

4.1. Introduction :

Nous présentons dans ce chapitre les résultats de la simulation numérique obtenue par le code de calcul utilisé. Le problème consiste comme cité au paravent à l'analyse et l'étude du comportement d'un écoulement d'air en convection forcée turbulente passant dans un canal rectangulaire de diamètre hydraulique D_H et de longueur L muni d'ailettes et de chicanes transversales, dont l'ailette est située dans la partie supérieure du canal à $x = 0.218$ m et la chicane est située dans la partie inférieure du canal à $x = 0.37$ m de l'entrée.

La géométrie considérée et les conditions aux limites ont été présentées dans le chapitre 02. Ainsi que la distribution des points du maillage et la simulation numérique ont été faite respectivement dans un mailleur Gambit et un code de simulation Fluent (CFD). Les étapes de base de l'utilisation des logiciels Gambit et Fluent sont présentés en détail dans le chapitre précédent.

Les aspects hydrodynamique et thermique de l'écoulement de l'air ont été examinés dans ce chapitre ,en procédant à la réalisation de huit simulations :

- La première simulation concernant l'étude du champ dynamique (vitesse axiale) d'un écoulement d'air en convection forcée pour une vitesse d'entrée égale à 7,8m/s et une hauteur des ailettes (des chicanes) $e = 0.080$ m
- La deuxième simulation touchant l'étude du champ dynamique d'un écoulement d'air en convection forcée pour des nombres de Reynolds de 5000, 10000,15000 et 20000 pour une hauteur des ailettes(des chicanes) fixée, ($e = 0.080$ m).
- La troisième simulation est basée sur l'étude des frottements (coefficient de friction)de l'écoulement de l'air en convection forcée avec les parois supérieure et inférieure ,pour un nombre de Reynolds fixé à 5000 .
- La quatrième simulation concernant l'étude des frottements (coefficient de friction)de l'écoulement de l'air en convection forcée avec les parois supérieure

et inférieure, pour des nombres de Reynolds de 5000, 10000, 15000 et 20000 pour une hauteur des ailettes (des chicanes) fixée, ($e = 0.080\text{m}$).

- La cinquième simulation touchant l'étude du champ thermique (température totale) d'un écoulement d'air en convection forcée pour une vitesse d'entrée égale $7,8\text{m/s}$ et une hauteur des ailettes (des chicanes) $e = 0.080\text{m}$
- La sixième simulation concernant l'influence de la variation du nombre de Reynolds (5000, 10000, 15000 et 20000) sur le champ thermique (température totale) d'un écoulement d'air en convection forcée pour une hauteur des ailettes (des chicanes) fixée, ($e = 0.080\text{m}$).
- Les deux dernières simulations sont fondées pour étudier le phénomène de transfert thermique (nombre de Nusselt) dans les parois supérieure et inférieure, prime abord pour un nombre de Reynolds fixé à 5000 et le faire varier ensuite de 5000, 10000, 15000 et enfin à 20000.

4.2. Choix du maillage :

Des essais numériques avec des grilles de maillages ont été réalisés pour des nombres d'éléments égaux à 4092, 2600 et 540 correspondant respectivement aux couples $(N_x, N_y) = (124 \times 33)$, (104×25) et (54×10) .

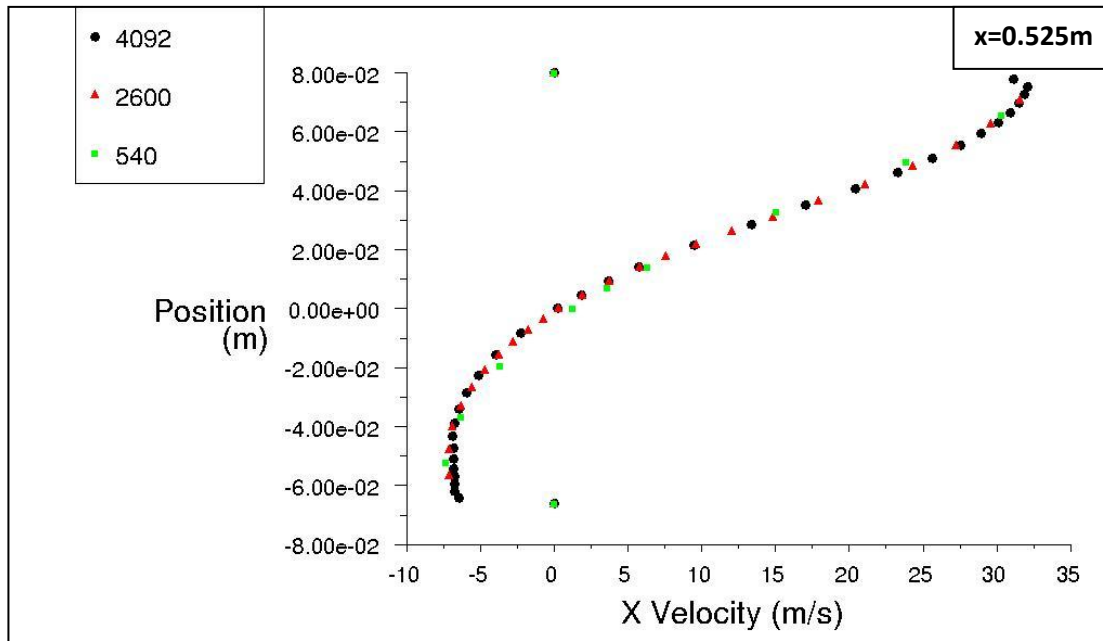


Figure 4.a – Influence du maillage sur la vitesse axiale

La **figure 4.1a** montre également que la variation est très faible sur la vitesse axiale.

On a choisit la grille 124x33, qui est utilisée dans la suite de l'étude et est justifiée par le fait que la différence entre les valeurs trouvées est inférieure à 1,5%.

Grille	54x10	104x25	124x33
X	0.554	0.554	0.554
Y	0.146	0.146	0.146
Ψ	02.08	02.02	01.99
U max	31.40	33.20	33.20
V max	26.70	29.50	29.40

Tableau : tableau comparatif des résultats (Validation du maillage).

Le tableau montre les différentes grilles utilisées pour le nombre de Reynolds égal à $8.57 \times 10^{+4}$, les différentes valeurs de la vitesse verticale et horizontale et la valeur maximale de la fonction de courant.

4.3. Validation du model :

La comparaison entre les résultats numériques et expérimentaux de Demartini et al. [28], présentés sur la **figure. 4.b**, pour une position axiale $x=0,525$ m, montre une bonne concordance entre les vitesses axiales.

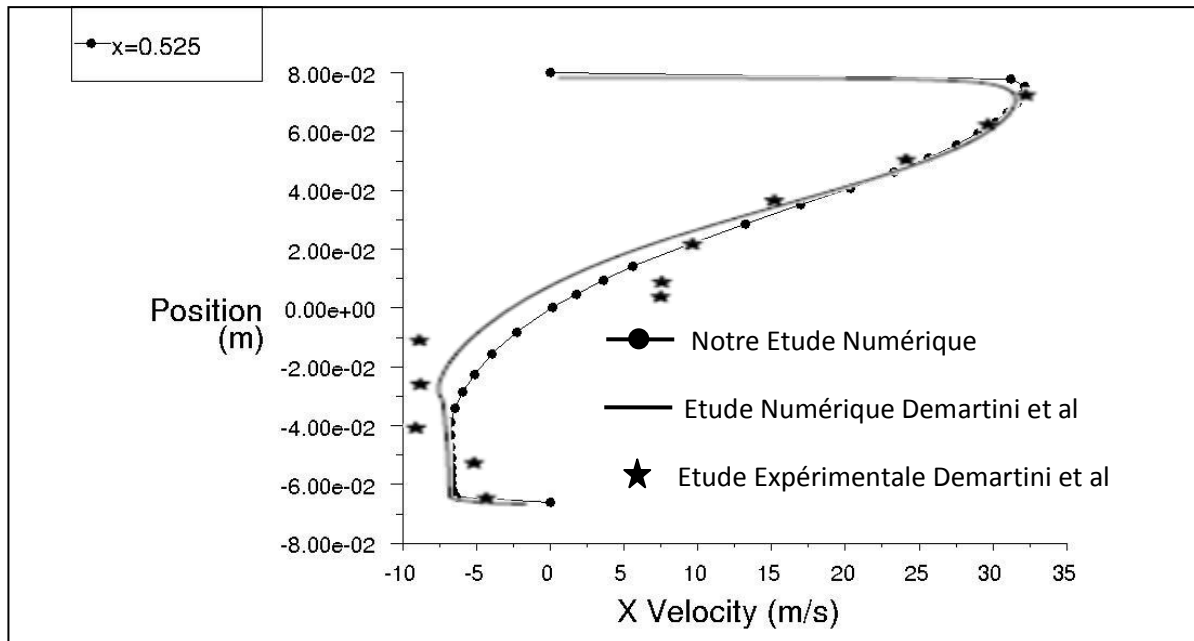


Figure 4.b Validation de la simulation numérique avec les résultats numériques et expérimentaux de Demartini et al. [28]

4.4. Aspect Hydrodynamique :

4.4.1. Etude dynamique correspond à une vitesse d'entrée égale à 7.8m/s et une hauteur d'ailette (chicane) (e) égale à 0.080m :

4.4.1.1. Présentation du contour de la vitesse axiale, vecteurs de la vitesse et contour des lignes de courant :

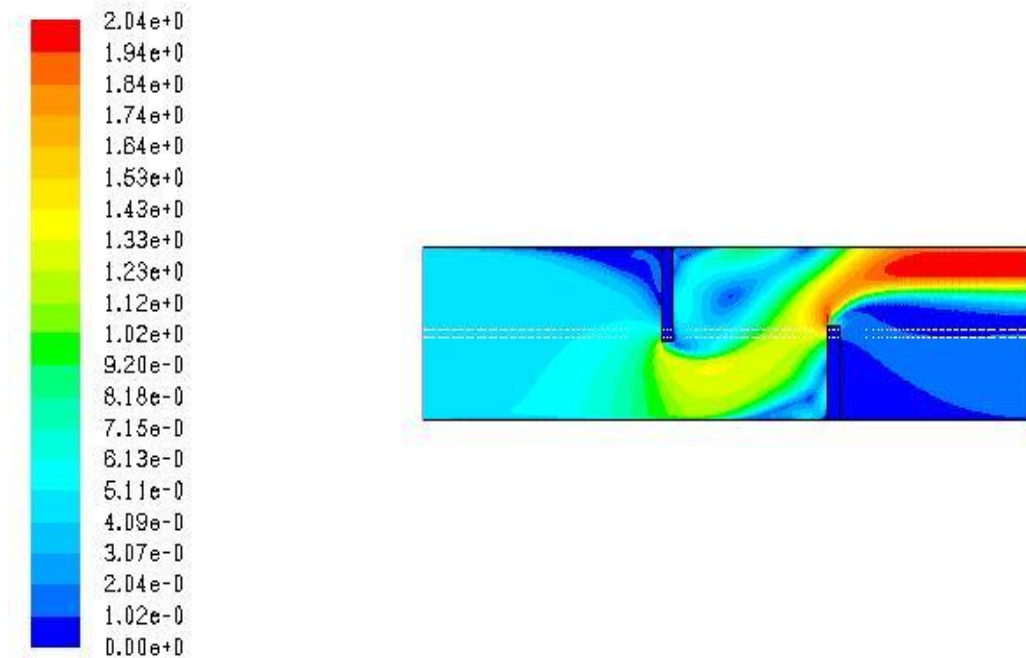


Fig4.1 : Contour de la vitesse axiale

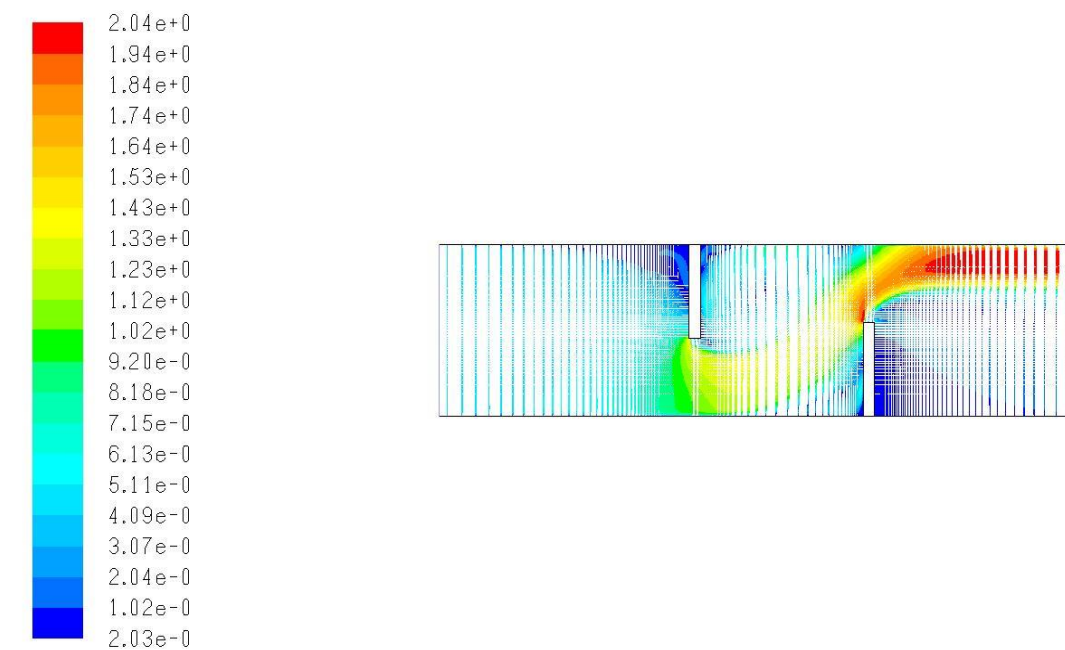


Fig4.2 : Vecteurs de la vitesse

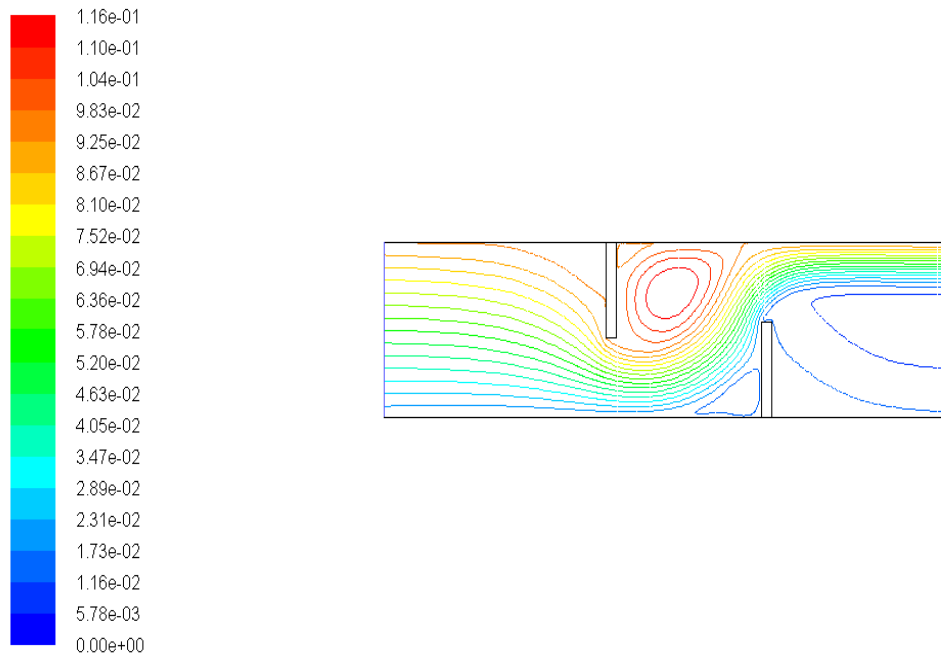


Fig.4.3 : Présentation des lignes de courant dans la conduite

La figure 4.1 montre l'ampleur du contour du champ de vitesse. Les résultats Numériques montrent des valeurs très faibles de la vitesse au voisinage des chicanes.

Dans les régions situées en aval des deux chicanes, des zones de recirculation avec des valeurs de vitesse très faible sont respectées (Fig.4.2).

Dans les régions entre la pointe de la chicane et les parois du canal, la vitesse est augmentée, en raison des modifications dans le sens de l'écoulement produit par les chicanes (Fig.4.3).

Les plus hautes valeurs de la vitesse apparaissent près du haut du Canal avec un processus d'accélération qui commence juste après la seconde chicane (figures 4.1 et 4.2).

4.4.1.2. Profils de la vitesse axiale dans différentes sections du canal :

Sept sections ont été choisies pour l'étude hydrodynamique et thermique, qui sont respectivement $x=0.159m$, $x=0.189m$, $x=0.255m$, $x=0.285m$, $x=0.315m$, $x=0.345m$, et $x=0.525m$, par rapport à l'entrée du canal ($x=0m$).

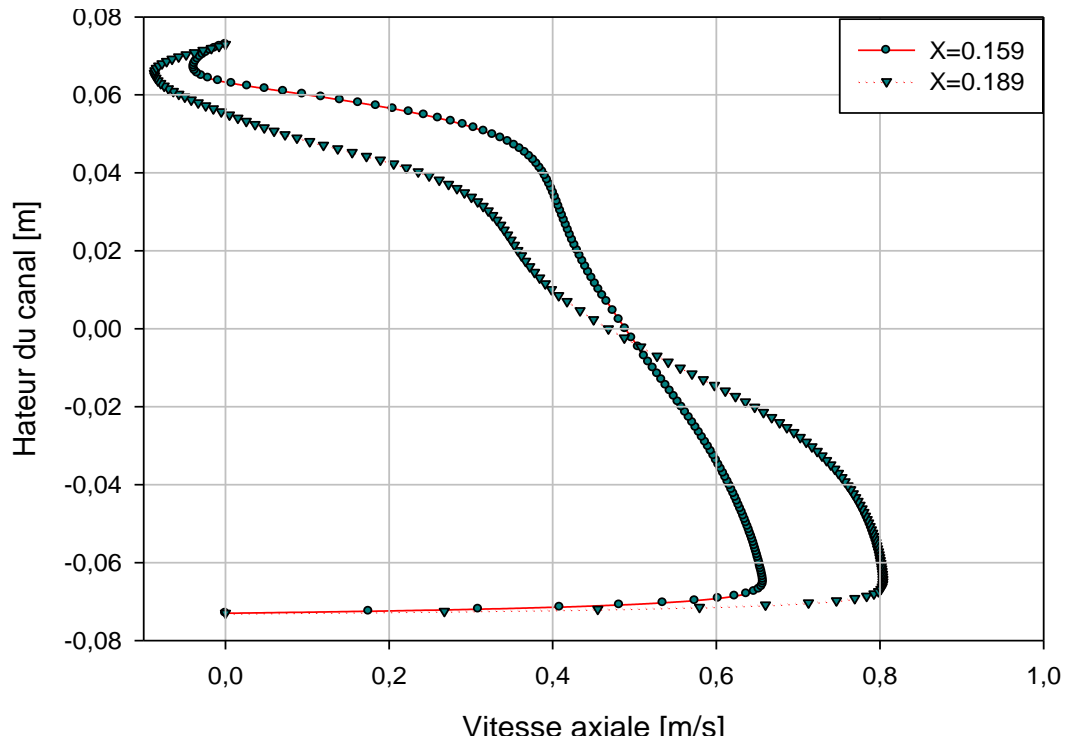


Fig4.4 : Profil de la vitesse axiale en amont de la première ailette(x=0.159m ;x=0.189m)

Pour les sections $x = 0,159\text{m}$ et $x = 0,189\text{m}$ situées en amont de la première ailette, les valeurs de la vitesse axiale sont réduites par rapport à la vitesse d'entrée (vitesse de référence). La déformation de la circulation augmente la vitesse du fluide en s'approchant du passage sous l'ailette (Fig. 4.4).

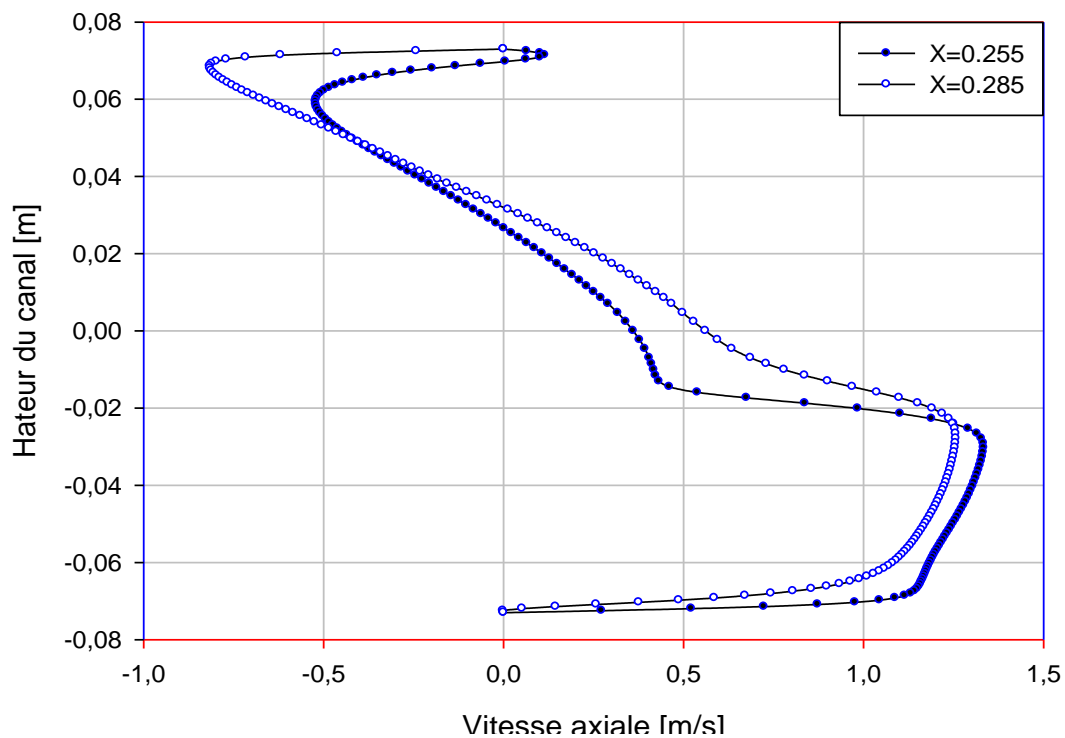


Fig4.5 : Profil de la vitesse axiale en aval de la première ailette(x=0.255m ;x=0.285m)

Entre l'ailette et la chicane, dans les sections $x = 0,255 \text{ m}$ et $x = 0,285 \text{ m}$; situées en aval de la première ailette, le débit du fluide est caractérisé par des vitesses très élevées dans le segment libre , qui approche 300 % de la vitesse d'entrée ; comme indiqué dans la Fig. 4.5.

Dans la partie supérieure du canal, les vitesses négatives indiquent la présence d'une zone de recirculation derrière la première ailette.

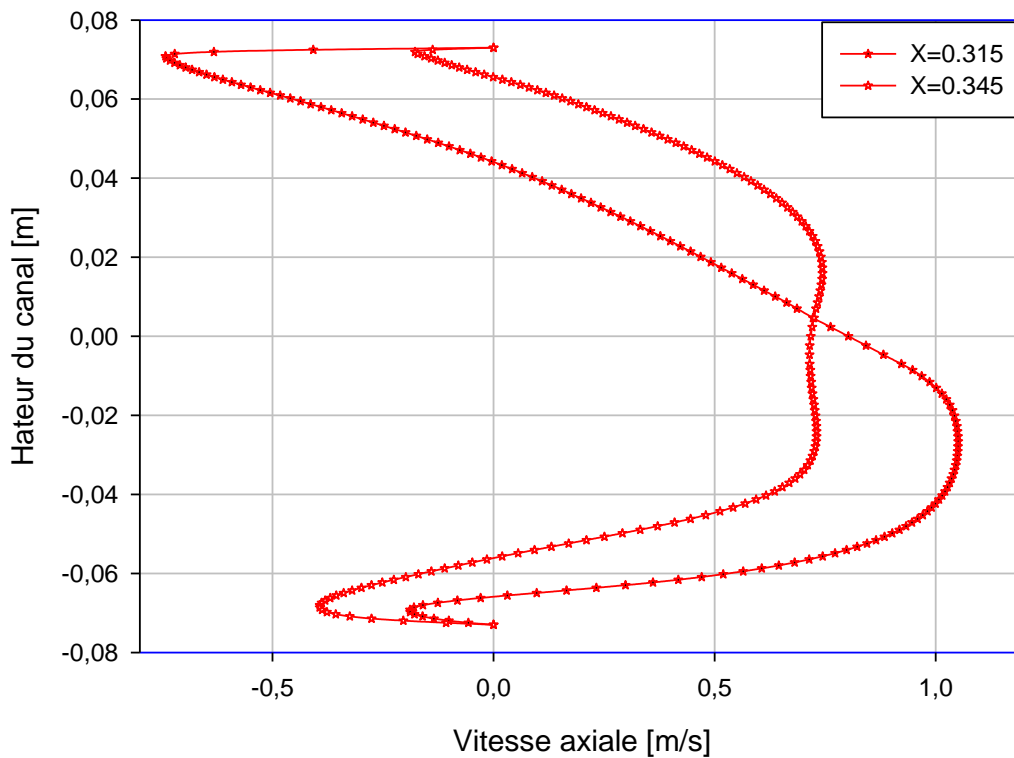


Fig4.6 : Profil de la vitesse axiale en amont de la deuxième chicane ($x=0,315 \text{ m}$; $x=0,345 \text{ m}$)

La Fig. 4.6 montre les profils de la vitesse aux sections $x=0,315 \text{ m}$ et $x=0,345 \text{ m}$ (entre ailette et chicane).

A ces endroits, les résultats montrent que, comme le flux s'approche de la deuxième chicane, la vitesse est réduite dans la partie inférieure de la chicane tandis qu'elle augmente dans la partie supérieure.

Les valeurs négatives observées dans les résultats numériques à partir de l'emplacement $x = 0,315 \text{ m}$ commencent à s'éliminer jusqu'à leur disparition totale à partir de $x = 0,345 \text{ m}$,et le profil de la vitesse est presque nul dans la partie inférieure du canal tandis que dans la partie supérieure le débit commence à s'accélérer au dessus de la seconde ailette(chicane).

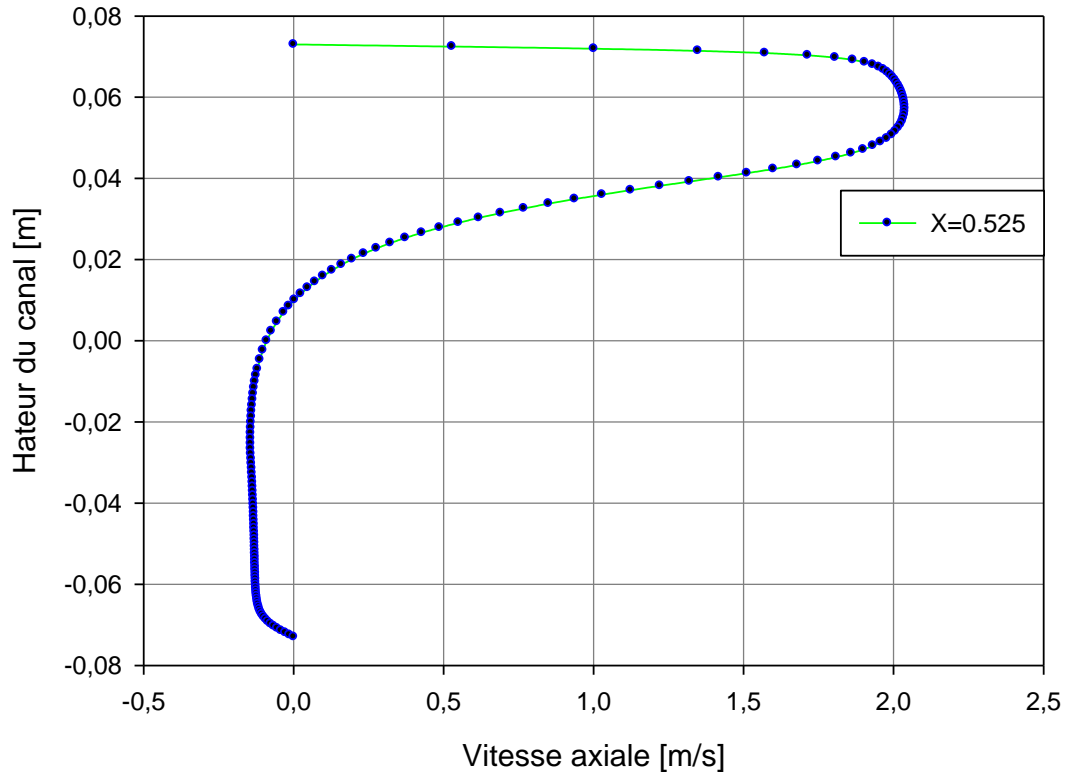


Fig4.7 : Profil de la vitesse axiale près de la sortie du canal($x=0.525$ m)

Un profil de vitesse après la deuxième chicane, à proximité de la sortie du canal, est donné dans la Fig. 4.7.

Lors du passage du fluide dans la position $x=0,525$ m , juste avant la sortie du canal, la valeur de la vitesse atteint environ 2,1 m/s ; soit 4,5 fois plus élevée que la vitesse d'entrée .

Ces valeurs sont seulement possibles en raison de la très forte recirculation vers l'arrière de la deuxième chicane.

4.4.2. L'influence du nombre de Reynolds sur la vitesse axiale :

4.4.2.1. Profils de la vitesse axiale pour différent nombre de Reynolds dans le canal :

L'influence du nombre de Reynolds sur la vitesse axiale dans trois sections différentes du canal(en amont de la 1^{ère} chicane ;entre les chicanes et en aval de la 2^{ème} chicane , est présentée sur les profils suivants :

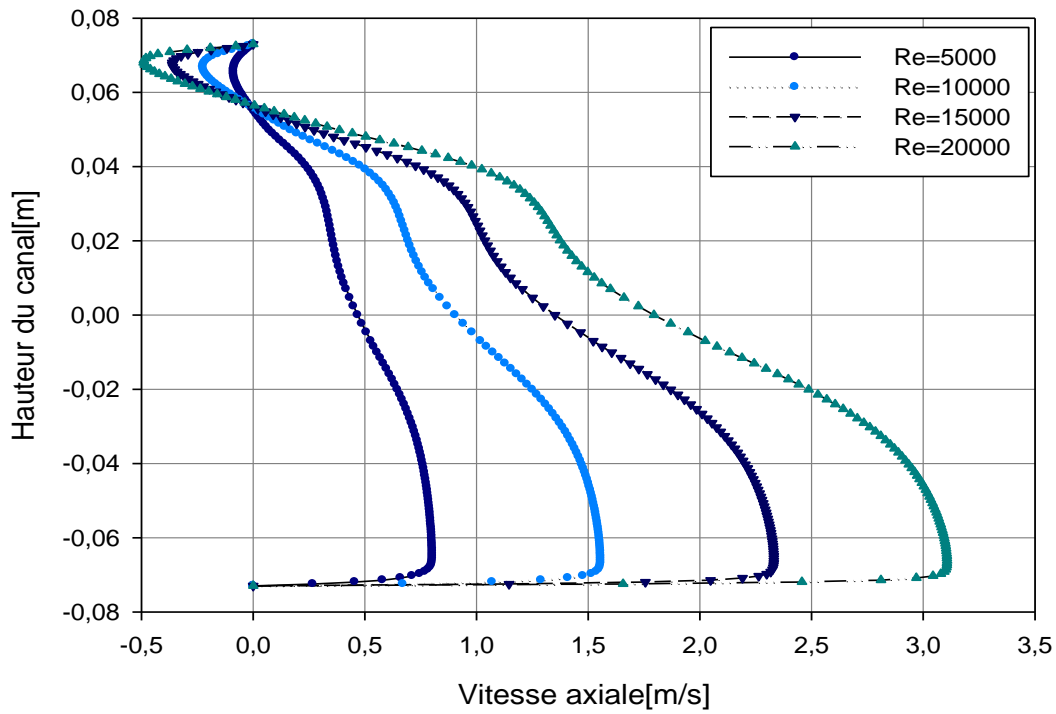
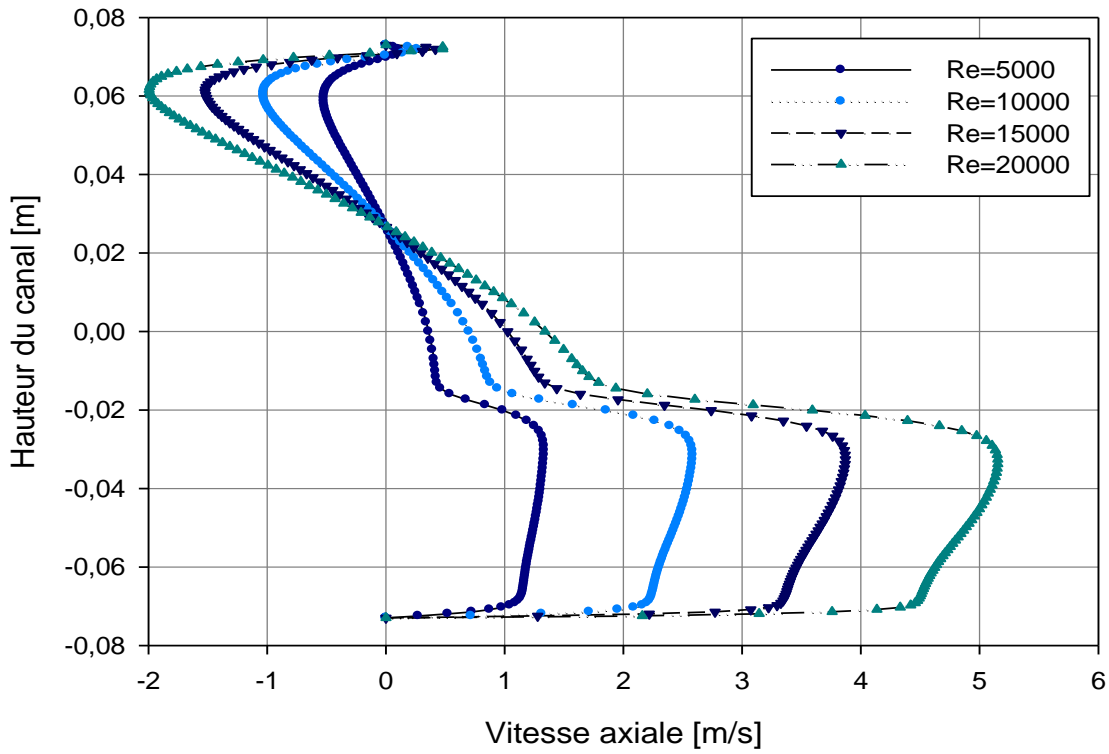


Fig4.8

**: Effet de la variation du nombre de Reynolds sur la vitesse axiale
(x=0.189m)**



**Fig4.9 : Effet de la variation du nombre de Reynolds sur la vitesse axiale
(x=0.255m)**

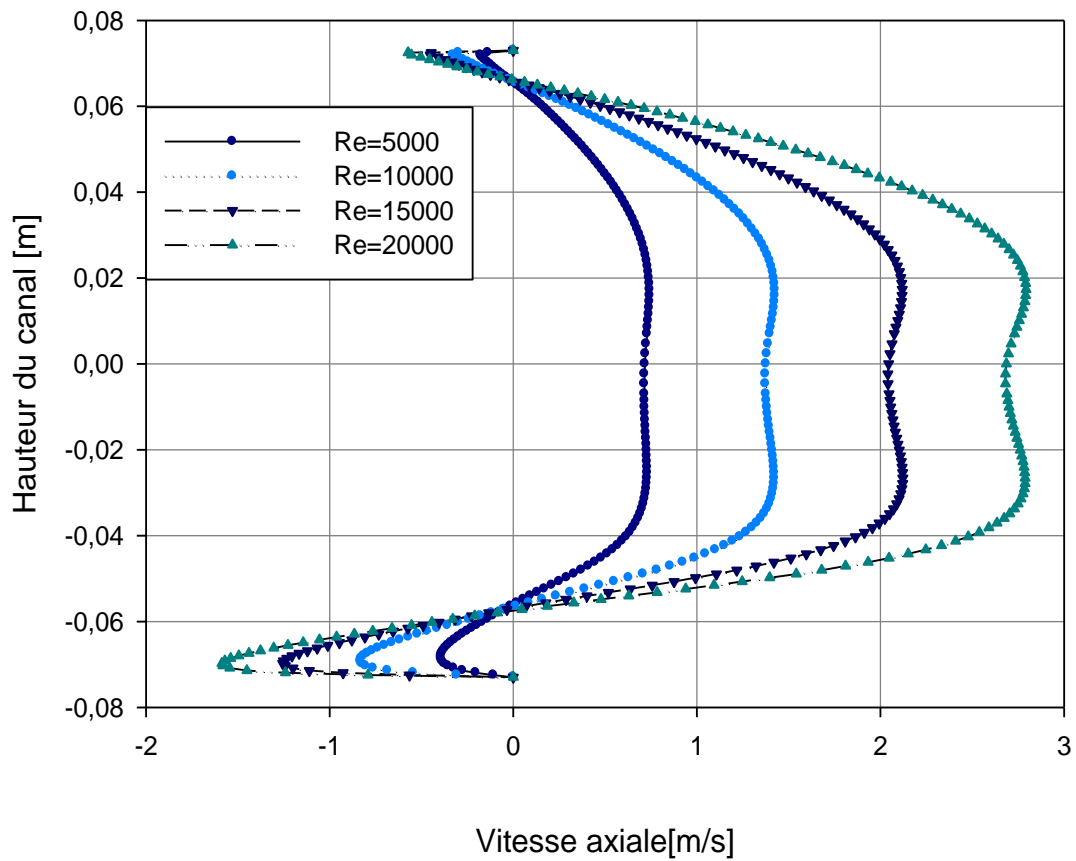


Fig4.10: Effet de la variation du nombre de Reynolds sur la vitesse axiale (x=0.345m)

L'influence du nombre de Reynolds sur la vitesse axiale pour les sections $x=0.189m$; $x=0.255m$ et $x=0.345m$ dans le canal ,est présentée sur les figures 4.8, 4.9 et 4.10.

Pour des valeurs du nombre de Reynolds égales respectivement à 5000,10.000, 15.000 et 20.000 , on constate que l'écoulement du fluide s'accélère dans sa direction de la gauche vers la droite, et la longueur des régions de recyclage est proportionnelle à l'augmentation du nombre de Reynolds (Fig.4.8, Fig4.9 et 4.10).

L'augmentation du nombre de Reynolds entraine alors une accélération de l'écoulement et causera une augmentation de la vitesse de fluide, d'ou la longueur de des régions de recyclage est proportionnelle à l'augmentation du nombre de Reynolds .

4.4.3. Coefficient de friction :

4.4.3.1. Profil du coefficient de friction dans les Parois supérieure et inférieure :

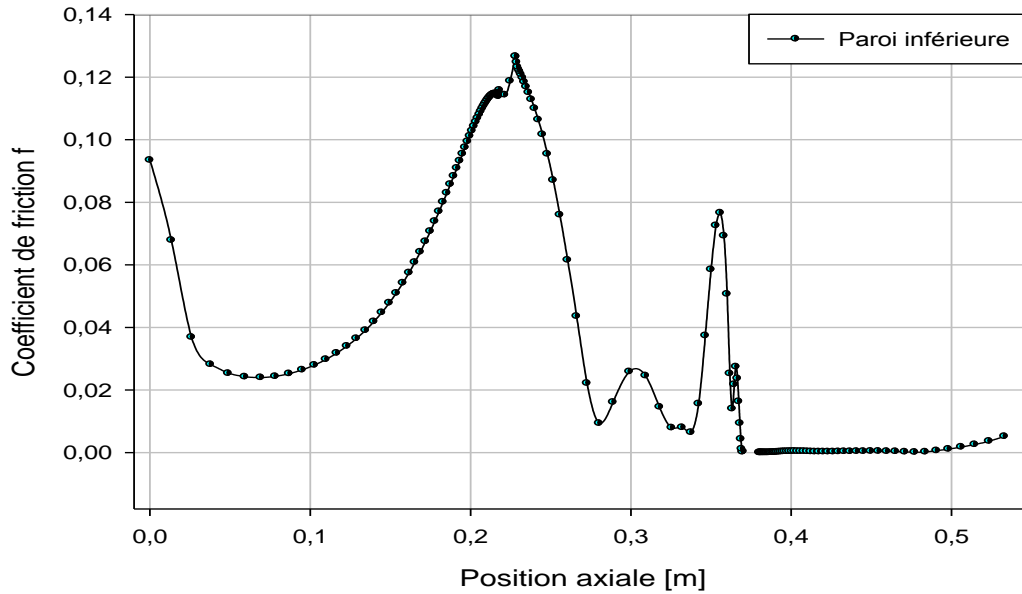


Fig.4.11 : Profil du coefficient de friction (Paroi inférieure)

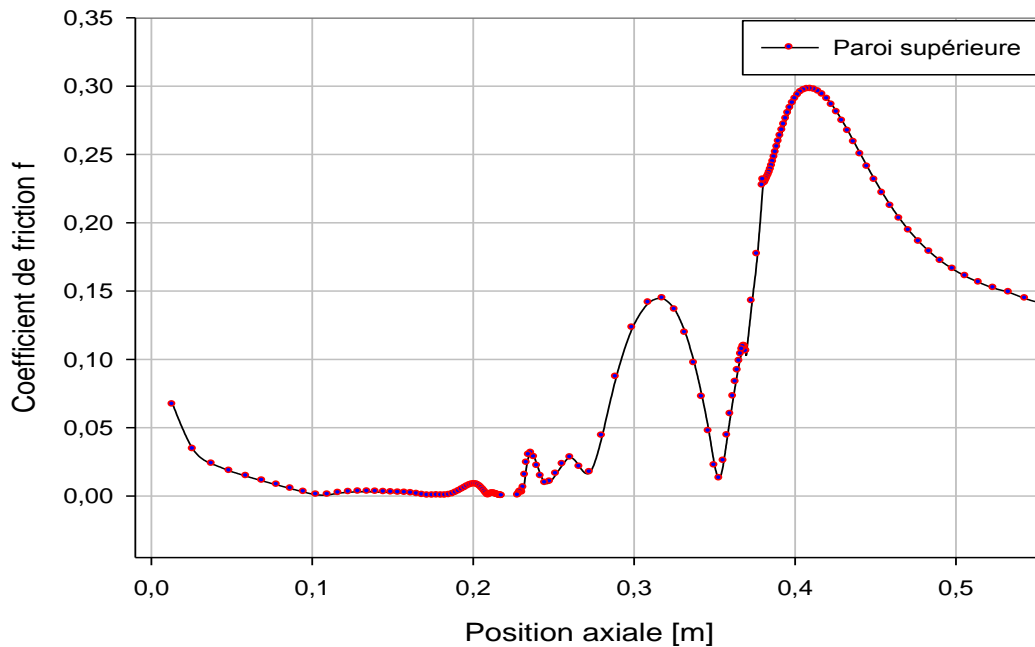


Fig.4.12 : Profil du coefficient de friction (Paroi supérieure)

Le coefficient de friction atteint son maximum pour une position axiale située entre 0,2 et 0,3 m à cause de l'existence de surfaces étendues de la chicane et de la paroi inférieure. Il en est de même pour la paroi supérieure, pour une position axiale entre 0,4m et 0,5 m à cause de l'existence de la paroi solide supérieure et de l'ailette.

4.4.3.2. L'influence du nombre de Reynolds sur le coefficient de friction :

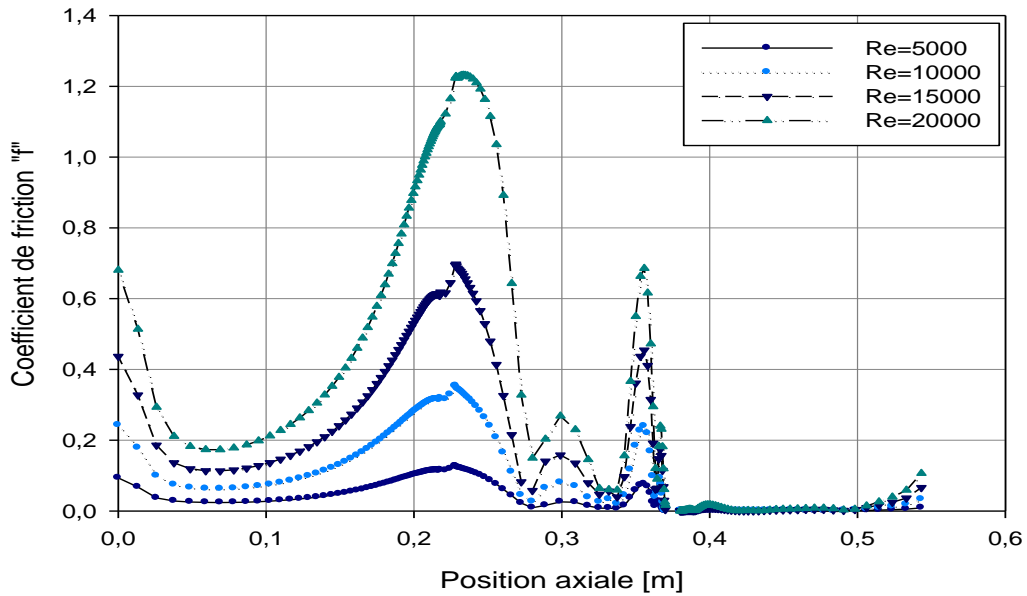


Fig4.13: Effet de la variation du nombre de Reynolds sur le coefficient de friction (Mur Bas)

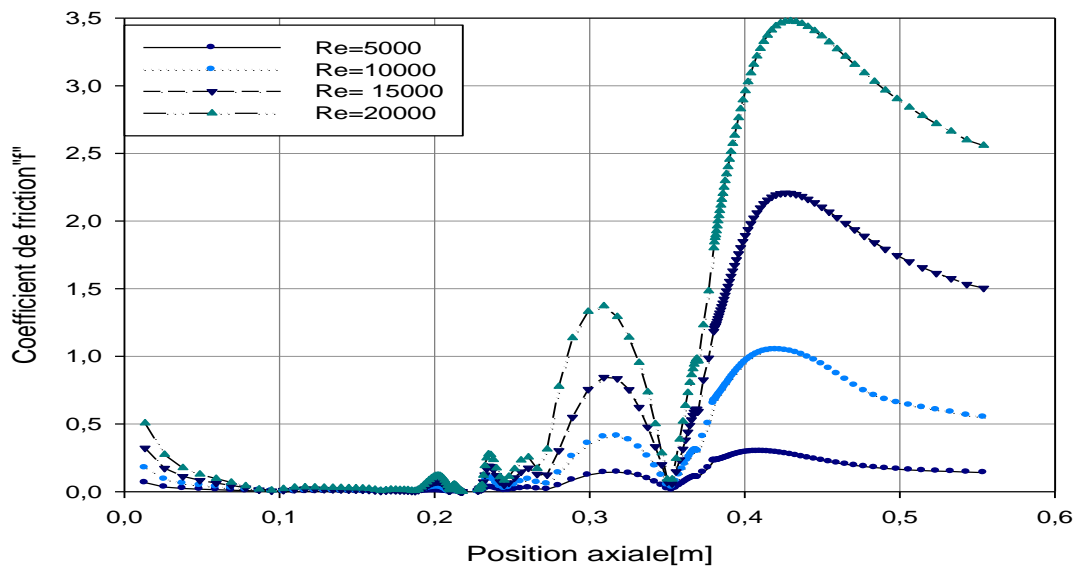


Fig4.14: Effet de la variation du nombre de Reynolds sur le coefficient de friction (Mur Haut)

Sur les Fig. 4.13 et 4.14 , sont représentées les évolutions du coefficient de friction pour différentes valeurs du nombre de Reynolds.

Il existe une proportionnalité entre l'augmentation du coefficient de friction et l'élévation du nombre de Reynolds.

4.5. Aspect thermique:

4.5.1. Etude thermique correspond à une vitesse d'entrée égale à 7.8m/s et une hauteur d'ailette (e) égale à 0.080m :

4.5.1.1. Présentation du contour de la température totale :

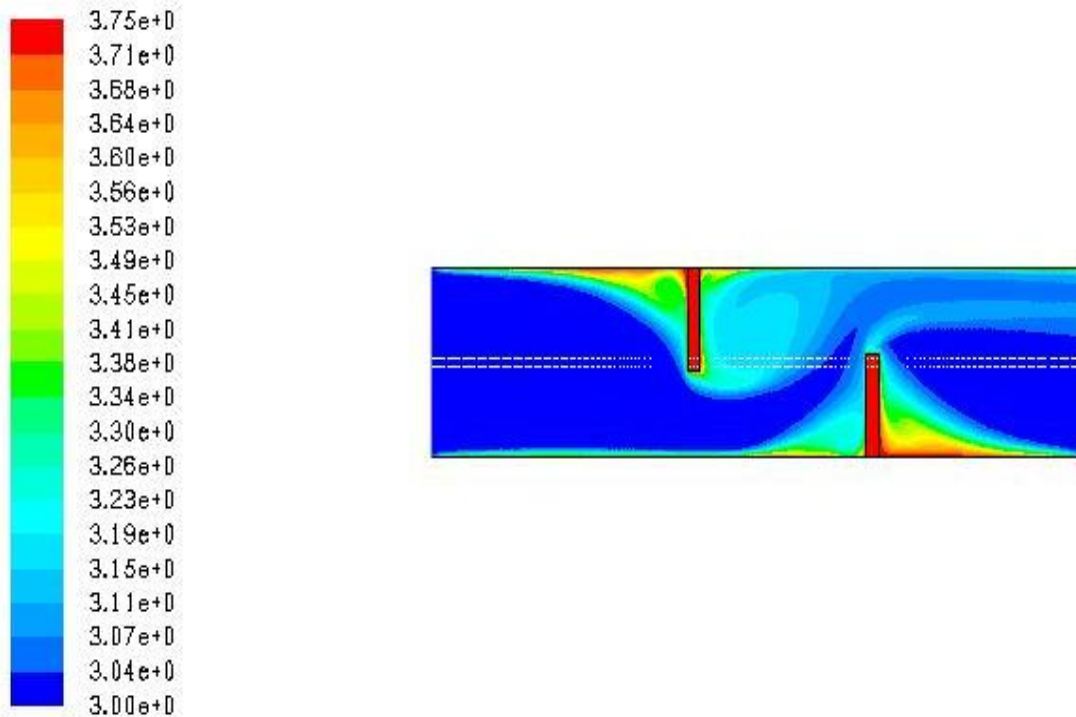


Fig4.15 : Distribution du champ de la température dans le canal.

L'analyse des isothermes, Figure 4.15, montre que la température de l'air dans les zones de recirculation (après chaque ailette et chicane) est sensiblement élevée.

Une baisse température dans les zones situées en amont de chaque ailette et chicane est observée.

Les zones les plus chaudes sont, pour la plupart, localisées au voisinage des parois et aux extrémités des ailettes et des chicanes.

On observe aussi que pour ces sections proches de l' ailette et de la chicane (qui sont les mieux chauffées que les sections verticales éloignées), se fera un très bon transfert thermique entre les parois solides et le fluide caloporteur .

4.5.1.2. : Profils de la température totale dans les sections du canal :

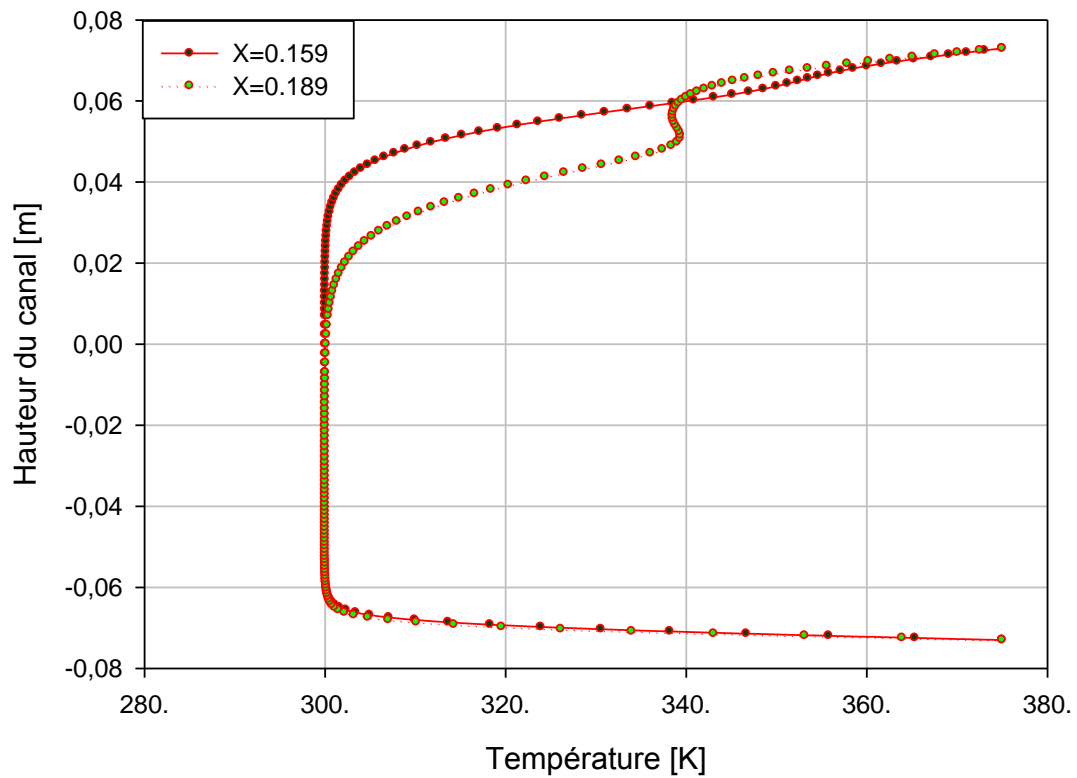


Fig.4.16: Profil de la température totale (position $x=0.159$ et $x=0.189$)

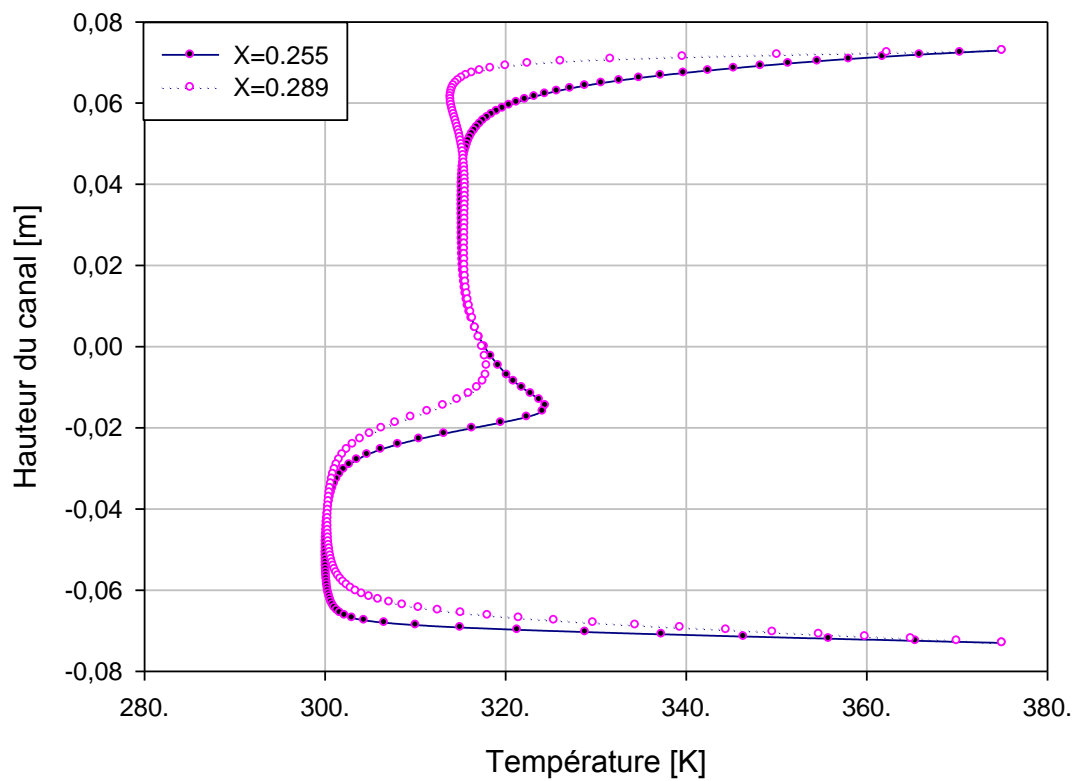


Fig.4.17 : Profil de la température totale (position $x=0.255$ et $x=0.289$)

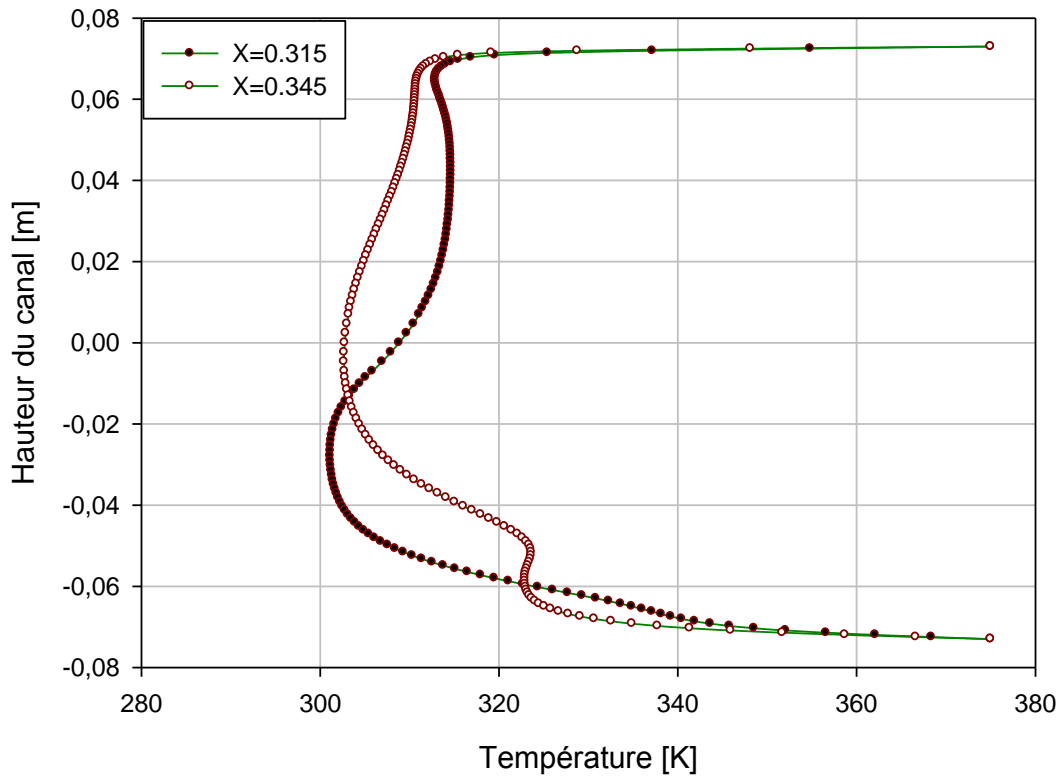


Fig.4.18: Profil de la température totale (position $x=0.315$ et $x=0.345$)

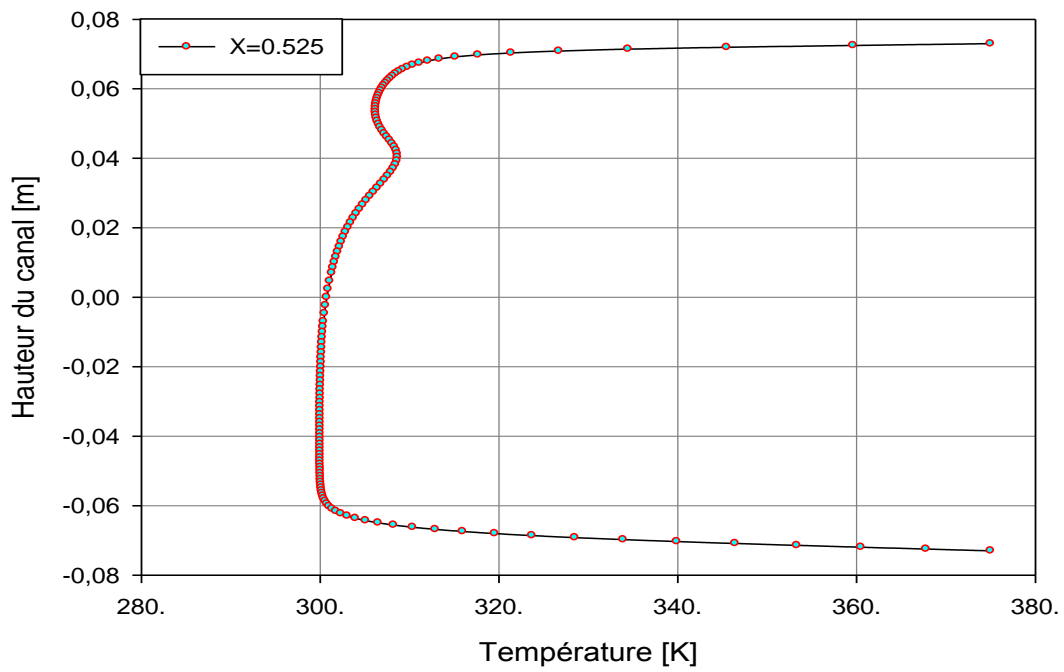


Fig.4.19 : Profil de la température totale (position $x=0.525$)

D'après l'analyse des allures des graphes de la température totale (Fig. 4.16,4.17,4.18 et Fig.4.19) et ceux de la vitesse axiale (Fig.4.4, Fig.4.5, Fig.4.6 et Fig. 4.7) pour différentes sections, on remarque que la température est liée à la vitesse, i.e plus la vitesse augmente, plus la température diminue.

Autrement dit qu'il y a une proportionnalité inverse entre la vitesse axiale de l'air et sa température dans chaque section transversale.

On observe aussi que les sections les plus proches de l'ailette et de la chicane sont les mieux chauffées que les sections verticales éloignées.

Cette observation est encore confirmée pour la distribution du champ de température dans le canal (Fig. 4.15 Contour de la température).

4.5.2. L'influence du nombre de Reynolds sur la température totale:

4.5.2.1. Profils de la température totale pour différent nombre de Reynolds dans le canal :

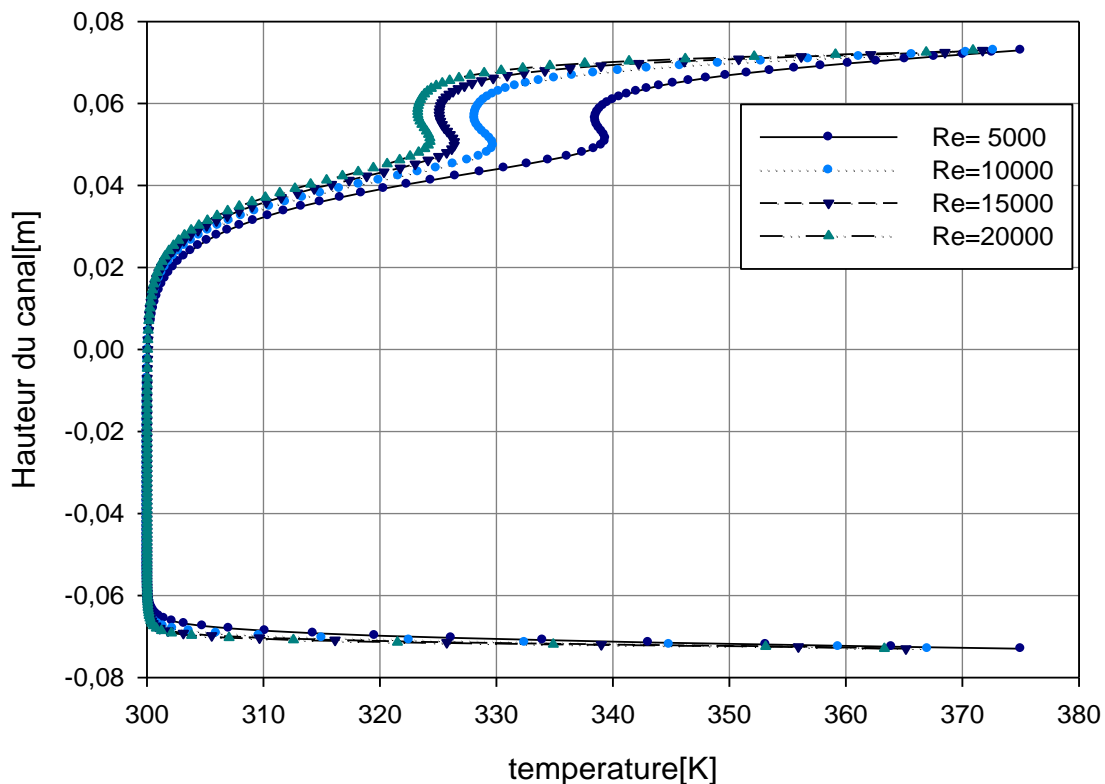


Fig4.20 : Effet de la variation du nombre de Reynolds sur la température (x=0.189m)

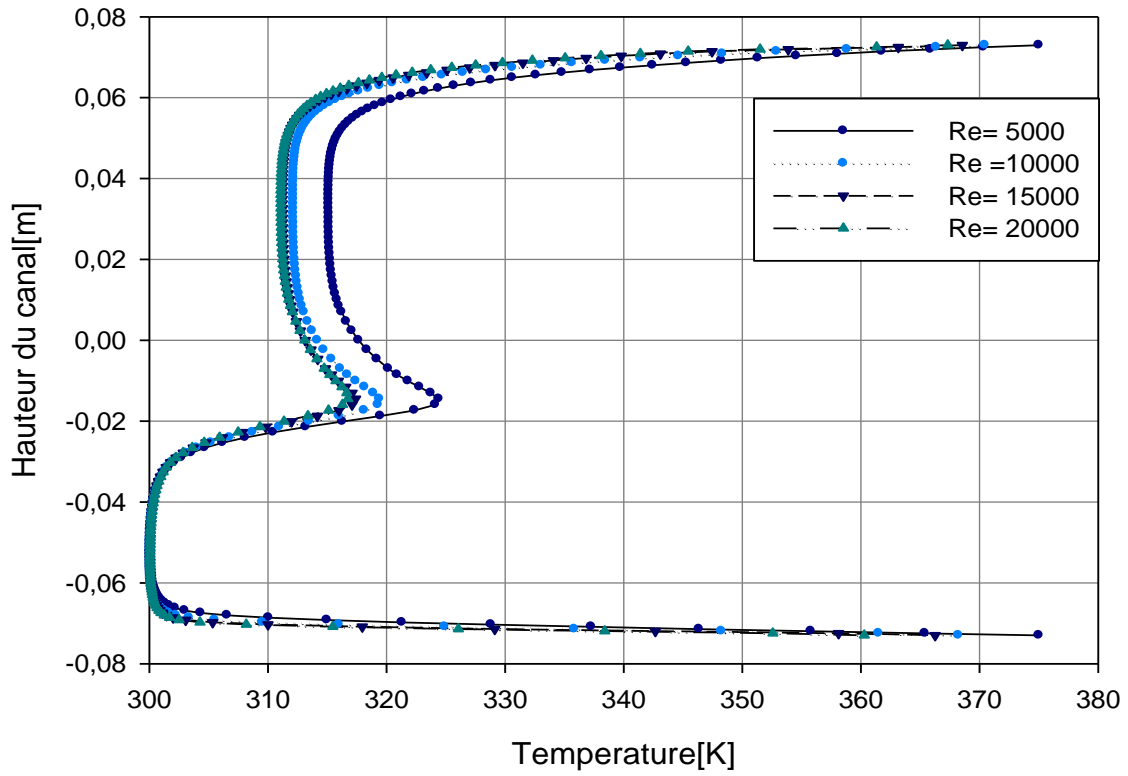


Fig4.21 : Effet de la variation du nombre de Reynolds sur la température (x=0.255m)

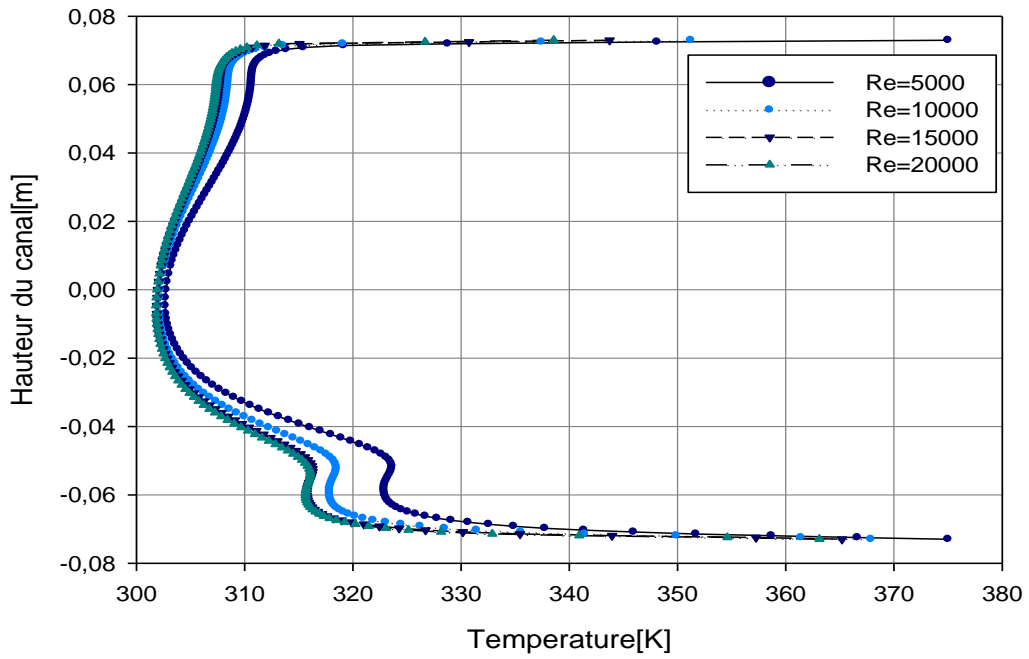


Fig4.22 : Effet de la variation du nombre de Reynolds sur la température (x=0.345m)

Les représentations graphiques de la variation de la température totale pour des différents nombres de Reynolds le long du canal ainsi que les températures des parois inférieure et supérieure, sont montrées sur les graphes(Fig.4.20, Fig.4.21 et Fig. 4.22) pour trois sections transversales ($x = 0,189 \text{ m}$, $x = 0,255 \text{ m}$ et $x = 0,345 \text{ m}$).

Ces résultats ne peuvent que nous certifier que l'échange de chaleur entre le fluide et les parois, pour notre étude, est plus important avec la diminution du nombre de Reynolds.

Il est clair que pour des nombres de Reynolds élevés, les températures diminueront..

Il existe alors une proportionnalité inverse entre l'augmentation du nombre de Reynolds avec la température totale dans chaque section transversale.

4.5.3. Nombre de Nusselt Local :

4.5.3.1. Profils du nombre de Nusselt Local dans les Parois supérieure et inférieure :

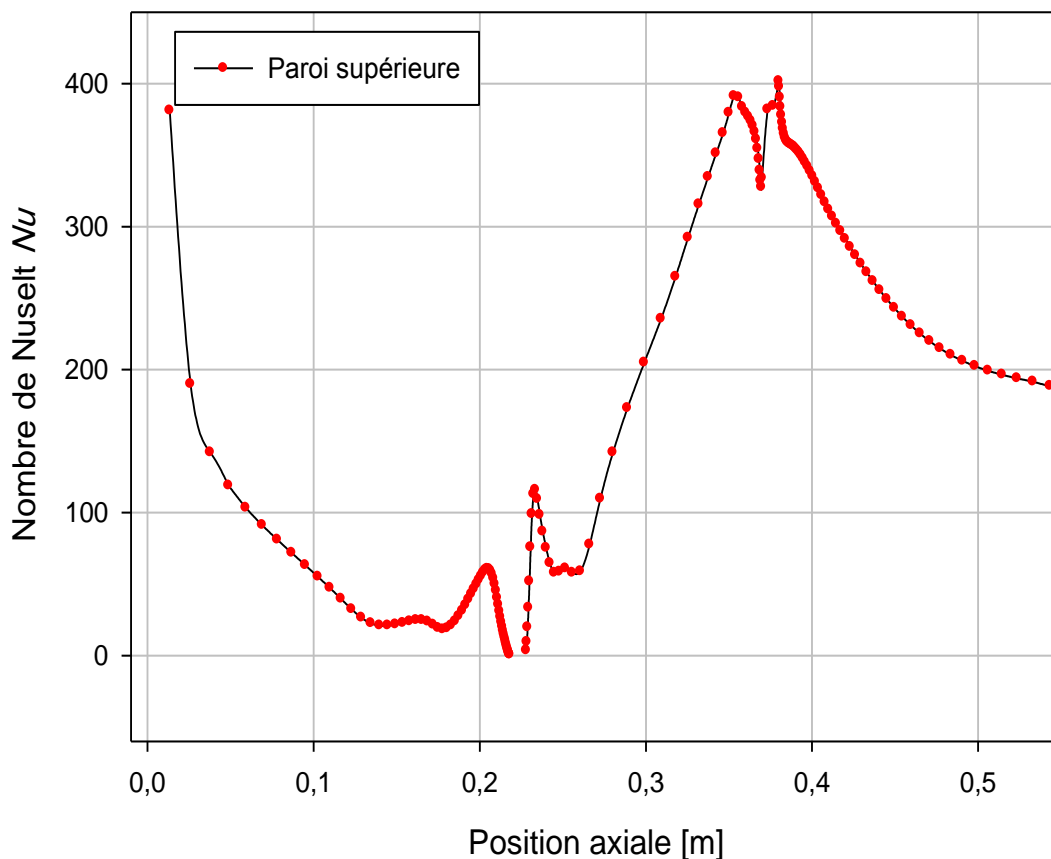


Fig.4.23 : Profil du nombre de Nusselt local (paroi supérieure)

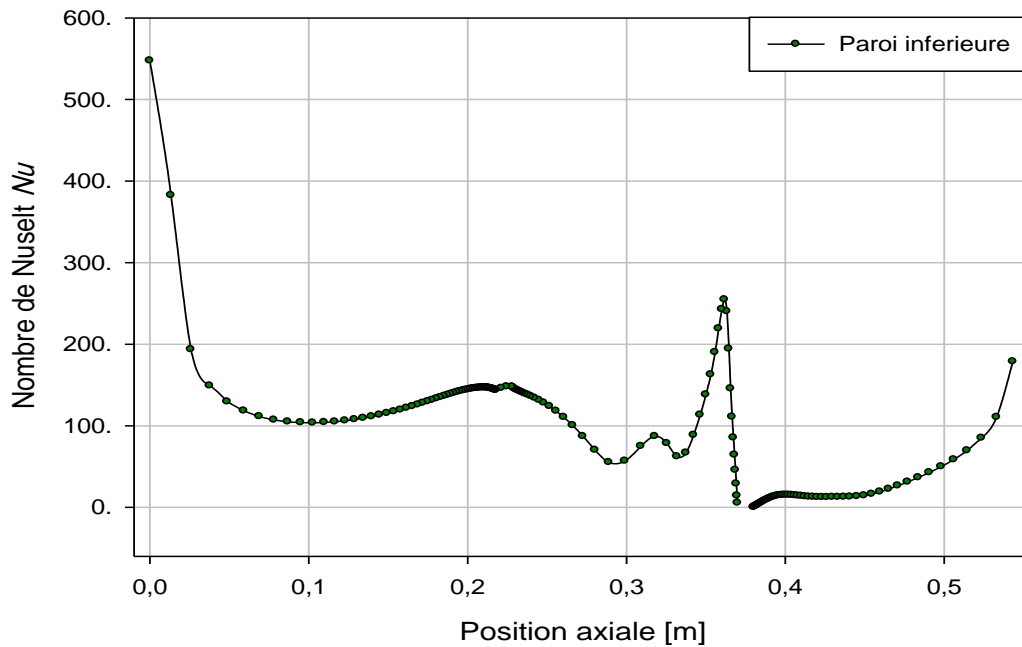


Fig.4.24 : Profil du nombre de Nusselt local (paroi inférieure)

Les Fig. 4.23 et Fig. 4.24 Présentent respectivement l'évolution du nombre de Nusselt local pour les parois Supérieure et inférieure, on constate que les minimums du taux de transfert sont observés au niveau de la base des chicanes et que le nombre de Nusselt augmente le long de la chicane est atteint son maximum sur sa face supérieure.

4.5.3.2. L'influence du nombre de Reynolds sur le nombre de Nusselt local:

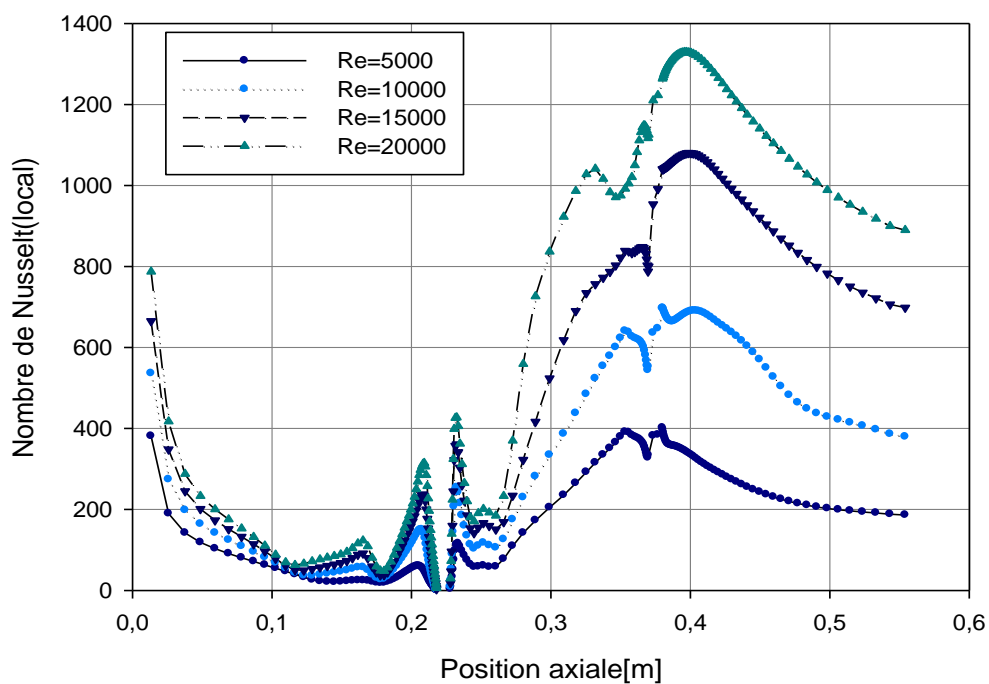


Fig4.25: Effet de la variation du nombre de Reynolds sur le nombre de Nusselt local (Mur Haut)

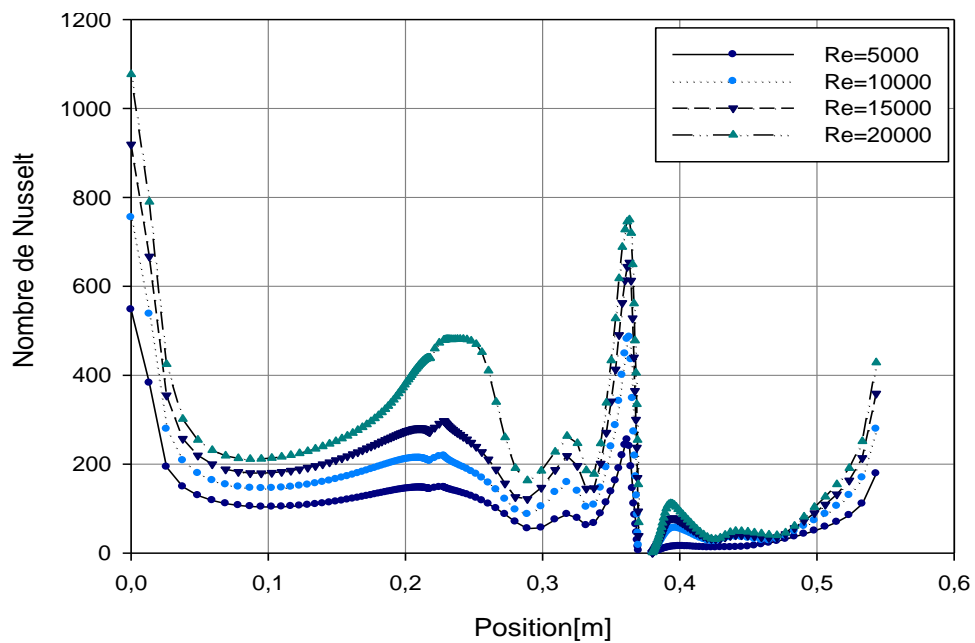


Fig4.26: Effet de la variation du nombre de Reynolds sur le nombre de Nusselt local (Mur Bas)

Les Fig. 4.25 et Fig. 4.26 représentent l'évolution du nombre de Nusselt local pour les parois supérieure et inférieure en fonction de la variation du nombre de Reynolds. Il est clair que l'augmentation de Reynolds augmente considérablement le taux de transfert de chaleur dans les parois supérieure et inférieure, en introduisant une grande zone de recyclage.

L'augmentation du nombre de Reynolds entraîne l'augmentation du nombre de Nusselt à cause de l'augmentation de la vitesse de l'écoulement.

4.5.4. Nombre de Nusselt moyen :

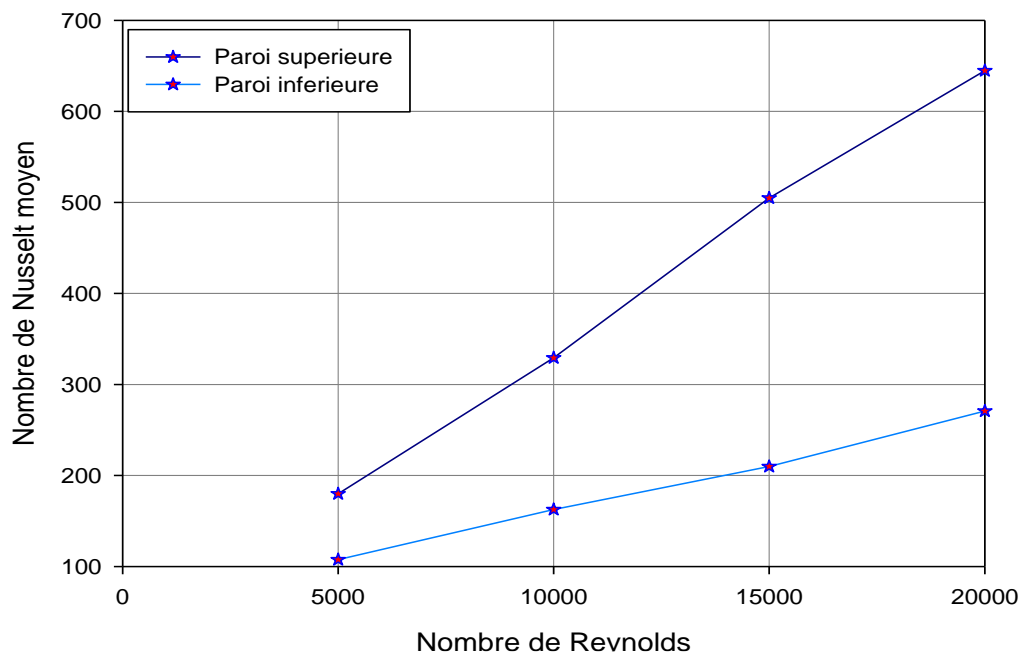


Fig4.27: Variation du nombre de Nusselt moyen en fonction du nombre de Reynolds (Parois supérieure et inférieure)

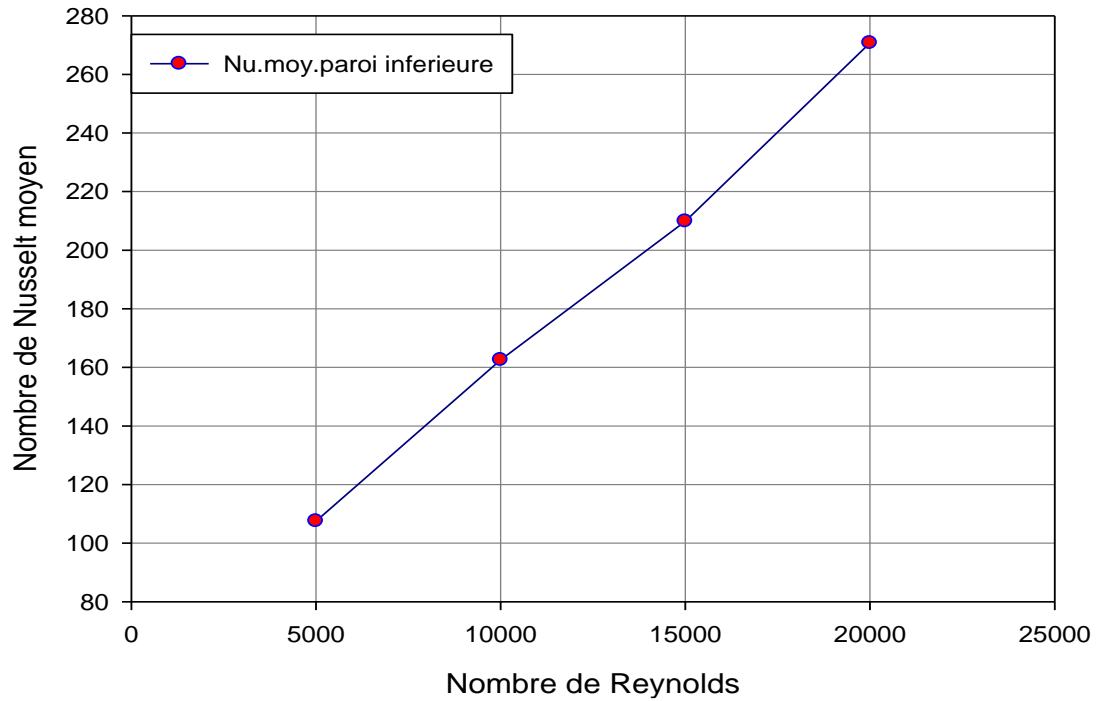


Fig4.28:Variation du nombre de Nusselt moyen en fonction du nombre de Reynolds (Paroi inferieure)

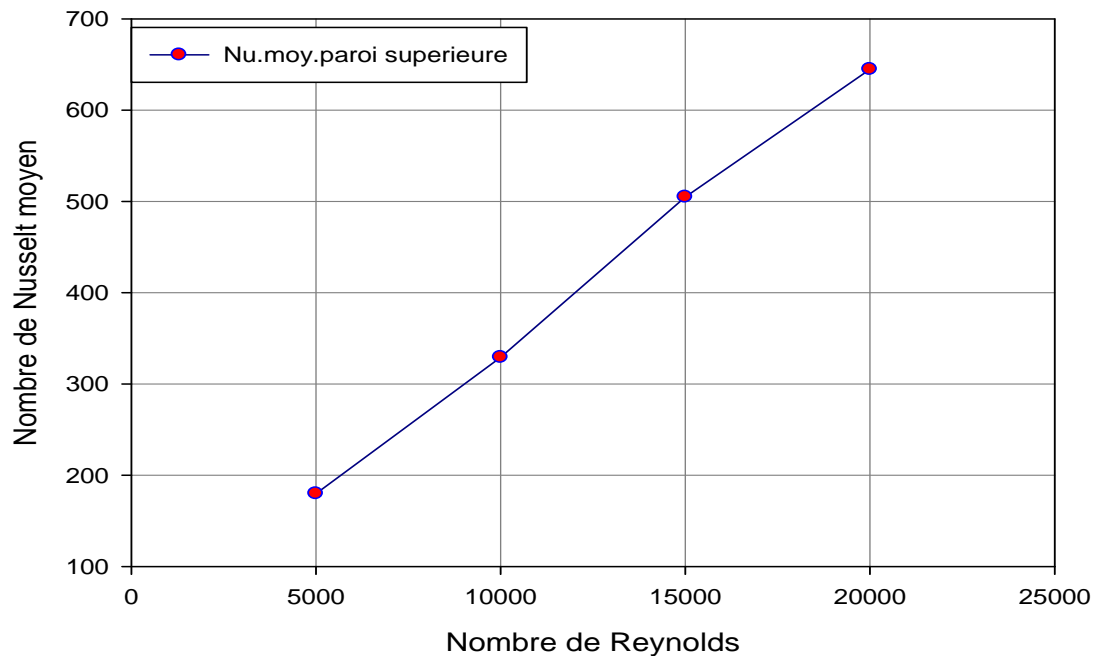


Fig 4.29:Variation du nombre de Nusselt moyen en fonction du nombre de Reynolds (paroi superieure)

Sur les Fig. 4.28 et Fig. 4.29(groupées dans Fig. 4.27)sont portées respectivement les évolutions du nombre du Nusselt moyen, pour la paroi supérieure et la paroi inférieure pour des nombres de Reynolds variables, on constate qu'il ya une proportionnalité entre l'augmentation du nombre de Nusselt moyen et l'élévation du nombre de Reynolds, le taux de transfert atteint son maximum sur la paroi supérieure.