

Chapitre V

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Introduction :

Dans cette partie, on étudiera les résultats obtenus par la simulation numérique d'une chambre de combustion présentant un élargissement brusque que l'on va comparer avec les résultats obtenus par une étude expérimentale dans le but de la validation de notre calcul ce qui permet ainsi de régler les paramètres du code de calcul utilisés.

V.1. Ecoulement non-réactif :

Le fait d'avoir un nombre de Reynolds élevé implique que l'écoulement soit turbulent, d'où la nécessité de modéliser cette turbulence. Comme nous l'avons mentionné dans le chapitre précédent, nous avons utilisé le modèle $K - \omega SST$. Cependant, afin de valider la crédibilité de nos résultats, il est nécessaire de se référer à la valeur de Y^+ et de vérifier que celle-ci est comprise dans la fourchette adéquate au modèle.

Pour le modèle $K - \omega SST$ il est nécessaire que $0 < Y^+ < 5$ [24], et de ne pas utiliser de loi de traitement de paroi si $Y^+ < 30$ comme dans notre cas.

Nous obtenons les résultats suivants qui confirment bien que nous sommes dans cet intervalle.

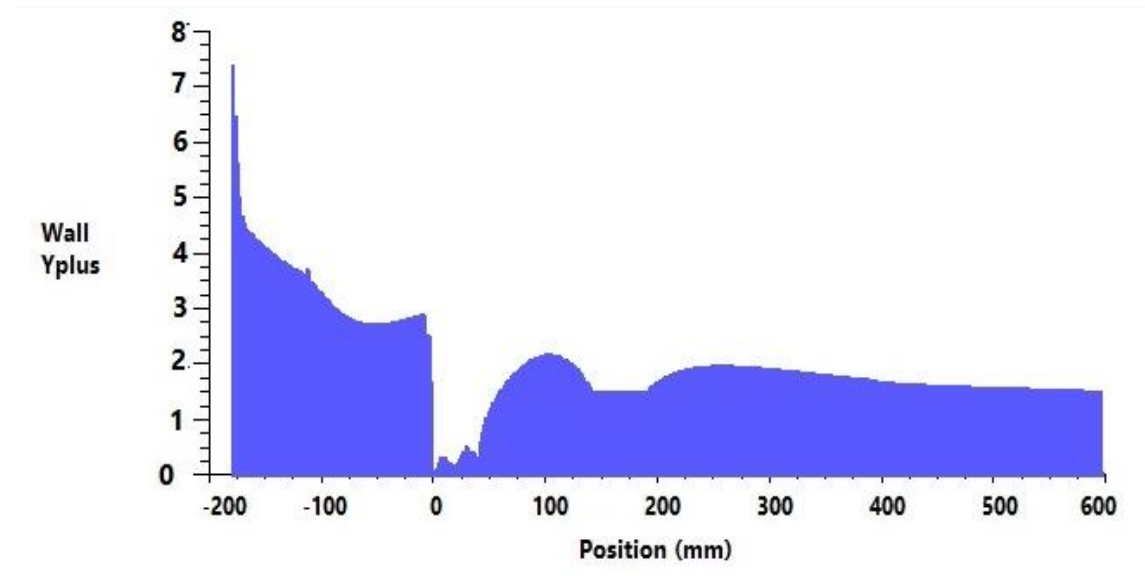


Figure (5.1) : Evolution Y^+ en fonction de la position.

La simulation a été réalisée en utilisant le modèle $K - \omega SST$ car c'est le modèle le plus adéquat à notre problème qui contient de forts tourbillons qui génèrent une zone de recirculation. Cette dernière est causée par la géométrie de la chambre de combustion qui présente un élargissement brusque.

Le modèle $K - \omega SST$ est connu pour ces bonnes performances de calcul pour les écoulements turbulents, proches des parois et les zones de recollement derrière une marche. Cependant, ceci reste une modélisation RANS, les résultats sont donc influés par les imperfections dues au modèle lui-même ainsi qu'au maillage.

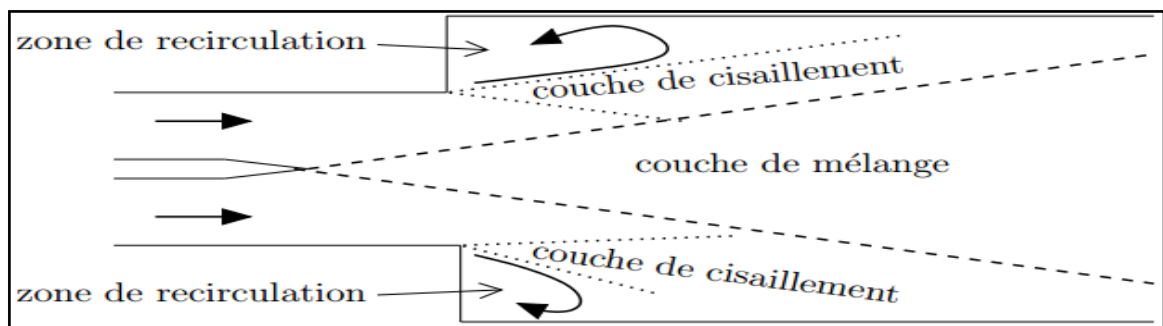


Figure (5.2) : Représentation de la structure moyenne de l'écoulement [16].

Nous allons d'abord présenter les champs de Vitesse, Pression et Energie cinétique turbulente.

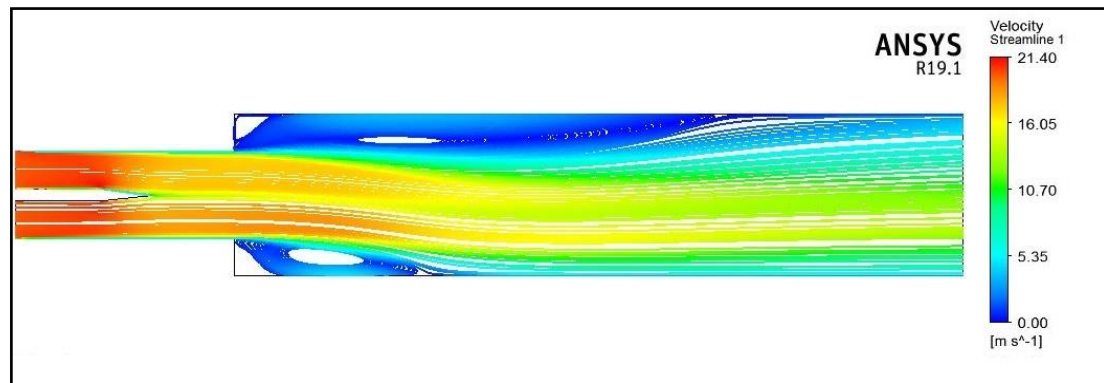


Figure (5.3) : Ecoulement non-réactif : champs de vitesse et lignes de courant.

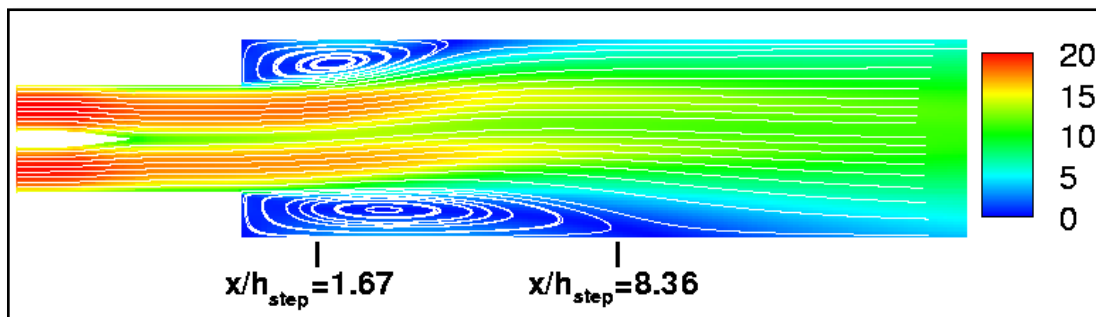


Figure (5.4) : Ecoulement non-réactif : champs de vitesse en m/s et lignes de courant Présentée par : Vincent ROBIN [16].

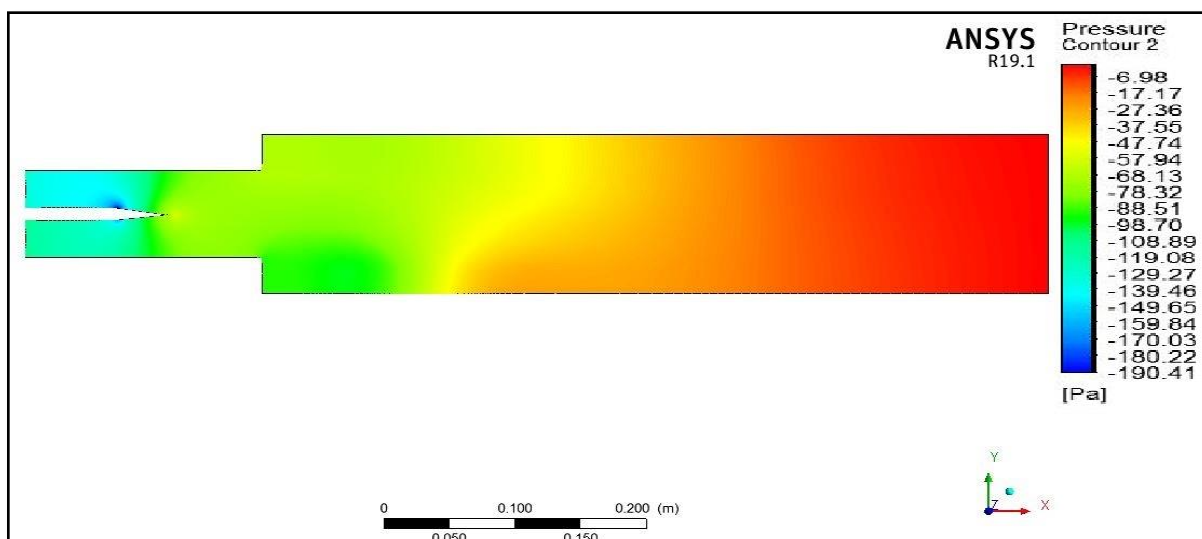


Figure (5.5) : Ecoulement non-réactif : champs de pression.

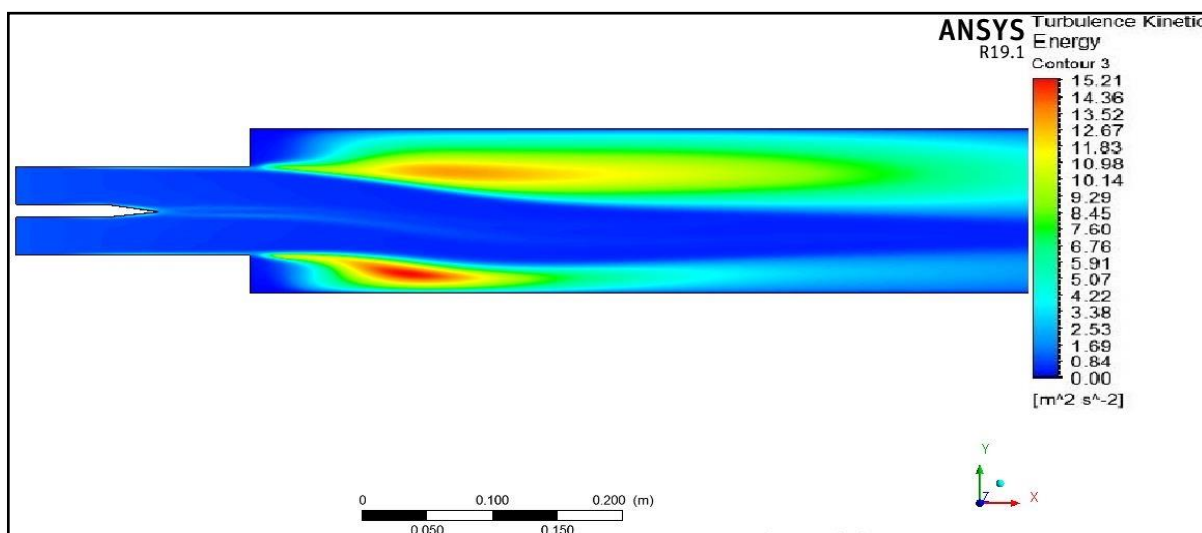
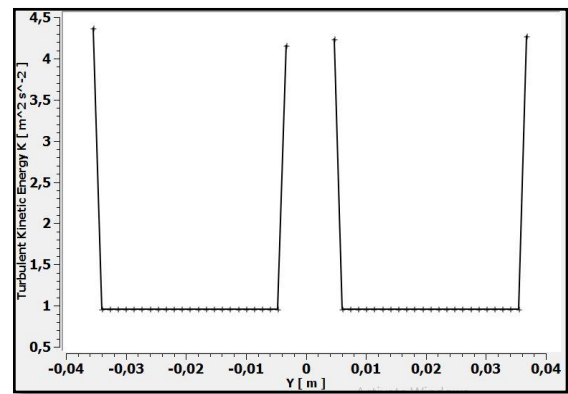
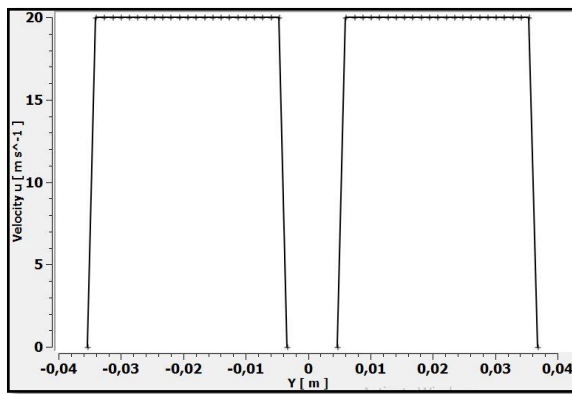


Figure (5.6) : Ecoulement non-réactif : champs de l'énergie cinétique turbulente.

A première vue, l'écoulement du fluide est axialement asymétrique. Etant donné les propriétés des fluides et les conditions aux limites similaires pour les deux entrées, ce phénomène serait dû au nombre de Reynolds élevé. Il est connu sous le nom de l'effet Coanda. Les figures montrent aussi que les zones de recirculation n'ont pas la même longueur.

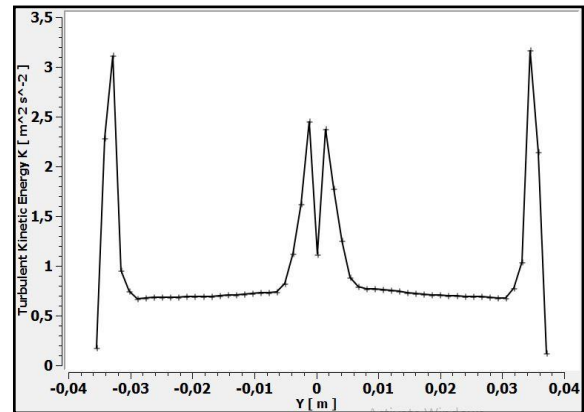
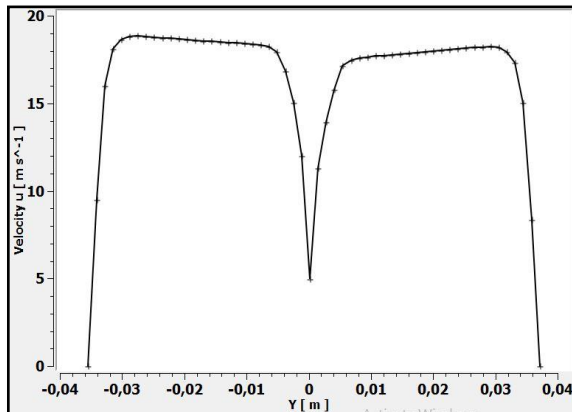
Afin d'analyser ces grandeurs plus concrètement nous allons présenter cinq profils transversaux de la composante de vitesse longitudinale (u) ainsi que l'énergie cinétique turbulente (K) sur des stations à $x = -0.1794$ m (entrée), $x = -0.0704$ m (pointe du corps central), $x = 0$ m (au niveau de l'élargissement brusque), $x = 0.299$ m, et $x = 0.598$ m (sortie).



$x = -0.1794$ m

(a)

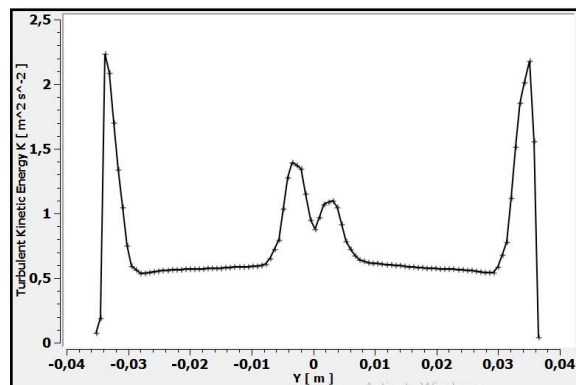
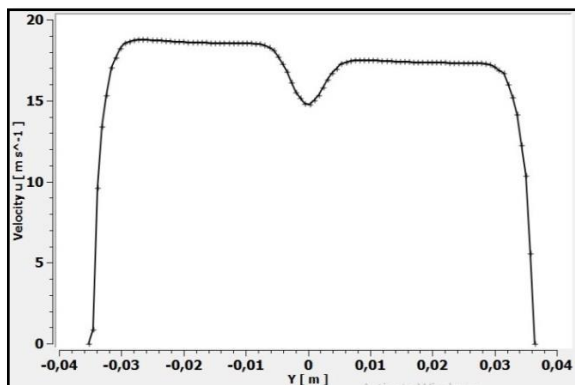
(b)



$x = -0.0704$ m

(a)

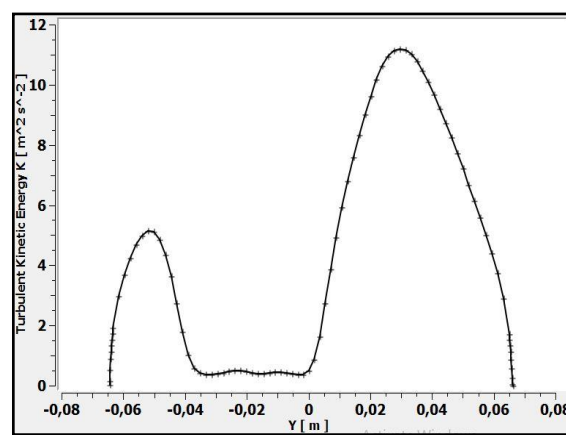
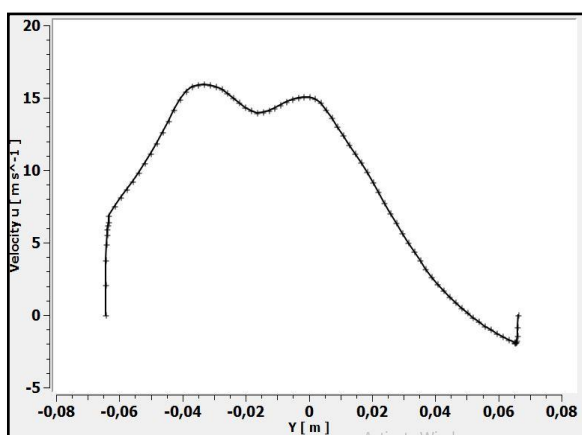
(b)



$x=0\text{m}$

(a)

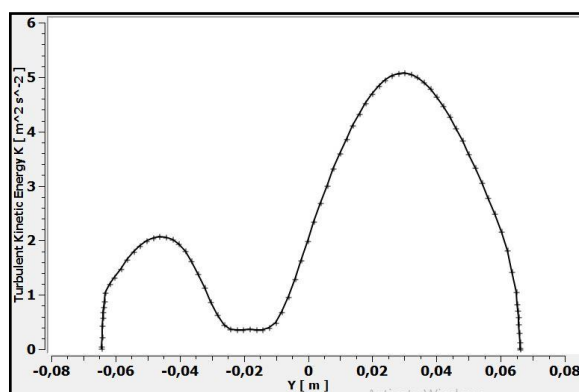
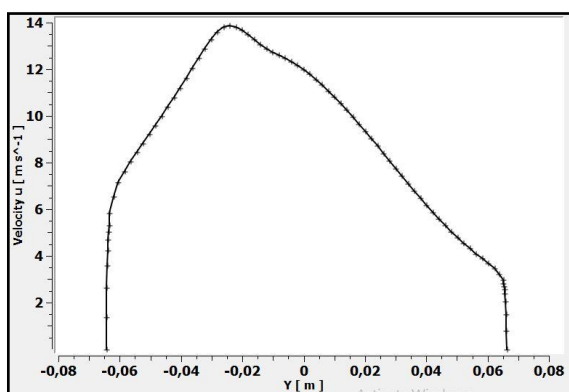
(b)



$x=0.299\text{ m}$

(a)

(b)



$x=0.598\text{ m}$

(a)

(b)

Figure (5.7) : Ecoulement non-réactif : Courbes de (a) composante de la vitesse longitudinale et (b) énergie cinétique turbulente.

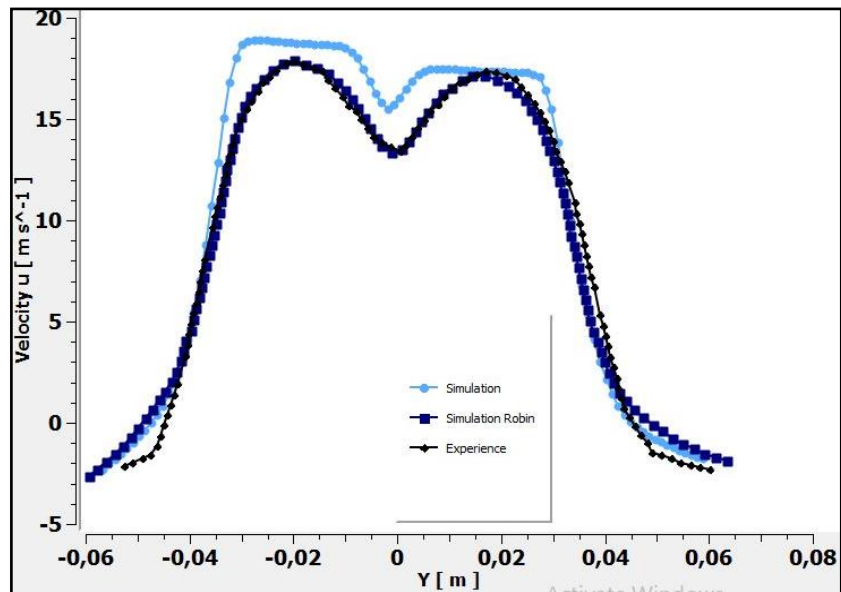


Figure (5.8a) : Courbes de la composante de la vitesse longitudinale à $x/hstep=1,67$

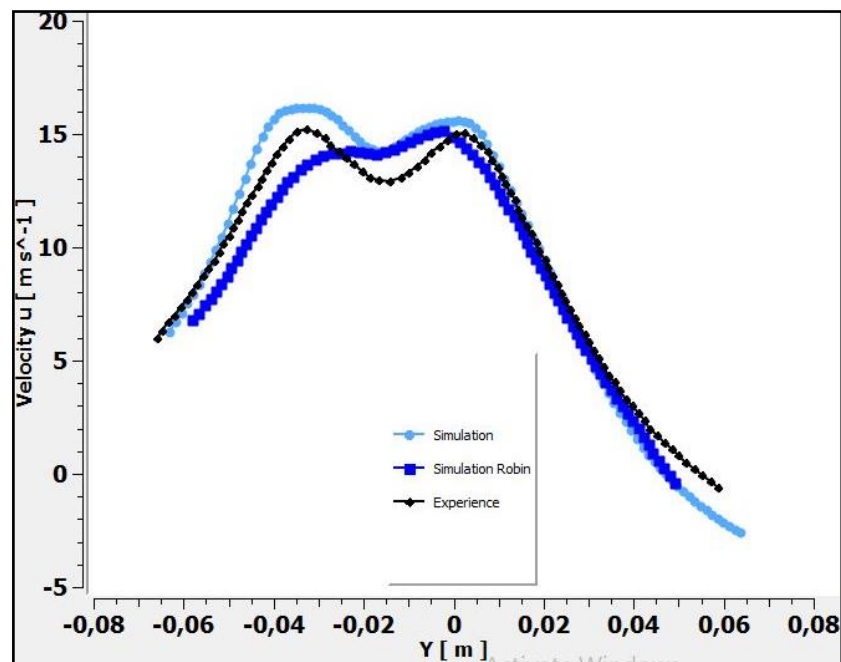


Figure (5.8b) : Courbes de la composante de la vitesse longitudinale à $x/hstep=8,36$.

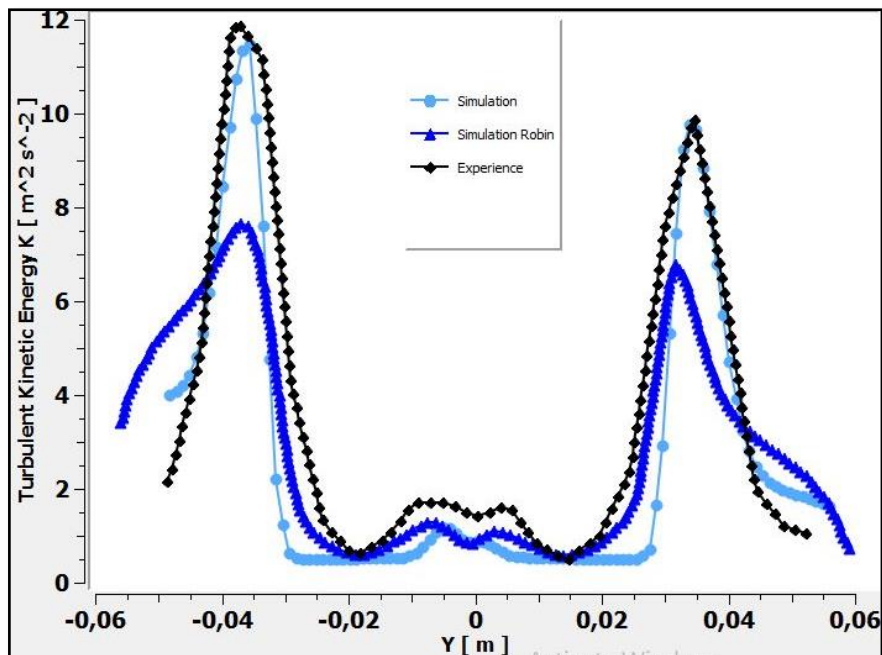


Figure (5.9a) : Courbes de l'énergie cinétique turbulente à $x/hstep=1,67$.

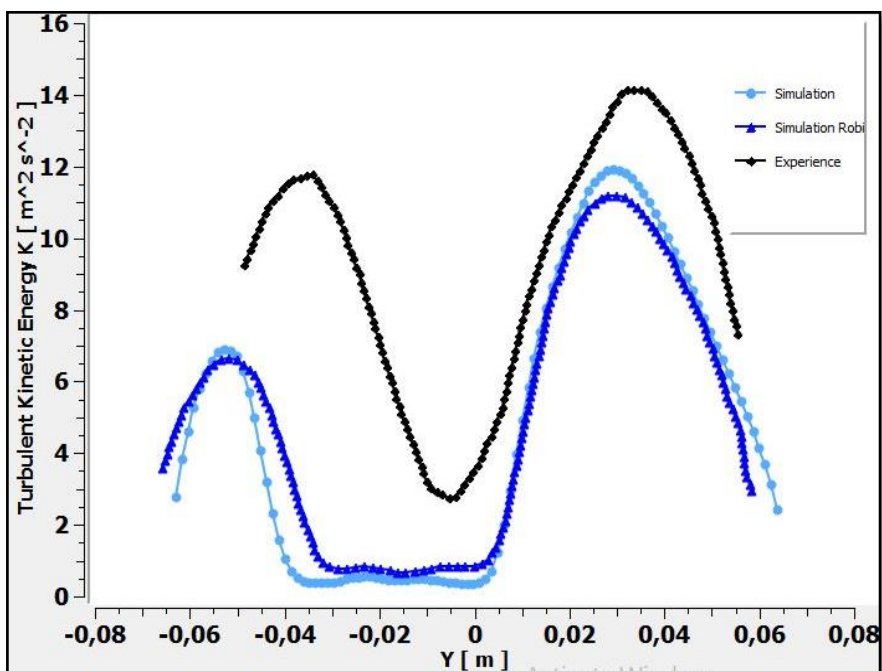


Figure (5.9b) : Courbes de l'énergie cinétique turbulente à $x/hstep=8,36$.

Remarque 1 :

La vitesse du fluide est uniforme à l'entrée, puis l'écoulement se développe en passant dans les canaux. La figure (5.7) montre que l'asymétrie se prononce après l'élargissement brusque. En comparant avec les résultats expérimentaux dans la Figure (5.8), on voit que notre simula-

tion apporte d'assez bons résultats et que la différence est due au fait que dans la simulation le fluide commence à se développer à l'entrée de la chambre de combustion contrairement au cas expérimental où il se développe dans les canalisations en amont de la chambre. On peut voir aussi dans cette figure l'inversement de l'écoulement.

D'après la figure (5.7), l'énergie cinétique turbulente est plus intense près des parois.

Dans la figure (5.9) on remarque qu'à $x/hstep=1,67$ les résultats de la simulation sont en adéquation avec ceux de l'expérience, cette station enregistre aussi la quantité d'énergie cinétique turbulente la plus élevée, mais à $x/hstep=8,36$ cette grandeur est sous-évaluée, ceci peut être dû à la rugosité des parois du banc d'essais qui ne sont pas prises en compte par les simulations. Des corrections du modèle de turbulence prenant en compte la diminution du nombre de Reynolds au niveau de la pointe de la plaque séparatrice des deux canaux permettrait sans doute d'améliorer l'estimation de l'énergie cinétique turbulente induite par le cisaillement en aval de cette plaque.

Remarque 2 :

Pour voir la différence entre les résultats de la simulation et l'expérience, on a calculé l'erreur relative pour les deux simulations :

- Pour le modèle $k-\omega/sst$ (notre simulation)

A la position $x/hstep=1,67$ le graphe de la vitesse longitudinale varie entre 0% et 5,2%

A la position $x/hstep=1,67$ l'énergie cinétique turbulente varie entre 0% et 4%

- Pour le modèle $k-\epsilon$ (Vincent Robin [16])

A la position $x/hstep=1,67$ le graphe de la vitesse longitudinale varie entre 0% et 1%

A la position $x/hstep=1,67$ l'énergie cinétique turbulente varie entre 3% et 30%

V.2. Ecoulement réactif :

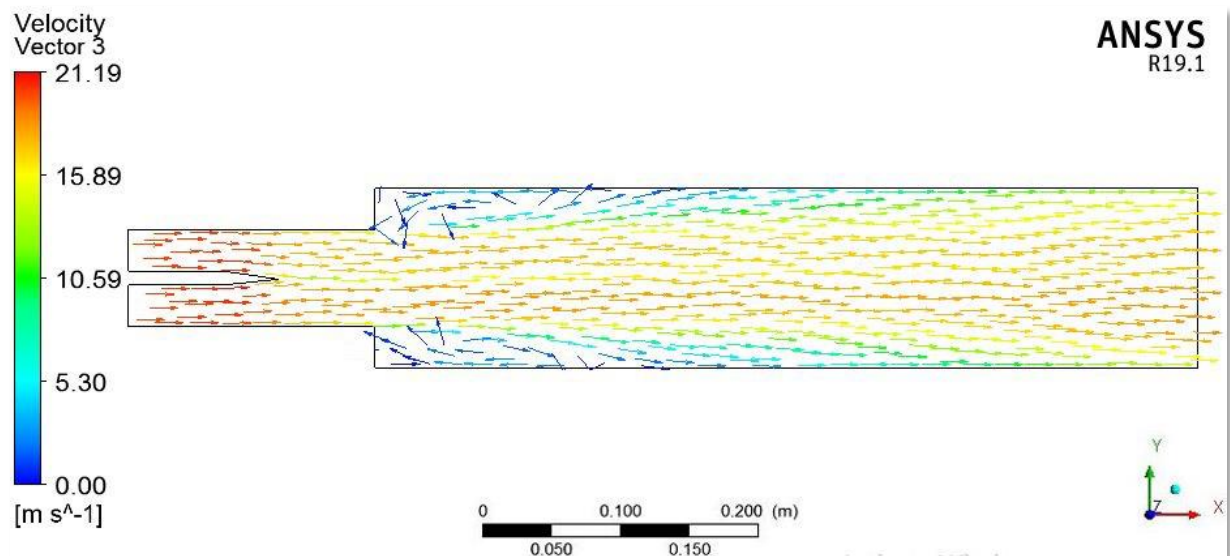
Dans ce cas réactif, nous utiliserons le modèle Finite-Rate/Eddy-Dissipation afin d'étudier l'effet de la richesse variable des deux mélanges sur la structure de l'écoulement. Trois configurations différentes étant étudiées : dans la première, la mixture (2) (haut) a une

richesse inférieure à la valeur critique $\phi_c=0.5$, tandis que la mixture (1) (bas) a une richesse supérieure à la valeur critique avec $\phi_1=0.9$; $\phi_2=0.4$ où $\phi_2 < \phi_{\text{critique}}$. Dans la seconde, les deux mélanges entrants ont une richesse supérieure à la valeur critique avec $\phi_1=0.9$; $\phi_2=0.7$. Dans la troisième les deux mélanges ont la même richesse $\phi_1 = \phi_2 = 0.8$

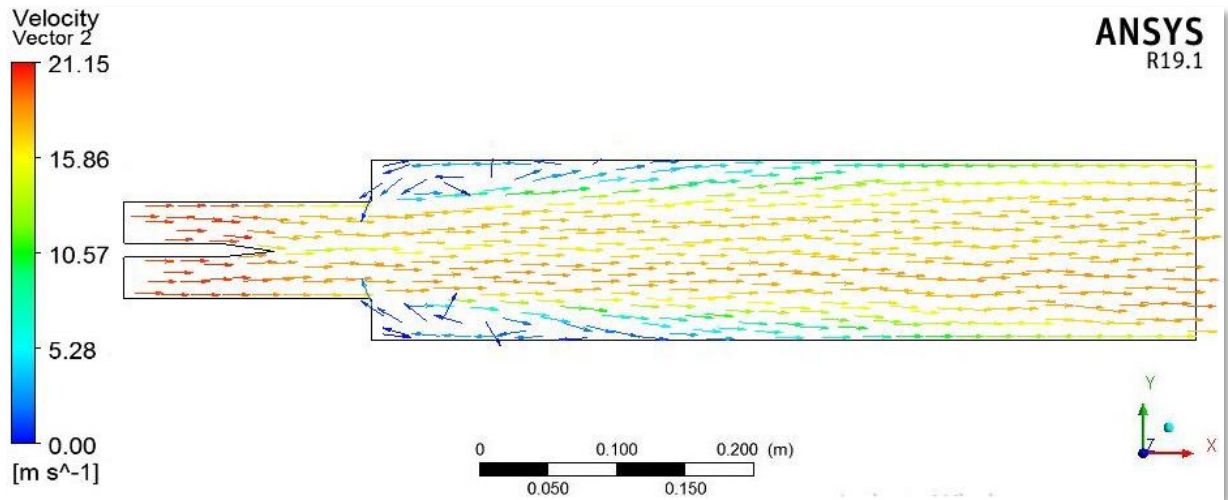
Les vecteurs vitesses, courbes des vitesses longitudinales et profils de températures sont respectivement présentés dans les figures (5.10), (5.11) et (5.12).

D'après la figure (5.10), on constate l'inversement de l'écoulement en aval de l'élargissement brusque et l'accélération de celui-ci à la sortie à cause de l'expansion des gaz due au dégagement important de chaleur.

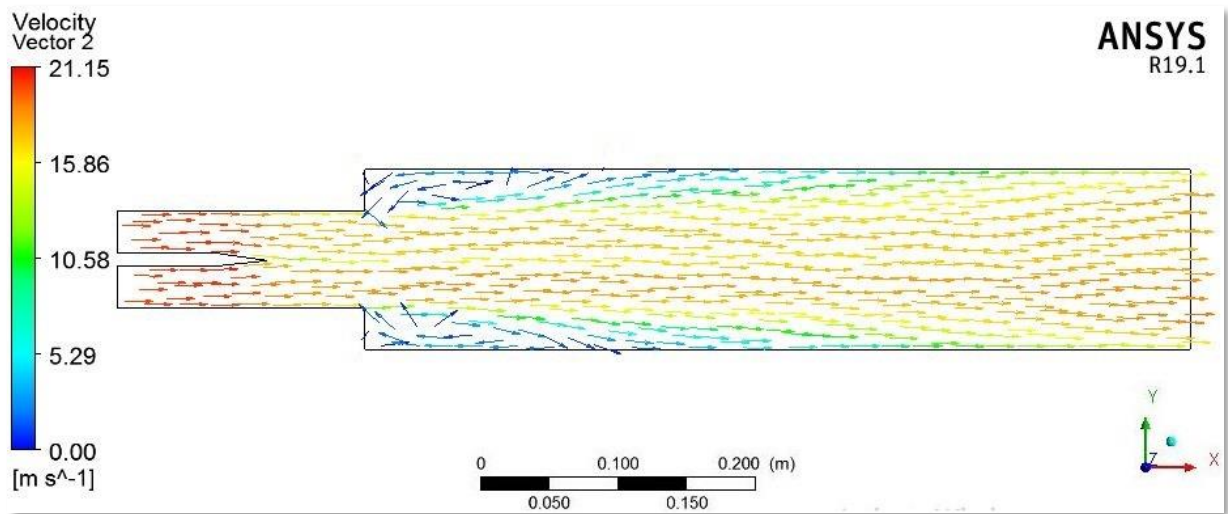
On peut observer sur les figures (5.11),(5.12), (5.13) et (5.14) une légère asymétrie des vitesses longitudinales en aval de l'élargissement brusque entre la partie haute et la partie basse de la chambre de combustion, qui est plus évidente à sa sortie. Cette différence est due à la variation de richesse entre les deux mélanges, ce qui provoque une accélération des gaz plus importante du côté du mélange le plus riche à cause d'une température plus élevée et une expansion des gaz plus importante.



(a)

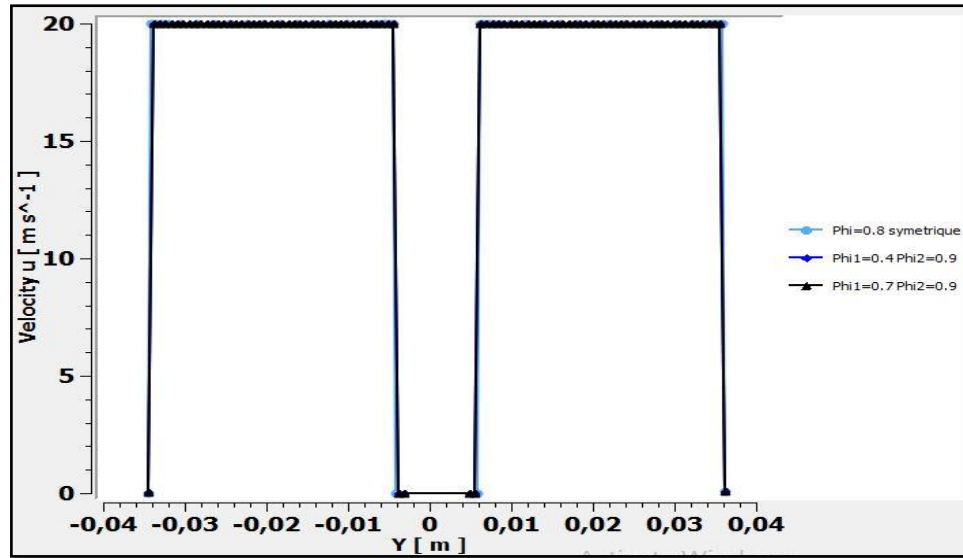


(b)

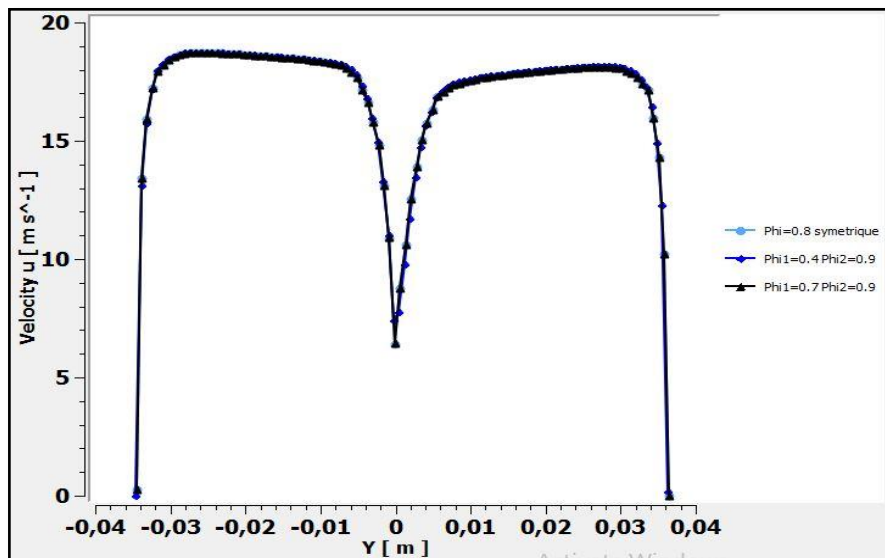


(c)

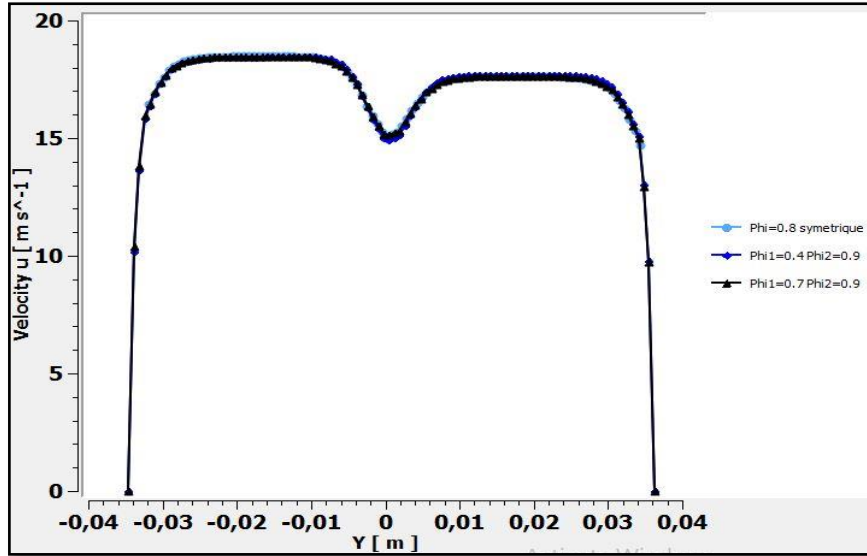
Figure (5.10) : Ecoulement réactif : vecteurs vitesse pour (a) $\phi_1=0.9$ et $\phi_2=0.4$ (b) $\phi_1=0.9$ et $\phi_2=0.7$ (c) $\phi_1= \phi_2=0.8$.



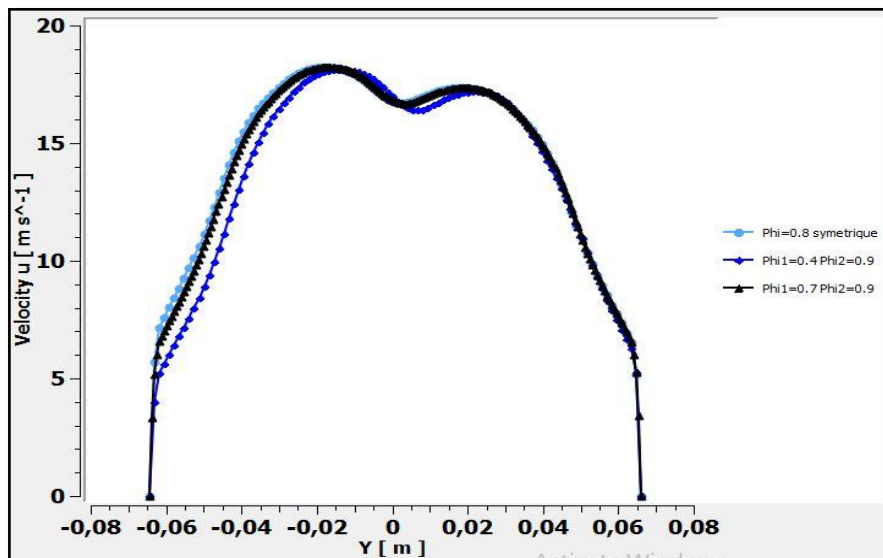
x=-0.1794 m :



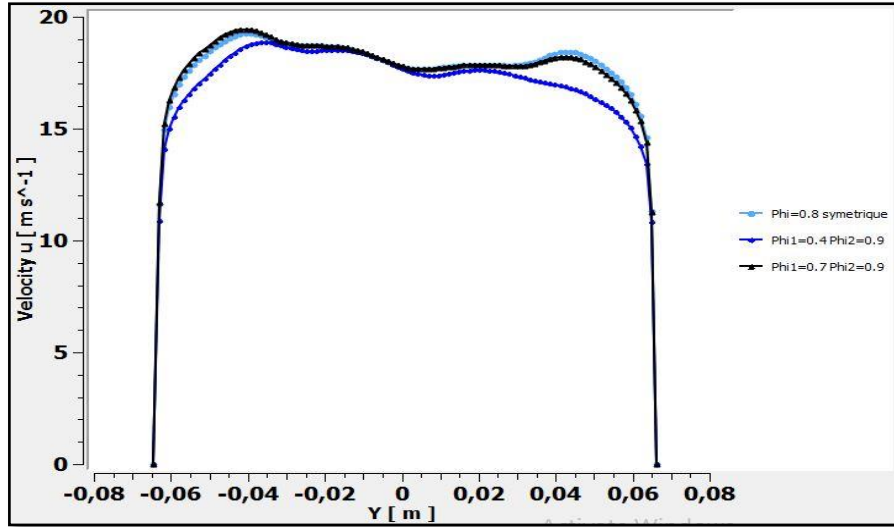
X=-0.0704 m :



X=0 m :



X=0.299 m :



X=0.598 m :

Figure (5.11) : Composante de la vitesse longitudinale moyenne de l'écoulement réactif pour trois richesses différentes.

Les profils de vitesse moyenne calculés en amont de la chambre de combustion sont en bon accord avec les profils expérimentaux comme le montre la figure (5.12). En revanche, les profils d'énergie cinétique turbulente calculés en amont de la chambre de combustion sont moins satisfaisants que dans le cas d'un écoulement non-réactif. On note que les niveaux de l'énergie cinétique turbulente dans ce cas réactif sont identiques à ceux calculés dans le cas inerte alors que l'expérience démontre une augmentation de ces niveaux aux mêmes endroits. Cette augmentation d'énergie cinétique turbulente mesurée dans les canaux est essentiellement due aux fluctuations engendrées par le mouvement de la flamme.

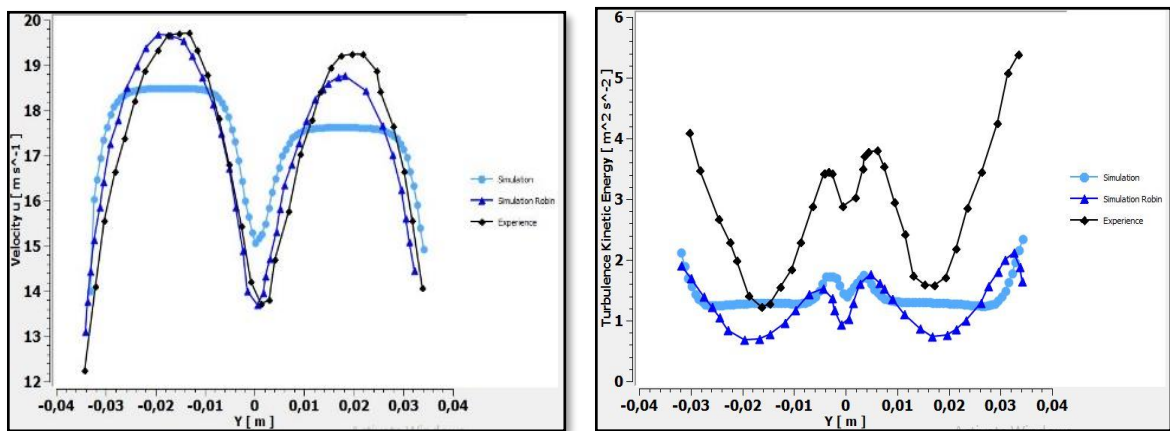


Figure (5.12a) : Courbes comparatives de la composante de la vitesse longitudinale (courbes de gauche) et de l'énergie cinétique turbulente (courbes de droite) à $x/hstep=0$ pour $\phi_1 = \phi_2=0.8$.

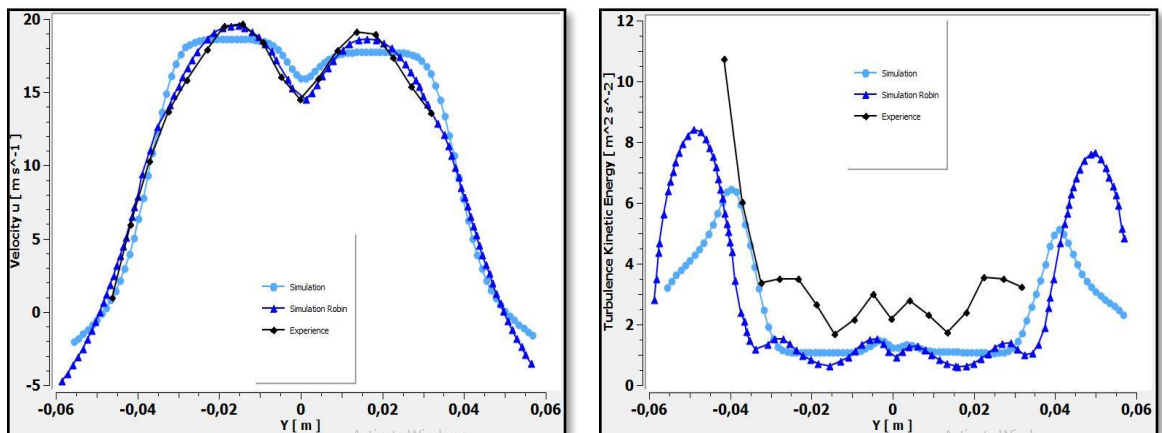


Figure (5.12b) : Courbes comparatives de la composante de la vitesse longitudinale (courbes de gauche) et de l'énergie cinétique turbulente (courbes de droite) à $x/hstep=1,67$ pour $\phi_1=$
 $\phi_2=0.8$.

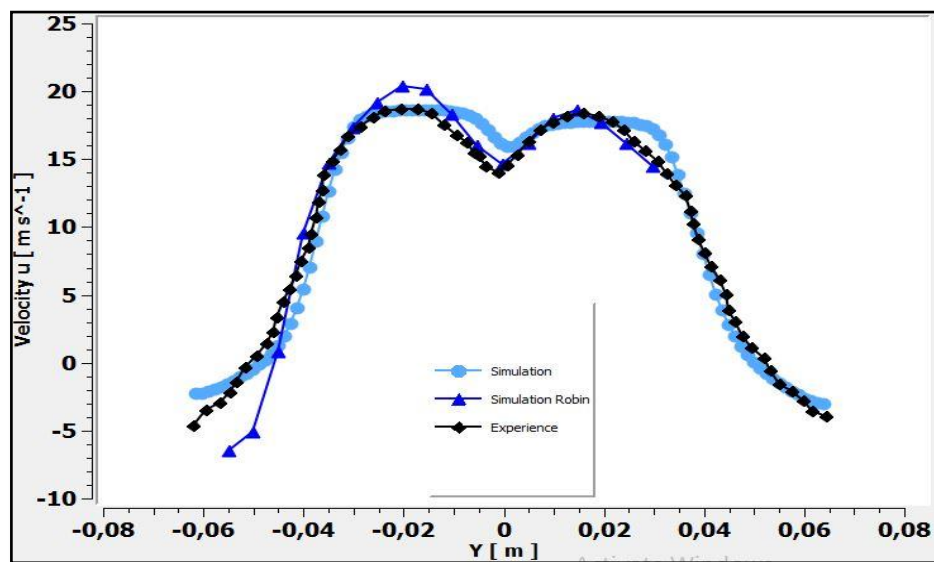


Figure (5.13) : Courbes comparatives de la composante de la vitesse longitudinale à $x/hstep=1,67$ pour $\phi_1=0.9$ et $\phi_2=0.7$.

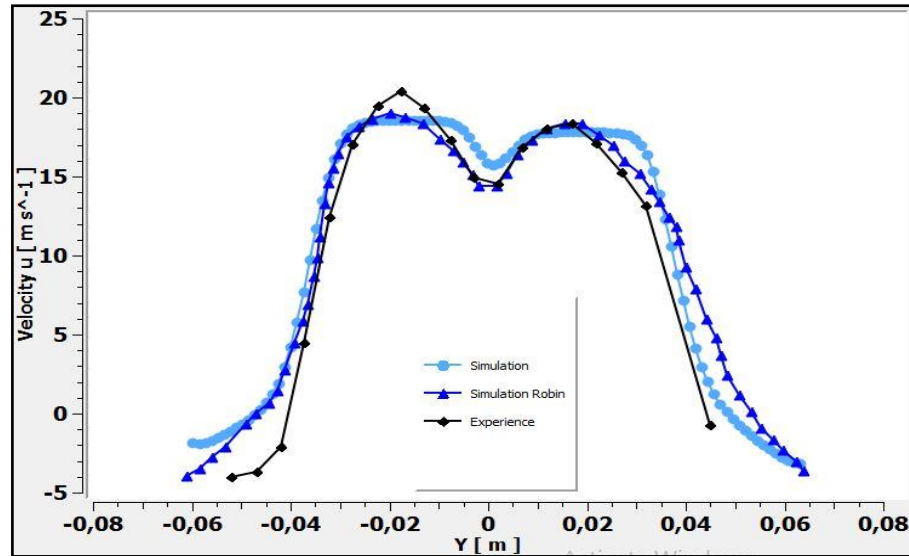
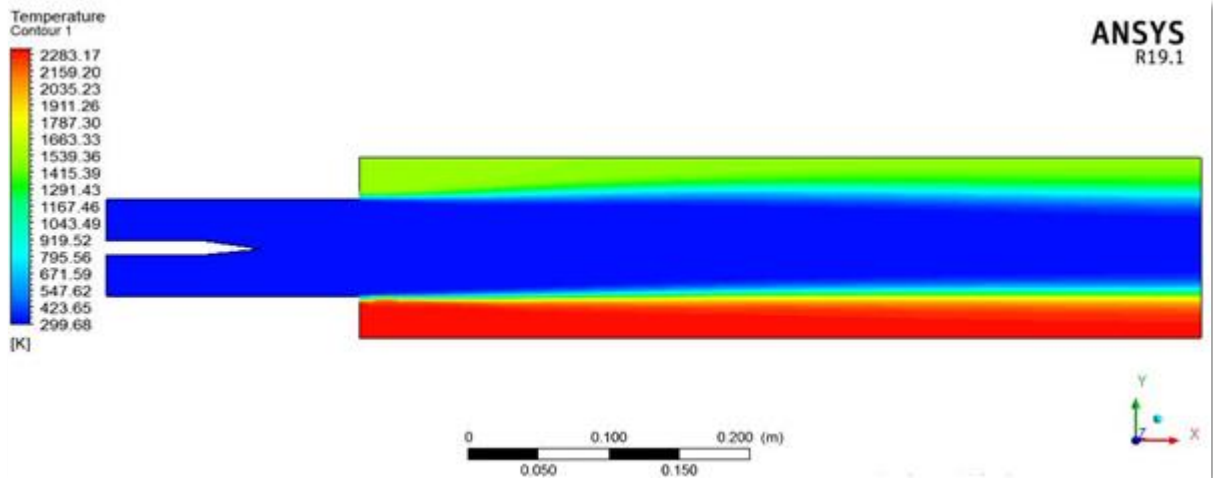


Figure (5.14) : Courbes comparatives de la composante de la vitesse longitudinale à $x/hstep=1,67$ pour $\phi_1=0.9$ et $\phi_2=0.4$.

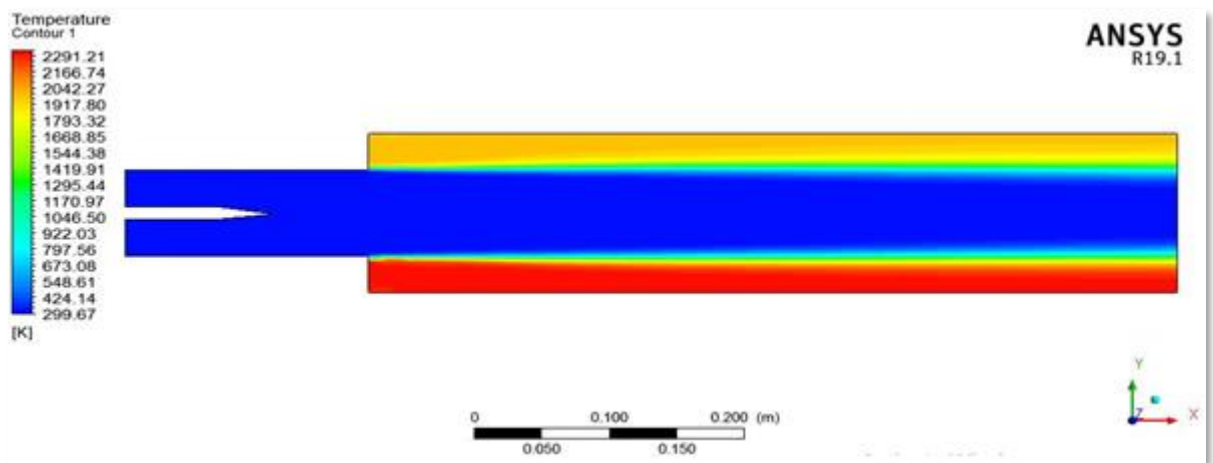
Nous avons présenté dans les figures (5.15) et (5.16) les contours ainsi que les courbes des températures à $x=0m$, $x=0.299m$, $x=0.598m$, c'est-à-dire en aval de l'élargissement brusque. Car c'est dans cette zone que se produit la combustion, on peut le constater par l'augmentation de la température. Cette dernière est plus importante pour le mélange le plus riche.

On s'aperçoit d'après les figures (5.17) et (5.18) que les niveaux maxima de température moyenne calculés sont plus élevés que ceux obtenus par les mesures. Ce défaut est dû aux conditions aux limites utilisées dans nos simulations qui considèrent qu'il n'y a pas de pertes thermiques aux parois. Mais malgré ce défaut dans l'évaluation numérique de la température maximum, on constate que la position de flamme turbulente est bien prédite.

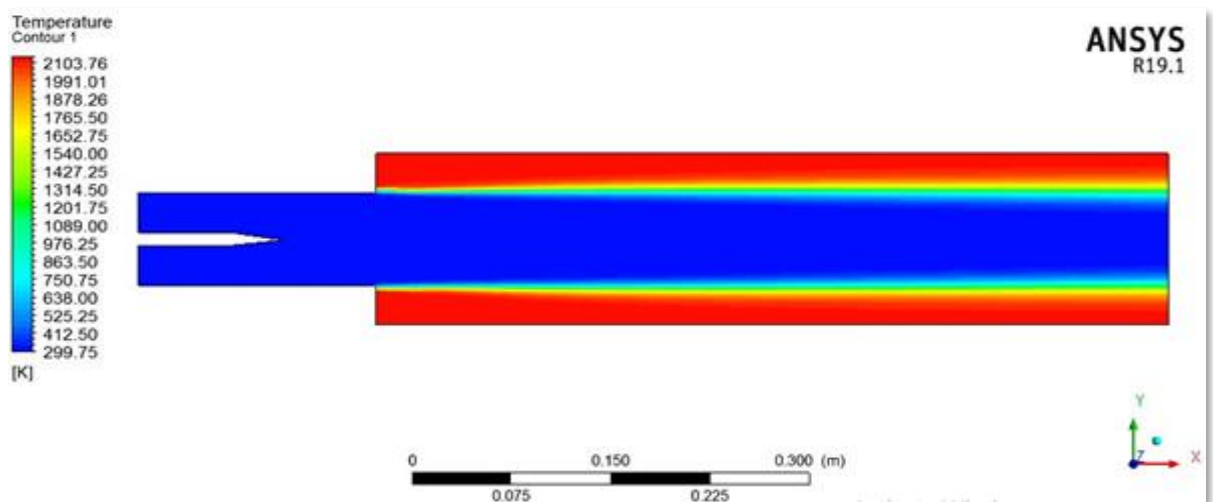
On constate aussi que la flamme est stabilisée à l'élargissement et qu'il n'y a pas de retour vers les entrées des mélanges.



(a)

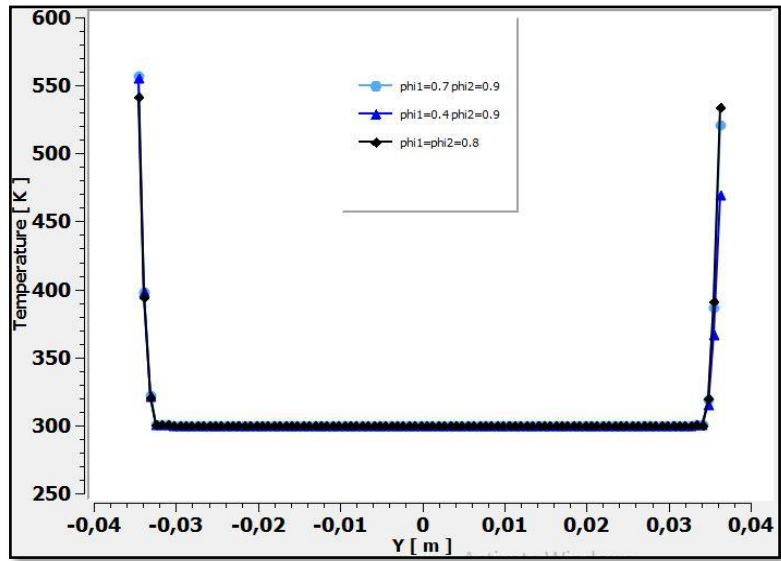


(b)

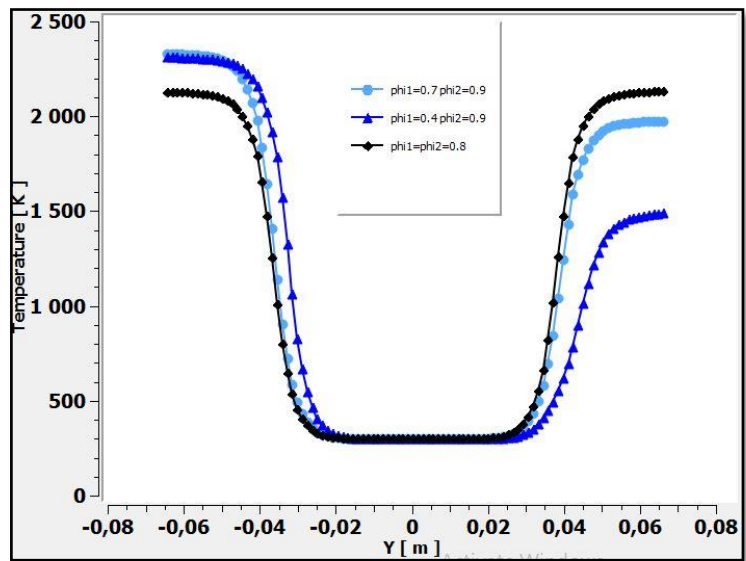


(c)

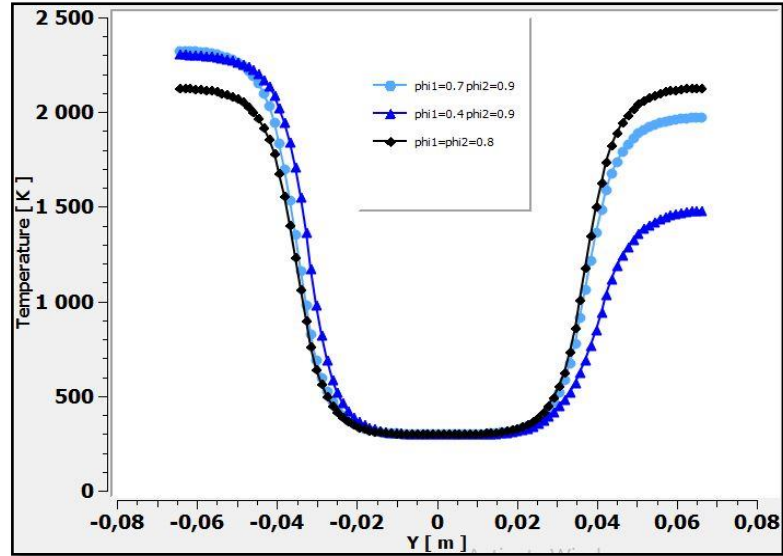
Figure (5.15) : Contour de températures de l'écoulement réactif (a) $\phi_1=0.9$ et $\phi_2=0.4$ (b) $\phi_1=0.9$ et $\phi_2=0.7$ $\phi_1=\phi_2=0.8$.



X=0 m :



X=0.299 m :



X=0.598 m :

Figure (5.16) : Courbes comparatives des températures de l'écoulement réactif pour les trois cas de richesses différentes.

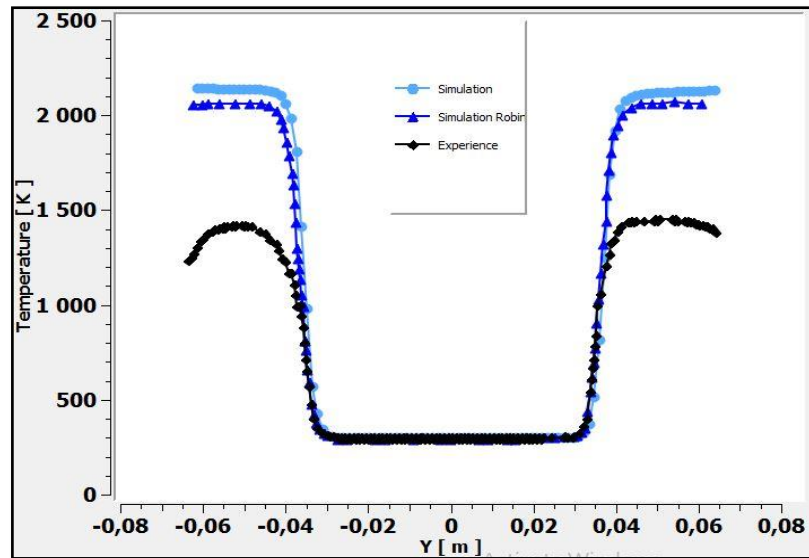


Figure (5.17) : Température moyenne à $x/hstep=1,67$ pour $\phi_1 = \phi_2 = 0.8$.

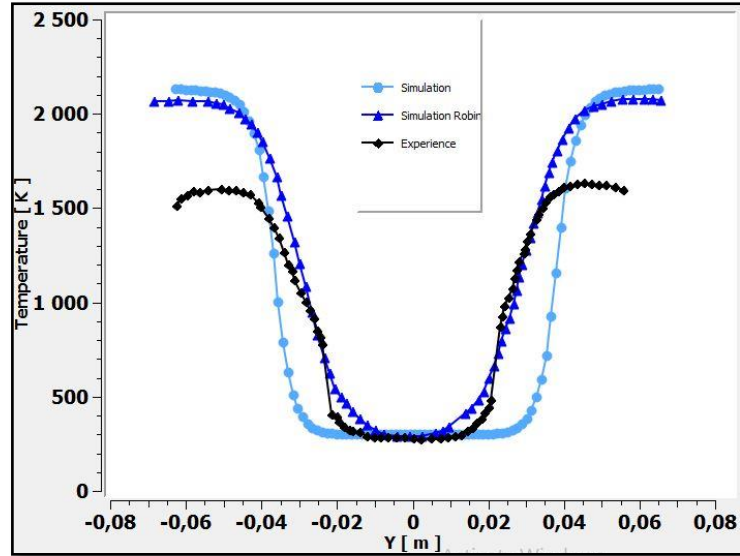


Figure (5.18) : Température moyenne à $x/hstep = 8,36$ pour $\phi_1 = \phi_2 = 0.8$.

On passe ensuite à la présentation des fractions massiques des différentes espèces présentes dans l'écoulement qui sont le C_3H_8 , O_2 , N_2 , CO_2 , H_2O et NO pour le cas réactif. Ceci nous permettra d'analyser la consommation des réactifs et la formation des produits.

Tableau (5.1) : Contours des fractions massiques pour $\phi_1=0.9$ et $\phi_2=0.4$

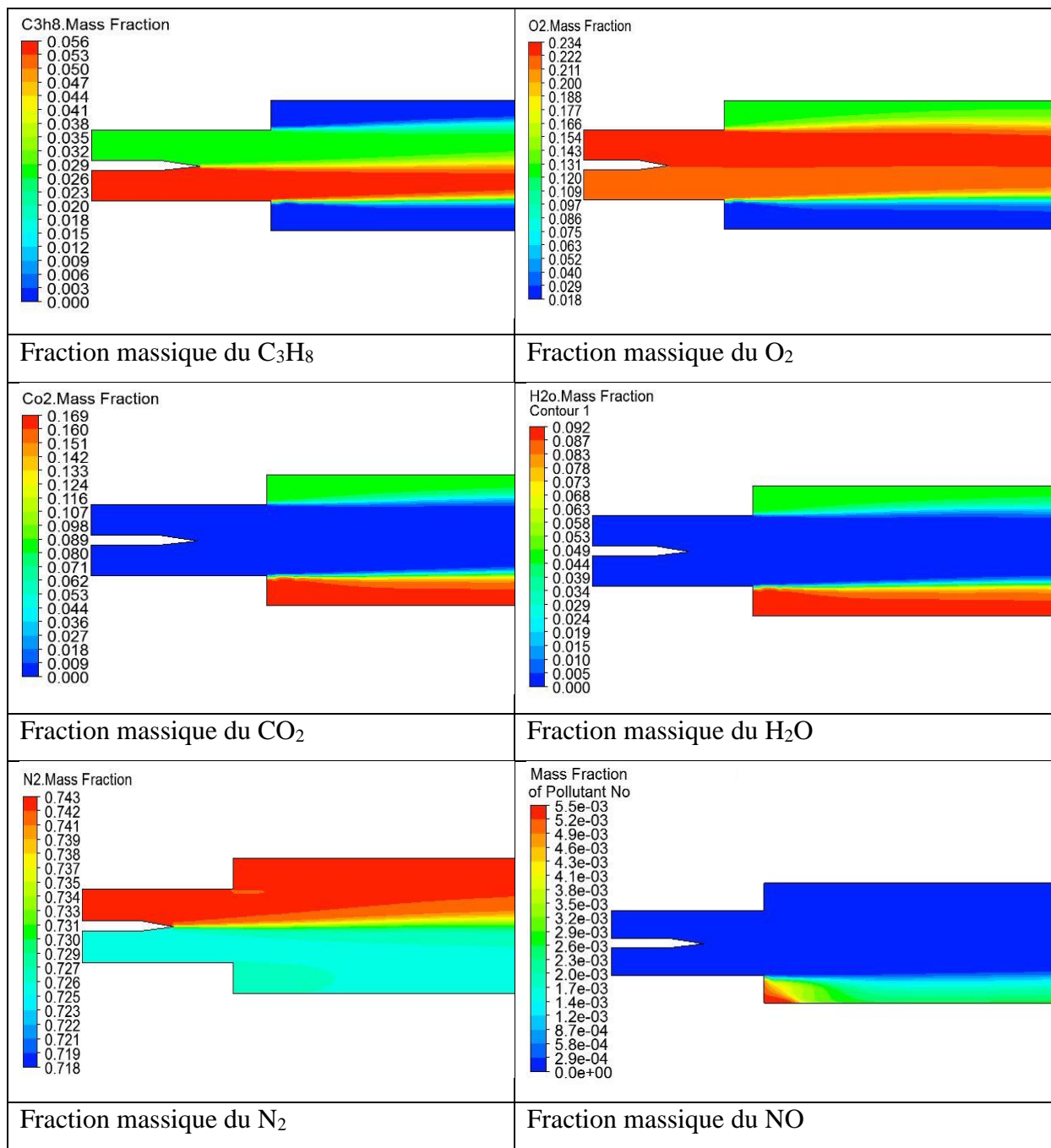


Tableau (5.1) : Contours des fractions massiques pour $\phi_1=0.9$ et $\phi_2=0.7$

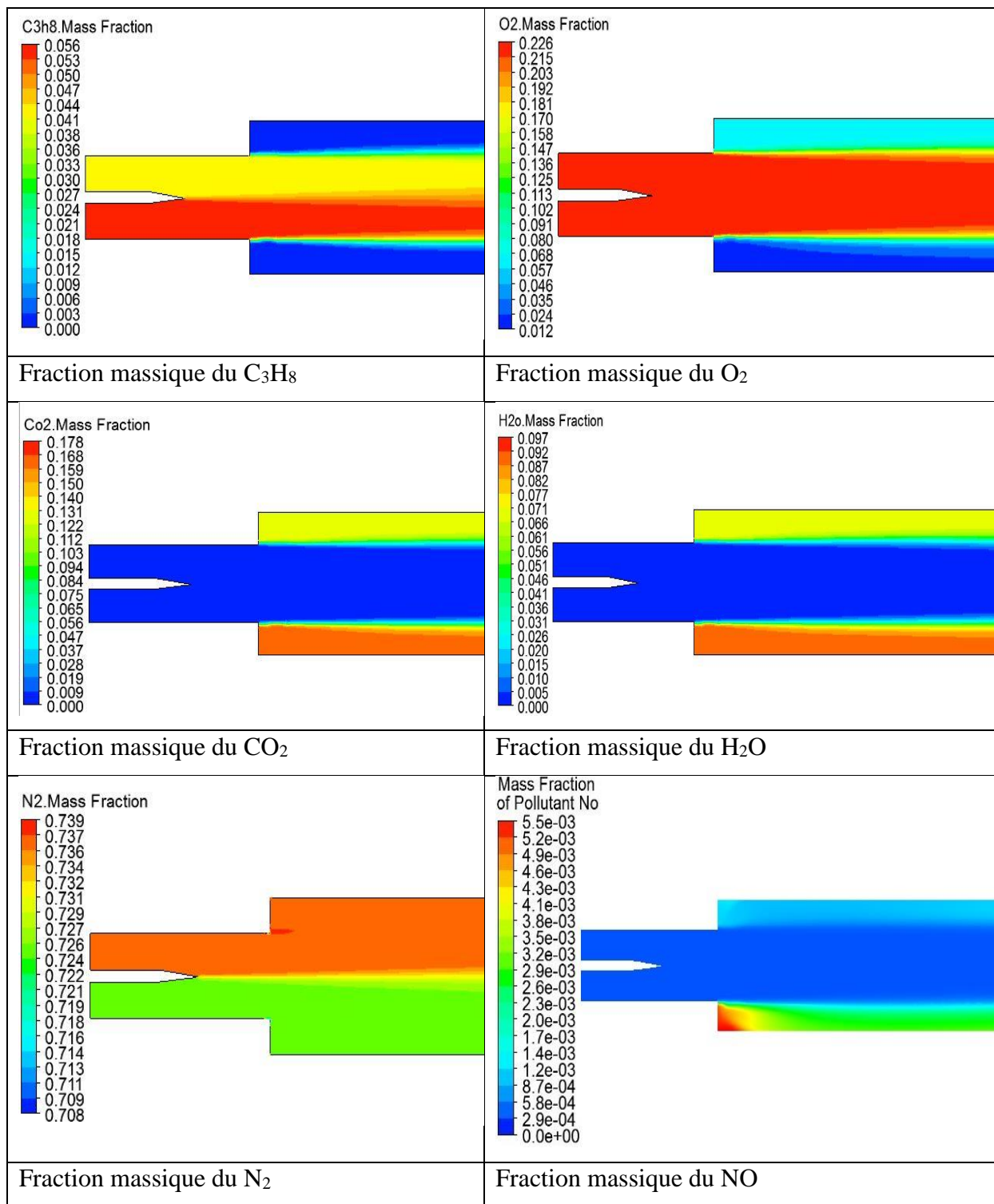
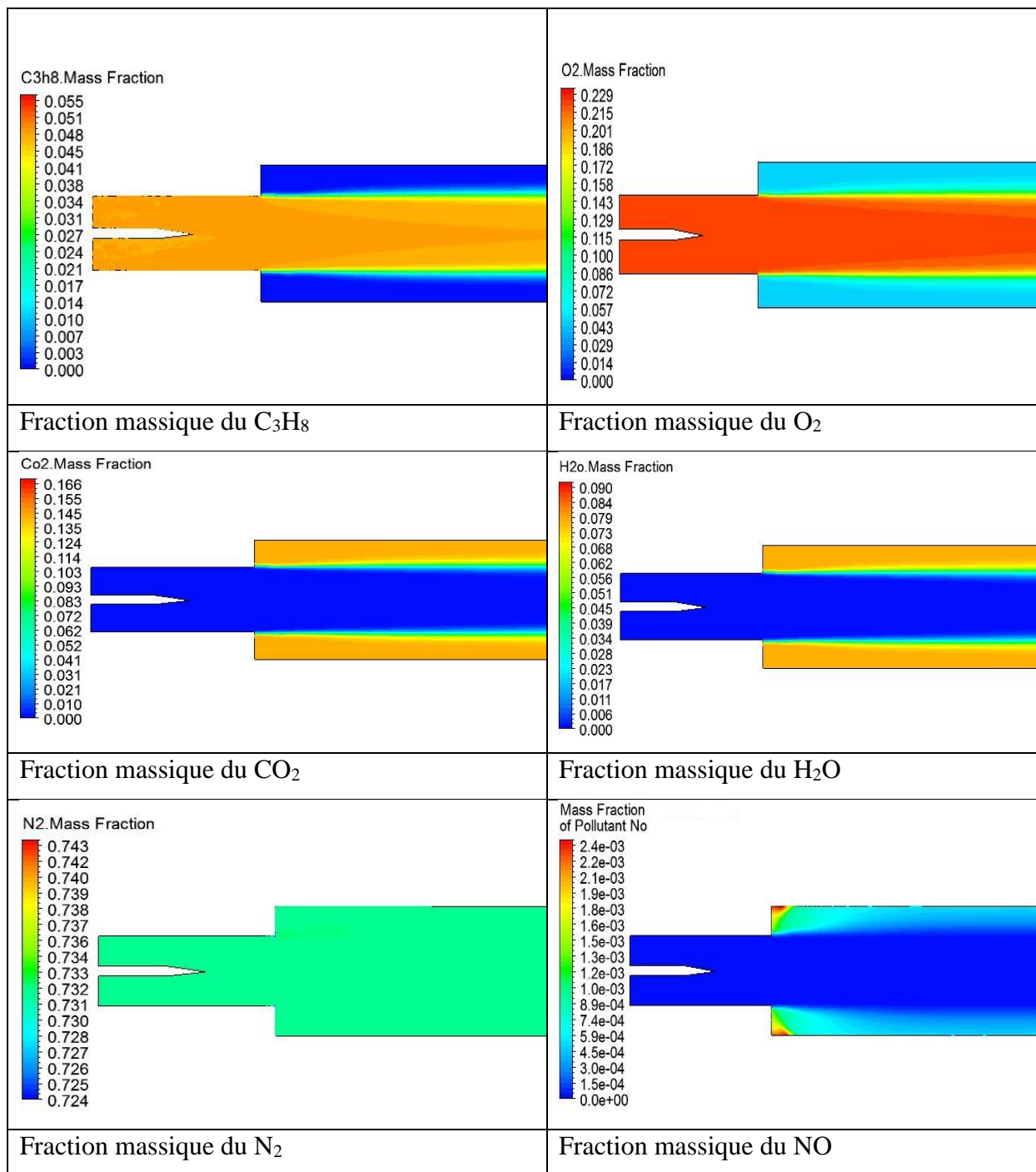


Tableau (5.1) : Contours des fractions massiques pour $\phi_1=\phi_2=0.8$



On note que ces variations sont directement proportionnelles à la richesse du mélange.

Remarque : la production de polluant dans les zones de stagnation est causée par la faible vitesse et la turbulence qui provoque un mauvais mélange. La production est plus importante pour le mélange le plus riche. L'augmentation de la richesse induit une production plus importante de polluants.