

Combustion Aerosol Standard Generator for aeronautic fuel

R. Barrellon-Vernay^{1,2}, A. Berthier^{2,1}, D. Delhaye¹, I.K. Ortega¹, F. Ser¹, C. Focsa²

¹Département Multi-Physique pour l'Energétique, ONERA Université Paris Saclay, F-91123, Palaiseau, France.

²Université de Lille, CNRS - UMR 8523 - Physique des Lasers, Atomes et Molécules, F-59000 Lille, France

*Courriel de l'orateur: rafael.barrellon_vernay@onera.fr

TITLE

Combustion Aerosol Standard Generator for aeronautic fuel

RESUME

Les émissions issues des moteurs aéronautiques ont un impact sur le climat et la qualité de l'air, dans et autour des aéroports. Il existe différentes options pour réduire les émissions des avions, basées notamment sur le développement de nouveaux carburants alternatifs. Un brûleur mini-CAST, adapté à la combustion de carburants liquides, est utilisé comme source représentative et reproductible pour la production de suies similaires à celles des émissions des moteurs d'avions. Ce travail vise à caractériser physiquement et chimiquement les émissions du CAST et à étudier sa stabilité afin de pouvoir en faire usage sur des bancs d'essais et lors de futures campagnes nécessitant une source de combustion fiable.

ABSTRACT

Emissions from aircraft engines impact climate and air quality in and around airports. There are different options available to reduce aircraft emissions, based in particular on the development of new sustainable fuels. A mini-CAST burner suitable for the combustion of liquid fuel is used as a representative and a reproducible source in soot production similar to aircraft engine emissions. This work aims for physico-chemical characterization of the CAST and for studying its stability in view of use on test benches.

MOTS-CLÉS : émissions de moteurs aéronautiques, suies, particules non volatiles, caractérisation physico-chimique.

KEYWORDS: aircraft engine emissions, soot, non-volatile particles, physico-chemical characterization.

1. INTRODUCTION

Avant la crise sanitaire du COVID-19, l'aviation était le secteur du transport ayant la croissance la plus forte (ICAO, 2018). Un retour à la normale du trafic aérien étant estimé pour 2024, l'impact des émissions dues au trafic aérien sur le climat et la qualité de l'air reste un sujet de premier plan (Vorster et al., 2013). Les émissions aéronautiques ne se limitent pas aux gaz à effet de serre comme le dioxyde de carbone (CO₂) ou l'eau (H₂O) mais incluent également d'autres gaz comme les oxydes d'azote (NO_x) ou les oxydes de soufre (SO_x) et les particules volatiles et non volatiles (vPM et nvPM respectivement).

Les nvPM sont définies comme des particules présentes dans l'échappement du moteur à des températures supérieures à 350°C et se composent essentiellement de particules de suies produites par la combustion incomplète du carburant. Les vPM sont formées par nucléation à partir de précurseurs gazeux dans les gaz d'échappement refroidis en aval du moteur.

Parmi les différentes options envisageables, l'industrie aéronautique se tourne notamment vers le développement de nouveaux carburants pour réduire ses émissions (Zheng et al., 2019). Ces carburants peuvent être étudiés sur des bancs d'essais dans des conditions réelles de pression et de température. Afin de tester rapidement dans un premier temps une grande quantité de carburant, une source de combustion alternative plus petite et facile d'utilisation peut être employée. C'est le cas du brûleur CAST (Figure 1, à gauche) adapté au carburant liquide, reproductible et représentatif en particules issues des émissions des avions, permettant une combustion dans des conditions atmosphériques et une faible consommation de carburant (Jing, 2013).

2. FONCTIONNEMENT DU CAST

Le principe de fonctionnement du CAST liquide (Figure 1, à droite) est basé sur le modèle du propane. Une flamme de propane est utilisée pour vaporiser le carburant dans la chambre de combustion et vaporiser son inflammation au sommet de cette chambre. Une injection d'azote va arrêter le phénomène d'oxydation au sommet de la flamme. De l'air injecté de part et d'autre de l'injection d'azote, au sommet de la flamme, permet de diluer les émissions et de les envoyer dans la ligne de mesure. Le débit d'azote et le débit d'air de dilution sont maintenus constants à 7L/min et 20L/min, respectivement. En contrôlant les débits d'oxydation, de carburant et de propane, il est alors possible de modifier les caractéristiques physiques (concentration

massique, concentration en nombre et distribution granulométrique) des particules émises. Une caractérisation précise est donc nécessaire pour identifier les émissions en fonction des différents flux imposés contrôlant les conditions de combustion.

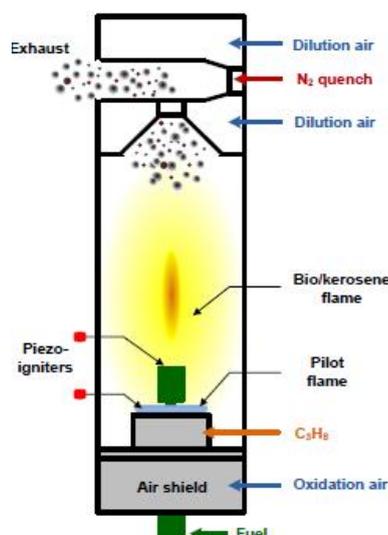


Figure 1 - À gauche le Combustion Aerosol Standard Generator (CAST) et à droite la configuration de la chambre de combustion du CAST.

Les émissions du CAST (Figure 2) sont diluées par un premier étage Dekati® Diluter (DI-1000) avec de l'air chauffé à 160°C. L'échappement est analysé directement ou après avoir traversé un lit catalytique (CS) et un autre appareil de dilution, Dekati Engine Exhaust Diluter (DEED).

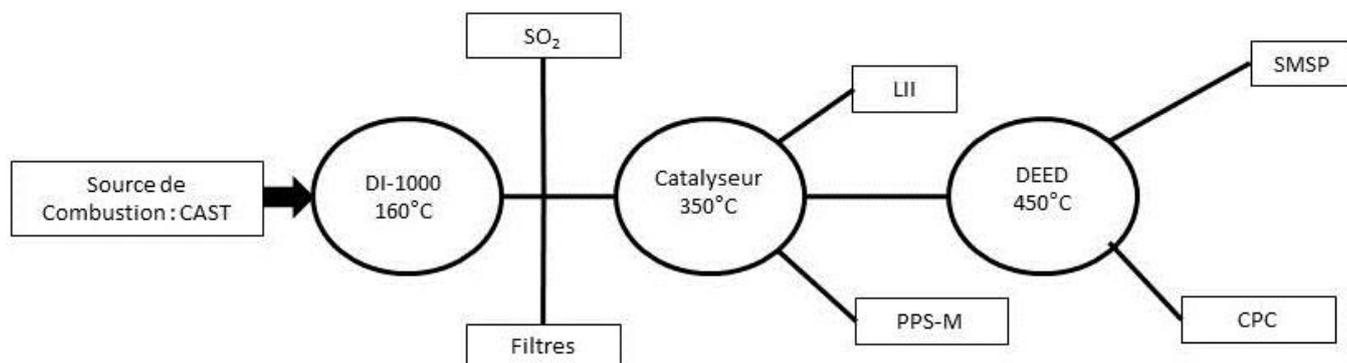


Figure 2 - Montage expérimental.

3. CARACTÉRISATION PHYSIQUE DES PARTICULES OBTENUES AVEC LE CAST

Le CAST est alimenté en carburant Jet A-1 afin d'effectuer une caractérisation des émissions résultantes. La caractérisation physique des particules a été réalisée avec différents dispositifs (Figure 2) dont la concentration massique des particules de suies avec un dispositif d'Incandescence Induite par Laser (LII, Artium Inc.), la concentration en nombre de particules avec un compteur de particules Pegasor de type M (PPS-M, Pegasor Oy.) et un Compteur de Particules à Condensation (CPC, Grimm GmbH.) et enfin la distribution en taille des particules avec un analyseur de particules à balayage (SMPS) avec soit un CPC ou un électromètre Faraday Cup comme détecteur (Grimm GmbH).

Différents essais visant à faire varier le débit d'air de 1,8L/min à 1,2L/min pour des débits de propane et de carburant constants, respectivement de 20mL/min et 105µL/min, sont réalisés. Ces résultats (Figure 3) montrent que le diamètre moyen géométrique (GMD) des agrégats de suies diminue avec la réduction du débit d'air.

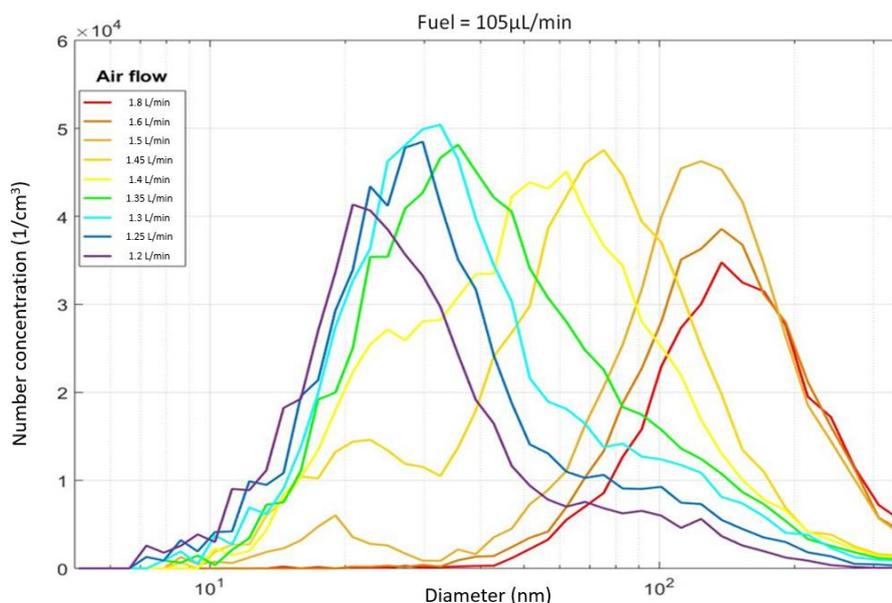


Figure 3 - Distribution en taille des particules non-volatiles émises par la combustion du carburant Jet A-1 dans le CAST, pour différents taux d'oxydation et un débit de carburant constant égal à 105µL/min.

De plus, pour un point de fonctionnement du CAST donné fixant le débit de propane à 30mL/min, le débit d'air à 2L/min et le débit de carburant à 105µL/min, les distributions en tailles des particules obtenues montrent que le CAST demeure stable au cours du temps. Sur la Figure 4, 6 distributions en taille, chacune espacées de 8min, sont mesurées sur un intervalle de temps de 45min afin d'observer la stabilité du CAST en ce qui concerne les émissions.

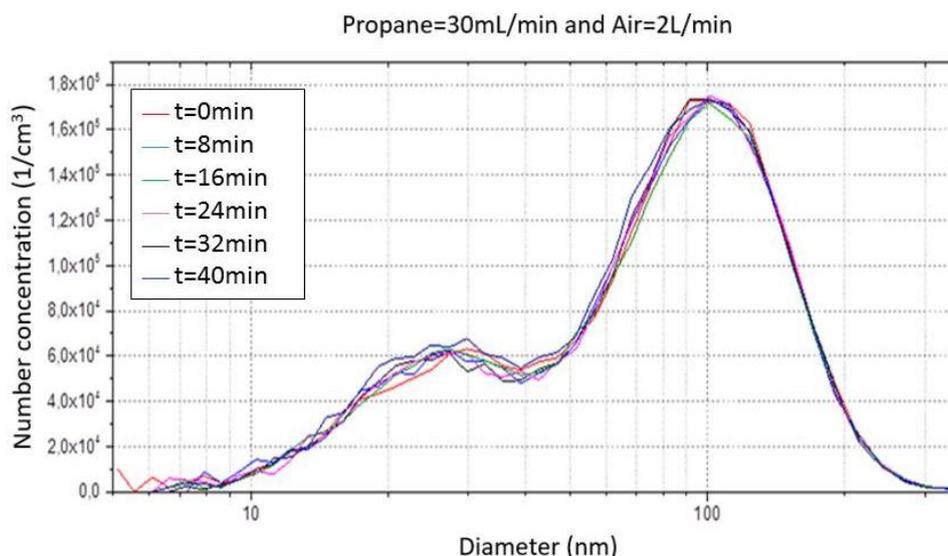


Figure 4 - Étude sur 45min de la distribution en taille des particules non-volatiles émises par la combustion du carburant Jet A-1 dans le CAST, pour un taux d'oxydation fixé et un débit de carburant constant égal à 105µL/min, afin d'étudier l'évolution dans le temps et la stabilité du CAST.

4. CARACTERISATION CHIMIQUE DES PARTICULES OBTENUES AVEC LE CAST

En plus de la caractérisation en ligne, des prélèvements sur filtres sont réalisés en amont afin de réaliser une caractérisation chimique des émissions en dehors de la ligne de mesure. Le prélèvement est réalisé à l'aide d'un système de double porte-filtre (Figure 5, à gauche) comportant deux parties : un premier filtre (Front Filter) en fibre de quartz destiné à récolter la phase particulaire et un second (Back Filter) avec du charbon actif pour récupérer la phase gaz (Ngo et al.,2020) à un débit de 2,5L/min.

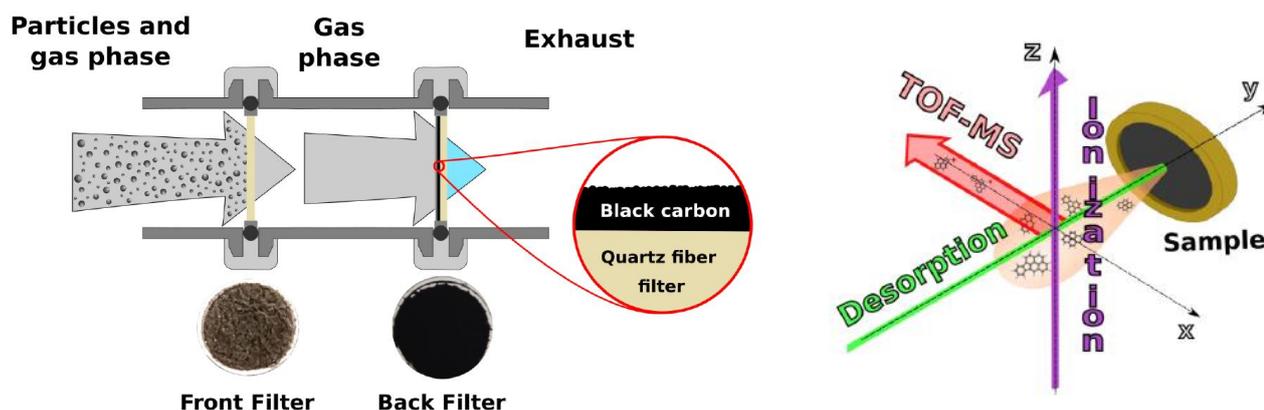


Figure 5 – À gauche, la représentation schématique du système de prélèvement sur double filtre utilisé pour récupérer la phase particulaire et la phase gaz, avec un exemple de filtres collectés (Duca et al., 2020) ; et à droite une représentation de la technique L2MS avec le phénomène de désorption (en vert) et l'éjection des molécules suivie de l'ionisation (en violet) et de l'analyse par ToF-MS (en rouge) (Duca et al., 2020).

Les analyses sont réalisées à l'aide de différents dispositifs ayant pour détecteur un spectromètre de masse à temps de vol (TOF-MS) : un spectromètre de masse couplé à de la désorption/ionisation laser (L2MS, Figure 5, à droite) et un spectromètre de masse à ions secondaires (SIMS). Ces analyses permettent alors d'obtenir un spectre de masse de la composition chimique des émissions étudiées.

5. CONCLUSION

Le CAST modifié pour brûler des carburants liquides est un dispositif simple rendant possible des tests préalables rapides afin de choisir au mieux le carburant à utiliser pour des études avec des moteurs sur bancs d'essais. La caractérisation des émissions du CAST et l'étude de sa stabilité confirment qu'il est possible d'employer ce dispositif comme source d'émissions dans le cadre du projet UNREAL. Ce projet vise à injecter dans une chambre atmosphérique des émissions provenant d'une source de combustion fiable afin d'étudier par la suite l'évolution de ces émissions dans l'atmosphère. Il est très important de comprendre l'impact des polluants causé par leurs émissions seules mais également après interaction dans l'atmosphère.

Ces travaux ont bénéficié du soutien du projet UNREAL ANR-18-CE22-0019 de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR).

Références :

- ICAO, Airbus GMF 2018 (<https://www.airbus.com/content/dam/corporate-topics/pu-blications/media-day/GMF-2018-2037.pdf>);
- Vorster S et al. 2013, 2050 Scenarios for Long-Haul Tourism in the Evolving Global Climate Change Regime, University of Stellenbosch Business School (<https://doi.org/10.3390/su5010001>);
- Ortega I. K. 2019, Starting the quest for aeronautic bananas: First UNREAL project campaign, EAC Conference Aachen;
- Zheng et al. 2019, Experimental investigation on alternative fuel combustion performance using a gas turbine combustor. Applied Energy, Volume 23815 Pages 1530-1542;
- Jing L et al. 2003, 7th ETH Conference on Nanoparticle Measurement, ETH Höggerberg, Zürich;
- Ngo L. D. et al. 2020, Chemical discrimination of the particulate and gas phases of miniCAST exhausts using a two-filter collection method, Atmospheric Measurement Techniques, 13, 951-967;
- Duca D. 2020, Physico-chemical characterization of size-selected internal combustion engine nanoparticles and original method for measuring adsorption energies on carbonaceous surfaces by laser mass spectrometry, PhD Thesis, Université de Lille.