

DEVELOPPEMENT D'UN PROTOCOLE DE MESURE EMBARQUEE DE L'EFFICACITE D'UN FILTRE POUR HABITACLE AUTOMOBILE

A. Delater^{1*}, S. Fable¹, B. Berthelot¹, C. Raventos¹, J. Queron¹, et O. Le Bihan¹

¹INERIS, 60550, Verneuil-en-Halatte, France

*Courriel de l'orateur : ambredelater@hotmail.fr (olivier.le-bihan@ineris.fr)

TITLE

Development of a methodology for in-board assessment of the efficiency of air quality filters

ABSTRACT

Air filtration is a well-known approach to improve the automotive indoor air quality. The objective of the study reported here has been to develop an in-situ measurement protocol to assess the efficiency of particulate filtration systems. A large set of actions (air flow modeling, particle sampling and transport efficiency, etc.) has been carried out to define a sampling line to measure the upstream particle concentration. PM10, PM2,5 et PM1 mass concentration have been measured by gravimetry.

Two field campaigns have been carried out with an equipped car moving in the Paris area, to test the protocol on two different cabin filters.

RESUME

Les personnes utilisant une voiture sont exposées aux particules présentes dans l'habitacle, particules issues en majorité du trafic automobile. L'étude présentée ici a pour objectif le développement d'une méthode d'évaluation de l'efficacité de filtres utilisés pour améliorer la qualité de l'air dans un habitacle automobile. Cette méthode inédite est destinée à fonctionner en conditions réelles, c'est-à-dire sur un véhicule test en roulage en milieu urbain.

Différentes approches complémentaires ont été utilisées pour équiper le véhicule, et plus précisément pour mettre au point une ligne de mesure en amont du filtre : mesures en soufflerie, modélisation CFD (Computational Fluid Dynamics), calcul d'efficacité d'échantillonnage et de transport de l'aérosol. La concentration des fractions PM10, PM2.5 et PM1 de l'aérosol a été mesurée en amont du filtre et dans l'habitacle par méthode gravimétrique. Le protocole ainsi développé a été testé lors de campagnes d'essai avec roulage en région parisienne, pour deux filtres habitacle différents.

KEYWORDS: indoor, air quality, filtration / **MOTS-CLÉS:** qualité de l'air intérieur, habitacle, filtre

1. INTRODUCTION

L'exposition des personnes dans les transports, est une préoccupation à la fois des pouvoirs publics et des consommateurs. Une part importante de la population utilise un véhicule au quotidien. A cette occasion, les usagers sont exposés à la fois aux gaz et aux particules, en grande partie issus du trafic automobile. Il existe différents leviers pour réduire cette exposition. L'un des plus connus est la réduction des émissions à l'échappement, issues des moteurs eux-mêmes. Une seconde approche consiste à améliorer la qualité de l'air respiré dans les véhicules en filtrant l'air entrant dans l'habitacle. A ce jour, l'efficacité de filtration d'un média filtrant est étudiée selon un référentiel sur banc d'essai avec des poussières normalisées, non représentatives de la réalité. C'est pourquoi, afin de connaître l'efficacité de tels dispositifs de filtration, une méthodologie doit être développée pour permettre des mesures en conditions réelles de roulage.

L'efficacité de filtration est déterminée *via* la comparaison relative de la concentration particulaire en amont et en aval du média filtrant. Le projet Qabine 1 [Queron 2017], a permis de définir et valider le point de mesure en air intérieur (mesure en aval du média filtrant). L'enjeu de l'étude présentée ici est le développement d'une mesure à l'extérieur de l'habitacle (mesure en amont du média filtrant), prenant en compte des problématiques de collecte en milieu fluctuant (vent, vitesse variable du véhicule).

Afin de mener ce développement, une étude de sensibilité a été réalisée pour identifier les paramètres influant sur la mesure des concentrations particulaires massiques en amont du filtre habitacle ; elle a été complétée par des mesures en soufflerie et par des calculs de CFD, permettant de déterminer vitesses et lignes de courant dans la zone de prélèvement. L'ensemble de ces résultats a permis d'aboutir à la conception d'une ligne de prélèvement, à son évaluation, puis à son optimisation, finalisant ainsi le protocole de mesure gravimétrique du projet Qabine 1. Enfin, ce protocole a été testé lors d'essais en roulage sur 2 filtres habitacles.

2. MATERIELS ET METHODE

2.1 Instrumentation

La méthode de référence pour la mesure des aérosols en air intérieur et air extérieur est la gravimétrie. Le préleveur utilisé est un impacteur en cascade, PM10 impactor (DGI) de la marque DEKATI permettant d'étudier 4 fractions de l'aérosol : le PM10, le PM2,5, le PM1 et le TSP. Une pompe à membrane est utilisée et le débit est fixé à 30 L/Min. Les filtres utilisés sont en quartz.

En parallèle de l'utilisation de l'impacteur DEKATI, des mesures qualitatives de particules en continu ont été effectuées *via* 2 indicateurs optiques (un de la marque GRIMM et un de la marque DUSTTRAK), ces indicateurs optiques permettant une mesure en temps réel et donc l'obtention d'un suivi temporel, contrairement à l'impacteur DEKATI.

Une caméra filmait les trajets de chaque essai afin d'aider à l'exploitation des résultats des indicateurs optiques (le but étant de regarder la corrélation entre l'évolution des concentrations de particules et les évènements sur la route).

2.2 Evaluation de l'efficacité d'échantillonnage et de transport

Lors de l'échantillonnage (entrée des particules dans la ligne de prélèvement) et du transport des particules jusqu'à l'instrument de mesure, les particules sont - selon leur taille - sujettes à différents mécanismes physiques causant des dépôts (pertes) sur les parois de la ligne de prélèvement. Les particules les plus petites subissent principalement un mouvement aléatoire (appelé mouvement brownien) alors que les grosses particules sont plutôt soumises à l'impaction ou encore à la sédimentation [Renoux et Boulaud, 1998].

Dans le cadre de cette étude, l'appréciation des pertes de particules a été rendue possible par l'utilisation du logiciel Particle Loss Calculator [von der Weiden, 2009]. Cet outil s'appuie sur des formules théoriques et empiriques établies dans la littérature et permet ainsi le calcul de la perte des particules due à différents mécanismes physiques.

Le logiciel PLC permet également de mener une étude de sensibilité, c'est-à-dire de faire varier un des paramètres de la ligne de prélèvement dans un intervalle choisi par l'utilisateur. Le logiciel calcule alors les différentes efficacités de transfert selon la variation du paramètre, ce qui permet de déterminer comment la ligne de prélèvement peut être optimisée.

2.3 Soufflerie

La baie d'auvent est une zone située sous le capot du véhicule, proche du pare-brise (cf. Figure 1), et par laquelle passe l'air destiné à l'aération de l'habitacle automobile. Elle est suivie du bloc de ventilation (système d'aspiration, filtration). C'est pourquoi la baie d'auvent a constitué une zone intéressante dans le cadre de la recherche d'un emplacement pour la mesure des particules en extérieur habitacle. Cependant, il était nécessaire d'obtenir de bonnes connaissances aérauliques de cette zone afin de déterminer la configuration du point de mesure.

Dans cet objectif, notre partenaire automobile a réalisé des mesures en soufflerie afin de connaître les vitesses d'air dans la baie d'auvent. Les essais ont eu lieu dans la soufflerie climatique Jules Verne du CSTB de Nantes. Cette soufflerie offre la possibilité d'étudier le comportement statique et dynamique d'un système dans différentes conditions climatiques. La soufflerie est composée de 6 ventilateurs (3200 kW au total) reproduisant les écoulements d'air dans 4 veines d'essais. Dans notre cas, la soufflerie a permis de recréer un écoulement à faible turbulence modérée jusqu'à 130 km/h dans la veine diffuseur.

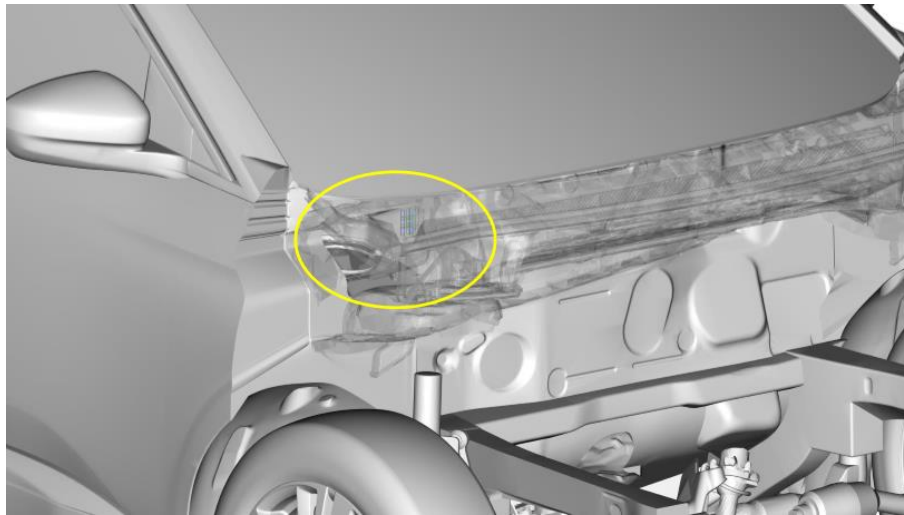


Figure 1 : visualisation de l'emplacement de la baie d'auvent

2.4 Modélisation CFD

Il est essentiel de bien positionner le point de prélèvement, et d'orienter la ligne au mieux par rapport à la trajectoire des particules, idéalement de manière parallèle (face à l'entrée d'air). C'est pourquoi les trajectoires dans la baie d'auvent ont fait l'objet d'une étude par mécanique des fluides numérique. Il s'agit également de déterminer la valeur des vitesses d'air aux points de prélèvements des appareils de mesure, et de les comparer avec les mesures effectuées en soufflerie. Les calculs ont été réalisés par une société de prestation travaillant régulièrement avec le partenaire automobile. Le logiciel utilisé est PowerFLOW qui présente l'avantage d'être un code instationnaire, c'est-à-dire un code permettant d'estimer la fluctuation de la vitesse.

Les calculs ont porté sur la baie d'auvent ainsi que l'aspiration du climatiseur du véhicule sur 12 niveaux de résolution (la zone auvent a été particulièrement résolue pour capter l'écoulement dans la grille d'entrée) et selon 4 configurations différentes. Dans chaque configuration, on fait varier soit la vitesse d'air (30 ou 80 km/h) soit le débit d'aspiration (110 ou 220 kg/h), c'est-à-dire le débit d'air injecté dans l'habitacle via le pulseur d'air du climatiseur.

La ventilation est pilotée par 4 pales entières : chaque pale est constituée de deux demi-pales. En ordre de grandeur par climat froid (avec chauffage dans l'habitacle), on peut considérer qu'un débit d'aspiration de 110 kg/h équivaut à 1 pale entière et un débit d'aspiration de 220 kg/h équivaut à 2 pales entières.

3. DEVELOPPEMENT ET EVALUATION DES PERFORMANCES DE LA LIGNE DE PRELEVEMENT

3.1 Identification des paramètres clés

Afin que l'efficacité de transfert (échantillonnage + transport) soit la meilleure possible, l'étude de sensibilité menée avec le logiciel PLC a montré que :

- L'entrée de la ligne de prélèvement doit être le plus possible face au vent (donc il faut avoir un angle d'aspiration le plus proche possible de 0°)
- La vitesse d'air ne doit pas fluctuer (ou peu) pendant la mesure
- Le diamètre interne de la ligne doit être constant (pas de contraction) et respecter une taille minimale
- La ligne de prélèvement doit être la plus droite possible (ne présentant pas ou peu de coudes) et avec des coudes peu abrupts (c'est-à-dire avec un angle de courbure faible) pour le transport des particules dans la ligne.

Le logiciel a montré que le mécanisme principal responsable de la majorité des pertes de particules de plus de 1 µm de diamètre dans les lignes de prélèvement durant le transport est le dépôt dans les coudes. Il est à noter que ce débit n'est pas modulable puisque inhérent au principe de fonctionnement de l'impacteur lui-même.

Une optimisation de la ligne de mesure a été recherchée, et évaluée. Il est apparu que :

- Les particules de 1 µm pourraient être bien collectées avec une efficacité de transfert supérieure à 90 %
- Les particules entre 1 et 2,5 µm pourraient être collectées, mais avec une efficacité moindre

- Les particules de plus de 2,5 μm seraient difficilement collectées du fait de leur inertie, avec une efficacité proche de 0 % à 10 μm .

3.2 Prise en compte des contraintes mécaniques pour des mesures embarquées

L'étude en soufflerie a montré que :

- Les vitesses d'air dans la baie d'auvent sont prime abord fonction de la ventilation (et non de la vitesse du véhicule)
- Que pour certaines positions de réglage de la ventilation, la vitesse d'air est stable dans la baie d'auvent du véhicule lorsque celui-ci est en roulage entre 0 et 80 km/h.

L'étude CFD a permis de :

- Visualiser les trajectoires du flux d'air dans la baie d'auvent (et donc permettre une bonne orientation de la ligne de prélèvement)
- Montrer que la zone pressentie n'est pas dans une zone de recirculation et que de ce fait, l'air à cet emplacement vient directement de l'extérieur avant d'être aspiré par le climatiseur

3.3 Conception de la ligne de prélèvement et évaluation de sa performance

Les résultats des différents tests et simulations, ainsi que la prise en compte de contraintes pratiques au niveau du véhicule lui-même, nous ont amené à sélectionner une ligne de mesure pour l'impacteur DEKATI avec les caractéristiques suivantes : diamètre de 8 mm, longueur de 65,5 cm, 1 coude modéré. Elle a été mise en œuvre lors de deux campagnes de mesure pour un débit interne de 30 lpm, et une vitesse de ventilation stable à 1,84 m/s.

Selon le logiciel PLC l'efficacité de transfert est supérieure à 92 % pour les particules inférieures à 1 μm pour le PM1 et supérieure à 70 % pour les particules inférieures à 2,5 μm .

4. MISE EN ŒUVRE SUR 2 FILTRES HABITACLE

La ligne de mesure ainsi développée a été associée au point de prélèvement en air intérieur, pour permettre l'évaluation de l'efficacité de filtre en conditions réelles. Cet ensemble a été testé sur deux filtres automobiles (filtre A et filtre B), à l'occasion de roulages en agglomération parisienne, dans différentes conditions de pollution.

L'efficacité moyenne de filtration des filtres A et B a pu être déterminée pour les PM1 (respectivement 52 et 53 %) et les PM2.5 (respectivement 54 et 57 %).

Remerciements

Ce travail est financé par l'ADEME dans le cadre du dispositif CORTEA, et plus précisément du projet QABINE II. La contribution de l'INERIS est co-financée par le Ministère de l'Environnement (programme DRC 30).

Références

Queron, J. (2017, November). Rapport final projet QABINE : Qualité de l'Air dans les haBitacles eN déplacEment. Appel à projet de recherche CORTEA 2015.

Renoux, A., & Boulaud, D. (1998). Les aérosols : physique et métrologie. Paris, Lavoisier Tec&Doc. IBSN 10 : 274300231X / IBSN 13 : 9782743002312.

Von der Weiden, S.L., Drewnick, F., & Borrmann, S. (2009). Particle Loss Calculator-a new software tool for the assessment of the performance of aerosol inlet systems. Atmos. Meas. Tech, 2(2), 479-494