



**HAL**  
open science

# **Etude de l'influence de l'amplitude et la fréquence de pulsation sur le taux de mélange d'un jet libre plan à densité variable**

Wassim Kriaa, Hatem Mhiri, Georges Le Palec, Philippe Bournot

► **To cite this version:**

Wassim Kriaa, Hatem Mhiri, Georges Le Palec, Philippe Bournot. Etude de l'influence de l'amplitude et la fréquence de pulsation sur le taux de mélange d'un jet libre plan à densité variable. JITH 2007, Aug 2007, Albi, France. 5p. <hal-00160940>

**HAL Id: hal-00160940**

**<https://hal.science/hal-00160940v1>**

Submitted on 29 Aug 2007

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

# ETUDE DE L'INFLUENCE DE L'AMPLITUDE ET LA FREQUENCE DE PULSATION SUR LE TAUX DE MELANGE D'UN JET LIBRE PLAN A DENSITE VARIABLE

\*Wassim KRIAA, \*Hatem MHIRI, \*\*Georges LE PALEC, \*\*Philippe BOURNOT

\* Laboratoire de Mécanique des Fluides et Thermique, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Monastir, Route de Ouardanine 5000 MONASTIR (TUNISIE)

\*\* IRPHE, UNIMECA 60 Rue Juliot curie technopole de Chateau-Gombert 13453 MARSEILLE cedex 13 (FRANCE)

*kriaawass@yahoo.fr*

**Résumé :** On se propose d'étudier un jet plan pulsé à masse volumique variable en régimes laminaire et in stationnaire. A la sortie de la buse, l'écoulement est soumis à une perturbation périodique de la vitesse d'éjection de la forme:  $u = u_0(1 + A \sin(\omega t))$ . La résolution numérique des équations régissant l'écoulement est effectuée à l'aide d'un code de calcul basé sur une méthode aux différences finies. Les résultats obtenus montrent que la pulsation affecte le mélange au voisinage de la buse d'éjection, plus loin les résultats du régime in stationnaire rejoignent ceux du jet permanent non pulsé. Les résultats indiquent aussi que le nombre de Strouhal n'influe pas beaucoup sur le degré de mélange de l'écoulement, alors que l'amplitude de pulsation affecte d'une manière remarquable le mélange.

**Mots clés :** Régimes laminaire et in stationnaire, Jet, Pulsé, masse volumique variable.

## 1. INTRODUCTION

Les études numériques effectuées sur les écoulements de type jet soumis à des perturbations périodiques sont rares [1,2]. En régime laminaire, Marzouk et al [1] ont montré que le développement d'un jet pulsé dépend à la fois de l'amplitude de pulsation et du nombre de Strouhal et qu'il est difficile de séparer leur influence respective. Par ailleurs, dans tous les cas, le jet pulsé atteint le même régime d'équilibre que le jet permanent dans la région de panache. En régime turbulent, Monkbadji [2] a étudié numériquement un jet circulaire soumis à une perturbation périodique : il a trouvé que l'oscillation forcée permet d'augmenter ou de réduire l'épaisseur de la couche de cisaillement et la vitesse selon les valeurs du nombre de Strouhal. Pour  $St < 0,5$ , le taux de mélange croît avec l'amplitude de pulsation, mais ceci n'est nettement observable que si l'amplitude de pulsation est supérieure à 0,5% de la vitesse d'éjection. Pour des nombres de Strouhal allant de 0,6 à 1, l'épaisseur de la couche limite dynamique augmente même pour des amplitudes de pulsation faibles. Pour des niveaux d'excitation plus grands que 10%, l'épaisseur de la couche limite dynamique augmente considérablement.

A notre connaissance, l'effet de la pulsation sur le taux de mélange d'un jet à masse volumique variable n'a pas été examiné. Or d'après les études effectuées sur les jets simples, la pulsation accélère le développement initial du jet et a un effet nette sur la diffusion et l'entraînement et, par conséquent, le mélange dans les premiers diamètres du jet. On se propose donc, d'étudier en régime laminaire, l'effet de l'amplitude et de la fréquence de pulsation sur le mélange d'un jet libre à densité variable isotherme ou non.

## 2. HYPOTHESE

On considère un écoulement vertical d'un gaz (Argon) éjecté d'une buse plane débouchant dans une atmosphère composée d'un fluide de densité différente (air). Le problème est bidimensionnel, le régime de l'écoulement est laminaire et in-stationnaire. On traite un mélange à deux constituants non réactifs dans le cas d'un écoulement dilatable. Les gaz émis se comportent comme des gaz parfaits et les hypothèses de la couche limite sont admises. Les équations décrivant l'écoulement sont écrites dans un système de coordonnées tel que l'origine des axes se trouve au milieu de la section de sortie de la buse (figure 1).

## 3. EQUATIONS ET METHODE NUMERIQUE

### 3.1. Mise en équations

#### 3.1.1. Equations adimensionnées

Les variables adimensionnelles utilisées sont :

$$X = \frac{x}{b}; Y = \frac{y}{b}; U = \frac{u}{u_0}; V = \frac{v}{u_0}; F_1 = \frac{m_1}{m_0};$$

$$\tau = \frac{t u_0}{b}; \rho^* = \frac{\rho}{\rho_0}; \mu^* = \frac{\mu}{\mu_0}; D_{1m}^* = \frac{D_{1m}}{D_{12}}; \lambda^* = \frac{\lambda}{\lambda_0};$$

$$\theta = \frac{T - T_\infty}{T_0 - T_\infty}; C_{pi}^* = \frac{C_{pi}}{C_{p0}} \text{ avec } i = 1, 2.$$

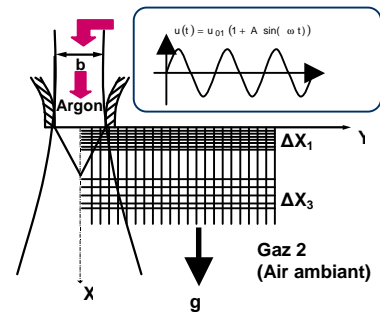


Figure 1 : Système de coordonnées

Les équations adimensionnelles s'écrivent alors :

$$\frac{\partial \rho^*}{\partial \tau} + \frac{\partial \rho^* U}{\partial X} + \frac{\partial \rho^* V}{\partial Y} = 0 \quad (1)$$

$$\rho^* \frac{\partial U^*}{\partial \tau} + \rho^* U \frac{\partial U}{\partial X} + \rho^* V \frac{\partial U}{\partial Y} = \frac{1}{Re} \frac{\partial}{\partial Y} \left( \mu^* \frac{\partial U}{\partial Y} \right) \pm \frac{Ga}{Re^2} (\rho^* - W) \quad (2)$$

$$\rho^* \frac{\partial F_1}{\partial \tau} + \rho^* U \frac{\partial F_1}{\partial X} + \rho^* V \frac{\partial F_1}{\partial Y} = \frac{1}{Sc \cdot Re} \frac{\partial}{\partial Y} \left( \rho^* D_{1m}^* \frac{\partial F_1}{\partial Y} \right) \quad (3)$$

$$\rho^* C_p^* \frac{\partial \theta}{\partial \tau} + \rho^* C_p^* U \frac{\partial \theta}{\partial X} + \rho^* C_p^* V \frac{\partial \theta}{\partial Y} = \frac{1}{Re Pr} \frac{\partial}{\partial Y} \left( \lambda^* \frac{\partial \theta}{\partial Y} \right) + \frac{1}{Re Sc} \rho^* D_{1m}^* (C_{p1}^* - C_{p2}^*) \frac{\partial \theta}{\partial Y} \frac{\partial F_1}{\partial Y} \quad (4)$$

#### 3.1.2. Conditions aux limites adimensionnées

A ces équations sont associées les conditions aux limites ci-dessous:

$$\text{Pour } Y=0: V(X,0,\tau) = \frac{\partial F_1(X,0,\tau)}{\partial Y} = \frac{\partial U(X,0,\tau)}{\partial Y} = \frac{\partial \theta(X,0,\tau)}{\partial Y} = 0$$

$$\text{Pour } Y \rightarrow \infty: U(X,Y,\tau) = F_1(X,Y,\tau) = \theta(X,Y,\tau) = 0 \quad (5)$$

Les conditions d'éjection adimensionnées s'écrivent de la façon suivante:

Pour  $X=0; V(0,Y,\tau) = 0$  et

$$\text{Si } 0 \leq Y < 1/2 \quad U(0,Y,\tau) = 1 + A \sin(2\pi St \tau)$$

$$F_1(0,Y,\tau) = 1, \theta(0,Y,\tau) = 1, F_2(0,Y,\tau) = 0$$

$$\text{Si } Y \geq \frac{1}{2} \quad U(0, Y, \tau) = F_I(0, Y, \tau) = \theta(0, Y, \tau) = 0 \quad (6)$$

Les propriétés thermo-physiques du mélange sont déterminées à l'aide des relations données par les auteurs [3].

### 3.1.3. Méthode de résolution numérique

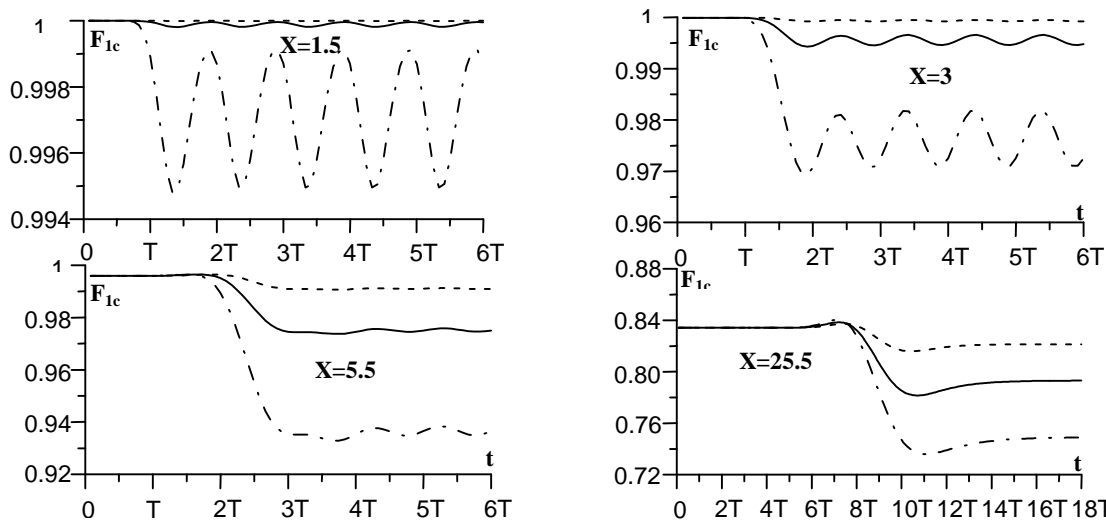
Le système d'équations (1-4) associé à ses conditions aux limites (5) et (6) est résolu par un modèle numérique basé sur une méthode aux différences finies utilisant un schéma implicite pour le temps. Afin d'avoir la stabilité numérique des calculs, on a opté par un maillage décalé. Le maillage est non uniforme suivant la direction longitudinale. Dans la direction transversale, le pas de calcul est constant ( $\Delta Y = 10^{-2}$ ). Concernant le pas de temps  $\Delta \tau$ , il est pris égal  $1/12St$  pour tous les cas considérés.

## 4. RESULTATS ET DISCUSSION

Pour tous les cas traités, l'écoulement est vertical favorable, le rapport des densités  $w$  est égal à 0,725 et le nombre de Schmidt ( $Sc$ ) vaut 0,707.

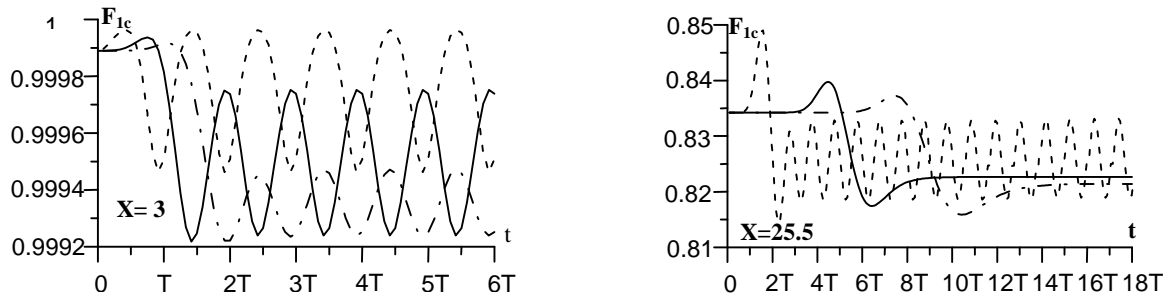
### 4.1. Jet pulsé isotherme à masse volumique variable

Nous présentons sur la *figure 2* l'évolution temporelle de la fraction massique au centre à des diverses sections ( $X=1,5, 3, 5,5$  et  $25,5$ ) et pour différentes valeurs de l'amplitude de pulsation ( $A= 15\%, 30\%$  et  $50\%$ ). A proximité de la buse ( $X \leq 1,5$ ) et pour les faibles amplitudes de pulsation la fraction massique au centre garde une valeur pratiquement constante égale à 1 (la pulsation n'a pas d'effet sur le mélange), par contre pour les grands amplitudes ( $A=50\%$ ) la fraction massique diminue légèrement et prend la forme d'un profil sinusoïdal de période identique à celle de la pulsation. Puis, pour  $X = 3$ , l'amplitude de la partie périodique augmente fortement surtout pour les grands amplitudes de pulsation, et on remarque la présence simultanée d'une partie non périodique plate jusqu'à un temps  $t=T_f$ , d'une deuxième partie aléatoire qui s'étale jusqu'à  $t=2T_f$  et d'une dernière partie sinusoïdale de périodes voisines de la période d'excitation ( $2T \leq t < \infty$ ). Pour  $X = 5,5$ , le profil sinusoïdal disparaît, mais une trace de la perturbation persiste avec une période voisine de la période d'excitation. Pour  $X = 25,5$ , la fraction massique au centre présente une partie plate ( $F_{Ic}=1$ ) qui se prolonge jusqu'à  $t=6T_f$ . Ce dernier est le temps mis par la perturbation pour parcourir la distance  $X=25,5$ .



**Figure 2 :** Evolution temporelle de la fraction massique au centre pour  $u_{01}=0.711\text{m/s}$ ,  $b=0.01\text{m}$ ,  $St=0.5$  et -----  $A= 15\%$  ———  $A= 30\%$  -.-.-.-  $A= 50\%$   
Albi, France du 28 au 30 Août 2007

Sur la *figure 3*, on donne l'évolution temporelle de la fraction massique au centre pour différents nombres de Strouhal. On note que pour les faibles nombres de Strouhal l'effet de la pulsation apparaît pour des temps plus faibles et demeure visible pour des temps très élevés, par contre le taux de mélange dans ce cas est moins important. Pour les forts nombres de Strouhal, la structure de la fraction massique perd rapidement son identité par diffusion sous l'effet de la viscosité moléculaire. Pour  $X=25,5$ , plus la fréquence de pulsation est élevée, plus son effet disparaît rapidement. Par contre, pour les faibles nombres de Strouhal ( $St=0,1$ ), la fraction massique au centre garde une allure sinusoïdale, même pour des temps très élevées.



Le tableau 1, ci-dessous, donne l'effet de l'amplitude et de la fréquence de pulsation sur le mélange à une distance  $X$  à la buse égale à 25,5.

Type du jet	Caractéristiques	A partir d'un t	$F_{I\text{moyc}}$	Augmentation du mélange %
Non pulsé [4]	$A = 0\%$ $St = 0$	$t = 0$	0,835	-
Pulsé	$A = 15\%$ $St = 0,5$	$t = 13T$	0,821	1,6 %
Pulsé	$A = 30\%$ $St = 0,5$	$t = 13T$	0,792	5,1 %
Pulsé	$A = 50\%$ $St = 0,5$	$t = 13T$	0,743	11 %

**Figure 3 :** Evolution temporelle de la fraction massique au centre pour  $u_{01}=0.711\text{m/s}$ ,  $b=0.01\text{m}$   $A=15\%$  et -----  $St = 0.1$  ———  $St = 0.3$  - - - - -  $St = 0.5$

Pulsé	$A = 15\%$ $St = 0,1$	$t = 2,5T$	0,825	1,2 %
Pulsé	$A = 15\%$ $St = 0,3$	$t = 7,33T$	0,822	1,5 %

**Tableau 1 :** Influence de la pulsation sur le mélange

Le tableau 1 permet de constater que la fréquence de pulsation a un effet limité sur le taux de mélange. En effet, le mélange n'a pas augmenté de plus que 1,6% par rapport à celui d'un jet non pulsé [4] pour des nombres de Strouhal compris entre 0,1 et 0,5. Par contre, l'amplitude de pulsation a un effet important sur le mélange qui augmente d'environ 11% par rapport au jet non pulsé pour une amplitude de pulsation égale à 50%. Ce même tableau montre que pour différentes amplitudes de pulsation, les paliers observés en aval de la partie aléatoire débutent à un même instant  $t = 13T_f$  (Voir figure 2 pour  $X=25,5$ ). Par contre, pour différentes fréquences de pulsation ces paliers commencent à des instants différents (Voir figure 3 pour  $X=25,5$ ).

#### 4.2. Jet pulsé non isotherme à masse volumique variable

Afin d'examiner l'influence de la pulsation sur les grandeurs thermiques d'un jet pulsé à masse volumique variable. On a considéré le cas d'un jet froid descendant, la température du gaz issu de la buse (Argon) étant égale à 200 K, alors que la température de l'air ambiant dans lequel débouche le jet est égale à 298 K. La figure 4a, montre que les grands nombres de Strouhal n'ont pas beaucoup d'influence sur la distribution de la température. Par contre, la figure 4b montre l'influence significative de l'amplitude de pulsation. En effet, ce paramètre a

tendance à favoriser les échanges thermiques et à chauffer le jet dans la région proche de la bus

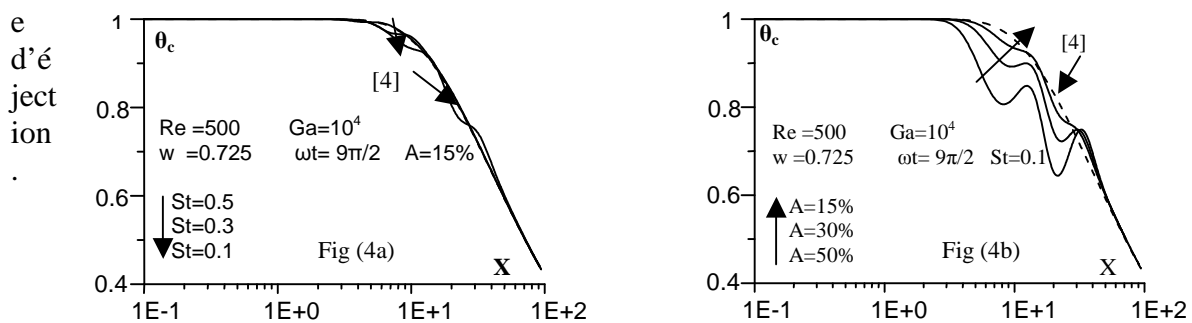


Figure 4 : Distribution longitudinale de la température adimensionnée au centre

## CONCLUSION

Cette étude montre que la fréquence de pulsation a un effet limité sur le taux de mélange. En effet, le mélange n'a pas augmenté de plus que 1,6% par rapport à celui d'un jet non pulsé pour des nombres de Strouhal compris entre 0,1 et 0,5. Par contre, l'amplitude de pulsation a un effet important sur le taux de mélange de l'écoulement étudié et le mélange augmente d'environ 11% par rapport au jet non pulsé pour une amplitude de pulsation égale à 50%. Concernant le champ de température, on a montré que les grands nombres de Strouhal n'ont pas beaucoup d'influence sur ce paramètre. Par contre, l'amplitude de pulsation a tendance à augmenter les échanges thermiques et à chauffer le jet près de la buse d'éjection.

## Nomenclature

b	épaisseur de la buse, m	Pr	nombre de Prandtl ( $\mu_0 C_{p0} / \lambda_0$ )
D	coefficient de diffusion, $m^2 s^{-1}$	St	nombre de Strouhal ( $b / T_f u_0$ )
$C_p$	chaleur spécifique à pression constante, $J kg^{-1} K^{-1}$	w	Rapport densités initiales $\rho_\infty / \rho_0$
m	fraction massique	Symboles grecs	
F	fraction massique adimensionnée	$\rho$	densité, $kg.m^{-3}$
U, V	composantes de la vitesse adimensionnée	$\theta$	température adimensionnée
X, Y	coordonnées longitudinale et transversale adimensionnées	$\tau$	temps adimensionné
T	température, K	$\lambda$	conductivité, $W m^{-1} K^{-1}$
t, $T_f$	respectivement temps et période, s	$\mu$	viscosité, $kg m^{-1} s^{-1}$
Ga	nombre de Galileo ( $gb^3 / \nu_0^2$ )	Indices	
$Re$	nombre de Reynolds ( $u_0 b / \nu_0$ )	0	à la sortie de la buse
Sc	nombre de Schmidt ( $\mu_0 / \gamma_0$ )	C	axe du jet
		me	le mélange
		$\infty$	milieu ambiant

## Références

- [1] Marzouk salwa, Mhiri H., El Golli salem, Lepalec G., Bournot PH, Numerical study of momentum and heat transfer in a pulsed plane laminar jet, I.J of Heat and Mass Transfer, Vol 46, 4319-4334 2003.
- [2] Mankbadi R.R, The mechanism of mixing enhancement and suppression in a circular jet under excitation conditions, Phys.Fluids, Vol 28, 7, 2062-2074, july 1985.
- [3] Robert C.Reid and Thomas K.Sherwood, "The properties of gases and liquids", Second Edition, MC GRAW-HILL, 1966.
- [4] W.KRIAA, thèse, Influence d'une couverture gazeuse sur un écoulement de type jet. Université de la méditerranée Aix Marseille II, Janvier 2006.