

# Étude numérique des champs thermique et dynamique d'un brûleur coaxial avec un microjet d'air central.

Sirine CHOUAIEB <sup>1\*</sup>, Wassim KRIAA <sup>1</sup>, Hatem MHIRI <sup>1</sup>, Philippe BOURNOT <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ecole nationale d'ingénieurs de Monastir, route de Ouardanine, Monastir, 5000, Tunisie

<sup>2</sup> IUSTI, UMR CNRS 6595, Technopôle Château-Gombert, 5 rue Enrico Fermi, 13013

Marseille, Cedex 20, France

\*(auteur correspondant : [chouaieb.sirine@yahoo.fr](mailto:chouaieb.sirine@yahoo.fr))

**Résumé** - Cette étude constitue une simulation numérique tridimensionnelle sous FLUENT dans laquelle on se propose de modéliser un brûleur présentant un écoulement de type jet coaxial réactif avec microjet d'air central. Plus précisément, l'objectif de ce travail est de décrire, d'une part, les modèles physiques de turbulence, de combustion et du rayonnement les plus appropriés capables de caractériser l'écoulement de type jet coaxial réactif résultant. D'autre part, on va caractériser le champ thermique (allure de la flamme engendrée, longueur de flamme et profil axial de température) ainsi que la structure dynamique de l'écoulement en termes de zones de recirculation développées.

## Nomenclature

$T$	température, $K$	$y$	position radiale, m
$X$	position axiale, m	$z$	position tangentielle, m

## 1. Introduction

L'étude de la combustion constitue un vaste domaine de recherche vue la diversité des configurations des brûleurs et des chambres de combustion dans l'industrie. En particulier, les jets coaxiaux réactifs sont couramment rencontrés dans le secteur énergétique: séchage au niveau des équipements de combustion au sein des briqueteries ou des cimenteries etc.

En fait, le but majeur des chercheurs dans les deux voies expérimentale et numérique est de caractériser les flammes développées et améliorer la qualité de la combustion. Pour ce faire, leur rôle consiste à identifier, d'une part, la marge de stabilité des flammes considérées pour une large gamme de conditions opératoires, et réduire, d'autre part, les émissions polluantes vue les critères environnementaux qui deviennent de plus en plus strictes.

Certes, l'intérêt de l'approche numérique vient du fait qu'elle permet d'éviter des tests expérimentaux coûteux et qui sont parfois difficiles à mener. Dans cette approche, le rôle du chercheur est de trouver une modélisation adéquate capable de reproduire les phénomènes physiques impliqués au sein d'une configuration réelle afin de comprendre la nature de l'écoulement mis en évidence, étudier le mélange réactif ou caractériser les espèces chimiques présentes.

Cette étude constitue une approche de modélisation numérique d'un écoulement coaxial réactif. Il est à noter que la plupart des études présentes dans la littérature sont

expérimentaux et que ceux numériques demeurent limités et ne s'intéressent, ni à la caractérisation de l'écoulement réactif, ni à l'étude des champs thermique et dynamique surtout en terme de zones de recirculation développées. Dans ce contexte, s'introduit ce travail numérique sous FLUENT comme essai pour relever quelques caractéristiques décrivant l'écoulement réactif coaxial mis en évidence.

## 2. Présentation de la géométrie coaxiale étudiée

On commence par introduire la configuration coaxiale utilisée. Le brûleur coaxial adopté correspond à la configuration étudiée expérimentalement par Sinha et al [1]. Il s'agit de trois cylindres concentriques de longueur 250 mm et d'épaisseurs 1 mm par lesquels passent respectivement de l'air, du méthane pur et un co-courant d'air (figure 1). Les rayons intérieurs utilisés sont 0.5 mm pour le microjet (air interne), 4.5 mm pour le gaz (méthane) et 21 mm pour le co-courant (air externe). Le brûleur ainsi décrit engendre une flamme de diffusion confinée dans une enceinte cylindrique de diamètre 170 mm et de longueur 450 mm.

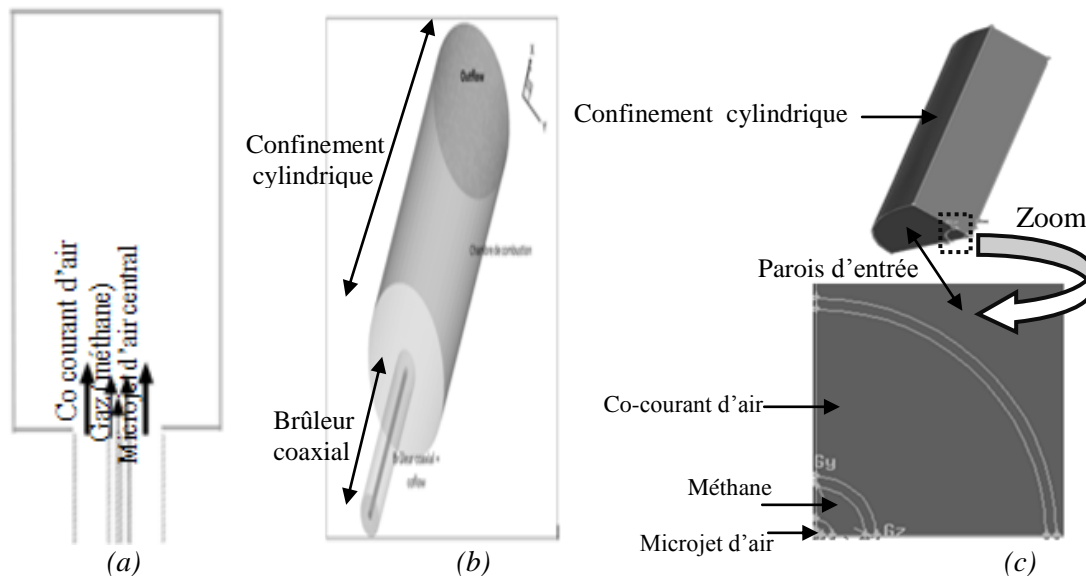


Figure 1 : Configuration adoptée par Sinha et al [1] (a), modélisation numérique du domaine total (b) et de la géométrie simulée (c)

## 3. Modélisation numérique

### 3.1. Symétrie et maillage utilisés

Pour des considérations de symétrie, le domaine de calcul tridimensionnel adopté (figure 1 (c)) se réduit au quart de la configuration réelle (figure 1 (b)). Le maillage utilisé est obtenu suite à plusieurs tests, il est composé de 900 828 cellules élémentaires. Il s'agit d'un maillage tétraédrique, non uniforme, serré surtout à la sortie des buses et lâche près de la sortie du confinement.

### 3.2. Hypothèses prises en considération

La résolution numérique de l'écoulement réactif de type jet coaxial s'effectue en prenant en considération les hypothèses suivantes:

- La configuration est tridimensionnelle;
- L'écoulement est en régime turbulent et stationnaire;
- Le fluide est incompressible à masse volumique variable;
- Les constituants du milieu réactionnel obéissent à la loi des gaz parfaits ;
- Le gaz naturel est assimilé au méthane CH<sub>4</sub>.

La réaction chimique stœchiométrique du méthane dans l'air prend la forme suivante



### 3.3. Conditions aux limites imposées

Les conditions aux limites imposées pour cette simulation sont rassemblées dans le tableau 1.

Entrée du microjet, du gaz et du co-courant d'air	« velocity inlet »
Parois	« wall »
Plan de symétrie	« symmetry »
Sortie	« outflow »

Tableau 1 : Conditions aux limites imposées

### 3.4. Conditions d'injection

Les conditions d'injection imposées par Sinha et al [1] sont les vitesses à la sortie des buses du microjet, du méthane et du co-courant d'air constituant le brûleur coaxial utilisé. Elles sont rassemblées dans le tableau 2.

	Microjet d'air	Gaz (méthane)	Co-courant d'air
Vitesse (m/s)	21	0.33	5.5

Tableau 2 : Conditions d'injection imposées

### 3.5. Modèles physiques utilisés

Les modèles physiques utilisés respectivement pour la turbulence, la combustion et le rayonnement sont k-ε RNG, «Eddy dissipation» ED et «Discret Transfer Radiation Model» DTRM.

## 4. Simulation numérique d'un jet coaxial réactif avec microjet : résultats et discussions

### 4.1. Etude du champ thermique: Validation des résultats numériques

Dans ce paragraphe, on va présenter les résultats de simulation concernant le contour de température, le profil de température axial et la longueur de flamme.

#### 4.1.1. Contour de température : Allure de la flamme développée

La flamme de diffusion méthane-air engendrée (figure 2) est une flamme composée de deux zones différentes : zone I à la base « cône de la flamme » au dessus de laquelle est développée une zone II plus longue. Cette allure est semblable à celle décrite par Sinha et al [1]. La température maximale de cette flamme est de 1527 K, elle est inférieure à celle expérimentale 1670K. Cet écart ne dépasse pas 8% et reste acceptable.

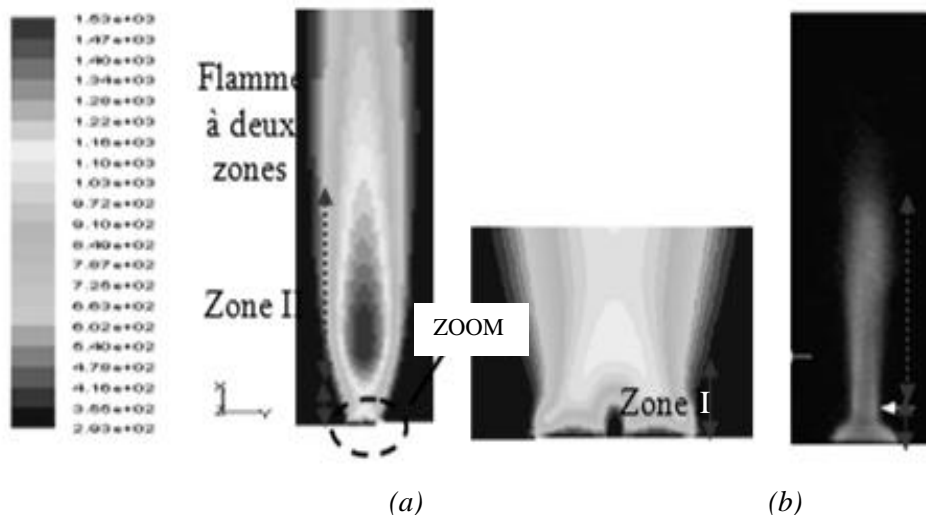


Figure 2 : Contour de la flamme de diffusion simulée (a) et photo de celle réelle (b)

#### 4.1.2. Longueur de flamme visible

La longueur de flamme visible est un paramètre facile à déterminer expérimentalement. Sinha et al [1] ont recours à la prise de plusieurs photos successives de la flamme considérée, et sa longueur correspond à la valeur moyenne des différentes longueurs trouvées pour l'ensemble des images effectuées.

Par contre, la détermination numérique de ce paramètre est délicate. Dans ce travail, on a essayé la méthode de Fairweather et al [2] et Ballie et al [3] qui ont fixé une température minimale au delà de laquelle la flamme est visible. Cette méthode reste difficile dans la mesure où cette température à fixer n'est pas évidente et nécessite la définition du domaine visible de la flamme : il est nécessaire de trouver une correspondance entre la couleur de la flamme générée, la longueur d'onde du rayonnement émis et la température qui y correspond. Pour surmonter la difficulté de cette méthode numérique, plusieurs chercheurs ont tendance à définir des corrélations définissant la longueur de flamme visible[4,5], ou travailler avec la longueur de flamme chimique qui est une alternative à celle visible basée sur les espèces chimiques présentes [6,7,8]. Il sera ainsi intéressant d'adopter ces autres méthodes pour le calcul de la longueur de flamme.

Pour le cas traité, la température minimale du visible est fixé à 1073K et la longueur de la flamme obtenue est égale à  $105 \times 10^{-3}$  m (figure 3). Elle est surestimée de  $2 \times 10^{-2}$  m par rapport à celle expérimentale. Cet écart peut être dû à l'utilisation du modèle de combustion ED.

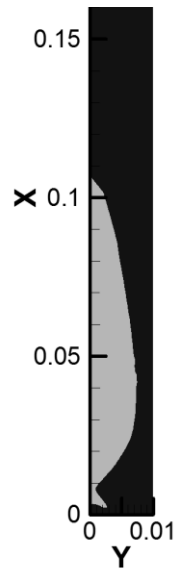


Figure 3 : Longueur de la flamme simulée

#### 4.1.3. Profil de température axial

Le profil de température axial donné par la figure 4 présente une allure semblable à celle expérimentale. En fait, le pic de température est atteint au niveau de la même position axiale ( $x=0.03\text{m}$ ). Néanmoins, on marque une différence juste à la sortie de la buse du microjet d'air central pour  $x=5 \cdot 10^{-3}\text{m}$ . En effet, ceci peut être dû à l'utilisation d'un appareil de mesure intrusif (thermocouple) pour la prise des températures qui perturbe l'écoulement réactif mis en évidence et peut causer des erreurs de mesure expérimentaux.

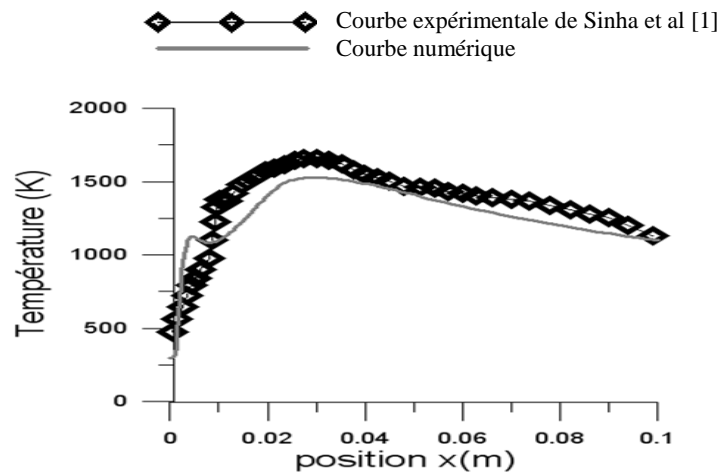


Figure 4 : Profil de température axial en présence du microjet d'air central

#### 4.2. Etude du champ dynamique

L'étude du champ dynamique est limitée à l'identification des zones de recirculation. En présentant le contour de vitesse axiale et les lignes de courant sur le demi plan de symétrie  $z=0$  (l'axe vertical des  $x$  étant l'axe de symétrie), On marque la présence de deux boules de recirculation sur le demi plan de symétrie. La première boule (figure 5(a)) est de grande taille : Elle est développée sur toute la longueur du

confinement (0.45 m) et de largeur d'environ 0.6 m. Cette dernière est due au confinement. Quant à la deuxième boule de recirculation (figure 5(b)), elle est de petites dimensions : Sa longueur ne dépasse pas  $1.5 \cdot 10^{-3}$  m et sa largeur est de  $2 \cdot 10^{-3}$  m. Le centre de celle-ci coïncide avec la zone (4) (figure 5(b)), où on a la paroi correspondant à l'épaisseur du jet de méthane. Ainsi, la petite boule de recirculation est la cause d'un double effet : l'épaisseur de la paroi de la buse du méthane, et la différence de vitesse entre les jets du méthane et celui d'air.

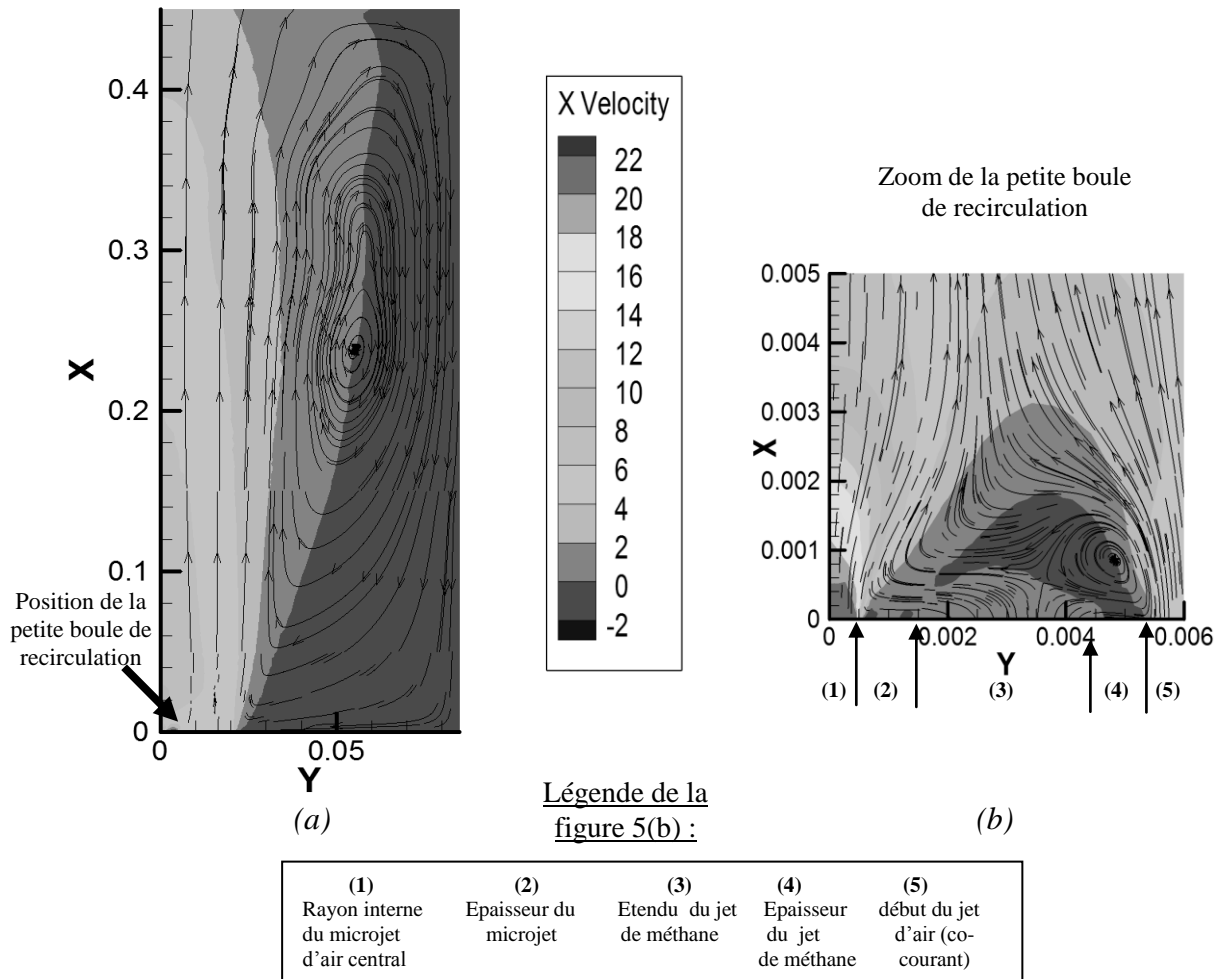


Figure 9 : Lignes de courant et contour de vitesse axiale (cas avec microjet) sur le demi plan de symétrie  $z=0$

## 5. Conclusion

Cette étude constitue une approche de modélisation numérique sous FLUENT d'un écoulement de type jet coaxial réactif. Dans ce travail, on a présenté dans un premier temps les modèles de turbulence, de rayonnement et de turbulence utilisés pour décrire la configuration expérimentale adoptée par Sinha et al [1] engendrant une flamme de diffusion méthane-air. Dans un second temps, on a caractérisé les champs thermique (allure de la flamme, longueur de flamme et profil de température axial) et dynamique (zones de recirculation). On a trouvé ainsi des résultats acceptables et

montré la capacité du code de calcul FLUENT pour la caractérisation d'un tel écoulement.

### Références

- [1] Ashok Sinha, Ranjan Ganguly, Ishwar K. Puri. Control of confined nonpremixed flames using a microjet. *International Journal of Heat and Fluid Flow* 26 (2005) 431–439.
- [2] Fairweather M, Jones WP, Lindstedt RP. Predictions of radiative transfer from a turbulent reacting jet in a cross-wind. *Combust Flame*, 1992; 89: 45-63.
- [3] Ballie S, Caulfield M, Cook DK, Docherty P. A phenomenological model for predicting the thermal loading to a cylindrical vessel. *Process Safety and Environmental Protection*, 1998; 76: 3-13.
- [4] Heskestad G. Luminous heights of turbulent diffusion flames. *Fire Safety J*, 1983;5: 103-108.
- [5] Heskestad G. Turbulent jet diffusion flames: consolidation of flame height data. *Combust Flame*, 1999; 118: 51-60.
- [6] Hawthorne WR, Weddell DS, Hottel HC. *Mixing and combustion in turbulent gas jets* . 3rd Symp. (Int.) Combust, Williams and Wilkins, Baltimore, 1949, p266-288.
- [7] Hottel HC. "Fire Modelling", *International Symposium on the use of fire models*, Ed. WG Berl, Publication 746, National Academy of Science, National Research Council, Washington D.C., 1961.
- [8] Wade R, Gore JP. Visible and chemical flame lengths of acetylene/ air jet diffusion flame, NIST, NISTR 5904, 1996, p 41-42.