

BE combustion : Flamme de pré-mélange

Patacini Lucas & Saura Nathaniel

February 21, 2017

Introduction

Cette étude propose d'étudier une flamme partiellement pré-mélangée dans un brûleur. Dans l'étude d'une flamme de pré-mélange classique, le comburant et le carburant sont pré-mélangés avant d'être injectés à l'inverse d'une flamme de diffusion où le comburant et la carburant se mélangent dans le milieu où se trouve le comburant (air par exemple).

Notre cas est légèrement différent puisque après injection du pré-mélange dans le brûleur un second jet d'air apporte de l'air dans le pré-mélange et le confine. L'injection du mélange air/carburant (ici méthane) possède une composante axiale et tourbillonnaire.

Au cours de cette simulation, nous allons tenter d'étudier la flamme provoquée par une telle injection ainsi que différentes caractéristiques comme la répartition des composants, des produits etc.

1 Évolutions des constituants au cours de la réaction

Dans une flamme de pré-mélange, la réaction commence lorsque les produits atteignent une certaine température appelée température d'ignition T_i . Lorsque cette valeur est atteinte, le phénomène d'explosion cinétique se produit, et les produits commencent à être formés.

La zone précédant cette explosion cinétique est marquée par une évolution de la température plutôt lisse : c'est la zone de préchauffage. Puis la température augmente très vite (explosion cinétique) jusqu'à stagner à la température des produits. C'est dans cette zone d'évolution rapide que se produisent les réactions comme on peut le voir dans les deux figures suivantes :

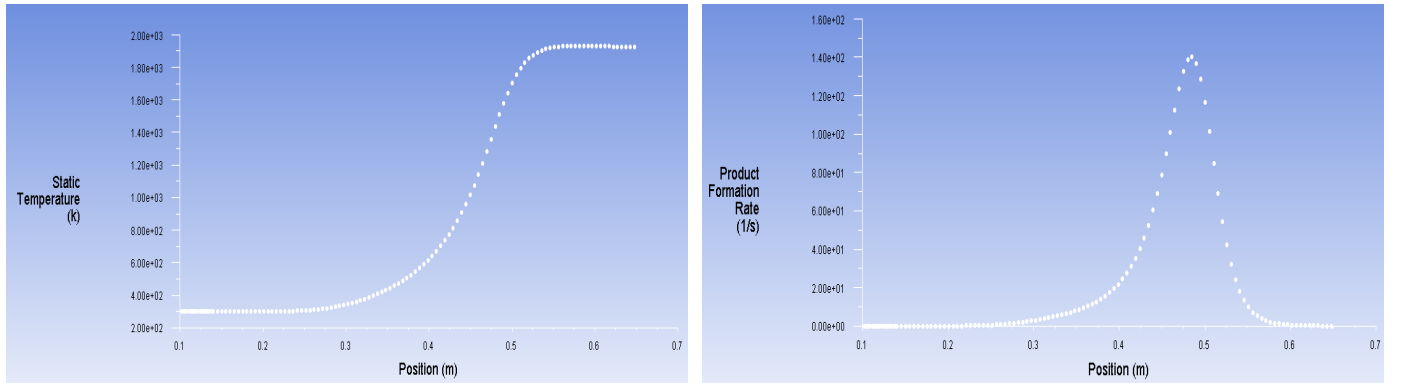


Figure 1 : À gauche nous avons tracé l'évolution de la température le long de l'axe x . À droite, la zone dans laquelle se produisent des réactions. Cette zone commence au même point que celui qui marque le changement de profil d'évolution de la température $x \approx 0.4$.

On vérifie avec un contour, la localisation de la création de produits :

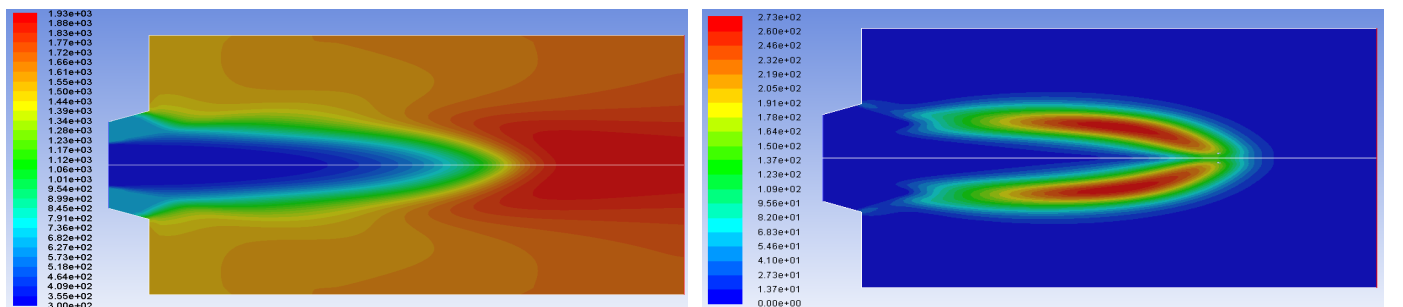


Figure 2 : À gauche nous avons tracé le contour de température dans le brûleur. À droite nous avons représenté la zone de formation de produit.

La figure de droite nous permet de localiser la flamme. Dans la figure de gauche, on distingue la zone de préchauffage (du bleu au vert) qui s'étend sur plus de la moitié du brûleur. Puis dans une zone très courte, la température passe de 1200 K à $\approx 2000\text{ K}$ qui correspond à la zone d'explosion cinétique. La zone rouge à l'aval de la flamme correspond aux zones de produits brûlés.

Si nous augmentions la température du jet pré-mélangé, la zone de pré-chauffage s'étendrait moins en espace et la flamme apparaîtrait plus tôt.

Enfin, on remarque que dans le coin supérieur gauche, la température est élevée bien qu'il n'y ait aucune réaction ; et comme nous le voyons figure (3), cette température est due à la recirculation des produits brûlés (donc chauds) dans cette zone.

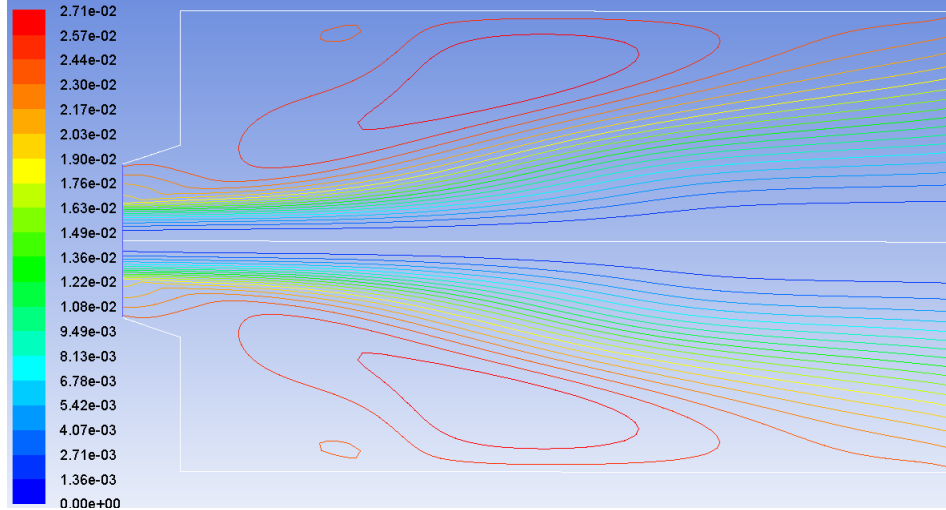


Figure 3: Tracé de la fonction de courant. Cette valeur permet de suivre le mouvement des particules fluides. Nous observons une zone de circulation dans la partie supérieure qui explique que dans cette zone la température est élevée malgré l'absence de réaction voir figure (2).

On effectue des coupes selon différents x afin d'obtenir l'évolution de la température selon y aux différents endroits du brûleur :

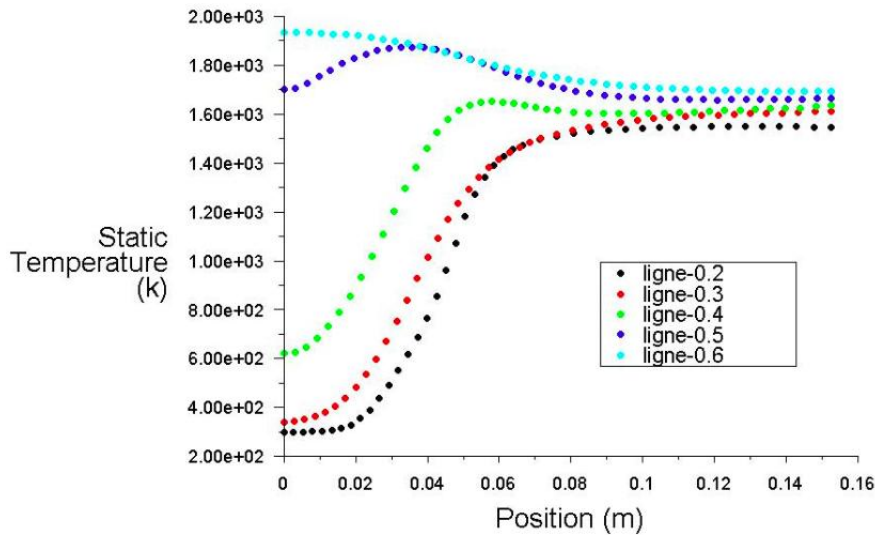


Figure 4

Pour les coupes à $x = 0.2$ et $x = 0.3$ la température augmente en s'éloignant de l'axe des abscisses car nous sommes dans la zone de recirculation des produits brûlés. La température initiale est celle du mélange injecté.

Pour la coupe $x = 0.4$, la température initiale est supérieure à celle du mélange injecté, les réactions chimiques ont commencé ce qui augmente alors la température. Entre $y = 0.03$ et $y = 0.06$, nous mesurons la température de la flamme ; au-delà, la température stagne à une valeur voisine de celle des deux courbes précédentes, c'est la température des produits brûlés.

Pour la coupe $x = 0.5$, la flamme est très proche de l'axe des abscisse (voir figure 2) et il est donc normal de retrouver une température très élevée. Au-delà de $y = 0.06$ on mesure la température de l'air contenant les produit brûlés.

Enfin la dernière coupe se situe pour une abscisse pour laquelle, il n'y que des produits brûlés, la température ne varie pas beaucoup sur tout l'axe y .

En complément d'analyse on peut visualiser la répartition des constituants dans le brûleur :

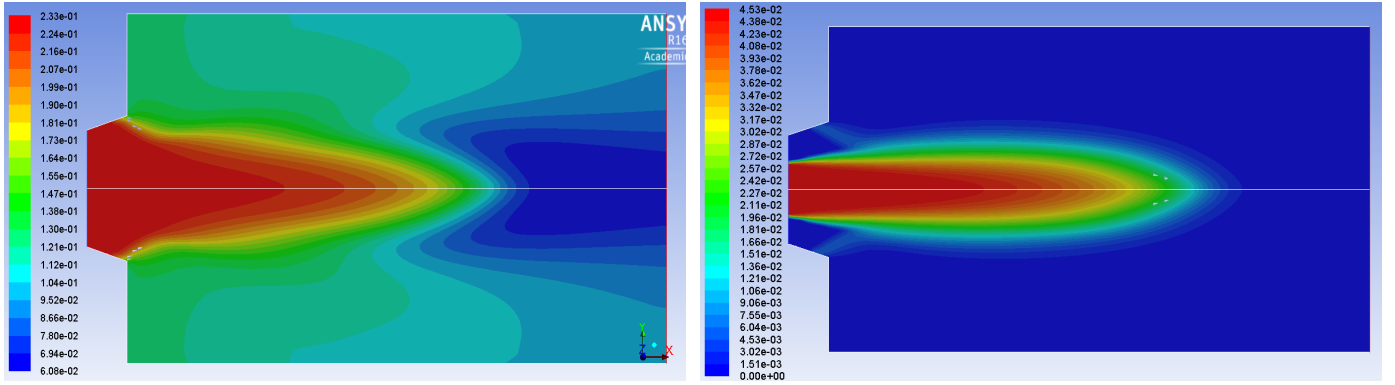


Figure 5: À gauche : contour de fraction massique de l'oxygène ; à droite contour de fraction massique du CH_4 , notre carburant. Le méthane injectée est totalement brûlée, on en retrouve donc plus en dehors de la flamme. La zone d'extinction de sa fraction massique est un bon indicateur de la longueur de la flamme. À gauche la présence d'oxygène en dehors de la limite de flamme s'explique par une combustion pauvre en carburant par rapport à l'apport d'air.

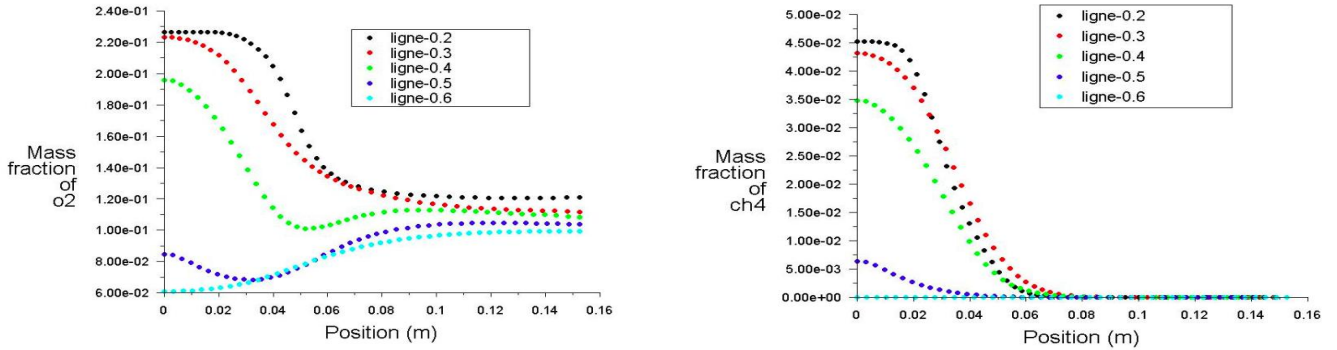


Figure 6: Coupes à différents x des fractions massiques de l' O_2 (à gauche) et du méthane (à droite). À différents x l'épaisseur de la zone de présence de CH_4 est à peu près la même, jusqu'à ce qu'on ait atteint le bout de la flamme. Pour l' O_2 , en dehors de la zone de combustion, on observe une fraction massique non nulle causée par la recirculation.

Dans la figure (6), on voit que l'épaisseur du jet de CH_4 ne varie pas jusqu'à ce qu'on ait atteint la zone de combustion. Cette conservation de l'épaisseur peut être expliquée par la vitesse *swirl* : l'entraînement hélicoïdal induit par cette vitesse limite les effets de diffusion latérale et confine cette flamme.

Au niveau de l'oxygène, on distingue deux zones : dans le jet (pour $y \in [0; 0.06]$), la concentration d' O_2 est importante (coupe 0.2, 0.3 et 0.4) jusqu'à la fin de la flamme puis la deuxième zone dans laquelle nous avons une fraction massique constante (non-nulle). Cette valeur est assurée par les cellules de convection vues plus haut.

Pour des coupes à x plus grand, on observe plutôt la tendance inverse : la fraction massique est très faible (dans la zone $y \in [0; 0.06]$) puisque l' O_2 est presque entièrement brûlé, puis converge dans le reste de la coupe vers une valeur assez proche de celle qu'on avait pour les autres coupes.

Au niveau des produits, voici les contours obtenus :

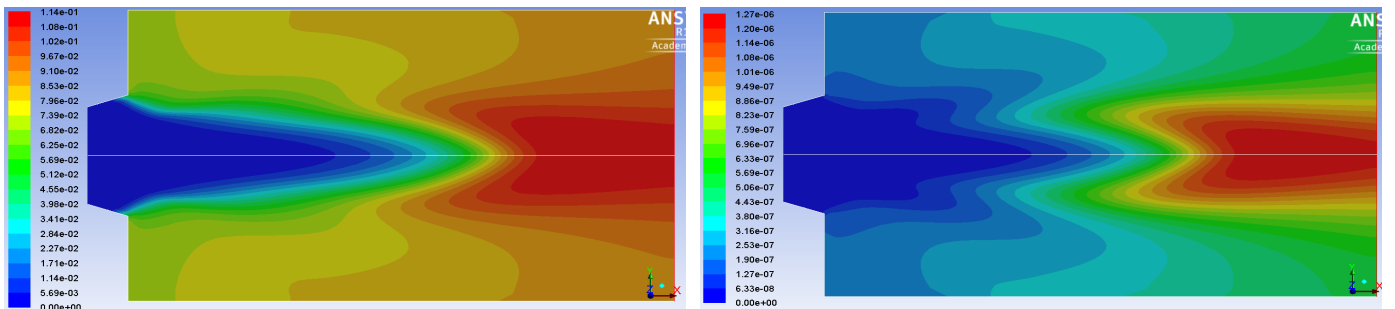


Figure 7: Contour des produits : à gauche CO_2 à droite H_2O . La production de ces éléments n'a pas lieu au même endroit, nous supposons que leur création est dépendante de la température.

L'azote (N_2) est présent dans les réactifs mais est considérée comme élément inerte (CF cours). Dans les produits il y a également le monoxyde de carbone (CO).

2 Vitesse et influence

On commence par regarder le contour de la magnitude du vecteur vitesse (comme demandée) ainsi que les vecteurs vitesses :

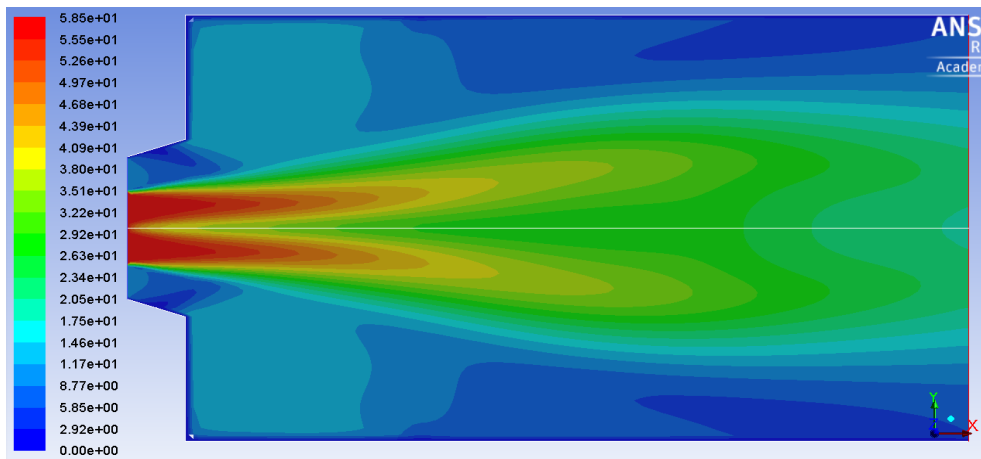


Figure 8: Tracé du contour de vitesse (magnitude).

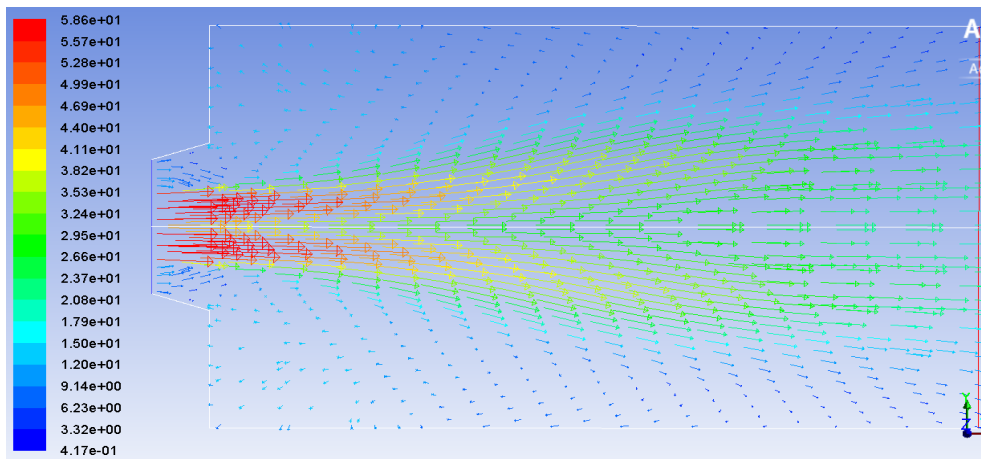


Figure 9: Tracé des vecteurs de la vitesse pour une meilleure visualisation du champ de vitesse.

Sur la figure (9), on voit que le flux d'air pur injecté est aspiré par le pré-mélange carburant-air injecté en swirl. Cette aspiration stabilise le jet de pré-mélange et assure une forme cylindrique du jet dans les débuts de l'injection. Le jet s'élargit lorsque qu'il traverse la flamme, ce qui crée une augmentation de la vitesse radiale au dépend du swirl.

La composante swirl de la vitesse est très importante ; elle augmente la probabilité de contact entre l'air et le carburant, ce qui accélère l'augmentation de la température et donc l'apparition de la flamme.

Conclusion

Dans ce projet, nous avons pu étudier les caractéristiques d'une flamme partiellement pré-mélangée et discuter de l'effet du "swirl". Cette composante de la vitesse impliquait une injection hélicoïdale favorisant le mélange avec le second jet composé d'air pur.

Au travers la figure (3) nous avons pu observer des zones de recirculation de produits chauds mais également de l'oxygène, ce qui nous indiquait une combustion pauvre (5). Nous avons également mis en évidence l'effet de la température initiale du jet sur la flamme : si on augmente la température initiale, la zone de pré-chauffage s'en retrouverait réduite ce qui donnerait une flamme moins longue et une production de produits plus tôt.