

## PROPOSITION DE SUJET DE THESE

**Intitulé : Etude expérimentale des fluctuations de masse volumique à très haute fréquence dans les écoulements turbulents compressibles**

Référence : MFE-DMPE-2025-44  
(à rappeler dans toute correspondance)

**Début de la thèse :** 10/2025

**Date limite de candidature :** 05/2025

**Mots clés :** techniques expérimentales, interférométrie, turbulence, hypersonique

### Profil et compétences recherchées

Posséder une affinité pour le travail expérimental et un intérêt pour l'optique. Démontrer un esprit d'initiative et de créativité, essentiel pour mener à bien des travaux expérimentaux. Maîtriser l'anglais (niveau B2 minimum). Familiarité requise avec Python (Numpy et Scipy) ou semblable (Matlab/Octave/Scilab) pour le traitement de signaux.

### Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

Alors que l'on assiste à un retour en force des activités de recherche liées au régime de vol à très haute vitesse, il en résulte un besoin réel d'élargir la palette des techniques expérimentales adaptées à l'étude de la physique des écoulements à haut nombre de Mach. En effet, bien que les principes de base des souffleries générant des écoulements hypersoniques n'aient pas changé au cours des dernières décennies, des techniques métrologiques basées sur des principes de rupture ont vu le jour. Leur maîtrise offre ainsi une nouvelle capacité d'étude et de modélisation des écoulements rencontrés dans ces régimes, et de ce fait est devenue depuis peu un enjeu de souveraineté.

Que ce soit afin d'obtenir une connaissance fine des perturbations présentes dans l'écoulement rencontré par une maquette d'avion hypersonique (de type SR-72 ou MD-22) ou pour étudier le contenu spectral des fluctuations dans les couches limites fortement compressibles (transitionnelles ou turbulentes), il est essentiel de disposer d'un outil doté d'une réponse temporelle dépassant le mégahertz et d'une résolution spatiale de l'ordre de quelques dizaines de micromètres. L'anémométrie par fil chaud étant exclue pour ce régime d'écoulements, on se tourne vers une technique pleinement non-intrusive couplant l'interférométrie optique au traitement de signaux numériques acquis avec des senseurs électro-optiques de dernière génération. Nommée FLDI (pour Focused Laser Differential Interferometry [1-5], ou l'interférométrie différentielle à laser focalisé), cette technique n'a pas encore été implémentée en France à ce jour.

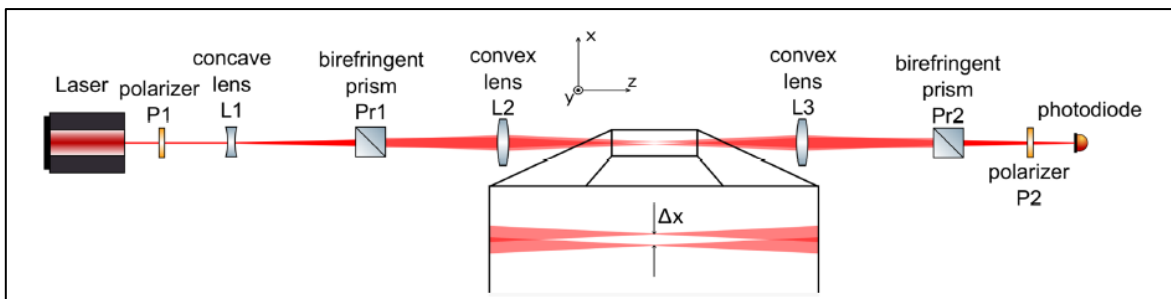


Figure 1 : Schéma simplifié d'un montage FLDI [1]

Le premier objectif de cette thèse est de mettre en œuvre un banc d'essai basé sur la FLDI (voir les Figures 1 et 2), ce qui permettra de maîtriser la technique et de caractériser sa résolution spatio-temporelle dans des conditions contrôlées autour d'un simple jet chaud libre.

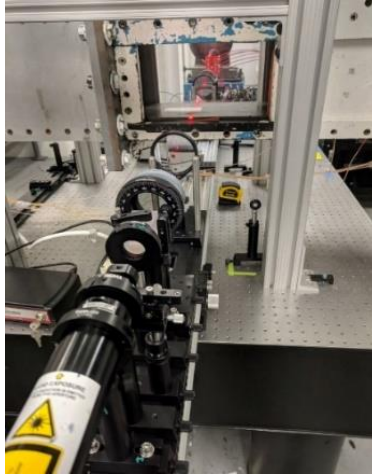


Figure 2 : Exemple de montage en veine proposé par [4]

Ce montage fera suite à une revue bibliographique préliminaire permettant de comprendre les principes théoriques de cette métrologie et d'initier une modélisation du système optique. En particulier, nous comptons sur une littérature récente [6] et détaillée provenant de laboratoires partenaires à l'étranger où cette étape initiale a été documentée.

De plus, l'outil de post-traitement des données FLDI accompagnant le système d'acquisition devra être développé.

Dans une seconde étape, cette technique sera déployée dans l'écoulement libre à la sortie de la tuyère d'une soufflerie hypersonique de l'ONERA telle que R2Ch à Meudon ou F4 au Fauga-Mauzac, afin de caractériser les fluctuations présentes et en déduire leurs propriétés spectrales, données primordiales pour la modélisation fine de la transition de couches limites. De plus, une variante multi-points de la FLDI permettant d'accéder aux échelles spatiales du champ fluctuant de la masse volumique pourra être considérée pour l'étude expérimentale approfondie de la turbulence de couches limites en régime hypersonique.

### **Références :**

- [1] E.K. Benitez et al. Quantitative focused laser differential interferometry with hypersonic turbulent boundary layers, AO Vol. 61, No. 31 2022
- [2] G.P. Camillo, Analysis of Hypersonic Boundary Layer Turbulence by Means of Focused Laser Differential Interferometry, PhD dissertation Justus-Liebig-Universität Gießen, 2023
- [3] J.M. Lawson, Focused Laser Differential Interferometry, PhD dissertation Caltech, 2021
- [4] K. Davenport, M. Gragston. Simultaneous turbulent boundary layer velocity profile and scalar turbulence spectra with linear array-FLDI. In AIAA Scitech 2022 Forum, p. 1313. 2022
- [5] M.R. Fulghum, Turbulence measurements in high-speed wind tunnels using focusing laser differential interferometry, PhD dissertation, PSU, 2014
- [6] B.E. Schmidt, J.E. Shepherd, Analysis of focused laser differential interferometry, Appl. Opt. 54, 8459, 2015

### **Collaborations envisagées**

#### **Laboratoire d'accueil à l'ONERA**

Département : DMPE-HEAT

Lieu (centre ONERA) : Toulouse

**Contact :** David Donjat, Olivier Leon, José Cardesa

Email : [david.donjat@onera.fr](mailto:david.donjat@onera.fr); [olivier.leon@onera.fr](mailto:olivier.leon@onera.fr), \_\_\_\_\_

#### **Directeur de thèse**

Nom : David Donjat

Laboratoire : ONERA Toulouse

Email : [david.donjat@onera.fr](mailto:david.donjat@onera.fr)

Pour plus d'informations : <https://www.onera.fr/rejoindre-onera/la-formation-par-la-recherche>