

MOTEURS DIESEL:

le diagnostic optique pour limiter les émissions de particules

Christine MOUNAÏM-ROUSSELLE,
Fabrice FOUCHER
Polytech'Orléans,
Laboratoire PRISME
christine.rouselle@univ-orleans.fr

Améliorant les connaissances sur les phénomènes mis en jeu lors de la combustion, des technologies optiques apportent les données indispensables pour valider les modèles nécessaires au développement des moteurs propres. Ainsi, la LII (ou incandescence induite par laser), appliquée aux moteurs Diesel, permet de détecter et caractériser les particules de suies générées lors de la combustion, afin d'en réduire les émissions.

Le développement de sources lumineuses suffisamment intenses et de systèmes de détection sensibles à haute cadence est une aide précieuse à l'optimisation des moteurs automobiles de demain, même dans le cas d'une motorisation hybride (électrique, pneumatique...). En effet, les techniques de diagnostics à haute cadence temporelle mises en places sur des moteurs de recherche dédiés, c'est-à-dire à accès optiques, permettent de développer les codes de calculs qui évitent ainsi la réalisation de nombreux prototypes avant la phase de conception finale.

Face aux contraintes nécessaires pour préserver notre planète, en termes d'économies d'énergie et de protection de l'environnement, la réduction nécessaire de la consommation spécifique en carburant et des niveaux d'émissions polluantes ont entraîné des améliorations des moteurs à combustion interne qui équiperont encore la majorité de nos moyens de transport jusqu'en 2050. Pour répondre aux normes d'émissions polluantes qui se sont avérées de plus en plus sévères, la première voie

de recherche et de développement a été d'optimiser les systèmes de dépollution à l'échappement. Or souvent, ces procédés sont non seulement coûteux mais ne sont pas forcément au maximum de leur potentiel selon les points de fonctionnement du véhicule. Prenons, par exemple, le pot catalytique qui permet de limiter les émissions d'hydrocarbures imbrûlés dont le fonctionnement n'est optimum qu'à partir d'une certaine température

dans le tuyau d'échappement, principalement atteinte lors d'une combustion réalisée pour un mélange idéal air-carburant et ce, après plusieurs secondes de fonctionnement.

De ce fait, en parallèle, d'autres voies de recherche et de développement ont été initiées sur de nouveaux modes de combustion. Nous pouvons citer par exemple la combustion HCCI (*homogeneous charge compression ignition*), qui combine les avantages du moteur

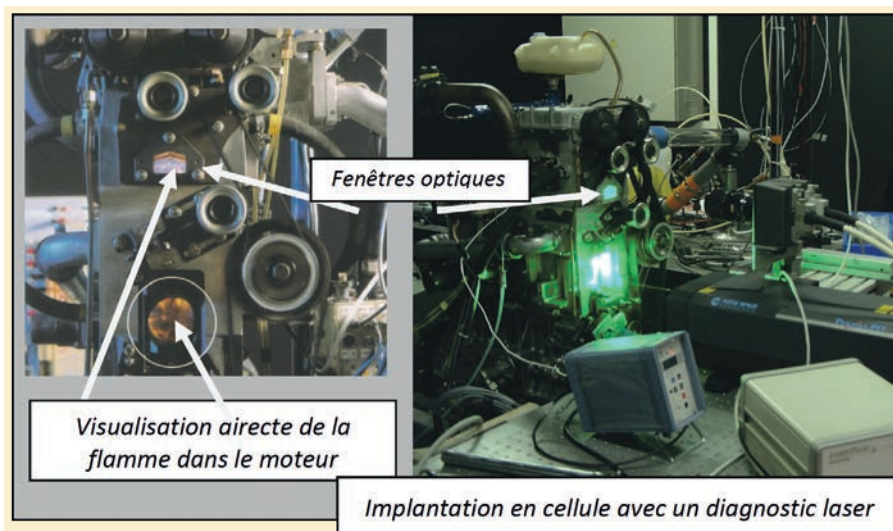
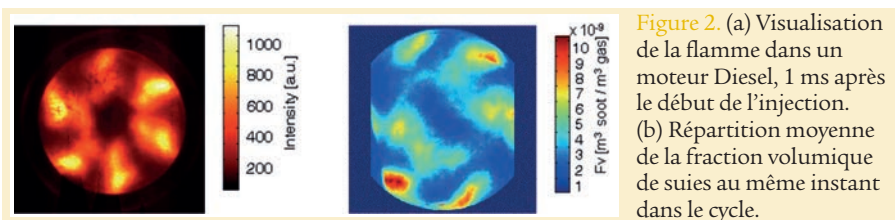


Figure 1. Exemple de moteur à accès optiques et son implantation en cellule.



à allumage commandé et du moteur Diesel ou encore la combustion suralimentée fortement diluée permettant l'utilisation des petites cylindrées à pleine charge, soit là où le rendement est optimum. Ces modes de combustion se déroulent à des conditions de pression, de température et de mélanges inhabituelles. Pour les optimiser et les développer, la simulation numérique est devenue un outil indispensable. Or celle-ci n'est possible qu'à partir de la mise en place de modèles adaptés et une phase de validation est indispensable. Les bancs d'essais moteurs classiques, même dans le cas de monocylindres dits « de recherche », ne donnent qu'une information globale des différents phénomènes physiques et ne sont utiles qu'en phase finale du développement du moteur. Le développement de modèles et leur validation ne peuvent se faire qu'en comparaison avec des données expérimentales résolues spatialement et temporellement. Pour cela, l'utilisation de diagnostics optiques, reposant souvent sur l'utilisation d'une source de lumière de type laser, devient incontournable mais n'est possible qu'avec des dispositifs expérimentaux adaptés : le moteur dit « transparent » ou, plus exactement, à accès optiques.

L'équipe Énergie, Combustion et Moteurs du laboratoire PRISME de l'université d'Orléans, implanté à Polytech'Orléans, a développé depuis une dizaine d'années un savoir-faire quant à l'optimisation de tels moteurs, leur utilisation et le développement des techniques optiques associées. Cela a été possible grâce aux nombreuses collaborations avec les constructeurs français d'automobiles. Un exemple de moteur à allumage commandé à accès optiques est présenté à la figure 1.

Une variété de diagnostics

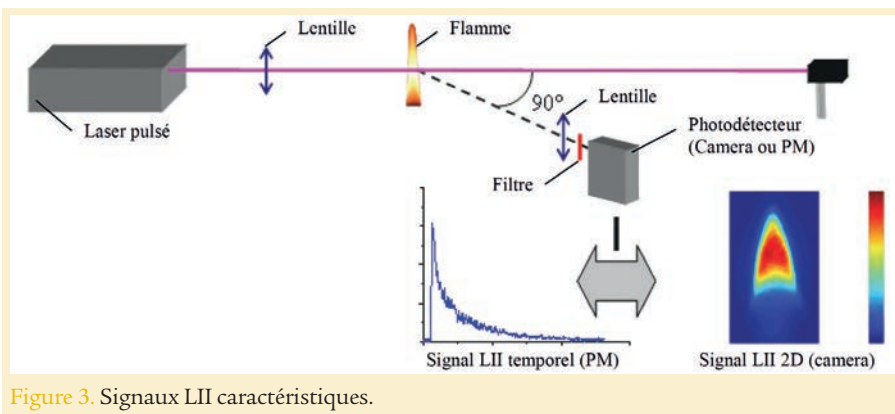
En associant différents diagnostics laser (comme par exemple, la vélocimétrie par imagerie de particules, la fluorescence induite par laser, l'incandescence induite par laser ou la tomographie par diffusion de Mie), les différents couplages de la mécanique des fluides, de la combustion et de la chimie rencontrés durant le cycle moteur peuvent être ainsi étudiés et analysés temporellement grâce à la cadence de plus en plus croissante des sources lumineuses suffisamment énergétiques (avec une fréquence de pulse-laser jusque 20 kHz) et des systèmes de détection à haute cadence (comme par exemple la caméra CMOS).

Prenons comme exemple la formation des suies en particulier dans les moteurs Diesel, problématique de plus en plus contraignante puisque les futures normes européennes imposeront une distribution selon le diamètre des particules. La notion de nano-particules est aussi très importante à considérer : il suffit que 30 % des particules d'un ensemble aient une taille de l'ordre de la dizaine de nanomètres pour que tout le groupe soit considéré comme des nano-particules. Par conséquent, il devient primordial de limiter la formation des particules de suies dans les moteurs mais aussi de pouvoir les mesurer à l'échappement. Le développement de techniques de mesure reste une des vraies clés : il est nécessaire de mieux quantifier les particules dans la chambre de combustion, de mieux les localiser (figure 2a) par rapport aux sites de combustion (figure 2b) mais aussi de mieux les caractériser en termes de diamètre et de distribution en taille même à l'échappement.

Depuis une dizaine d'années, de nombreuses études fondamentales et appliquées ont porté sur la technique d'incandescence induite par laser dont le principe repose sur le fait d'élever la température des particules de suies par un apport d'énergie de type laser, les particules vont alors rayonner dans le visible comme on peut le voir à la figure 2b. L'intensité de ce rayonnement et son évolution temporelle permettent de remonter à la fraction volumique et au diamètre de ces particules.

Qu'est ce qu'une particule de suie ?

La suie est une particule solide, résultant de la combustion incomplète des hydrocarbures. Sa formation est le résultat d'un processus chimique complexe, dans les régions de la flamme où la concentration en oxygène est très réduite. La formation des suies dans le moteur Diesel a lieu à des températures comprises entre 1000 et 2800 K, dans un domaine de pression de 50 à



100 bars. Les suies se présentent sous la forme de chaînes et d'agglomérés de dimensions comprises entre 10 et 1000 nm composés des particules plus ou moins sphériques, dont le « diamètre » pourrait se situer dans un intervalle de 5 à 30 nm. Leur formation suite à la combustion est un processus extrêmement complexe qui consiste, *grosso modo*, en une transition des molécules d'hydrocarbure vers des agglomérés contenant des milliers d'atomes de carbone, ce mécanisme se déroulant en plusieurs étapes qui ne sont pas impérativement délimitées les unes des autres. De la pyrolyse du combustible jusqu'à la libération des suies dans l'atmosphère, l'évolution de ce polluant se réalise selon quatre étapes schématiques :

- la formation d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP ou PAH, l'abréviation de *polycyclic aromatic hydrocarbon*), connus comme étant les précurseurs des suies,
- la formation des premiers « nuclei » suite à la croissance tridimensionnelle des structures aromatiques,
- le développement des suies par croissance de la surface, coagulation et agglomération,
- la réduction des suies par oxydation.

Et la LII ?

L'incandescence induite par laser est une technique non-intrusive, permettant la détermination de la fraction volumique de suie et l'estimation de la taille moyenne des particules dans un milieu réactif. Cette technique est basée sur la mesure du rayonnement de type corps noir de la suie chauffée par une raie (ou une nappe) laser, la température des particules est ainsi amenée autour de la température de sublimation (vers 4000 K).

La technique LII connaît plusieurs types de développements parmi lesquels on peut citer :

- Une approche temporelle, TiReLII pour *time resolved* LII. Le signal est enregistré à l'aide de photomultiplicateurs, un exemple est présenté à la *figure 3*. Le volume de mesure doit être suffisamment petit pour que le signal soit représentatif de l'évolution du processus LII dans le temps. Ce signal est caractérisé par un front montant d'une durée de quelques nanosecondes, correspondant à l'échauffement de la suie, et d'une diminution progressive du signal, correspondant au refroidissement des particules

Le rayonnement de type Planck associé au signal *LII* émis par une particule de diamètre d_p dans un angle solide de 4π stéradians et enregistré à une longueur d'onde λ , est décrit par l'équation ci-dessous :

$$LII(\lambda) = \frac{8\pi^3 c^2 h}{\lambda^6} \frac{1}{\left(e^{\frac{hc}{\lambda T}} - 1\right)} d_p^3 E(m)$$

$LII(\lambda)$: signal d'incandescence de la suie [W/m]

$c = 2,9 \cdot 10^8$: vitesse de la lumière [m/s]

$h = 6,63 \cdot 10^{-34}$: constante de Planck [J.s]

$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$: constante de Boltzmann [J/K]

d_p : diamètre de la particule [m]

La dépendance entre le signal *LII* émis par une particule supposée sphérique et le diamètre de cette particule est évidente, mais l'influence de la taille de la suie se retrouve également dans la température qu'elle atteint lors de son échauffement. En acceptant l'hypothèse de la sphéricité des particules, la modélisation des bilans énergétique et massique au niveau des suies permet de calculer une température au cours du processus *LII* et de déterminer finalement un signal *LII* « théorique ». On peut ensuite extraire l'information « diamètre moyen » par la mise au point d'une routine numérique afin de déterminer le signal modélisé optimal qui coïncide avec le signal expérimental, le diamètre considéré dans le modèle étant dans ce cas un paramètre variable.


ScienTec
 La SoluTion à vos mesures

NOUVEAU !

Photomètres / Chromamètres

LS-150/ LS-160
CS-150/ CS-160



Plus précis & Plus Performants

Photomètres
LS-150/ LS-160

- Luminance :
 - écrans CRT, LED, EL
 - marquages routiers
 - feux de signalisation
 - signaux aéroportuaires
 - toutes sources lumineuses...
- Plage de mesure à partir de 0.001 cd/m² jusqu'à 999 900 cd/m²



KONICA MINOLTA

L'Excellence de la Précision

Photomètres Chromamètres
CS-150/ CS-160

- Luminance et couleur :
 - dispositifs à LED
 - lampes à tube fluorescent
 - surfaces sans contact
 - écrans de visualisation
 - toutes sources lumineuses...
- Plage de mesure à partir de 0.01 cd/m² jusqu'à 999 900 cd/m²

ScienTec c'est aussi...

- Spectroradiomètres
- Vidéocolorimètres
- Luxmètres
- Photogoniomètres
- Analyseurs d'écran
- Sources de référence



info@scientec.fr / www.scientec.fr
01.64.53.27.00

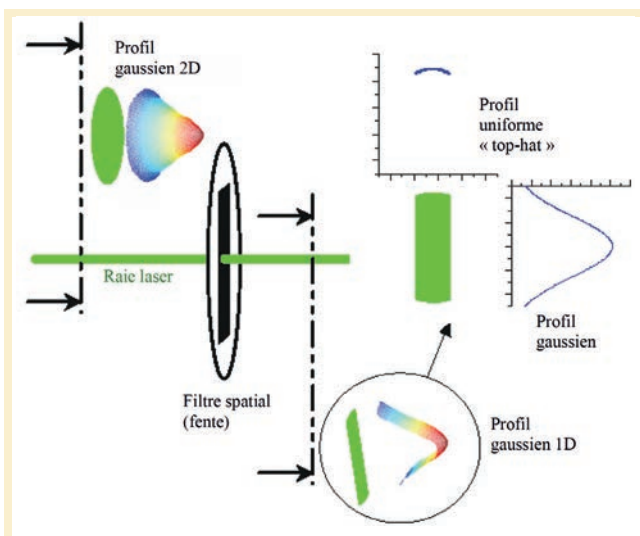


Figure 4. Schémas des répartitions énergétiques dans le faisceau laser.

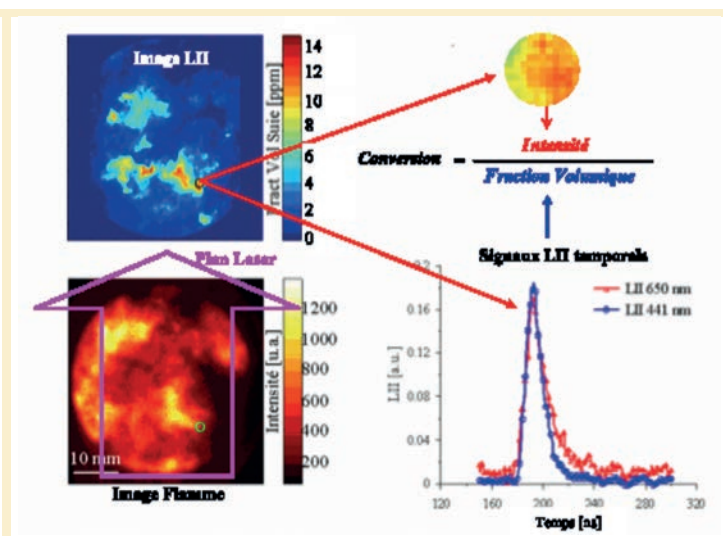


Figure 5. Illustration schématisée de l'application de l'approche simultanée LII.

après l'apport énergétique du pulse laser. L'amplitude du signal LII est proportionnelle à la fraction volumique de suie dans le volume de mesure alors que la rapidité de décroissance du signal est liée à la taille moyenne des particules.

- L'approche spatiale, '2D LII', caractérisée par une image représentant les suies incandescentes dans une section de la zone de combustion obtenue par une caméra intensifiée durant une courte période du processus d'incandescence induite par laser. La variation de l'intensité du signal d'incandescence est due à la variation des fractions volumiques des suies dans la zone de combustion. Cette approche de la technique est principalement employée pour déterminer des fractions volumiques, et offre la possibilité d'estimer simultanément concentrations de suies et diamètres de particules.

Bien entendu il existe des méthodes intermédiaires entre ces deux méthodes, ayant pour but principal d'obtenir une information bidimensionnelle sur les tailles de particules.

La bonne résolution temporelle constitue un autre atout de la technique LII qui permet d'en étendre l'utilisation à tout système de combustion instationnaire. Le rayonnement de type corps noir émis par les particules

chauffées par le faisceau laser est d'une intensité bien supérieure à celle des particules chauffées par la flamme proprement dite, cela permettant de caractériser avec une bonne résolution spatiale même des particules de suie situées au centre d'une flamme.

Les inconvénients de la technique LII sont ceux spécifiques aux diagnostics optiques: la nécessité d'interpréter les résultats par l'intermédiaire de

modèles qui sont souvent constitués de constantes méconnues, comme par exemple l'indice complexe de réfraction de la suie. Un autre inconvénient est lié à l'environnement de mesure. En effet les nuages de suies dans lesquels les mesures sont effectuées ont la propriété de fortement absorber la lumière, et par là-même le signal de LII, venant de ce fait perturber la mesure.

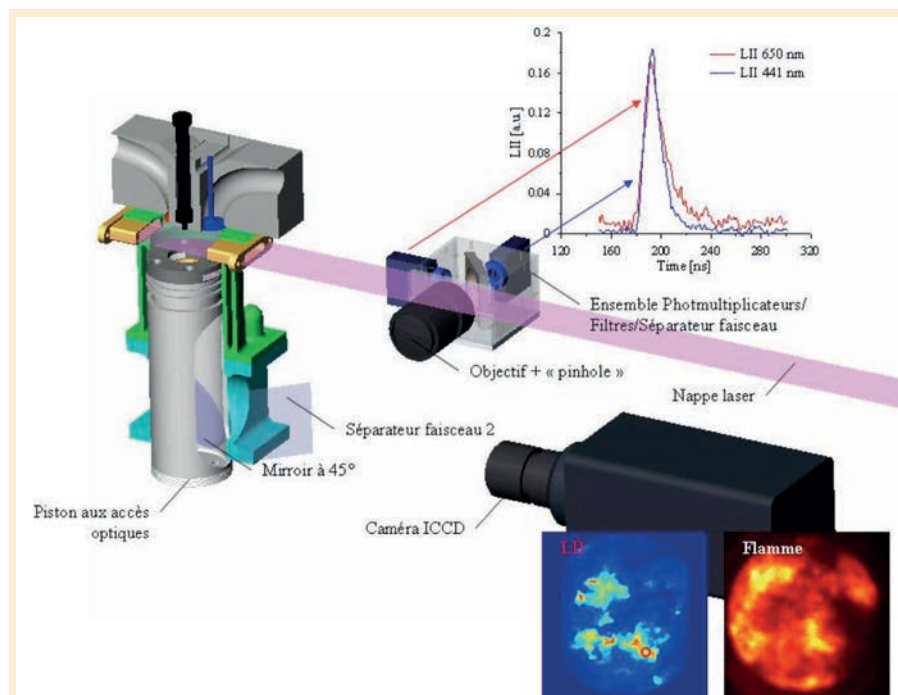


Figure 6. Moteur Diesel à accès optiques et LII.

Contraintes sur la source d'émission

La mise en place de la LII nécessite tout d'abord l'utilisation d'une source d'excitation, afin d'amener les particules à une température bien supérieure à celle du milieu réactif. Cette source doit être optimisée à partir des paramètres suivants :

- la longueur d'onde d'excitation,
- l'intensité et la durée du pulse laser,
- la distribution de l'énergie dans le faisceau laser et, éventuellement, la forme de la section transversale du faisceau laser.

Le choix de la **longueur d'onde d'excitation** est contraint par le fait qu'il faut éviter d'engendrer la fluorescence d'autres espèces comme par exemple les hydrocarbures aromatiques polycycliques et que l'ensemble diamètre de particule/longueur d'onde doit être dans le régime Rayleigh, soit une longueur d'onde supérieure à 50 nm environ.

Une longueur d'onde proche infrarouge semble répondre le mieux à ces critères mais avec de nombreuses précautions, des applications LII avec une excitation dans le domaine du visible ont été aussi réalisées. **L'intensité de l'excitation** est un paramètre lié à la durée du pulse laser, mais aussi à la distribution de l'énergie dans le faisceau laser. Pour une valeur fixée de la puissance laser, l'augmentation de la durée du pulse laser augmente la période d'échauffement des particules, d'où le risque de superposition entre l'échauffement et le refroidissement des particules. L'utilisation éventuelle d'un laser pulsé de type Nd:YAG garantit ainsi un pulse d'une durée de quelques nanosecondes, temps *a priori* suffisamment court pour que l'hypothèse des phénomènes distincts soit valable – c'est-à-dire que l'absorption ne se superpose pas aux processus de refroidissement des suies.

Différentes études ont mis en évidence l'évolution du signal LII en fonction de la

valeur du flux laser, en tenant compte du **profil de la distribution** de l'énergie laser dans le faisceau. Dans une section transversale du faisceau laser, la répartition énergétique est typiquement gaussienne : l'énergie est maximale au centre et décroît vers l'extrémité (figure 4). Si le faisceau passe à travers un filtre spatial (comme par exemple une fente), on obtient ce qu'on appelle une distribution « 1D gaussienne » de l'énergie laser ou on peut également filtrer le faisceau laser à l'aide d'un orifice suffisamment petit, la distribution énergétique dans le faisceau est alors de type « top-hat ». Évidemment, cette distribution énergétique a une forte influence sur l'échauffement de la suie dans le volume de mesure. Dans le cas de l'utilisation d'un faisceau dont le profil est 2D gaussien, l'énergie apportée aux particules, situées dans le centre de la raie, est considérablement supérieure à celle qui chauffe les particules situées vers la périphérie.

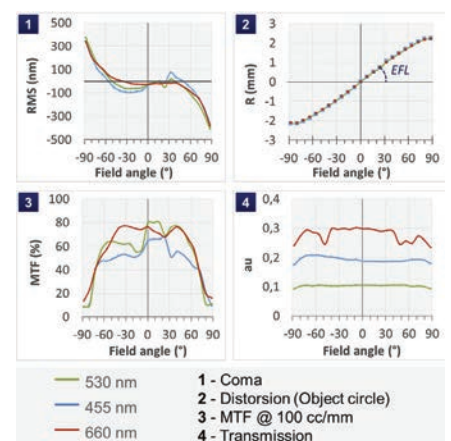
PUBLI-RÉDACTIONNEL

Qualité optique du fish-eye dans le champ

Utilisées pour leur large champ de vue, les optiques fish-eye sont un composant clé des systèmes d'assistance à la conduite. Leurs propriétés optiques (résolution, dynamique, distorsion) déterminent leur capacité à imager des scènes complexes présentant de fortes disparités de contraste et de chromaticité. Ce sont elles qui garantissent l'interprétation fiable de l'environnement routier et donc la sécurité des usagers. Le choix de l'optique à intégrer est donc crucial, d'autant plus qu'il influence la conception et la calibration de l'ensemble du système (caméra, algorithme...).

Conscients de ces enjeux et pour offrir une sécurité optimale à leurs clients, les constructeurs automobile accordent aujourd'hui une importance forte à la sélection des objectifs. Phasics a réalisé pour l'un d'entre eux un **banc qui permet leur caractérisation complète, fiable et rapide** dans des conditions qui reflètent leur utilisation. Tirant pleinement profit de la technologie d'analyse de front d'onde de Phasics, ce banc novateur répond aux exigences à la fois de mesure et d'utilisation industrielle. Il fournit **FTM et écart aberrant** mais aussi **distorsion et bilan radiométrique**, à 12 longueurs d'onde **de 400 à 750 nm dans tout le champ** (+/- 90°). Ce banc offre en outre la possibilité, unique sur le marché, d'obtenir ces résultats dans la pupille de sortie des objectifs, ce qui assure une comparaison rigoureuse des objectifs de différents fournisseurs. Enfin, son automatisation garantit **cadence élevée et très haute répétabilité** : 0.5% sur la FTM et $\lambda/10$ PtV sur l'écart aberrant en tout point du champ.

Au-delà de l'automobile, ce banc satisfait aussi les besoins de caractérisation des objectifs fish-eye intégrés dans les caméras de surveillance et les smartphones ou embarqués dans les drones.



Exemples de sorties du banc grand champ sur un fish-eye pour caméra de recul

CONTACT

PHASICS

Tél. : +33 (0) 1 80 75 06 33

contact@phasics.fr

www.phasics.fr

Une valeur minimale du flux énergétique laser est recommandée pendant les expériences LII : cette valeur semble être autour de 10 MW/cm^2 (soit $0,1 \text{ J/cm}^2$ pour un pulse d'une durée moyenne de 10 ns). Elle est en fait associée au flux laser minimal pouvant conduire au régime des températures spécifiques de sublimation de la suie ; toutefois, on trouve plus récemment des recherches à des flux laser inférieurs à cette valeur, dans le but d'éviter la vaporisation des particules de suies.

Nouvelle approche expérimentale originale de la technique LII

Suite à l'analyse des différentes approches théoriques et expérimentales de la technique d'incandescence induite par laser, l'application de la pyrométrie bi-couleur semble être la plus avantageuse en particulier dans le cas instationnaire où il est difficile de reprendre des conditions exactement similaires. En effet, la détection d'un signal LII temporel filtré à deux longueurs d'onde est une bonne solution pour extraire simultanément des informations relatives aux concentrations des suies et aux diamètres de particules. Néanmoins, une telle application permet de quantifier la suie dans un petit volume de mesure, un aperçu spatial de la formation des suies ne peut être possible que par des mesures en plusieurs endroits. Lors d'une thèse en partenariat avec PSA (A. Boiarciuc, 2008), un dispositif unique a été mis en place afin d'obtenir une cartographie des concentrations des suies dans une nappe laser simultanément avec une estimation locale des tailles des particules. L'excitation des particules est faite par une nappe laser et une détection simultanée du signal LII temporel filtré à deux longueurs d'ondes distinctes et du signal LII 2D a été optimisée. L'image (exemple *figure 5*) fournit ainsi une information sur la distribution des particules de suie à travers le milieu investigué, et les courbes des signaux temporels la fraction volumique moyenne dans un petit volume de mesure, qu'il faut bien repérer sur l'image. Dans l'hypothèse

d'une relation de proportionnalité entre la fraction volumique de suies et l'intensité à travers l'image, on détermine pour le petit volume de mesure un facteur de conversion égal au rapport entre la concentration de suies déjà estimée et l'intensité dans la zone correspondante de l'image. Ce facteur est ensuite appliqué sur toute l'image LII pour réaliser la conversion de l'intensité en concentration de suies. Les signaux LII temporels peuvent ensuite être utilisés pour une estimation locale des tailles des particules.

Cette approche originale de l'application LII permet de réaliser des

estimations quantitatives de tailles et de concentrations des suies aussi bien dans les flammes que dans des milieux caractérisés par une combustion turbulente non stationnaire, comme la chambre de combustion d'un moteur.

Cette approche a été implémentée dans un moteur Diesel « transparent » dont un schéma est proposé à la *figure 6*. Sur le cylindre deux accès optiques latéraux en quartz ont été implémentés, résistants aux conditions de haute pression et haute température spécifiques à la combustion Diesel. Le piston est, quant à lui, muni de trois accès

Les limites de la LII à haute pression

Par G. Bruneaux

Des travaux récents à l'IFPEN ont permis d'approfondir les questions soulevées lors de l'application de la LII dans les conditions moteur pour la mesure de taille de particules. L'approche a combiné une étude théorique des processus se déroulant lors de l'échauffement et du refroidissement des particules de suies par le plan laser et une campagne de mesure expérimentale dans une cellule haute pression capable de reproduire les conditions thermodynamiques rencontrées lors de l'injection et la combustion du jet Diesel. L'étude expérimentale s'est appuyée sur plusieurs techniques de mesures de suies de manière à mieux appréhender les conditions limites présentes lors de l'excitation LII dans le nuage de suies Diesel. Ont ainsi été mises en place les techniques de LII bi-couleur pour mesurer les températures des suies chauffées par le plan laser, la visualisation directe bi-couleur pour accéder à des informations sur la température dans le nuage de suies environnant, ainsi que des mesures temporelles du signal de LII, soit 1D par photomultiplicateur, soit 2D par imagerie double décalée dans le temps. Ces différentes techniques ont en outre été complétées par des prélèvements directement dans le nuage de suies sur grille et analyse par microscopie électronique à transmission pour donner des informations sur la morphologie des suies. L'ensemble de ces analyses a permis de démontrer que dans l'environnement moteur, soit à haute pression, la température des suies décroît très rapidement après leur échauffement du fait de l'augmentation du processus de conduction. La durée de décroissance du signal de LII devient du même ordre de grandeur que celui de l'excitation laser (typiquement quelques ns pour les sources laser utilisées en standard dans les bancs moteur optiques). La mesure de taille de particules par analyse du temps de décroissance du signal de LII se trouve ainsi fortement affectée dans ces conditions, du fait du caractère polydisperse des nuages de suies. En effet, sachant que plus les particules sont petites plus elles se refroidissent vite, les plus petites particules de la distribution n'ont quasiment pas le temps de s'échauffer (leur temps de refroidissement étant du même ordre de grandeur que celui de leur échauffement) et de ce fait elles ne participent pas au signal de LII. Cet effet génère un biais de mesure important vers les grandes particules de la distribution. Notre travail a ainsi démontré les limites de la technique de LII en ce qui concerne la mesure en conditions moteur avec les sources d'excitation standard. Nous avons ainsi montré qu'il faudra continuer à développer la technique avant de l'utiliser pour effectuer des mesures moteur *in situ* de distribution de tailles de particules, et que cela nécessitera très probablement l'utilisation de sources d'excitation plus courte durée de manière à chauffer les suies plus vite qu'elles ne se refroidissent.

optiques dont deux latéraux nécessaires au passage d'une nappe laser, et un central pour détecter le signal. Un trou oblong usiné sur la surface cylindrique du piston rehaussé permet d'introduire un miroir qui est fixé sur le bloc moteur permettant ainsi l'accès optique dans la chambre de combustion.

La source d'excitation utilisée est un laser pulsé Nd:YAG dont l'énergie maximale par pulse est autour de 400 mJ pour une durée du pulse de 10 ns (largeur à mi-hauteur) et une longueur d'onde de 1064 nm. L'utilisation de cette longueur d'onde en proche infrarouge évite la fluorescence de certaines espèces comme les hydrocarbures aromatiques polycycliques (PAH) et celle du C_2 si l'énergie du pulse est suffisamment faible. Une nappe laser d'une hauteur de 50 mm et d'une largeur d'environ 1 mm est générée grâce à un jeu de deux lentilles cylindrique et sphérique, le flux laser correspondant est estimé à 0.15 J/cm^2 pour un profil spatial gaussien selon les deux directions. Une caméra intensifiée de type Princeton avec une résolution de 512×512 pixels² à une fréquence d'acquisition maximale de 16 Hz est placée devant le miroir du moteur afin de détecter le signal d'incandescence. Un filtre passe-bas placé entre la caméra et l'objectif laisse passer le rayonnement d'une longueur d'onde placée dans l'intervalle 400 à 450 nm.

L'analyse statistique de ce genre de données est très complexe et pour que la LII soit vraiment la technique de mesure la plus pertinente, une telle application doit être développée en 2D haute fréquence afin d'obtenir la

répartition spatiale et l'évolution en diamètre simultanément.

Toutefois, de nombreuses questions restent en suspens. L'une d'elles est que dans un environnement moteur, les particules ne sont pas distribuées de manière uniforme (distribution hétérogène), or on considère que toutes les particules sont échauffées d'une façon identique par le laser incident. Quelle influence cela a-t-il réellement sur le signal LII obtenu? Sur la distribution en diamètre déduite? Quelle est l'influence de la pression sur la certitude des mesures?

Conclusions

L'ensemble des informations, obtenues à partir des techniques optiques, dans les moteurs « transparents », permettent de mieux appréhender les phénomènes physiques mis en jeu lors de la combustion des moteurs à combustion interne, d'améliorer les connaissances sur ces divers phénomènes, d'apporter des données indispensables à la validation des modèles théoriques et, par là-même, d'orienter la conception des moteurs de demain. Pour cela, le développement de récents systèmes d'émissions lumineuses de très bonne qualité et de forte énergie et de systèmes de détection de lumière (caméras rapides, sensibles, intensifiées), l'ensemble fonctionnant à haute cadence, permet d'obtenir de nouvelles données de plus en plus nécessaires dans des conditions de plus en plus inhabituelles (haute pression, haute température, grande rapidité).

RÉFÉRENCES

- [1] A. Boiarciuc, F. Foucher, C. Mounaïm-Rousselle, Soot volume fractions and primary particle size estimate by means of the simultaneous two color time resolved and 2d laser induced incandescence, *Applied Physics B* **83**, 413-421 (2006)
- [2] A. Boiarciuc, F. Foucher, C. Mounaïm-Rousselle, O. Pajot, Estimate measurement of soot diameter and volume fraction inside the bowl of a direct injection compression ignition: effect of the exhaust gas recirculation, *Combustion Science and Technology* **179**, 1631-1648 (2007)
- [3] H.A. Michelsen, F. Liu, B.F. Kock, H. Bladh, A. Boiarciuc, M. Charwath, T. Dreier, R. Hedef, M. Hofmann, J. Reimann, S. Will, P.E. Bengtsson, H. Bockhorn, F. Foucher, K.P. Geigle, C. Mounaïm-Rousselle, C. Schulz, R. Stirn, B. Tribalet, R. Suntz, Modelling laser induced incandescence of soot: a summary and comparison of LII models, *Applied Physics B* **87**, 503-521 (2007)
- [4] C. Marchal, J.L. Delfau, C. Vovelle, G. Moréac, C. Mounaïm-Rousselle, F. Mauss, Modelling of aromatics and soot formation from large fuel molecules, *Proceedings of the Combustion Institute* **32**, 00266 (2008)

acal | bfi

Votre partenaire Imagerie

Voir



au-delà du visible !

Imagerie Hyperspectrale



Imagerie Scientifique

- Spectroscopie
- Fluorescence
- Inspection...



Imagerie Thermique et Radiométrique

- Contrôle process, détection de gaz...



Pour plus d'informations

imaging.fr@acalbfi.fr

01 60 79 59 46

www.acalbfi.fr