4.1 Introduction

Les simulation sous Fluent ont été réalisées dans le cas d'un régime laminaire , et le solutionneur implicite de coupage , pour un écoulement en 3-D, entièrement stationnaire (pic systolique). Deux cas de fluides ont été considérés pour les différents type de bifurcations :

fluide Newtonien de viscosité constante ($\mu = 3.4 \times 10^{-3} Pa.s$) et fluide non-Newtonien dont la viscosité est décrite par un modèle pseudo-plastique, c'est le modèle de Carreau [17].

4.2 Analyse des résultats

Les figures (4.1-4.4) représente l'évolution de la composante axiale u_z du vecteur vitesse dans le plan $(y = 0)$ pour les quatre types de bifurcations . On remarque que la composante axiale de vitesse (vitesse suivant la direction d'écoulement) représente une augmentation de la vitesse de l'écoulement au niveau du diminution de la section de passage de l'écoulement par contre la vitesse d'écoulement au passage branche fille une diminution de vitesse a cause de la perte sont énergie, avec une recirculation du fluide sanguin dans la branche fille (valeur négatives de la vitesse).

On a conclus que la zone de la survitesse localisée au voisinage de la paroi intérieur de la bifurcation apparait tandis qu'une zone de faible vitesse se situe à proximité de la paroi extérieure . L'influence de l'angle α de la bifurcation est mise en évidence dans une circonscrite tout autour de l'apex .

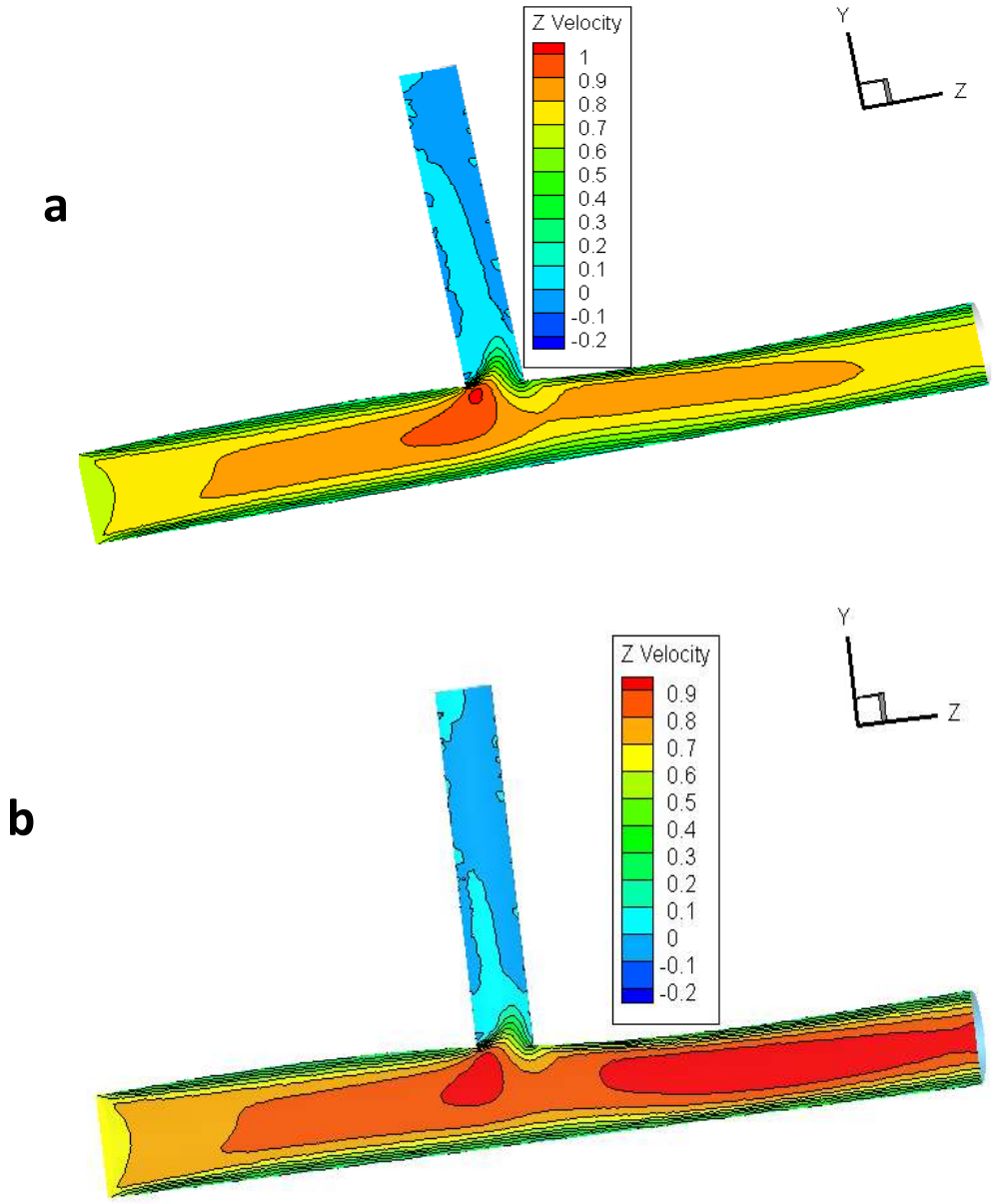


Figure (4.1) : Contours de vitesse axiale u_z (Plan x=0) pour le type **(T90°)**

(a) Fluide non-Newtonien ; (b) Fluide Newtonien

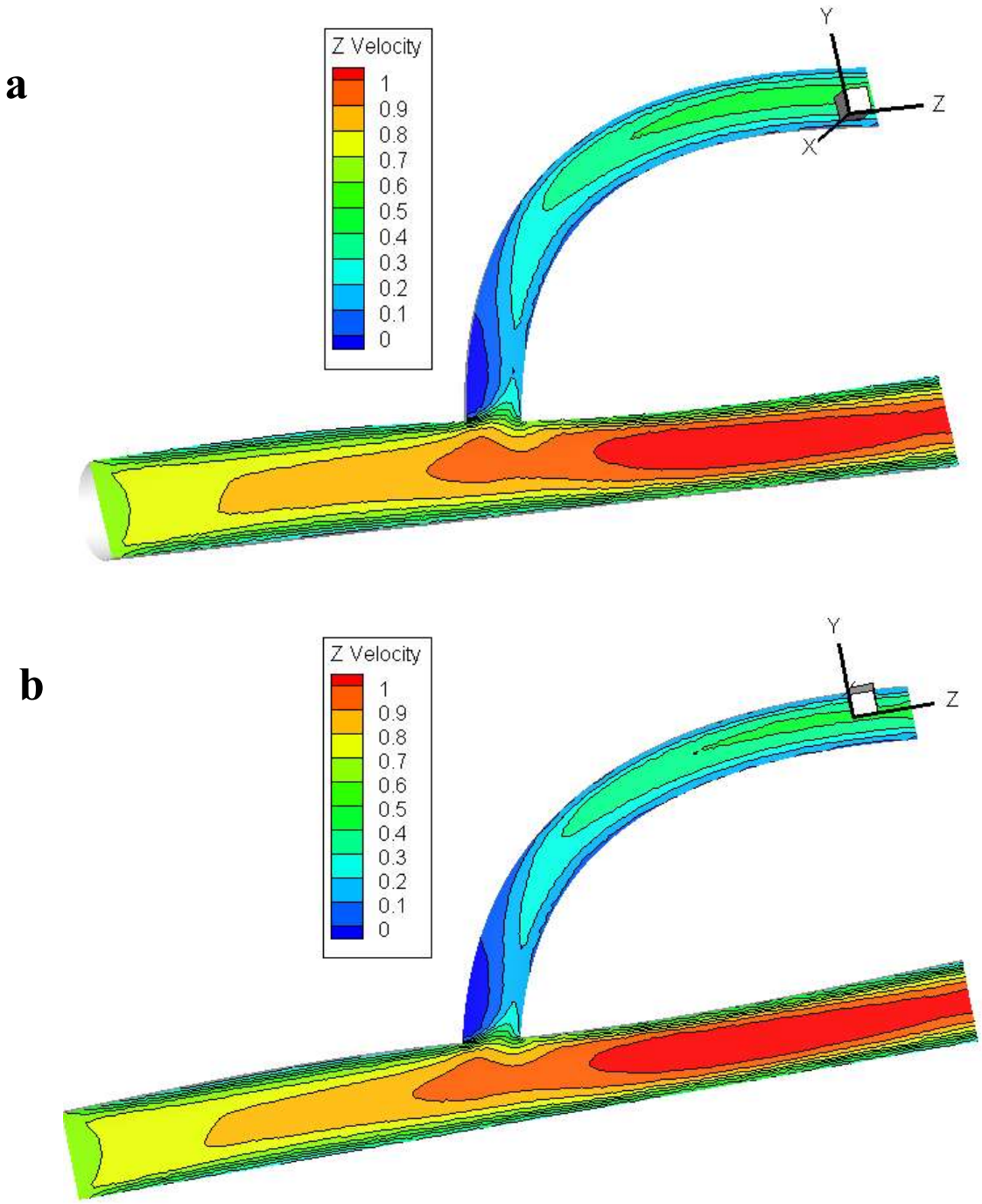


Figure (4.1) : Contours de vitesse axiale u_z (Plan x=0) pour le type **(Y60°)**

(a) Fluide non-Newtonien ; (b) Fluide Newtonien

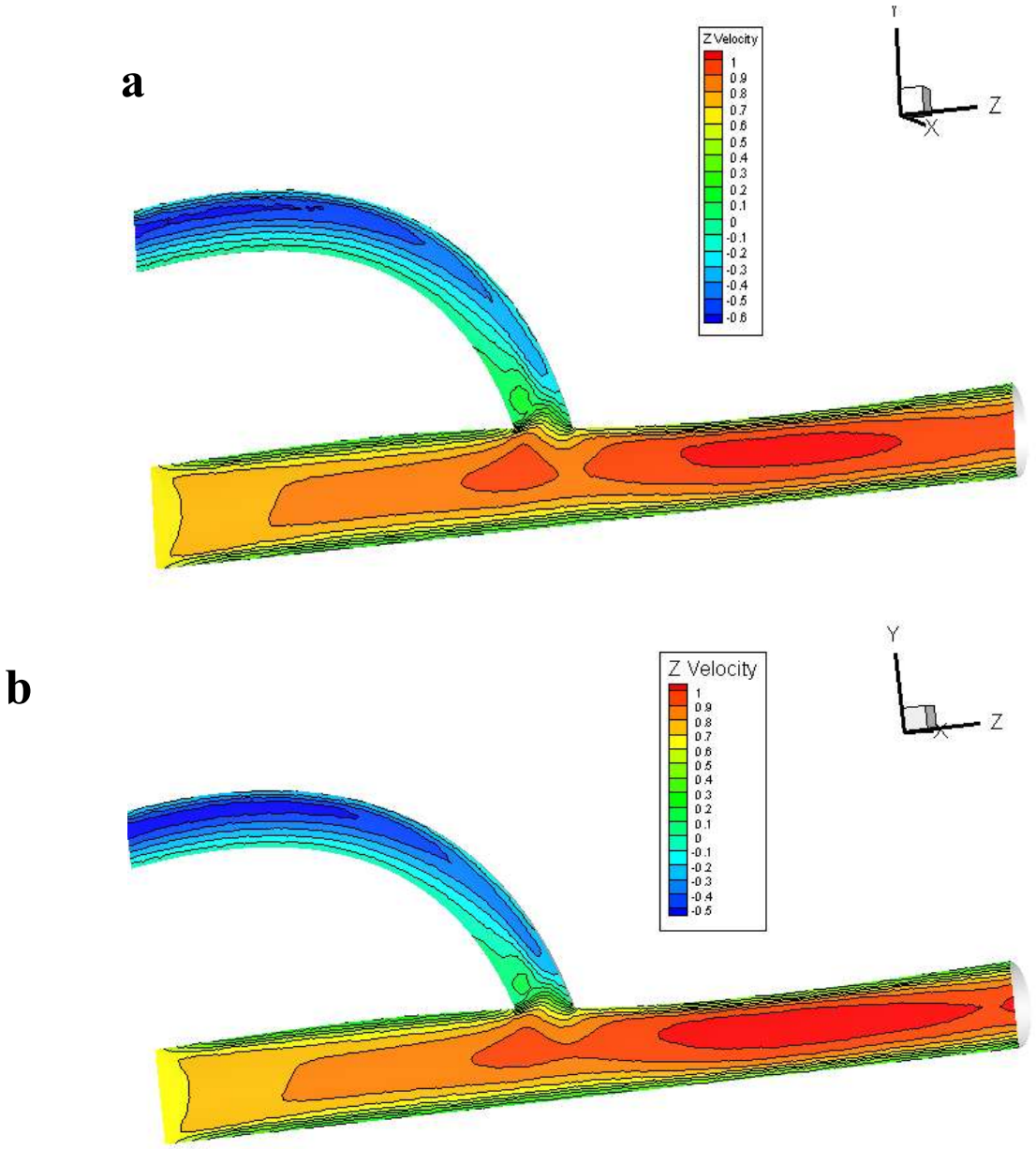


Figure (4.3) : Contours de la vitesse axiale u_z $(x = 0)$ pour le type $(Y120°)$

(a) Fluide non-Newtonien ; (b) Fluide Newtonien

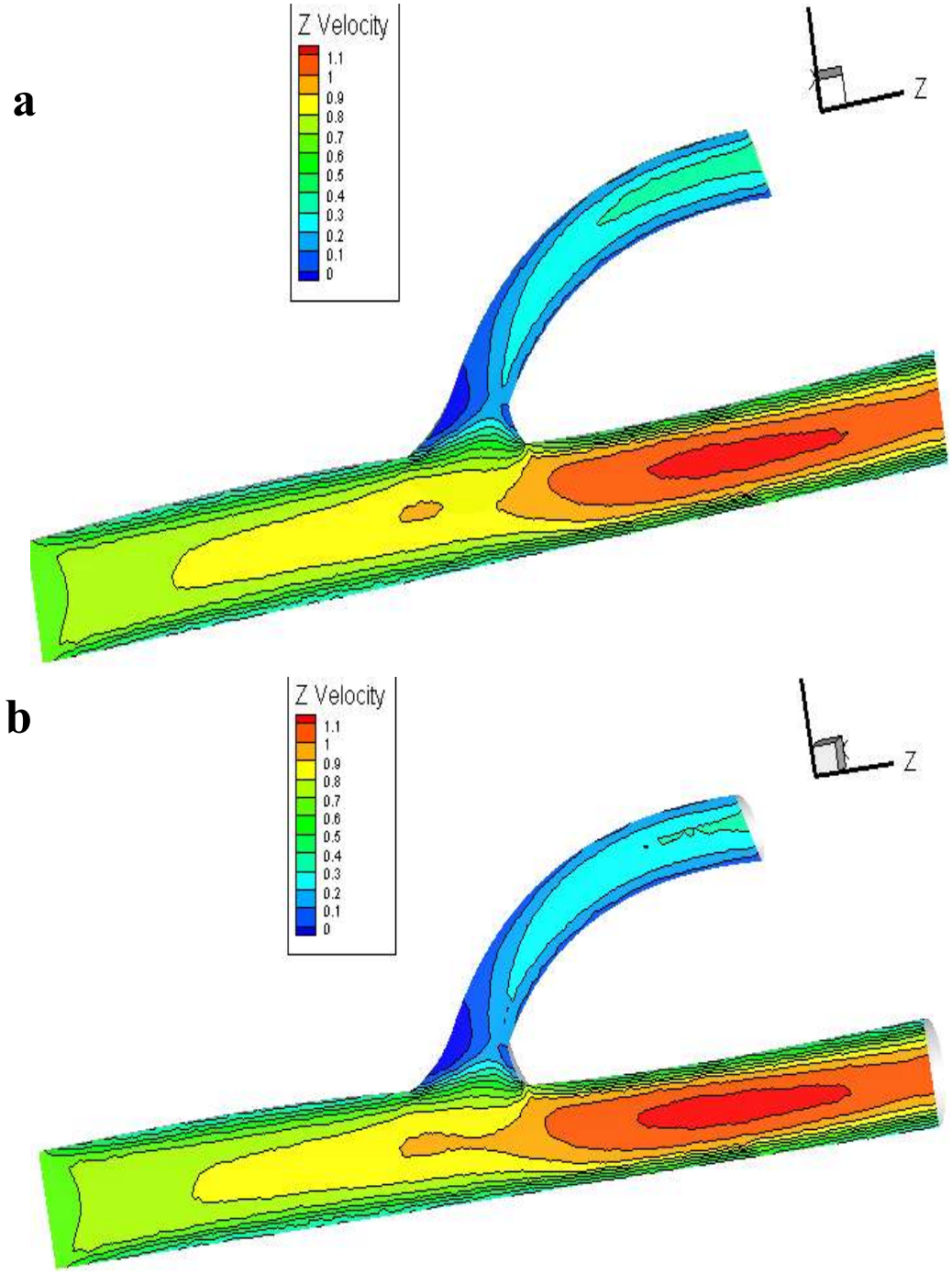


Figure (4.4) : Contours de la vitesse axial u_z (Plan $x = 0$) pour le type **(arc Y45°)**

(a) Fluide non-Newtonien ; Fluide Newtonien

Sur les figures (4.5-4.8) sont représentées les lignes de courant pour les quatre modèles de bifurcation artérielles dans les deux de fluides Newtonien et non-Newtonien. On remarque que le phénomène de recirculation du sang est observé pour l'ensemble des bifurcations , mais il est important dans le cas Newtonien que dans le cas non-Newtonien ; ce qui nous permettre de dire c'est impossible de considérer le sang comme fluide Newtonien .

D'après ces figures on remarque que les bifurcation on (Y 45°) sont caractérisées par un faible phénomène de recirculation (moins de problèmes atherogenese) par rapport aux autres modèles.

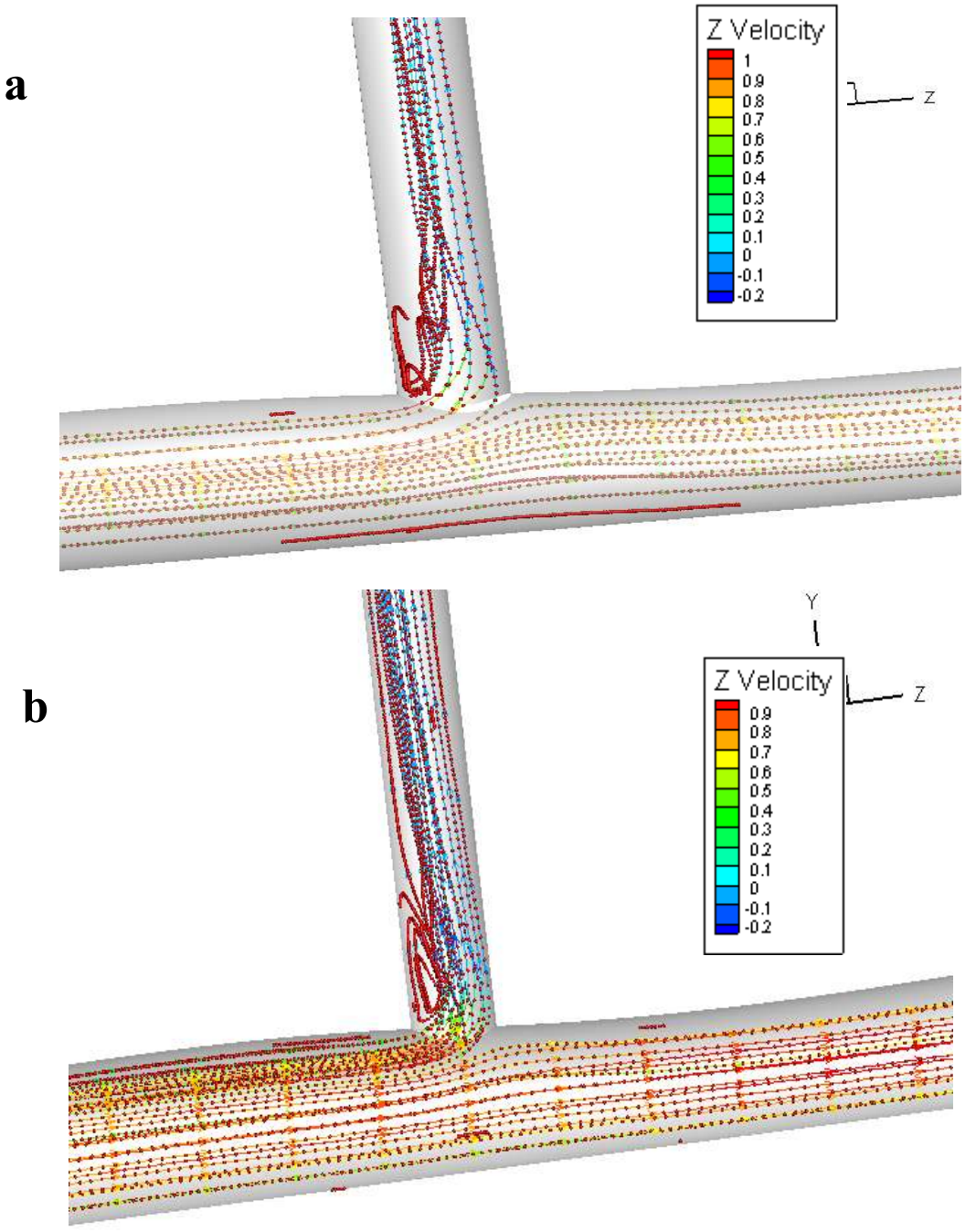


Figure (4.5) : Représentation 3-D des lignes de courant pour le type (T 90°)

(a) Fluide non-Newtonien ; (b) Fluide Newtonien

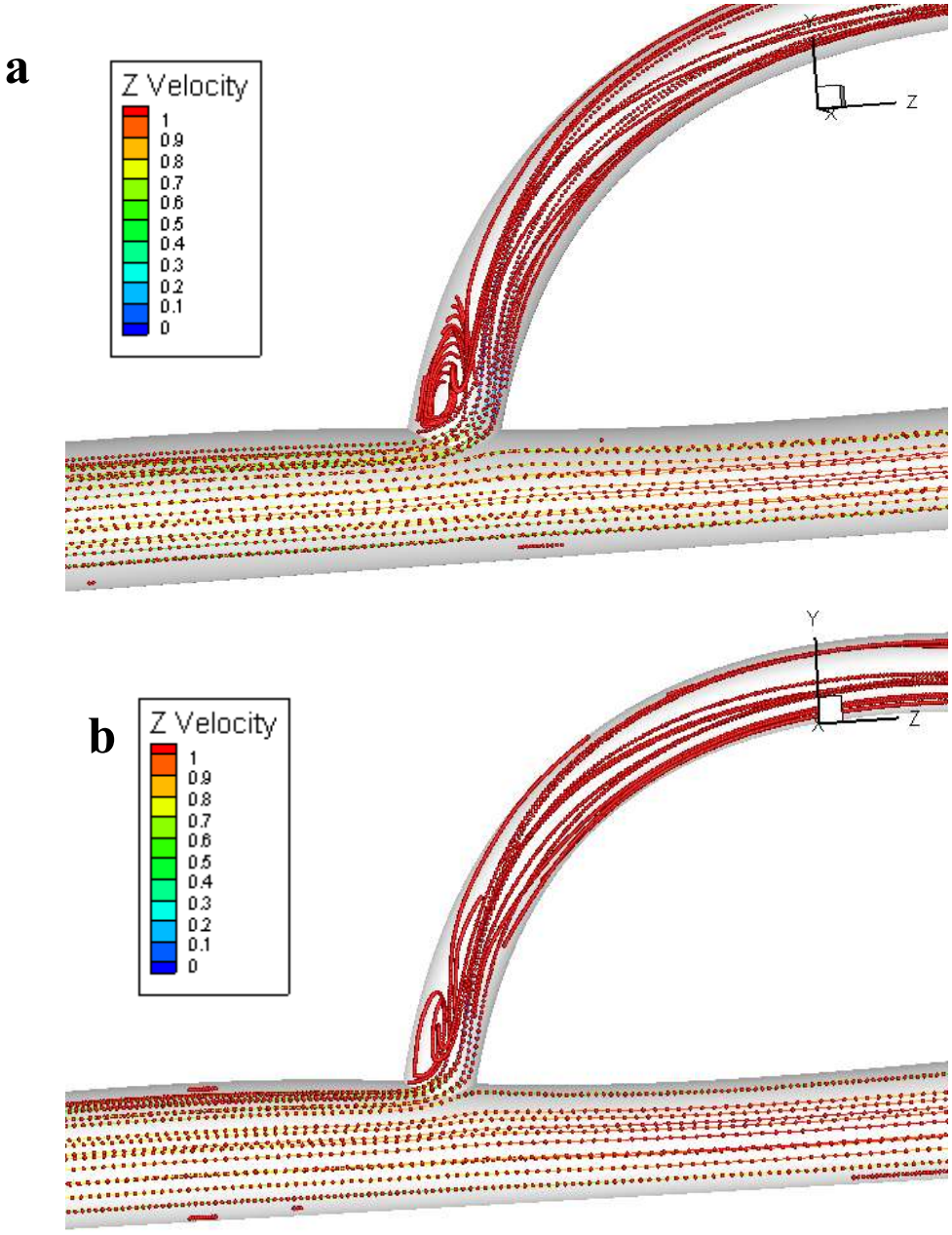


Figure (4.6) : Représentation 3-D des lignes de courant pour le type

(T 60°)

(a) Fluide non-Newtonien ; (b) Fluide Newtonien

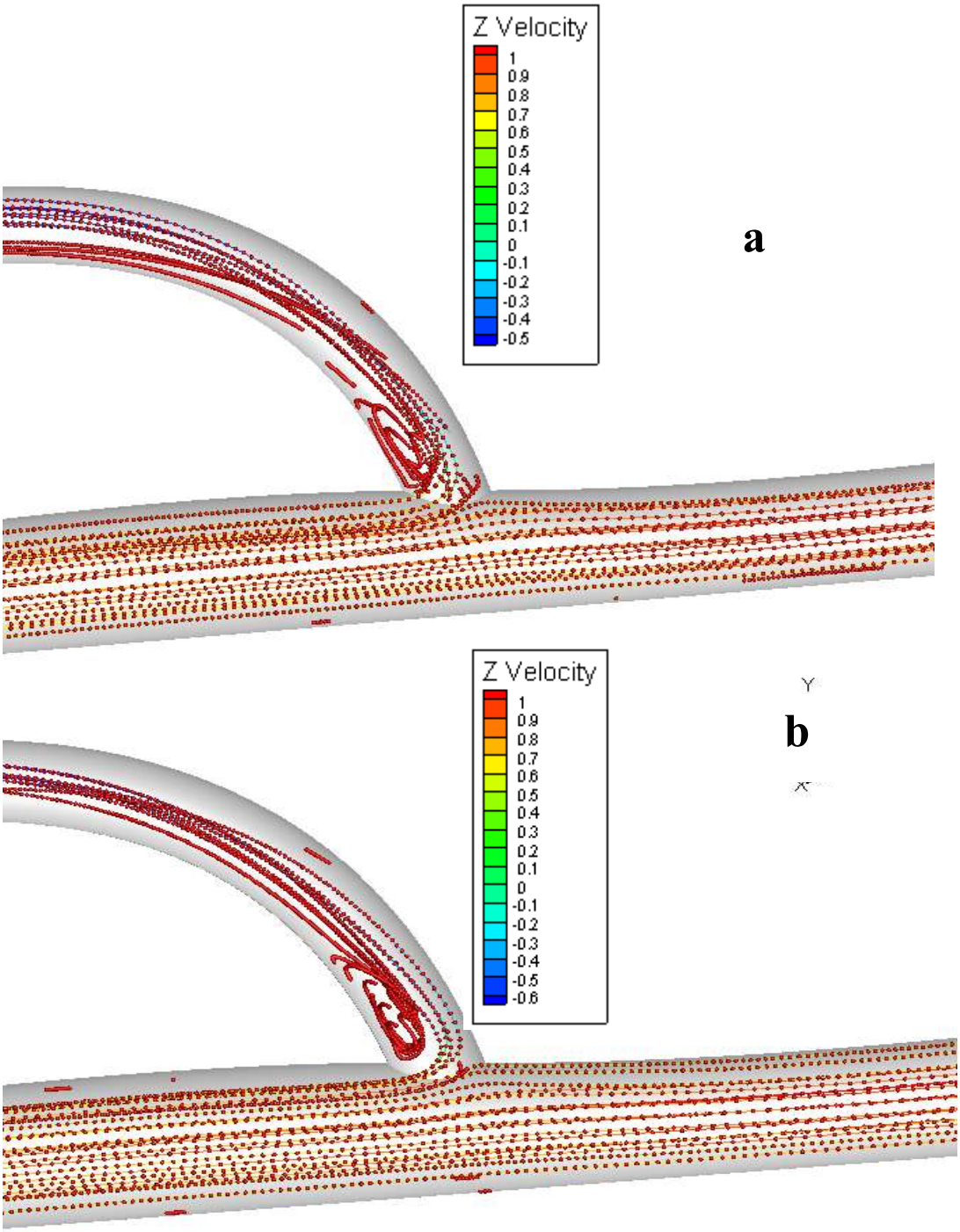


Figure (4.7) : représentation 3-D des ligne de courant pour le type ($Y120°$)

(a) Fluide non-Newtonien ; (b) Fluide Newtonien

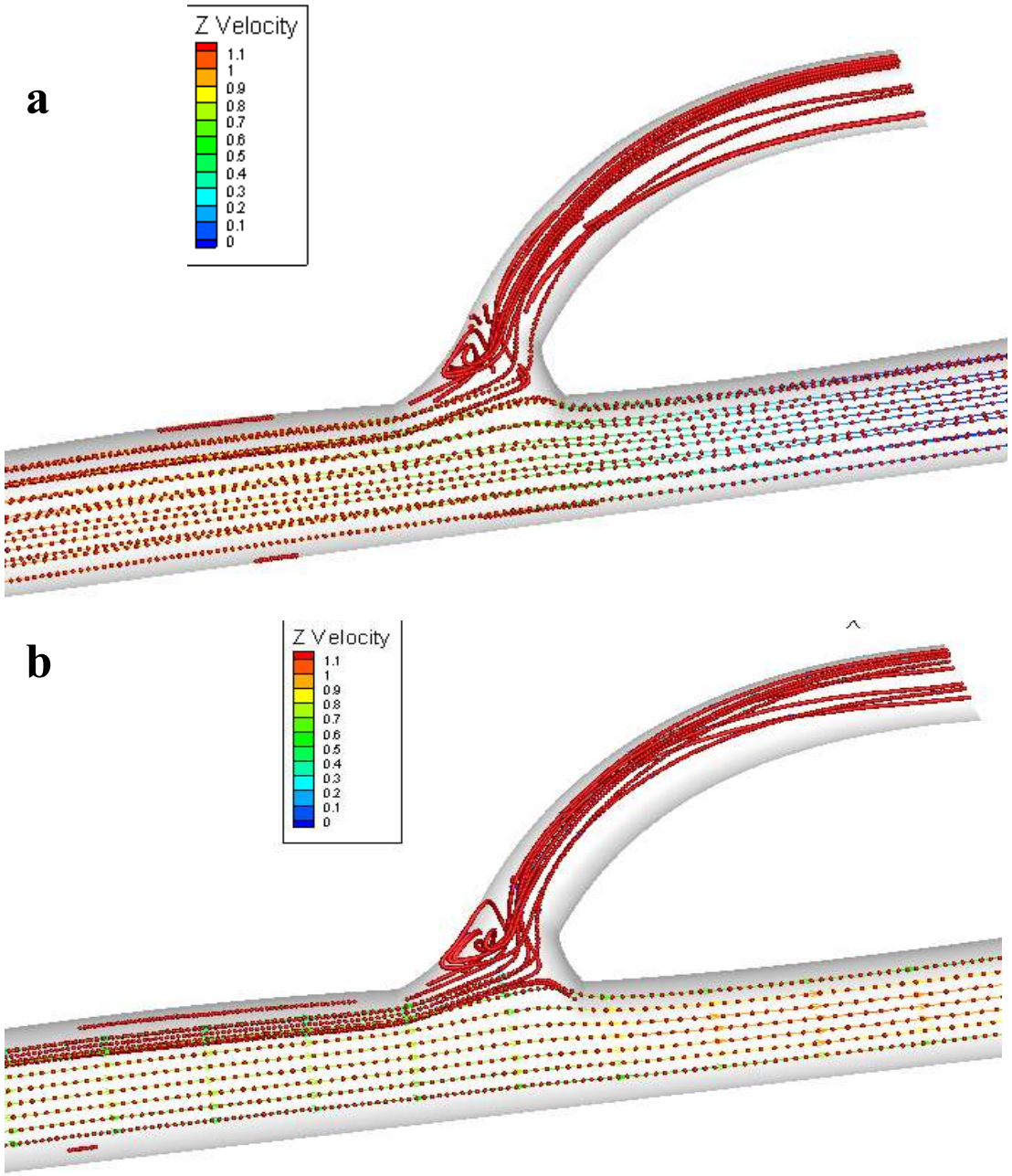


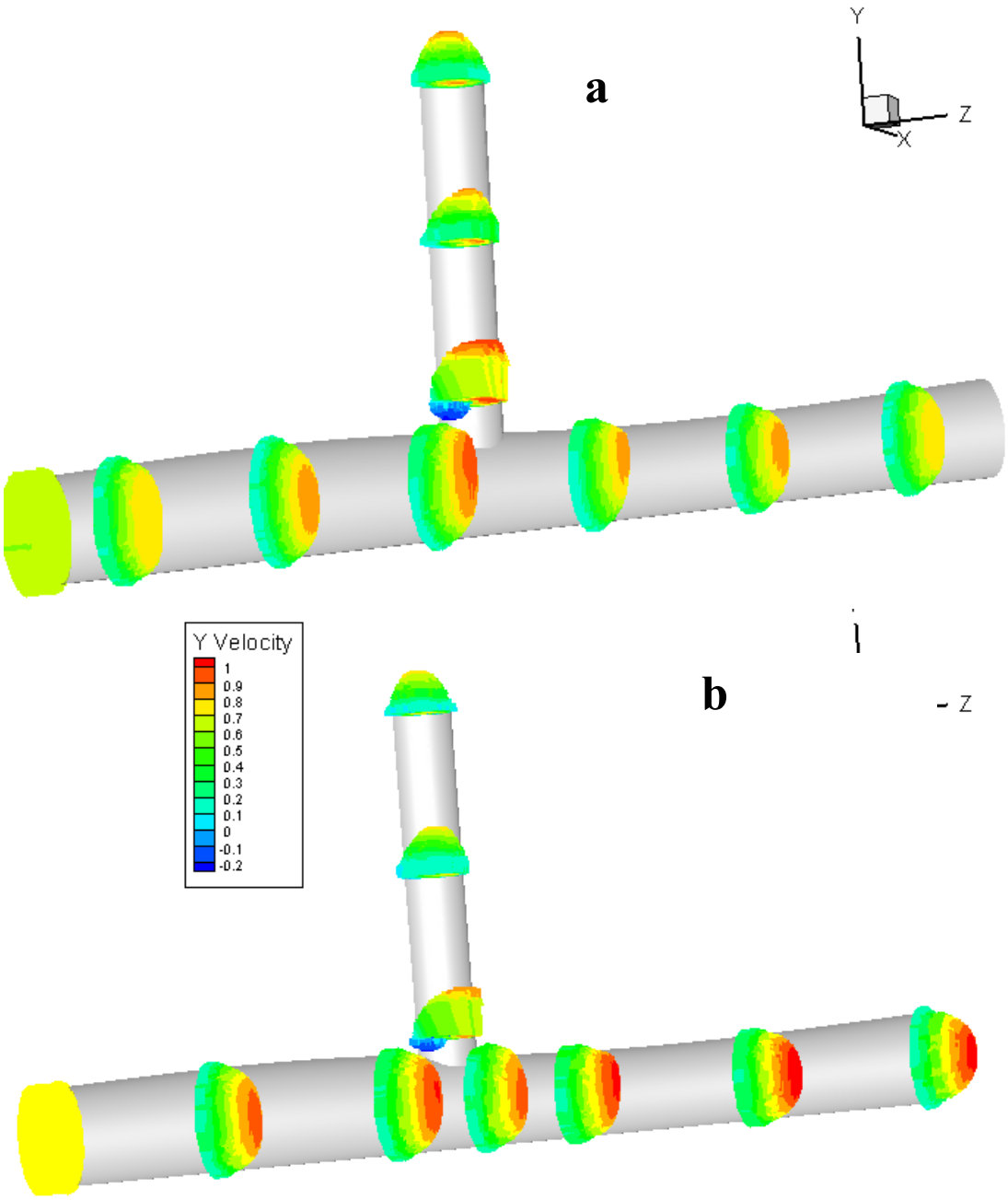
Figure (4.8) : Représentation 3-D des ligne de courant pour le type (Y 90°)

(a) Fluide non-Newtonien ; (b) Fluide Newtonien

Les figure (4.9-4.12) représente la distribution des vecteurs vitesses suivant la direction de l'écoulement , cette évolution montre que la diminution de la section de passage et par suite l'angle de branche fille provoque des lésion vasculaires en donnant naissance de l'athérosclérose , pour ces dernières en remarque la présence de l'accélération du sang à travers les sections de passage sang perte d'énergie .Ces résultats sont l'illustration même de ce que subit l'écoulement au passage d'une bifurcation . En effet , le fluide , en passant de la branche mère à la branche fille , subit un changement brusque de direction et est alors soumis à des forces d'inertie ou centrifuges dirigés de la paroi extérieure vers la paroi inferieure .

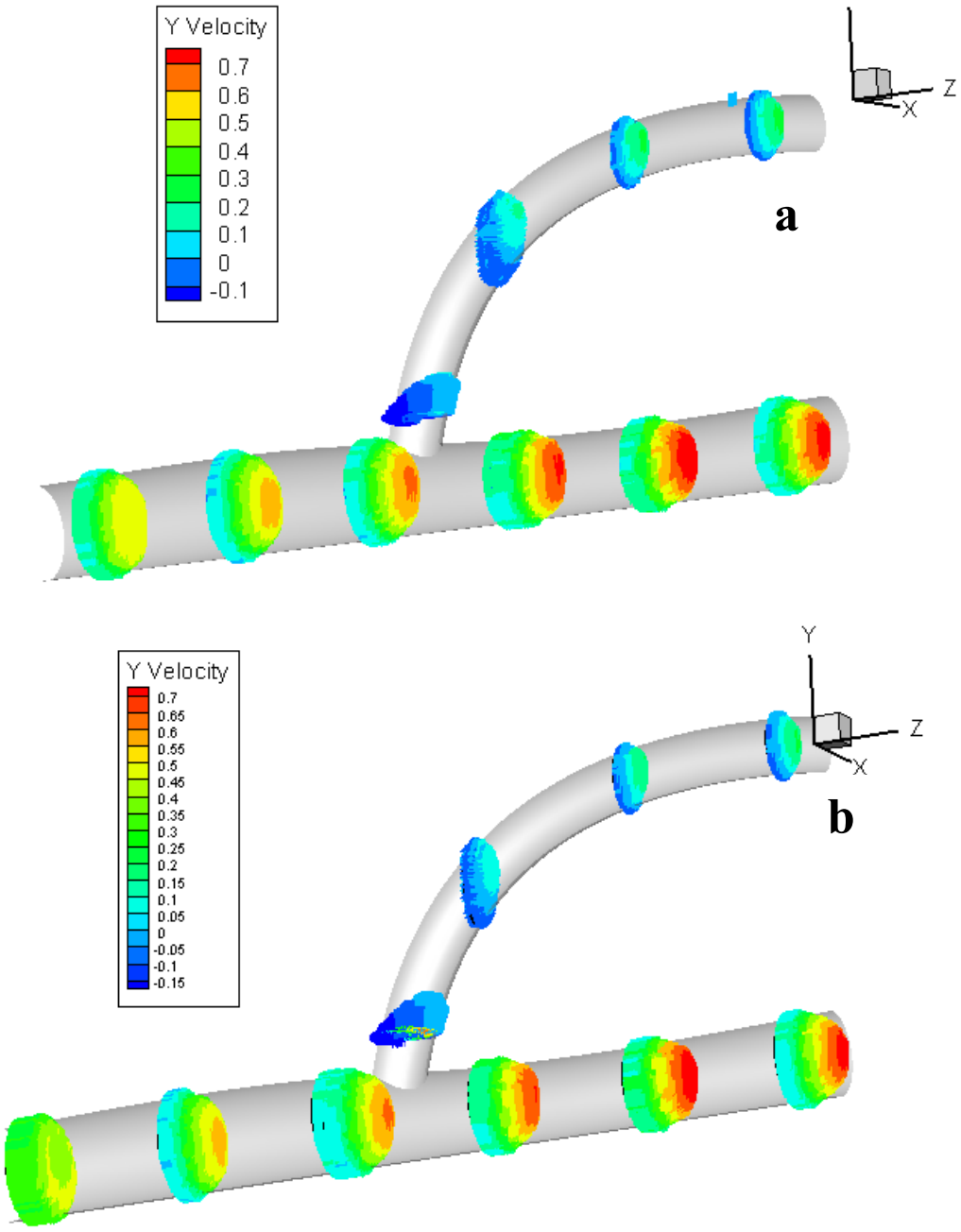
La zone d'entrée de la branche fille est une région ou l'écoulement n'est pas développé et cela se manifeste par des vecteurs de vitesse axiale devisés vers la paroi intérieur .

La présence des valeurs négatives signifie le renouvèlement du fluide sanguine dans les sections de passage des branche filles.



Figure(4.9) : Vecteurs vitesse pour plusieurs position suivant z et y (bifurcation T90°)

(a) Fluide non-Newtonien ; (b) Fluide Newtonien



Figure(4.10) : Vecteurs vitesse pour plusieurs positions suivant z et y (bifurcation *Y* 60°)

(a) Fluide non-Newtonien ; (b) Fluide Newtonien

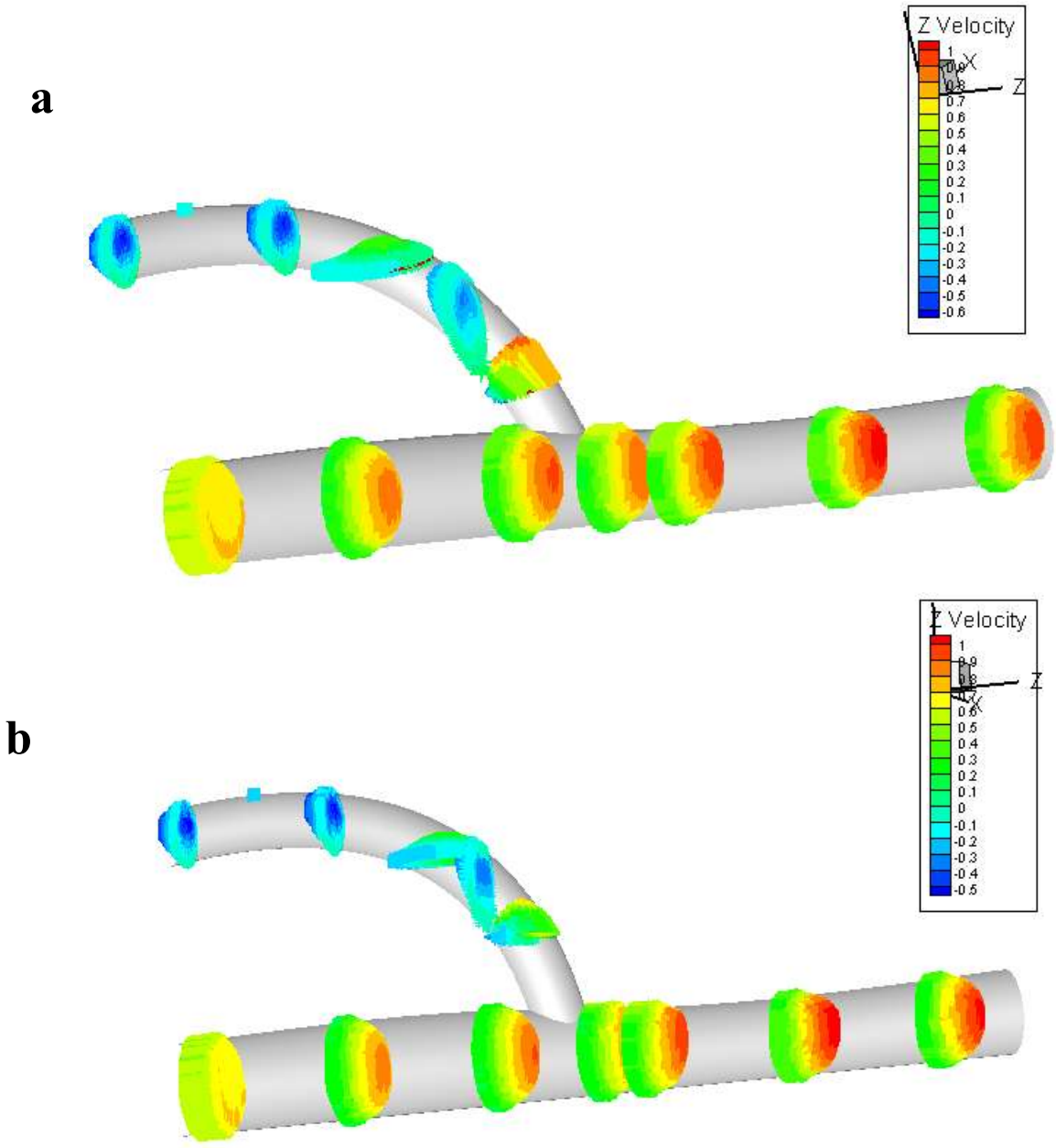


Figure (4.11) : Vecteur vitesses pour plusieurs position suivant z et y (bifurcation ($T120^0$)

(a) Fluide non- Newtonien ; (b) Fluide Newtonien

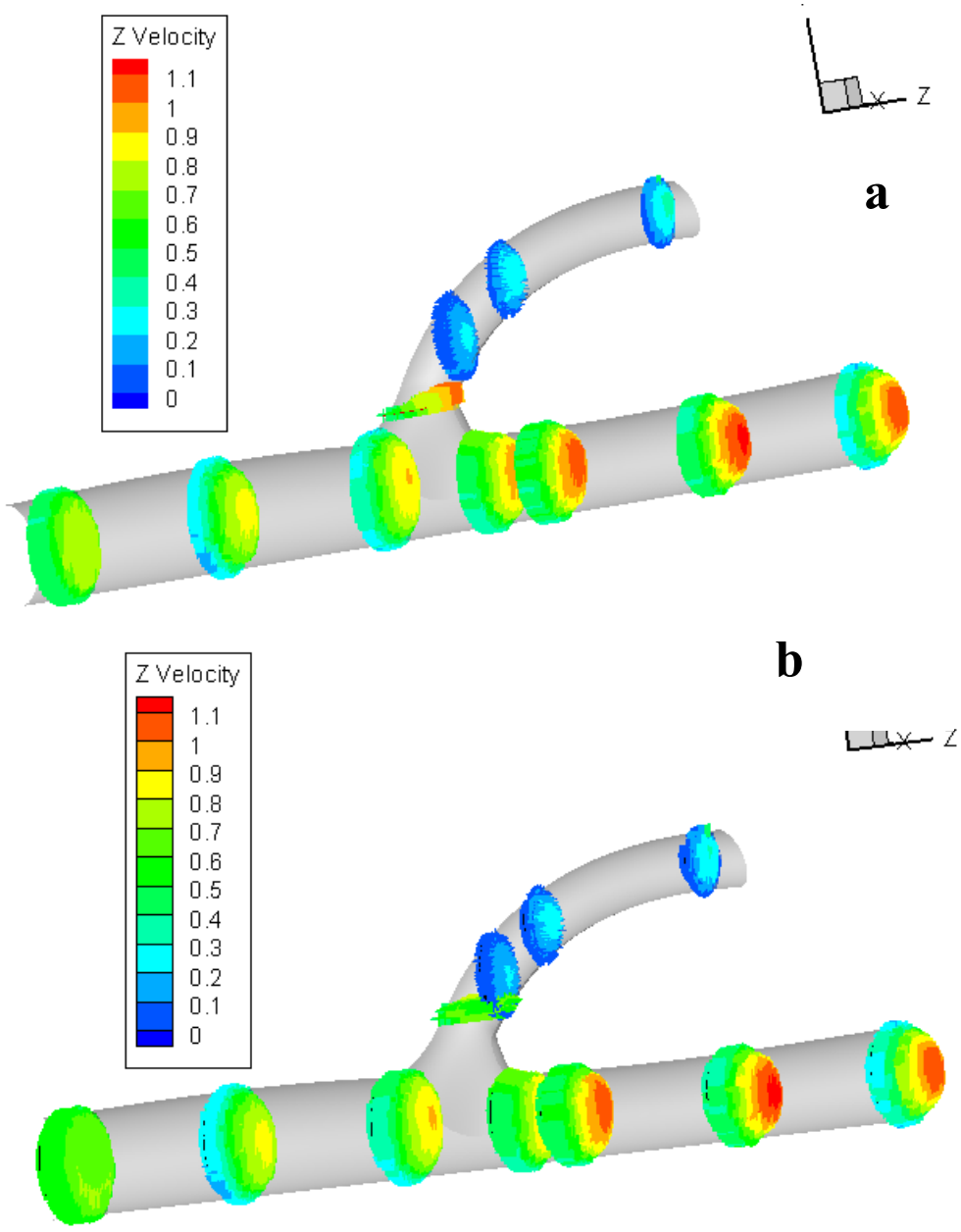


Figure (4.12) : Vecteur vitesse pour plusieurs position suivant z et y

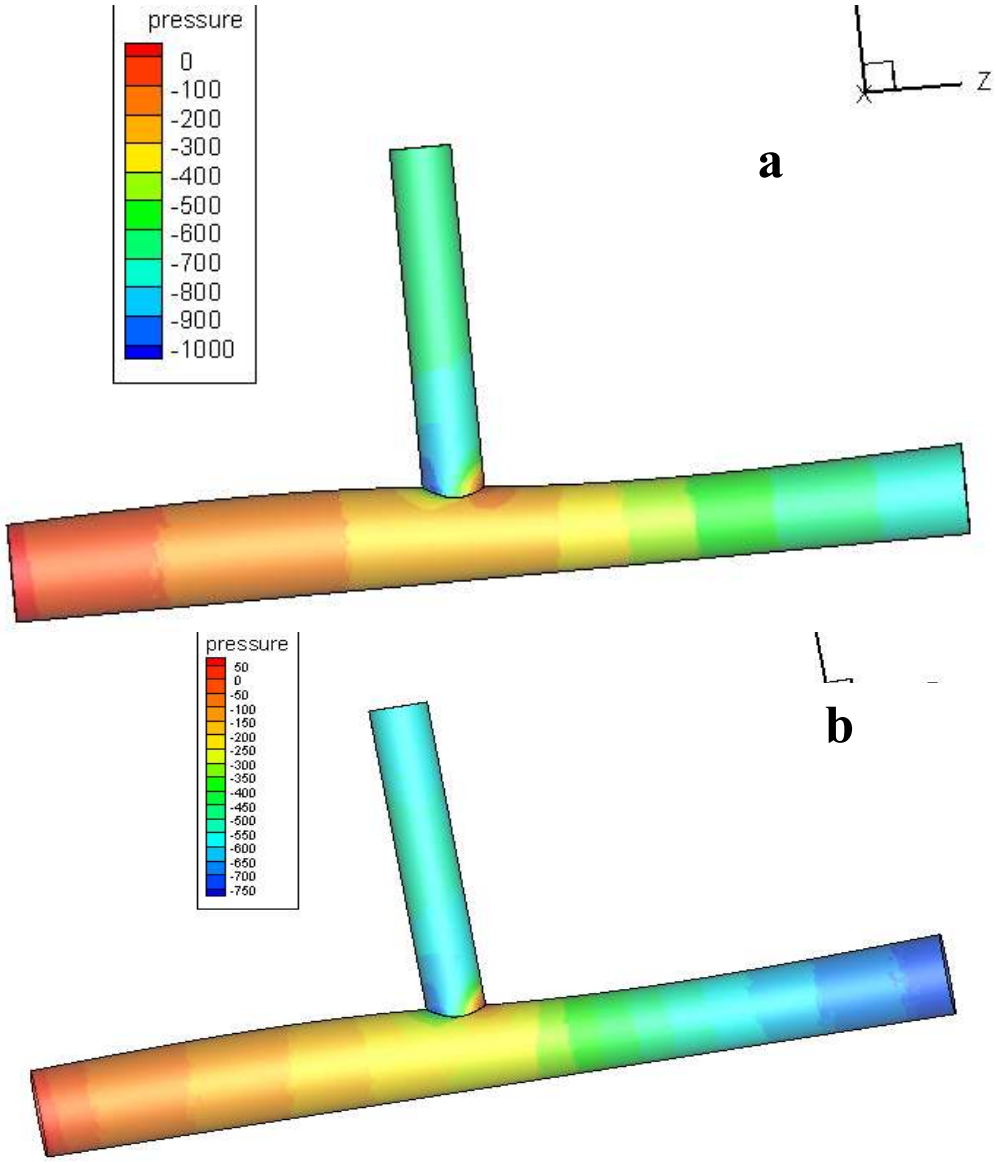
(bifurcation ($T45^{\circ}$))

(a) Fluide non-Newtonien ; (b) Fluide Newtonien

En ce qui concerne l'évolution de la pression statique , les figureEn ce qui concerne l'évolution de la pression statique , les figure(4.13-4.16) représentent la répartition de cette dernière dans le plan x=0 .

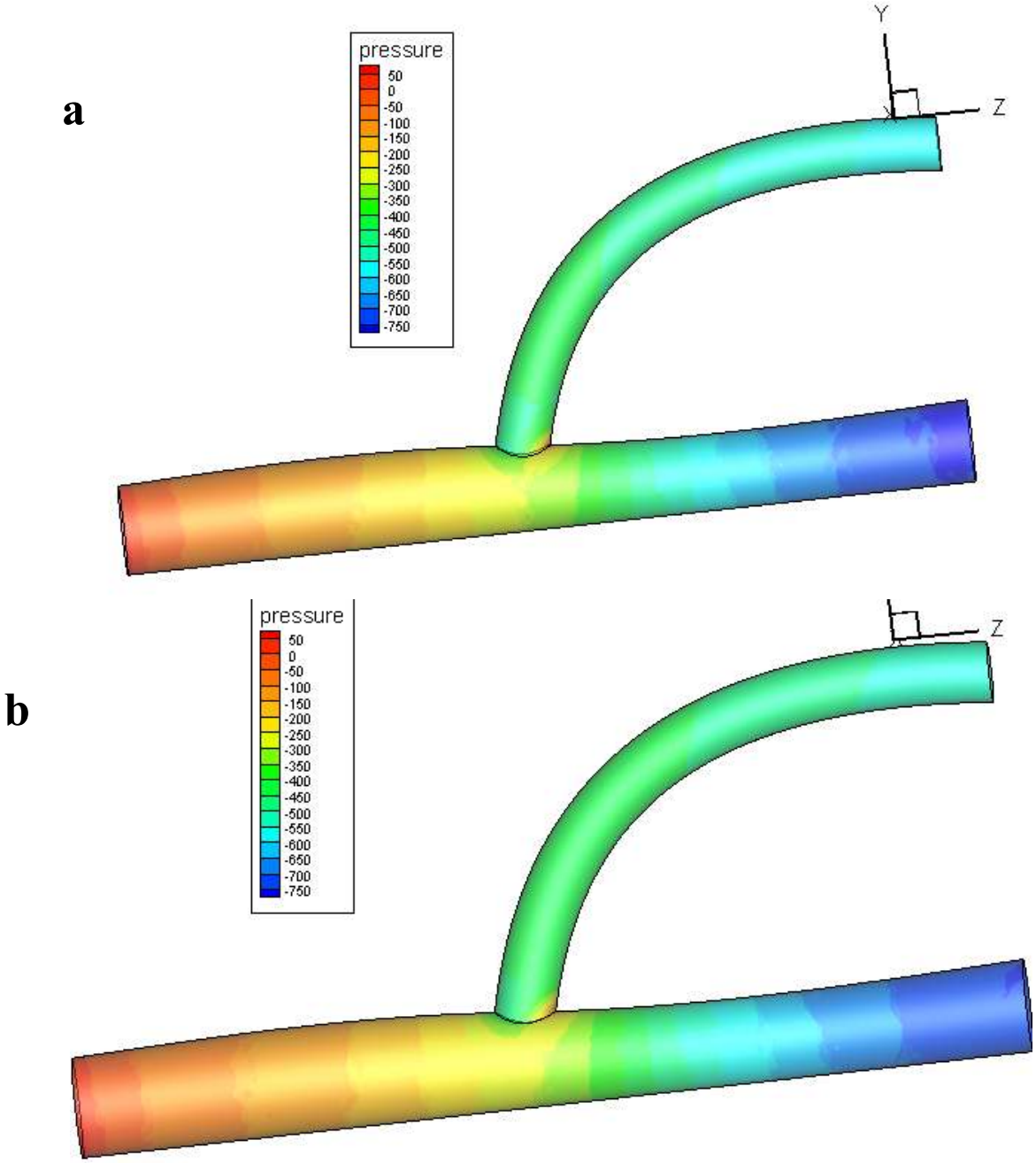
A l'entrée des différents modèle , la pression est maximale (pression d'éjection ventriculaire) puis elle chute en ce déplaçant suivant la direction de l'écoulement . pour tous les modèle , on remarque que la pression présente une augmentation à l'entrée de la bifurcation fille puis elle se diminué dans tout les différentes géométrie. La zone de pression élevée est importante dans le cas de la bifurcation en **(T 90°).**

Dans les zones d'accélération du fluide , le champ de pression est faible dans le cas Newtonien que dans le cas non-Newtonien. Les pression négatives signifient que le phénomène de recirculation existe .



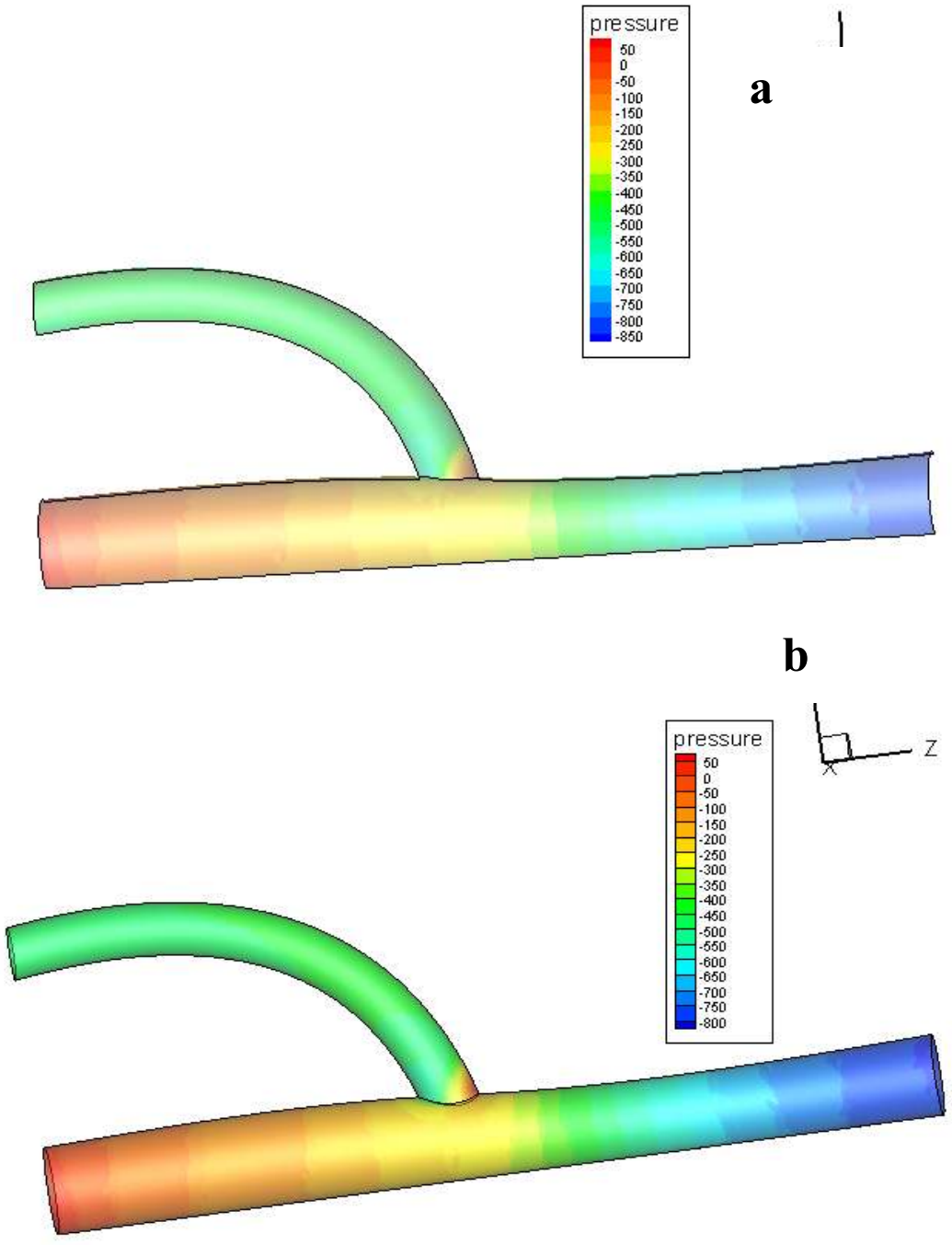
Figure(4.13): Contour de pression statique (Plan x=0) pour le type **(T 90°)**

(a) Fluide non-newtonien ;(b) Fluide Newtonien



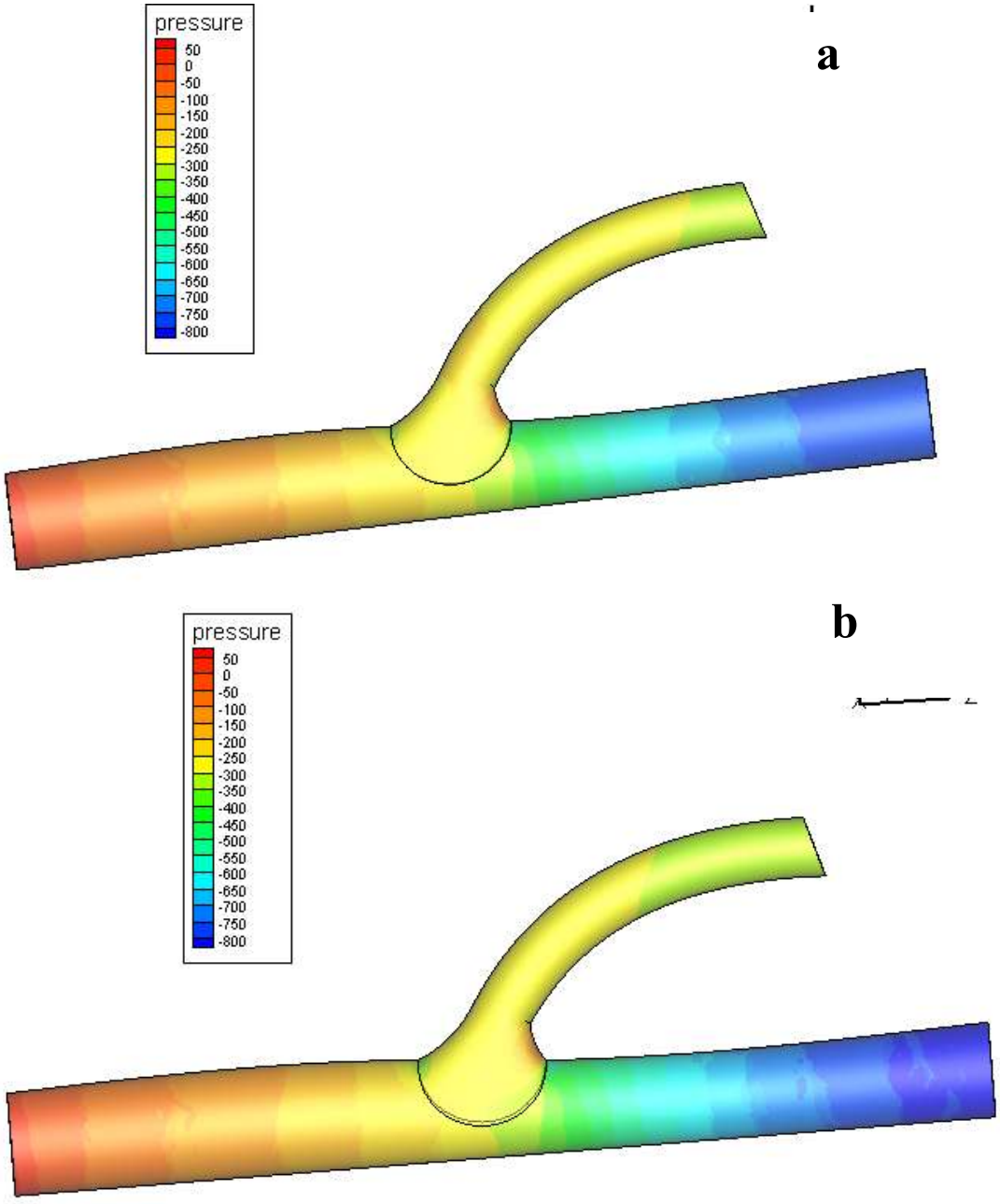
Figure(4.14): Contour de pression statique (Plan x=0) pour le type **(Y 60°)**

(a) Fluide non-newtonien ;(b) Fluide Newtonien



Figure(4.15): Contour de pression statique (Plan x=0) pour le type **(Y 120°)**

(a) Fluide non-newtonien ;(b) Fluide Newtonien



Figure(4.15): Contour de pression statique (Plan x=0) pour

le type **(Y 45°)**

(a) Fluide non-newtonien ;(b) Fluide Newtonien

Les figures (4.17-4.20) représente la variation des iso-valeurs de la viscosité apparente du sang par l'équation de Carreau pour les différentes bifurcation étudiées .

Le comportement rhéologique de sang selon Carreau indique que la viscosité dynamique est importante dans les zones de mois taux de déformation (entrées et sorties de tous les bifurcations). on remarque que la viscosité apparente est importante dans les zones d'accélération du fluide (zones au milieux de bifurcation) ,dans ces zones règne de faibles vitesses de cisaillement .

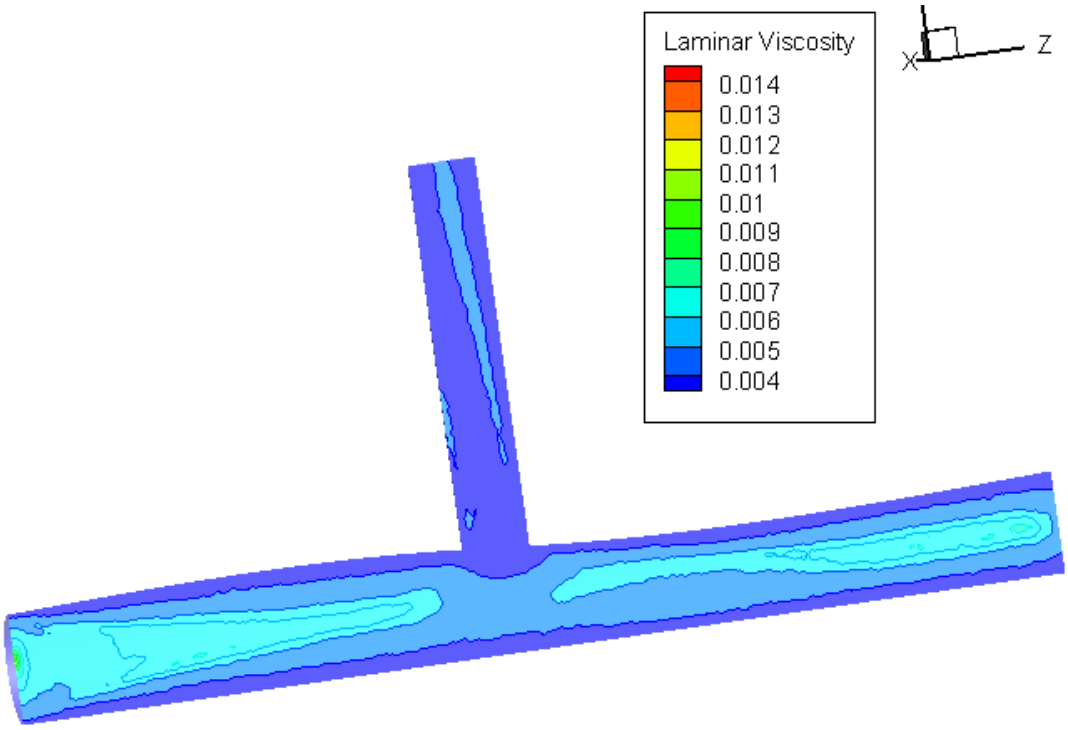
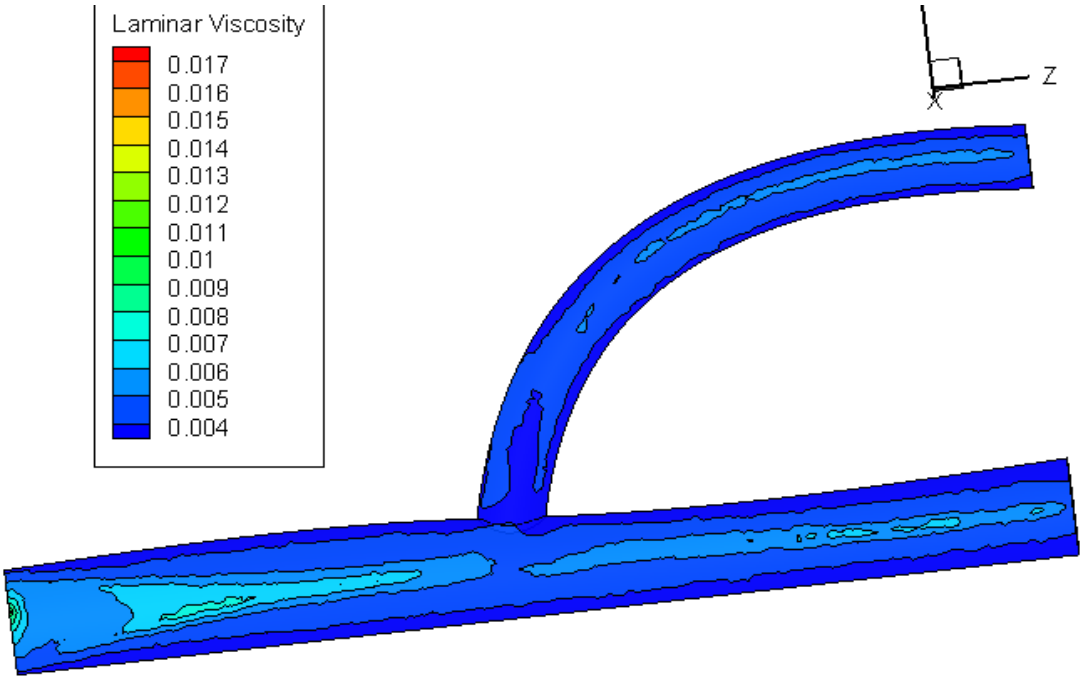


Figure (4.17) : Contour de la viscosité apparente selon Carreau

(Plan x=0)pour le type $T90^{\circ}$



Figure(4.18): Contour de la viscosité apparente selon Carreau(Plan x=0) pour le type $Y60^{\circ}$

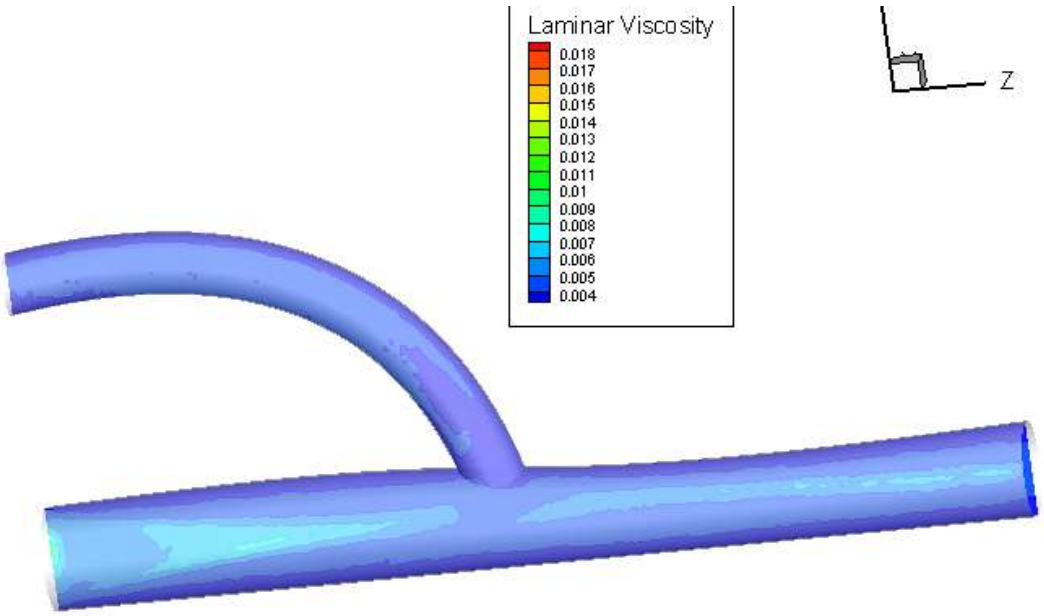


Figure (4.19) : Contour de la viscosité apparente selon Carreau

(Plan x=0)pour le type (Y 120°)

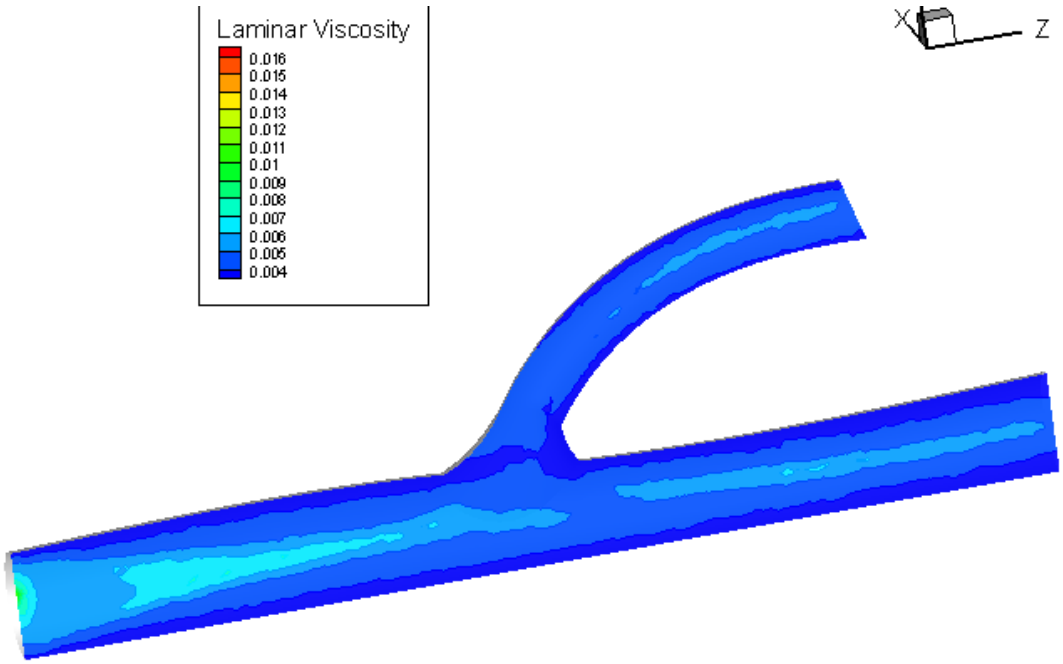


Figure (4.20) : Contour de la viscosité apparente selon Carreau (Plan x=0)pour le type (Y 45°)

En fin, les figures (4.21-4.28) représentent les variation des contours de la contrainte de cisaillement pariétale dans les deux cas Newtonien et non-newtonien pour les quatre type de bifurcation artérielle étudiées . On remarque que la contrainte de cisaillement est importante sur les parois d'entrée de la bifurcation mère et l'entrée de la bifurcation fille .

En ce qui concerne l'importance de la contrainte de cisaillement sur les parois d'entrée donne une naissance aux liaisons vasculaires ce qui favorise la génération de l'athérosclérose.

On remarque que la contrainte de cisaillement dans le cas de fluide non-Newtonien est de forme similaire au cas Newtonien mais de grandeurs différentes pour tous les types de bifurcations .

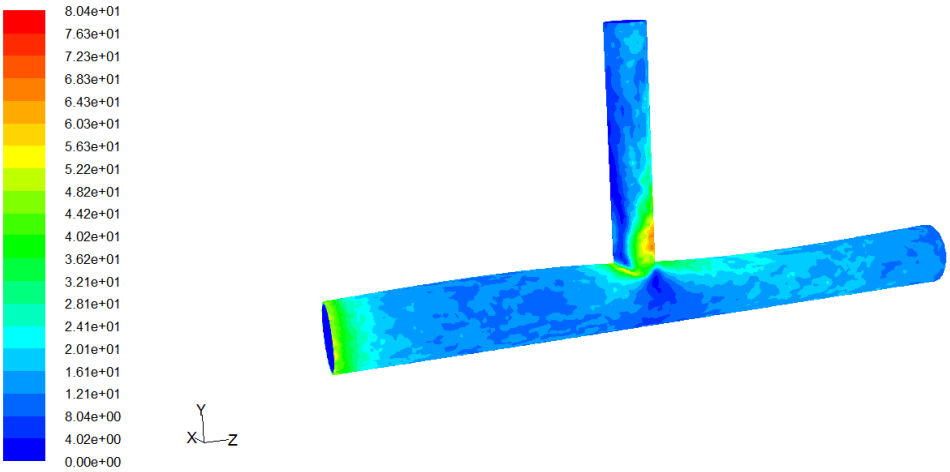


Figure (4.21): Contrainte de cisaillement pariétale (Plan x=0) pour le type $(T90^0)$ cas de fluide non-Newtonien

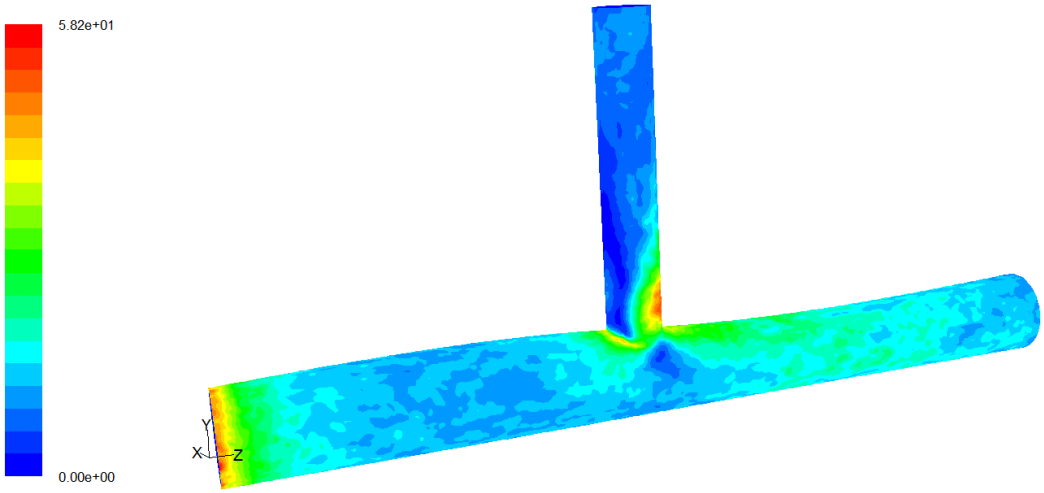


Figure (4.22): Contrainte de cisaillement pariétale (Plan x=0) pour le type $(T90^0)$ cas de fluide Newtonien

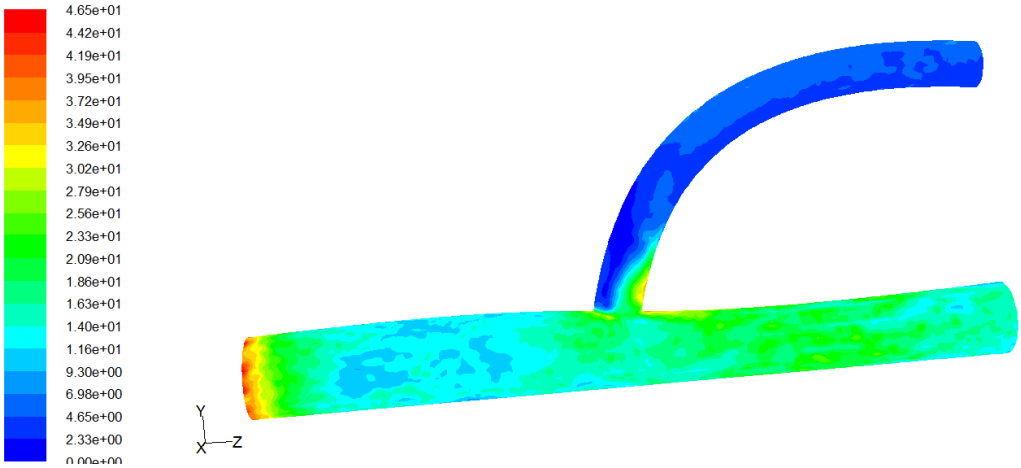


Figure (4.23): Contrainte de cisaillement pariétale (Plan x=0) pour le type $(Y60^0)$

cas de fluide non- Newtonien

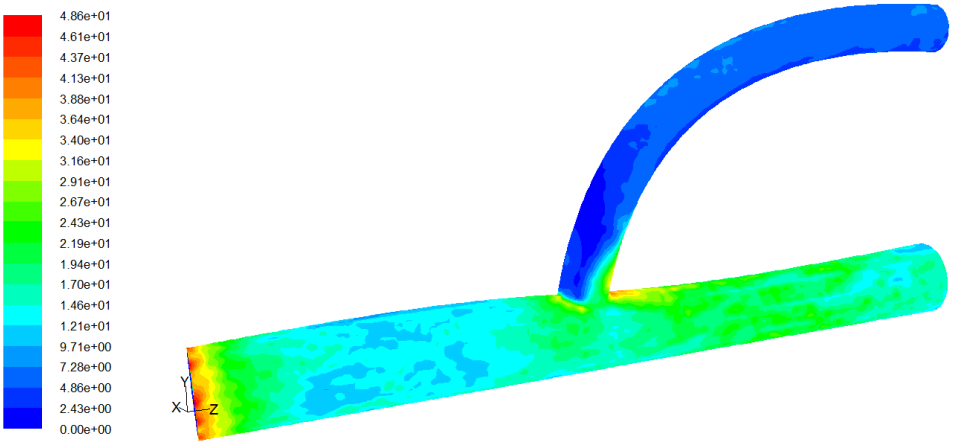


Figure (4.24): Contrainte de cisaillement pariétale (Plan x=0) pour le type $(Y60^0)$

cas de fluide Newtonien

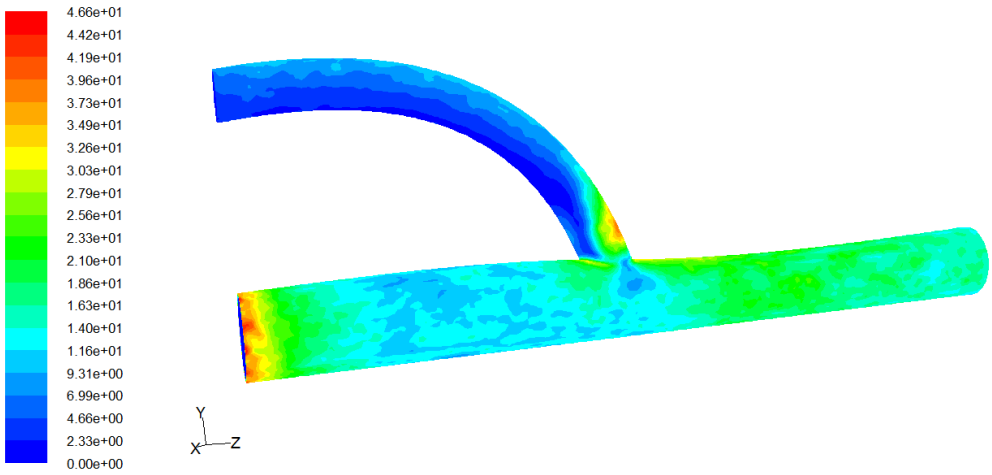


Figure (4.25): Contrainte de cisaillement pariétale (Plan x=0) pour le type $(Y120^0)$cas de fluide non Newtonien

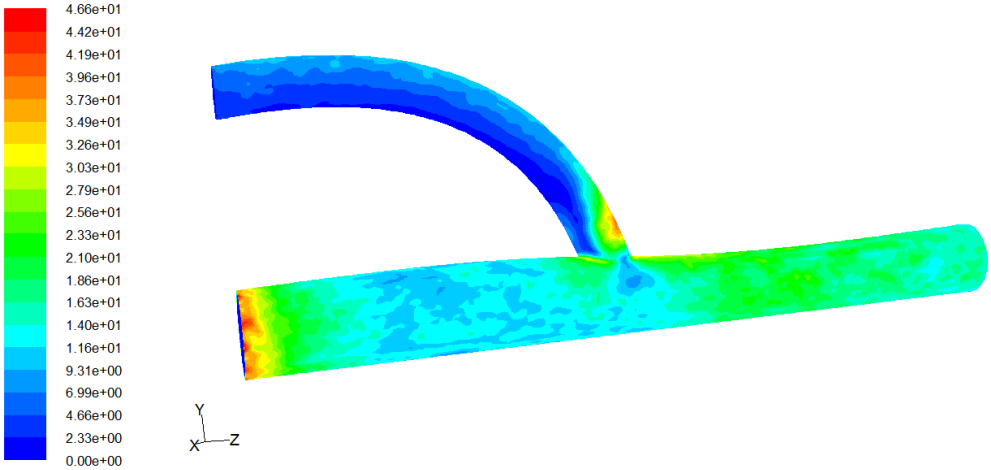


Figure (4.26): Contrainte de cisaillement pariétale (Plan x=0) pour le type $(Y120^0)$

cas de fluide Newtonien

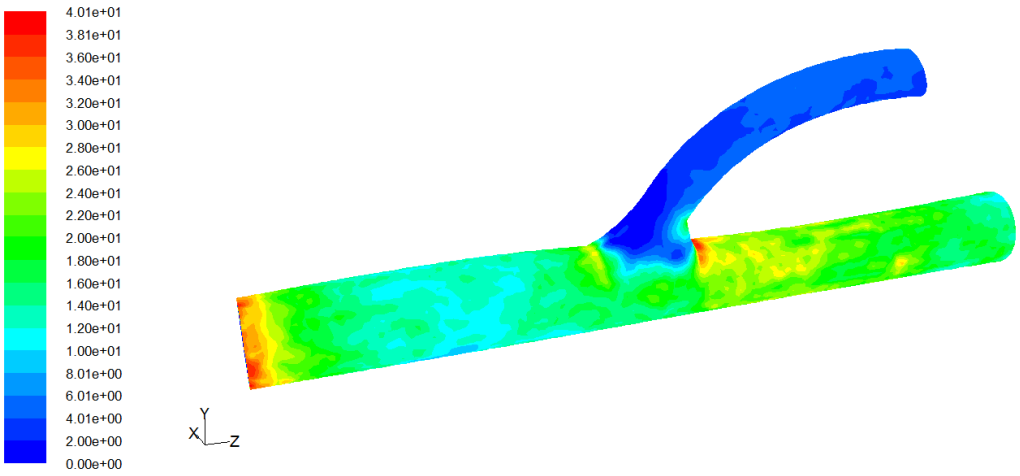


Figure (4.27): Contrainte de cisaillement pariétale (Plan x=0) pour le type $(Y45^0)$cas de fluide non Newtonien

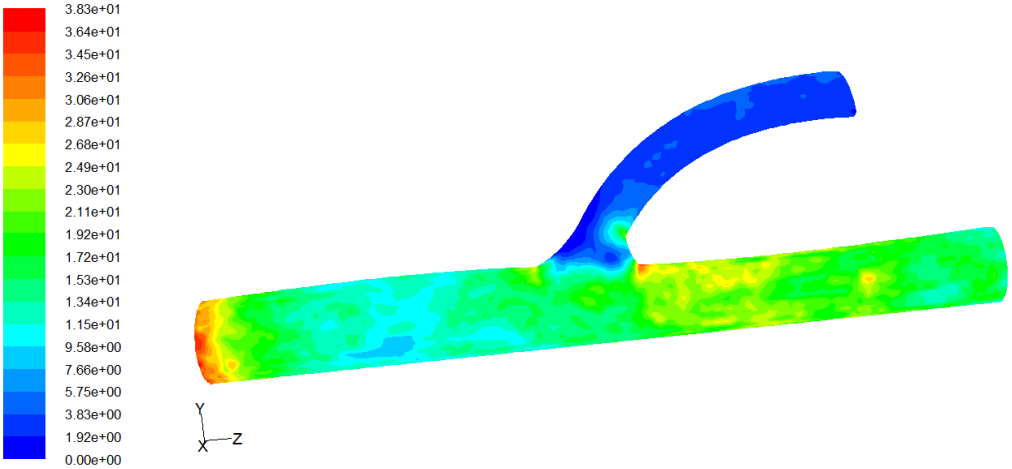


Figure (4.28): Contrainte de cisaillement pariétale (Plan x=0) pour le type $(Y45^0)$cas de fluide Newtonien