

STAGE DE MASTER / MASTER DEGREE INTERNSHIP  
5-6 MOIS / MONTHS

Dimensionnement et réalisation d'un dispositif expérimental pour l'étude d'un écoulement gazeux confiné et raréfié

/ Sizing and realization of an experimental set up for the study of a confined and rarefied gas flow

**Contexte**

Les caractéristiques des écoulements gazeux constituent un élément critique pour la conception d'une grande variété de dispositifs et de processus, en particulier à l'ère de la miniaturisation. À titre d'exemple, nous pouvons citer les systèmes spatiaux, biologiques et micro-électromécaniques qui ont suscité un intérêt croissant ces dernières années. Pour contrôler et optimiser ces systèmes, la connaissance des caractéristiques thermiques et fluides est essentielle [1]. En particulier, il est nécessaire de connaître précisément le champ cinématique du gaz dans des géométries confinées, notamment à micro-échelle. Certains travaux ont fait état de techniques de vélocimétrie en microfluidique, mais ils traitent principalement des écoulements de liquides [2]. Pour la visualisation des écoulements gazeux, la vélocimétrie par marquage moléculaire (MTV) est une méthode adaptée, basée sur le principe de la fluorescence et de la phosphorescence induites par laser [3]. Mais très peu de travaux ont fait état de diagnostics MTV pour les écoulements de gaz internes et raréfiés [4]. La raréfaction est une condition présente dans les gaz à basse pression ou dans les dispositifs micrométriques. Dans ces conditions, le signal de phosphorescence obtenu par MTV est très faible, ce qui nécessite des acquisitions avec de nombreuses accumulations pour augmenter le rapport signal/bruit. Mais le dispositif expérimental actuel de l'ICA ne permet pas d'effectuer des accumulations sur une grande durée (Fig. 1).

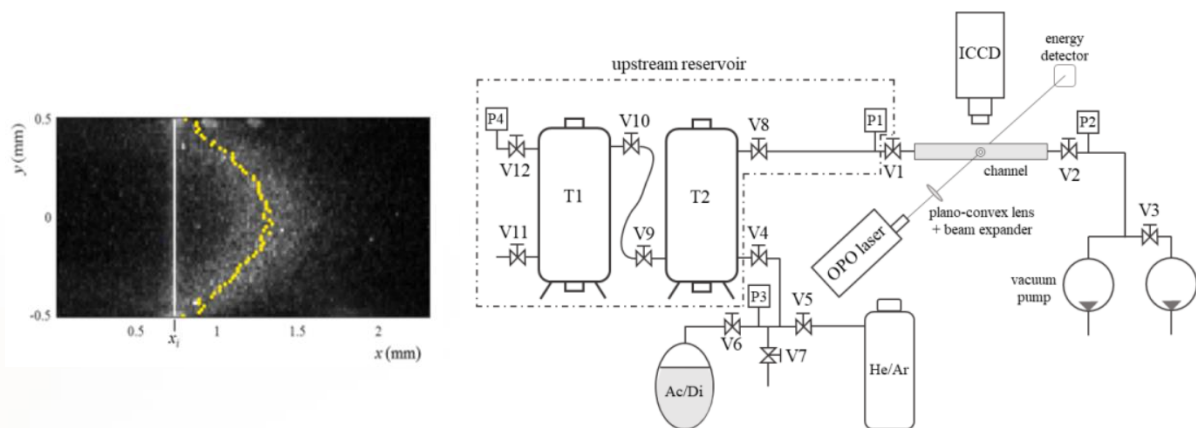


Fig. 1 : Exemple d'acquisition par MTV - Système actuel de circulation de gaz (mélanges à basse pression) [5]

**Objectifs et description du poste**

Ce travail a pour objectif de dimensionner et concevoir le dispositif expérimental permettant la circulation d'un gaz dans des conditions confinées et raréfiées. Les critères imposés concernent les valeurs du débit et la pression du gaz qui doivent être constants et qui ont une valeur faible due aux conditions expérimentales. Les objectifs sont de définir différentes solutions afin d'améliorer l'installation actuelle (circuit ouvert) et de concevoir une nouvelle solution basée sur une boucle fermée. Ce travail devrait conduire à des améliorations significatives de la stabilité de l'écoulement de gaz et permettre ainsi une meilleure qualité des mesures MTV.

Le travail à effectuer pendant le stage peut être divisé en plusieurs parties :

- Prendre en main le sujet et le dispositif expérimental actuel → définition précise du cahier des charges
- Veilles technologique et scientifique pour identifier les solutions pertinentes concernant l'amélioration du circuit actuel
- Veilles technologique et scientifique pour identifier les solutions pertinentes concernant la conception du système de circulation fermée
- Simulations et validation des solutions proposées
- Réalisation des dispositifs expérimentaux et validation par des campagnes de mesures (débit et pression)
- Selon l'avancée du projet, participation aux campagnes de mesure par MTV pour valider les améliorations des nouveaux dispositifs expérimentaux.

### Compétences attendues

L'étudiant doit être inscrit en dernière année de master ou équivalent (école d'ingénieurs) dans le domaine du génie mécanique, énergétique ou de la physique. L'étudiant doit avoir de solides connaissances en sciences physiques et mécaniques, en particulier en mécanique des fluides. Une expertise en simulation des fluides serait un atout mais ce n'est pas indispensable. L'étudiant doit avoir un intérêt marqué pour les sciences expérimentales, une grande curiosité scientifique et la capacité de travailler de manière autonome. De bonnes aptitudes à la communication orale et écrite seront appréciées.

### Environnement du stage

Le stage se déroulera à Toulouse, à l'Institut Clément Ader - 3 rue Caroline Aigle 31400 Toulouse. L'équipe d'encadrement de ce stage est composée de membres de l'équipe Modélisation des Systèmes Mécaniques et Microsystèmes (MS2M), qui ont une forte expertise dans le développement d'outils optiques expérimentaux et de modèles numériques pour étudier les écoulements de gaz raréfiés. Le stage sera rémunéré en fonction des conditions en vigueur.

### Salaire :

- environ 650 €/mois (selon la législation en vigueur)

### Contact :

Stéphane Colin and Cathy Rond

[colin@insa-toulouse.fr](mailto:colin@insa-toulouse.fr); [rond@insa-toulouse.fr](mailto:rond@insa-toulouse.fr)

### Pièces jointes à joindre à la demande :

- CV
- Lettre de motivation

### Context

The behavior of gas flows is a critical element to determine the performance of a large variety of devices and processes, particularly in the age of miniaturization. As examples, we can mention space, biological and micro electro-mechanical systems that have attracted growing interest in recent years. To control and optimize these systems, flow and thermal characteristics are of great interest [1]. In particular, there is a need to precisely know the flow field of the gas in confined geometries, especially at micro-scale. Some works have reported microfluidic velocimetry techniques but they mainly deal with liquid flows [2]. For gas flow visualization, Molecular Tagging Velocimetry (MTV) is a well-adapted method based on laser induced fluorescence and phosphorescence principle [3]. Very few works have reported MTV diagnostics for internal and rarefied gas flow [4]. Rarefaction is a condition which is present in gas at low pressures or in micro-metric devices. In these conditions, phosphorescence signal of MTV is very weak which requires acquisitions with numerous accumulations to increase signal-to-noise ratio. But the current experimental set-up at ICA does not allow performing accumulations on a large time scale (Fig.1).

### Objectives and job description

This work aims to size and design the experimental set up allowing the circulation of a gas in confined and rarefied conditions. The requirements concern the flow rate and the pressure of the gas that have to be constant with time. The micro-scale of the setup as well as the low values of operating flow rate and pressure represent technological issues to be assessed. The objectives are to define different solutions in order to improve the current setup (open circuit) and to design a new solution based on closed loop. This work should lead to significant improvements in the stability of the gas flow and thus enable better quality for MTV measurements.

The work to be done during the internship can be divided into different parts:

- To handle the subject and to assimilate the current experimental setup → specifications definitions
- Technological and scientific intelligence to identify the adapted solutions for improvements of the current setup
- Technological and scientific intelligence to identify the adapted solutions for the design of the closed loop setup
- Simulations and validation of the identified solutions
- Realization of the circuits and validation by tests (measurements of flow rate and pressure)
- According to project progresses, participation to MTV measurements using the new set ups.

### Expected skills

The student is enrolled in the final year of the master's degree or equivalent (engineering school) related to mechanical engineering or physics. The student must have a solid knowledge in physical and mechanical sciences, especially in fluid dynamics. Expertise in fluid simulation would be an asset but this is not essential. The student must have a keen interest in experimental science, a high level of scientific curiosity and the ability to work independently. Good oral and written communication skills will be appreciated.

### Internship environment

The internship will take place in Toulouse, at Institut Clément Ader – 3 rue Caroline Aigle 31400 Toulouse

The supervisory team related to this internship is composed by members of the Mechanical Systems and Microsystems Modelling (MS2M) team, who have strong expertise in developing experimental optical tools and numerical models to investigate rarefied gas flows.

The internship will be compensated according to prevailing conditions.

Salary:

- about 650 €/month

Contact:

Stéphane Colin and Cathy Rond

[colin@insa-toulouse.fr](mailto:colin@insa-toulouse.fr); [rond@insa-toulouse.fr](mailto:rond@insa-toulouse.fr)

Attachments to be provided with the application:

- CV
- Cover letter

**References**

- [1] Akhlaghi, Hassan, Ehsan Roohi, et Stefan Stefanov. « A comprehensive review on micro- and nano-scale gas flow effects: Slip-jump phenomena, Knudsen paradox, thermally-driven flows, and Knudsen pumps ». *Physics Reports, A Comprehensive Review on Micro- and Nano-Scale Gas Flow Effects: Slip-Jump Phenomena, Knudsen Paradox, Thermally-Driven Flows, and Knudsen Pumps*, 997: 1-60.
- [2] Williams, Stuart J., Choongbae Park, et Steven T. Wereley. « Advances and Applications on Microfluidic Velocimetry Techniques ». *Microfluidics and Nanofluidics* 8, n° 6 (1 juin 2010): 709-26
- [3] Pitz, Robert W, Paul M Danehy, Edited Adam Steinberg, et Sukesh Roy. « Chapter 14 Molecular Tagging Velocimetry in Gases », s. d.
- [4] Yamaguchi, Hiroki, Kohei Hayashida, Yukihiro Ishiguro, Kensuke Takamori, Yu Matsuda, et Tomohide Niimi. « Micro-Molecular Tagging Velocimetry of Internal Gaseous Flow ». *Microfluidics and Nanofluidics* 20, n° 2 (22 janvier 2016): 32.
- [5] Fratantonio, Dominique, « Molecular tagging velocimetry in rarefied and confined gas flows », Thèse de doctorat, Université de Toulouse, 2019