

Rapport d'études

Influence de différents types d'aérosols atmosphériques modèles sur la réponse de systèmes capteurs en laboratoire

Novembre 2025



Groupement d'intérêt scientifique



«L'expertise au service de la qualité de l'air»



Travaux réalisés par
LNE
dans le cadre du

Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l’Air

Influence de différents types d’aérosols atmosphériques modèles sur la réponse de systèmes capteurs en laboratoire

Tatiana Macé - LNE

Vérification : Axel Fouqueau - LNE

Approbation : Paola Fiscaro - LNE, le 25 novembre 2025

Liste des personnes ayant participé à l’étude

Alexandre Bescond – LNE, François Gaie-Levrel - LNE

Table des matières

1	INTRODUCTION	9
2	OBJECTIF DE L'ETUDE	9
3	ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	10
4	DESCRIPTION DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL	11
4.1	Configuration du dispositif expérimental pour un aérosol minéral	11
4.2	Configuration du dispositif expérimental pour un aérosol organique	13
5	CARACTERISATION DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL	14
5.1	Caractérisation de la stabilité temporelle de la fraction minérale au sein de la chambre d'exposition	14
5.2	Caractérisation du système de prélèvement sur la réponse des instruments de référence d'aérosols	16
6	DETERMINATION DES PERFORMANCES METROLOGIQUES D'INSTRUMENTS DE MESURE EN ENVIRONNEMENT CONTROLE	17
6.1	Systèmes capteurs exposés à une source d'aérosol minéral	18
6.2	Instruments portables exposés à une source d'aérosols organiques	21
6.3	Systèmes capteurs exposés à un aérosol atmosphérique modèle	23
7	CONCLUSION ET PERSPECTIVES	24
8	RÉFÉRENCES	25

Résumé

Le LCSQA-LNE a développé une plateforme instrumentée d'évaluation des performances métrologiques d'instruments de mesure de la concentration massiques ou en nombre des particules dans un environnement contrôlé en température et humidité relative.

Cette étude présente le développement de la plateforme instrumentée d'évaluation, sa configuration ainsi que sa caractérisation. Cette plateforme est opérationnelle pour la génération de différentes natures d'aérosols à différentes concentrations et pour diverses conditions de température et d'humidité relative. Elle permet de déterminer les performances métrologiques des instruments en termes de justesse, de répétabilité, de reproductibilité, de linéarité et d'évaluer l'influence de la température et de l'humidité relative sur leurs réponses.

Cette étude résume également les résultats expérimentaux obtenus en testant des instruments de mesure avec cette plateforme instrumentée. Les essais ont consisté à comparer une vingtaine d'instruments de mesure tels que des systèmes capteurs, mais également des instruments portables provenant de différents fabricants avec des analyseurs de référence, en générant différents types d'aérosols et en faisant varier la température et l'humidité relative. Les essais montrent que ces instruments (systèmes capteurs/instruments portables) de marques différentes peuvent avoir des comportements très différents entre eux, alors que les principes de mesure sont identiques. Dans l'ensemble, les réponses de ces instruments sont linéaires par rapport aux méthodes de référence ; quant à la justesse des mesures effectuées par ces instruments, certains ont tendance à sous-estimer les concentrations en particules, alors que d'autres ont tendance à les sur-estimer. Enfin, les expérimentations menées mettent en évidence que l'influence de l'environnement atmosphérique (température et humidité relative) sur les réponses des instruments pour un aérosol d'essai donné et à différentes concentrations générées dépend des instruments considérés et peut être importante dans certaines conditions testées.



Abstract

The LCSQA-LNE has developed an instrumented platform for evaluating the metrological performance of instruments that measure particle mass or number concentrations in a controlled environment in terms of temperature and relative humidity.

This study presents the development of the instrumented evaluation platform, its configuration and its characterisation. This platform is operational for generating different types of aerosols at different concentrations and under various temperature and relative humidity conditions. This platform allows to determine the metrological performance of instruments in terms of accuracy, repeatability, reproducibility and linearity, and to assess the influence of temperature and relative humidity on their responses.

This study also summarises the experimental results obtained by testing measuring instruments with this instrumented platform. The tests consisted of comparing about twenty instruments, such as sensors and portable devices from different manufacturers, with reference analysers, generating different types of aerosols and varying the temperature and relative humidity. The tests show that these instruments (sensors/portable devices) from different manufacturers can behave very differently from one another, even though the measurement principles are identical. Overall, the responses of these instruments are linear in relation to the reference methods; as for the accuracy of these instruments, some underestimate particle concentrations, while others overestimate them. Finally, the experiments conducted show that the influence of the atmospheric environment (temperature and relative humidity) on the responses of the instruments for a given test aerosol and at different concentrations generated depends on the instruments considered and can be significant under certain conditions tested.

1 Introduction

Dans un contexte réglementaire de plus en plus contraignant et face à un besoin croissant de priorisation des actions et des moyens, ainsi que de connaissances et d'informations en temps réel, une multitude d'outils innovants à même de fournir des indications ou des mesures de la pollution chimique, microbiologique ou biologique a vu le jour depuis ces dernières années.

De nombreuses entreprises et start-up se sont en effet lancées dans la fabrication et la commercialisation de systèmes capteurs pour les mesures de la pollution atmosphérique. Leur principal avantage est leur faible prix et leur capacité à améliorer la couverture spatio-temporelle pour la surveillance de la qualité de l'air.

Dans le cas des mesures de PM_{10} , $PM_{2,5}$ et PM_{10} , la plupart des systèmes capteurs se base sur la diffusion de la lumière des particules associée à un système de détection placé à $90^\circ C$ par rapport au trajet optique du faisceau. La mesure de base associée à ces systèmes capteurs concerne le comptage d'évènements lorsqu'un flux d'aérosol passe à travers un faisceau de lumière pour un débit volumique donné, à savoir la concentration en nombre de particules. Pour convertir cette donnée en concentration massique de particules en termes de PM_{10} et $PM_{2,5}$, il est nécessaire de considérer des facteurs de conversion adaptés dont la détermination peut se faire par l'intermédiaire d'un étalonnage en laboratoire avec une forte dépendance avec la taille, l'indice de réfraction et la densité effective de l'aérosol étalon impliqué. Différentes études ont permis d'évaluer ces systèmes capteurs pour différentes sources d'aérosols (Litton, 2002a, 2002b). Une première comparaison expérimentale avec une mesure massique de référence (TEOM) a mis en évidence la capacité de ces systèmes capteurs à répondre de manière linéaire à un type d'aérosol submicronique et micronique (Litton, Smith, Edwards & Allen, 2004).

Néanmoins, de nombreuses questions apparaissent autour de la justesse et de la fiabilité des mesures associées à ces systèmes capteurs notamment en lien avec les variations des facteurs environnementaux tels que la température et l'humidité relative rendant indispensable l'évaluation de ces dispositifs afin de s'assurer de leurs performances métrologiques et de l'adéquation des informations délivrées en fonction du niveau d'exigence souhaité.

Cette évaluation qui doit être effectuée pour différents polluants, à différentes concentrations et dans diverses conditions environnementales constitue donc un véritable enjeu pour s'assurer de la fiabilité de la mesure de ces systèmes capteurs.

2 Objectif de l'étude

L'objectif de l'étude était donc de développer une plateforme instrumentée d'évaluation des performances métrologiques d'instruments de mesure des particules dans un environnement contrôlé en température et humidité relative.

La première étape a consisté à développer et à caractériser une plateforme instrumentée d'évaluation associée à la génération d'aérosols et à la mesure de valeurs de référence en particules autour d'une chambre d'exposition.

La seconde étape a porté sur la mise en œuvre de cette plateforme instrumentée afin d'évaluer des instruments tels que des systèmes capteurs, mais également des instruments portables à différents niveaux de concentrations massiques ou en nombre de particules et dans diverses conditions environnementales (température et humidité relative).

3 Etude bibliographique

Au cours de ces dernières années, plusieurs études sur la détermination des performances de systèmes capteurs ont été réalisées en utilisant des chambres d'exposition, permettant ainsi de travailler en atmosphère contrôlée (Austin et al., 2015; Jayaratne et al., 2018; Liu et al., 2017; Sousan et al., 2016; Spinelle et al., 2013; Wang et al., 2015; Williams et al., 2014). Dans son protocole d'évaluation des systèmes capteurs pour la mesure des polluants gazeux (Spinelle et al., 2013), le JRC (Joint Research Centre) indique que la chambre d'exposition utilisée doit répondre aux critères suivants :

- Avoir une capacité suffisante pour pouvoir accueillir simultanément plusieurs systèmes capteurs et disposer ainsi d'une meilleure représentativité de leur processus de fabrication,
- Etre constituée de matériaux inertes tels que le verre, le polytétrafluoroéthylène (PTFE) ou l'acier inoxydable, afin de limiter les interactions du polluant mesuré avec les parois,
- Etre équipée de systèmes permettant de mesurer, contrôler et changer la concentration du polluant injecté et de ses éventuels interférents, ainsi que la température et l'humidité relative; un contrôle de la pression et de la vitesse de vent dans la chambre peut également être nécessaire,
- Permettre un prélèvement du polluant considéré par l'ensemble des instruments de mesure (systèmes capteurs testés et instruments de référence),
- S'assurer de l'homogénéité des concentrations dans l'ensemble de la zone de prélèvement, sans perturbation entre les différents instruments, car l'évaluation des systèmes capteurs ne se fait que par comparaison entre les mesures réalisées par les systèmes capteurs et celles fournies par l'instrument de référence.

Des systèmes capteurs utilisés pour les mesures de concentrations des polluants gazeux (O_3 et NO_2) ont été évalués dans une étude (Williams et al., 2014) via l'utilisation d'une chambre cylindrique en verre où la température et l'humidité relative étaient contrôlées par un système de climatisation associé à des blocs chauffants, de la carboglace et un système d'humidification par barbotage. Un système similaire de contrôle en température et humidité relative a également été utilisé dans une étude pour évaluer 3 systèmes capteurs de mesure des concentrations particulières (Wang et al., 2015), réalisée dans une chambre rectangulaire en acrylique. Ce système de contrôle est cependant limité en termes de diversité et de précision des points de fonctionnement que l'on souhaite appliquer (variation de la température et de l'humidité relative).

La chambre d'exposition utilisée par le JRC présente une forme d'anneau isolé en verre dans lequel l'air circule. Cette chambre permet d'évaluer des systèmes capteurs utilisés pour les mesures de concentrations des polluants gazeux dans des conditions contrôlées de température, d'humidité relative, de vitesse de vent et de concentrations d'interférents gazeux. Des capteurs de mesure d' O_3 , NO_2 , NO et CO (Spinelle et al., 2014, 2017) ont notamment pu être évalués dans cette chambre. Bien que cette chambre remplisse tous les critères définis ci-dessus, elle n'est cependant pas adaptée à l'évaluation de systèmes capteurs de mesure des concentrations particulières, car la circulation en continu d'air dans la chambre est contrôlée par un ventilateur, dont le fonctionnement est peu compatible avec la présence d'aérosols.

L'utilisation d'une enceinte climatique (Papapostolou et al., 2017) apparaît plus adaptée pour un contrôle précis en température et humidité relative. Cependant, injecter directement les polluants dans l'enceinte peut soulever des problèmes d'un point de vue du contrôle de l'homogénéité des polluants dans l'enceinte, d'interactions des polluants avec les parois et de simplicité de nettoyage de la chambre entre les essais. Pour pallier ces problèmes, l'utilisation d'une chambre d'exposition

dans une enceinte (Redon et al., 2016) semble donc plus adaptée pour une utilisation répétée à divers taux de concentration de polluants.

A la suite de l'étude bibliographique effectuée, il a été conclu qu'il serait difficile de développer une plateforme instrumentée opérationnelle pour les gaz et les particules, notamment en termes de compatibilité entre les gaz/particules et le matériau de la chambre d'exposition (verre/PTFE pour les gaz et acier inoxydable pour les particules). De ce fait, il a été décidé de se concentrer sur les particules et donc de développer une plateforme instrumentée pour l'évaluation des instruments de mesure des concentrations de particules.

En se basant sur les résultats de l'étude bibliographique, il a été ensuite défini que le banc développé par le LCSQA-LNE serait constitué des éléments suivants :

- Une enceinte climatique permettant le contrôle et le changement de la température entre -10°C et 40°C, avec un volume suffisant pour accueillir la chambre d'exposition. Cette enceinte devait être dotée de plusieurs passe-cloisons pour permettre l'injection du polluant, le prélèvement par les instruments de référence et le branchement des systèmes capteurs à évaluer,
- Une chambre d'exposition construite dans un matériau le plus inerte possible pour les aérosols à évaluer qui devait être placée dans la chambre climatique et qui devait se stabiliser rapidement à la température désirée et résister aux changements répétés de température. Cette chambre devait également posséder des passe-cloisons pour permettre l'injection des aérosols, le prélèvement par les instruments de référence et le branchement des systèmes capteurs à évaluer,
- Un système d'air de dilution (régulateurs de débit massique, filtration...),
- Un système d'humidification de l'air de dilution,
- Des systèmes de génération d'aérosols (voie sèche et voie humide),
- Des instruments de référence pour chaque aérosol mesuré.

Ainsi, le LCSQA-LNE a développé une plateforme instrumentée dédiée à l'évaluation des performances métrologiques des instruments de mesure des particules (systèmes capteurs et instruments portables). Une enceinte climatique permettant de réguler la température entre -10°C et 40°C intègre une chambre d'exposition ayant un volume utile d'environ 200 L et des voies d'injection pour les aérosols. La circulation d'air dans la chambre d'exposition est réalisée grâce à 4 ventilateurs à vitesse réglable et d'une plaque en nid d'abeille. Cette plateforme instrumentée dispose d'un système d'humidification permettant de faire varier l'humidité relative entre 10% et 90%. Elle permet de générer un aérosol au sein de la chambre d'exposition, et ceci pour chaque point de fonctionnement en température et humidité relative afin de permettre une évaluation réaliste des performances métrologiques des instruments de mesure.

4 Description du dispositif expérimental

4.1 Configuration du dispositif expérimental pour un aérosol minéral

La plateforme instrumentée développée dans le cas de la génération d'un aérosol minéral est présentée à la Figure 1 et est composée de trois parties.

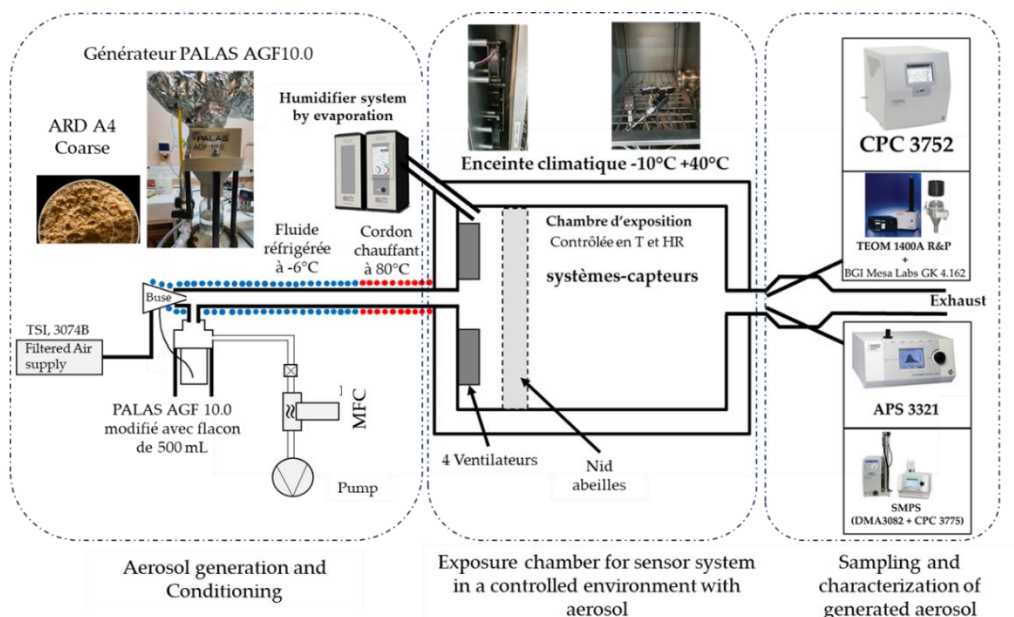


Figure 1 : Dispositif expérimental pour l'évaluation des performances de systèmes capteurs/instruments portables pour l'aérosol d'« arizona dust ».

Pour générer l'aérosol minéral, il est utilisé de la poudre d'Arizona Road Dust (ARD) A4 Coarse (Powder technologies Inc.) qui est aérosolisée à l'aide d'un générateur en voie humide AGF10.0 (PALAS). L'utilisation d'un générateur en voie humide offre une stabilité temporelle de génération avec cependant une contribution associée à la nébulisation de l'eau qu'il est nécessaire de contrôler. Ainsi, un système de conditionnement en température du générateur a été réalisé pour permettre de réduire significativement cette contribution liée à l'eau injectée dans la chambre d'exposition. Pour permettre le contrôle des différents paliers de concentrations, un régulateur de débit massique a été couplé au système de génération. De plus, le contrôle de l'humidité relative est réalisée grâce à un système d'humidification par évaporation (2MProcess) connectée à la chambre d'exposition.

Cette chambre d'exposition est composée de deux zones. La première zone permet l'injection et l'homogénéisation de l'aérosol à l'aide de 4 ventilateurs pilotables et d'une modulation de largeur d'impulsion (PWM, Pulse Width Modulation). La vitesse de rotation des ventilateurs a été fixée à 1080 tr.min⁻¹. La seconde zone est séparée de la première à l'aide d'un nid d'abeilles et permet l'exposition des instruments à tester (cf. Figure 2).



Figure 1 : Présentation de la zone d'exposition des instruments à tester.

Enfin, un cône de prélèvement achemine l'aérosol vers la troisième partie de cette plateforme qui concerne les instruments de référence. Les mesures de distributions granulométriques en nombre sont réalisées grâce à un spectromètre de mobilité électrique (SMPS, TSI, DMA3082 + CPC 3775) et un spectromètre aérodynamique (APS3321, TSI). Les mesures de concentrations massiques PM₁₀ sont obtenues grâce à une microbalance à élément oscillant (TEOM 1400A, Thermo Scientific) couplé à un séparateur cyclonique (BGI Mesa Labs GK 4.162). La concentration en nombre est mesurée à l'aide d'un compteur à noyau de condensation (CPC 3752, TSI).

4.2 Configuration du dispositif expérimental pour un aérosol organique

La plateforme instrumentée développée dans le cas de la génération d'un aérosol organique est présentée à la Figure 3.

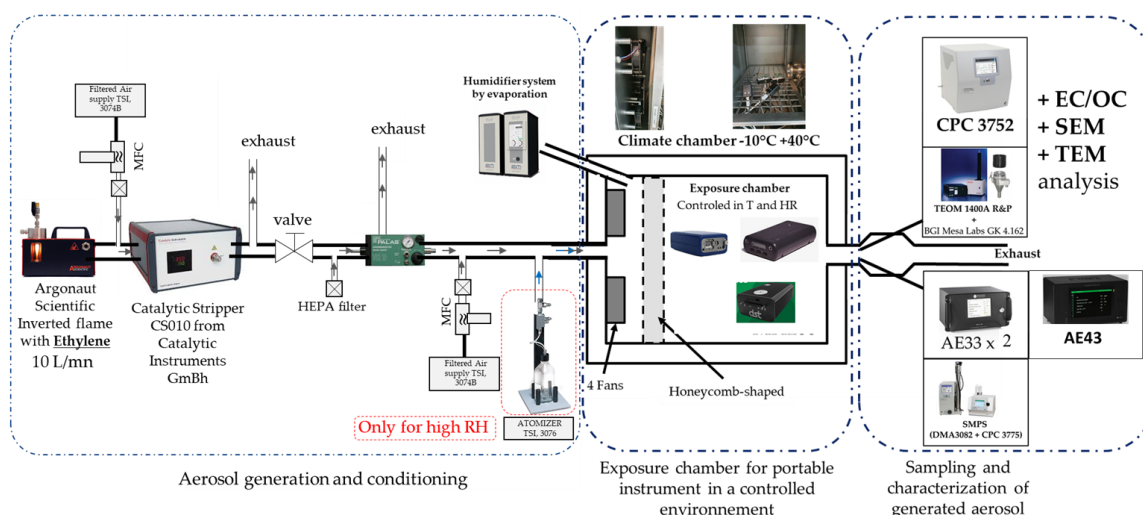


Figure 3 : Dispositif expérimental pour l'évaluation des performances de systèmes capteurs/instruments portables pour le carbone suie.

Pour générer l'aérosol organique, il convient de faire condenser des composés semi-volatils sur des noyaux de condensations. Pour cela, le banc capteur est équipé d'un système de génération de nanoparticules de suie, qui permet également l'exposition des systèmes capteurs à un aérosol de composé uniquement de « Black Carbon ». Elles sont produites à l'aide d'une flamme de diffusion inversée (MISG, Argonaut Scientific). L'aérosol de « carbone suie » ainsi produit passe par un four catalytique (CS010, Catalytic instruments GmbH) pour éliminer tous les composés organiques avant leur injection dans la chambre d'exposition. La distribution de la taille des particules en nombre dans la chambre d'exposition est mesurée à l'aide d'un spectromètre à mobilité électrique (TSI, SMPS). Les concentrations massiques particulières sont mesurées à l'aide d'une microbalance TEOM, les concentrations totales en nombre avec un compteur de particules à condensation (TSI, CPC 3752) et les concentrations en carbone suie avec deux aethalomètres (AE33, Magee Scientific) et un aethalomètre portable (AE43, Magee Scientific) utilisés comme méthode de référence. Cette méthode est basée sur le prélèvement d'air dans l'atmosphère à travers un filtre et la diminution de la transmission de la lumière à travers la zone de prélèvement est mesurée, puis convertie en une concentration massique de « carbone suie ».

5 Caractérisation du dispositif expérimental

5.1 Caractérisation de la stabilité temporelle de la fraction minérale au sein de la chambre d'exposition

Pour une température fixée à 20°C, plusieurs humidités relatives ont été testées, à 26,5% $\pm$ 0,7%, 27,1% $\pm$ 0,9%, 53,5% $\pm$ 0,3% et 83,6% $\pm$ 1,6%. Les incertitudes indiquées correspondent à l'estimation de la répétabilité sur la valeur d'humidité relative. Pour ces conditions, deux gammes de concentrations particulières ont été testées, à savoir la gamme 1 comprise entre 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et la gamme 2 comprise entre 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 1 mg/m^3 pour évaluer la robustesse de la plateforme instrumentée dans des conditions extrêmes de concentrations particulières et d'humidité relative.

L'expérimentation associée à la gamme 1 a été menée pour les conditions 26,5% $\pm$ 0,7% et 53,5% $\pm$ 0,3% et celle associée à la gamme 2 pour les conditions 27,1% $\pm$ 0,9% et 83,6% $\pm$ 1,6%.

Les mesures réalisées avec un TEOM et un compteur à noyaux de condensation (CPC) ont permis d'obtenir respectivement les concentrations massiques totales pour la fraction PM₁₀ et en nombre et sont représentées sur les Figures 4 et 5. Les valeurs de concentrations massiques et en nombre sont reportées dans le Tableau 1 ci-après. Quatre paliers de concentrations massiques particulières ont été définis pour les différentes conditions d'humidité relative 26,5% $\pm$ 0,7%, 27,1% $\pm$ 0,9%, 53,5% $\pm$ 0,3% et 83,6% $\pm$ 1,6% à une température de 20°C.

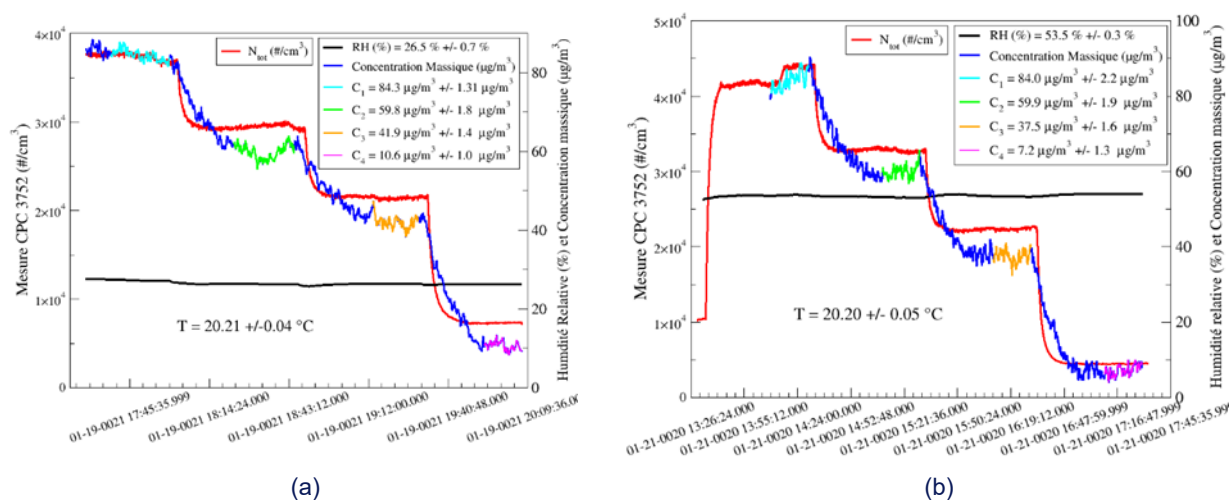
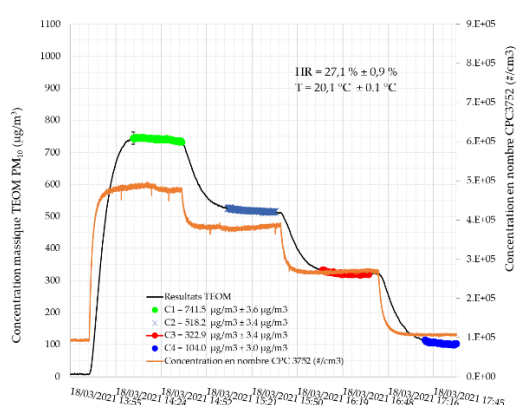
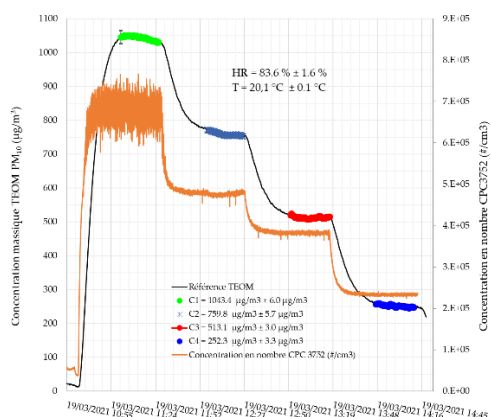


Figure 4 : Concentrations massiques PM₁₀ (TEOM) et concentrations en nombre totales (CPC 3752) pour des conditions de température à 20,20 °C $\pm$ 0,05 °C et d'humidités relatives (a) - 26,5% $\pm$ 0,7% et (b) - 53,5% $\pm$ 0,3%.



(a)



(b)

Figure 2 : Concentrations massiques PM₁₀ (TEOM) et concentrations en nombre totales (CPC 3752) pour des conditions de température à 20,1 °C ± 0,1 °C et d'humidités relatives (a) - 27,1% ± 0,9% et (b) - 83,6% ± 1,6%.

Tableau 1 : Caractérisation de la chambre d'exposition à différentes humidités relatives et concentrations particulaires pour une température de 20°C.

Température (°C)	Humidité relative (%)	Concentration massique particulaire (µg/m³)	Concentration en nombre particulaire (#/cm³)
20,20±0,05	26,5±0,7	84,3±1,3	3,7.10 ⁴ ± 3,4.10 ²
		59,8±1,8	2,9.10 ⁴ ± 1,9.10 ²
		41,9±1,4	2,1.10 ⁴ ± 1,3.10 ²
		10,6±1,0	0,7.10 ⁴ ± 0,6.10 ²
	53,5±0,3	84,0±2,2	4,3.10 ⁴ ± 1,0.10 ³
		59,9±1,9	3,3.10 ⁴ ± 2,1.10 ²
		37,5±1,6	2,2.10 ⁴ ± 1,4.10 ²
		7,2±1,3	0,4.10 ⁴ ± 0,4.10 ²
20,1±0,1	27,1±0,9	741,5±3,6	4,8.10 ⁵ ± 5,6.10 ³
		518,2±3,4	3,8.10 ⁵ ± 3,8.10 ³
		322,9±3,4	2,7.10 ⁵ ± 2,6.10 ³
		104,0±3,0	1,1.10 ⁵ ± 1,2.10 ³
	83,6±1,6	1043,4±6,0	6,8.10 ⁵ ± 2,6.10 ⁴
		759,8±5,7	4,8.10 ⁵ ± 0,3.10 ⁴
		513,1±3,0	3,8.10 ⁵ ± 0,2.10 ⁴
		252,3±3,3	2,3.10 ⁵ ± 0,1.10 ⁴

En conclusion, l'écart-type maximal de stabilité obtenu pour la concentration massique lors des essais sur la gamme 10 à $85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ est de $2,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour des conditions d'humidité relative de $26,5\% \pm 0,7\%$ et de $53,5\% \pm 0,3\%$ à $20,20^\circ\text{C} \pm 0,05^\circ\text{C}$ et de $6,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la gamme $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à $1 \text{mg}/\text{m}^3$ dans des conditions d'humidité relative de $27,1\% \pm 0,9\%$ et de $83,6\% \pm 1,6\%$ à $20,1^\circ\text{C} \pm 0,1^\circ\text{C}$.

5.2 Caractérisation du système de prélèvement sur la réponse des instruments de référence d'aérosols

Le design mécanique de notre système de prélèvement a été réalisé par la société MecaSynergy. Ce système de prélèvement est composé de 3 tubes en acier inoxydable de 12 mm inclinés et insérés dans un DN40 (cf. Figure 6).



Figure 6 : Modélisation mécanique du système de prélèvement de l'aérosol dans la chambre d'exposition.

Dans le cadre de la validation de ce système de prélèvement, 3 paliers de concentrations de la fraction minérale ont été générés au sein de la chambre d'exposition. Les deux premiers tubes en acier inoxydable ont été connectés à deux appareils de référence TEOM et le dernier tube a été connecté à un appareil de référence PALAS PromoLED 2300. Les réponses obtenues avec chaque appareil de référence ont été comparés entre eux afin de caractériser le système de prélèvement.

La Figure 7 présente l'évolution temporelle de la concentration massique pour les 3 appareils de référence.

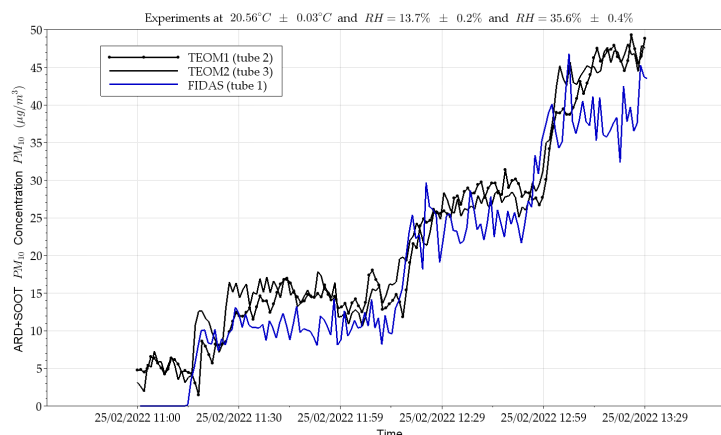


Figure 7 : Evolution temporelle de la concentration massique à la sortie des tubes en acier inoxydable du système de prélèvement.

La Figure 8 présente le graphique de corrélation entre les appareils de référence. On observe une bonne corrélation entre les deux TEOM avec une pente associée égale à 1,04.

La corrélation entre le PALAS PromoLED 2300 et le TEOM présente une pente égale à 0,92. Cette sous-estimation entre le PALAS PromoLED 2300 et le TEOM peut s'expliquer par une saturation de la détection des évènements du PALAS lors des fortes concentrations.

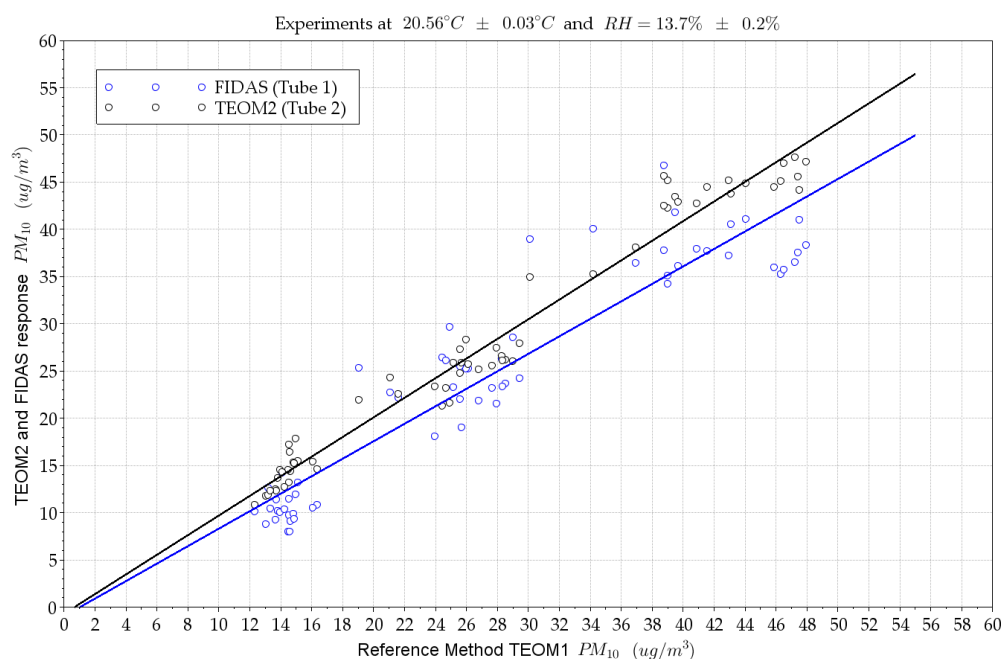


Figure 8 : Représentation de la réponse des deux appareils de référence FIDAS et TEOM2 en fonction de TEOM1 associé à chaque tube en acier inoxydable de prélèvement.

Globalement, les résultats obtenus montrent une bonne corrélation des résultats en concentrations massiques entre les différents appareils de référence associés au système de prélèvement de l'aérosol dans la chambre d'exposition, ce qui permet de valider l'utilisation du système de prélèvement composé de 3 tubes en acier inoxydable.

6 Détermination des performances métrologiques d'instruments de mesure en environnement contrôlé

Différents systèmes capteurs et instrumentations portables pour la mesure des concentrations massiques ou en nombre de particules ont été évalués par rapport aux méthodes de référence en mettant en œuvre la plateforme instrumentée développée par le LCSQA-LNE.

6.1 Systèmes capteurs exposés à une source d'aérosol minéral

Deux exemplaires de deux références de systèmes capteurs (2 exemplaires de systèmes capteurs SPS030 de la société Sensirion et 2 exemplaires de systèmes capteurs OPC-R1 de la société AlphaSense) ont été testés avec la plateforme instrumentée en aérosolisant de l'Arizona Dust (ARD) pour de faibles et plus fortes concentrations massiques de particules. 4 paliers de concentrations ont été générés entre 0 et 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (gamme 1) et entre 0 et 2000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (gamme 2). Les systèmes capteurs Sensirion et AlphaSense fournissaient les données PM_{10} avec une valeur toutes les 10 secondes. Les données ont été récupérées avec les logiciels propres à chaque société. Les données des systèmes capteurs ont été ensuite comparées aux valeurs de référence mesurées avec la méthode de référence TEOM.

Pour la gamme 1 de concentrations massiques (0 à 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), la Figure 9 présente les réponses temporelles des systèmes capteurs OPC-R1 et SPS030 pour deux conditions d'humidité relative. Les résultats montrent que les données associées aux systèmes capteurs SPS030 présentent un bruit plus important.

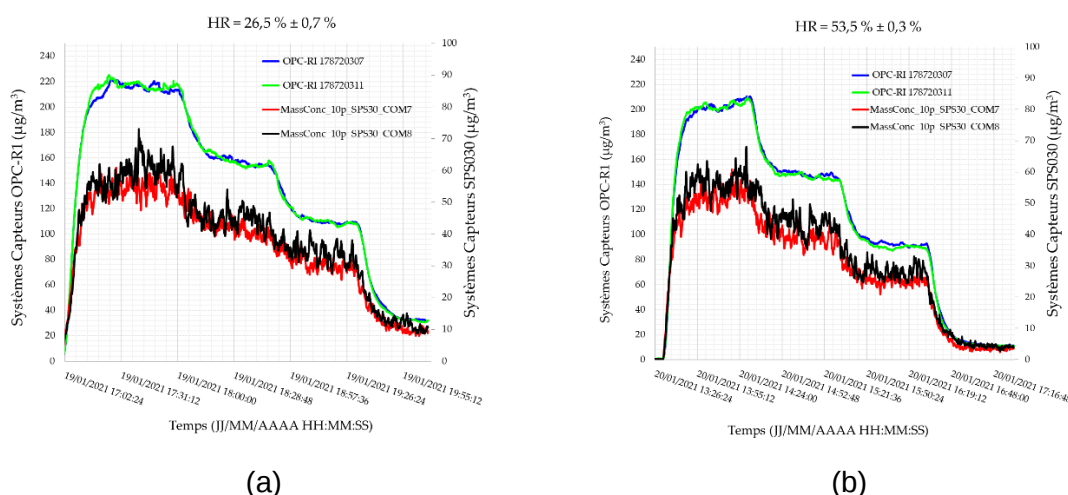
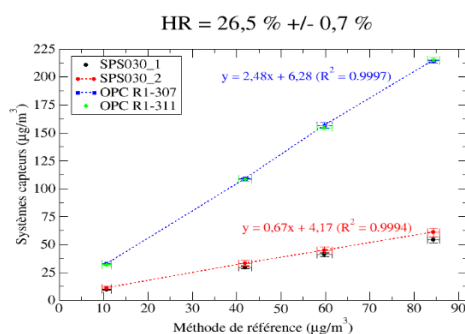


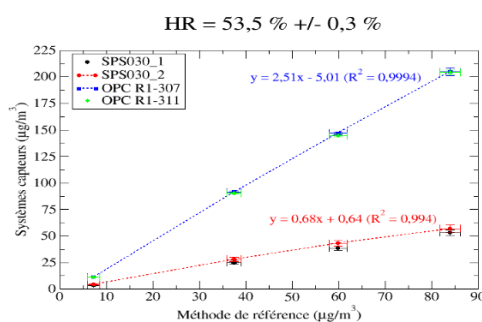
Figure 9 : Réponse temporelle associée au PM_{10} des systèmes capteurs pour des conditions de température à $20,20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,05\text{ }^{\circ}\text{C}$ et d'humidités relatives (a) $26,5\% \pm 0,7\%$ et (b) $53,5\% \pm 0,3\%$ (gamme 1).

Pour obtenir la pente et le coefficient de détermination linéaire R^2 pour chaque type de systèmes capteurs, une moyenne des données sur 20 min a été calculée pour chaque palier de concentration associée à la méthode de référence (TEOM) et pour les 4 systèmes capteurs présents dans la chambre d'exposition.

La Figure 10 présente les résultats de linéarité entre les réponses obtenues avec la méthode de référence (TEOM) et par les systèmes capteurs pour deux humidités relatives différentes.



(a) Linéarité des systèmes capteurs pour une humidité relative $HR_1 = 26,5 \%$



(b) Linéarité des systèmes capteurs pour une humidité relative $HR_2 = 53,5 \%$

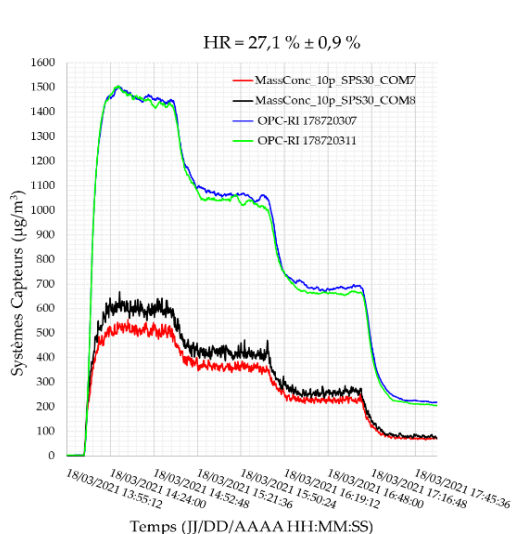
Figure 10 : Linéarité des systèmes capteurs en comparaison avec l'instrument de référence (TEOM PM₁₀) (gamme 1).

Les résultats montrent que la réponse des systèmes capteurs est parfaitement linéaire lorsqu'ils sont soumis à un aérosol de nature ARD.

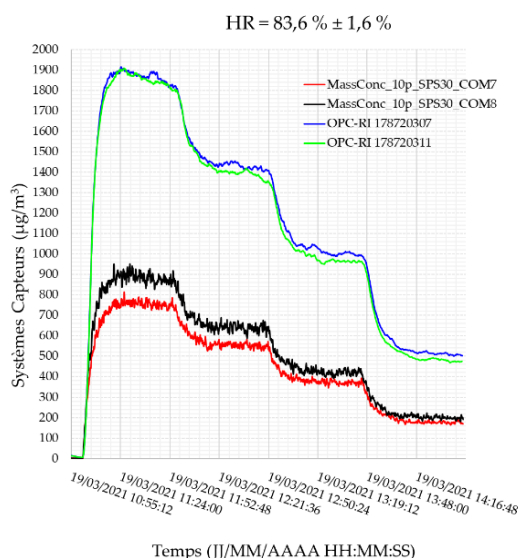
Cependant, les systèmes capteurs OPC-R1 présentent une surestimation très importante des concentrations massiques par rapport à la méthode de référence avec une pente autour de 2,50. Les systèmes capteurs SPS030 présentent une sous-estimation des concentrations massiques avec une pente de 0,68.

Enfin, les pentes obtenues pour les 2 types de capteurs ne sont pas significativement différentes aux 2 humidités testées, ce qui montre que l'humidité relative semble avoir peu d'influence sur la réponse de ces systèmes capteurs à $20,20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,05 \text{ }^\circ\text{C}$.

Pour la gamme 2 de concentrations massiques (0 à $2000 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$), la Figure 11 présente les réponses temporelles des systèmes capteurs OPC-R1 et SPS030 pour les deux conditions d'humidité relative associée à la gamme 2. Les résultats montrent que les données associées aux systèmes capteurs SPS030 présente un bruit plus important également à cette gamme de concentration.



(a)



(b)

Figure 11 : Réponse temporelle associée au PM₁₀ des systèmes capteurs pour des conditions de température à $20,20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,05 \text{ }^\circ\text{C}$ et d'humidités relatives (a) $27,1\% \pm 0,7\%$ et (b) $83,6\% \pm 1,6\%$ (gamme 2).

Pour obtenir la pente et le coefficient de détermination linéaire R^2 pour chaque type de systèmes capteurs, une moyenne des données sur 20 min a été calculée pour chaque palier de concentration associé à la méthode de référence (TEOM) et pour les 4 capteurs présents dans la chambre d'exposition.

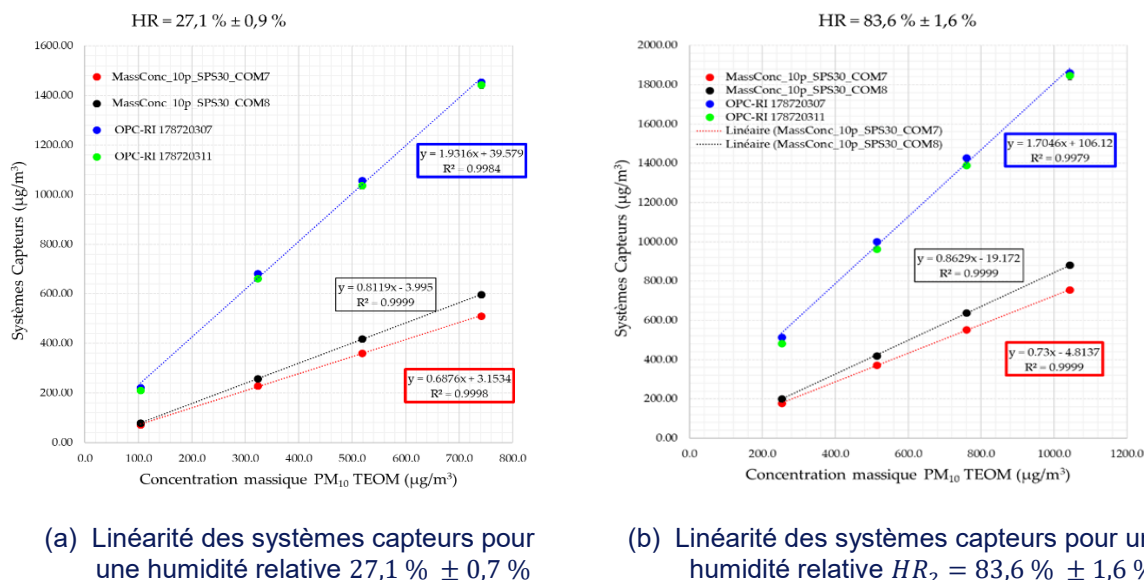


Figure 12 : Linéarité des systèmes capteurs en comparaison avec l'instrument de référence (TEOM PM10) (gamme 2).

La Figure 12 présente les résultats de linéarité entre les réponses obtenues avec la méthode de référence et par les systèmes capteurs pour des humidités relatives de 27,1 % ± 0,7 % et 83,6 % ± 1,6 %. On peut également observer que la réponse des systèmes capteurs est parfaitement linéaire lorsqu'ils sont soumis à un aérosol de nature ARD quel que soit le taux d'humidité relative.

Cependant, les systèmes capteurs OPC-R1 présentent une surestimation importante des concentrations par rapport à la méthode de référence avec une pente de 1,70 pour une humidité relative de 83,6 % ± 1,6 %. Les systèmes capteurs SPS030 présentent une sous-estimation des concentrations avec une pente située entre 0,73 et 0,86 à ce même taux d'humidité relative.

A une humidité relative de 27,1 % ± 0,7 %, la surestimation est également existante pour les systèmes capteurs OPC-R1 avec une pente de 1,93. Les systèmes capteurs SPS030 présentent quant à eux une sous-estimation des concentrations avec une pente située entre 0,69 et 0,81 à ce même taux d'humidité relative.

Enfin, les pentes obtenues pour les 2 types de capteurs sont voisines aux 2 humidités testées, ce qui montre que l'humidité relative semble avoir peu d'influence sur la réponse de ces systèmes capteurs à 20,2 °C ± 0,05 °C.

En conclusion, les résultats obtenus montrent que les réponses des systèmes capteurs sont parfaitement linéaires lorsqu'ils sont soumis à un aérosol de nature ARD.

Les systèmes capteurs OPC-R1 présentent des réponses similaires entre eux, mais également une surestimation très importante des concentrations massiques par rapport à la méthode de référence quel que soit la gamme de concentration et l'humidité relative considérée.

Quant aux systèmes capteurs SPS030, ils ont tendance à sous-estimer les concentrations massiques par rapport à la méthode de référence quel que soit la gamme de concentration et l'humidité relative considérées.

Par ailleurs, l'humidité relative semble avoir peu d'influence sur la réponse de ces systèmes capteurs à $20,2\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,05\text{ }^{\circ}\text{C}$.

6.2 Instruments portables exposés à une source d'aérosols organiques

Cinq instruments portables AE51, trois MA200 et un MA300 ont été évalués par rapport à la méthode de référence mise en œuvre par les aethalomètres qui est la plus utilisée pour mesurer les concentrations de « carbone suie » dans l'atmosphère. Les instruments portables ont été placés à l'intérieur de la chambre d'exposition et exposés à une source de carbone suie en utilisant le générateur Argonaut Scientific et le Catalytic Stripper. Les essais ont été effectués dans différentes conditions environnementales avec des températures variant de 2°C à 35°C et des humidités relatives variant de 9% à 49% au sein de la chambre d'exposition ; pour chaque condition, les essais ont été menés sur 3 jours.

La Figure 13 présente un exemple de l'évolution temporelle de la concentration massique de « carbone suie » pour l'ensemble des instruments portables (AE51, MA200, MA300) et des méthodes de référence (AE33, AE43, TEOM).

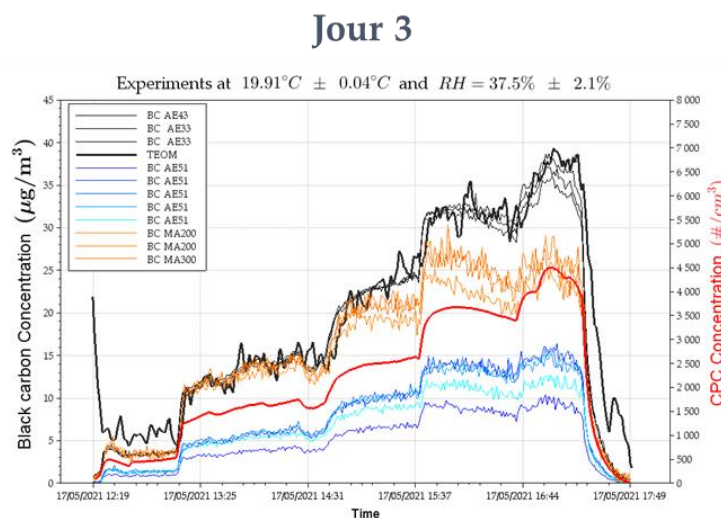


Figure 13 : Exemple de représentation temporelle de la réponse des instruments portables pour la mesure du "carbone suie" pour le 3^{ème} jour d'essais à $19,91^{\circ}\text{C} \pm 0,04^{\circ}\text{C}$ et $37,5\% \pm 2,1\%$

Globalement pour l'ensemble des essais, on observe une bonne corrélation entre les données des aethalomètres AE33/AE43 et les données obtenues par la microbalance TEOM avec un coefficient d'absorption spécifique $\sigma_{aur} = 4,3\text{ m}^2/\text{g}$. Cette valeur est conforme à la littérature pour une flamme de diffusion inversée (Moallemi et al., 2019). Lors de la première journée, on observait une bonne corrélation entre les instruments portables et les instruments de référence (aethalomètres AE33). Cependant, lors des journées d'expérimentations suivantes, il a été mis en évidence une augmentation de la dispersion entre les instruments portables et les mesures obtenues par l'analyseur de référence AE33. Cela s'explique par un effet de chargement du filtre de l'aethalomètre (« filter loading effect (FLE) »). Ce phénomène est largement documenté dans la littérature et fait également l'objet de nombreuses lois de corrections mathématiques (Kirchstetter & Novakov, 2007; Virkkula et al., 2007; Weingartner et al., 2003).

La Figure 14 présente le graphique de corrélation entre la méthode de référence AE33 et les instrumentations portables AE51, MA200 et MA300 et le Tableau 2 les résultats obtenus pour chaque condition environnementale.

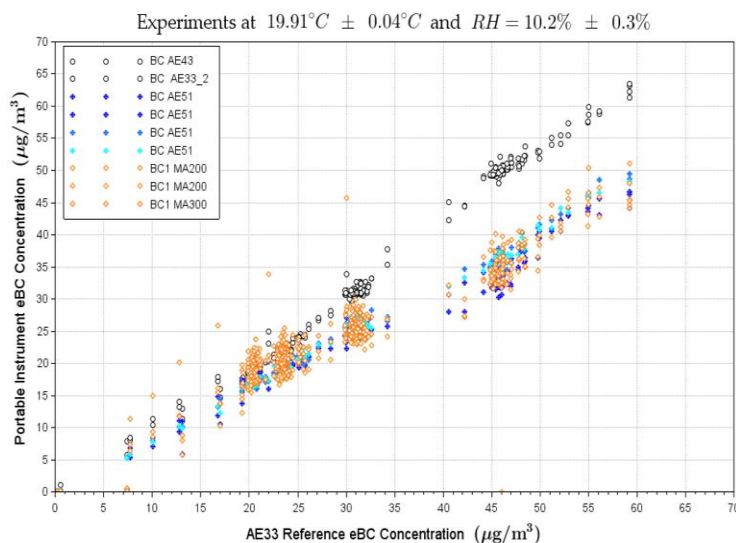


Figure 14 : Linéarité entre les instruments portables et l'instrument de référence AE33 pour la mesure de la concentration massique de "carbone suie"

Tableau 2 : Pentés et coefficients de régression obtenus entre les instruments portables et l'instrument de référence AE33 pour la mesure de la concentration massique de "carbone suie" dans différentes conditions environnementales

(a) = Slope	2°C; HR=8,5%		2°C; HR=48,8%		20°C ; HR=10%		20°C ; HR=37,5%		35°C; HR=10,0%		35°C; HR=21,5%	
	(a)	R2	(a)	R2	(a)	R2	(a)	R2	(a)	R2	(a)	R2
AE51-PIPI	X	X	X	X	X	X	0,35	0,98	0,63	0,95	0,41	0,97
AE51-1169	0,78	0,99	0,57	0,98	0,57	0,97	0,42	0,99	0,66	0,97	0,48	0,99
AE51-1263	0,77	0,99	0,55	0,98	0,57	0,97	0,43	0,99	0,68	0,96	X	X
AE51-319	0,70	0,98	0,41	0,95	0,40	0,91	0,28	0,99	0,61	0,91	0,33	0,97
AE51-1018	0,82	0,99	0,60	0,98	0,43	0,98	0,45	0,99	0,71	0,96	0,50	0,99
MA200-267	1,08	0,92	1,09	0,87	1,18	0,88	1,04	0,94	0,95	0,95	1,05	0,94
MA200-071	0,91	0,94	0,92	0,61	0,78	0,91	0,92	0,96	0,85	0,97	0,84	0,97
MA300-046	1,14	0,86	1,07	0,79	0,96	0,85	0,93	0,91	0,91	0,93	0,89	0,92

La Figure 14 permet de comparer les réponses entre les aéthalomètres AE33 et entre l'aéthalomètre A33 et l'aéthalomètre AE43 et montre une bonne corrélation entre les aéthalomètres AE33 et AE43.

Le tableau 2 montre que l'ensemble des instruments portables AE51, trois MA200 et un MA300 présentent des réponses linéaires. De plus, quelles que soient les conditions environnementales testées, on observe un bon accord entre les concentrations massiques mesurées par les instruments portables MA200 et MA300 et celles mesurées par l'instrument de référence AE33, alors que les instruments portables AE51 sous-estiment les concentrations massiques par rapport à celles mesurées par l'instrument de référence AE33.

6.3 Systèmes capteurs exposés à un aérosol atmosphérique modèle

Des travaux ont été également menés sur la plateforme instrumentée pour générer des aérosols atmosphériques « modèles » comprenant une fraction « minérale » et une fraction « organique » afin de simuler différents aérosols pouvant être représentatif d'une typologie de site et de saisonnalité.

Trois aérosols atmosphériques modèles ont été générés en faisant varier la fraction « minérale » (arizona dust) et la fraction « organique » (carbone suie) au sein de la chambre d'exposition : le premier contenait une fraction de 100% d'Arizona Dust (diamètre médian de 62,6 nm), le second une fraction de 50% d'arizona dust et 50% de carbone suie (diamètre médian de 114,2 nm) et le dernier une fraction de 100% de carbone suie (diamètre médian de 222,2 nm). Des systèmes capteurs (IQAir et Airbeam) ont ensuite été exposés à ces différents aérosols atmosphériques modèles et ont été évalués par rapport au TEOM et au FIDAS.

Les résultats obtenus sont représentés sur la Figure 15.

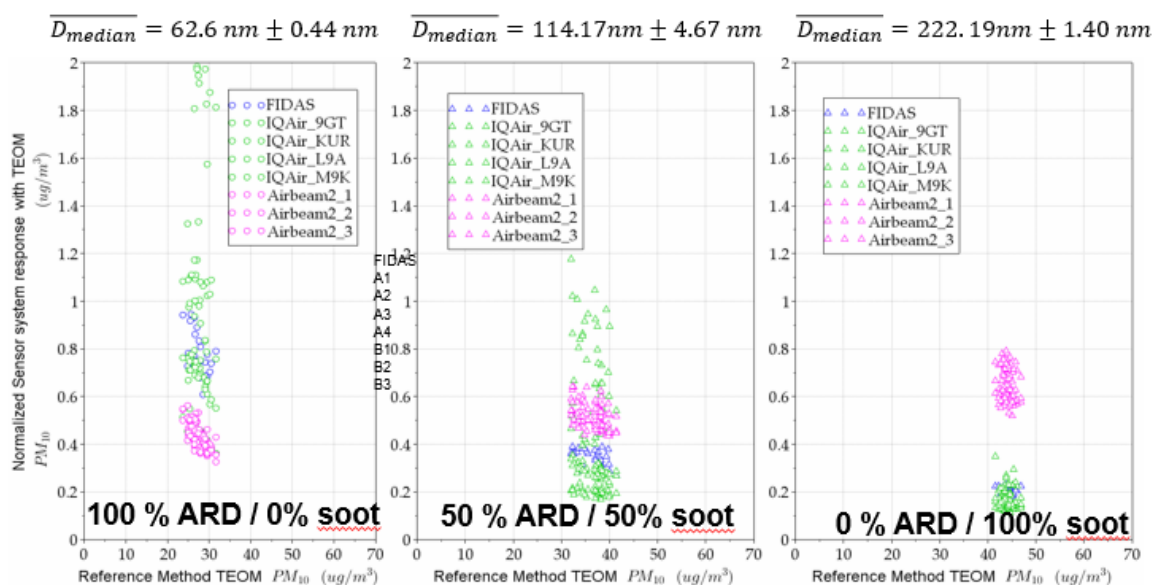


Figure 15 : Exposition de systèmes capteurs à des aérosols atmosphériques modèles en faisant varier les fractions « minérale » et « organique ».

Les résultats mettent en évidence une bonne corrélation entre les instruments de référence FIDAS et TEOM qui est fonction de la composition de l'aérosol atmosphérique considéré (points bleus sur la Figure 15).

Les essais menés sur les systèmes capteurs montrent une meilleure reproductibilité des réponses pour les systèmes capteurs Airbeam (triangles roses sur la Figure 15) que pour les systèmes capteurs IQAir (triangles verts sur la Figure 15) quel que soit la composition de l'aérosol atmosphérique considéré.

7 Conclusion et perspectives

Au terme de cette étude, le LCSQA-LNE a développé une plateforme instrumentée pour l'évaluation en laboratoire des performances métrologiques d'instruments de mesure des concentrations massiques ou en nombre des particules dans un environnement contrôlé en température et humidité relative. Cette plateforme est opérationnelle pour la génération de différentes natures d'aérosols à différentes concentrations et pour diverses conditions de température et d'humidité relative.

Cette plateforme a permis d'évaluer les performances d'une vingtaine d'instruments de mesure tels que des systèmes capteurs, mais également des instruments portables provenant de différents fabricants. Les essais ont consisté à comparer ces instruments de mesure avec des analyseurs de référence, en générant différents types d'aérosols et en faisant varier la température et l'humidité relative. Les essais montrent que ces instruments (systèmes capteurs/instruments portables) de marques différentes peuvent avoir des comportements très différents entre eux, alors que les principes de mesure sont identiques. Dans l'ensemble, les réponses de ces instruments sont linéaires par rapport aux méthodes de référence ; quant à la justesse des mesures effectuées par ces instruments, certains ont tendance à sous-estimer les concentrations en particules, alors que d'autres ont tendance à les sur-estimer. Enfin, les expérimentations menées mettent en évidence que l'influence de l'environnement atmosphérique (température et humidité relative) sur les réponses des instruments pour un aérosol d'essai donné et à différentes concentrations générées dépend des instruments considérés et peut être importante dans certaines conditions testées.

Cette plateforme instrumentée en laboratoire pourrait être utilisée pour évaluer des systèmes capteurs/instruments portables existants et/ou en développement. Actuellement, ces évaluations de performances sont majoritairement menées via des campagnes expérimentales sur le terrain. La plateforme du LCSQA-LNE est donc complémentaire à ces campagnes de terrain parfois longues et coûteuses et pourrait stimuler l'innovation et le développement à moindre coût de nouveaux outils plus performants pour les mesures de qualité de l'air ambiant. En parallèle, cette plateforme pourrait également être mise en œuvre dans le cadre du QA/QC pour générer des aérosols de référence afin de réaliser l'étalonnage ou la vérification des instruments de mesure de concentrations massiques ou en nombre utilisés dans les stations de mesure.

La plateforme instrumentée développée par le LCSQA-LNE représente donc une avancée significative pour l'évaluation des performances métrologiques des systèmes capteurs et instruments portables de mesure des particules. Cependant, plusieurs limitations scientifiques peuvent être identifiées. Tout d'abord, la plateforme se concentre principalement sur des aérosols modèles (minéraux et organiques), ce qui ne couvre pas toute la diversité des aérosols atmosphériques réels, souvent composés de mélanges complexes de particules organiques, inorganiques, biologiques et anthropiques. Ensuite, la génération d'aérosols en laboratoire ne reproduit pas fidèlement les dynamiques de vieillissement, d'agglomération ou de transformation chimique qui se produisent dans l'atmosphère, limitant ainsi la représentativité des essais. De plus, la plateforme ne permet pas de simuler des conditions extrêmes ou transitoires (comme des pics de pollution soudains ou des variations rapides de température et d'humidité), qui sont pourtant fréquentes en milieu urbain ou industriel. Enfin, l'influence des gaz interférents (comme l'ozone ou les NO_x) n'est pas intégrée, alors qu'ils peuvent affecter les performances des capteurs en conditions réelles.

Pour améliorer la représentativité des essais, il serait pertinent d'intégrer :

- Un système de génération d'aérosols secondaires (par réaction chimique en chambre de simulation atmosphérique) ;
- Un système de nébulisation d'aérosols biogéniques (pour simuler les pollens ou les embruns marins) ;
- Un système de génération de particules métalliques (pour reproduire les émissions industrielles ou liées au trafic) ;
- Un module de vieillissement des aérosols (pour simuler les transformations chimiques et physiques en atmosphère réelle).

8 Références

- Austin, E., Novosselov, I., Seto, E., & Yost, M. G. (2015). Laboratory Evaluation of the Shinyei PPD42NS Low-Cost Particulate Matter Sensor. *PLOS ONE*, 10(9), e0137789. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0137789>
- Bescond, A., Gaie-Levrel, F., Macé, T. (2020). Développement de protocole pour l'évaluation en laboratoire des systèmes capteurs PM, LCSQA-LNE, <https://www.lcsqa.org/fr/rapport/developpement-dun-protocole-pour-levaluation-en-laboratoire-des-systemes-de-capteurs-de-pm>
- Hueglin, C., Gehrig, R., Baltensperger, U., Gysel, M., Monn, C., & Vonmont, H. (2005). Chemical characterisation of PM_{2.5}, PM₁₀ and coarse particles at urban, near-city and rural sites in Switzerland. *Atmospheric Environment*, 39(4), 637–651.
- Jayaratne, R., Liu, X., Thai, P., Dunbabin, M., & Morawska, L. (2018). The Influence of Humidity on the Performance of Low-Cost Air Particle Mass Sensors and the Effect of Atmospheric Fog. *Atmos. Meas. Tech. Discuss.*, 2018, 1–15. <https://doi.org/10.5194/amt-2018-100>
- Kesavan, J., & Doherty, R. W. (2000). Density Measurements of Materials Used in Aerosol Studies. Edgewood chemical biological center aberdeen proving ground md.
- Kirchstetter, T. W., & Novakov, T. (2007). Controlled generation of black carbon particles from a diffusion flame and applications in evaluating black carbon measurement methods. *Atmospheric Environment*, 41(9), 1874–1888. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.10.067>
- Litton, C. D. (2002a). Studies of the measurement of respirable coal dusts and diesel particulate matter. *Measurement Science and Technology*, 13(3), 365.
- Litton, C. D. (2002b). The use of light scattering and ion chamber responses for the detection of fires in diesel contaminated atmospheres. *Fire Safety Journal*, 37(4), 409–425.
- Litton, C. D., Smith, K. R., Edwards, R., & Allen, T. (2004). Combined Optical and Ionization Measurement Techniques for Inexpensive Characterization of Micrometer and Submicrometer Aerosols. *Aerosol Science and Technology*, 38(11), 1054–1062. <https://doi.org/10.1080/027868290883333>
- Liu, D., Zhang, Q., Jiang, J., & Chen, D.-R. (2017). Performance calibration of low-cost and portable particular matter (PM) sensors. *Journal of Aerosol Science*, 112, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2017.05.011>

- Moallemi, A., Kazemimanesh, M., Corbin, J. C., Thomson, K., Smallwood, G., Olfert, J. S., & Lobo, P. (2019). Characterization of black carbon particles generated by a propane-fueled miniature inverted soot generator. *Journal of Aerosol Science*, 135, 46–57.
- Papapostolou, V., Zhang, H., Feenstra, B. J., & Polidori, A. (2017). Development of an environmental chamber for evaluating the performance of low-cost air quality sensors under controlled conditions. *Atmospheric Environment*, 171, 82–90. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.10.003>
- Redon, N., Gaudion, V., Crunaire, S., & Locoge, N. (2016). Protocole de détermination des caractéristiques de performance métrologique des micro-capteurs—Étude comparative des performances en laboratoire de micro-capteurs de NO₂ | LCSQA. <https://www.lcsqa.org/fr/rapport/2016/mines-douai/protocole-determination-caracteristiques-performance-metrologique-micro-cap>
- Sousan, S., Koehler, K., Thomas, G., Park, J. H., Hillman, M., Halterman, A., & Peters, T. M. (2016). Inter-comparison of low-cost sensors for measuring the mass concentration of occupational aerosols. *Aerosol Science and Technology*, 50(5), 462–473. <https://doi.org/10.1080/02786826.2016.1162901>
- Spinelle, L., Aleixandre, M., & Gerboles, M. (2013). Protocol of evaluation and calibration of low-cost gas sensors for the monitoring of air pollution (JRC83791) [EUR - Scientific and Technical Research Reports]. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2788/9916> (online)
- Spinelle, L., Gerboles, M., Villani, M.G., Aleixandre, M., Bonavitacola, F. (2015). Field calibration of a cluster of low-cost available sensors for air quality monitoring. Part A: Ozone and nitrogen dioxide, *Sensors and Actuators B: Chemical*, Volume 215, 249-257, <https://doi.org/10.1016/j.snb.2015.03.031>
- Spinelle, L., Gerboles, M., Villani, M.G., Aleixandre, M., Bonavitacola, F. (2017). Field calibration of a cluster of low-cost commercially available sensors for air quality monitoring. Part B: NO, CO and CO₂, *Sensors and Actuators B: Chemical*, Volume 238, 706-715, <https://doi.org/10.1016/j.snb.2016.07.036>
- Virkkula, A., Mäkelä, T., Hillamo, R., Yli-Tuomi, T., Hirsikko, A., Hämeri, K., & Koponen, I. K. (2007). A Simple Procedure for Correcting Loading Effects of Aethalometer Data. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 57(10), 1214–1222. <https://doi.org/10.3155/1047-3289.57.10.1214>
- Wang, Y., Li, J., Jing, H., Zhang, Q., Jiang, J., & Biswas, P. (2015). Laboratory Evaluation and Calibration of Three Low-Cost Particle Sensors for Particulate Matter Measurement. *Aerosol Science and Technology*, 49(11), 1063–1077. <https://doi.org/10.1080/02786826.2015.1100710>
- Weingartner, E., Saathoff, H., Schnaiter, M., Streit, N., Bitnar, B., & Baltensperger, U. (2003). Absorption of light by soot particles: Determination of the absorption coefficient by means of aethalometers. *Journal of Aerosol Science*, 34(10), 1445–1463.
- Williams, R., R. Long, & M. Beaver, A. Kaufman, F. Zeiger, M. Heimbinder, I. Hang, R. Yap, B. Acharya, B. Ginwald, K. Kupcho, S. Robinson, O. Zaouak, B. Aubert, M. Hannigan, R. Piedrahita, N. Masson, B. Moran, M. Rook, P. Heppner, C. Cogar, N. Nikzad, AND W. Griswold. (2014). *Sensor Evaluation Report*. https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?dirEntryId=277270

Le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air est un groupement d'intérêt scientifique créé en 2005 et constitué des laboratoires de l'IMT Nord Europe, de l'Ineris et du LNE. Depuis 1991, ses équipes d'experts mènent des études et des recherches sur la qualité de l'air, en appui au ministère chargé de l'environnement, et en étroite collaboration avec les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA). Le LCSQA est désigné par le ministère pour assurer la coordination technique nationale du dispositif de surveillance de la qualité de l'air en France. Il est également l'organisme de référence requis par les directives européennes et ses missions sont définies par l'arrêté du 16 avril 2021 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant.

L'objectif principal du LCSQA est ainsi de contribuer à l'amélioration continue du dispositif de surveillance en apportant un appui scientifique et technique au ministère et aux AASQA.

Ses travaux portent, d'une part, sur l'ensemble de la chaîne de surveillance : la qualité des mesures en air ambiant (du prélèvement à l'analyse), les inventaires d'émissions, la modélisation des concentrations et leur cartographie, la centralisation ainsi que le traitement et la mise à disposition des données, et d'autre part, sur les méthodes d'évaluation des plans d'actions. Cette action s'inscrit à la fois dans le cadre des réglementations nationales et européennes, et dans une démarche prospective visant à anticiper les besoins de la surveillance de demain.

Direction du LCSQA

Ineris - Parc technologique Alata 2 -
BP2 - F60550 Verneuil-en-Halatte
Tél : 03 44 55 69 16

www.lcsqa.org