

# Transfert de chaleur entre deux jets turbulents axisymétriques de différents diamètres.

Samira LOUAIFI- HAMAILI<sup>1</sup>, Amina MATAOUI<sup>2\*</sup>

<sup>1,2</sup> Laboratoire de Mécanique des Fluides Théorique et Appliquée, Faculté de physique, USTHB

\* [mataoui\\_amina@yahoo.fr](mailto:mataoui_amina@yahoo.fr)

<sup>1</sup>(auteur correspondant : samira\_louaifi@yahoo.fr)

**Résumé** - Dans la zone de fusion de deux jets de différents diamètres et parallèles, en interaction, les épanouissements dynamique et thermique sont liés directement à leurs rapports de vitesse et de température ( $\lambda$  et  $\lambda_T$ ). Le jet principal de plus grand diamètre et le jet secondaire de plus petit diamètre sont émis respectivement aux nombres de Reynolds 24000 et 4000. Les résultats recueillis numériquement en configurations tridimensionnelles, ont permis d'évaluer l'influence de  $\lambda$  et  $\lambda_T$ , sur la structure de l'écoulement résultant de l'interaction, et la distribution de température correspondante.

## Nomenclature

$D$	diamètre du jet principal, $m$	$T_{0D}$	température du jet chaud, $K$
$d$	diamètre du jet secondaire, $m$	$T_{0d}$	température du jet froid, $K$
$U_{0d}$	vitesse à la sortie du jet secondaire, $m.s^{-1}$	$S$	distance entre les deux jets, $m$
$U_{0D}$	vitesse à la sortie du jet principal, $m.s^{-1}$	<i>Symboles grecs</i>	
$U_i, U_j$	composantes de la vitesse, $m.s^{-1}$	$\lambda$	rapport de vitesse.
$P$	pression, $Pa$	$\lambda_T$	rapport de température.
$T$	température moyenne, $K$		

## 1. Introduction

Les jets d'airs turbulents axisymétriques débouchant dans un milieu au repos ont été étudiés dans de nombreux travaux expérimentaux. Entre autres, nous pouvons citer les travaux de Corrsin et Uberoi [1], Rodi [2], Wagnanski et Fielder [3]. Afin d'améliorer leur efficacité l'application des jets multiples a fait l'objet d'un nombre considérable d'études nous citons Elbanna et Sabbagh [4], Tanaka et Nataka [5]. La présente étude examine le contrôle de la diffusion d'un jet principal par un jet secondaire de plus petit diamètre en position alignée et parallèle. Cette configuration est rencontrée dans plusieurs applications industrielles tels que: les systèmes de refroidissement, la combustion et dispersion des polluants. La majorité des auteurs ont étudié exclusivement des jets identiques tels que Quin et al. [6] qui ont examiné expérimentalement le cas de deux jets identiques et qui ont montré qu'ils s'attirent davantage lorsque le nombre de Reynolds augmente, entraînant une augmentation de l'énergie cinétique turbulente. Une autre étude expérimentale basée sur l'anémométrie Laser (LDA) a été effectuée par Vouros et Panidis [7] pour le cas de deux jets différents dans la région de fusionnement et région combinée. Leurs résultats révèlent à partir des facteurs de dissymétrie et d'aplatissement du champ de vitesse peuvent être considérés comme des indicateurs pour localiser les deux régions.

Notre travail est une étude numérique sur l'influence d'un jet secondaire sur un jet primaire en déterminant les caractéristiques du mélange et leur distribution de température. Une simulation numérique 3D est réalisée par la méthode des volumes finis en utilisant des modèles de turbulence du premier ordre et du second ordre.

## 2. Mise en équations

L'écoulement étudié est pleinement turbulent et le fluide est newtonien à propriétés physiques constantes. Les équations du mouvement moyen et fluctuant sont déduites des équations de conservation de la masse, de la quantité du mouvement et de l'énergie, couplées avec les équations du modèle de turbulence considéré.

Les termes de convection diffusion sont approchés à l'aide d'un schéma Quick. Le couplage vitesse pression est résolu grâce à l'algorithme SIMPLE. Nous avons utilisé le maillage structuré type hexagonal non uniforme avec des resserrements dans les régions à forts gradients.

La configuration considérée comprend deux jets ronds alignés, les centres des buses sont séparés d'une distance de  $7.5D$ . Les paramètres géométriques régissant le problème sont indiqués dans la Figure 1.

$$\lambda = U_{0d} / U_{0D}$$

$$\lambda_T = T_{0d} / T_{0D}$$

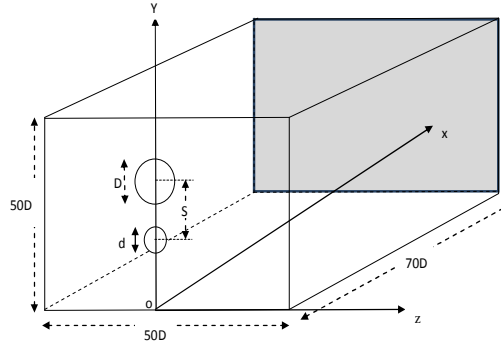


Figure 1 : Paramètres géométriques

Ce type d'interaction est caractérisé par un écoulement tridimensionnel, incompressible, turbulent et stationnaire en moyenne. Les équations moyennées de conservation s'écrivent comme suit :

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\rho U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \mu \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \overline{\rho u_i u_j} \right) \quad (2)$$

$$\rho U_i \frac{\partial T}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \frac{\mu}{Pr} \frac{\partial T}{\partial x_i} - \overline{\rho u_i \theta} \right) \quad (3)$$

La fermeture de ce système nécessite l'utilisation d'un modèle de turbulence. Nous avons testé trois modèles à savoir les modèles RSM du second ordre, k- $\epsilon$  réalisable et k- $\epsilon$  standard du premier ordre.

## 3. Résultats et discussions

### 3.1 Champ dynamique

La Figure 2 illustre une validation de la méthode numérique à travers les profils radiaux de la vitesse axiale. Deux pics sont observés correspondant aux axes des deux jets à la section  $x=10D$  qui se trouve dans la région de convergence. Dans cette région les deux jets commencent à s'attirer l'un vers l'autre par effet Coanda qui favorise la confluence des deux

jets. Cette figure présente une comparaison des résultats obtenus par trois modèles de turbulence et l'étude de Vouros et al [8]. Le modèle RSM et le modèle k-ε réalisable donnent pratiquement les mêmes résultats en bon accord avec Vouros [8], par contre ceux du modèle k-ε standard présentent un écart est bien visible. Pour économiser le temps de calcul, nous avons opté pour le modèle k-ε réalisable pour toute l'étude.

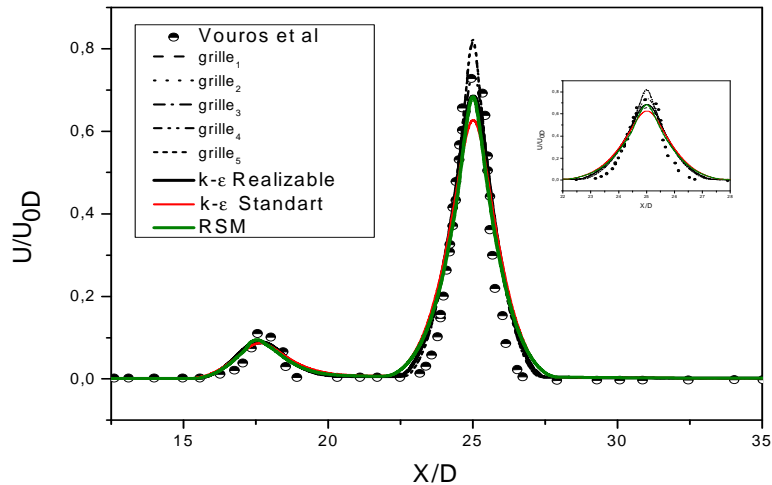


Figure 2 : Profil radial de vitesse axiale et le test de maillage ( $\lambda = 0.25$ )

$$Re_D = 24000, Re_d = 4000, X = 10D \text{ and } Z = 0$$

(Grille<sub>1</sub>:4671175 mailles; Grille<sub>2</sub>:3959640 mailles; Grille<sub>3</sub>:2628967 mailles ;  
Grille<sub>4</sub>:1304359 mailles and Grille<sub>5</sub>:675012 mailles).

Sur la figure 3 nous avons déterminé l'évolution du point de confluence  $\chi_m$  qui représente le point où les iso-contours de vitesse se rencontrent en fonction du rapport de quantité de mouvement  $\psi$  ( $\psi = dU_{0d}^2 / DU_{0D}^2$ ) des deux jets pour différents nombres de Reynolds compris entre 13700 et 54800. La position de ce point atteint une valeur asymptotique pour les rapports de vitesse élevés. Pour  $0,1 < \psi < 0,35$ , le point de confluence varie faiblement, tel que  $3 < \chi_m < 5$ . Ces valeurs sont légèrement plus faibles par rapport aux mesures de Baratian-Ghorghi et al. [9] pour le cas de deux jets identiques, ce qui peut justifier cet écart. Nous constatons que ce point ne varie pas dans le cas où les deux jets ont une même vitesse et cela quelque soit le nombre de Reynolds. A travers cette courbe on peut déterminer le nombre de Reynolds du jet secondaire afin de prévoir l'effet de ce dernier dans la région développée.

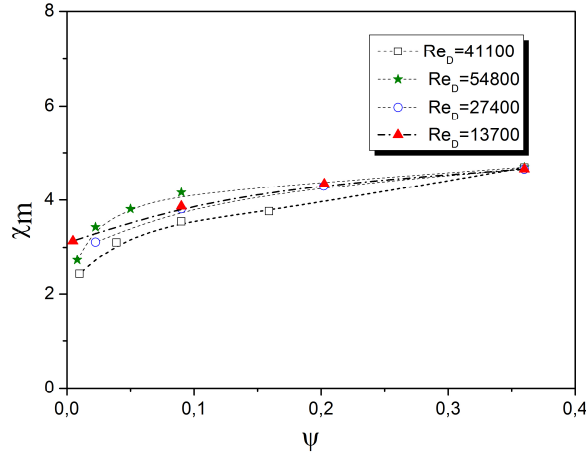


Figure 3 : Évolution du point de confluence en fonction du rapport des quantités de mouvement.

### 3.2 Champ thermique

L'objectif de cette étude consiste à suivre l'évolution de la température résultant de l'interaction entre le jet principal (jet chaud) et le jet secondaire (jet froid) émis à des vitesses différentes dans l'écoulement environnant au repos à la température ambiante  $T_a$ . Pour un rapport de vitesses de 0.25 correspondant aux nombres de Reynolds 24000 pour le jet principal et 4000 pour le jet secondaire; plusieurs écarts de température ( $10^\circ\text{C} \leq \Delta T \leq 50^\circ\text{C}$ ), entre le jet chaud et le jet froid, ont été considérées. Sur la Figure 4, deux maximums sont bien mis en évidence à la section  $x=10D$  qui correspond aux régions initiales des deux jets. Une diminution de la température progressive pour les sections avales est observée, due au refroidissement par le fluide ambiant. Lorsqu'on s'éloigne de la sortie des jets par exemple à  $x=30D$  une diminution considérable de la température est observée en raison de l'échange thermique entre le jet chaud et le jet froid, cette zone est appelée zone de combinaison. Afin d'approfondir l'étude, nous avons examiné la distribution de la température suivant l'axe de chaque jet (Figure. 5 et Figure. 6), nous remarquons que les profils de la température présentent trois régions : la première région la température est constante qui correspond au cône potentiel de chacun des jets suivi par une baisse de la température pour les deux jets et à partir de la section  $x=35D$  la température du jet principal décroît au fur et à mesure que le rapport de température  $\lambda_T$  diminue. Par contre le jet secondaire subit une légère augmentation de la température lors de cet échange.

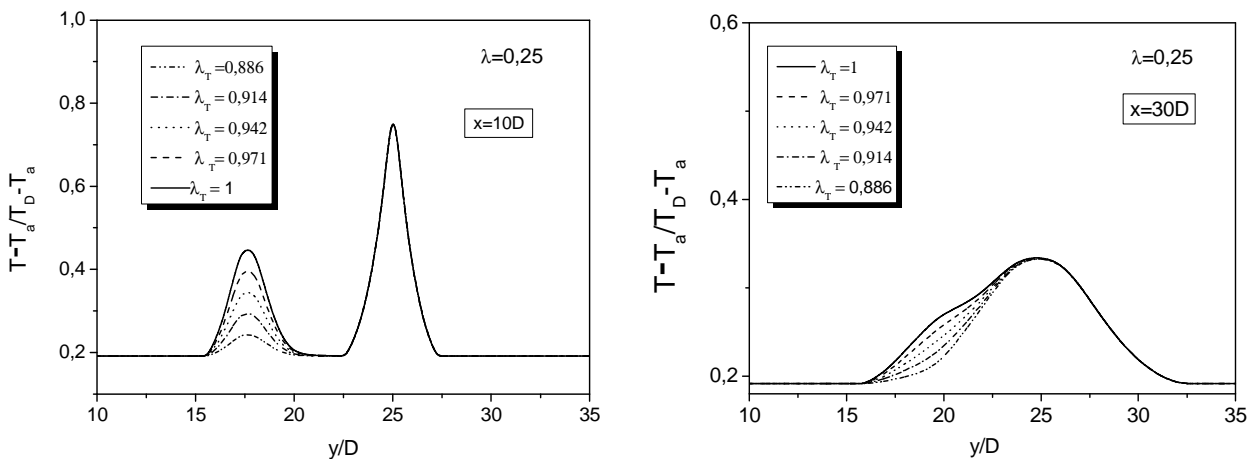


Figure 4 : Évolution transversale de la température

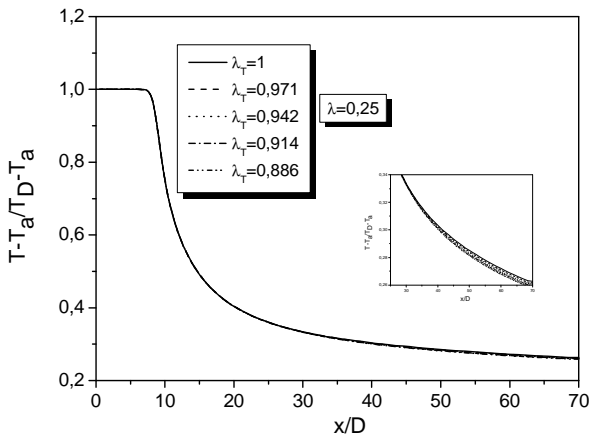


Figure 5 : Distribution de la température le long de l'axe du jet principal

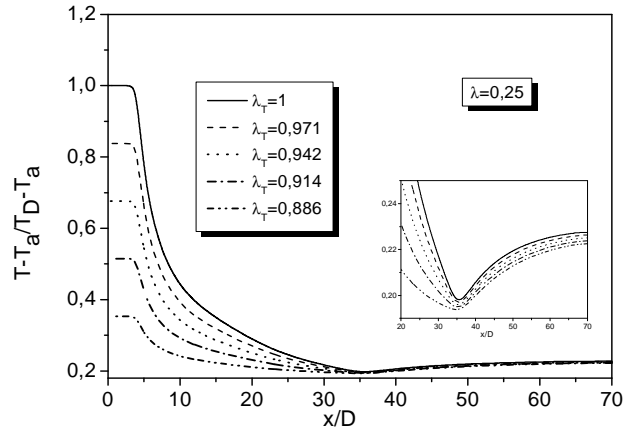


Figure 6 : Variation de la température le long de l'axe du jet secondaire

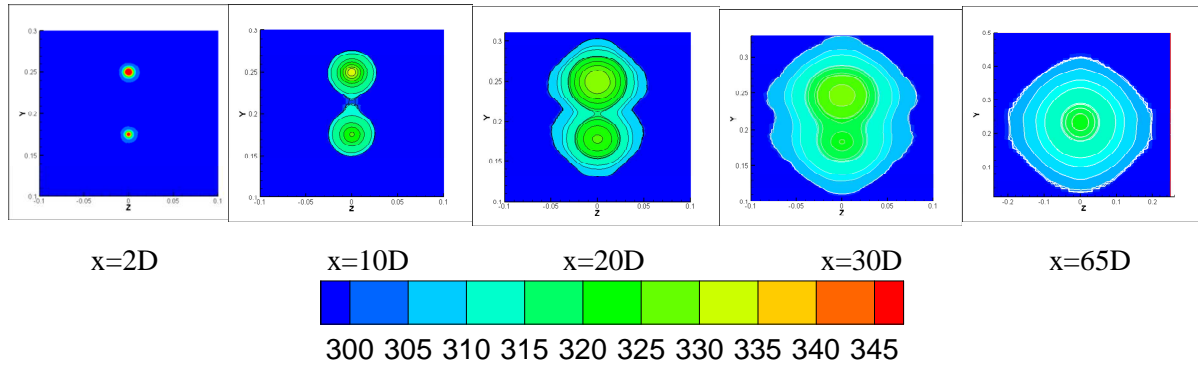


Figure 7 : Évolution des iso-contours de température pour  $\lambda_T=1$  et  $\lambda=1$

La figure 7 représente les isothermes à travers plusieurs sections transversales du domaine de calcul. Nous remarquons la combinaison des deux jets au voisinage du point de confluence et que le jet principal prédomine le jet secondaire. A partir de  $x/D=65$ , on constate que les deux jets sont complètement combinés pour former un jet unique établi et autosimilaire.

### 3.3 Evolution de la température dans la zone pleinement développée

La Figure 8 illustre les profils de la température moyenne, pour un rapport de vitesse  $\lambda=0.25$  dans la zone d'autosimilarité à différent  $\lambda_T$ . Nous remarquons que ces profils sont similaires aux profils de vitesse qui ont une distribution pratiquement Gaussienne. Une inversion de température à  $y/y_{0.5}=1$  ( $y_{0.5}$  est la largeur du jet résultant de l'interaction, qui correspond à la moitié de la valeur maximale de la température sur l'axe d'écoulement) est mise en évidence en raison de l'échange de chaleur entre le flux chaud et froid. Sur la Figure 9 nous présentons la distribution de la température pour un rapport de température égal 1 pour plusieurs valeurs de  $\lambda$ . L'analyse de cette figure montre que l'accroissement du rapport de vitesse conduit à une augmentation du transfert de chaleur. Cette évolution est tout à fait prévisible puisqu'une augmentation de la vitesse entraîne systématiquement un accroissement du transfert de chaleur par convection forcée. Un déplacement des maxima de température du jet principal est bien visible.

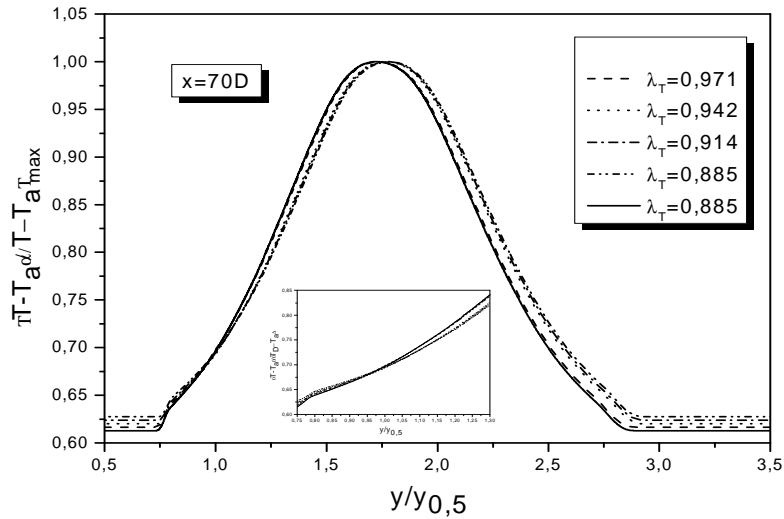


Figure 8 : Profils de température dans la région d'autosimilarité pour  $\lambda=0.25$

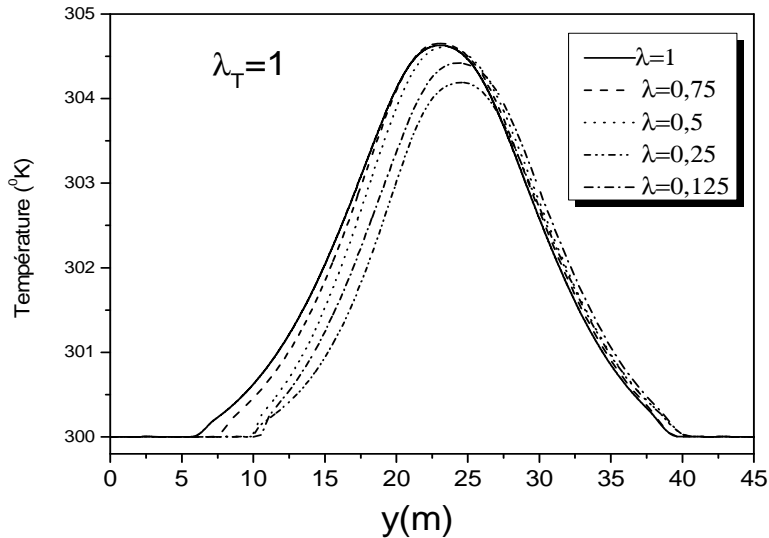


Figure 9 : Profils de température dans la région d'autosimilarité pour  $\lambda_T=1$

#### 4. Conclusion

Les calculs ont permis de faire ressortir les trois régions caractéristiques de ce type d'interaction ainsi que le point de confluence thermique et dynamique. La comparaison des résultats obtenus par le calcul, montrent que le modèle RSM et k- $\epsilon$  Réalisable prédisent plus correctement ce type d'interaction que le modèle k- $\epsilon$  Standard. A travers cette étude le point d'échange thermique maximal a été localisé pour un rapport d'injection donné et pour différents rapports de températures des deux jets, la croissance du taux d'épanouissement thermique avec l'augmentation de la vitesse. En plus nous constatons que le rapport d'injection affecte sensiblement toutes les grandeurs caractéristiques de l'écoulement résultant de l'interaction des deux jets plus particulièrement la distribution de la température notamment son taux d'épanouissement thermique. Par conséquent l'effet du jet secondaire a un rôle efficace pour le refroidissement d'un jet principal.

## Références

- [1] S. Corrsin & M. S. Uberoi, "Further experiments on the flow and heat transfer in a heated turbulent air. " *NACA-TN* 1865-1949.
- [2] W. Rodi, "A new method of analysing hot-wire signals in highly turbulent flow and its evaluation in a round jet. " *DISA Information* 17, 1975.
- [3] I. Wygnanski, & H. Fiedler, "Some measurement in the self preserving gas jet. " *J. fluid mech.* vol. 38, 577-612, 1969.
- [4] H. Elbanna,, & J. A. Sabbagh, Interaction of two nonequal plane parallel jets. *AIAA journal*, 25(1), (1987). 12-13.
- [5] E. Tanaka, & S. Nakata, S. The Interference of Two-Dimensional Parallel Jets: 3rd Report, The Region near the Nozzles in Triple Jets. *Bulletin of JSME*, 18(124), (1975). 1134-1141.
- [6] Z-Q.Yin, H-J. Zhang & J-Z. Lin, "Experimental study on the flow field characteristics in the mixing region of twin jets". *Journal of Hydrodynamics*, 19 (3):309-313(2007).
- [7] A.Vouros, & Th. Panidis, "Influence of a secondary, parallel, low Reynolds number, round jet on a turbulent axisymmetric jet". *Experimental Thermal and Fluid Science* 32,(2008) 1455–1467..
- [8]A. Giannadakis, A. Vouros, & T. Panidis, "Round Jets Pairing". *3rd Meeting of the Greek Section of the Combustion Institute University of Patras Conference Centre*, 7-8 November 2003, P2, 1-8.
- [9] Z. Baratian-Ghorghi, & J. R. Smith, (2012).The merging of two unequal axisymmetric parallel turbulent jets. *Journal of Hydrodynamics, Ser. B*, 24(2), 257-262.