

Etude de jets turbulents à masse volumique variable

A. MOUTTE , M. AMIELH, L. PIETRI, F. ANSELMET

Aix Marseille Université, CNRS, Centrale Marseille, IRPHE UMR 7342,
13384, Marseille Cedex 13, France

* Correspondant : moutte@irphe.univ-mrs.fr

Résumé :

Des mesures de vitesse et concentration par PIV et PLIF sur un jet turbulent à masse volumique variable sont réalisées et ont pour objectif, dans un premier temps, d'apporter une meilleure compréhension des modifications induites par la présence de gradients de masse volumique sur les propriétés générales de la turbulence. On s'intéresse, plus particulièrement, aux propriétés du mélange à petite échelle (micro-mélange). Dans un second temps, l'analyse des résultats de ces mesures visera à apporter des informations complémentaires vis-à-vis d'hypothèses qui sont couramment utilisées dans les modèles de modélisation numérique de la combustion turbulente.

Mots clefs : jet turbulent, PIV, PLIF

1 Introduction

Les propriétés physiques des écoulements à masse volumique variable sont intéressantes pour de nombreuses applications industrielles comme, par exemple, le mélange et la dispersion de fluide lourd ou léger dans un environnement ouvert, la combustion en milieu turbulent, la sécurité liée à l'utilisation grand public de l'hydrogène dans un avenir proche, etc.

L'IRPHE contribue depuis plusieurs années à l'étude de jets turbulents qu'ils soient libres, compressibles, en présence d'obstacle ou encore à densité variable [1-5]. Ce travail s'inscrit donc dans la lignée de la thématique et a pour objectif d'analyser l'impact de variations de masse volumique sur la structure fine de la turbulence dans un jet d'hélium (dont la masse volumique est 7 fois plus petite que celle de l'air) s'épanouissant dans l'air ambiant.

Pour ce faire, nous utilisons deux systèmes de mesures dans un jet d'hélium. La mesure de vitesse par imagerie de particules (PIV) et la fluorescence induite par plan laser (PLIF) sur l'acétone. Ces deux principes de mesures sont bien connus et fréquemment utilisés séparément, mais ici l'enjeu est de faire un couplage de celles-ci afin d'obtenir des mesures simultanées dans le but d'apporter des informations complémentaires sur les propriétés du mélange à petite échelle.

Ce projet, issu d'une collaboration entre le CORIA et l'IRPHE, a pour ambition d'étudier l'effet des paramètres hydrodynamiques (nombre de Reynolds) et physico-chimiques (ratio de densité ou viscosité) sur le comportement du système. Des approches analytiques, numériques et expérimentales sont menées dans ces deux laboratoires pour mieux comprendre les phénomènes de mélange.

2. Installation et méthodes expérimentales

L'installation, située à l'IRHE, est équipée d'un local de stockage de gaz duquel provient l'hélium. Un jet d'hélium, issu d'une buse de diamètre $D_j=3\text{mm}$, est ainsi alimenté et se développe dans l'air ambiant. Une première partie du gaz est injectée sans traceur. La deuxième partie du mélange passe par un ensemencement de particules d'huile d'olive avant d'être injectée dans la buse. Un autre ensemencement, pour l'air ambiant, est utilisé autour du jet. Enfin, une dernière partie du circuit est nécessaire : celle-ci comporte un bulleur d'acétone et est également injectée avant la buse (figure 1).

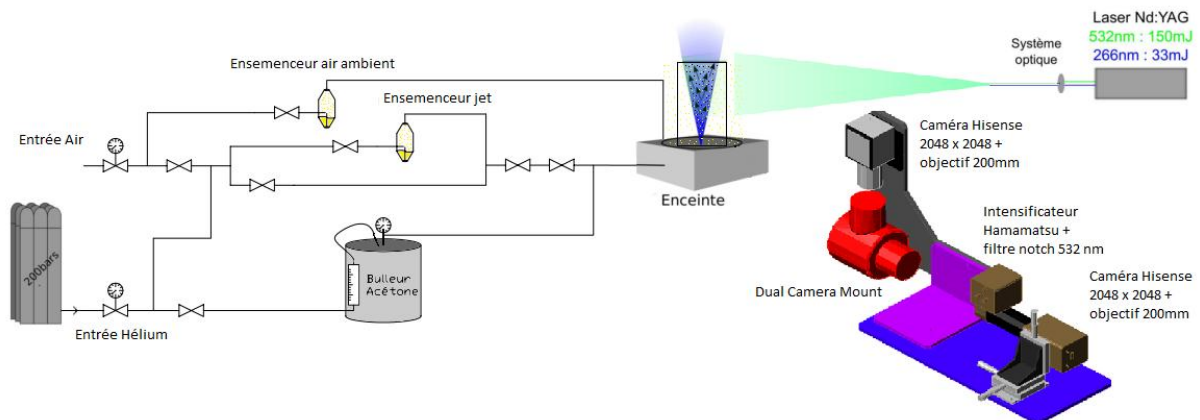


Figure 1 – schéma de principe de l'installation et matériel.

La mesure des champs de vitesse est réalisée par PIV à l'aide d'une caméra Hamamatsu Hisense 4M pixels sur laquelle vient s'ajouter un objectif Nikkor 200 mm. Le traceur utilisé est un aérosol micronique d'huile d'olive ($1-3\mu\text{m}$), alors que le laser est un Nd : YAG pulsé de haute énergie (Quantel 150 mJ à 532 nm) à 5 Hz. Le champ d'observation ($23\times 23\text{mm}^2$) est centré directement sur la sortie de la buse.

La mesure du champ de concentration est réalisée par PLIF à l'aide d'une caméra Hamamatsu Hisense refroidie 4M pixels sur laquelle vient également s'ajouter un objectif Nikkor 200 mm. Nous injectons dans le bulleur de l'acétone liquide qui, par phénomène de pression, va se vaporiser dans l'hélium. Cette vapeur d'acétone, dont l'émission de fluorescence après excitation dans l'UV se fait dans la gamme 380-550 nm, sert de traceur pour quantifier la concentration d'hélium dans la zone de développement du jet dans l'air. L'utilisation d'un intensificateur (Hamamatsu) est nécessaire car l'énergie du laser dans l'UV n'est pas suffisante. Celui-ci a été équipé d'un filtre notch 532 nm afin d'occulter la diffusion de Mie des particules PIV à 532 nm lors des mesures simultanées PIV/PLIF. Le laser utilisé est le même car il émet également un faisceau de 33 mJ à 266nm à 5 Hz. Le champ d'observation reste le même.

Afin d'obtenir un même champ d'observation, un système de miroir dichroïque (Dual Camera Mount, Dantec Dynamics) a été monté sur un support afin de pouvoir positionner les deux caméras correctement.

Les acquisitions de données sont réalisées à l'aide du logiciel Dynamics Studio par le biais de cartes National Instrument NI-PCI 6602. Un boîtier de synchronisation piloté par le logiciel est utilisé afin de synchroniser le laser, les caméras, l'intensificateur et l'ordinateur.

3. Résultats expérimentaux et perspectives

L'enjeu principal de cette expérimentation est de coupler les deux méthodes de mesures décrites. L'objectif est donc, dans un premier temps, d'effectuer des mesures PIV et PLIF séparément. Nous pouvons constater sur la figure 2 (a) que le jet, éclairé par le faisceau vert (532 nm), est bien ensemencé en son cœur et en périphérie, ceci afin d'analyser au mieux les vecteurs vitesses dans et proches du jet. La figure 2 (b), éclairée par le faisceau bleu (266 nm), montre les différents niveaux de concentration en acétone dans le jet. Ces mesures ont été réalisées dans de l'air pur.

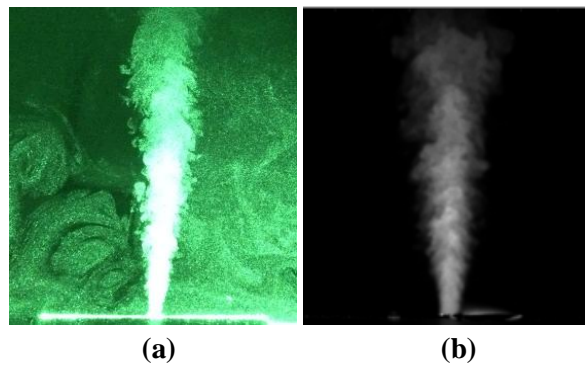


Figure 2 – (a) image PIV, (b) image PLIF

Des premières analyses des champs de vitesse ont été réalisées (figure 3). La vitesse du jet (U_j) pour cet essai était de 80 m/s (nombre de Reynolds, $Re = 15,4 \cdot 10^3$). Les profils des vitesses moyennes U et V ont été tracés à une distance de la buse $X/D_j = 3$. Nous observons que le profil de la composante longitudinale de la vitesse moyenne U est quasi-gaussien. Le profil de la composante radiale de la vitesse moyenne V est conforme au comportement d'un jet libre. Si l'on se place du côté de la distance radiale R positive, la partie négative est liée à l'entraînement de l'air ambiant par le jet, tandis que la partie positive est représentative de l'épanouissement du jet. La vitesse moyenne V s'annule sur l'axe par raison de symétrie.

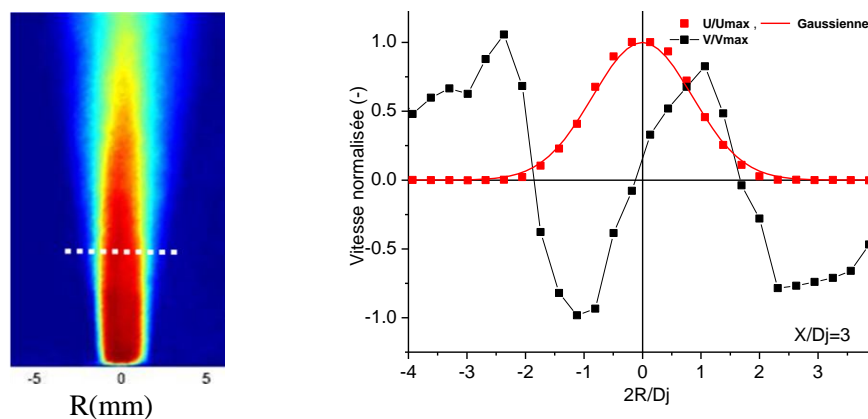


Figure 3 – profil des composantes de vitesse moyenne U et V en $X/D_j=3$, $U_j=80$ m/s, mesures par PIV.

Les expériences vont se poursuivre avec de l'hélium par des mesures de PIV et de PLIF, séparément dans un premier temps. Par la suite, le système de mesures simultanées PIV et PLIF va être mis en place afin d'apporter les informations nécessaires souhaitées concernant l'impact de variations de masse volumique sur la structure fine de la turbulence dans un jet d'hélium s'épanouissant dans l'air ambiant.

Remerciements :

Cette recherche est soutenue financièrement par l'ANR dans le cadre du projet MUVAR et par la Région PACA ainsi que l'Ecole Centrale Marseille.

Références

[1] DJERIDANE, T. (1994). *Contribution à l'étude expérimentale de jets turbulents axisymétriques à densité variable*. Thèse de doctorat, Université Aix-Marseille 2.

[2] PIETRI, L (1997). *Etude expérimentale de jets turbulents axisymétriques à densité variable – analyse des propriétés statistiques des échelles du champ dynamique*. Thèse de doctorat, Université Aix-Marseille 2.

[3] LUCAS, J-F (1998). *Analyse du champ scalaire au sein d'un jet turbulent axisymétrique à densité variable*. Thèse de doctorat, Université Aix-Marseille 2.

[4] DUBOIS, J. (2010). *Etude expérimentale de jets libres, compressibles ou en présence d'un obstacle*. Thèse de doctorat, Aix-Marseille Université.

[5] DUCASSE, M-L. (2012). *Mélange d'un scalaire dans un jet turbulent : influence d'un obstacle*. Thèse de doctorat, Aix-Marseille Université.