



HAL
open science

Reconstruction 3D de jets par tomographie holographique numérique multidirectionnelle

François Olchewsky, Zacaria Essaïdi, Jean-Michel Desse, Frédéric Champagnat

► **To cite this version:**

François Olchewsky, Zacaria Essaïdi, Jean-Michel Desse, Frédéric Champagnat. Reconstruction 3D de jets par tomographie holographique numérique multidirectionnelle. 16ème Congrès Francophone de Techniques Laser pour la mécanique des fluides, CNRS, CentraleSupélec, Université Paris Saclay, IRSN, Sep 2018, Dourdan, France. hal-02097804

HAL Id: hal-02097804

<https://hal.science/hal-02097804>

Submitted on 12 Apr 2019

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.

Reconstruction 3D de jets par tomographie holographique multidirectionnelle.

François OLCHEWSKY^{1,2}, Zacaria Essaïdi³, Jean-Michel Desse^{1,2} et Frédéric Champagnat⁴

¹ ONERA, DAAA, F-59045 Lille, France

² LMFL, Laboratoire de Mécanique des Fluides de Lille - Kampé de Fériet, F-59000 Lille, France

³ (LGEI-ISR), IMT Mines Ales, Univ Montpellier, Ales, France

⁴ ONERA, DTIS, Palaiseau 91761, France

Email auteur correspondant : francois.olchewsky@onera.fr

Cet article s'intéresse à la reconstruction 3D de la masse volumique d'écoulements instationnaires tridimensionnels. Cette reconstruction est basée sur le principe de la tomographie qui, à partir de données suivant différents points de vue, permet la reconstruction 3D par méthode inverse. Pour faire cela, 6 chemins optiques de l'écoulement sont mesurés simultanément, chacun suivant un point de vue différent, grâce à 6 interféromètres de type Mach-Zehnder synchronisés par un laser pulsé. L'algorithme qui reconstruit la masse volumique minimise, par la méthode des gradients conjugués, un critère composé d'un terme de moindres carrés pénalisé par une régularisation de Tikhonov. La mesure des chemins optiques et la reconstruction 3D sont testées sur des jets d'air supersoniques sortant de buses avec des formes tridimensionnelles.

1 Introduction

Dans le domaine de la mécanique des fluides, les méthodes optiques permettent des mesures fines et non intrusives des grandeurs physiques aérodynamiques telles que la vitesse ou la masse volumique. Cette présentation s'intéresse à la reconstruction de la masse volumique. Les techniques optiques mesurent le chemin optique E ou de sa dérivée qui est l'intégrale de l'indice de réfraction n vu par les rayons lumineux comme indiqué équation 1. Cet indice de réfraction est lié à la masse volumique ρ par la constante de Gladstone-Dale κ de l'équation 2.

$$E = \int_0^L n(l) dl \quad (1)$$

$$n - 1 = \kappa \rho \quad (2)$$

Ainsi, les méthodes optiques mesurent la masse volumique de façon indirecte par des méthodes tomographiques. Parmi les méthodes quantitatives les plus utilisées, celles qui mesurent la dérivée du chemin optique sont la Background Oriented Schlieren [1] et la strioscopie interférentielle [2]. Celle qui mesure directement le chemin optique est l'holographie numérique [3]. Dans des travaux récents [4], l'ONERA a développé un banc de mesure d'holographie numérique pour des écoulements tridimensionnels stationnaires ou moyens dans lequel les différents points de vue sont réalisés à des instants différents en faisant tourner l'écoulement. Cette présentation s'intéresse à la mise en œuvre d'un banc multivisées pour reconstruire des jets instationnaires.

2 Montage optique

Pour réaliser le montage multivisées, chaque point de vue est basé sur un montage de type Mach-Zehnder comme illustré figure 1. Sur ce schéma, le faisceau laser est séparé en deux par un premier cube séparateur. Les deux faisceaux qui en sortent sont appelés faisceau de référence représenté en rouge et faisceau de mesure représenté en bleu. Le faisceau de mesure est étendu grâce à un montage afocal composé d'une lentille de focale 50 mm et d'un miroir concave de focale 1000 mm avec au milieu un miroir plan qui permet de réduire la taille du montage. Ce faisceau traverse l'écoulement avec des rayons. Un deuxième système afocal

composé d'un autre miroir de focale 1000 mm et d'une lentille de focale 120 mm renvoie le faisceau sur la caméra avec un grandissement théorique de 0,12 (120/1000). Celui de référence est envoyé de l'autre côté de l'écoulement sans le traverser. Il est étendu grâce à un montage afocal composé d'une lentille de focale 35 mm et d'une autre de 50 mm. Il est ensuite renvoyé sur la caméra pour interférer avec le faisceau de mesure. Un angle est donné au faisceau de référence pour travailler en holographie dite « hors axe ». La caméra est composée de 1900x1200 pixels de taille 5,86 μm .

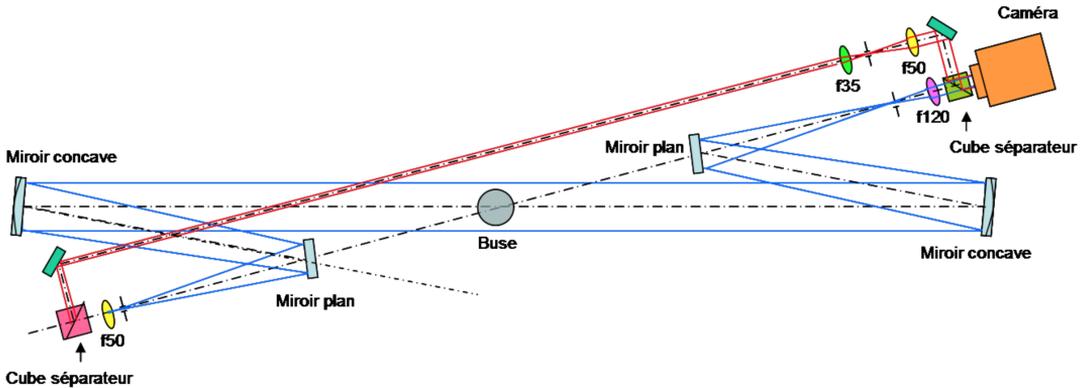


Figure 1: Schéma du montage d'interférométrie holographique numérique de type Mach-Zehnder.

Ce montage de type Mach-Zehnder est répété 6 fois sur le schéma de la figure 2 pour former 6 lignes de visée simultanées équiréparties autour du jet. Ceci correspond à une vue tous les 30°. Toutes ces visées sont synchronisées par les impulsions du laser utilisé pour l'illumination. En effet, ce laser, qui est un Nd:YAG doublé en fréquence (532 nm), a une pulsation de 9 ns à 10 Hz et une cohérence de 3 m. Grâce à un système optique composé de lames demi-onde, de cubes séparateurs et de miroirs plans, le faisceau est séparé en 6 faisceaux de même intensité qui sont les illuminations des 6 points de vue.

Grâce à ce montage optique, il est possible d'enregistrer des interférogrammes synchronisés. Les jets étudiés sont des jets d'hélium laminaires et d'air supersoniques sortant de buses tridimensionnelles appelées buses oiseau et étoile en référence à leurs formes présentées figure 3. Les 6 interférogrammes synchronisés de la buse oiseau une fois traités donnent les chemins optiques sont présentés figure 4. Sur ces figures 2D, il est déjà possible de remarquer le caractère 3D de l'écoulement car les chemins optiques sont différents. De plus, l'hélium sort laminairement de la buse avant d'éclater en panache. Pour reconstruire la masse volumique à partir de ces chemins optiques, il faut utiliser un algorithme de reconstruction présenté dans la partie 3.

3 Algorithme de reconstruction

L'algorithme de reconstruction utilisé a été développé à l'ONERA par Nicolas et al. [5] pour la BOS3D. Il a été adapté à des mesures de chemin optique. Cet algorithme est basé sur la minimisation d'un critère par la méthode des gradients conjugués. Ce critère I exposé équation 3 est composé d'un critère des moindres carrés où les chemins optiques E sont comparés aux projections T de la masse volumique reconstruite ρ . Ce terme est associé à une régularisation de Tikhonov qui pénalise le gradient de masse volumique par un terme λ .

$$I(\rho) = \|E - T\rho\| + \lambda\|\Delta\rho\| \quad (3)$$

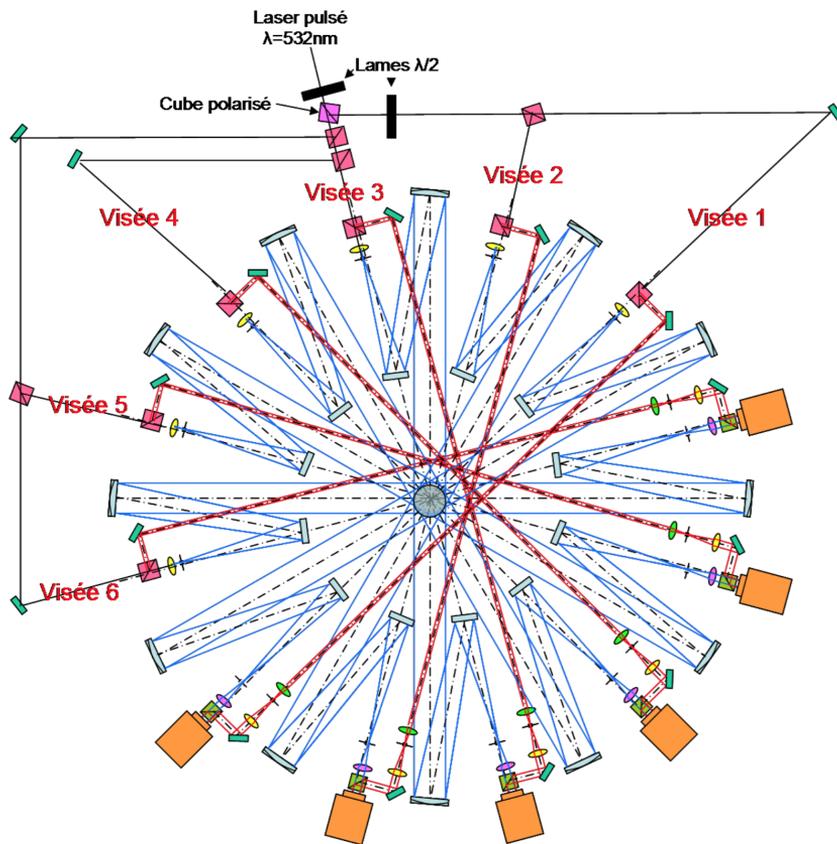


Figure 2: Schéma du montage multivisées.

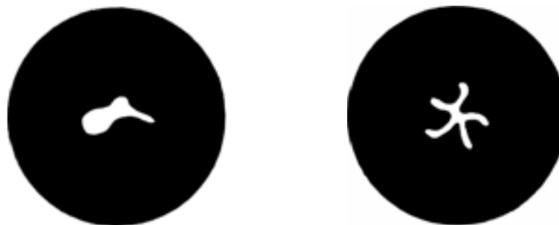


Figure 3: Schémas des buses en forme d'oiseau (gauche) et d'étoile (droite).

De plus, du fait que les faisceaux lumineux traversent l'écoulement en rayons parallèles, le volume peut être reconstruit plan par plan avec une parallélisation qui permet de gagner en mémoire et en temps de calcul. Enfin, le fait de n'utiliser que 6 points de vue donne un nombre d'information réduit pour reconstruire la masse volumique. Ceci conduit l'algorithme de reconstruction à diffuser l'information dans le volume de reconstruction. Ce phénomène a été mis en évidence par Acheson et al. [6] qui utilisent un masque pour contraindre le volume de reconstruction dans la zone utile. Ce phénomène est illustré figure 5 où le plan en sortie de la buse oiseau avec le jet d'hélium. Avec un grand volume de reconstruction, la forme, et donc la masse volumique, n'est pas bien reconstruite alors qu'avec un volume resserré, la reconstruction est plus précise.

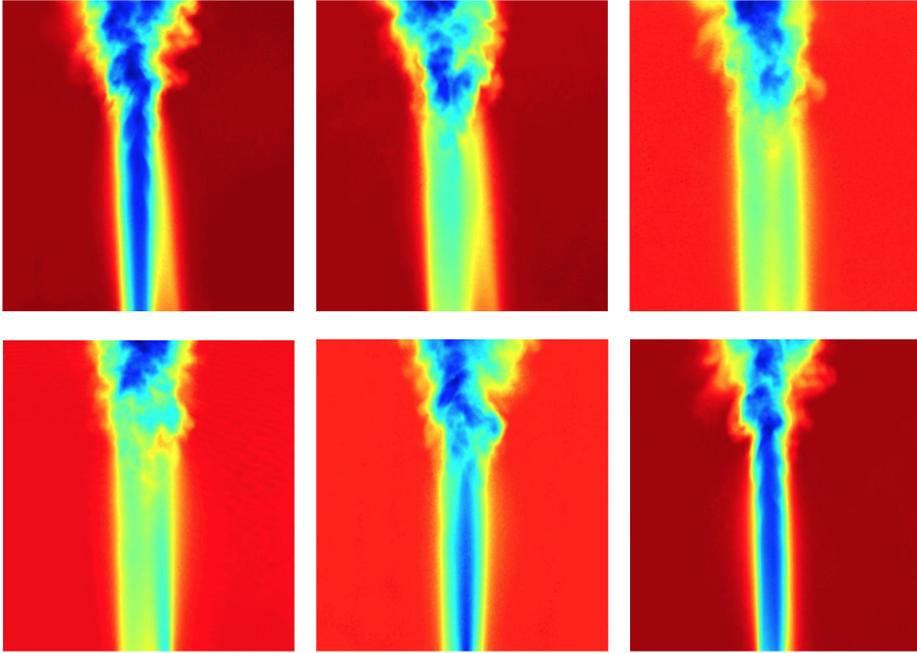


Figure 4: Chemins optiques synchronisés des 6 points de vue pour le jet d'hélium de la buse oiseau.

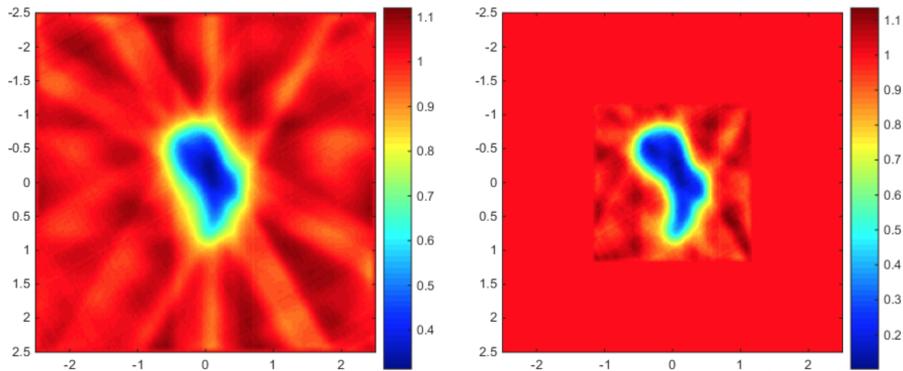


Figure 5: Plan de sortie de la buse oiseau avec un jet d'hélium reconstruit pour un grand volume (gauche) et pour un volume restreint (droite).

4 Résultats

Les résultats des jets tridimensionnels sont présentés figures 6 et 7. Dans le cas des jets d'hélium, les formes des buses sont bien retrouvées en sortie de buse puis l'hélium diffuse dans l'air et les formes s'effacent et, enfin, un panache se forme à partir d'une certaine hauteur. Dans le cas des jets d'air supersoniques de la figure 7, chaque partie des buses se comporte comme une forme circulaire avec ses propres intensité et fréquence de compression et de détente. Ces différentes zones se couplent pour donner des masses volumiques tridimensionnelles. De ces 4 reconstructions, on remarque que les jets d'hélium et celui de la buse oiseau avec l'air supersonique sont bien reconstruits. Par contre, en ce qui concerne le jet d'air avec la buse étoile, toutes les structures ne sont pas bien reconstruites car le jet est trop complexe pour les 6 visées mesurées avec l'algorithme utilisé.

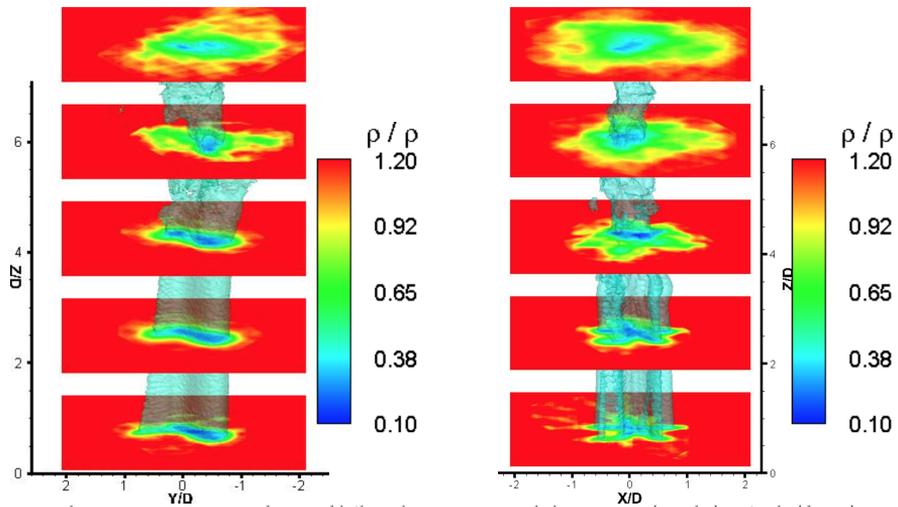


Figure 6: Masses volumiques reconstruites des jets d'hélium laminaires pour la buse oiseau (gauche) et étoile (droite).

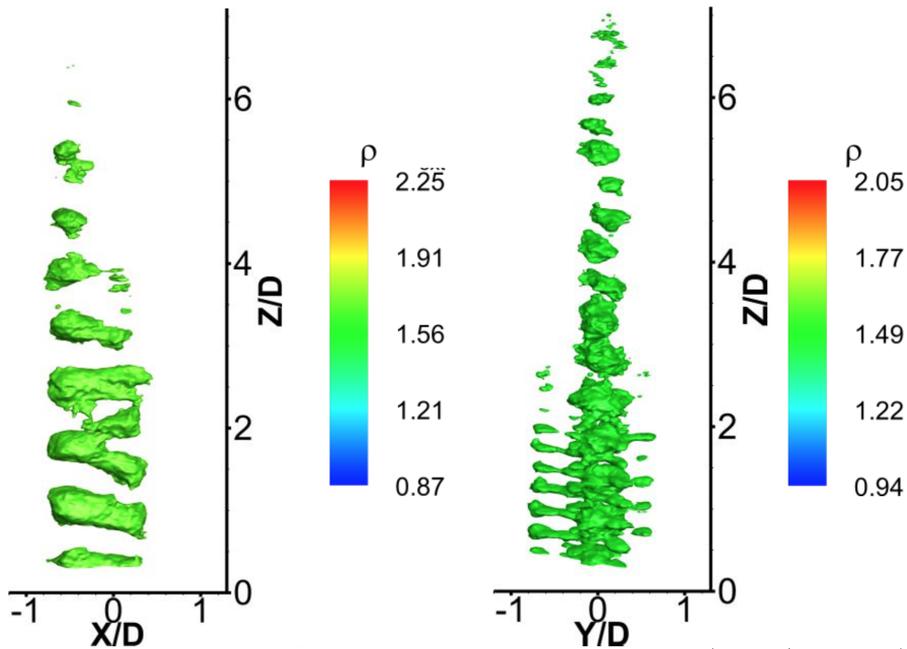


Figure 7: Masses volumiques reconstruites des jets d'air supersoniques pour la buse oiseau (gauche) et étoile (droite).

5 Conclusion

Dans cette présentation, nous avons mis en place un montage composé de 6 interféromètres de Mach-Zehnder et un algorithme de reconstruction de la masse volumique pour analyser les jets compressibles ou diphasiques instationnaires à une cadence de 10 Hz. Nous avons mis en évidence que la qualité de la reconstruction dépend du nombre de vues utilisées et de la complexité du jet.

6 Remerciements

Les auteurs remercient l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) pour leur financement au travers de l'ANR : ANR-14- ASTR-0005.

References

- [1] Richard H and Raffel M. Principle and applications of the background oriented schlieren (BOS) method. *Measurement Science and Technology*, Vol. 12, No. 9, pp 1576-1585, 2001.
- [2] Desse J-M, and Pegneaux J-C. Direct Measurement of the Density Field Using High Speed Differential Interferometry ,*Experiments in Fluids*, vol. 15, pp. 452-458, 1993.
- [3] Desse J-M, and Olchewsky F. Digital Holographic Interferometry for Analysing High-Density Gradients in Fluid Mechanics, *Holographic Materials and Optical Systems Izabela Naydenova*, IntechOpen, DOI: 10.5772/66111.
- [4] Olchewsky F, Essaïdi Z, Desse J-M, Nicolas F, Champagnat F and Picart P. 3D gas density reconstruction by digital holographic interferometry. *Digital Holography and Three-Dimensional Imaging*, Proc. Jeju OSA Congress, Korea 2017.
- [5] Nicolas F, Todoroff V, Plyer A, Le Besnerais G, Donjat D, Micheli F, Champagnat F, Cornic P and Le Sant Y. A direct approach for instantaneous 3D density field reconstruction from background-oriented schlieren (BOS) measurements *Experiments in Fluids*, Vol. 57, pp 1-21, 2016.
- [6] Acheson B, Ihrke I, Heidrich W, Tevs A, Bradley D, Magnor M, and Seidel H-P. Timere-solved 3D Capture of Non- Stationary Gas Flows. *ACM Trans. Graph.*, 27(5) :132 :1–132 :9, Dec. 2008.