IMPACT DU CATALYSEUR SUR LES CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES PARTICULES ÉMISES PAR LA COMBUSTION D'UN CARBURANT AÉRONAUTIQUE

A. Berthier[1,2,*], R. Barrellon-Vernay[1,2], I. K. Ortega[2], D. Delhaye[2] et C. Focsa[1]

[1]Université de Lille, CNRS - UMR 8523 - Physique des Lasers, Atomes et Molécules, F-59000 Lille, France
[2]Département Multi-Physique pour l'Energétique, ONERA Université Paris Saclay, F-91123, Palaiseau, France
*Courriel de l'orateur : antoine.berthier@onera.fr

TITLE

Impact of a catalyc stripper on the physico-chemical characteristics of the particles emitted by the combustion of an aeronautical fuel

RÉSUMÉ

Cette étude vise à mettre en évidence l'impact d'un lit catalytique sur les caractéristiques physico-chimiques des particules émises par combustion d'un carburant aéronautique, c'est-à-dire leur concentration en nombre et en masse, leur distribution en taille ou leur composition chimique. En détruisant les composés organiques présents en phase volatile mais également à la surface des particules non volatiles, le catalyseur a pour effet de réduire la taille des particules ainsi que leur concentration en nombre et en masse. La caractérisation chimique a également montré son rôle dans la destruction des composés soufrés.

ABSTRACT

This study aims to highlight the impact of a catalytic stripper on the physical and chemical characteristics of particles emitted by aeronautic fuel combustion, i.e. their mass and number concentration, size distribution or chemical composition. It has been shown that by destroying the organic compounds present in the volatile phase but also on the surface of non-volatile particles, the catalytic stripper has the effect of reducing the size of the particles as well as their mass and number concentration. Chemical characterization has also shown its role in the destruction of sulfur compounds.

MOTS-CLÉS: catalyseur, particules non volatiles, caractéristiques physico-chimiques
KEYWORDS: catalytic stripper, non-volatile particles, physico-chemical characteristics

Aujourd'hui, ou du moins avant l'épisode de crise sanitaire actuelle, le transport aérien est un secteur en croissance constante et cette tendance devrait continuer dans les prochaines années (ICAO, 2018). Par conséquent, l'impact des émissions de l'aviation sur le climat et la qualité de l'air suscite des questionnements. Les industries concentrent leurs efforts sur la réduction de leur empreinte environnementale via notamment le développement de nouveaux moteurs avec pour objectif la diminution des émissions de particules non volatiles (nVPM) et de gaz à effet de serre tels que le CO_2 et les NO_x.

Afin d'étudier uniquement les particules non volatiles dans les émissions, un lit catalytique a été mis en œuvre en amont des systèmes de mesure. Le catalyseur est un traitement d'échantillon destructif qui vise à oxyder les composés organiques dans les gaz d'échappement et à éliminer les composés soufrés. Efficace à un débit de 5 L/min dans notre cas (DCS-100 catalytic stripper, Catalytic Instruments), il est chauffé à 350 °C (Amanatidis S., 2012)(Mamakos A., 2013).

L'objectif de cette étude a donc été d'observer l'impact du catalyseur sur les émissions en particules résultant de la combustion d'un carburant liquide de type Jet A-1. Cette étude sera basée dans un premier temps sur une comparaison des caractéristiques physiques des particules, soit ici leur concentration en nombre et en masse ainsi que leur distribution en taille, avec et sans catalyseur, puis dans un second temps sur une comparaison des compositions chimiques des particules avec et sans catalyseur, puis avec un thermodénudeur. Le thermodénudeur ici déployé est un dispositif visant à éliminer les composés volatils et semi volatils. Pour cela, il est composé d'une section de chauffe utilisée pour l'évaporation de ces composés et d'une section équipée de charbon actif utilisée pour absorber les vapeurs. Son efficacité pourra ainsi être comparée à celle d'un lit catalytique.

1. CARACTÉRISATION PHYSIQUE DES PARTICULES

Cette étude a pu être réalisée par l'intermédiaire de différentes sources de combustion, en commençant par une caractérisation physique des particules avec et sans catalyseur à l'échelle du laboratoire. Pour cela,

DOI : 10.25576/ASFERA-CFA2021-24843 Cet article est publié sous la seule responsabilité de ses auteurs

une ligne de mesure illustrée sur la figure 1 a été déployée. Elle comporte une LII (Laser Induced Incandescence LII-300, Artium Inc.), donnant accès à la concentration massique des particules de suies, un compteur de particules CPC (CPC 5403, Grimm GmbH.), mesurant la concentration en nombre et un analyseur de particules à balayage (SMPS) utilisant un électromètre FCE (2,79-154,27 nm, Faraday Cup, Grimm GmbH), utilisé pour établir la distribution granulométrique.

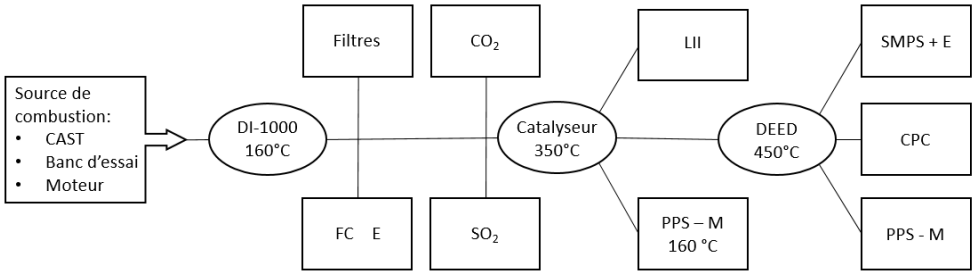

Figure 1. Ligne de mesure

La source de combustion est un générateur mini-CAST (Combustion Aerosol STandard) spécialement conçu pour fonctionner avec du carburant liquide (Jing, L., 2003). Il est alimenté avec un kérosène de type Jet A-1. Sa combustion à pression atmosphériques rend son utilisation simplifiée à l'échelle du laboratoire. De plus, sa faible consommation en carburant autorise la variation de nombreux paramètres ainsi que l'accès à une grande variété de carburants plus ou moins répandus.

La mise en œuvre du lit catalytique entraîne une diminution de la concentration en nombre mesurée par le CPC (figure 2), diminution s'expliquant par l'oxydation et l'évaporation des particules volatiles présentes dans les gaz d'échappement. De plus, il va également entraîner une diminution de la concentration massique des particules ainsi que du diamètre géométrique moyen, mesurés par la LII et le dispositif FCE. La réduction du diamètre géométrique moyen s'explique par l'élimination des composés organiques présents à la surface des particules. Quant à la variation de la concentration en masse des particules non volatiles, elle s'explique par les pertes engendrées directement par le dispositif.

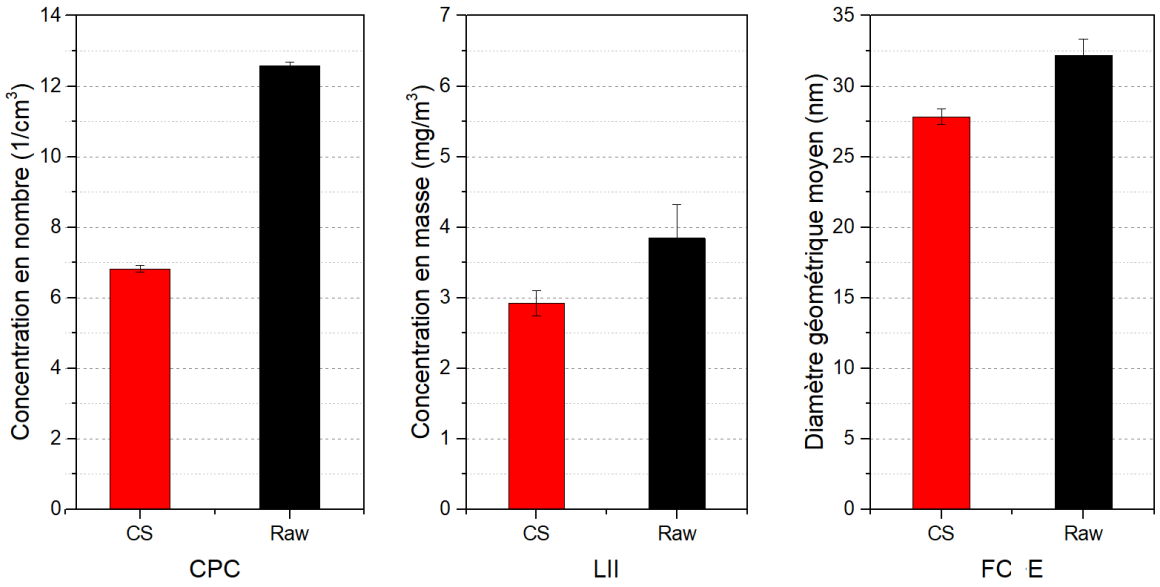

Figure 2. Comparaison des caractéristiques physiques des particules avec (CS) et sans catalyseur (Raw)

2. CARACTÉRISATION CHIMIQUE DES PARTICULES

Dans un second temps, une étude de l'impact du catalyseur et d'un thermodénudeur, sur la composition chimique des particules, a été réalisée lors d'une campagne sur le banc de combustion MICADO de l'ONERA. Cette installation est capable de reproduire des conditions de combustion qui couvrent tout le domaine du

DOI : 10.25576/ASFERA-CFA2021-24843 Cet article est publié sous la seule responsabilité de ses auteurs

cycle d'atterrissage et de décollage (LTO) en termes de pression et de débit d'air, étant ainsi représentative d'un injecteur de combustion des moteurs aéronautiques.

Des prélèvements sur filtres sont réalisés en amont de la ligne afin de réaliser une caractérisation chimique des émissions. Les prélèvements sont faits à l'aide d'un système composé de deux filtres en fibre de quartz (Pure Quartz Filters, Pallflex Tissuquartz, 2500 QAT-UP). Le premier (Front Filter) est utilisé pour récolter la phase particulaire, tandis que le deuxième (Back Filter, recouvert de charbon actif) est utilisé pour récolter la phase gaz (Ngo L., 2020). Les analyses ont été réalisées par une technique de spectrométrie de masse à deux lasers, un laser de désorption à une longueur d'onde de 532 nm transfère en phase gazeuse les composés adsorbés à la surface des particules/filtres et un laser d'ionisation à 266 nm charge les composés désorbés, composés qui sont ensuite accélérés dans un analyseur à temps de vol afin de réaliser un spectre de masse de la composition chimique des émissions récoltées sur les filtres (Faccinetto A., 2011).

Il apparaît ainsi que le catalyseur a un fort pouvoir destructeur sur les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP, observés dans l'analyse des ions positifs), composés présents dans les gaz d'échappement mais également à la surface des particules non volatiles (figure 3) ainsi que, en accord avec le type de catalyseur, sur les composés soufrés (observés dans l'analyse des ions négatifs). Le thermodénudeur semble quant à lui moins efficace pour traiter les composés organiques. Une diminution du signal lié aux HAP est observée mais ce signal reste conséquent en comparaison à l'efficacité du lit catalytique. Il a également pour effet l'élimination des composés soufrés à l'exception de l'acide sulfurique, dont le signal est similaire obtenu sans lit catalytique. Cette présence de l'acide sulfurique en sortie de thermodénudeur pourrait provenir d'une réaction chimique à l'intérieur du dispositif mais cela reste encore une question ouverte et méritera une étude poussée.

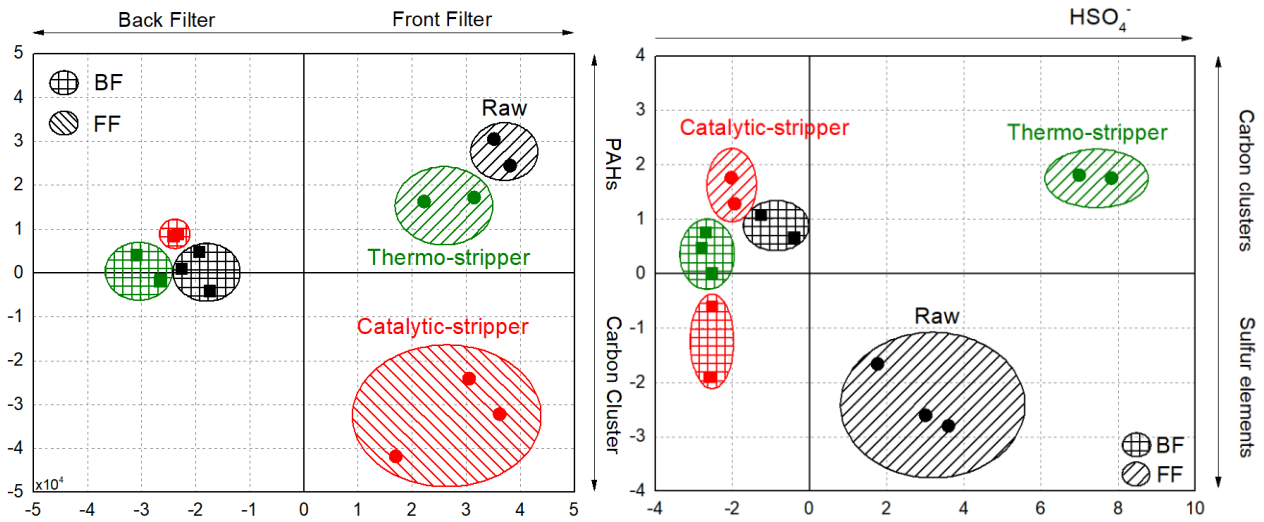

Figure 3. Analyse statistique par PCA (Principal Component Analysis) des spectres de masse avec et sans catalyseur et avec le thermodénudeur, pour les ions positifs (gauche) et les ions négatifs (droite)

3. CONCLUSION

Cette étude a permis de montrer l'impact du lit catalytique sur les caractéristiques physiques des particules. L'élimination des particules volatiles et semi volatiles présentes dans les gaz et à la surface des particules de suies entraîne une diminution de la concentration en nombre de particules ainsi que du diamètre géométrique moyen. Les pertes engendrées par le dispositif entraînent également une diminution de la concentration massique des particules de suies. L'analyse de filtres prélevés avec et sans catalyseur, couplés à un cas avec thermodénudeur, a également pu montrer l'efficacité du lit catalytique à éliminer les composés organiques ainsi que les composés soufrés. En revanche, le thermodénudeur semble quant à lui moins efficace dans le cadre de cette étude.

DOI : 10.25576/ASFERA-CFA2021-24843
Cet article est publié sous la seule responsabilité de ses auteurs

Référence

ICAO, Airbus GMF 2018 (https://www.airbus.com/content/dam/corporate-topics/pu-blications/media-day/GMF-2018-2037.pdf)

Jing, L. (2003) 7th ETH Conference on Nanoparticle Measurement, ETH Hönggerberg, Zürich.

Amanatidis S. et al., Evaluation of an oxidation catalyst ("catalytic stripper") in eliminating volatile material from combustion aerosol, Journal of Aerosol Science, 57, 144-155, 2012

Mamakos A. et al., Characterization of Combustion Aerosol Produced by a Mini-CAST and Treated in a Catalytic Stripper, Aerosol Science and Technology, 47, 927-936, 2013

Ngo L. D. et al., "Chemical discrimination of the particulate and gas phases of miniCAST exhausts using a two-filter collection method", Atmospheric Measurement Techniques, 13, 951-967, 2020

Faccinetto A. et al., High-sensitivity detection of polycyclic aromatic hydrocarbons absorbed onto soot particles using laser desorption/laser ionization/time-of-flight mass spectrometry: An approach to studying the soot inception process in low-pressure flames, Combustion and Flame, 158, 227-239, 2011

DOI : 10.25576/ASFERA-CFA2021-24843 Cet article est publié sous la seule responsabilité de ses auteurs