



HAL
open science

Influence d'une micro rupture d'un filtre à particules pour moteurs diesel sur l'efficacité de filtration

Denis Bemer, Dominique Thomas

► **To cite this version:**

Denis Bemer, Dominique Thomas. Influence d'une micro rupture d'un filtre à particules pour moteurs diesel sur l'efficacité de filtration. CFA 2020 - 33ème Congrès Français sur les Aérosols, ASFERA - Association française d'études et de recherches sur les aérosols, Jan 2020, Paris, France. 10.25576/ASFERA-CFA2020-19699 . hal-02497468

HAL Id: hal-02497468

<https://hal.univ-lorraine.fr/hal-02497468>

Submitted on 3 Mar 2020

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.

INFLUENCE D'UNE MICRO RUPTURE D'UN FILTRE A PARTICULES POUR MOTEURS DIESEL SUR L'EFFICACITE DE FILTRATION.

D. Bémer¹, D. Thomas²

¹INRS, rue du Morvan 54519, Vandoeuvre

² Université de Lorraine, LRGP, 1 rue Grandville 54001, Nancy

Résumé

Le filtre à particule est un moyen efficace de réduction des émissions de particules de suie à l'échappement des moteurs diesel, mais ces dispositifs peuvent être endommagés et conduire à des dépassements des limites d'émissions. Une étude a été menée afin de suivre l'évolution de l'efficacité de filtration et de la perte de charge d'un filtre céramique en nid d'abeille, en fonction de l'importance d'une micro fuite créée en son sein, par ouverture d'un certain nombre de canaux de filtration. Les mesures effectuées, ainsi qu'une modélisation du phénomène de fuite, montrent que la perte de charge est insuffisante pour la détection de ces micro fuites qui se traduisent par une baisse d'efficacité significative et une augmentation des concentrations en particules de suie à l'émission pouvant dépasser les limites fixées réglementairement.

Abstract

Diesel particle filter is an effective way of reducing soot particles in the exhaust of diesel engines, but these devices can be damaged, which can lead to particle emissions above the limits. A study was conducted to follow the evolution of filtration efficiency and pressure drop of a ceramic honeycomb filter, depending on the importance of a micro leak created within it, by opening a number of filter channels. The measurements, as well as a modeling of the leakage phenomenon, show that the pressure drop is insufficient for the detection of these micro leaks which result in a significant decrease in efficiency and an increase in the concentrations of soot particles which can exceed the emission limits set by regulations.

Mots clés : particules diesel, filtre, contrôle émission. **Keywords :** diesel particles, filter, emission control

Le CIRC (centre international de recherche sur le cancer) a classé les fumées d'échappement des moteurs diesel comme cancérigène avéré pour l'homme (groupe 1) et les particules fines de suie émises par ces moteurs sont les principales responsables de la toxicité de ces fumées. Les filtres à particules diesel (FAP) sont un moyen très efficace de réduction des émissions de particules de suie contenues dans les gaz d'échappement des moteurs diesel, notamment ceux équipant les engins mobiles non routiers. Cependant, les FAP peuvent être endommagés par les importantes contraintes mécaniques et thermiques qu'ils subissent, entraînant des émissions de particules susceptibles de dépasser les limites réglementaires de 10^{12} particules non-volatiles de $dm > 23 \text{ nm} / \text{kWh}$, soit environ $2.10^5 \text{ part./cm}^3$ (European stage V (2017)). Nous avons par conséquent cherché à établir si des micro fracturations de la céramique du filtre, difficiles à détecter par simple mesure de la perte de charge, pouvaient entraîner une augmentation significative de la concentration en particules (Guide des meilleures pratiques FAP, 2017). Pour cela, des essais ont été conduits sur un filtre en céramique en « nid d'abeille » (canaux alternativement ouvert et fermés à l'entrée et à la sortie), à partir duquel des canaux ont été ouverts afin de simuler une micro fissuration du FAP.

1. Méthode

L'évolution de l'efficacité de filtration et de la perte de charge a été suivie en fonction du nombre de canaux volontairement ouverts à l'aval du filtre (10, 20 et 50, sur un total de 6100). L'efficacité de filtration a été déterminée à partir des distributions granulométriques en nombre d'un aérosol de NaCl mesurées à l'amont et à l'aval du filtre (aérosol de NaCl généré par pulvérisation d'une solution saline), établies au moyen d'un analyseur SMPS (Grimm[®] 5.400). Trois séquences de mesure amont/aval sont effectuées pour déterminer l'efficacité. La perte de charge du FAP a été mesurée dans les différentes configurations testées : filtre intègre, avec 10, 20 et 50 canaux ouverts.

Une deuxième installation a été utilisée permettant de mesurer les concentrations en particules à l'amont et à l'aval du FAP monté à l'échappement d'un groupe électrogène à moteur diesel (D. Bémer, 2017). Un analyseur (TSI[®], NPET 3795) a été utilisé pour déterminer la concentration en nombre en particules non-volatiles, ainsi qu'un aéthalomètre (Aethlabs[®], AE51) pour la mesure de la concentration en masse des particules de carbone-suie (après passage par un dessiccateur). Les

mesures à l'amont du FAP ont été effectuées après un système de thermo-dilution (Testo®, ASET/MD19) afin de diluer l'aérosol et éliminer les composés volatiles, notamment l'eau préjudiciable aux mesures par aéthalomètre. Le débit de gaz d'échappement était de 64 m³/h et la température à l'amont du FAP de 150 °C.

Une modélisation de l'efficacité et de la perte de charge prenant en compte les fuites occasionnées par l'ouverture des canaux a également été réalisée. Elle repose sur l'association de deux résistances à l'écoulement placées en parallèle : l'une liée aux canaux non percés, l'autre plus faible liée aux canaux percés. Ce déséquilibre dans les valeurs des résistances aérauliques va induire un déséquilibre dans les débits traversant les canaux ouverts et ceux non percés pour une même perte de charge. Il est facile de démontrer en calculant la résistance à l'écoulement des canaux ouverts à partir de la loi de Poiseuille que :

$$\frac{Q_{Fuite}}{Q_T} = \frac{1}{1 + 128 \left(\frac{1 - \beta}{\beta} \right) \frac{L^2}{R a^3}} \quad \text{éq 1}$$

avec

β : rapport du nombre de canaux percés sur le nombre total de canaux ($\beta = N_{cp}/N$)

N : nombre total de canaux (-)

L : longueur d'un canal (m)

a : arrête du canal (m)

R : résistance à l'écoulement du filtre céramique non altéré (m⁻¹)

Q_{Fuite} : débit à travers les canaux percés (m³/s)

Q_T : débit total en amont du filtre céramique (m³/s)

Un bilan matière sur le filtre céramique percé permet d'aboutir à l'expression de l'efficacité en fonction du pourcentage du débit de fuite :

$$E = E_o \left(1 - \frac{Q_{Fuite}}{Q_T} \right) + \frac{Q_{Fuite}}{Q_T} E_{Fuite} \quad \text{éq 2}$$

avec

E_o : efficacité du filtre céramique non altéré au débit (Q_T, Q_{Fuite})

E_{Fuite} : efficacité de collecte des canaux percés au débit Q_{Fuite}

Si l'efficacité de collecte des particules dans les canaux ouverts est supposée négligeable, l'équation 2 se réduit à :

$$E = E_o \left(1 - \frac{Q_{Fuite}}{Q_T} \right) \quad \text{éq 3}$$

Soit finalement,

$$E = E_o \left(1 - \frac{1}{1 + 128 \left(\frac{1 - \beta}{\beta} \right) \frac{L^2}{R a^3}} \right) \quad \text{éq 4}$$

En supposant E_o peu différent de l'efficacité déterminée au débit Q_T, il est possible de déterminer l'évolution de l'efficacité en fonction des caractéristiques des canaux (L, a), du coefficient β et de la résistance à l'écoulement du filtre non percé.

2. Résultats

Les mesures ont confirmé que pour des fractions de canaux ouverts β inférieurs à 1 % la fuite générée n'était effectivement pas détectable sur le plan de la perte de charge, compte tenu des incertitudes de mesure, mais se traduisait toutefois par une diminution de l'efficacité de filtration sur l'ensemble du domaine granulométrique exploré (10 – 300 nm), Fig.1 (aérosol de NaCl).

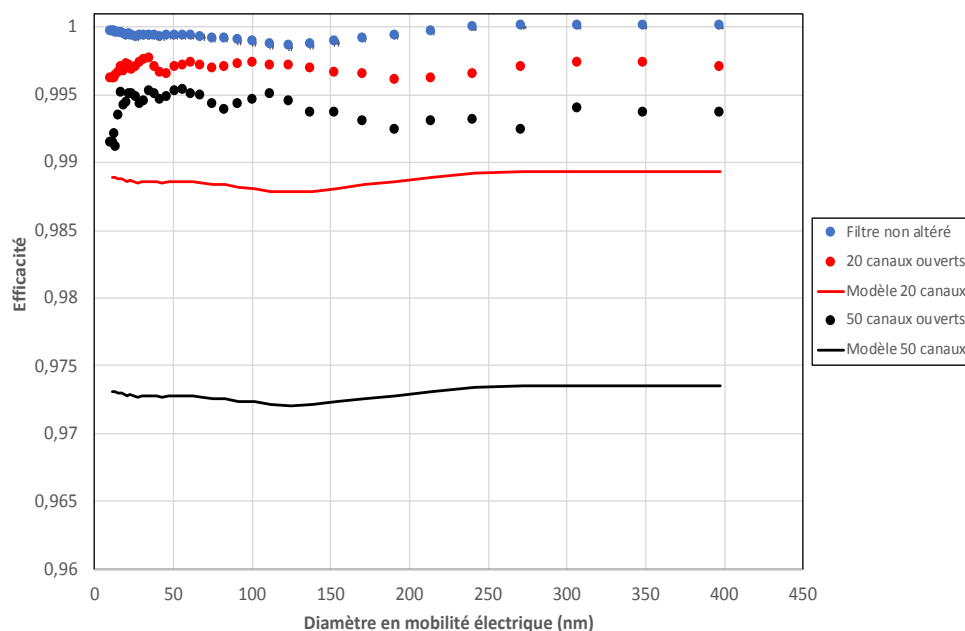


Figure 1. Variation de l'efficacité de filtration (expérimentale et calculée) du filtre en fonction de la fraction des canaux ouverts (20 trous, $\beta=0,33$ % et 50 trous, $\beta=0,82$ %), au débit $115 \text{ m}^3/\text{h}$. Aérosol NaCl – mesure SMPS.

Comme on peut le constater l'efficacité mesurée est significativement supérieure à celle prédite par le modèle. Les mesures de la concentration en nombre des particules de suie non volatiles, réalisées à l'amont et à l'aval du FAP monté en sortie du moteur diesel, confirment cette diminution de l'efficacité avec la fuite (Fig.2).

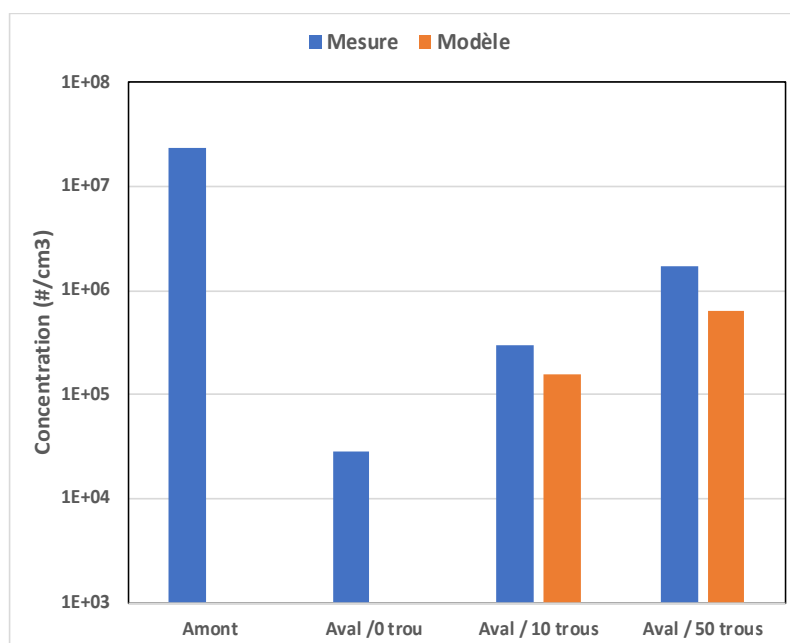


Figure 2. Concentration en particules diesel non-volatiles à l'amont et à l'aval du FAP intègre et avec 10 et 50 canaux ouverts (valeurs expérimentales et calculées).

Mais ces concentrations correspondent à une baisse d'efficacité plus importante que celle établie à partir du banc d'essai de mesure de l'efficacité par aérosol NaCl et mesure par SMPS. Elle est par

contre, plus en accord avec les données du modèle. Pour la fuite maximale étudiée (50 trous, $\beta = 0,82$ %) la concentration à l'aval du FAP ($1,73 \cdot 10^6 / \text{cm}^3$) est bien supérieure à la limite d'émission fixée à environ $2 \cdot 10^5 \text{ part./cm}^3$. La concentration mesurée avec l'aéthalomètre, égale à $570 \mu\text{g/m}^3$ de carbone-suie est également supérieure à la valeur limite d'exposition professionnelle des particules diesel fixée à $50 \mu\text{g/m}^3$ de carbone élémentaire. Une faible dégradation du FAP est donc susceptible d'accroître significativement la concentration en particules dans l'environnement où évolue l'engin.

3. Conclusions

L'étude montre que de micro ruptures de la céramique constitutive des FAP, non détectables par simple mesure de la perte de charge du filtre, sont effectivement susceptibles de réduire de manière importante l'efficacité de filtration. Cette dégradation des performances du FAP peuvent alors conduire à des émissions en particules de suie dépassant les limites d'émission et pouvant entraîner une contamination des atmosphères de travail au-delà des valeurs limites d'exposition. Sur le plan méthodologique, des différences sont observées entre l'efficacité de filtration mesurée au moyen d'un aérosol de NaCl à 20 °C et celle déterminée par mesure de la concentration en particules de suie non volatiles à la température des gaz d'échappement. Ce point non expliqué pour le moment nécessitera d'autres investigations.

REFERENCES

European stage V for non-road emission standards – Regulation (EU) 2016/1628 (2017).

Guide des meilleures pratiques FAP, VERT, www.VERTE-certification.eu, (2017).

D.Bémer, I. Subra, Monitoring particle emission for non-road diesel machineries equipped with particle filters, J. Aerosol Sci. 113, 153-165 (2017).