



HAL
open science

Etude expérimentale du mélange d'un jet traversier à l'aide d'une thermo-anémométrie à haute résolution

Pierre Fougairolle, Jean-Paul Moro, Yves Gagne

► **To cite this version:**

Pierre Fougairolle, Jean-Paul Moro, Yves Gagne. Etude expérimentale du mélange d'un jet traversier à l'aide d'une thermo-anémométrie à haute résolution. CFM 2007 - 18ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2007, Grenoble, France. <hal-00265943>

HAL Id: hal-00265943

<https://hal.science/hal-00265943v1>

Submitted on 29 Mar 2020

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.



Distributed under a Creative Commons CC BY 4.0 - Attribution - International License

Etude expérimentale du mélange d'un jet traversier à l'aide d'une thermo-anémométrie à haute résolution

Pierre Fougairolle, Jean-Paul Moro & Yves Gagne

CEA Grenoble, DEN/DER/SSTH/LIEX
CEA Grenoble 17 rue des Martyrs - 38054 Grenoble Cedex 9
Université Joseph Fourier, LEGI
Université Joseph Fourier - BP 53 - 38041 Grenoble Cedex 9
pierre.fougairolles@cea.fr

Résumé :

L'étude d'un jet traversier chauffé possède deux types d'intérêts : un intérêt fondamental, l'analyse des mécanismes du mélange d'un scalaire passif par un écoulement turbulent caractéristique de cette configuration particulière, et un intérêt pratique, pour l'obtention de données expérimentales et l'amélioration des méthodes de calcul comme la simulation des grandes échelles (LES). L'objectif de ce travail est de s'intéresser au mélange turbulent entre un jet rectangulaire de canal, marqué passivement en température, et un écoulement perpendiculaire confiné de turbulence de grille, à l'aide de mesures de vitesse et de température, afin de caractériser ses propriétés statistiques (spectre d'énergie, pdf, anisotropie...). Les mesures, basées sur des techniques classiques d'anémométrie par fil chaud et de thermométrie par fil froid, ont été obtenues à l'aide d'une instrumentation à haute résolution spécifiquement construite pour cette étude.

Abstract :

The heated jet in crossflow has two kind of interests : one is fundamental because the mixing of a passive scalar by a turbulent flow is a interesting case, to witness specific features of such a configuration. The other is its application ; indeed, the study of this case can be an interesting support to validate computational methods such as Large Eddy Simulation (LES). The objective of this experimental work is to focus on the turbulent mixing between a pipeflow exiting heated jet and a confined grid turbulent crossflow, with both kinematic and passive scalar measurements in order to characterize its statistical properties (energy spectra, pdf, anisotropy...). Measurements are performed with classical hot-wire anemometry and cold-wire thermometry but with a peculiar care in the apparatus construction.

Mots-clefs :

mélange turbulent ; jet traversier ; anémométrie thermique

1 Introduction

Il existe de nombreuses études expérimentales et numériques portant sur l'interaction cinématique (et/ou thermique) d'un jet (dit traversier) débouchant perpendiculairement à un écoulement de paroi (Margason (1993)). Diverses situations ont été examinées, allant de la plus académique, un jet "à profil plat" débouchant normalement à une couche limite plane (Fric (1990)), à la plus industrielle, un écoulement de tuyau formant la branche d'un mon tage en "T". De la diversité de ces études ressortent quelques structures caractéristiques marquantes : (i) la présence de tourbillons en "fer à cheval" dans le champ proche du jet où l'interaction 3D avec la couche limite de paroi est la plus intense, (ii) l'existence dans le sillage de vortex connectant le jet traversier et la couche limite, convectés loin à l'aval du jet, (iii) le développement d'une instabilité de Kelvin-Helmholtz dans la zone initiale du jet traversier, due au cisaillement avec l'écoulement principal, et (iv) le développement auto-similaire dans la zone

lointaine du jet traversier, comportant une paire de vortex contra-rotatifs à grande échelle (CVP, cf. Chassaing *et al.* (1974), Smith & Mungal (1998)).

Le but de la présente étude est d'examiner les mécanismes précédents aux plans cinématique et thermique, dans le cas particulier d'une configuration de jet rectangulaire (très rarement étudié), traversier à un écoulement confiné de canal rectangulaire, pouvant interagir avec la paroi opposée suivant le rapport mutuel des quantités de mouvement entre les deux écoulements.

2 Conditions expérimentales

2.1 Conditions de l'écoulement

Le dispositif expérimental consiste en une veine d'essais rectangulaire (60x50cm² de section et 5m de long) dans laquelle se situe un écoulement - principal - de turbulence de grille dont le profil de vitesse est uniforme au pourcent. Dans cette veine débouche un jet perpendiculaire (à la paroi) issu d'un écoulement développé de canal, de section rectangulaire (5x8cm², équivalent à un diamètre hydraulique $D_h = 6.2\text{cm}$ pour un jet circulaire). Ce dernier peut être marqué en température, tout en restant dans le cas de scalaire passif ; on a typiquement une différence de température entre les écoulements $\Delta T = T_j - T \approx 10^\circ\text{C}$. Les gammes de vitesse disponibles sont $U = 0 - 20\text{m.s}^{-1}$ et $U_j = 0 - 40\text{m.s}^{-1}$ pour l'écoulement principal et le jet traversier respectivement.

2.2 Instrumentation

Les mesures sont effectuées à l'aide des techniques classiques de l'anémométrie thermique (anémométrie à fil chaud et thermométrie à fil froid). Cependant, la chaîne anémométrique complète a été développée au sein du laboratoire dans le but d'obtenir une résolution spatiale et fréquentielle maximale grâce à des gains significatifs en terme de bande passante et de rapport signal/bruit.

Tout d'abord, une technique unique et reproductible nous permet de fabriquer des sondes constituées de fil de Wollaston en Platine-Rhodium de 500nm de diamètre, dont la partie active mesure 600 μm environ, pour un écartement entre broches de l'ordre de 10mm. Ces sondes peuvent être utilisées pour mesurer des fluctuations de vitesse comme des fluctuations de température.

Pour contourner le problème des effets capacitifs des câbles, nous avons choisi d'utiliser un anémomètre à tension constante qui a été développé et fabriqué au sein du CEA (DER/SSTH/LIEX) sur la base des travaux de Sarma (1998). Des thermo-anémomètres spécialement fabriqués pour ces sondes nous permettent d'obtenir un rapport signal/bruit supérieur à 1000 pour les fluctuations de vitesse et une sensibilité de l'ordre de 0.015 $^\circ\text{C}$ pour la température. L'acquisition est effectuée par un châssis de mesure dédié équipé d'une carte National Instruments NI-4472 24 bits. Cette dernière, associée à un programme LabView, permet une fréquence d'échantillonnage variant de 1 à 100kHz pour des relevés continus de plusieurs millions de points.

3 Résultats

3.1 Champ thermique proche

La figure 1 présente une cartographie thermique à 1 mm de l'entrée du jet. On y voit très clairement l'effet de l'interaction 3D entre la couche limite de l'écoulement principal et le jet turbulent, et la trace des tourbillons en "fer à cheval". A l'aval, le champ est très légèrement asymétrique malgré les précautions de laboratoire. En effet, le moindre défaut géométrique

peut avoir des conséquences très importantes sur la topologie de l'écoulement aval, comme l'ont constaté Fric et Roshko (1994) et Smith & Mungal (1998).

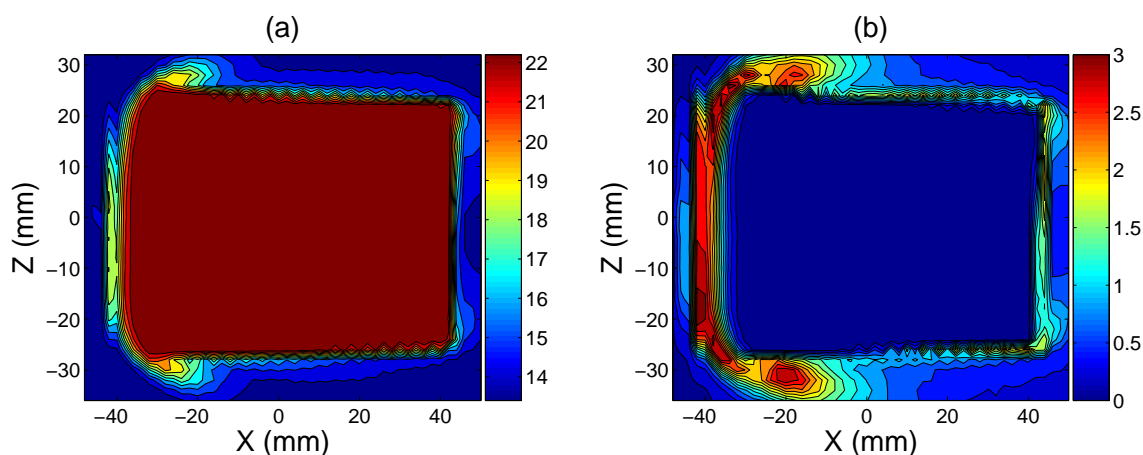


FIG. 1 – Champs de température interpolés sur 50x35 points de mesure à 1 mm de l'entrée du jet. L'écoulement principal arrive du côté gauche de la figure. a) $\langle T \rangle$ b) θ_{rms} .

3.2 Champ thermique lointain

Des cartographies de température (avec $\Delta T = T_j - T = 7.5^\circ\text{C}$) dans le cas d'un rapport de vitesses $r = \frac{\rho_j U_j}{\rho U}$ de 10, mesurées $3D_h$ à l'aval de l'entrée du jet, sont présentées figure 2.

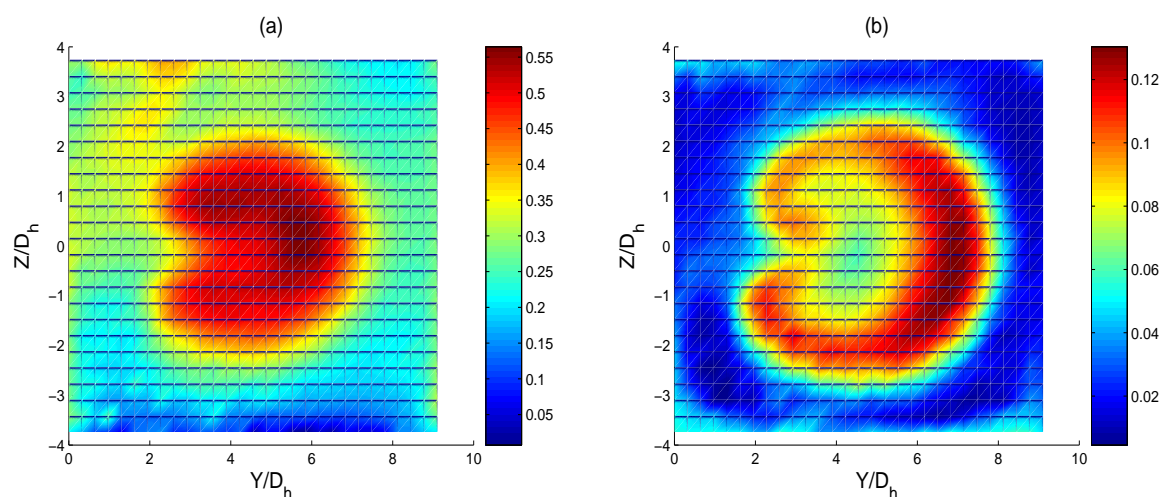


FIG. 2 – Champs de température (normalisés par ΔT) interpolés sur 29x24 points de mesure dans la section située à $3D_h$ à l'aval de l'entrée du jet pour un rapport $r = 10$. a) $\langle T \rangle$ b) θ_{rms} .

Elles révèlent la signature globale des tourbillons contra-rotatifs (CVP) de manière analogue au cas d'un jet traversier circulaire (cf. Smith & Mungal (1998) et Fric (1990)). La signature rectangulaire, prépondérante dans le champ proche, a complètement disparu. L'écoulement semble dans cette zone essentiellement conditionné par le champ de pression régnant à la sortie du jet, et les considérations géométriques concernant son embouchure ne paraissent

plus avoir d'importance.

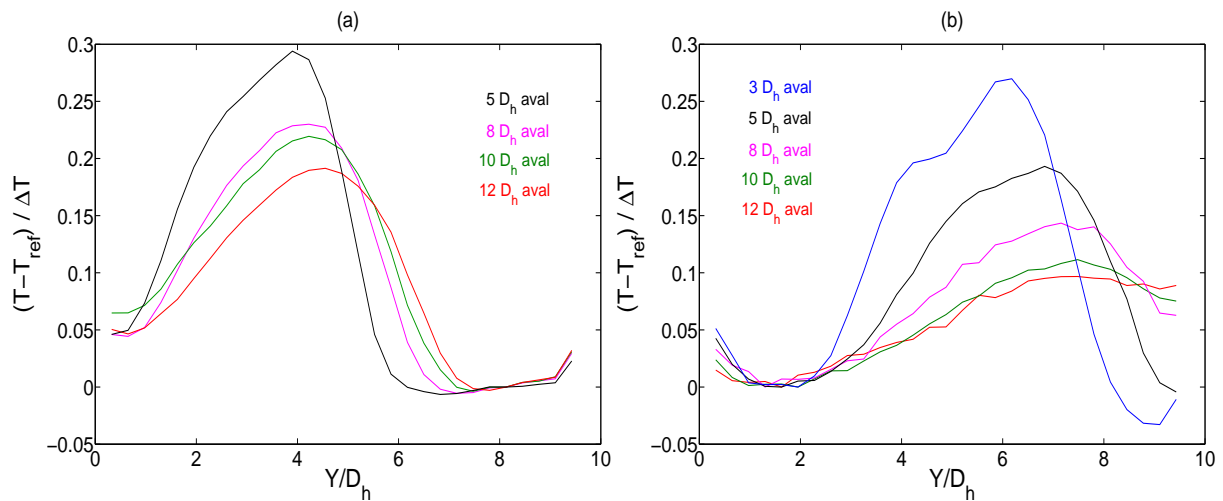


FIG. 3 – Profils de température moyenne normalisée au centre de l’entrée du jet ($Z/D_h = 0$) à plusieurs sections à l’aval. Le jet est issu de la paroi $Y/D_h = 0$ et la paroi opposée est située à $Y/D_h = 9.7$. a) $r = 5$ b) $r = 10$.

3.3 Quelques statistiques du mélange

La figure 3 montre des profils de température moyenne mesurés dans le canal principal à différentes sections à l’aval de l’entrée du jet pour les deux rapports de quantité de mouvement $r = 5$ et $r = 10$. On peut clairement observer qu’il n’existe pas d’auto-similarité entre ces derniers dans le cas $r = 10$. Ceci peut s’expliquer par l’interaction avec la paroi opposée à partir d’une distance de $8D_h$. Même pour des distances aval inférieures à $5D_h$, les formes des profils semblent différentes. Dans le cas $r = 5$, le jet n’interagit pas avec la paroi opposée, ce qui est traduit par le fait que les courbes se rejoignent à partir de $Y/D_h = 8$ à une valeur de température qui est celle de l’écoulement principal. Malgré cela, elles ne semblent pas non plus traduire une auto-similarité pour l’écoulement.

Sur la figure 4 sont tracées les pdf obtenues localement au centre de la tache chaude du jet, aux mêmes sections que précédemment (Figure 3) pour $r = 5$ et $r = 10$. Malgré le manque de similarité aux grandes échelles, les statistiques locales montrent quelques caractéristiques communes ; en particulier, elles sont asymétriques quelle que soit la distance à l’aval de l’entrée du jet.

Le fait que les courbes collapser pour les fluctuations chaudes suggère un mélange homogène de ces dernières. En revanche, les ailes quasi-exponentielles des courbes révèlent l’existence de paquets de fluide “froid” de l’écoulement principal dus à l’entraînement latéral du jet. On note que ces dernières s’étendent à mesure que les fluctuations froides se mélangent et que la valeur moyenne du décrément de ce comportement quasi-exponentiel semble indépendante du rapport de quantité de mouvement r . De telles statistiques correspondent aux “rampes” caractéristiques d’un signal de mélange de température.

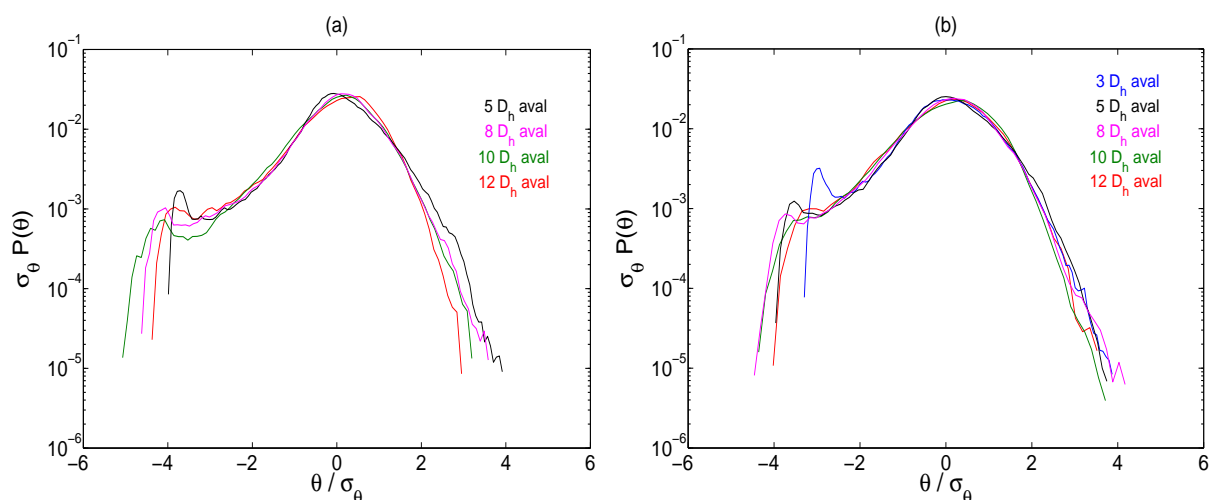


FIG. 4 – Pdf des fluctuations de température θ normalisées par leur écart-type, calculées au centre de la tache chaude du jet à plusieurs sections à l'aval de son entrée. a) $r = 5$ b) $r = 10$.

4 Conclusions

Des investigations cinématiques sont en cours afin d'étudier les propriétés statistiques de la face externe du jet chaud transverse, en particulier son interaction avec la paroi opposée du canal principal, et celles de sa face interne, principalement conditionnées par le sillage créé par l'arrivée du jet dans l'écoulement.

Références

- Chassaing, P., George, J., Claria, A. & Sananes, F. 1974 Physical characteristics of subsonic jets in a cross stream. *Journal of Fluid Mechanics* **62** Part.1, 1-47
- Fric, T.F. 1990 Structure in the near field of the transverse jet. *PhD Thesis, California Institute of Technology*
- Fric, T. F. & Roshko, A. 1994 Vortical structure in the wake of a transverse jet. *Journal of Fluid Mechanics* **279** 1-47
- Margason, R.J. 1993 Fifty years of jet in cross flow research. *In Computational and Experimental Assessment of Jets in Cross Flow, AGARD Conference Proceedings* **534**
- Sarma, G.R. 1998 Transfer function analysis of the constant voltage anemometer *Review of scientific instruments* Vol. **69** N°6
- Smith, S.H. & Mungal, M.G. 1998 Mixing, structure and scaling of the jet in crossflow *Journal of Fluid Mechanics* **357** 83-122