

# Etude numérique de l'effet de l'emplacement des brûleurs dans un four de réchauffage

M. CHAOUR<sup>1,2</sup>, S. BOULKROUNE<sup>1,2</sup>, M. BOUREBIA<sup>1</sup>, S. BOUDEBOUS<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centre National de Recherche Scientifique et Technique en Soudage et Contrôle, Unité de Recherche Appliquée en Sidérurgie Métallurgie, URASM/CSC, B.P 196, 23000 Annaba, ALGERIE.

<sup>2</sup>Laboratoire d'Energétique Appliquée et Environnement, Département de Génie Mécanique, Faculté de Sciences de l'Ingénieur, Université Constantine 1, Route d'Ain El Bey, 25017 Constantine, ALGERIE.

**Abstract:** This work aims to evaluate the operating process of the diffusion flame industrial burners. We are particularly interested in the effect of the position of the burner's impact on the dynamic and thermal flow field characteristics as well as on the flame stability and the resulting flow field composition. The study was conducted in two positions in the industrial gas burner 250 kilowatt. Numerical simulations are performed using the computer code FLUENT, using the turbulence standard k- $\epsilon$  model coupled to turbulent combustion ED (Eddy Dissipation). The results obtained for different models positions of the burner shows that the flow field structure and the flame shape in the combustion chamber depend on the location of the burner.

**Keywords:** industrial burner, numerical simulation, standard k- $\epsilon$  model, Turbulent Combustion.

**Résumé :** Ce travail s'inscrit dans le cadre d'une étude visant l'optimisation des paramètres de fonctionnement des brûleurs industriels à flamme de diffusion. L'exemple développé ici s'intéresse particulièrement à l'étude de l'effet de la position des brûleurs sur les caractéristiques dynamique et thermique de l'écoulement ainsi que leurs impacts sur la stabilité de la flamme et la composition du mélange. L'étude est menée sur deux positions du brûleur industriel à gaz de 250 kilowatt. Les simulations numériques sont effectuées à l'aide du code de calcul FLUENT, en utilisant le modèle de turbulence k- $\epsilon$  standard couplé au modèle de combustion turbulente ED (Eddy Dissipation). Les résultats obtenus pour différents positions des brûleurs montrent que la structure de l'écoulement et la forme de la flamme dans la chambre de combustion dépendent de l'emplacement du brûleur.

**Mots-clés :** Brûleur industriel, Simulation numérique, Modèle k- $\epsilon$  Standard, Combustion Turbulente.  
E-mail: chaourmed@yahoo.fr

## Nomenclature

h Enthalpie,  
M Masse moléculaire,  
p Pression,  
e Energie interne,  
t Temps,  
T Température,  
u Composante de vitesse,  
w Terme source,  
y Fraction de masse,

## Symboles Grecs

k Conductivité thermique  
 $\rho$  Densité de masse,

## Indices

$\alpha$  Espèces chimique,  
i, j Les composants des paramètres vectoriel sur les axes (x, y).

## I. INTRODUCTION

La combustion turbulente se rencontre dans l'industrie le plus souvent dans les brûleurs à gaz, les turbo-réacteurs et les moteurs des fusées. La turbulence joue un rôle indispensable pour mélanger le plus rapidement possible les gaz en présence, elle est due essentiellement aux forts gradients de vitesse qui existent entre l'air et le gaz.

Dans le secteur industriel, les brûleurs constituent l'alternative la plus adoptée pour convertir l'énergie fossile en énergie thermique. Ceci a incité plusieurs auteurs [1] et [2], à optimiser le fonctionnement de ces brûleurs afin d'augmenter leurs rendements et diminuer leurs émissions.

La modélisation de la combustion turbulente nécessite généralement une prise en compte d'une cinétique complexe ; par ailleurs, la simulation de la formation des polluants exige un calcul du dégagement de chaleur satisfaisant.

Dans ce travail, nous nous intéressons à la simulation numérique d'un écoulement turbulent avec une combustion du mélange méthane-air sur deux positions des brûleurs industriels pour différents modes de fonctionnement pour examiner l'effet des brûleurs sur les caractéristiques de l'écoulement dans la chambre de combustion.

## II. FORMULATION MATHÉMATIQUE DU PROBLÈME

Les équations de bilan de l'aérothermochimie utilisé dans une étude de la combustion pour un écoulement compressible sont [3] et [4].

Continuité

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u) = 0 \quad (1)$$

Quantité de mouvement

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j u_i) = -\nabla p + \nabla \tau + \rho \sum_{\alpha} y_{\alpha} f_{\alpha} \quad (2)$$

Energie

$$\frac{\partial (\rho e)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j e) = -\nabla (p u) + \nabla (\tau u) + \rho \sum_{\alpha} V_{\alpha} y_{\alpha} h_{\alpha} - k \nabla T \quad (3)$$

Espèces

$$\frac{\partial \rho y_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j y_i) = -\nabla (\rho V_i y_i) + \nabla \tau + \rho w_i \quad (4)$$

Etat thermodynamique

$$p = \rho \sum_{\alpha} \frac{y_{\alpha}}{M_{\alpha}} RT \quad (5)$$

Avec :  $i=1, 2, 3$  et  $j=1, 2, 3$

## III. CONFIGURATION GÉOMÉTRIQUE

Les brûleurs étudiés sont des brûleurs à flamme de diffusion d'une puissance d'environ 250 kilowatt. Le combustible est injecté à travers un diamètre totale de  $D_{Mth}=20$  mm, et le comburant d'un diamètre de  $D_{Air}=70$  mm Pour la même donnée particulière considérée, on distingue deux cas qui génèrent deux types d'écoulement attendus (Fig. 1).

Cas (a) : il est placé à l'extrémité de la chambre de combustion.

Cas (b) : il est placé au plafond de la chambre de combustion.

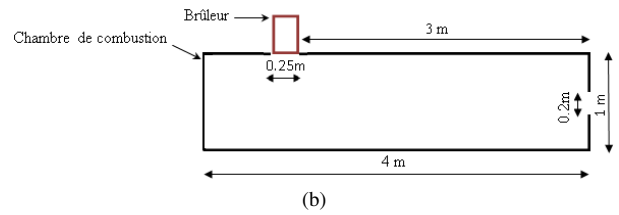
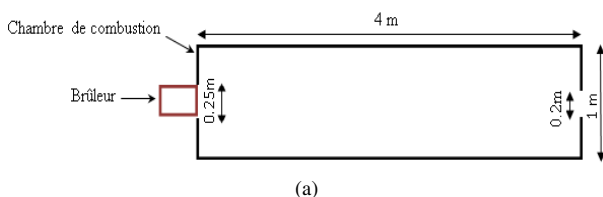


Fig. 1. Configuration géométrique des fours

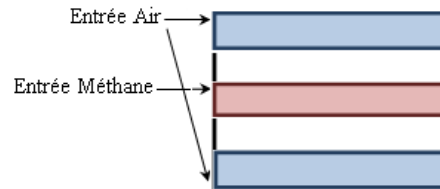


Fig. 2. Configuration géométrique du brûleur

## IV. CONDITIONS D'INJECTION ET AUX LIMITES

Les conditions d'injection caractérisant les entrées comburantes (Air) sont obtenues en se fixant un taux d'excès d'air égal à 10%. Ainsi, les débits et les températures considérés sont donnés par le tableau I suivant :

Débit du méthane (Kg/s)	0.105
Température d'injection (K°)	300
Débit d'air de combustion (Kg/s)	0.82
Température de l'air de combustion (K°)	300

Les conditions aux limites de la configuration étudiée sont données sur la Fig. 3.

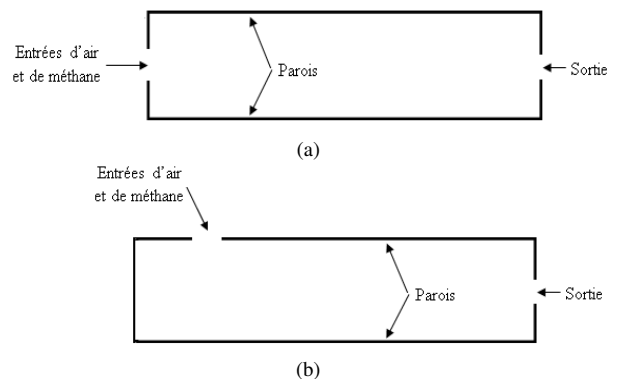


Fig. 3. Conditions aux limites.

## V. MODÈLE NUMÉRIQUE ET MAILLAGE

La simulation numérique est effectuée à l'aide du code industriel « FLUENT » qui utilise une méthode numérique aux

volumes finis couplée à un schéma de résolution multi grille. Le problème est stationnaire, bidimensionnel.

La résolution des équations régissant l'écoulement est effectuée à l'aide de l'algorithme SIMPLE et en utilisant le modèle de turbulence k-ε standard. Le couplage entre la turbulence et la réactivité du système imposée par les réactions de combustion a été traité par la méthode ED (Eddy Dissipation).

Le maillage de la géométrie (Fig. 4) est réalisé à l'aide de triangles. Il est pris fin à l'entrée de la chambre de combustion. Plus loin, c'est à dire dans le reste de la chambre de combustion il devient de plus en plus lâche, le nombre du nœud et 14623.

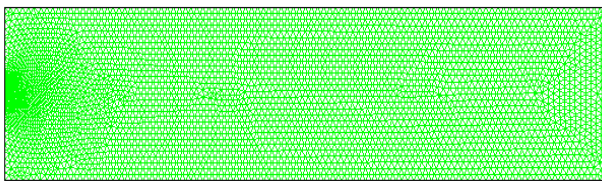
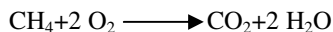


Fig. 4. Maillage de la chambre de combustion

Les différentes espèces chimiques prises en compte pour la combustion sont : CH<sub>4</sub>, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O. La réaction chimique stœchiométrique utilisée est la suivante :

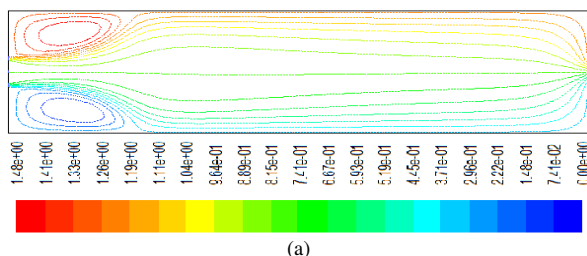


## VI. RÉSULTATS ET DISCUSSION

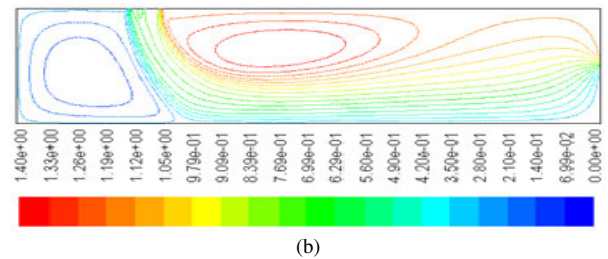
Dans la chambre de combustion la structure de l'écoulement dépend de nombreux paramètres : le déflecteur, la canne d'injection, le turbulateur (taux de rotation de l'air). Dans cette étude, on s'intéresse à l'effet de l'emplacement des brûleurs sur les caractéristiques dynamique et thermique de l'écoulement. Ainsi, pour le même brûleur particulier considéré, On distingue deux géométries différentes qui génèrent deux types d'écoulement attendus : cas (a) et (b) (Fig. 1).

### A. Etude de la structure dynamique de l'écoulement

La Fig. 5 fournit les résultats des simulations effectuées pour les deux fours cas (a) et cas (b).



(a)



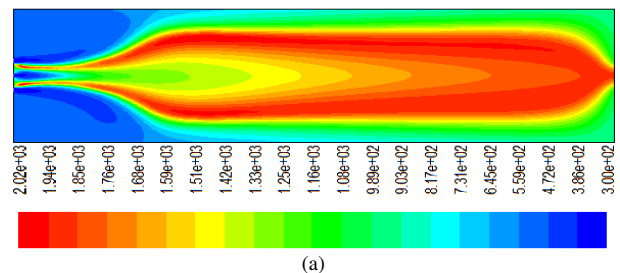
(b)

Fig. 5. Contours des lignes de courant.

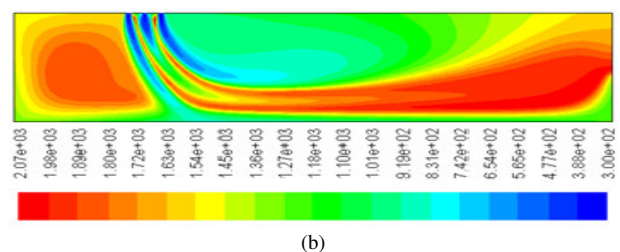
La Fig. 5, montre aussi que le changement de l'emplacement du brûleur modifie la structure de l'écoulement dans la chambre de combustion. En effet, pour les deux cas considérés, on remarque la présence de deux zones de recirculation en aval du déflecteur qui a un effet direct sur les contours de la vitesse et la forme des lignes de courant. La taille de cette zone de recirculation devient plus grande respectivement pour le deuxième cas. Plus cette zone de recirculation est grande plus elle pousse l'écoulement vers l'axe du jet. Dans ce cas l'épanouissement du jet est moins important, la flamme est plus stable et mieux adapter à la forme de la chambre de combustion. Pour un fonctionnement avec le four (a), l'écoulement développé est plus intéressant en termes d'amélioration du mélange et diminution du taux d'imbrûlés (voir Fig. 7).

### B. Analyse en termes de forme de flamme et points chauds

La bonne adéquation entre les formes géométriques de la flamme et du foyer de combustion est le premier critère à prendre en compte lors de sélectionnée l'emplacement du brûleur. En effet, les éventuels points chauds pouvant apparaître au niveau des parois du foyer de combustion peuvent provoquer sa détérioration. L'outil de simulation numérique développé permet de visualiser ce genre de problème.



(a)



(b)

Fig. 6. Contours de température.

Sur la Fig. 6, on donne les contours de température obtenus pour les deux modèle des fours (cas A et cas B). La figure (6a), qui correspond au cas où le comburant est entrée au milieu de la paroi gauche montre que la flamme est plus étirée et les points froids restent toujours présents mais en aval de la chambre de combustion.

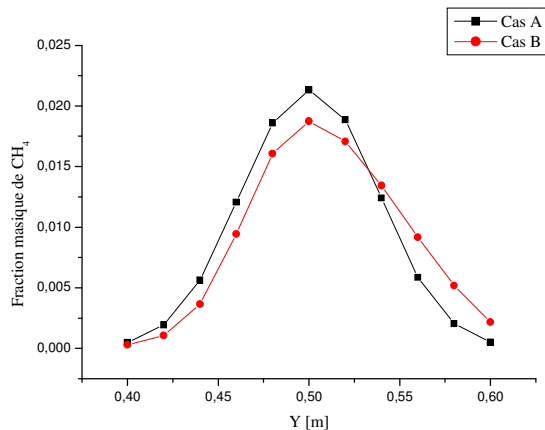
Contrairement au premier modèle, le deuxième modèle, figure (6b), assure une flamme est collée aux parois latérales du foyer de combustion et met en évidence l'apparition de points froids au plafond de la chambre.

### C. Analyse de la composition du mélange

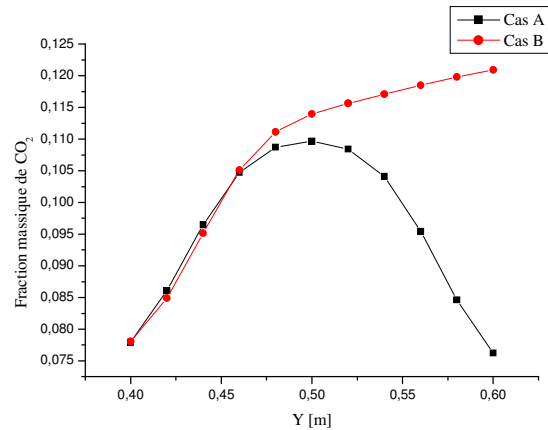
L'objectif principal de l'optimisation du fonctionnement d'un brûleur dans un four est de minimiser au maximum ses émissions polluantes tout en maintenant un taux de conversion élevé en espèces carbonés.

Pour les deux modèles de fonctionnement on donne sur la figure 7, les évolutions des fractions massiques du  $\text{CH}_4$  et du  $\text{CO}_2$  à la section de sortie de la chambre de combustion. On note que la fraction massique du  $\text{CH}_4$ , figure (7a), est plus grande pour un fonctionnement avec le four (a), c'est-à-dire pour un brûleur qui installer au milieu de la chambre de combustion. Ainsi, on peut conclure que la zone de recirculation permet de stabiliser la flamme mais en contre partie elle diminue le taux de mélange et par conséquent augmente le taux d'imbrûlés.

Sur la figure (7b), on constate que la fraction massique du  $\text{CO}_2$  est plus faible pour un fonctionnement avec le modèle (a). Ce résultat concorde bien avec une fraction massique de  $\text{CH}_4$  plus grande pour ce mode de fonctionnement. Ainsi, pour le modèle (b) le taux d'imbrûlés augmente, la fraction massique de  $\text{CO}_2$  diminue.



(a)



(b)

Fig. 7. Profils des fractions massiques.

## VII. CONCLUSION

Dans cette étude, on a simulé numériquement l'effet de l'emplacement des brûleurs sur la stabilité de la flamme dans la chambre de combustion. On a considéré deux positions du brûleur industriel et on a montré que l'écoulement est modifié par la taille de la zone de recirculation et la direction de jet. En effet, on a constaté que plus la taille de cette zone de recirculation est grande plus la flamme est stable mais aussi plus le taux de mélange est faible et le taux d'imbrûlés est grand.

## RÉFÉRENCES

- [1] L. Bebar, V. Kermes, P. Stehlik, J. Canek and J. Oral, "Low NOx burners prediction of emissions concentration based on design, measurements and modelling", *Wastemanagement*, 22, Issue 4, Pages 443-451, 2002.
- [2] Perthuis E, "Revue des techniques de réduction des émissions d'oxydes d'azote au niveau des brûleurs", *Revue Générale de Thermique*, 330, pp.374-377, 1989.
- [3] C. David Pierce, "Progress-variable approach for large-eddy simulation of turbulent combustion", PhD, Stanford University, 2001.
- [4] S. Cheol Ko & H. Jin Sung, "Large-scale turbulent vertical structures inside a sudden expansion cylinder chamber, Flow, Turbulence and Combustion", *Kluwer Academic Publishers*, Vol.68, pp.269-287, 2002.