



Le contrôle d'un jet d'air rectangulaire via l'introduction de cylindres animés d'un mouvement de rotation

Jessica Deschamps, Vincent Chapin, Patrick Chassaing

► To cite this version:

Jessica Deschamps, Vincent Chapin, Patrick Chassaing. Le contrôle d'un jet d'air rectangulaire via l'introduction de cylindres animés d'un mouvement de rotation. 15ème Congrès Français de Mécanique, Sep 2001, Nancy, France. pp.0. hal-04039577

HAL Id: hal-04039577

<https://hal.science/hal-04039577>

Submitted on 21 Mar 2023

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.

LE CONTROLE D'UN JET D'AIR RECTANGULAIRE VIA L'INTRODUCTION DE CYLINDRES ANIMES D'UN MOUVEMENT DE ROTATION

Jessica DESCHAMPS, Vincent CHAPIN, Patrick CHASSAING

ENSICA, Département de Mécanique des Fluides

1, place Emile Blouin, 31056 TOULOUSE CEDEX 05

Résumé :

L'idée à l'origine de l'étude est de modifier la structure d'un écoulement pour transformer cet écoulement convectivement instable en un écoulement globalement instable. Les jets globalement instables montrent un taux d'expansion plus élevé que les jets homogènes convectivement instables. Une simulation numérique a montré que le forçage, d'un jet convectivement instable, au moyen de sources de vorticité contrôlées, conduisait à une augmentation du mélange. Notre étude vise à réaliser un montage expérimental équivalent afin de confirmer les premiers résultats observés.

Abstract :

Our research consists in modifying the structure of a convectively unstable flow to make it more similar to a globally unstable one in order to enhance the mixing. We aim at demonstrating experimentally how this modification can occur effectively by forcing a jet. The study focuses on examining the role of vortex generators introduced in the jet near field region of a rectangular pipe jet. For this purpose, a new experimental facility has been constructed and we plan to compare our experimental results with numerical simulations which have already been conducted in the department.

Mots clés :

jet rectangulaire, sources de vorticité, contrôle d'écoulements

1 Introduction

Les écoulements de jets font l'objet de nombreuses recherches tant expérimentales que numériques et théoriques. En effet, ces jets sont présents dans de nombreux problèmes industriels et notamment dans le secteur aéronautique, avec par exemple, les jets en sortie de réacteur d'avion. L'étude de leurs propriétés de stabilité, à travers les notions d'instabilité convective et absolue, a permis de mieux comprendre le comportement de ce type d'écoulements et par-là même, de tenter de contrôler le mélange ou le bruit rayonné par ces jets. Ce nouvel axe de recherche que constitue le contrôle, ouvre de nouvelles perspectives qu'il s'agit de définir et de valider. Actuellement, la mise en oeuvre de différents types de forçages au sein de jets a déjà suscité plusieurs travaux prometteurs tant sur le plan de l'augmentation du mélange que de la réduction du bruit par restructuration de l'écoulement.

Plusieurs travaux numériques récents, lesquels effectués au département par Malandra (1998), Chapin *et al.* (1999) et Brou (2000), ont permis de mettre en évidence une augmentation du mélange dans la zone de champ proche. Dans ces études, les jets sont forcés au moyen de sources de vorticité contrôlées, modélisées par des conditions aux limites, équivalentes à celles que peuvent générer des cylindres en rotation. La transposition de ces résultats numériques sur le plan expérimental fait l'objet de notre étude.

2 Dispositif expérimental

Nous avons mis au point une nouvelle expérience de jet, constituée d'une soufflerie, et d'un système de contrôle d'écoulement. Ce dernier est basé sur la mise en rotation de deux cylindres dans les couches cisailées du jet. Il permet un réglage de la position et fréquence des cylindres. L'objectif est d'étudier la réponse de l'écoulement soumis au forçage. Le nouveau dispositif expérimental est représenté sur les figures 1a), 1b) et 1c).

2.1 La soufflerie

La soufflerie, utilisée dans cette première partie de nos travaux, est ouverte et est disposée verticalement. Elle permet l'obtention d'un jet d'air rectangulaire de rapport de forme 4:1. De l'air comprimé, issu d'un réseau pressurisé à 8 bars, circule dans quatre conduites de 24 mm de diamètre pour alimenter une cuve parall  l  pip  dique. Le débit de l'air est réglé au moyen d'une vanne 1/4 de tour située à l'amont des conduites. A l'autre extrémité de la cuve, se trouve un caisson de tranquillisation en bois où sont disposés une épaisseur de nid d'abeilles et trois épaisseurs de filtres grillagés. Le caisson a pour but d'améliorer la qualité de l'écoulement en homogénéisant les structures tourbillonnaires et en diminuant l'échelle de turbulence de ces mêmes structures. L'écoulement passe ensuite dans un convergent à sections rectangulaires, présentant un rapport de contraction élevé ($n = 38,5$) et une longueur de l'ordre de deux fois le diamètre circulaire équivalent de la section contractée ($D_{eq} = 113$ mm). Le convergent est prolongé par un cadre haut de 50 mm qui a pour effet de supprimer l'accélération centrale du fluide avant sa stabilisation en vitesse dans le cône potentiel. L'orifice de sortie du jet de buse a pour dimensions : 200 mm $\times$ 50 mm.

2.2 Le système mécanique

Le système mécanique permet la mise en rotation de deux cylindres dont les axes, de longueur efficace égale à 265 mm, sont disposés, dans les couches cisailées, perpendiculairement au plan (yOz). Il offre la possibilité de régler l'écartement des cylindres transversalement et de les déplacer suivant l'axe longitudinal depuis l'orifice de sortie du jet jusqu'à une distance d'environ $6D_{eq}$. Chaque cylindre est actionné en rotation dans le sens trigonométrique ou inversement par l'intermédiaire d'un mini-moteur électrique pouvant atteindre une vitesse de rotation de 30 000 tours/min. Les mini-moteurs sont pilotés et régulés en vitesse, à distance, par une carte électronique. Trois tailles de cylindre ont été usinées pour les essais, les cylindres possèdent des diamètres égaux à 5 mm, 6 mm et 10 mm.

3 Métrologie

Pour caractériser le jet, nous avons utilisé la technique de mesure au fil chaud. Le système anémométrique    température constante IFA-300 de TSI donne accès aux valeurs moyennes et fluctuantes de la vitesse au point considéré. Il se compose d'un anémomètre comportant 8 voies, d'un thermocouple, d'une chaîne d'acquisition et d'analyse à l'aide d'un convertisseur Analogique-Numérique (A/N) de 16 voies et d'un ordinateur de type PC. Les principaux instruments qui complètent ce système sont : une table de déplacement trois axes VELMEX,

une sonde fil chaud DANTEC de 5 μm , une sonde de température PT100 et un capteur différentiel de pression. La sonde de température mesure la température de la cuve et le capteur différentiel est utilisé pour mesurer la différence des pressions statiques entre l'entrée et la sortie du convergent. Le thermocouple et la sonde fil chaud sont reliés à l'anémomètre. Le convertisseur A/N reçoit les signaux du fil chaud, de la sonde de température et du capteur différentiel. Chacune des mesures, au point considéré de l'écoulement, est effectuée avec 32×1024 points à la fréquence de 10 000 Hz. Toutes les étapes sont contrôlées par ordinateur depuis la calibration du fil chaud jusqu'à l'analyse des résultats via le logiciel THERMAL PRO.

Des visualisations de l'écoulement avec et sans forçage ont été réalisées à l'aide d'un ensemencement depuis le fond de la cuve, d'un plan laser positionné dans le plan (yOz) et d'un caméscope.

4 Caractérisation du jet d'air rectangulaire

Les premières mesures au fil chaud ont été destinées à caractériser le jet rectangulaire sans contrôle. La figure 2a) représente l'évolution longitudinale du rapport entre la vitesse moyenne au centre du jet U_c et la vitesse du jet en sortie U_o . Elle permet de déterminer la longueur du cône potentiel qui est de l'ordre de $2,5D_{eq}$. Cette valeur est similaire à celles obtenues par Quinn (1992) sur des jets rectangulaires de même type. Au-delà de la station $z/D_{eq} = 2,5$, la vitesse centrale décroît linéairement avec la distance longitudinale comme dans le jet elliptique de Ho et Gutmark (1987). L'intensité turbulente centrale à la sortie du jet est inférieure à 0,5 % (figure 2b)) pour l'ensemble de la gamme du nombre de Reynolds explorée ($4,2 \times 10^4 < Re = U_o D_{eq} / \nu < 9,5 \times 10^4$, où ν est la viscosité cinématique en sortie de buse).

Les profils de vitesse et d'intensité turbulente des figures 3a) et 3b) témoignent de la bonne symétrie de l'écoulement par rapport à l'axe longitudinal dans le plan (yOz). L'intensité turbulente maximale dans les couches de mélange est inférieure à 18%. Sur ces figures, la coordonnée transversale y est adimensionnée par la largeur de l'orifice de sortie h .

L'épaisseur de quantité de mouvement θ a été déterminée à partir des profils de vitesse moyenne en utilisant la relation suivante :

$$\theta = \int_{y=0}^{y=\infty} \frac{U_{moy}(y)}{U_c} \left(1 - \frac{U_{moy}(y)}{U_c} \right) dy$$

où U_c est la vitesse moyenne au centre d'un profil de vitesse.

La figure 4 révèle l'existence de deux plages de croissance linéaire de l'épaisseur de quantité de mouvement en fonction de la distance longitudinale. La première évolution linéaire, de pente 0,11, a lieu jusqu'à la fin du cône potentiel ; elle est suivie d'une deuxième évolution linéaire de pente plus faible égale à 0,06. Cette croissance linéaire a également été observée par Rajagopalan et Antonia (1998).

Le rapport h/θ , à $z/D_{eq} = 0,3$ vaut 25 pour $y < 0$ et 22 pour $y > 0$, ce qui équivaut à une différence de 14 %. Cette dissymétrie des deux couches cisailées est très raisonnable compte tenu de la précision d'évaluation du rapport à partir des mesures.

5 Visualisations de l'écoulement avec et sans forçage

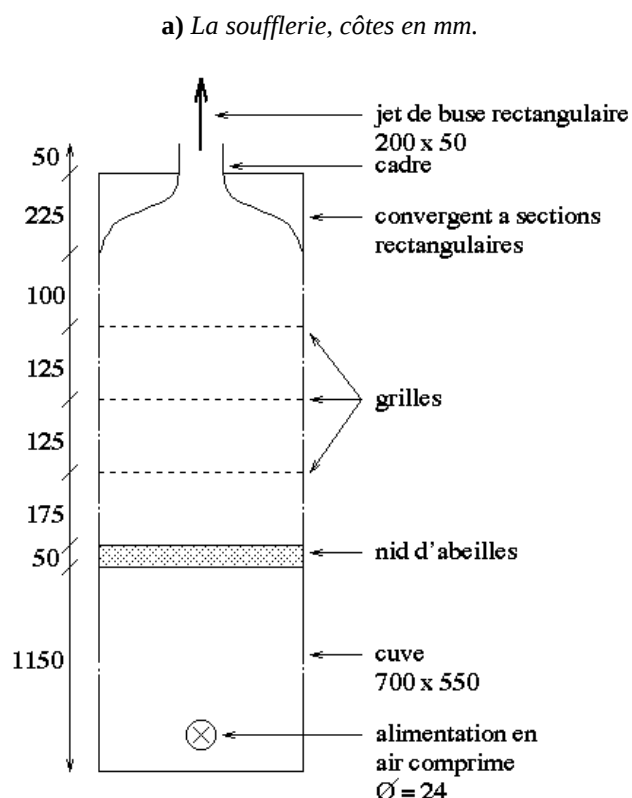
Les premières visualisations concourent à la compréhension de la dynamique des structures tourbillonnaires de l'écoulement avec et sans forçage. Plusieurs effets du forçage ont été observés dans les conditions suivantes : l'écoulement est établi à très basse vitesse ($U_o = 2 \text{ ms}^{-1}$), les cylindres sont positionnés dans les couches cisailées du jet à $z/D_{eq} = 0,66$ et chaque cylindre est animé dans le même sens de rotation que la structure tourbillonnaire avec

laquelle il interfère. Ces effets sont d'intérêt direct avec notre étude puisqu'il a été observé une augmentation du mélange lors du contrôle. Un autre intérêt a été d'observer les effets d'un seul cylindre, sur l'écoulement, qu'illustrent les visualisations sans forçage puis avec forçage présentées sur les figures 4b), 5a) et 5b). La première image (figure 4b)) montre l'écoulement sans forçage, les structures tourbillonnaires sont symétriques contrairement à la deuxième image (figure 5a)) où l'introduction d'un cylindre dans une couche cisailée, tournant dans le sens trigonométrique, avec une faible vitesse, entraîne une dissymétrie des structures. De petites structures tourbillonnaires sont visibles derrière le cylindre en action. En augmentant la vitesse de rotation du cylindre, une déviation du jet est clairement observée (figure 5b)), ceci favorise également les appariements tourbillonnaires.

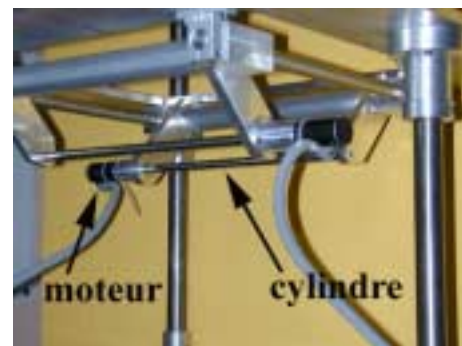
6 Conclusions et perspectives

Cette première série de mesures a permis de caractériser le jet rectangulaire, sans contrôle. Nous avons vérifié qu'il était comparable à d'autres jets non-axisymétriques. Ces résultats vont servir désormais de référence pour évaluer, dans la suite, les modifications apportées par le contrôle. De telles modifications ont déjà été observées avec des visualisations de l'écoulement à très basse vitesse. Elles restent à affiner et étendre à plus grande vitesse.

Nous allons étudier l'influence du dispositif de contrôle sur les propriétés du mélange du jet, en optimisant les paramètres de réglage (écartement, distance longitudinale, vitesse et sens de rotation), à la fois d'un point de vue qualitatif, avec des visualisations des structures tourbillonnaires du champ proche, et quantitatif, à l'aide de mesures au fil chaud.



b) Système mécanique se positionnant au-dessus du jet avec les deux cylindres mis en rotation par deux moteurs électriques.



c) Le jet de buse rectangulaire et le système d'axes.

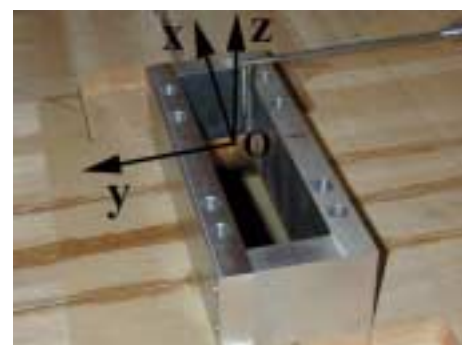


FIG. 1 : Descriptif de l'installation expérimentale.

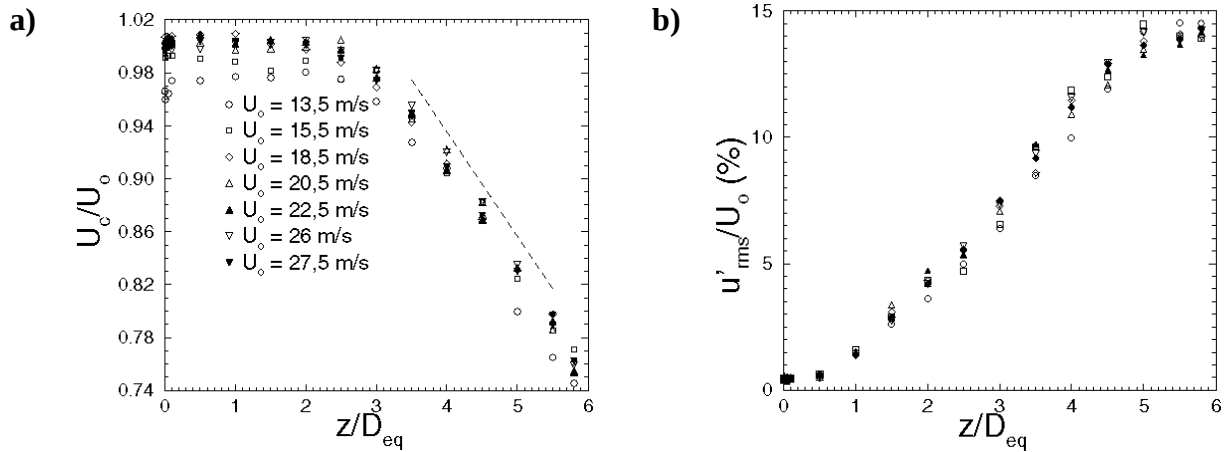


FIG. 2 : Evolution longitudinale de la vitesse moyenne au centre du jet a) et de l'intensité turbulente b) pour différentes vitesses du jet en sortie U_o (légendes identiques).

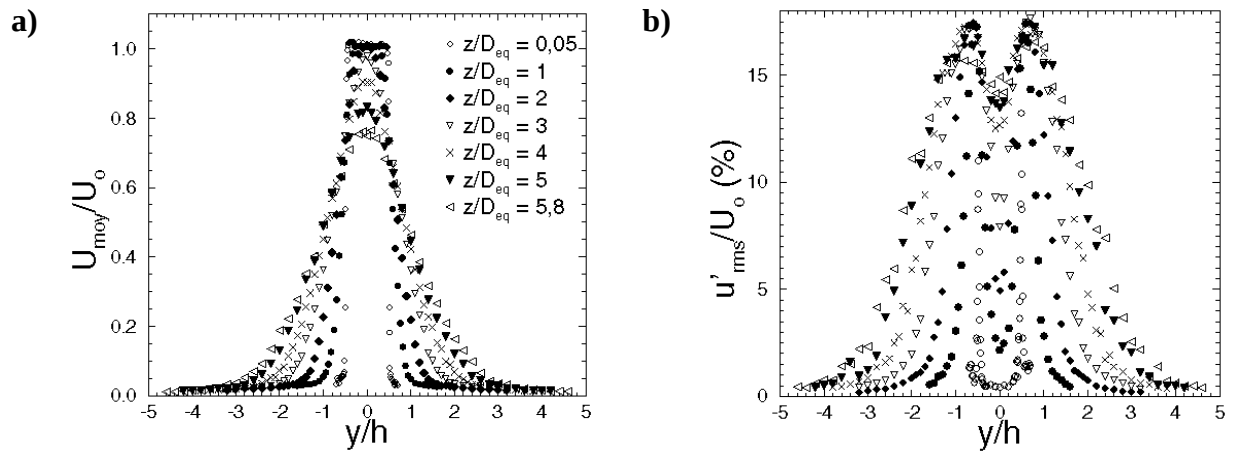


FIG. 3 : Profils de vitesse moyenne a) et d'intensité turbulente b) pour $U_o = 24 \text{ ms}^{-1}$ (légendes identiques).

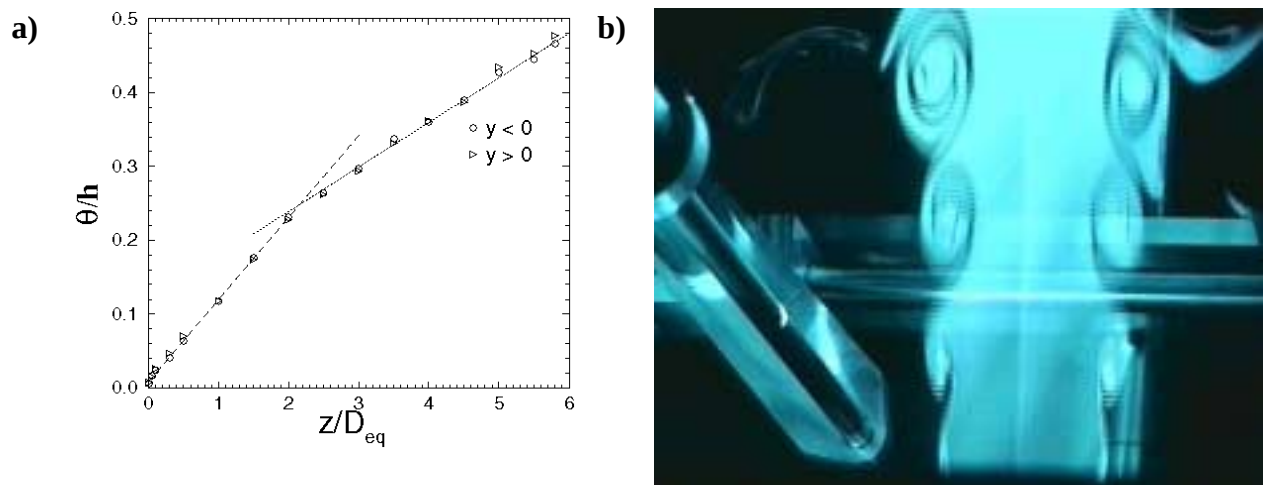


FIG. 4 : a) Evolution de l'épaisseur de quantité de mouvement en fonction de la distance longitudinale dans le plan (yOz) pour $U_o = 24 \text{ ms}^{-1}$, b) visualisation du jet, sans forçage, dans le plan (yOz) , à très basse vitesse.

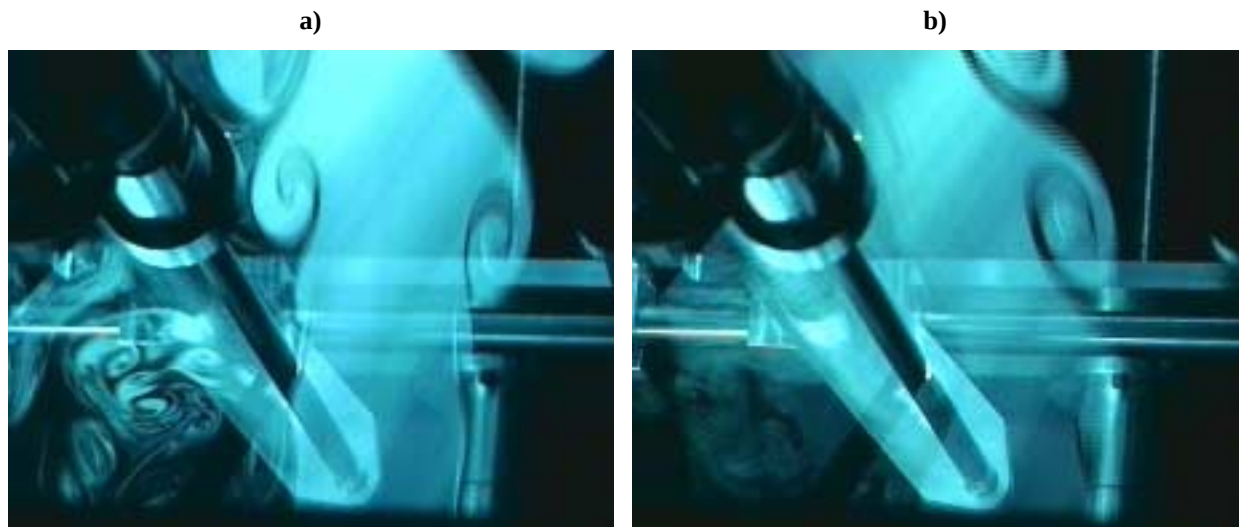


FIG. 5 : Visualisations de l'écoulement avec l'introduction d'un cylindre de 10 mm de diamètre à $z/D_{eq} = 0,66$ dans une couche cisailée à faible vitesse de rotation a) puis à forte vitesse de rotation b).

Références

- Brou, L. 2000 Etude numérique d'une nouvelle stratégie de contrôle de mélange dans les jets isothermes basée sur leurs propriétés d'instabilité, *Rapport de DEA, ENSICA*.
- Chapin, V., Malandra, M. et Chassaing, P. 1999 A new control strategy of the mixing in two dimensional jets, *30th AIAA Fluid Dynamics Conference*.
- Ho, C. -M. et Gutmark, E. 1987 Vortex induction and mass entrainment in a small-aspect-ratio elliptic jet, *Journal of Fluid Mechanics*, **179**, pp. 383-405.
- Malandra, M. 1998 Etude d'une nouvelle stratégie de contrôle du mélange dans les jets bidimensionnels basée sur leurs propriétés d'instabilité, *Rapport de DEA, ENSICA*.
- Quinn, W. R. 1992 Turbulent free jet flows issuing from sharp-edged rectangular slots: the influence of slot aspect ratio, *Experimental Thermal and Fluid Science*, **5**, pp. 203-215.
- Rajagopalan, S. et Antonia, R. A. 1998 Turbulence reduction in the mixing layer of a plane jet using small cylinders, *Experiments in Fluids*, **25**, pp. 96-103.