

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé :

Influence de la composition chimique de carburant d'aviation durable (SAF) sur la formation des particules de suies et leurs conditions d'échappement

Référence : **MFE-DMPE-2025-49**

(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : 01/10/2025

Date limite de candidature : 01/07/2025

Mots clés :

Aviation fuel and biofuel, optical techniques, combustion, soot

Profil et compétences recherchées

Master ou diplôme d'ingénieur en physique, chimie, énergétique, mécanique des fluides, combustion.

Compétences : Compréhension de la physique et chimie d'une flamme, compétences en programmation, traitement de données. Idéalement une première expérience avec un diagnostic optique.

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

Depuis une dizaine d'années, la décarbonation de l'aviation est devenue l'enjeu principal de l'industrie aéronautique. Deux voies se développent conjointement concernant le type de carburant à privilégier. La plus prometteuse est le passage à l'hydrogène qui ne génère pas de CO₂ et peu de polluant (uniquement NO_x) mais qui nécessite de résoudre deux problèmes technologiques conséquents : la production écologique d'hydrogène et le design d'avion en rupture avec les technologies existantes. La seconde voie, moins ambitieuse mais bien plus rapidement applicable, est le passage des carburants fossiles à des carburants de synthèse (SAF, *sustainable aviation fuel*) issus de la biomasse. Ces carburants présentent plusieurs avantages : renouvelables, pas ou peu d'adaptation des avions, un cycle carbone plus vertueux et a priori une émission moins abondante de particules de suie [1], l'un des plus importants agents clairement identifiés du forçage radiatif [2].

Afin de confirmer cette plus faible génération de suies et de mieux en comprendre les mécanismes, le sujet de recherche proposé a pour objectif de caractériser in-situ les particules de suie générées par des flammes dont le carburant est soit un SAF, soit un mix constitué d'une fraction de SAF. Un kérozène conventionnel servira de référence. À cette fin, le candidat réalisera des travaux expérimentaux sur 2 sites : le centre de Palaiseau de l'ONERA et le campus de Saint-Cyr-l'École de Sorbonne Université. L'installation de l'ONERA permet de générer des flammes turbulentes dont le carburant est un SAF pur alors que l'installation de Sorbonne Université permet la stabilisation de flammes laminaires dont le carburant est un mix d'un gaz (CH₄ ou C₂H₄) et de SAF pré-vaporisé.

Sur les deux sites, ces flammes seront principalement étudiées à l'aide de diagnostics optiques (Modulated Absorption/Emission - MAE [3] et Laser Induced Incandescence LII [4]) permettant notamment d'obtenir des cartographies bidimensionnelles de champs de fraction volumique de suie (localisation et quantification), de température ou encore d'un métrique de la maturité des particules de suie. L'un des objectifs sera également d'évaluer le diamètre des particules primaires de suies par l'un de ces diagnostics.

À Sorbonne Université, les flammes seront aussi étudiées à l'aide de chromatographie en phase gazeuse (GC) afin de mesurer la concentration d'espèces étant à l'origine de la formation des particules de suies (précurseurs). Éventuellement, des prélèvements de suies seront réalisés in-situ pour analyse par microscopie.

Des prélèvements à l'échappement pourront aussi être réalisés sur les deux installations. Le candidat pourra également être amené à participer (i) à la modélisation par simulation numérique d'une partie des flammes étudiées et (ii) des campagnes d'essais en conditions représentatives des conditions de moteur aéronautique.

À travers ce doctorat, le candidat générera une importante base de données expérimentales. Celle-ci pourra servir de référence pour améliorer la modélisation des suies dans les simulations numériques. Cette modélisation est encore aujourd'hui perfectible et son caractère prédictif se limite à un nombre restreint de configurations. Surtout, le candidat devra être en mesure d'identifier des spécificités dans les mécanismes de formation de suies des flammes stabilisées de divers carburants utilisables pour l'aviation et décrire l'influence de la température, de la maturité et de la taille des particules sur la quantité totale de suie produite par une flamme.

Durant ce doctorat, le candidat sera amené à travailler avec les équipes d'experts en combustion et en diagnostics optiques de l'ONERA, et son travail contribuera à l'activité de recherche en combustion des SAF de l'ONERA. Il travaillera également dans le milieu académique et sera amené à développer des compétences uniques d'expérimentateurs sur cette thématique de recherche.

- [1] V. Undavalli *et al.*, « Recent advancements in sustainable aviation fuels », *Prog. Aerosp. Sci.*, vol. 136, p. 100876, janv. 2023, doi: 10.1016/j.paerosci.2022.100876.
- [2] J. Hansen et L. Nazarenko, « Soot climate forcing via snow and ice albedos », *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 101, n° 2, p. 423-428, janv. 2004, doi: 10.1073/pnas.2237157100.
- [3] G. Legros *et al.*, « Simultaneous soot temperature and volume fraction measurements in axis-symmetric flames by a two-dimensional modulated absorption/emission technique », *Combust. Flame*, vol. 162, n° 6, p. 2705-2719, juin 2015, doi: 10.1016/j.combustflame.2015.04.006.
- [4] D. R. Snelling, G. J. Smallwood, F. Liu, Ö. L. Gülder, et W. D. Bachalo, « A calibration-independent laser-induced incandescence technique for soot measurement by detecting absolute light intensity », *Appl. Opt.*, vol. 44, n° 31, p. 6773-6785, nov. 2005, doi: 10.1364/AO.44.006773.

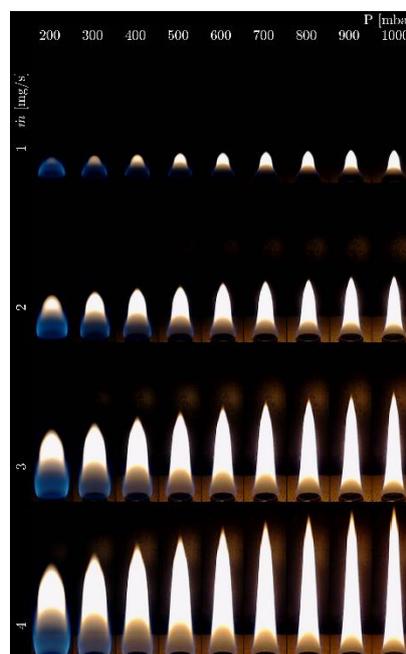


Figure 1 – Illustration de l'objet principal d'étude : une flamme non-prémélangée. Flammes d'éthylène générées par le brûleur de l'Institut Jean le Rond d'Alembert. De gauche à droite, la pression ambiante dans la chambre augmente de 200 à 1000 mbar. De haut en bas, le débit massique augmente de 1 à 4 mg/s.

Collaborations envisagées : TUM/ICARE/IUSTI

Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département : Multi-physique pour l'énergétique (DMPE)
 Lieu (centre ONERA) : 91120, Palaiseau, France
Contact : Renaud Jalain
 Tél. : 01 80 38 60 73
 Email : renaud.jalain@onera.fr

Directeurs de thèse

Nom : G. LEGROS
 Laboratoire : IJLRA
 4 Pl. Jussieu, 75005 Paris (Campus UPMC)
 2 place de la gare de ceinture
 78210 Saint-Cyr-l'École (Campus Saint-Cyr)
 Tél. +33 144 278 588
 Email : guillaume.legros@sorbonne-universite.fr

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