

## **EFFET DE LA PRESENCE DU SWIRLER SUR LA STRUCTURE DE L'ÉCOULEMENT DANS UNE CHAMBRE DE COMBUSTION D'UNE TURBINE A GAZ**

A. Souid<sup>1</sup>, A. Ben Sik Ali<sup>1\*</sup>, W. Kriaa<sup>1</sup>, H. Mhiri<sup>1</sup>, G. Le Palec<sup>2</sup>, P. Bournot<sup>2</sup>

<sup>1</sup> UTTP, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Monastir, Route de Ouardanine, 5000, Monastir, Tunisia

<sup>2</sup> IUSTI, UMR CNRS 6595, 5 rue Enrico Fermi, Technopole de Chateau-Gombert, 13013 Marseille  
Cedex 20, France.

\*ahlem.sikali@yahoo.fr

### **RESUME :**

Dans ce travail on se propose d'étudier numériquement un écoulement réactif au sein de la chambre de combustion d'une turbine à gaz d'une centrale thermique. Cette chambre est constituée de deux principaux composants : l'injecteur de combustible et le tube de flamme. Pour la modélisation géométrique et le maillage du domaine de calcul on a utilisé le code industriel GAMBIT. La modélisation physique du problème et la résolution numérique de l'écoulement sont effectuées à l'aide du code de calcul FLUENT basé sur une méthode aux volumes finis.

Les différentes simulations numériques ont permis de comprendre les phénomènes impliqués dans un écoulement réactif dans une chambre de combustion d'une turbine à gaz : l'accès à certaines informations est rendu possible, l'écoulement a pu être simulé numériquement et donc visualisé en trois dimensions. De plus l'effet du swirler sur la structure de l'écoulement et le degré de mélange est mis en évidence.

### **INTRODUCTION**

La turbine à gaz, appelée aussi turbine à combustion, est une machine thermique qui connaît actuellement une grande révolution, compte tenu de ses excellentes performances liés aux avantages de démarrage rapide et de faible maintenance. Les turbines à gaz contribuent dans une large mesure aux motorisations actuelles. Leur avantage de légèreté en impose l'usage dans l'aéronautique, tandis que dans le domaine des fortes puissances (production d'électricité) elles se démarquent par leur adaptation aux installations de cogénérations.

L'utilisation de la simulation numérique dans l'industrie est fortement répandue. Les constructeurs de turbines à gaz utilisent des codes commerciaux et des codes "maison" pour évaluer l'écoulement moyen à froid comme à chaud. Ces codes sont devenus essentiels dans la phase de recherche et de développement.

L'objectif principal de ce présent travail est la simulation numérique d'un écoulement réactif turbulent. Le modèle de la chambre de combustion étudiée est celui de la turbine à gaz de la centrale thermique de Sousse (Tunisie).

### **Description du problème**

La chambre de combustion étudiée est du type tubulaire. Ces principaux composants sont le turbulateur ou swirler (figure 1) et le tube de flamme (figure 2).



Figure 1. Turbulateur(en différentes vues).

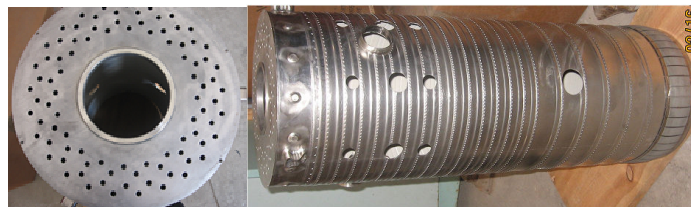


Figure 2. Tube de flamme.

La fonction du turbulateur d'air est de communiquer un mouvement de rotation à l'air de combustion afin d'améliorer la combustion et de réduire considérablement l'émission polluante pendant le fonctionnement de la machine. L'air circule d'avant en arrière à l'extérieur du tube de flamme. Il pénètre dans la zone de réaction de la chambre de combustion à travers le turbulateur et à travers des séries de trous calibrés, percés dans le chapeau (90 trous de diamètre 4mm) et dans le tube lui-même (24 trous de diamètres variant entre 40 et 30 mm) . Les gaz chauds se propagent ensuite vers une zone de tranquillisation et une zone de dilution où s'effectue un apport d'air supplémentaire. Des trous de dilution (4 trous de diamètre 60mm) permettent le passage du volume d'air correct destiné au refroidissement afin de limiter la température des gaz chauds à l'entrée de la première directrice.

## MODELISATION DU PROBLEME

### 3.1. Modélisation géométrique et conditions aux limites

Le préprocesseur « Gambit » a été utilisé pour la construction (figure 3) et le maillage (figure 4) des différentes parties du domaine de calcul. La complexité géométrique de la configuration nous a incité à utiliser un maillage té-triédrique non-structuré dans tout le domaine simulé. Ce maillage comprend 450 000 volumes de contrôle. Un test de sensibilité du maillage a permis de conclure qu'un maillage serré au niveau du swirler et à l'entrée de la chambre permet de décrire convenablement l'écoulement à l'intérieur de la chambre de combustion. Pour simuler l'écoulement on a imposé un débit constant à l'entrée gaz  $Q_{\text{gaz}} = 0.62 \text{ Kg/s}$  sous une pression de 23 bars. L'admission d'air est fixée avec un débit de  $Q_{\text{air}}=25 \text{ Kg/s}$  sous une pression de 10.5 bars.

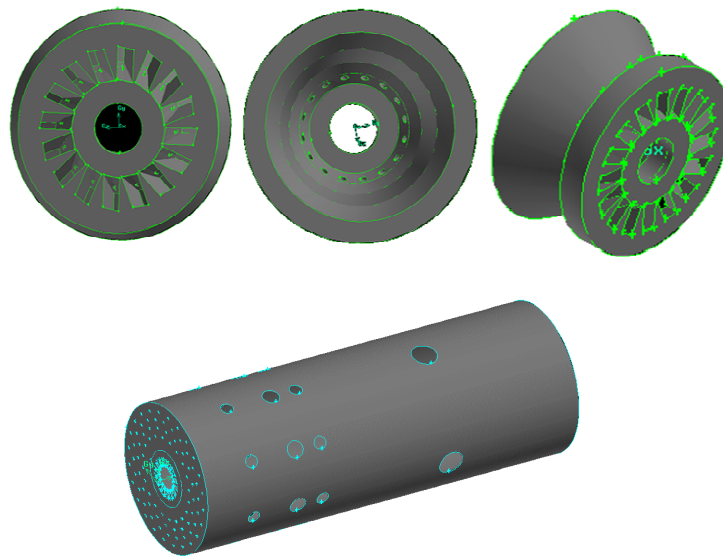


Figure 3. Modélisation sur Gambit du turbulateur et du tube de flamme.

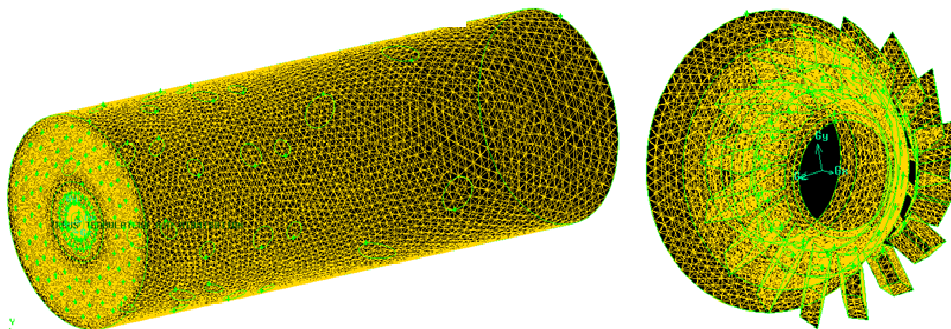


Figure 4. Maillages du tube de flamme et du turbulateur

### 3.2. Modélisation physique

Le couplage entre la turbulence de l'écoulement et la réactivité du système, imposée par les réactions de combustion, est traité par le *Modèle Eddy Dissipation* (EDM) [1]. La turbulence est modélisée par le schéma classique  $k-\epsilon$ , faisant intervenir les équations de transport de l'énergie cinétique et de sa dissipation [2].

Pour la résolution de l'équation des transferts radiatifs on a adopté la *méthode des transferts discrets* appartenant à la famille des méthodes à flux [3,4].

Les différentes espèces chimiques prises en compte pour les calculs d'équilibre sont :  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , et  $\text{O}_2$ .

La réaction chimique stœchiométrique utilisée est la suivante :  $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

## RESULTATS ET DISCUSSIONS

A partir de la figure 5, représentant les contours de la vitesse tangentielle on peut remarquer que l'écoulement est mis en rotation autour de l'axe de la chambre et cela résulte de l'effet du

turbulateur. Cet effet est intense juste à sa sortie où la vitesse tangentielle atteint une valeur maximale de 165m/s en valeur absolue, puis diminue progressivement et disparaît à partir de la position  $x=0.67m$ .

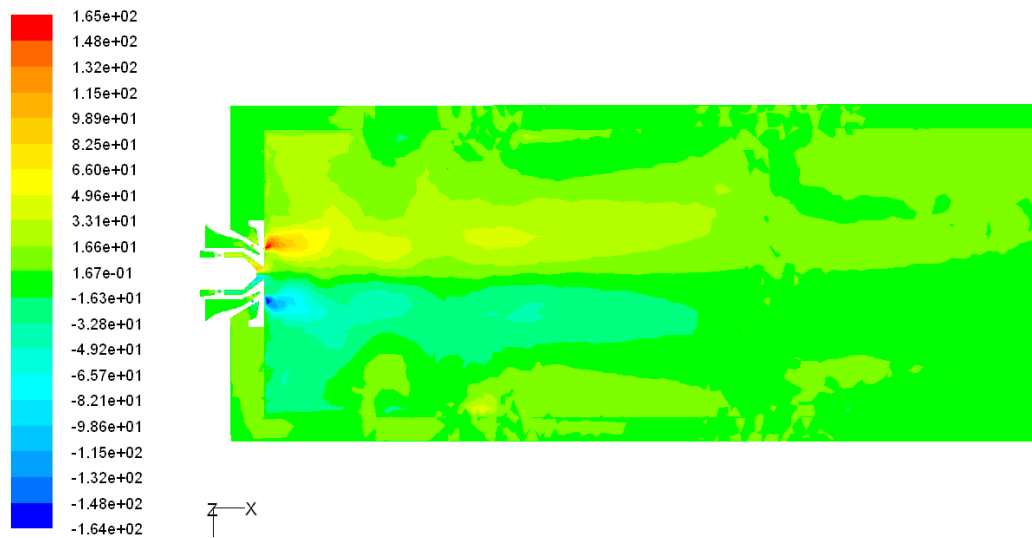


Figure 5. Contours de vitesse tangentielle dans le plan  $z=0$

On remarque aussi que, ce mouvement de rotation est concentré près de l'axe de la chambre, et plus précisément, sur les lignes d'injection du combustible c'est-à-dire parallèlement à l'axe mais décalées de 0.04 mètres. Ce mouvement de rotation autour de l'axe a pour rôle de mélanger le combustible avec l'air juste à l'entrée de la chambre pour le préparer à la combustion : c'est la zone de mélange. Plus loin en aval il a pour rôle de mélanger les gaz chauds avec les gaz frais de dilution : c'est la zone de dilution.

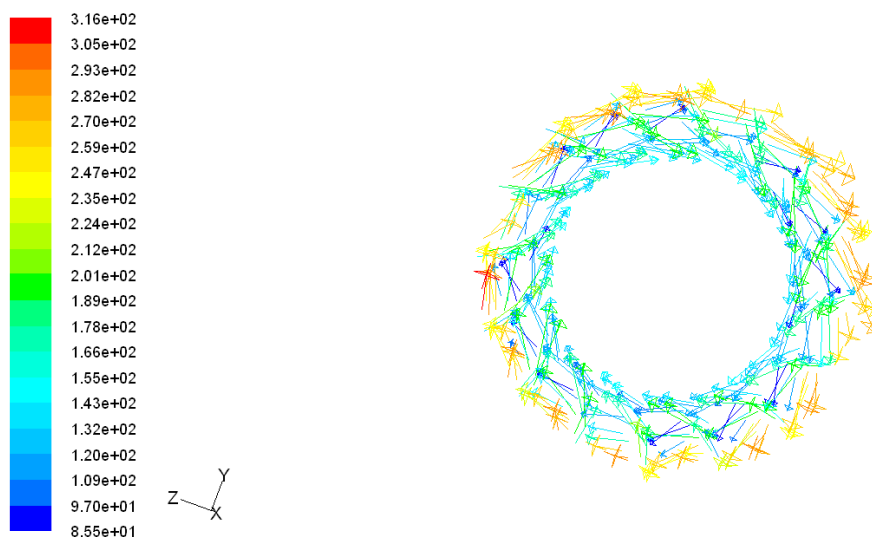


Figure 6. Vecteurs vitesses à la sortie du turbulateur ;  $x=0.027m$ .

L'effet du swirler sur les vecteurs vitesses de l'écoulement est représenté sur la figure 6 pour  $x=0.027\text{m}$  et la figure 7 pour  $x=0.1\text{m}$ . On note son effet rotationnel sur les vecteurs vitesses et par conséquent sur le degré de mélange dans l'écoulement.

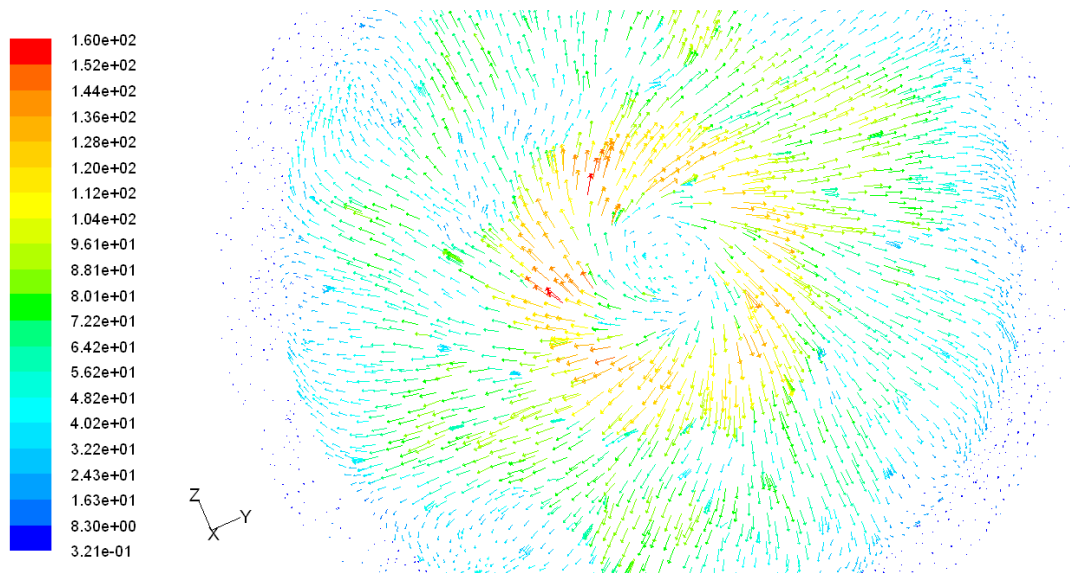


Figure 7. Vecteurs vitesses dans le plan  $x=0.1\text{m}$ .

L'effet du turbulateur ou swirler est illustré aussi sur les figures 9 et 10 où on observe la présence d'une zone de recirculation au niveau de l'axe de la chambre. Cette zone de recirculation est la zone de mélange des gaz frais et brûlés. Elle constitue alors une zone de stockage de chaleur et d'espèces réactives en proche sortie de l'injecteur.

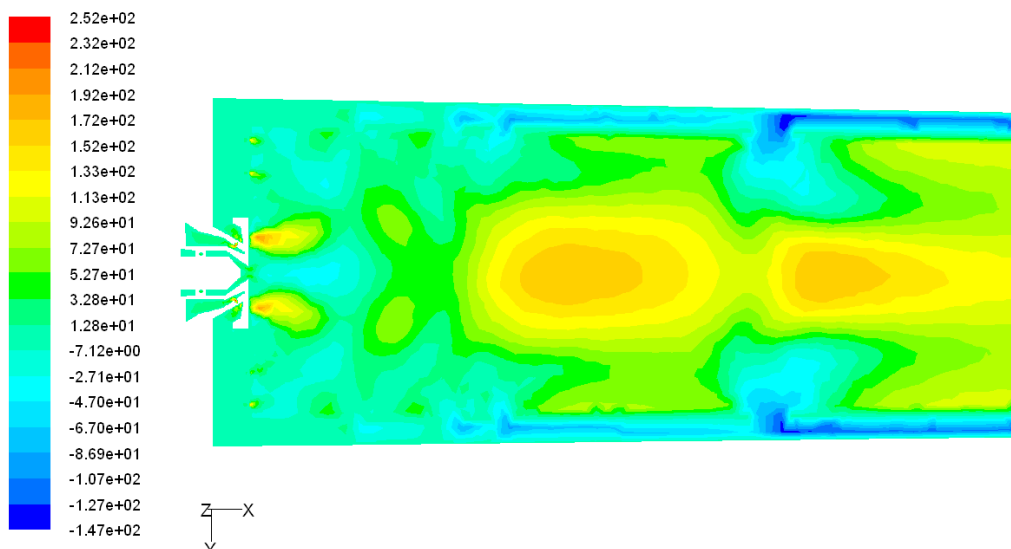


Figure 9. Contours de vitesse axiale dans le plan  $z=0$ .

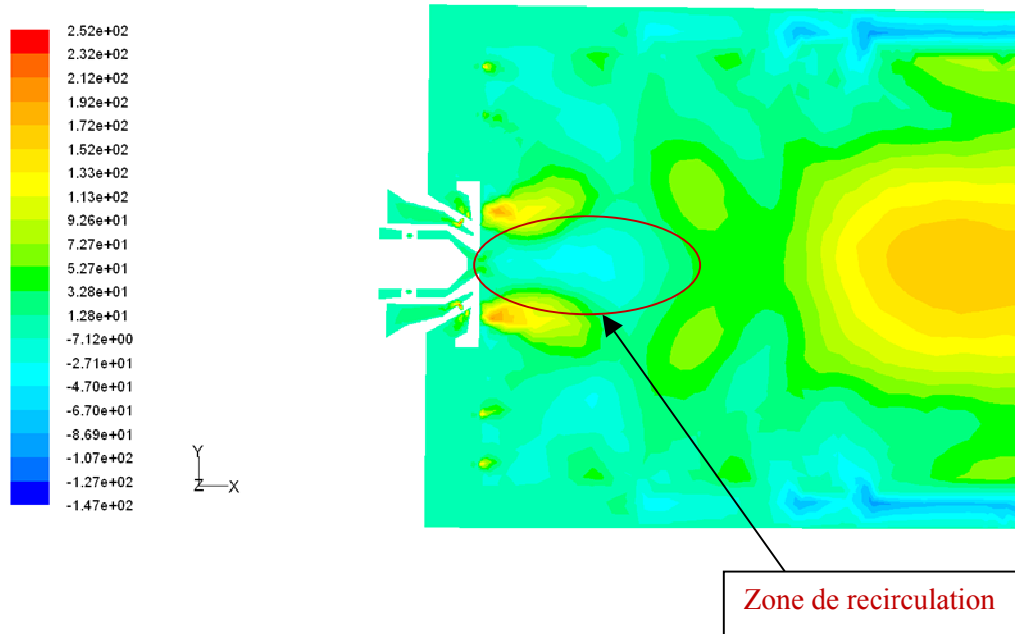


Figure 10. Contours de vitesse axiale dans le plan  $z=0$  (Zoom sur la zone avant de la chambre).

## CONCLUSION

A partir de ce travail, les simulations numériques nous ont permis de comprendre les phénomènes impliqués dans un écoulement réactif : l'accès à certaines informations est rendu possible, l'écoulement a pu être simulé numériquement et donc visualisé en trois dimensions. De plus l'effet du swirler sur la structure de l'écoulement et le degré de mélange est mis en évidence.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] J. Warnatz, U. Mass, and R. W. Dibble. *Combustion*. Springer, Heidelberg, 2d edition, 1999
- [2] Hinze. *Turbulence*. McGraw-Hill Publishing Co., New York, 1975
- [3] Fluent Inc. *Fluent 6. User's guide*, 2001. Chapter 11 : Modeling Heat Transfert
- [4] Leuckel, W. & Fricker, N., The characteristics of swirl stabilized natural gas flames. Part I: Different flame types and their relation to flow and mixing patterns, *Journal of the Institute of Fuel*, 103-112