

Etudes des paramètres cinétiques et thermiques d'un jet coaxial

MariamBayoudh, HazemTouati, HmaiedBen N'Ticha,
 Ecole Nationale d'ingénieurs Monastir Rue Ibn El Jazzar 5000 Monastir
bayoudhmaryam@live.fr; touati_2001@yahoo.fr; hmaied_benticha@yahoo.fr;

Résumé

Le présent travail est une étude préliminaire à nos recherches dédiées aux échanges thermiques dans un four chauffé par la combustion des grignons d'olives sous forme de jet pulvérisé. En effet, la configuration du jet coaxial est souvent utilisée dans la conception des brûleurs. Le jet coaxial, considéré ici, est supposé homogène et composé d'un jet central de diamètre initial D_1 , de vitesse initiale U_1 , et de température initiale T_1 et d'un jet annulaire de diamètre initial D_2 , de vitesse initiale U_2 , et de température initiale T_2 . Cette expérience a été choisie pour ses états relativement simples de géométrie et des conditions aux limites, malgré que l'écoulement soit complexe et ressemble à celui dans un brûleur de turbine à gaz. La résolution numérique des équations de bilan, ci-dessous, nous a fourni les champs de vitesses, de températures et de l'énergie cinétique turbulente. Les simulations de l'écoulement turbulent non réactif prédit les résultats expérimentaux avec un bon accord.

Nomenclature

T	Température.....	[K]
u,v	Vitesses axiale et radiale.....	[m.s ⁻¹]
K	Energie cinétique turbulente.....	[m ² .s ⁻²]
ε	Taux de dissipation de l'énergie cinétique turbulente.....	[m ² .s ⁻³]
μ	Viscosité dynamique	[kg.m ⁻¹ .s ⁻¹]
μ_t	Viscosité dynamique turbulente.....	[kg.m ⁻¹ .s ⁻¹]
ρ	Masse volumique	[Kg/m ⁻³]
C_p	Chaleur spécifique	[J.Kg ⁻¹ .K ⁻¹]
λ	Conductivité thermique.....	W/m.K

1. Introduction

-Intérêt de configuration de jet coaxial Application (brûleurs...)

La combustion turbulente se produit dans de nombreux dispositifs pratiques tels que les brûleurs, les turbines à gaz, des fours, les chaudières, les moteurs à combustion interne ou les moteurs de fusée. La turbulence entraîne de grandes fluctuations de vitesse et de la température. La connaissance des paramètres est primordiale pour contrôler le comportement de vitesse et température au sein de ces engins. D'où vient l'utilité de cette étude qui a pour but de caractériser l'état de mélange et son incidence sur la répartition de la vitesse et de la température.

Khoddadadi et Vlacos [1] ont étudié numériquement et expérimentalement les variations de vitesse et fluctuations d'un mélange turbulent d'un jet primaire et un autre secondaire dans un tuyau avec des conditions d'entrée différents.

Richard et AL [2] ont étudié la variation de température d'un mélange turbulent deux jets coaxiaux avec deux températures d'entrée différentes et ont étudié 'effet de variation de tempearture sur le champ de vitesse.

2. Modélisation mathématique :

2.1. Les équations gouvernantes

Le modèle κ - ϵ présenté par Launder et Spalding [3] est utilisé pour modeler l'énergie cinétique turbulente κ et le taux de dissipation de l'énergie cinétique ϵ . Les équations de Naviers Stokes s'expriment alors comme :

- **Equation de conservation de la masse :**

$$\frac{\partial \rho u}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial (r \rho v)}{\partial r} = 0$$

- **Equations de conservation de la quantité de mouvement :**

- **Selon la direction x:**

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho U U)}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial(r \rho V U)}{\partial r} \\ = -\frac{\partial p}{\partial z} - \frac{2}{3} \frac{\partial(\rho k)}{\partial x} + \frac{1}{r} \left[\frac{\partial}{\partial z} \left(2r(\mu_t + \mu) \frac{\partial U}{\partial r} \right) + r(\mu_t + \mu) \left(\frac{\partial U}{\partial r} + \frac{\partial V}{\partial z} \right) \right] \end{aligned}$$

- **Selon la direction r :**

$$\begin{aligned} \frac{1}{r} \left[\frac{\partial(\rho U V)}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial(r \rho V V)}{\partial r} \right] \\ = -\frac{\partial p}{\partial z} - \frac{2}{3} \frac{\partial(\rho k)}{\partial x} + \frac{1}{r} \left[\frac{\partial}{\partial z} \left(2r(\mu_t + \mu) \frac{\partial V}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left(r(\mu_t + \mu) \left(\frac{\partial U}{\partial r} + \frac{\partial V}{\partial z} \right) \right) \right] - 2(\mu_t + \mu) \frac{V}{r} \end{aligned}$$

- Equation de d'énergie cinétique turbulente :

•

$$\frac{1}{r} \left[\frac{\partial(r\rho U k)}{\partial z} + \frac{\partial(r\rho V k)}{\partial r} \right] = \frac{1}{r} \left[\frac{\partial}{\partial z} \left(r \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} + \mu \right) \frac{\partial k}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left(r \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} + \mu \right) \frac{\partial k}{\partial r} \right) \right] + Pk - \rho \epsilon$$

- Equation du taux de dissipation d'énergie cinétique turbulente :

•

$$\begin{aligned} \frac{1}{r} \left[\frac{\partial(r\rho U \epsilon)}{\partial z} + \frac{\partial(r\rho V \epsilon)}{\partial r} \right] \\ = \frac{1}{r} \left[\frac{\partial}{\partial z} \left(r \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} + \mu \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left(r \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} + \mu \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial r} \right) \right] + C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} Pk - C_{\epsilon 2} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \end{aligned}$$

Avec

$$Pk = (\mu + \mu_t) \left[2 \left\{ \left(\frac{\partial U}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial r} \right)^2 + \left(\frac{V}{r} \right)^2 \right\} + \left(\frac{\partial U}{\partial z} + \frac{\partial V}{\partial r} \right)^2 \right]$$

- Equation de conservation de l'énergie :

$$\left(\frac{\partial(\rho u T)}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial(r\rho v T)}{\partial r} \right) = \frac{\lambda}{C_p} \left(\frac{\partial^2 u T}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) \right) + S$$

tel que les constantes de modèle κ - ϵ sont :

C_μ	$C_{\epsilon 1}$	$C_{\epsilon 2}$	σ_k	σ_ϵ
0.09	1.44	1.92	1.0	1.33

La viscosité turbulente μ_t s'écrit :

$$\mu_t = \frac{C_\mu \rho k^2}{\epsilon}$$

Conditions d'entrée :

-Energie cinétique à l'entrée de jet :

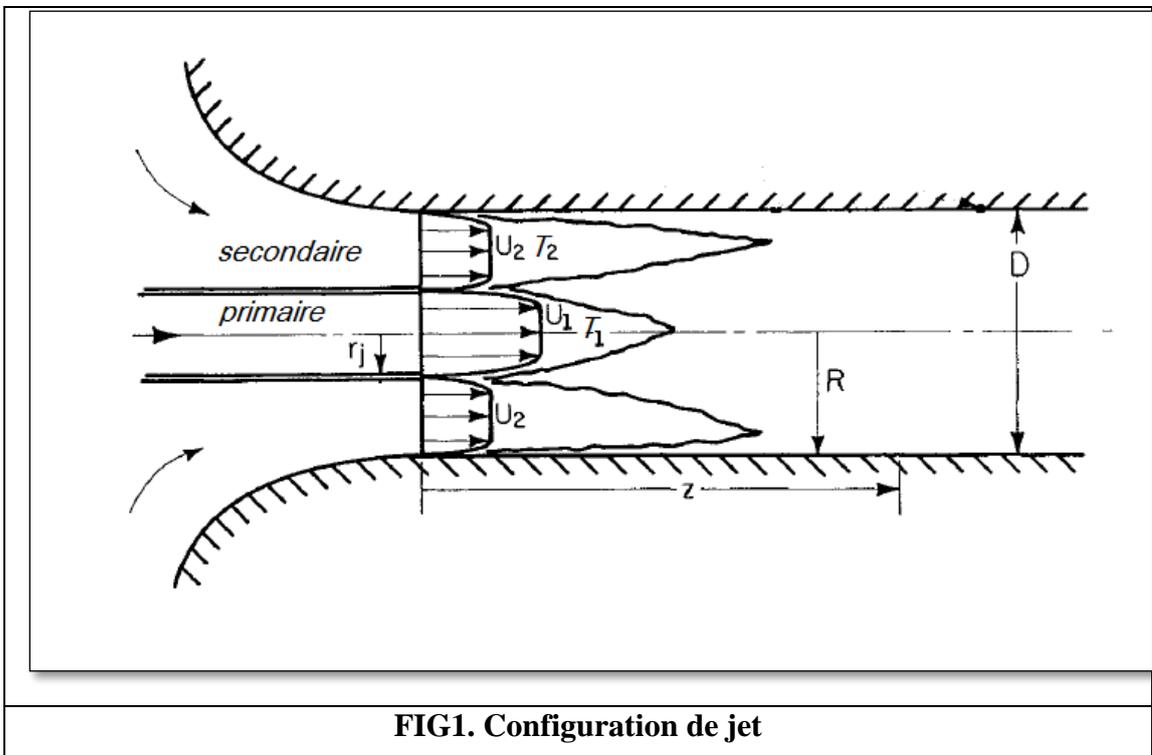
$$\kappa_{in} = 1.5 * (I * U_{in})^2$$

-Taux de dissipation d'énergie cinétique turbulente à l'entrée de jet :

$$\varepsilon = \frac{C_{\mu} \kappa^{1.5}}{l} ; \quad l = 0.005 Dh$$

2.3. Configuration :

La simulation réalisée par le code 'FORTRAN' est menée dans un objectif d'être validée par les résultats de l'étude expérimentale dans une chambre de combustion à deux jets coaxiaux. Le jet central, de rayon intérieur R_1 et de rayon extérieur R_2 , injecte de l'air avec une vitesse V_1 et une température T_1 ; et le jet annulaire, de rayon R_2 , injecte de l'air avec une vitesse V_2 et une température T_2 , dans une chambre de combustion avec des parois isothermes.



		Validation vitesse et énergie cinétique	Validation température
Jet primaire	Vitesse primaire U_1	62.2 m/s	90 m/s
	Diamètre interne D_1	1.27 cm	9.16 cm
	Température primaire T_1	300 K	300 K
Jet secondaire	Vitesse secondaire U_2	5.1 m/s	90 m/s
	Diamètre externe D_2	10.795 cm	53.34 cm
	Température secondaire T_2	300 K	466 K

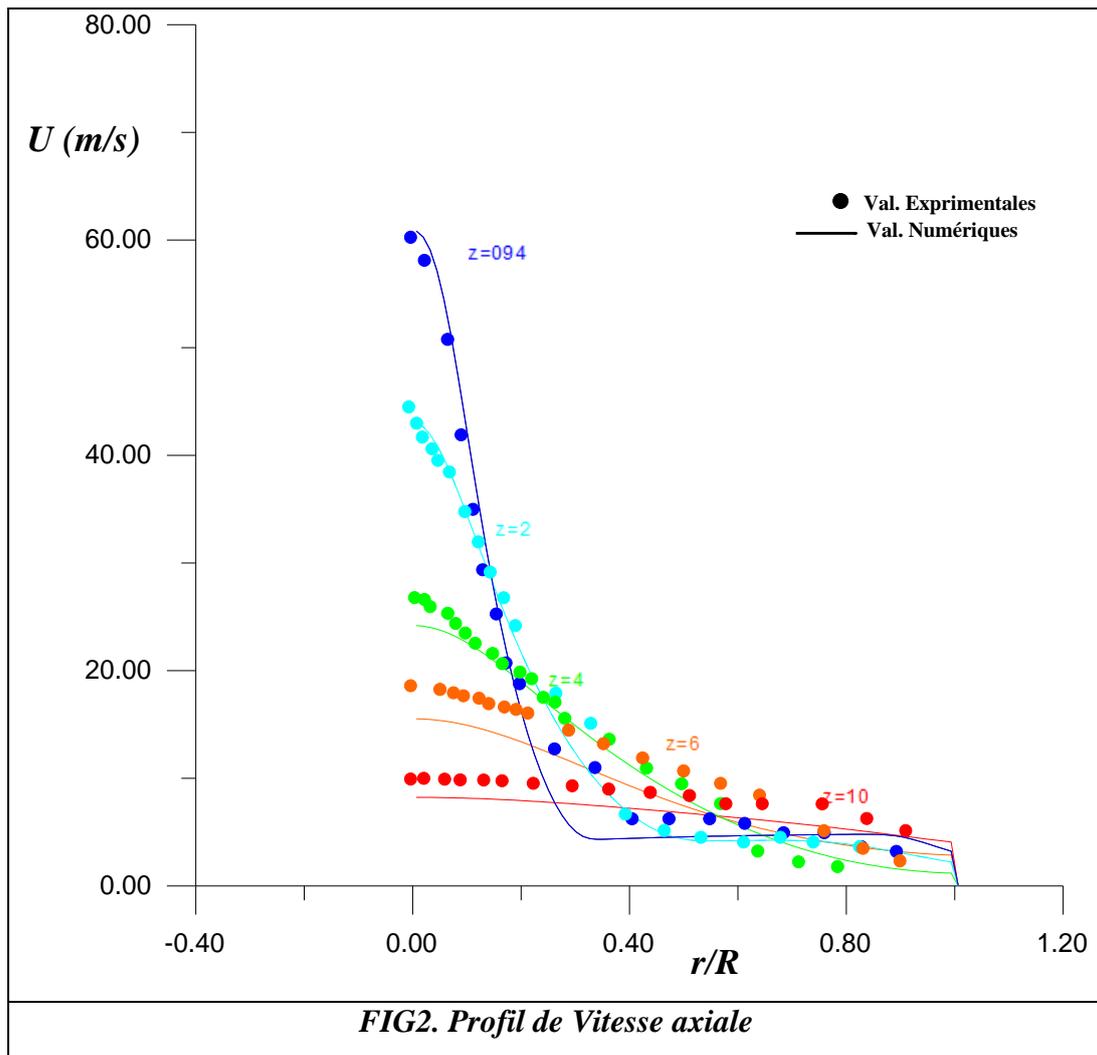
2.4. Procédure Numérique

Le domaine de calcul est cylindrique. La résolution numérique est faite par la Méthode du Volume Fini (FVM) décrite par Patankar [4]. Elle exige tout d'abord la discrétisation des équations aux dérivées partielles et les conditions aux limites. Ainsi, le domaine est divisé en un nombre fini de volumes de contrôle indépendants entre eux. Le couplage vitesse-pression est résolu grâce à l'algorithme SIMPLE (Semi-implicite-Method for Pressure-Linked-Equations). Le maillage non uniforme et s'étendant progressivement selon les directions longitudinale et transversale a été adopté en simulation numérique. Le maillage le plus compatible dans notre cas correspond $N_i \times N_j = 120 \times 80$ nœuds de discrétisation.

3. Résultats et discussions

Validation des résultats numériques :

Courbes et commentaires



Pour la configuration de jet coaxial, des variations du profil de vitesse radiale sont représentées sur la figure 2 pour différentes distances axiales en aval de la sortie du jet d'air.

On note qu'il y a un bon accord entre les résultats de l'expérience et ceux du calcul numérique. La vitesse est maximale à l'entrée de jet ($r=0$) puis elle s'annule ensuite sur les parois ($r=R$).

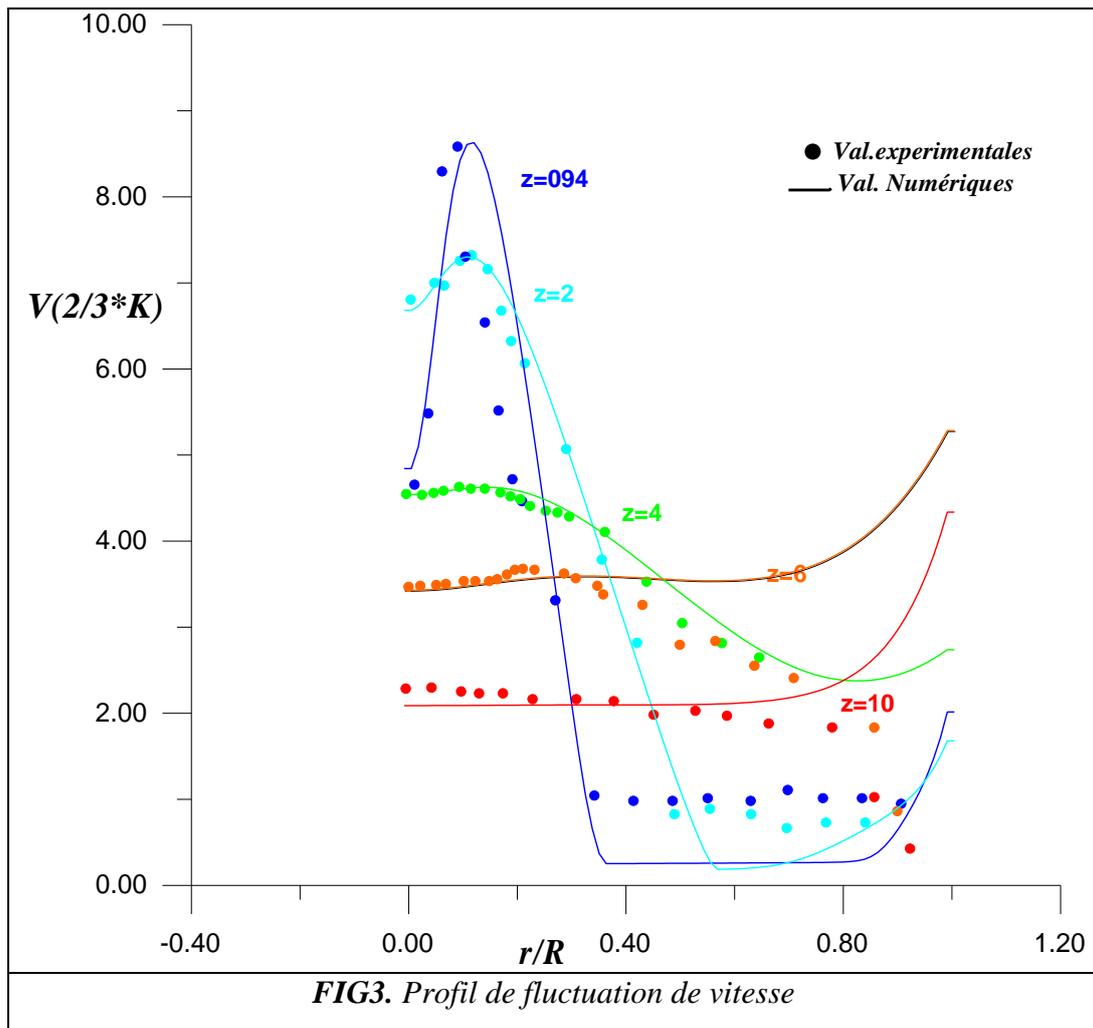


FIG3. Profil de fluctuation de vitesse

Sur la figure 3 sont représentés les différents profils de fluctuation de vitesse ($2/3$ de l'énergie cinétique turbulente). Les résultats sont en bonne concordance. Des écarts sont présent aux parois peuvent être dues aux effets de paroi. On remarque un pic de fluctuation qu'à l'entrée de jet ($z=0.94$ cm) ce pic va diminuer jusqu'à disparaître à la sortie ($z=10$ cm). Les structures de turbulence sont plus importantes à l'entrée de jet puis diminuent jusqu'à disparaissent à la sortie.

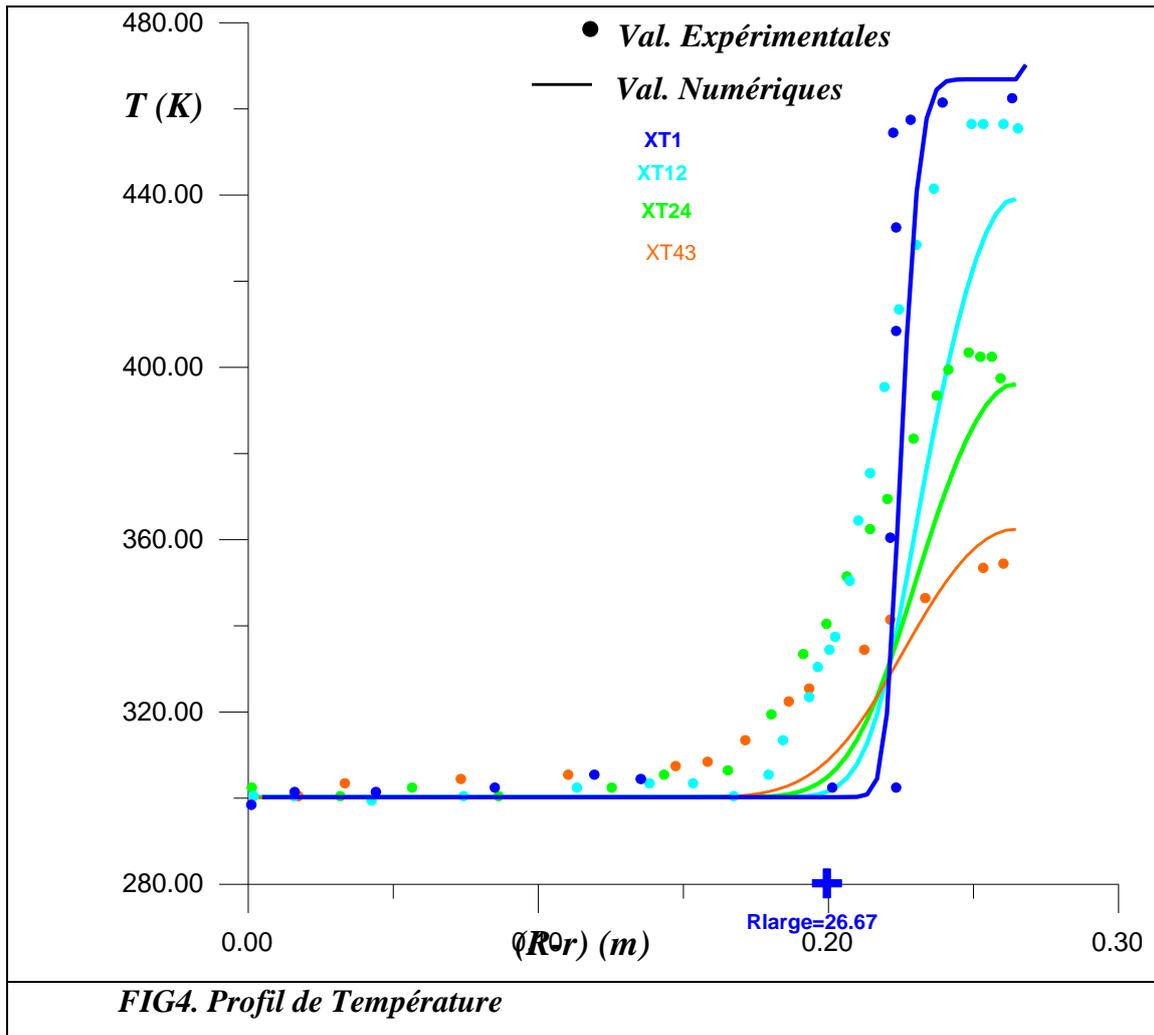


FIG4. Profil de Température

Les distributions de température radiale sont présentées dans les Fig.4. L'intensité de la variation de température est largement liée aux fluctuations de vitesse, il est l'une des quantités de turbulence les plus importantes dans cette étude. Les résultats prédits sont comparés aux travaux précédents Richard et al [2]. Bien que les résultats calculés présentent des distributions approximativement égales à celles expérimentales, de légères différences se trouvent dans les positions de pics et de leurs valeurs. Les écarts semblent être provoqués par les autres valeurs de turbulence.

Comme les intensités de turbulence influent principalement le champ de température, il semble nécessaire d'affiner les équations modélisées pour les quantités de turbulence pour prédire plus précisément les fluctuations de température.

4. Conclusion

Il a été démontré à travers cette étude que nos résultats de simulation des vitesses axiales, des fluctuations de vitesse et de la variation de la température sont en très bon accord avec les résultats de

références, et ont montré l'efficacité de modèle k-epsilon pour rendre bien compte des champs dynamiques et thermique. En plus, on a conclu que le champ de fluctuation a un fort effet sur la comportement de température.

Une amélioration des résultats consiste à se rapprocher des conditions réelles. La présente étude peut être prolongée pour inclure le cas réactif.

5. Références

[1] **Khodadadi et Vlacos** Experimental and Numerical Study of Confined Coaxial Turbulent Jets (1989)

[2] **Richard et Al. (1959)** Experimental Investigation Of Coaxial Jet Mixing Of Two Subsonic Streams At Various Temperature, Mach Number, And Diameter Ratios For Three configurations (1959)

[3] **Lauder, B. E., Spalding, D. B.,** The Numerical Computation of Turbulent Flows, *Computer Methods in Mechanics and Engineering*, 3 (1974), 2, pp. 269-289

[4] **Pathankar et Spalding** Numerical Heat Transfer and Fluid Flow (1980)