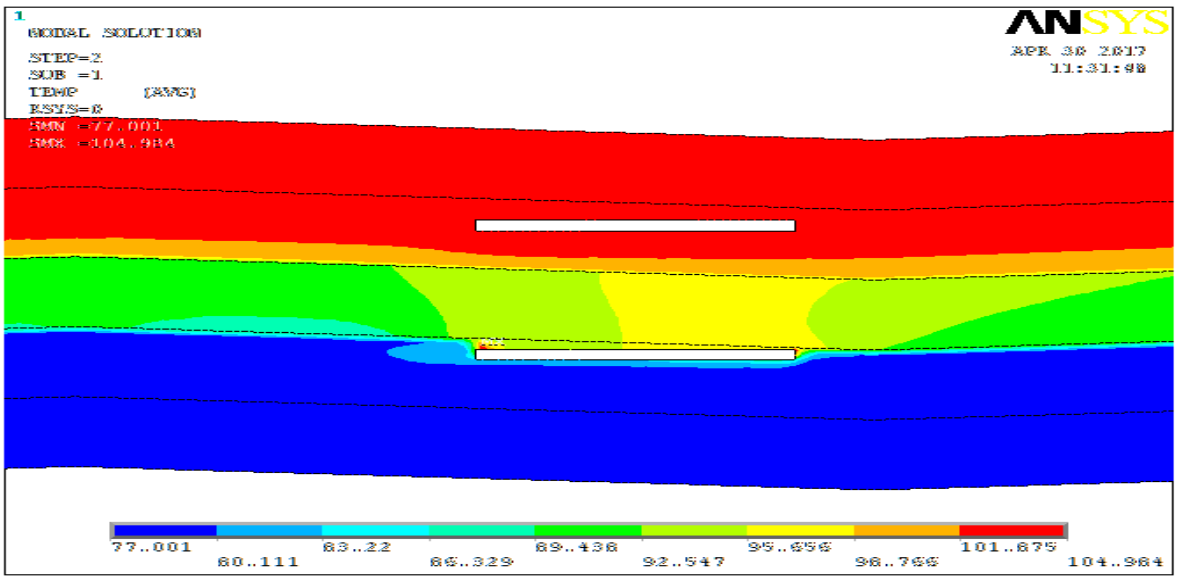


Figure (IV-58) : champ de la Température en position3 (échangeur zigzag avec plusieurs déflecteurs)

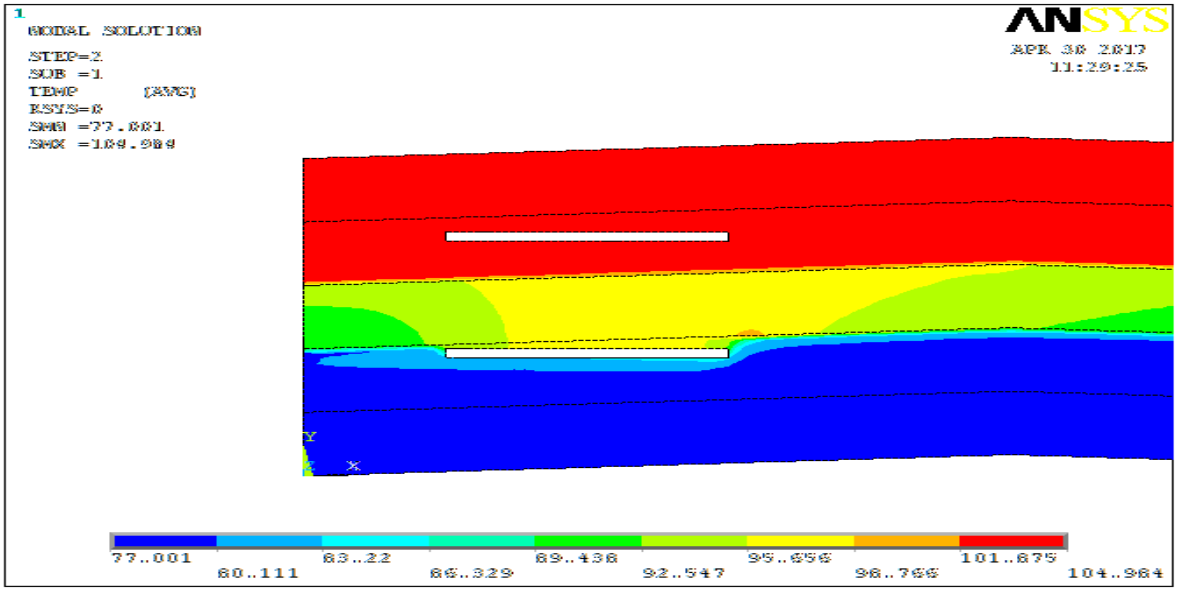


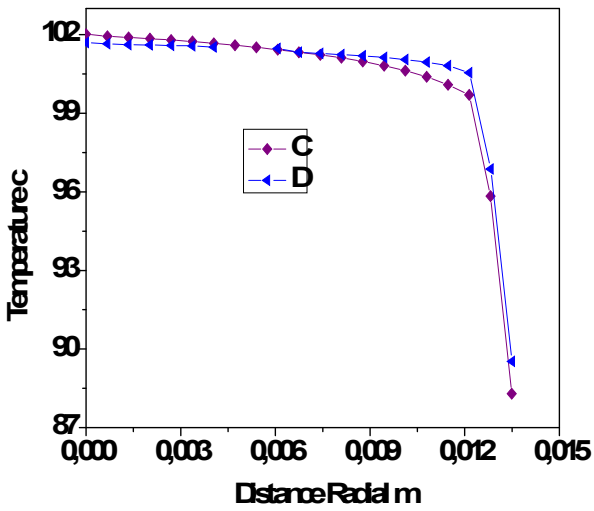
Figure (IV-59) : champ de la Température en position4 (échangeur zigzag avec plusieurs déflecteurs)

La variation de la température à la longue de canal :

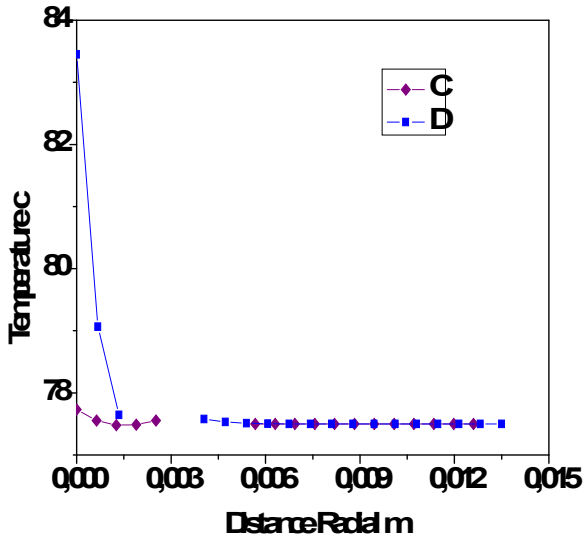
La variation du profil de la température entre échangeur zigzag avec déflecteurs à l'entrée et l'autre avec plusieurs déflecteurs en fonction de la largeur(y) du canal est représentée sur les graphes suivants et ce pour des différentes positions dans le canal(x) :

Pour x = 1.1

a)-Coté eau :

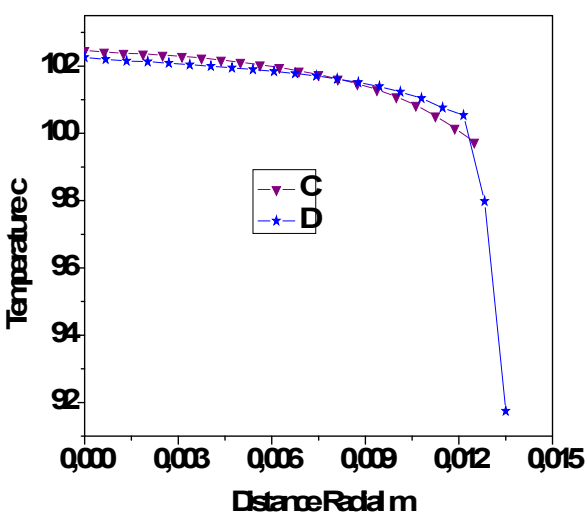


b)-Coté lait :

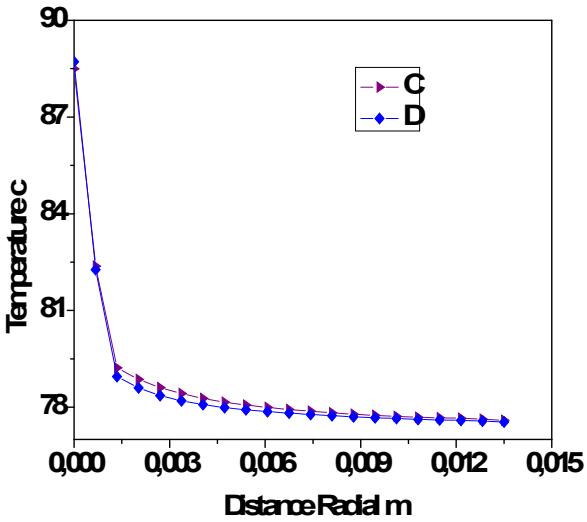


Pour x = 0.9

a)-Coté eau :

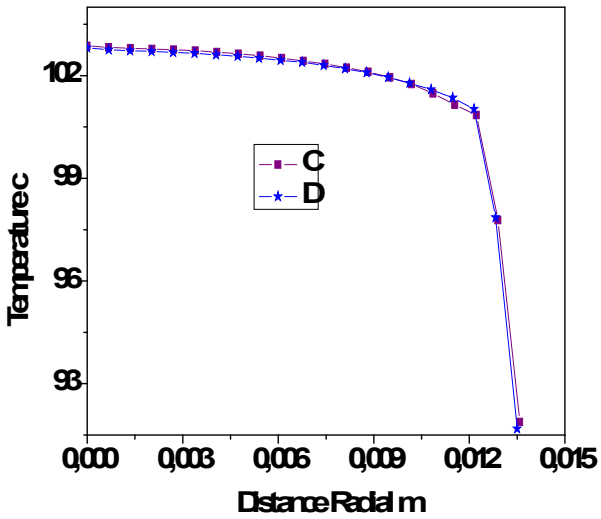


b)-Coté lait :

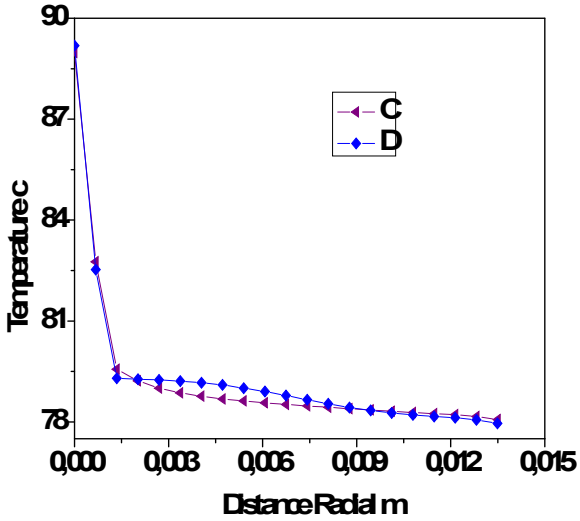


Pour x = 0.5

a)-Coté eau :

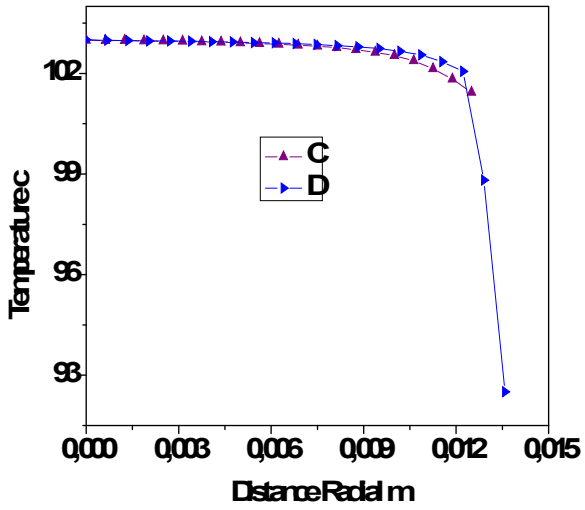


b)-Coté lait :

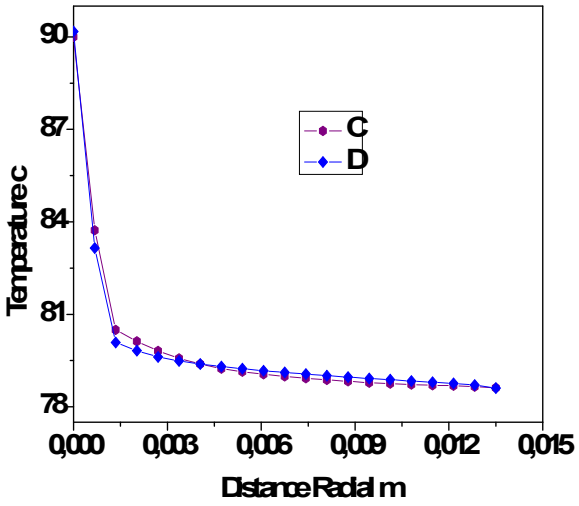


Pour x = 0.1

a)-Coté eau :



b)-Coté lait :



Figures (IV-60) : la représentation graphique de a variation du profil de la température entre échangeur zigzag avec déflecteurs à l'entrée et l'autre avec plusieurs déflecteurs en fonction de la largeur(y) du canal pour des différentes positions dans le canal(x)

4-13-2/-le profil de vitesse :

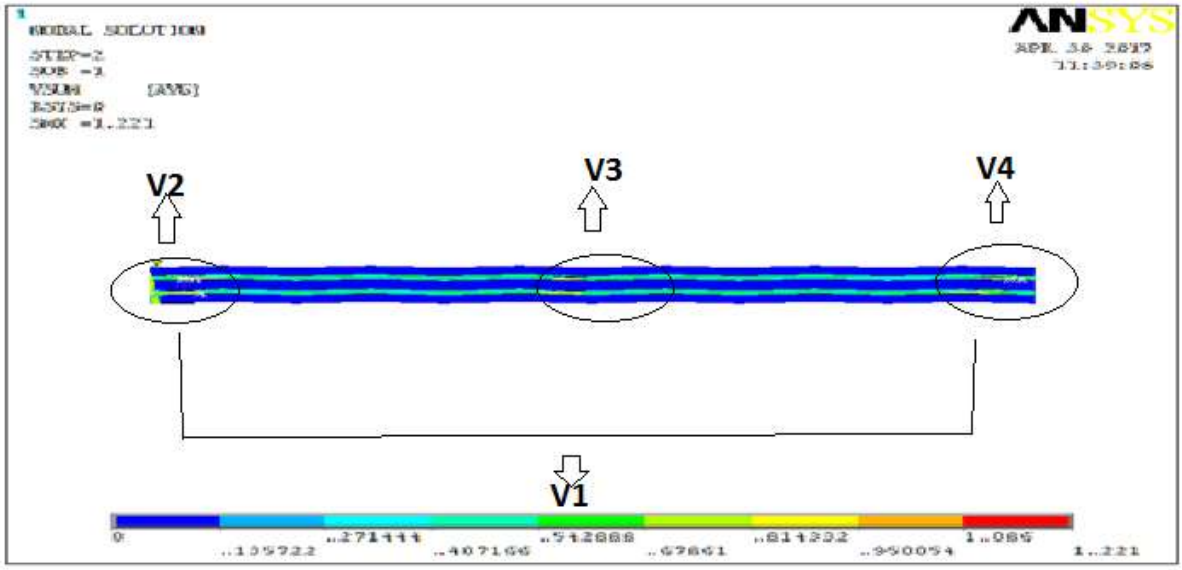


Figure (IV-61) : champ de la vitesse en les 4 positions (échangeur zigzag avec plusieurs déflecteurs)

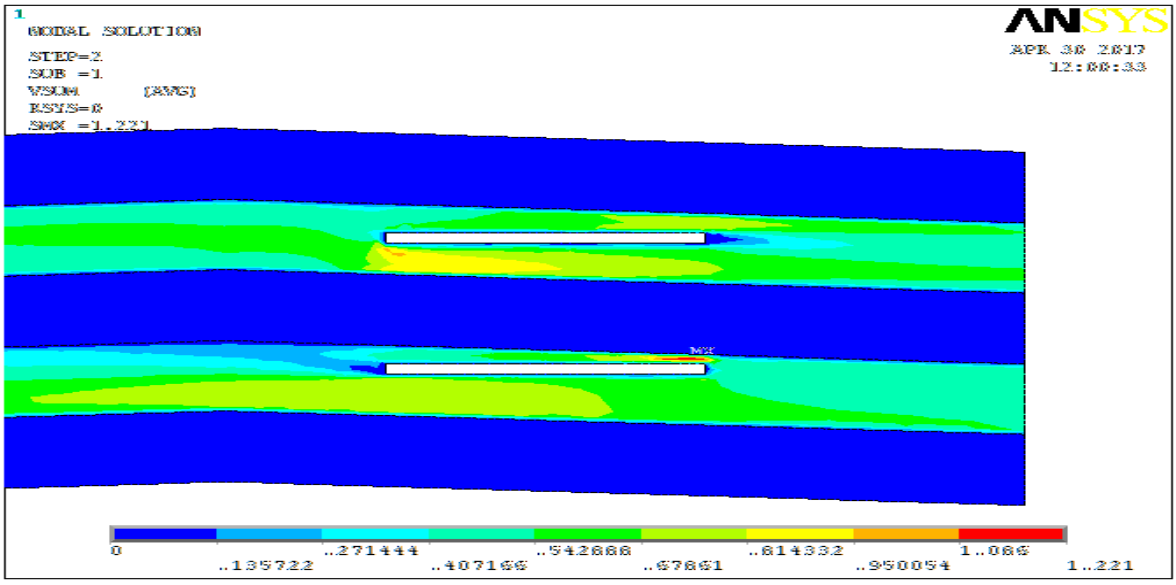


Figure (IV-62) : champ de la vitesse en position2 (échangeur zigzag avec plusieurs déflecteurs)

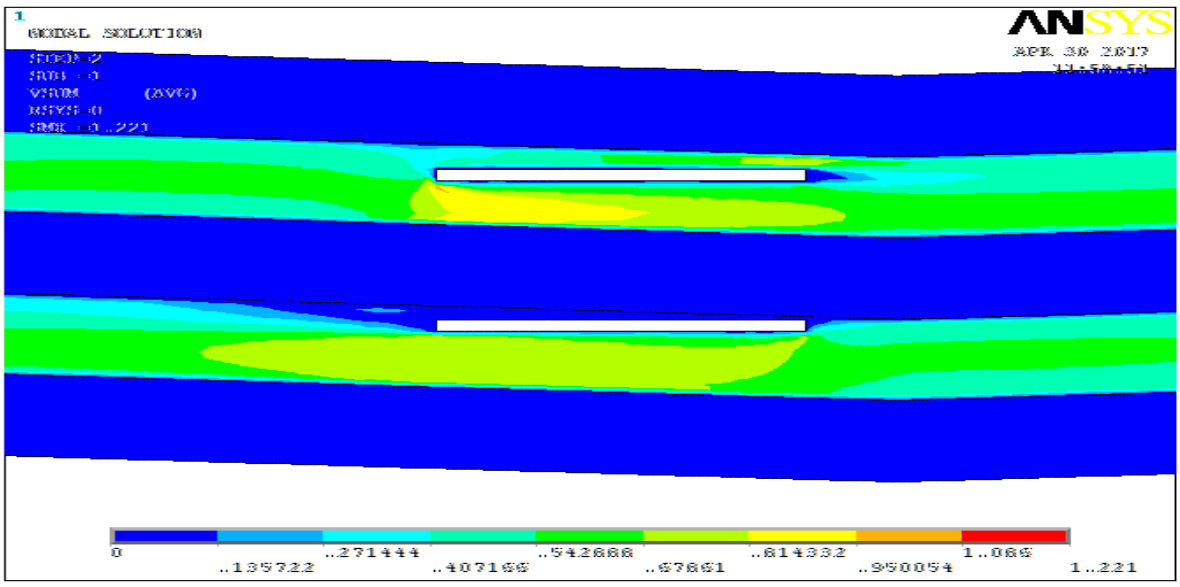


Figure (IV-63) : champ de la vitesse en position3 (échangeur zigzag avec plusieurs déflecteurs)

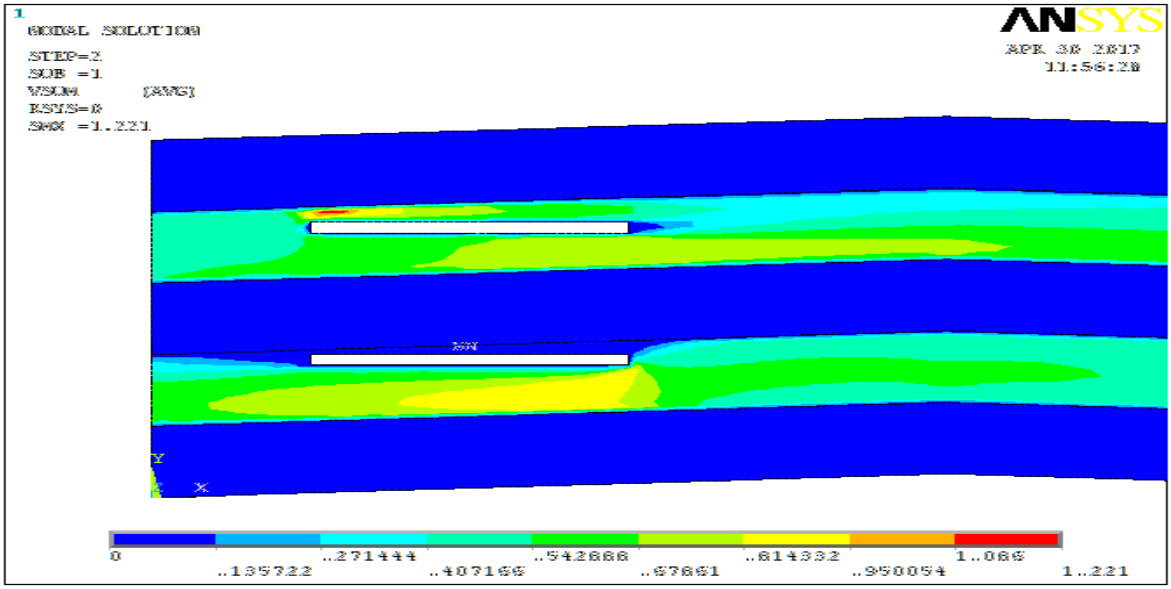


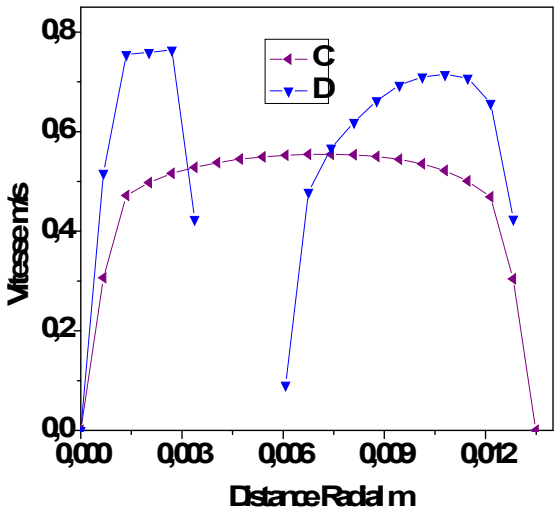
Figure (IV-64) : champ de la vitesse en position4 (échangeur zigzag avec plusieurs déflecteurs)

La variation de la vitesse à la longue de canal :

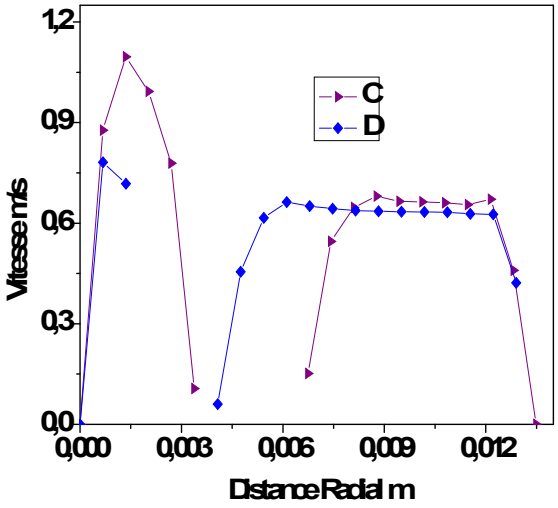
La variation du profil de la vitesse entre échangeur zigzag avec déflecteurs a l'entrée et autre avec plusieurs déflecteurs en fonction de la largeur(y) du canal est représentée sur les graphes suivants et ce pour des différentes positions dans le canal(x) :

Pour x = 1.1

a)-Coté eau :

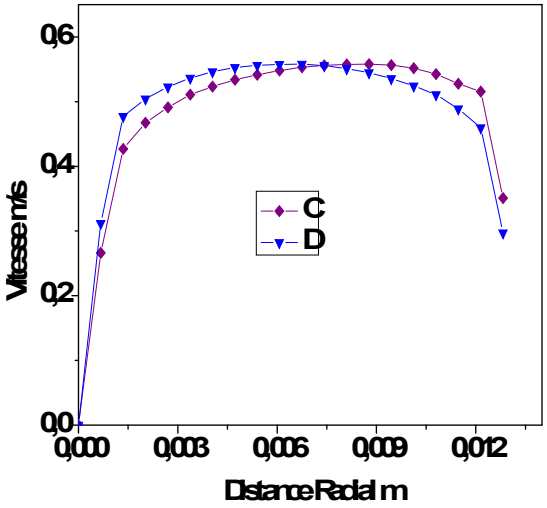


b)-Coté lait :

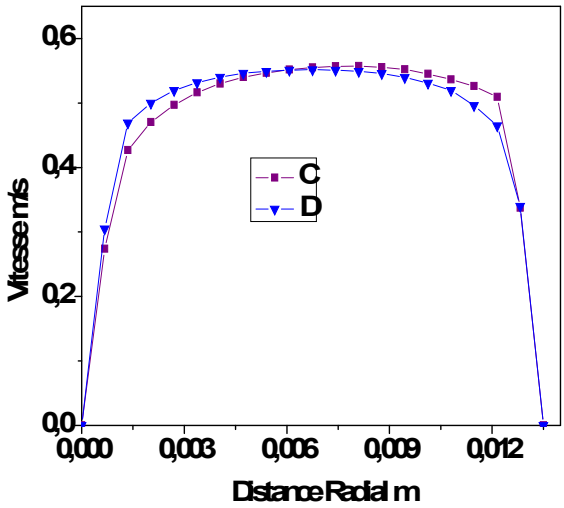


Pour x = 0.9

a)-Coté eau :

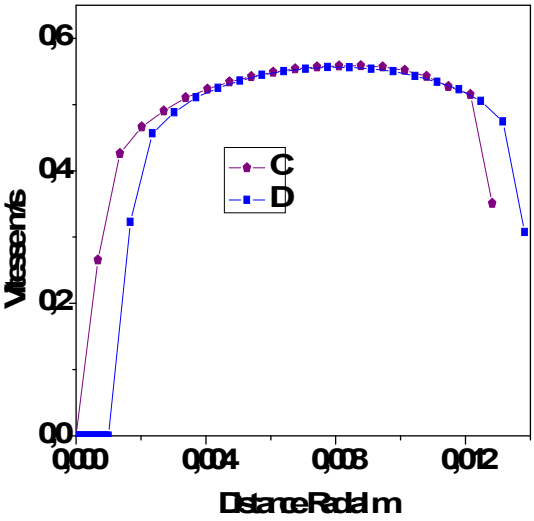


b)-Coté lait :

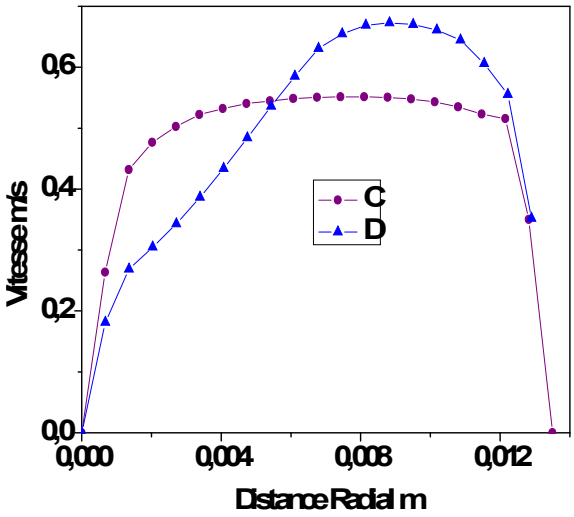


Pour x = 0.5

a)-Coté eau :



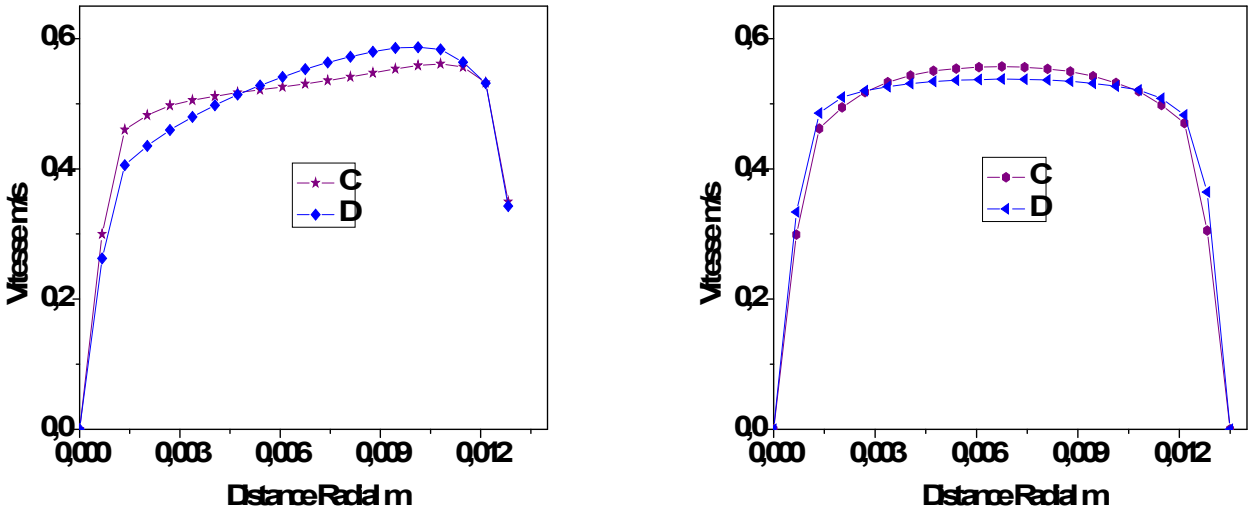
b)-Coté lait :



Pour x = 0.1

a)-Coté eau :

Coté eau :



Figures (IV-64) : la représentation graphique de a variation du profil de la vitesse entre échangeur zigzag avec déflecteurs à l'entrée et l'autre avec plusieurs déflecteurs en fonction de la largeur(y) du canal pour des différentes positions dans le canal(x)

IV-13-3/Profile de Pression :

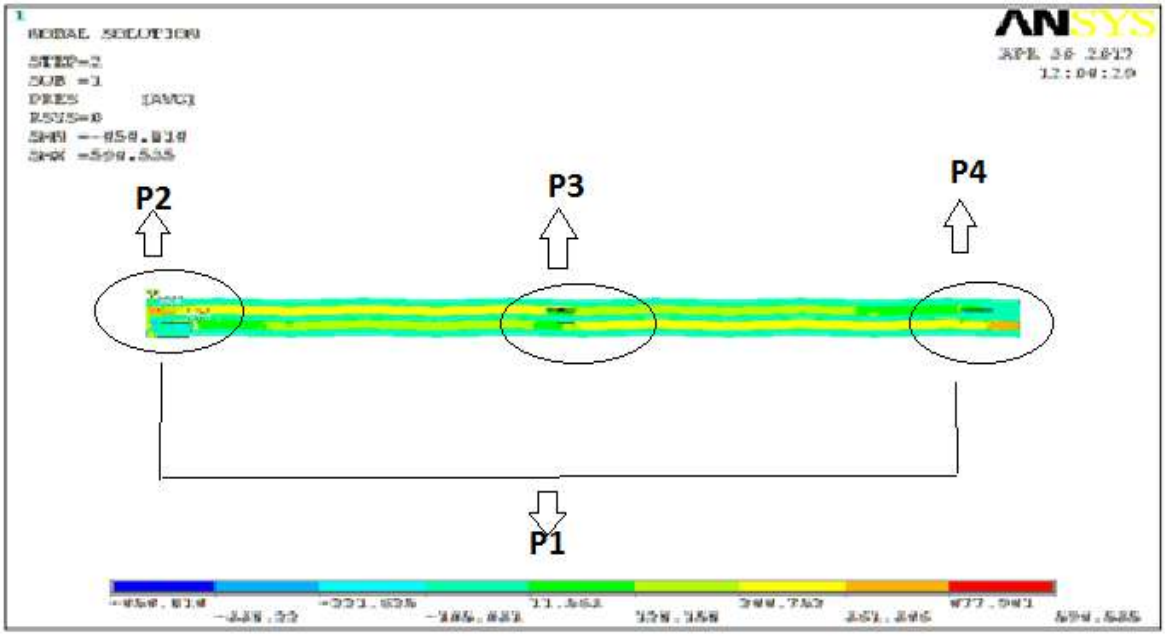


Figure (IV-65) : champ de la pression en les 4 positions (échangeur zigzag avec plusieurs déflecteurs)

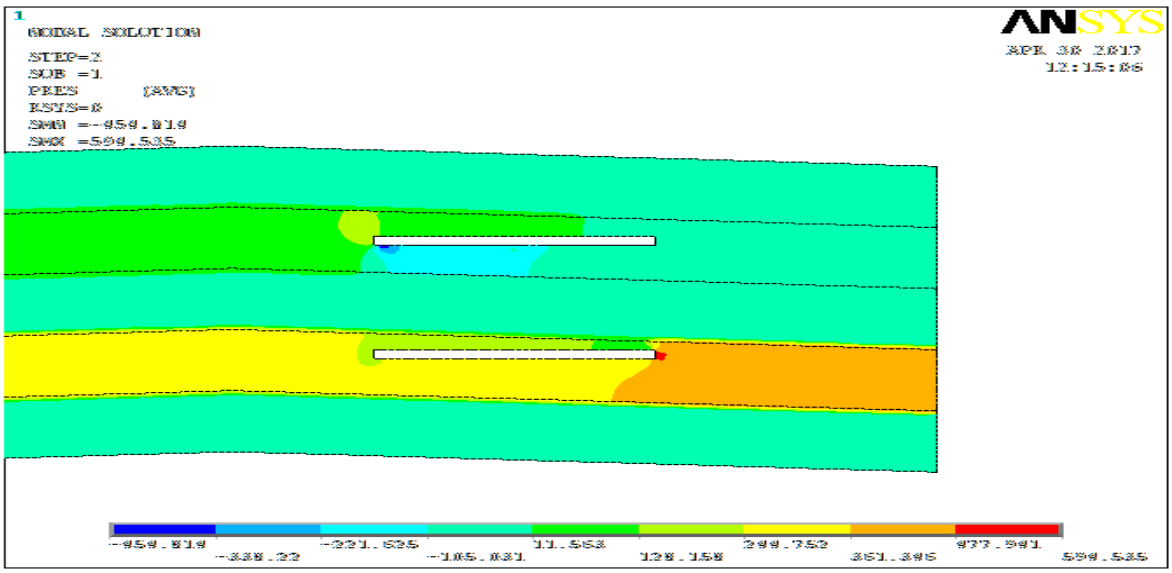


Figure (IV-66) : champ de la pression en position2 (échangeur zigzag avec plusieurs déflecteurs)

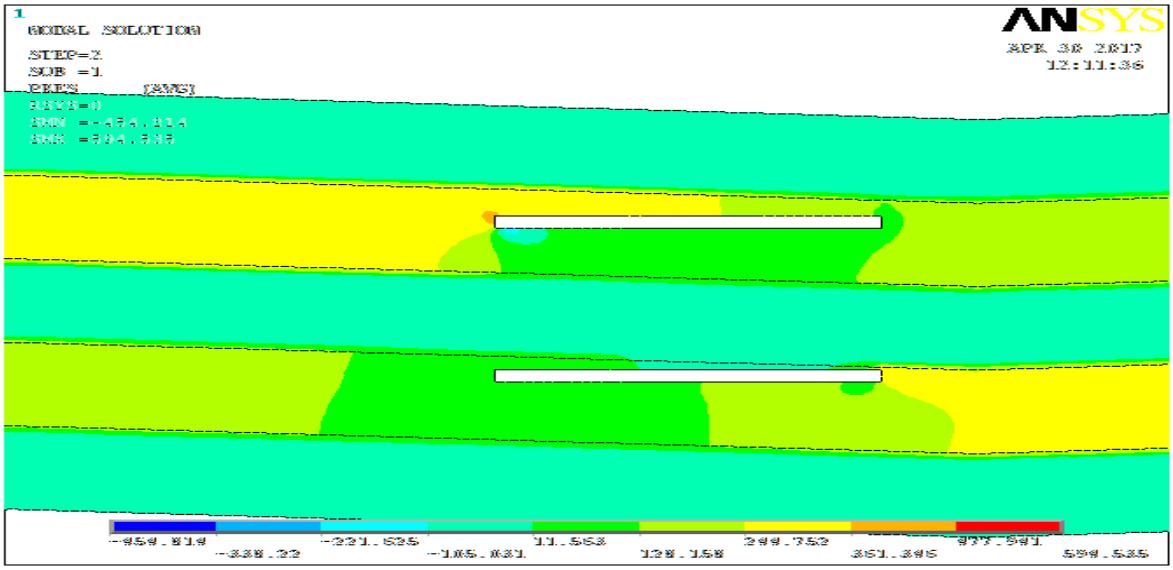


Figure (IV-67) : champ de la pression en position3 (échangeur zigzag avec plusieurs déflecteurs)

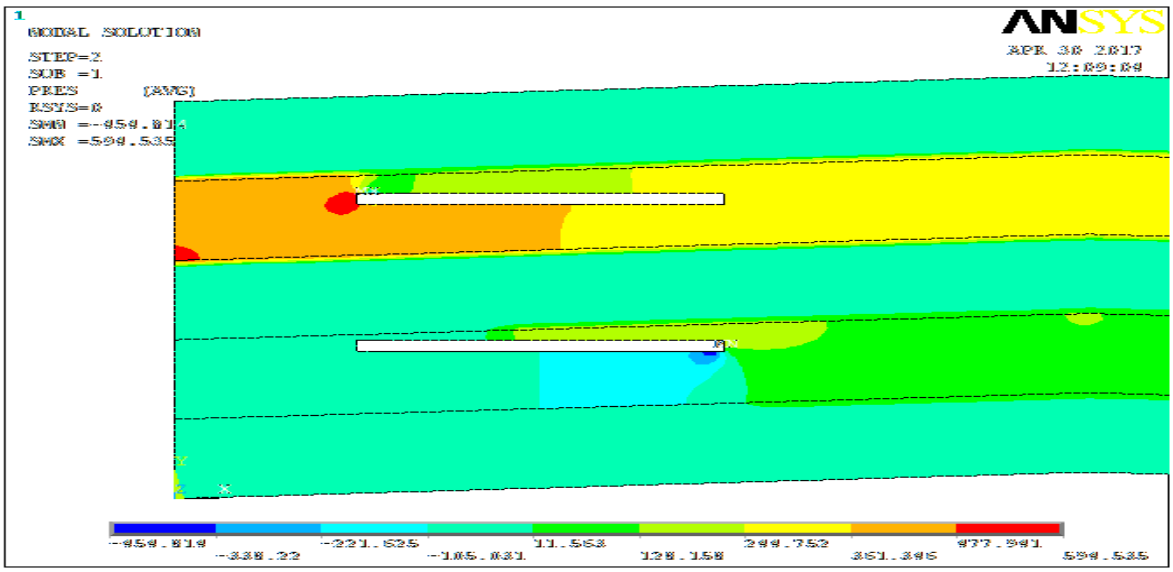


Figure (IV-68) : champ de la pression en position4 (échangeur zigzag avec plusieurs déflecteurs)

IV-14/- Interprétations des résultats :

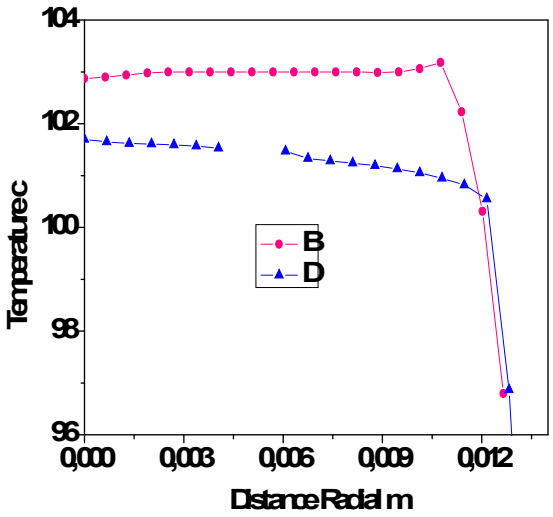
On remarque qu'en ajoutant des plusieurs déflecteurs (D) augmente les perturbations d'écoulement des fluides circulants dans l'échangeur zigzag alors qu'une couche limite importante plus qu'un échangeur avec déflecteur à l'entrée seulement (C) donc, l'échangeur avec plusieurs déflecteurs (D) possède un très bon échange thermique et dynamique.

IV-14/Comparaison Entre Deux Echangeurs De Chaleur En Zigzag Un Sans Déflecteur Et L'autre Avec Plusieurs Déflecteurs :

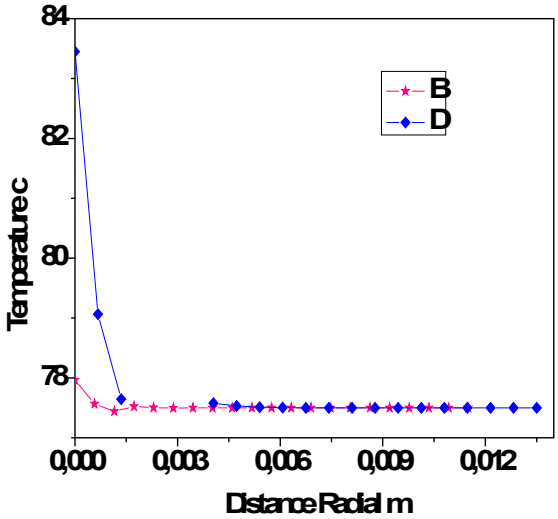
4-14-1/-Le profile de la température :

Pour x = 1.1

Coté eau :

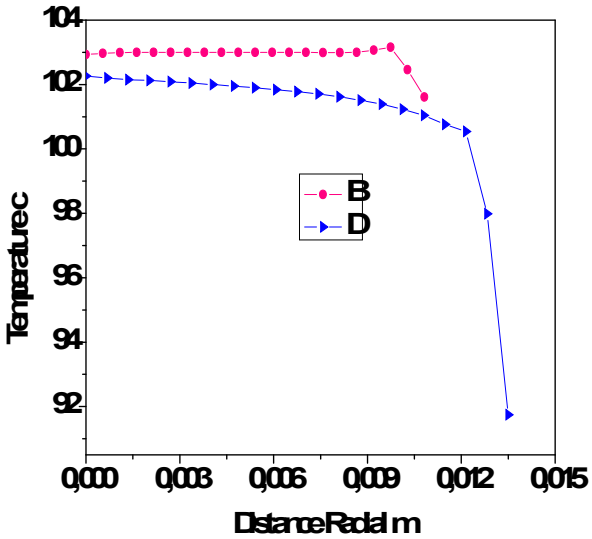


Coté lait :

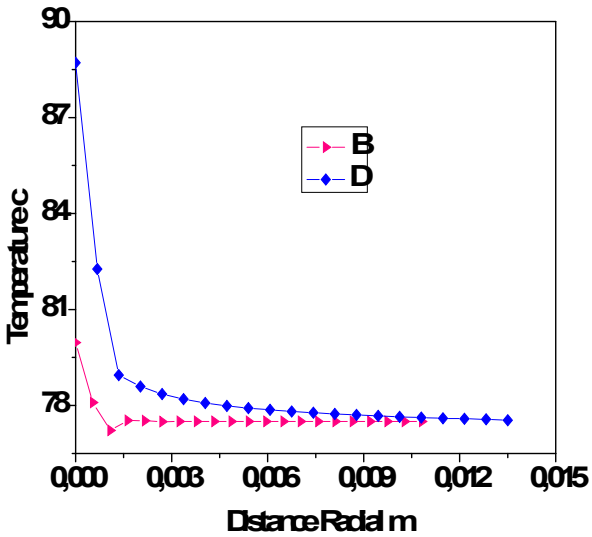


Pour x=0.9

Coté eau :

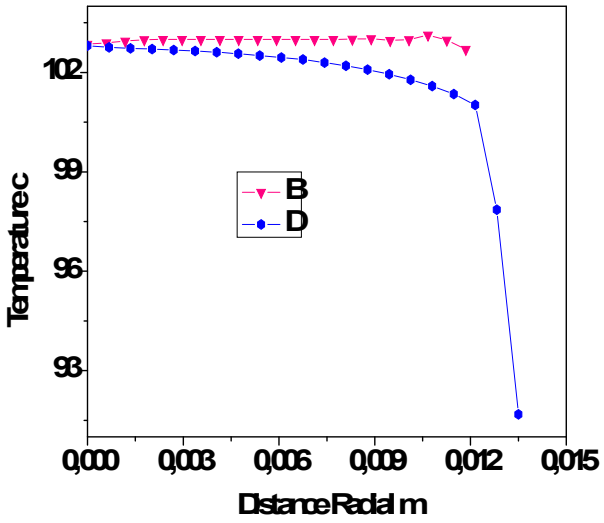


coté lait :

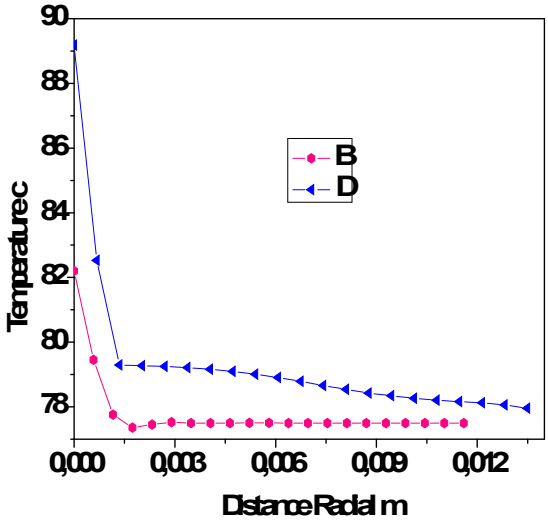


Pour x=0.5

Coté eau :

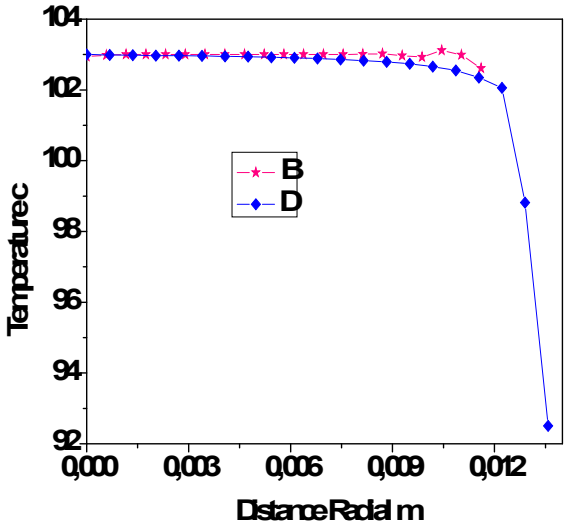


coté lait :

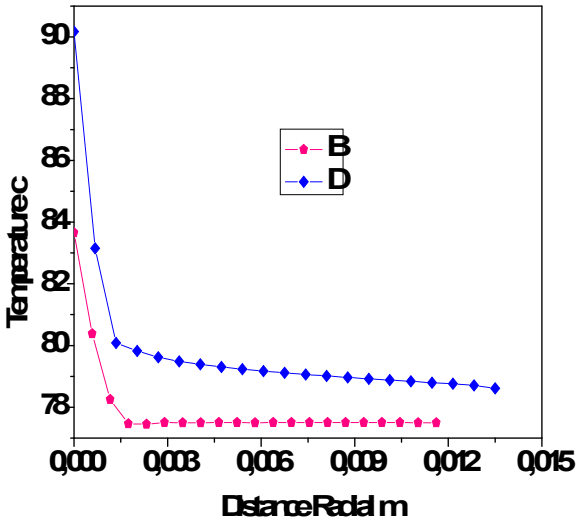


Pour x = 0.1

Coté eau :



coté lait :

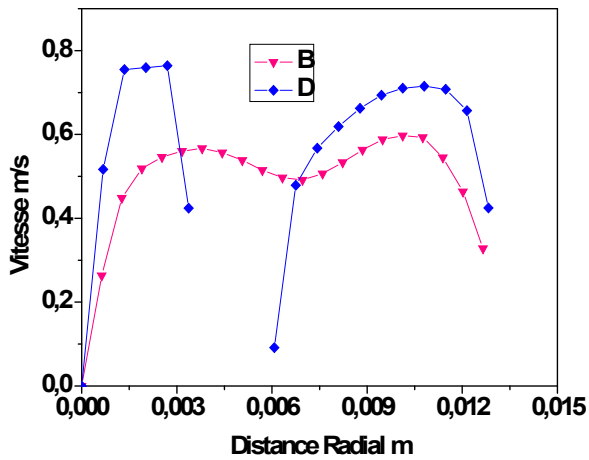


Figures (IV-69) : la représentation graphique de a variation du profil de la température entre deux échangeur zigzag, un sans déflecteur et l'autre avec plusieurs déflecteurs en fonction de la largeur(y) du canal pour des différentes positions dans le canal(x)

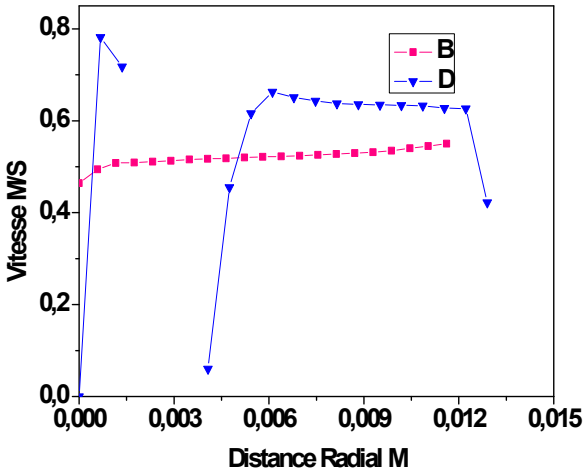
IV-14-2/-Le profile de la vitesse:

Pour x = 1.1

Coté eau :

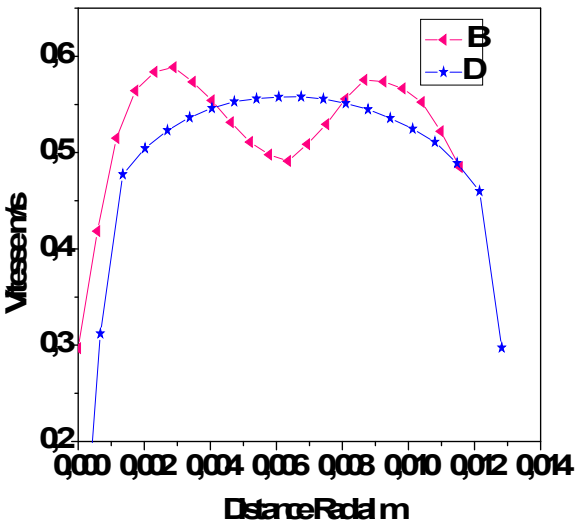


Coté lait :

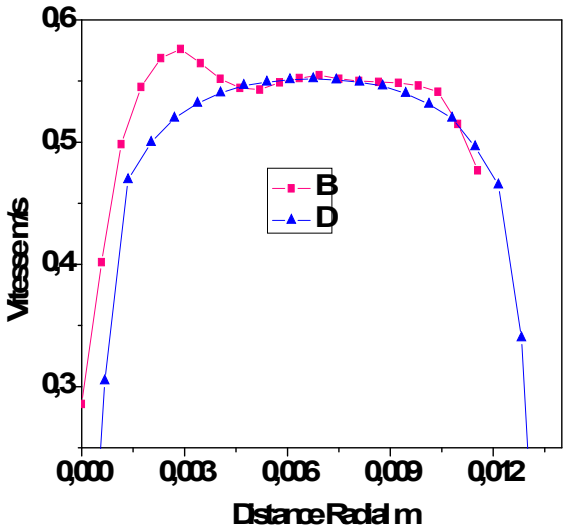


Pour x = 0.9

Coté eau :

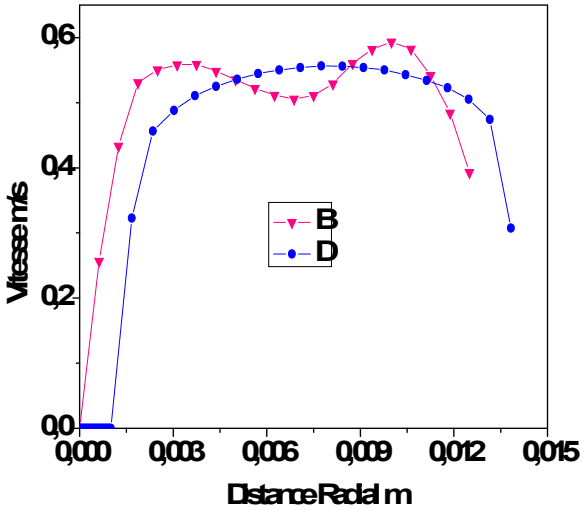


Coté lait :

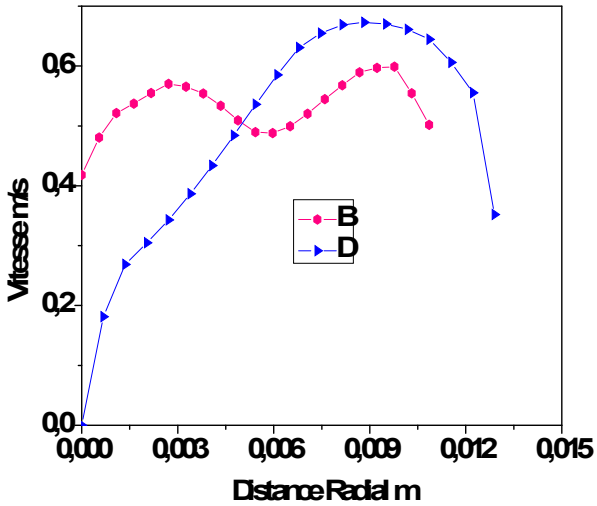


Pour x = 0.5

Coté eau :

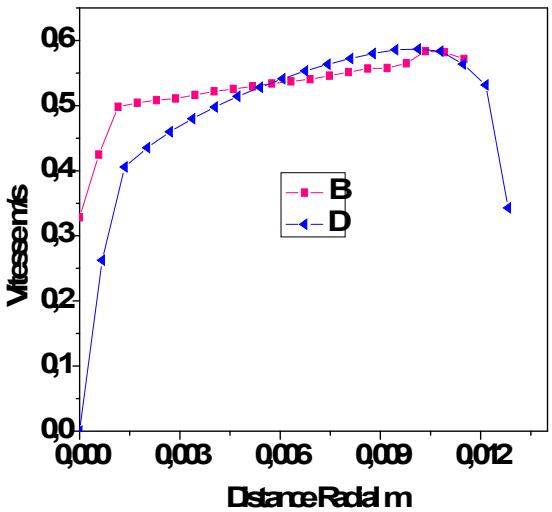


Coté lait :

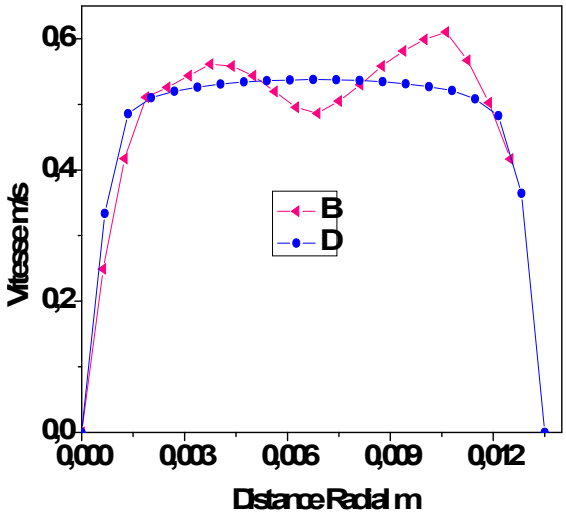


Pour x = 0.1

Coté eau :



Coté lait :



Figures (IV-70) : la représentation graphique de a variation du profil de la viitesse entre deux échangeur zigzag, un sans déflecteur et l'autre avec plusieurs déflecteurs en fonction de la largeur(y) du canal pour des différentes positions dans le canal(x)

IV-15/-Interprétations des résultats:

La présence des déflecteurs influe sur l'écoulement des fluides par augmentation des perturbations finalement l'amélioration de transfert de chaleur alors un meilleur échange thermique et dynamique.

IV-16/-CONCLUSION :

Dans ce chapitre, On a étudié l'influence de la géométrie d'échangeur de chaleur et les déflecteurs sur le transfert de chaleur et les échanges thermique et dynamique.

Conclusion Générale

« CONCLUSION GÉNÉRALE »

Ce travail de mémoire a porté essentiellement sur l'étude des phénomènes touchant les domaines de calcul numérique dans les échangeurs de chaleurs avec objectif de contribuer à améliorer les connaissances des écoulements et des transferts de chaleur dans les échangeurs à plaque. Il explore en détaille comportement d'écoulement et de transfert thermique conducto-convectif en fonction de plusieurs paramètres géométriques .Plusieurs études de recherches ont été effectuées sur les échangeurs thermiques à plaque afin de connaitre ces phénomènes physiques. La compréhension de ceux-ci nous a permet d'avoir une idée pour améliorer les performances de ces types d'échangeurs de chaleur. Cette ides consiste à déformé les plaques en ZIGZAG pour produire des circulations d'écoulement .Notre étude a été réalisé numériquement pour plusieurs configurations des ZIGZAGS avec incorporation de déflecteurs. Les simulations numériques des phénomènes thermiques et dynamiques ont été effectuées en utilisant le logiciel Ansys.

Notre travail c'est concentré sur le comportement des échangeurs de chaleur en ZIGZAG par modèle basé sur la simulation des écoulements turbulents en utilisant la discrétisation par élément finis, en jouant sur des configurations géométrique, sans ou avec déflecteurs, avec un ou plusieurs déflecteurs, en régime turbulent avec une configuration contre courant.

L'analyse des différents résultats obtenus dans la partie de travail nous a permis d'arriver aux constations suivantes :

1/-Les plaques en zigzag améliorent les échanges thermiques.

2/-Les pertes de charge aditifs sont fonction du nombre de singularité des zigzags.

3/-Le déflecteur perturbe l'écoulement localement par la création de panache et zone de recirculation.

4/-Plus les perturbations augmentent, plus la couche limite est très large qui favorise l'échange thermique et les pertes de charge.

L'échangeur de chaleur est imputable simultanément aux phénomènes de convection et de conduction.

Le mécanisme de transfert de chaleur par convection entre la paroi et le fluide, entre la paroi et la sous couche limite visqueuse, s'effectuent par conduction uniquement, les particules fluides au voisinage de la sous couche visqueuse s'échauffe puis son déplacement vers l'extérieur, ou elle se mélange avec le fluide le plus froid, il en résulte un transfert thermique important par cette effet la présence de déflecteur à

[1] : Mahvand VAFAEI – ALAMDARI thèse d'obtention du diplôme de DOCTORAT DE L'INPL sur le réacteur chimique structuré de type échangeurs a plaques hautes performances a l'aide d'un modèle a compartiments détaillé, le 14 juin 2006

[2] : Thèse d'obtention du diplôme de Master chimie (Normes & contrôle de qualité) de thème (Exploitation & analyse des résultats Numériques de l'étude de l'encrassement des échangeurs de chaleurs par le lait par un programme ANSYS) Université Dr Yahia Farés-Médéa2012-2013.

[3] : Article d'entreprise spécialiste de l'échangeur thermique « barriquand » (technologie thermique).

[4] : Thèse présentée pour obtenir le garde de Docteur de l'Université d'Aix-Marseille par Kifah SARRAF.

[5] : Thèse présentée et soutenue publiquement pour l'obtention du garde de Docteur de l'INPL par Selma Ben SAAD.

[6] : T.Casanueva_Robles,& T.R.Boot,The environmental effect of heat exchanger fooling :a case study.Communication présenté Engineering conférences Inter,Germany,June 2005.

[7] : https://fr.Wikipedia.org/Wili/%C3%89echangeur_de_chaleur.

[8] : Y.A.Cengel,K.J.Mc,Grew Hill bell & A.C Mueller.Wolverine Engineering Heat transfert.Wolverine Tube,2002.

[9] : Y.Belloufi,Modélisation d'un échangeur air/sol dont le but de refroidissement des locaux, Juin2012.

[10] : J.Harkat, Diagnostic de l'encrassement par monitoring des paramètres service aux bornes d'un échangeur de chaleur, Magister en génie mécanique, Université M'Hamed Bougara Boumerdes, 2007.

[11] : N.Hentabli ;S.Belmostfaoui, Modélisation et simulation numérique de l'encrassement en régime turbulent dans un échangeur de chaleur à plaques lors d'une phase de traitement thermique, Université Dr Yahia Farés-Médéa en Juin 2015.

[12] : Mémoire présenté à la faculté des études supérieurs de l'université laval pour obtenir le garde de maitre sciences(M. SC) en génie mécanique sur la caractérisation expérimentale des échanges sensibles et latents dans un échangeur de chaleur à contre-courant, octobre 2000.

[13] : Le premier séminaire national de génie mécanique (SNGM01) par Mohamed amine abdelghani mokrane,Abdelhafid Moummi et Nouredine Moummi, labo de génie mécanique (LGM),université mohamed khider-biskra 07000,Algérie.

[14] : Taourit Farida, mémoire de master en génie énergétique, université Abu bakr belkaid de Tlemcen, sur l'étude du comportement dynamique et thermique de 2 écoulements du fluide dans un échangeur de chaleur (comparaison entre le cas simple et le cas avec ailettes), le 23/06/2013.

[15] : O.R.Amine, F.Abdelkader.Thèse d'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en génie mécanique, Université docteur Yahia fares de Médéa-2003/2004.

[16] : A.Chikh Touhami,calcul des déformations Elastrohydro dynamique dans un palier circulaire(Utilisation du logiciel ANSYS) ;Master en Génie Mécanique-Université Dr Yahia Farés de Médéa en 2012.

[17] : chapitre conception des principaux éléments des appareilles thermiques.

[18] : M .Guir ;B .Lounes ;Simulation Numérique de l'impact des gouttelettes de métal creuses sur une surface inclinée, Master en Génie Mécanique. Université Dr Yahia Farés de Médéa en 2013.

[19] : Benkhaoua.H & Mazouzi.Etude numérique de l'influence des chicances sur les performances thermique d'un échangeur tubulaire. Master en génie mécanique. Université docteur yahia fares de Médéa.2012-2013.

[20] : PATRICKCHANSSING. Turbulence en mécanique des fluides analyse du phénomène vue de sa modélisation à l'usage de l'ingénieur .I.N.P. de Toulouse,(2000).

[21] : M.Kaouane ; Analyse des contraintes et la fissuration des éléments et béton armé sous l'effet thermomécanique ; Magister en Génie Civil-Université Mouloud Mammeri en 2011.

[22] : Exploitation & Analyse des résultats numériques de l'étude de l'encrassement des échangeurs de chaleur par le lait par un programme ANSYS, en Génie mécanique, Master 2014.