EVALUATION DES PERFORMANCES DE MESURE DE MICRO-CAPTEURS DE PARTICULES A BAS COUTS VIS-A-VIS D'AEROSOLS DE NOAA

B. Sutter*[1], A. Boivin[1], R. Payet[1], V. Koehler[1], S. Bau[1], X. Simon[1] et O. Witschger[1]

[1]Laboratoire de Métrologie des Aérosols, Institut National de Recherche et de Sécurité, 54500 Vandoeuvre, France

*Courriel de l'orateur : benjamin.sutter@inrs.fr

TITLE

Performance assessment of low-cost particle sensors to measure NOAA aerosols

RESUME

Dans le cadre de travaux de recherche prénormatifs qui ont été engagés par le CEN/TC137 afin d'étudier l'application des micro-capteurs d'aérosols pour l'évaluation de l'exposition professionnelle aux NOAA, nous avons exposé six types de micro-capteurs à des aérosols produits à partir de neuf poudres différentes composées de composées de Nano-Objets, Aggrégats et Agglomérats (NOAA). Une grande variabilité des réponses en fonction des aérosols générés est observée, quel que soit le type de micro-capteur, ne permettant pas de garantir une détermination précise des concentrations massiques (PMx) et numériques (PNx). Néanmoins, ces capteurs possèdent tous des réponses linéaires qui pourraient être calibrées vis-à-vis des aérosols mesurés.

ABSTRACT

As part of prenormative research that was initiated by CEN / TC137 to study the application of aerosol micro-sensors for the assessment of occupational exposure to NOAAs, we have exposed six types of sensors to nine different powders constituted by Nano-Objects, Aggregates and Agglomerates (NOAA). A great variability of the responses in function of the powders generated was observed, whatever the type of sensor. It does not make it possible to guarantee a precise determination of the PMx and PNx. However, all these sensors have linear responses that can be calibrated regarding the measured aerosols.

MOTS-CLES : Micro-capteur, NOAA, performance **KEYWORDS :** Low-cost sensor, NOAA, Performance

1. INTRODUCTION

Dans le cadre du mandat M/461 de la Commission Européenne aux organismes de normalisation (dont le CEN) portant sur le développement de méthodes pour la « caractérisation des nanomatériaux et des expositions aux nanomatériaux » (CE-DGEI, 2010), un projet de recherche prénormative intégrant plusieurs partenaires français et européen a été mis en place. L'objectif de ces travaux est de produire de nouvelles connaissances techniques, indispensables au développement d'un document normatif de type spécification technique (TS), sur la mesure de l'exposition aux NOAA à l'aide de micro-capteurs d'aérosol à bas coûts (Low-Cost aerosol Sensors, LCS). Six types de LCS différents ont ainsi été exposés à 9 poudres de NOAA de nature chimique variée en laboratoire.

Les contours de ce projet ayant été présentés lors du CFA 2021 (SUTTER et al., 2021), l'objet de cette communication est de présenter (1) une synthèse des performances de ces capteurs vis-à-vis des poudres de NOAA utilisées en les comparant à des instruments de référence et (2) les premières conclusions quant à leur utilisation sur les lieux de travail.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. LCS retenus

Six capteurs en version OEM (capteur seul sans connectique, en anglais *Original Equipment Manufacturer*) ont été sélectionnés pour le projet (Tableau 1).

Les valeurs retournées par ces capteurs sont variables d'un dispositif à l'autre, mais essentiellement focalisées sur les concentrations massiques en fractions environnementales (PMx). Aucun de ces capteurs ne renvoie de fractions liées à la santé au travail (inhalable, thoracique et alvéolaire, définies par la norme EN 481 (AFNOR, 1993).

DOI : 10.25576/ASFERA-CFA2022-27952 Cet article est publié sous la seule responsabilité de ses auteurs

Tableau 1: LCS retenus pour l'évaluation de leurs performances.

		OPC-R1	Next-PM	Next-PM CR	Nova Fitness SDS011	PMS 7003	Sensirion SPS30
Mesurandes							
PNx	PN0.5						x
	PN1	x	x				x
	PN2.5	x	x				x
	PN4						x
	PN10	x	x				x
PMx	PM1	x	x			x	x
	PM2.5	x	x		x	x	x
	PM4						x
	PM10	x	x		x	x	x
Granulométries		16 canaux 0.35 - 12.4 µm	-	5 canaux 0.3 - 10 µm	-	6 canaux 0.3 - 10 µm	5 canaux 0.3 - 10 µm

2.2. Poudres de NOAA retenues pour la production d'aérosols d'essais

Au total, 9 poudres répondant aux critères de définition des NOAA (ISO, 2015) ont été utilisées pour générer des aérosols variés dans le cadre de cette étude. Elles ont été sélectionnées soit pour leur représentativité des NOAA présents dans les atmosphères de travail ($BaSO_4$, Black Carbon C44, SiO_2 Syloïd et TiO_2 HSSA), soit pour leurs caractéristiques physiques (en particulier leur couleur, poudres pigmentaires de couleur bleue, azure, noir, jaune et rouge, toutes basées sur de la sépiolite (argile de structure fibreuse).

2.3. Moyens et méthode de génération des aérosols d'essais

La Figure 1 présente un schéma du dispositif expérimental déployé pour ces tests. Les poudres ont été générées par voie sèche (Topas, SAG 410U) au sein d'un tunnel aéraulique à basse vitesse. Trois concentrations massiques ont été visées pour chaque poudre : 100, 500 et 1000 $\mu g.m^{-3}$. Des plateaux de concentration de 480, 120 et 60 minutes ont été réalisés respectivement pour chaque condition. Les conditions aérauliques dans le tunnel sont représentatives des conditions dites « d'air calme » ($U = 15\ cm.s^{-1}$), fréquemment rencontrées dans les lieux de travail et permettent d'obtenir une homogénéité de l'aérosol importante (écart maximal à la moyenne < 5 %).

Les réponses de trois spécimens de chaque type de LCS (18 LCS exposés simultanément) sont comparées à de la métrologie de référence. Les fractions PM_1, $PM_{2.5}$ et PM_4 sont déterminées par des prélèvements réalisés sur des filtres PTFE 37 mm contenus dans des porte-filtres (BGI, 4132) en aval de cyclones (PM4 : BGI GK2.69 à 4.2 $L.min^{-1}$, PM2.5 : BGI SCC1.197 à 2.27 $L.min^{-1}$, PM1 : BGI SCC1.197 à 5 $L.min^{-1}$) pour une analyse gravimétrique de la masse de particules collectée. La fraction PM_{10} est déterminée en temps réel par un TEOM (Thermo-Fischer Scientific, 1405) dont le prélèvement de l'aérosol dans le tunnel se fait au travers d'un cyclone BGI, SCC2.354 au débit de 2.42 $L.min^{-1}$. Les PNx et la granulométrie de l'aérosol sont mesurés en temps réel à l'aide d'un compteur optique de particules (Fidas Frog, Palas).

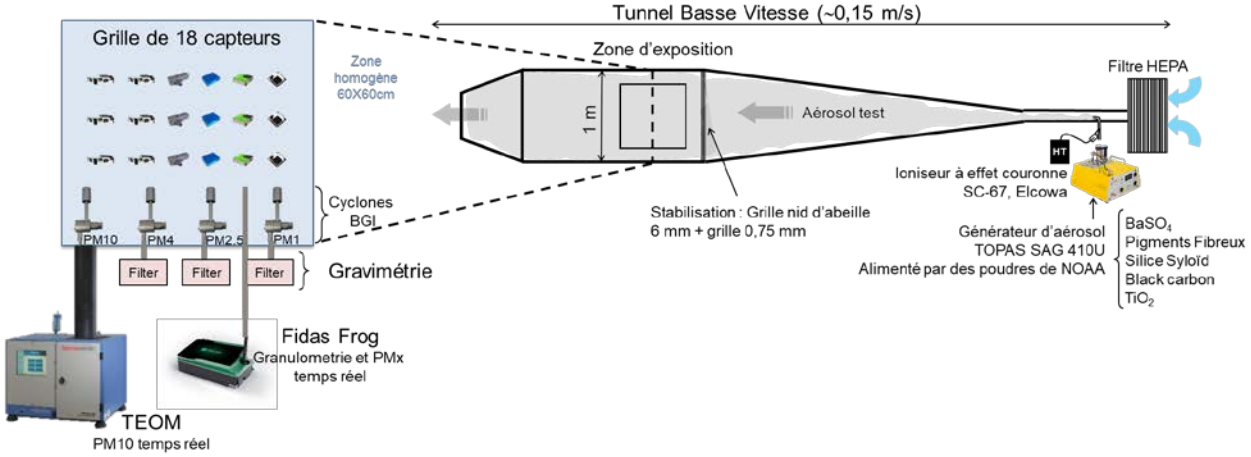

Figure 1. Dispositif expérimental d'exposition des capteurs aux poudres de NOAA

L'acquisition des données des LCS se réalise via une application Labview® spécifiquement développée pour cette étude.

3. RESULTATS

3.1. PMx et PNx

Chaque détermination de PMx et PNx par les capteurs a été comparée aux valeurs de PMx et PNx mesurées en parallèle et au même moment par la métrologie de référence. Des diagrammes de parité ont été construits pour observer la corrélation entre les PMx ou PNx issus des LCS et les PMx ou PNx de référence.

DOI : 10.25576/ASFERA-CFA2022-27952
Cet article est publié sous la seule responsabilité de ses auteurs

A titre d'exemple, la Figure 2 présente les résultats de comparaison des PM_{10} mesurés par les capteurs Alphasense OPC-R1 pour toutes les poudres générées. Les barres d'erreur correspondent à 2 écart-types calculés sur les valeurs de PM_{10} mesurées pendant le temps d'exposition considéré.

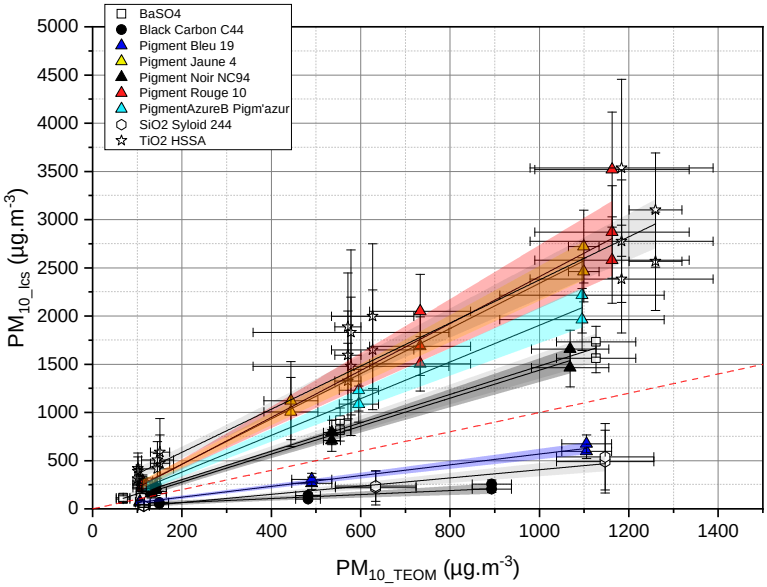

Figure 2 : Comparaison des mesures de PM_{10} par les Alphasense OPC-R1 avec les mesures de référence des PM_{10} par le TEOM couplé au cyclone X.

Pour chacune des poudres, les $PM_{10_OPC\text{-}R1}$ et PM_{10_TEOM} évoluent de façon proportionnelle en fonction de la concentration massique de l'aérosol généré. Des régressions linéaires peuvent être réalisées avec des coefficients de détermination $R^2 \geq 0.92$. Néanmoins, en fonction des poudres, les pentes des régressions linéaires sont très variables et parfois très éloignées de la droite de référence 1:1 (pente minimale de 0.202 obtenue pour le Black Carbon C44, pente maximale de 2.356 obtenue pour le pigment Rouge).

Quel que soit le type de capteur, les mêmes observations de réponse proportionnelle avec les mesures de référence de PMx et PNx et de forte variabilité des pentes de régressions linéaires en fonction des poudres peuvent être faites. La Figure 3 présente une synthèse de toutes les pentes déterminées pour tous les PMx en fonction du type de capteur et des poudres testées.

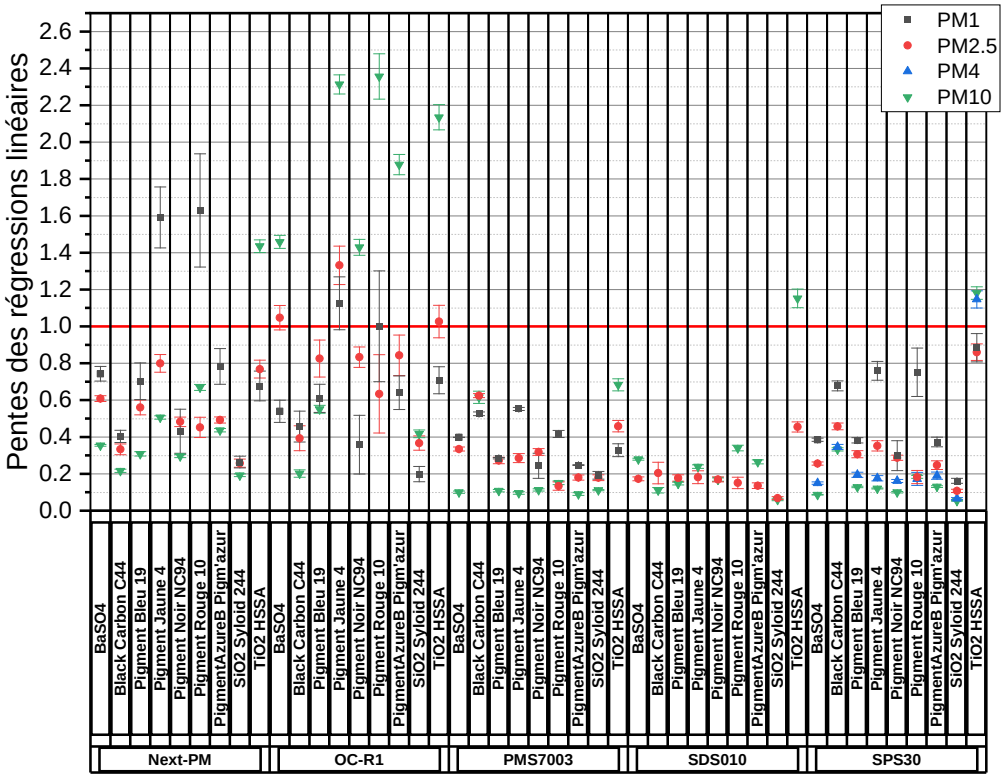

Figure 3 : Pentes moyennes des régressions linéaires déterminées sur les PMx pour les capteurs de même type en fonction des poudres. Les barres d'erreur correspondent à 2 écart-types sur la moyenne des pentes des trois spécimens par type de LCS.

DOI : 10.25576/ASFERA-CFA2022-27952
Cet article est publié sous la seule responsabilité de ses auteurs

Parmi les capteurs testés, aucun n'obtient de mesures systématiquement cohérentes avec les mesures de référence des PMx ou des PNx.
On observe des pentes significativement différentes en fonction du type de capteurs et en fonction des poudres. Les capteurs Plantower PMS7003 (PMS) et les capteurs Novafitness SDS010 présentent tous deux des pentes très inférieures à 1, quelle que soit la nature de la poudre, et la fraction PMx considérée. En revanche, le capteur Alphasense OPC-R1 possède une très forte variabilité des pentes de régressions linéaires en fonction des poudres et des fractions PMx (sur une gamme de 0.3 à 2.7).
Ces variabilités de réponse entre les types de capteurs et pour toutes les poudres sont dues aux méthodes de mesure de ceux-ci, basées sur une détermination optique par diffusion de lumière des tailles et des concentrations de particules avec des systèmes laser - capteurs optiques différents. De plus, chaque type de capteur possède son propre micro logiciel de conversion de la mesure optique pour produire des valeurs de PMx et de PNx. La prise en compte de l'indice de réfraction réel des particules ainsi que de leur morphologie et de leur masse volumique est impossible, et des valeurs par défaut sont appliquées pour ces calculs de conversion.

3.2. Granulométrie

Les capteurs Next-PM CR, PMS7003 et SPS30 renvoient des concentrations particulaires en nombre sous la forme de 5 classes de tailles, alors que le capteur OPC-R1 renvoie cette information selon 16 classes. Les fréquences cumulées ont été déterminées et comparées avec celles du FIDAS® Frog. Les différences δf entre les courbes cumulées des capteurs et celles de l'appareil de référence ont été déterminées en fonction de la taille des particules, des poudres et du type de capteur. Les figures 4 et 5 présentent des exemples de courbes de δf pour deux types de capteurs.

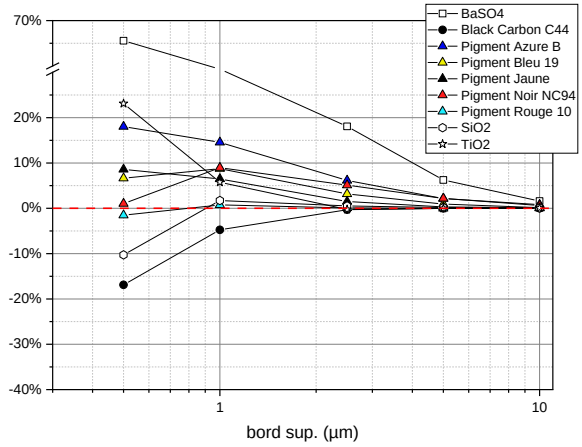

Figure 4 : $\delta f = f(dp)$ PMS7003.

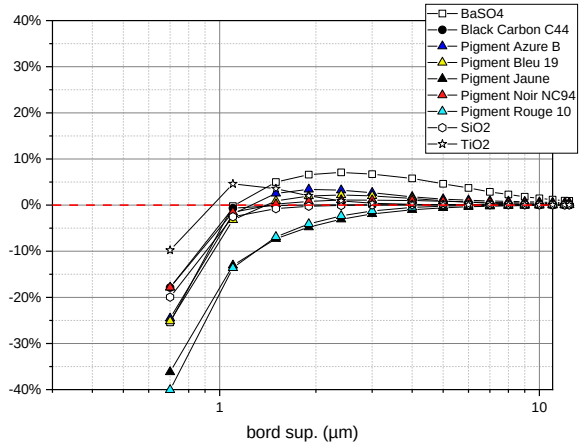

Figure 5 : $\delta f = f(dp)$ OPC-R1.

L'écart δf évolue différemment en fonction des poudres, du diamètre des particules et des capteurs. Globalement, au-delà d'un diamètre de 1 µm, les écarts relatifs de mesure sur la granulométrie de l'aérosol sont inférieurs à ± 10 % quelle que soit la poudre testée.

4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les tests de performance de 6 LCS sur 9 poudres de NOAA aux propriétés différentes ont démontré une grande variabilité des réponses fournies par ces capteurs par rapport à la métrologie de référence, que ce soit pour la détermination des fractions massiques PMx ou des fractions numériques PNx.
Néanmoins, tous les capteurs testés ont une réponse proportionnelle à la métrologie de référence. Cela indique qu'il serait possible, avec calibrage ou correction postérieure à la mesure, d'obtenir une estimation correcte des PMx et PNx à partir de ces capteurs. Par ailleurs, les déterminations des distributions granulométriques entre 0,3 et 10 µm apparaissent satisfaisantes et peuvent être utile pour une estimation de celles-ci sur les lieux de travail.
Des essais interlaboratoires avec les partenaires européens sont prévus pour évaluer entre autres l'effet du vieillissement et de l'encrassement de ces capteurs, ainsi que la variabilité des performances des spécimens de capteurs de même type en fonction des fournisseurs retenus. D'autres actions d'évaluation sur des lieux de travail sont aussi au programme de ces travaux de recherche prénormative.

AFNOR. (1993). NF EN 481:1993—Atmosphères des lieux de travail—Définition des fractions de taille pour le mesurage des particules en suspension dans l'air. AFNOR.
ISO. (2015). ISO/TS 12901-1:2015—Nanotechnologies—Occupational risk management applied to engineered nanomaterials—Part 1: Principles and approaches.
SUTTER, B., BAU, S., SIMON, X., PAYET, R., BOIVIN, A., WITSCHGER, O., BESCOND, A., & GAIE-LEVREL, F. (2021). NOAA LCS: Un projet de recherche prénormatif sur l'application des micro-capteurs d'aérosols pour la mesure des NOAA sur les lieux de travail. https://doi.org/10.25576/ASFERA-CFA2021-24821