

Analyse de la dynamique des jets en écoulement co-courant instationnaire

M.H.Zaafouri^a, S.Habli^b, N.Mahjoub Saïd^b

^a LGM, École Nationale d'Ingénieurs de Monastir, Université de Monastir, Tunisie

email: Mohamed.hedi.zaafouri@gmail.com

^b EMIR, Institut Préparatoire aux Etudes d'Ingénieurs de Monastir, Université de Monastir, Tunisie

email: sabra.habli@fsm.rnu.tn

email: nejla.mahjoub@fsm.rnu.tn

Résumé— Une étude numérique utilisant une méthode aux différences finies a été utilisée pour analyser un jet plan laminaire non isotherme en régime instationnaire débouchant dans une atmosphère formée d'un fluide de même masse volumique en écoulement co-courant soumis à une perturbation sinusoïdale. Dans ce travail nous nous sommes intéressés à l'influence d'une perturbation initiale de l'écoulement extérieur co-courant sur les grandeurs dynamiques et thermiques du jet au cours du temps. Les grandeurs retenues sont essentiellement l'amplitude de pulsation et le nombre de Strouhal.

Mots clés — jet plan; laminaire; co-courant; amplitude de pulsation ; nombre de Strouhal.

I. INTRODUCTION

En raison de l'importance des jets sur le plan pratique aussi bien que sur le plan fondamental, des études sur ce type d'écoulement ont fait l'objet d'un grand nombre de publications impliquant des analyses expérimentales, théoriques ou numériques.

Ces études montrent l'existence d'une grande famille de jets caractérisés par la nature de l'écoulement, la géométrie de l'orifice de décharge qui impose l'allure des conditions d'émissions, les propriétés des fluides etc. Les premiers travaux à ce sujet étaient fournis par **Favre-Marinet et al [1]**, qui ont forcés des perturbations de forte amplitude, pulsations ou battements, sur des jets pour engendrer des écoulements périodiques à turbulence instationnaire.

Le jet à la sortie de la buse présente des effets instationnaires qui partent de manière significative d'approximations quasi-stable comme l'augmentation de l'entraînement et l'amplification de l'excitation [2].

Une autre étude montre que la pulsation accélère le développement initial du jet et améliore la diffusion, l'entraînement ainsi que l'échange thermique avec le milieu environnant dans les premiers diamètres. Loin de la source d'émission, elle ne modifie pas les paramètres de l'écoulement.

Elles montrent aussi que l'influence de la pulsation est surtout observée dans la région du jet (au voisinage de la buse) et l'introduction d'une perturbation entraîne la création des fluctuations au voisinage de sortie du jet. Cette région est plus large lorsque le nombre de Strouhal est faible, elle peut atteindre une distance de 8 fois la

largeur de la buse. Au-delà de cette distance, les résultats obtenus se confondent avec ceux du jet non pulsé [3].

Parmi les nombreuses recherches consacrées aux jets laminaires, quelques-unes ont étudié l'influence d'une perturbation initiale sur la structure des jets. Ainsi, ce travail s'inscrit dans le cadre de l'étude d'un écoulement instationnaire résultant de la rencontre entre un écoulement de type jet laminaire et un écoulement extérieur instationnaire imposé par une perturbation longitudinale et périodique de la vitesse de l'écoulement co-courant. La discussion porte essentiellement sur l'influence de l'amplitude de pulsation et du nombre de Strouhal sur la structure dynamique du jet.

II. MODELISATION MATHÉMATIQUE DE L'ÉCOULEMENT

Nous considérons un écoulement de type jet libre plan laminaire en régime instationnaire débouchant dans une atmosphère de même masse volumique en écoulement co-courant soumis à une perturbation sinusoïdale.

Les variables adimensionnelles utilisées sont les suivantes [4]:

$$X = \frac{x}{e}; Y = \frac{y}{e}; U = \frac{u}{u_0}; V = \frac{v}{u_0}; \tau = \frac{t.u_0}{e}; R = \frac{u_\infty}{u_0};$$
$$St = \frac{f.e}{u_0}.$$

Dans le cadre des hypothèses de la couche limite, les équations qui régissent l'écoulement laminaire en régime de convection forcée se réduisent à :

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0$$
$$\frac{\partial U}{\partial \tau} + U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} = \frac{1}{Re} \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2}$$

Pour compléter le problème il faut tenir compte des conditions aux limites et les conditions initiales [4]:

$$X > 0 \begin{cases} Y = 0 : V(X, 0, \tau) = 0 ; \frac{\partial U}{\partial Y} = 0 \\ Y \rightarrow \infty : U \rightarrow R + A \cdot \text{Sin}(2 \cdot \pi \cdot \text{St} \cdot \tau) \end{cases}$$

$$X = 0 \begin{cases} 0 \leq Y < 0.5 : U(0, Y, \tau) = 1 \\ Y \geq 0.5 : U = R + A \cdot \text{Sin}(2 \cdot \pi \cdot \text{St} \cdot \tau) \end{cases}$$

La résolution numérique du système d'équations associé à ses conditions aux limites, est effectuée par une méthode aux différences finies. Le système d'équations non linéaire obtenu est résolu par une méthode itérative associée à la méthode d'élimination de Gauss-Seidel. Le maillage utilisé est un maillage uniforme suivant la direction transversale, et non uniforme dans la direction longitudinale.

III. RESULTATS DE LA SIMULATION NUMERIQUE

Le code de calcul numérique élaboré nous permet de déterminer les caractéristiques dynamiques et thermiques d'un jet plan laminaire en régime instationnaire en écoulement co-courant pulsé. Nous avons, essentiellement, étudié l'influence de deux paramètres sur la structure de jet et qui sont le nombre de Strouhal et l'amplitude de pulsation. Nos résultats sont représentés pour $R=0.1$ et $Re = 100$.

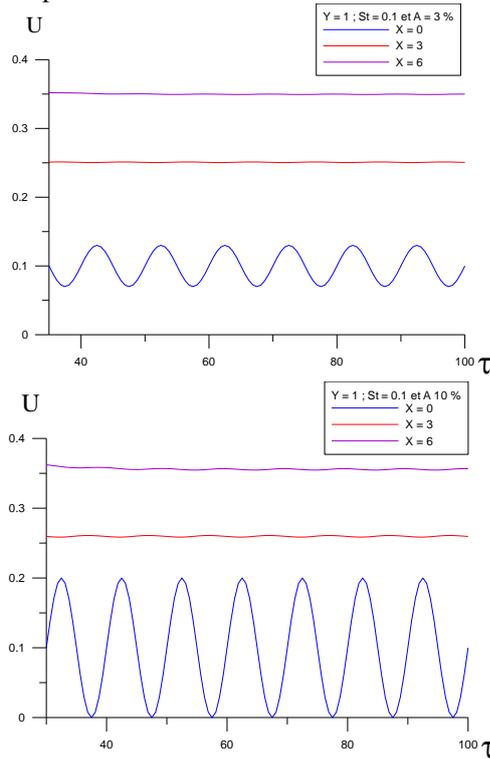


Fig 1: évolution temporelle de la vitesse U pour A = 3 % et A = 10 %

Nous avons représenté sur la figure 1 l'évolution temporelle de la vitesse longitudinale pour $Y=1$, pour différentes positions longitudinales X et pour deux amplitudes de pulsation. On constate que la vitesse longitudinale, qui est égale à la vitesse du co-courant au départ (pour $X=0$), a une

nature sinusoïdale et que sa valeur maximale augmente si on augmente la valeur de l'amplitude de pulsation. On remarque, également, qu'en s'éloignant de la source, la vitesse longitudinale présente de faibles oscillations dues la nature de l'écoulement qui devient quasi-stationnaire

Aussi, on a représenté sur la figure 2, l'évolution temporelle de la vitesse sur l'axe du jet pour étudier l'influence de l'amplitude de pulsation du co-courant sur la structure du jet.

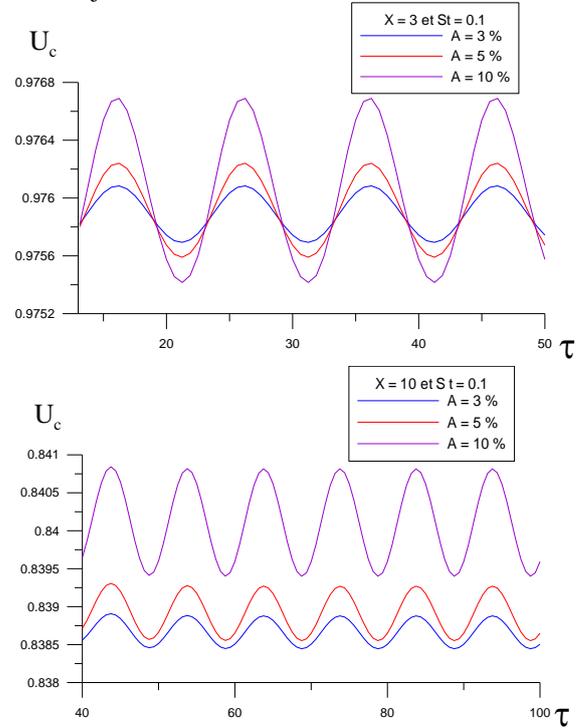


Fig 2: évolution temporelle de la vitesse sur l'axe pour X = 3 et X = 10 et pour différentes valeurs de A.

Cette figure montre aussi que la valeur maximale de la vitesse sur l'axe du jet augmente si on augmente la valeur de l'amplitude de pulsation. Par contre, la vitesse sur l'axe diminue si on s'éloigne de la buse de sortie puisque l'écoulement est géré par les forces de viscosité. Par ailleurs, cette figure révèle que partant d'un profil uniforme en sortie du jet (pour $X=0$ et $0 \leq Y < 0.5$), la perturbation imposée à l'écoulement co-courant affecte la vitesse du jet sur l'axe qui devient sinusoïdale de même nature que le co-courant.

Dans une deuxième partie, nous allons étudier l'influence du nombre de Strouhal sur la structure du jet en traçant l'évolution temporelle de la vitesse longitudinale pour $Y=1$ et pour différentes positions axiales X dans la figure 3. Sur cette représentation on remarque une légère atténuation de la valeur de la vitesse en augmentant le nombre de Strouhal aux positions $X = 3$ et $X = 6$, par contre la vitesse garde la même valeur maximale en $X = 0$ mais avec une plus grande période de pulsation.

Aussi, on représente sur la figure 4 l'évolution temporelle de la vitesse sur l'axe du jet pour étudier l'influence de la variation du nombre de Strouhal du co-courant sur la structure du jet. L'influence de la perturbation du co-courant est

évidente sur la vitesse sur l'axe du jet puisqu'on retrouve la nature sinusoïdale de la pulsation avec une atténuation de la valeur maximale de la vitesse en s'éloignant de la buse causée d'une part par les forces de viscosité et d'autre part par la diminution de l'entraînement de l'air par l'écoulement.

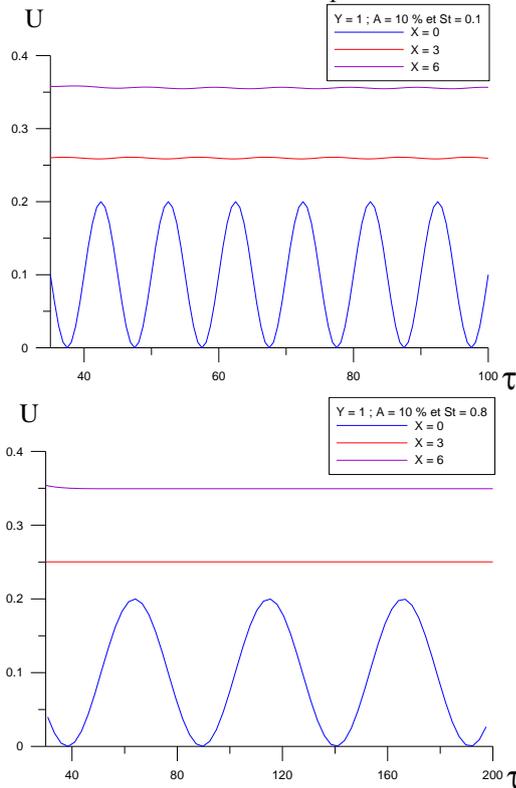


Fig 3: évolution temporelle de la vitesse U pour $St = 0.1$ et $St = 0.8$

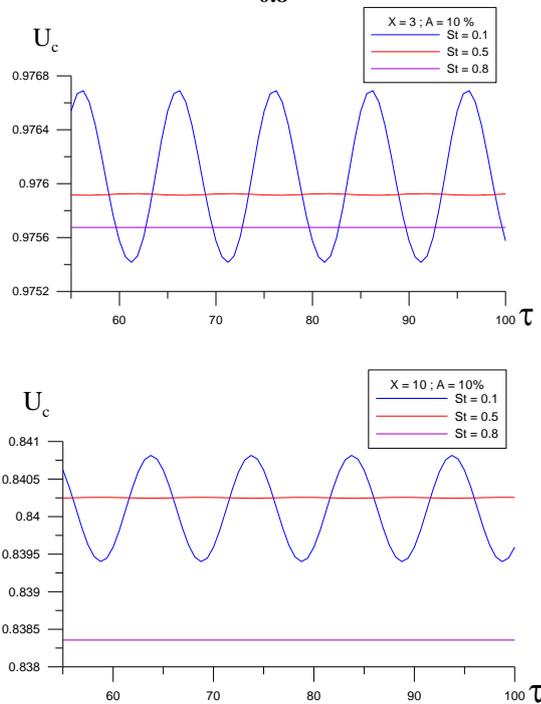


Fig 4: évolution temporelle de la vitesse U_c pour $X = 3$ et $X = 10$ et pour différentes valeurs de St .

IV. CONCLUSION

Ce travail concerne l'étude numérique de l'écoulement d'un jet plan laminaire instationnaire évoluant dans un écoulement co-courant pulsé.

L'objectif de ce travail consiste à discuter de l'effet de quelques paramètres de l'écoulement extérieur comme le nombre de Strouhal et l'amplitude de pulsation sur le comportement du jet et ces caractéristiques dynamiques.

Les résultats numériques montrent que, pour une amplitude de pulsation fixe, les fluctuations diminuent à une distance voisine de $X = 10$ lorsque le nombre de Strouhal est faible ($St=0.1$).

Pour un nombre de Strouhal fixe, la vitesse sur l'axe prend l'aspect sinusoïdal de l'écoulement co-courant et on note que la vitesse sur l'axe du jet diminue en s'éloignant de la buse.

NOMENCLATURE

Symboles

- e : épaisseur de la buse, m
- x, y : coordonnées longitudinale et transversale, m
- u, v : composantes de la vitesse selon les directions longitudinale x et transversale y , m/s
- f : fréquence de pulsation, s^{-1}
- A : amplitude de pulsation
- R : rapport de vitesse ($R=u_{co}/u_0$)
- Re : nombre de Reynolds
- St : nombre de Strouhal

Indices

- c : sur l'axe du jet
- ∞ : milieu ambiant
- co : écoulement co-courant
- 0 : à la sortie de la buse

REFERENCES

- [1] M. Favre-Marinet, G. Binder, R. Curtet. "Turbulence instationnaire dans les jets pulsants ou battants", Journal de Physique Colloques, 1976, tome 37, page C1-79.
- [2] J.C.S. Lai, "Unsteady effects in mechanically-excited turbulent plane jets", International Journal of Heat and Fluid Flow, 1984, volume 5, No 4, page 215 – 221.
- [3] S. M. Khairallah, N. Khaldi, H. Mhiri, G. Lepalec, "Modélisation numérique d'un jet plan en régime turbulent : influence de la pulsation", 16^{èmes} Journées Internationales de Thermique (JITH), du 13 au 15 Novembre 2013, Marrakech (Maroc).
- [4] S. Marzouk, "Simulation numérique d'un écoulement de type jet pulsé", thèse, Ecole National d'Ingénieur de Monastir, Tunisie, 2002.