

PROJET CAPNAV : CARACTÉRISATION DES ÉMISSIONS PARTICULAIRES DES NAVIRES.

B. Sagot*¹, J. Gaudillier¹, A. Joubert², K. Chaillou², L. Le Coq², N. Quentin³, A. Le Champion⁴, V. Coquen⁵, D. Pons⁶, et F. Colson⁷

¹ESTACA'LAB, ESTACA Campus Paris-Saclay, 12 avenue Paul Delouvrier, 78180 Montigny-le-Bretonneux, France

²IMT Atlantique, GEPEA, CNRS UMR 6144, CS 20722, 44307, Nantes, France

³ENSM, 10 quai Frissard 76600 le Havre, France

⁴Compagnie maritime Penn ar Bed. 1^{er} éperon, Port de commerce. Brest, France

⁵Brittany Ferries, Port du Blosson – CS 60 072 – 29688 Roscoff Cedex, France

⁶Chantiers de l'Atlantique, Avenue Bourdelle - CS90180 - 44613 Saint-Nazaire Cedex, France

⁷BEE DISTRIBUTION - Sous la Ville - 56580 BREHAN, France

*Courriel de l'orateur : benoit.sagot@estaca.fr

TITLE

CAPNAV project: Characterization of particle matter emitted by ships

RESUME

En France, la contribution du transport maritime à la pollution atmosphérique apparaît comme faible si on considère des approches classiques d'inventaires d'émission. En revanche, cette pollution est localisée, en particulier dans des zones portuaires où les navires effectuent des manœuvres régulières. Parmi les polluants produits par les navires, on considère que les SO_x, NO_x et émission particules fines (PM) sont les trois polluants les plus problématiques en termes d'environnement et d'impact sur la santé. Ce projet CAPNAV soutenu par l'ADEME dans le cadre de l'appel à projet CORTEA vise à mieux quantifier et caractériser les émissions particulaires, en particulier dans les différentes phases de manœuvre des navires. Dans cette première partie du projet, nous avons réalisé deux campagnes de mesure à bord du Fromveur 2, un navire à passagers qui opère les liaisons régulières entre Brest et les îles du Ponant.

ABSTRACT

In France, the contribution of maritime transport to air pollution appears to be low if we consider conventional emission inventories approaches. On the other hand, this pollution is localized, especially in port areas where ships perform regular maneuvers. Among the pollutants produced by ships, SO_x, NO_x and particulate matter (PM) emissions are considered to be the three most problematic pollutants in terms of environment and health impact. This CAPNAV project supported by ADEME as part of the CORTEA call for proposals aims to better quantify and characterize particulate emissions, particularly in the different phases of ship maneuvering. In this first part of the project, we carried out two measurement campaigns aboard the Fromveur 2, a passenger ship that operates regular connections between Brest and the Ponant Islands.

MOTS-CLES : suie, particules diesel, émissions des navires / **KEYWORDS:** soot, diesel particles, ship emissions.

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS

L'objectif du projet CAPNAV dans cette première phase est d'approfondir les connaissances sur la nature et les niveaux de concentration en particules fines émises par un navire dont les moteurs fonctionnent sur un cycle diesel, au gasoil marine. Peu de travaux ont été réalisés en conditions réelles de navigation et on note que les rares études existantes, comme celle de Mueller et al. (2015) qui analyse l'impact sur les émissions du carburant (HFO et diesel marine), sont menées sur des points stabilisés. Plusieurs partenaires académiques (ESTACA, IMT Atlantique et ENSM), industriels (Chantiers de l'Atlantique, BEE Distribution), et deux armateurs (Penn ar Bed/Keolis et Brittany Ferries) participent à ce projet. La première phase du projet est réalisée sur une propulsion classique diesel sur un navire de la Penn Ar Bed. On teste sur cette propulsion une solution d'additifs au gasoil pour évaluer son impact sur les émissions en particules fines. La deuxième phase sera réalisée sur une propulsion au gaz naturel liquéfié (GNL) d'un navire de la Brittany Ferries.

Avec l'objectif de caractériser les niveaux d'émission produits dans les différentes phases de fonctionnement du navire (principalement navigation en route libre, en manœuvre, et à quai), le projet CAPNAV propose de réaliser des acquisitions dynamiques à la source (cheminée), synchronisées à l'enregistrement des paramètres du navire (position, vitesse, charge) et de la propulsion. L'objectif final de ces acquisitions dynamiques est d'arriver à une estimation des facteurs d'émissions dans les principales phases de fonctionnement du navire. En parallèle de ces mesures, des prélèvements sur filtre pour des régimes moteur caractéristiques des phases de navigation (régime croisière en pleine mer, régime de manœuvres en zone portuaire, régime ralenti à quai) permettent une analyse a posteriori qui a pour but d'identifier et de quantifier les composés volatils majoritaires adsorbés et condensés sur la phase particulaire.

2. MATÉRIEL & MÉTHODES

Les deux premières campagnes de prélèvement ont été réalisées à bord du Fromveur 2, un navire à passagers qui opère les liaisons régulières entre Brest et les îles du Ponant. Une ligne de prélèvement a été installée à l'échappement d'un des deux moteurs de propulsion, ainsi qu'une sonde de mesure de vitesse et de la température du flux, permettant d'estimer le débit de fumée. Le dispositif expérimental (figure 1 ci-dessous) mis en œuvre est protégé dans un caisson étanche, permettant de limiter l'exposition aux embruns des instruments de mesure. Il est installé sur le pont passerelle, proche de la cheminée. La ligne de prélèvement régulée à une température de 200°C alimentent deux voies.

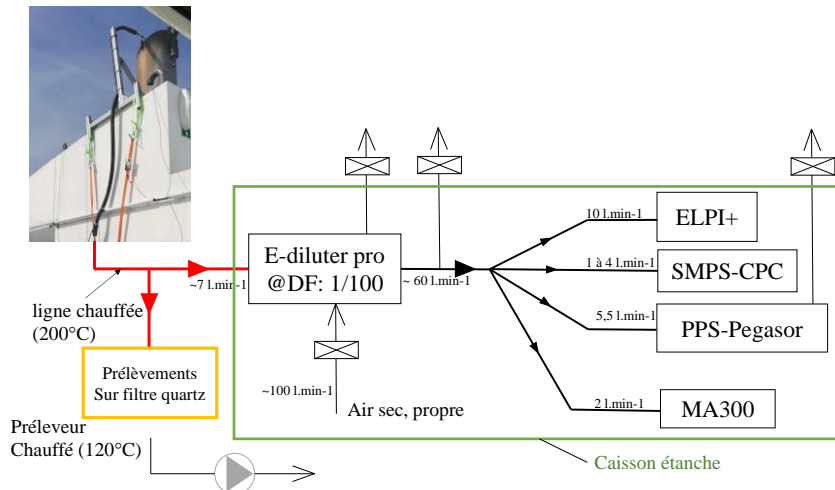


Figure 1. Schéma global du dispositif de prélèvement à la cheminée mis en œuvre dans le projet CAPNAV

Une première voie est dédiée à des prélèvements sur filtres en fibre de quartz pour soit des mesures gravimétriques, soit des prélèvements plus chargés en masse dédiés à une caractérisation chimique a posteriori en laboratoire des suies collectées. La deuxième voie alimente après dilution les instruments installés dans le caisson. Le système de dilution Dekati E-diluter permet une dilution stable à chaud (200°C) puis à froid des prélèvements, avec un facteur de dilution global de 100, et des température et concentration compatibles avec les instruments mis en œuvre en aval : un granulomètre SMPS, un impacteur en cascade ELPI+, un instrument de mesure de concentration massique (Micro Aéthalomètre temps réel MA300), et un PPS Pegasor. L'ensemble du dispositif expérimental et des protocoles de mesure a fait l'objet d'une phase de validation en laboratoire, avec une source de suies de combustion issue d'un générateur CAST 5201C (Combustion Aerosol Standard).

3. EXPLOITATION DES MESURES

Malgré des difficultés liées aux conditions de mer, les moyens expérimentaux employés durant les campagnes de mesure ont permis de collecter des échantillons de suies dédiés à l'analyse de leur composition chimique, et de réaliser dans les différentes phases de fonctionnement des caractérisations en nombre, masse, et distribution des émissions particulières. On présente sur la figure 2 la trace GPS d'un aller Brest-Le Conquet-Molène-Ouessant, et le suivi temporel du débit massique fumée et de la vitesse sur le fond.

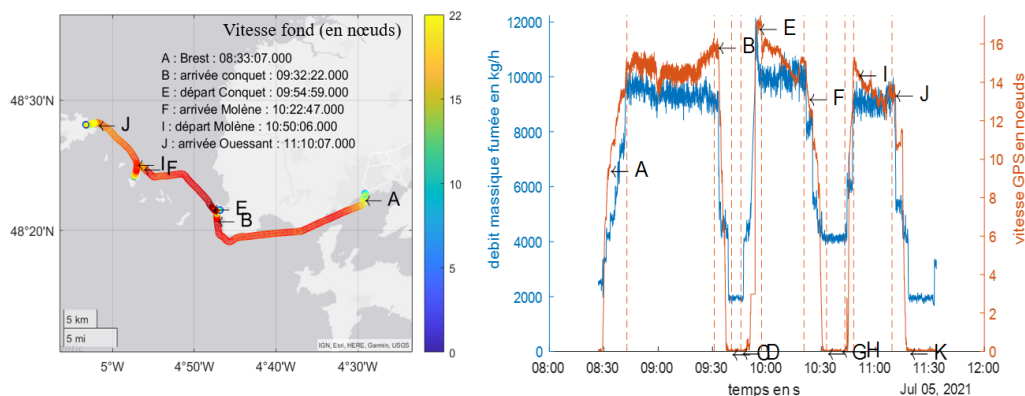


Figure 2. Trajectoire GPS d'un aller Brest-Le Conquet-Molène-Ouessant (figure de gauche) et suivi temporel des débits fumée et vitesse fond du navire (figure de droite)

On note sur cet aller deux phases : en navigation et à quai (vitesse GPS de l'ordre de 15 nœuds, ou nulle). En revanche, si les débits de fumée sont relativement proches en navigations, on remarque qu'ils sont sensiblement différents à quai : selon les ports, les phases « à quai » nécessitent une propulsion différente pour stabiliser le navire. L'objectif du post-traitement des mesures sera de quantifier les niveaux d'émissions particulaires (débit et concentration) en fonction de ces différentes phases d'opération du navire.

En parallèle de ces analyses, des prélèvements sur filtre à une température de 120°C ont été réalisés pour analyser la composition chimique de la phase particulaire : après désorption des molécules d'intérêt à l'aide d'un solvant adéquat (plusieurs solvants ont été testés dont le dichlorométhane et à venir le méthanol), une analyse en chromatographie en phase gazeuse couplée à deux détecteurs a été réalisée et a mis en évidence la présence de composés volatils typiques des émissions moteurs quelle que soit la phase de navigation investiguée. L'utilisation d'un spectromètre de masse devrait permettre l'identification de ces composés, ainsi qu'une semi-quantification rendue possible par un détecteur de type FID.

4. DISCUSSION & PERSPECTIVES

Le projet CAPNAV vise à produire des mesures de caractérisation des émissions particulaires en conditions réelles de navigation. La mise en place à bord lors de deux campagnes de mesure a permis de valider le dispositif expérimental, malgré des difficultés opérationnelles liées aux conditions de vent et de mer. L'analyse des données et échantillons collectés est en cours, et les premières analyses ont permis d'identifier trois modes principaux de fonctionnement des moteurs : pleine charge en route libre, à quai au ralenti, et à quai en charge partielle. L'objectif sera de caractériser les niveaux d'émission à partir de l'analyse des mesures de concentration et des débits de fumée, et de caractériser les compositions chimiques des échantillons prélevés pour ces différentes situations.

Remerciements

Ce travail est soutenu par l'ADEME, dans le cadre de l'appel à projets CORTEA, sous la convention n° 1966C0011 (projet CAPNAV). Le GDR Suie a contribué au financement de ce projet. Merci à François-Xavier Ouf pour son aide précieuse lors de la préparation des campagnes de mesure.

Les auteurs remercient les armateurs qui participent au projet, et en particulier les personnels à terre et membres d'équipage, pour l'accueil lors des campagnes de mesure.

Mueller, L., Jakobi, G., Czech, H., Stengel, B., Orasche, J., Arteaga-Salas, J.M., Karg, E., Elsasser, M., Sippula, O., Streibel, T., Slowik, J.G., Prevot, A.S.H., Jokiniemi, J., Rabe, R., Harndorf, H., Michalke, B., Schnelle-Kreis, J., Zimmermann, R., 2015. Characteristics and temporal evolution of particulate emissions from a ship diesel engine. *Appl. Energy*, Volume 155, 2015, Pages 204-217