

Système embarqué de mesure optique des gaz de combustion du kérosène

Xavier Insou, Loïc Bodiou, Sébastien Claudot, Laurent Provino, Adil Haboucha, David Landais, Achille Monteville, Olivier Le Goffic, Elodie Galdo, Johann Troles, et al.

▶ **To cite this version:**

Xavier Insou, Loïc Bodiou, Sébastien Claudot, Laurent Provino, Adil Haboucha, et al.. Système embarqué de mesure optique des gaz de combustion du kérosène. 39è Journées Nationales d'Optique Guidée (JNOG 2019), Jul 2019, Paris-Saclay, France. hal-02336790

HAL Id: hal-02336790
https://hal.science/hal-02336790

Submitted on 29 Oct 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

SYSTEME EMBARQUE DE MESURE OPTIQUE DES GAZ DE COMBUSTION DU KEROSENE

Xavier Insou [1,2], Loïc Bodiou [1], Sébastien Claudot [2], Laurent Provino [3], Adil Haboucha [3], David Landais [3], Achille Monteville [3], Olivier Le Goffic [3], Elodie Galdo [4], Johann Troles [4], Thierry Taunay[3], Joël Charrier [1], Monique Thual [1]

[1] *Univ Rennes, CNRS, Institut Foton – UMR 6082, F-22305 Lannion, France*

[2] *Souriau Sunbank Connection Technologies, RD323, Champagné*

[3] *PERFOS, RTO de Photonics Bretagne, 4 rue Louis de Broglie, 22300 Lannion, France*

[4] *Univ Rennes, CNRS, ISCR – UMR 6226, Equipe Verres et Céramiques, 35700 Rennes, France*

xinsou@souriau.com

RÉSUMÉ

Nous proposons une architecture de capteur de concentration de gaz destiné aux flux d'échappement de moteurs d'avions de ligne. Particulièrement, nous présentons l'étude d'une fibre anti-résonnante en silice pour la détection d'oxydes de carbone (CO_X) et sa caractérisation en termes d'atténuation.

MOTS-CLEFS : *MIR ; capteur ; fibre anti-résonnante ; environnement sévère*

1. INTRODUCTION

Le marché aéronautique civil doit faire face à des contraintes écologiques, économiques et sécuritaires croissantes, notamment la maitrise de la consommation en carburant et des émissions polluantes, la maintenance préventive des moteurs par un suivi à distance des paramètres en vol et la prévention, la détection et la neutralisation au plus tôt d'incidents tels que des départs de feu.

Ceci concoure à introduire de plus en plus de capteurs dans l'avion, et notamment autour et dans le moteur. Ces capteurs doivent répondre à des contraintes environnementales fortes en termes de température, agressions acoustiques et vibratoires, et présence de particules et fluides aéronautiques.

Dans cet article, nous proposons un système de capteur en infrarouge moyen (MIR) pour la mesure des gaz de combustion du kérosène. Nous présentons les problématiques rencontrées dans le développement d'un tel système, et particulièrement la transmission du signal MIR vers la zone de mesure. Nous proposons l'utilisation d'une fibre creuse anti-résonnante en silice (fibre AR) pour cette application et détaillerons sa modélisation, sa fabrication et sa caractérisation en termes d'atténuation linéique.

2. ARCHITECTURE SYSTEME

La Fig. 1 présente l'architecture envisagée pour le système de mesure ainsi que les gammes de température auxquelles peuvent être soumis les différents composants de ce système.

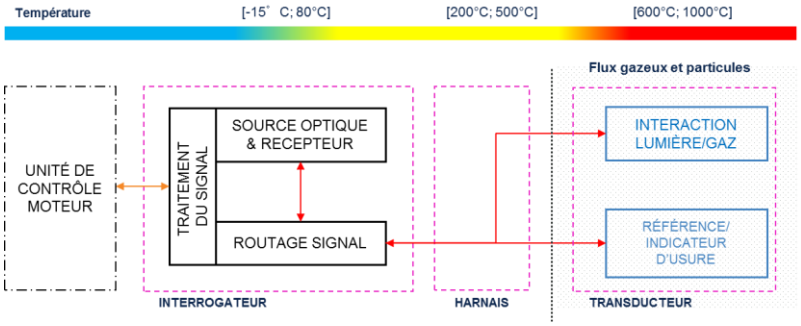


Fig. 1 : Diagramme système

Cette architecture comprend trois parties reliées à l'unité de contrôle moteur : l'interrogateur, le harnais et le transducteur situés dans des zones soumises à des contraintes environnementales plus ou moins sévères, en particulier en température comme illustré sur la Fig. 1.

Les conditions difficiles dans l'environnement moteur obligent de déporter l'interrogateur vers une zone moins contraignante, comme la cabine de l'avion. L'ensemble du système devra résister à l'environnement relativement sévère de chaque partie de l'avion : cabine, aile, pylône et moteur. En particulier, le harnais de transmission optique sera exposé à des températures pouvant aller jusqu'à 500°C, ce qui implique d'utiliser une ou plusieurs fibres optiques MIR adaptées à ces conditions, un câblage haute température pour assurer l'intégrité de la fibre ainsi que des interconnexions robustes à cet environnement.

Parallèlement, la transduction se fera dans le flux gazeux d'échappement du moteur, donc dans un environnement à température élevée et variable, et caractérisé par la présence de suies, d'hydrocarbures non brulés et de fluides aéronautiques. Les éléments optiques dans cette zone devront être protégés de façon à garantir une durée de vie sans maintenance la plus longue possible. De plus une technique de détection adaptée aux flux de combustion sera utilisée.

3. FIBRE ANTI-RESONNANTE EN SILICE

Les fibres optiques standards en silice peuvent supporter les températures des gaz d'échappement des moteurs d'avions de ligne, mais absorbent énormément dans les longueurs d'onde supérieures à 4 µm. D'autres types de fibres, moins absorbantes (verre fluoré, verre de chalcogénure, saphir etc.) existent, mais sont beaucoup moins résistantes aux températures élevées [1]. Nous avons donc sélectionné les fibres AR en silice, conçues pour transmettre le rayonnement MIR, et théoriquement adaptées aux températures considérées. Ces fibres sont composées d'un arrangement de capillaires identiques de silice, fixés à la paroi interne d'un plus gros capillaire de silice (voir Fig. 2(a)). Le rayonnement infrarouge est guidé dans le cœur creux central composé d'air de la fibre, qui peut être défini par un cercle tangent aux capillaires, plutôt que dans la silice. Ce qui permet d'atteindre de faibles pertes de propagation pour ces longueurs d'onde [2]. La Fig. 2(b) montre la forme du faisceau en sortie de fibre à 4.5 µm.

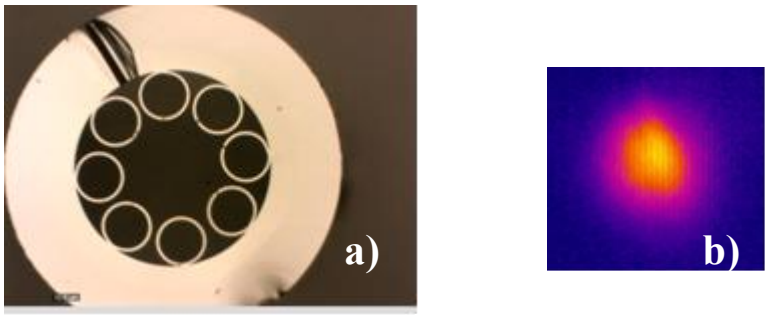


Fig. 2 : (a) Photo de la fibre anti-résonnante en silice ; (b) image du faisceau en sortie de la fibre à 4.5 µm.

Nous avons mené des simulations pour concevoir des fibres AR transparentes sur la plage de longueurs d'onde comprises entre 4 et 5 µm où peut être observée une forte absorption des oxydes de carbone CO et CO_2, produits issus de la combustion du kérosène. Un outil de calcul analytique a été développé et comparé à des simulations numériques plus lourdes réalisées par la méthode des éléments finis. Cet outil permet de définir plus rapidement (quelques minutes au lieu de plusieurs heures) un design de fibre en fonction de la longueur d'onde à transmettre, qui est associée à l'espèce chimique à détecter. La Fig. 3, qui montre l'atténuation de la fibre AR en fonction de la longueur d'onde, superposée à l'absorption molaire des espèces chimiques CO_2, H_2O et CO, illustre un résultat de ce calcul analytique pour lequel les fenêtres de transmission sont bien adaptées à la détection des espèces visées.

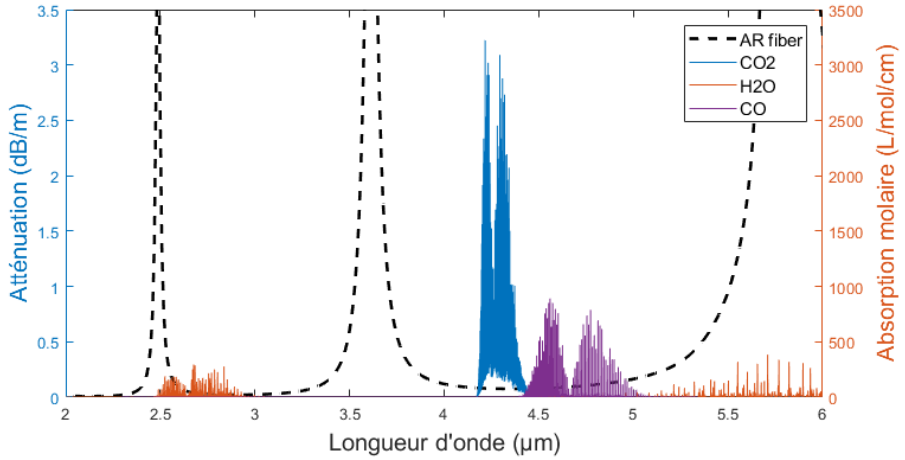


Fig. 3 : Résultat de calcul analytique pour une fibre d'épaisseur de capillaire 3.6 µm.

Ces fibres transmettent en effet le rayonnement par bandes de transmission, dont la position en fonction de la longueur d'onde dépend essentiellement de l'épaisseur de parois des capillaires intérieurs. Pour une bande de numéro q donnée, la position de sa résonance basse (longueur d'onde marquant la limite à gauche de la bande de transmission) pour une épaisseur t de capillaire peut être estimée grâce à la relation suivante [3]:

$$\lambda_R \approx \frac{2t}{q}\sqrt{n_{silice}^2 - 1}. \quad (1)$$

Le procédé de fabrication de ces fibres basé sur la méthode « stack-and-draw », est similaire au procédé utilisé pour les fibres à cristaux photoniques. La fibre simulée a été fabriquée par Perfos, centre d'innovation technologique de Photonics Bretagne. Les premières mesures montrent des pertes de propagation inférieures au dB/m à 4 µm, ce qui confirme l'intérêt de telles fibres pour des applications de mesure déportée en environnement sévère.

CONCLUSION

Nous proposons une architecture pour un système de mesure optique des gaz d'échappements des moteurs d'avions de ligne. Ce système permettra de réaliser la mesure de manière fiable dans un environnement relativement sévère, en mettant en œuvre une technique de détection adaptée, et en utilisant des technologies de protection des éléments sensibles.

Plus particulièrement, nous nous intéressons à la fibre optique de transmission du signal de mesure. Nous proposons une fibre adaptée à la gamme de longueur d'onde de mesure et aux conditions difficiles : la fibre anti-résonnante en silice. Nous présentons des résultats de simulation permettant le design de cette fibre, et les premiers résultats de caractérisation en termes de pertes de propagation d'un modèle de fibre fabriquée. Des mesures complémentaires de pertes de propagation en particulier liées aux courbures seront réalisées.

Les auteurs remercient l'ANRT pour le financement de la CIFRE ainsi que le CPER (Contrat de Plan Etat Région Bretagne) finançant des équipements.

RÉFÉRENCES

[1] G. Tao *et al.*, "Infrared fibers," *Adv. Opt. Photonics*, vol. 7, pp. 379–458, 2015.

[2] A. N. Kolyadin *et al.*, "Light transmission in negative curvature hollow core fiber in extremely high material loss region," *Opt. Express*, vol. 21, no. 8, p. 9514, 2013.

[3] P. Uebel *et al.*, "Broadband robustly single-mode hollow-core PCF by resonant filtering of higher-order modes," *Opt. Lett.*, vol. 41, no. 9, pp. 9–12, 2016.