

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Caractérisation d'injecteurs aéronautiques par Background Oriented Schlieren (BOS)

Référence : MFE-DMPE-2025-43
(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : 10/2025

Date limite de candidature : 05/2025

Mots clés

Background Oriented Schlieren (BOS), techniques expérimentales, milieu diphasique, optique

Profil et compétences recherchées

Le candidat idéal pour ce poste devrait posséder une forte affinité pour le travail expérimental et être prêt à s'investir dans des tâches techniques. Il devra démontrer un esprit d'initiative, de créativité et de résilience, des qualités essentielles pour mener à bien des travaux expérimentaux. Une maîtrise de l'anglais au niveau B2 minimum et une connaissance de Matlab ou Python sont requises. De plus, toute expérience préalable en laboratoire et/ou en recherche expérimentale serait un atout.

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

Face à des réglementations environnementales de plus en plus contraignantes, l'industrie aéronautique se trouve confrontée à la nécessité d'améliorer la vaporisation du carburant et son mélange avec l'air afin d'accroître l'efficacité de la combustion tout en réduisant les émissions de polluants et de dioxyde de carbone (CO₂). Pour relever ce défi, il est impératif de mettre au point des techniques expérimentales permettant d'analyser de manière précise la vaporisation et la distribution du carburant au sein de la chambre de combustion. Récemment, l'imagerie Background Oriented Schlieren (BOS) a connu d'importants progrès et se positionne comme l'une des méthodes expérimentales les plus récentes et prometteuses pour répondre à ces besoins.

L'imagerie BOS est une technique expérimentale non intrusive permettant de quantifier à grande échelle les variations de masse volumique dans un écoulement transparent par la mesure de la déflexion des rayons lumineux le traversant [1]. La mesure de ces déflexions est réalisée par l'intermédiaire d'un fond avec une certaine répartition de points, appelé mouchetis. Le mouchetis est placé de telle façon qu'il puisse être observé par une caméra à travers l'écoulement. Le déplacement apparent des points engendré par l'écoulement est alors enregistré par la caméra et comparé à une image de référence, enregistré généralement sans écoulement. Le post-traitement de ces images permettra ensuite de déterminer le champ de déflexion des rayons lumineux et donc la variation de l'indice de réfraction causée par l'écoulement, elle-même liée à la variation de masse volumique au sein de celui-ci.

Par sa simplicité de mise en œuvre et son caractère non-intrusif, la BOS a été utilisée dans de diverses configurations pour caractériser spatialement et parfois temporellement un écoulement. Elle a été déployée dans des écoulements transsoniques, supersoniques ou hypersoniques pour caractériser les fortes variations de masse volumique induites des chocs [2] ou des explosions [3]. Elle a également été employée pour caractériser les transferts thermiques en cartographiant les gradients de températures dans des écoulements chauds [4]. Récemment, le mélange entre deux écoulements de composition distinctes a pu être aussi étudié en s'intéressant à la concentration locale des espèces en jeu [5].

Dans un contexte diphasique (gaz + liquide), la BOS a été utilisée de manière assez marginale, notamment pour caractériser les reliefs de l'interface gaz-liquide [6]. La présence d'une autre phase complexifie en général la mise en œuvre des diagnostics optiques à cause de l'importante diffusion et obstruction de la lumière causée par les zones denses de la phase liquide. Cependant, dans le

cadre de milieux dilués, comme des sprays dans des chambres de combustion, ces difficultés peuvent être levées. Ainsi, la BOS a pu être utilisée quelques fois dans la littérature pour la visualisation du contour du spray permettant de caractériser sa pénétration [7] ou son étalement lorsqu'il impacte une paroi [8], permettant de s'affranchir de techniques plus difficiles et coûteuses à mettre en place tels que l'image par diffusion de Mie ou stioscopie.

En outre, la BOS permet de distinguer qualitativement la distribution de la phase liquide au sein du spray : la zone comportant majoritairement la phase liquide du spray correspond à une zone obscurcie de l'image BOS avec une déviation importante des rayons lumineux due à l'importante évaporation de cette zone dense en particules, tandis la zone comportant majoritairement la phase gazeuse du spray correspond à la zone de l'image BOS non atténuée où les déviations sont faibles. Enfin dans le cas d'un mélange bicomposant, la BOS offre la possibilité de mesurer les champs de concentration locale de l'espèce évaporée [9], ce que peu de techniques expérimentales sont actuellement capables de faire. En conséquence, l'utilisation de la BOS dans des environnements dilués peut offrir des informations précieuses à un coût abordable pour la conception d'injecteurs dans divers domaines d'application.

Cette thèse a pour objectif principal d'améliorer les mesures expérimentales par BOS dans des environnements dilués. Elle vise à caractériser la topologie d'un spray de manière plus précise et à quantifier de manière unique l'évaporation d'un spray monocomposant. De plus, elle ambitionne d'effectuer des mesures BOS tomographiques pour la première fois dans des écoulements diphasiques tridimensionnels couramment observés dans les chambres de combustion, tels que les sprays à cône creux soumis à un écoulement tourbillonnant et/ou pulsé. Une autre innovation de cette thèse réside dans l'exploitation de l'obscurcissement du fond provoqué par l'extinction des rayons lumineux traversant la phase liquide, une caractéristique jusqu'ici sous-utilisée. En effet, cette extinction peut fournir des informations quantitatives sur les propriétés de la phase liquide [10]. Par conséquent, la thèse tentera d'établir une corrélation entre la réduction de l'intensité lumineuse captée par la caméra et le champ de fraction volumique de la phase liquide. Les travaux réalisés au cours de cette thèse ont le potentiel à long terme de développer un diagnostic permettant de caractériser simultanément la phase vapeur (à travers la déviation des rayons) et la phase liquide du spray (à travers l'extinction des rayons) en utilisant la technique BOS.

Les travaux du doctorant se déclineront en 2 principaux volets :

- **Expérimental :**
 - Conception et montage du nouveau dispositif expérimental à l'ONERA Toulouse possédant un haut niveau de modularité et reproduisant un écoulement d'air tourbillonné dans lequel est injecté un spray à cône creux
 - Réalisation de mesures BOS 2D et 3D en milieux dilués pour plusieurs conditions d'évaporation et d'écoulement.
 - Reconstruction des champs de concentration molaire et de fraction volumique liquide
- **Théorique/Développement expérimental :**
 - Etablir une relation théorique entre la perte d'intensité du rayon lumineux et les caractéristiques du spray en régime de diffusion simple, et l'étendre en régime de diffusion multiple
 - Définir les hypothèses nécessaires permettant l'utilisation de la BOS en milieux dilués
 - Utiliser le logiciel ASTRE développé par l'ONERA pour valider les développements théoriques

