



### Développement d'un dispositif de contrôle des appareils mesurant les concentrations massiques de particules



**Laboratoire Central de Surveillance  
de la Qualité de l'Air**

**DEVELOPPEMENT D'UN DISPOSITIF DE CONTROLE  
DES APPAREILS MESURANT LES CONCENTRATIONS  
MASSIQUES DE PARTICULES**

---

**Lola Brégonzio-Rozier, François Gaie-Levrel, Tatiana Macé (LCSQA/LNE)**

**Décembre 2017**



## LE LABORATOIRE CENTRAL DE SURVEILLANCE DE LA QUALITÉ DE L'AIR

---

Le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air est constitué des laboratoires de l'IMT Lille Douai, de l'INERIS et du LNE. Il mène depuis 1991 des études et des recherches à la demande du Ministère chargé de l'environnement, et en concertation avec les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA). Ces travaux en matière de pollution atmosphérique ont été financés par la Direction Générale de l'Énergie et du Climat (bureau de la qualité de l'air) du Ministère chargé de l'Environnement. Ils sont réalisés avec le souci constant d'améliorer le dispositif de surveillance de la qualité de l'air en France en apportant un appui scientifique et technique au ministère et aux AASQA.

L'objectif principal du LCSQA est de participer à l'amélioration de la qualité des mesures effectuées dans l'air ambiant, depuis le prélèvement des échantillons jusqu'au traitement des données issues des mesures. Cette action est menée dans le cadre des réglementations nationales et européennes mais aussi dans un cadre plus prospectif destiné à fournir aux AASQA de nouveaux outils permettant d'anticiper les évolutions futures.

## TABLE DES MATIERES

---

<b>RESUME .....</b>	<b>6</b>
<b>REMERCIEMENTS ET COLLABORATIONS.....</b>	<b>8</b>
<b>1. CONTEXTE .....</b>	<b>9</b>
<b>2. RAPPEL DE L'ETUDE 2016 .....</b>	<b>9</b>
<b>3. OBJECTIF DE L'ETUDE 2017.....</b>	<b>10</b>
<b>4. DESCRIPTION DU GENERATEUR PORTABLE (GARP).....</b>	<b>10</b>
<b>5. RESULTATS .....</b>	<b>10</b>
5.1 Caractérisation du GARP par méthode gravimétrique .....	11
5.1.1 Description du porte-filtre externe utilisé .....	11
5.1.2 Résultats .....	11
5.2 Résultats des mesures des AASQA volontaires.....	12
5.2.1 TEOM 50°C et TEOM-FDMS.....	13
5.2.2 Jauges radiométriques .....	15
5.2.3 Conclusion .....	16
<b>6. CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>16</b>

## RESUME

---

Le TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance) est un appareil de mesure très répandu au sein des Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA). Il est capable de mesurer en continu la concentration massique des particules en suspension dans l'air (en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), ce qui le rend préférable à la méthode gravimétrique qui nécessite des pesées postérieures au prélèvement.

A l'heure actuelle, cet appareil est étalonné à l'aide de cales étalons raccordées au système international. Ces cales, ayant des masses de l'ordre de 80-100 mg, permettent de vérifier la constante d'étalonnage de la microbalance. Le contrôle de sa linéarité est effectué grâce à trois cales étalons ayant des différences de masses de l'ordre de la dizaine de mg. En considérant un débit volumique du TEOM-FDMS de 3 L/min, la valeur limite pour les  $\text{PM}_{10}$  ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne journalière) représente une masse particulaire d'environ 2  $\mu\text{g}$  sur 15 min de prélèvement. La différence de masse des cales étalons n'est donc pas représentative des masses particulaires atmosphériques prélevées sur un quart d'heure. De plus, l'utilisation de ces cales ne permet pas de prendre en compte un éventuel dysfonctionnement du système de prélèvement en amont de la mesure de la masse et du système de filtration intrinsèque à la microbalance.

Par conséquent, le LCSQA/LNE a proposé de développer une méthode de contrôle en masse des TEOM-FDMS qui consiste à :

- Générer et prélever des particules ayant des concentrations connues et stables dans le temps (prélèvement de masses particulaires inférieures à 5 mg (gamme du « mg ») et à 100  $\mu\text{g}$  (gamme du «  $\mu\text{g}$  ») sur une demi-heure de prélèvement), d'une part sur le filtre du TEOM-FDMS en passant par le système de prélèvement (hors tête de prélèvement), et d'autre part sur un filtre externe,
- Puis comparer les masses mesurées par le TEOM-FDMS avec les masses « vraies » mesurées par la méthode gravimétrique sur le filtre externe.

Au regard de l'ensemble des éléments précités, cette méthode a été développée pour contrôler les TEOM-FDMS (1) - pour une gamme de masse inférieure à celle des cales étalons et (2) - réalisable dans des conditions proches de leur fonctionnement « normal ».

Le protocole d'utilisation du générateur, optimisé par les expériences menées sur le terrain entre 2013 et 2016, est également adapté au contrôle des jauges radiométriques, ce qui permet de rendre ce système versatile.

En 2017, afin d'approfondir l'évaluation de ce dispositif lors d'application directes sur le terrain, le générateur a été envoyé successivement à 7 AASQA volontaires (Air PACA, Airparif, Air Pays de la Loire, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes, Atmo Bourgogne Franche-Comté, Atmo Grand-Est et Atmo Hauts-de-France) entre juin et novembre pour des essais sur site réalisés sur des TEOM/TEOM-FDMS et des jauges radiométriques.

Il a ainsi pu être observé que 67 % des masses mesurées par les TEOM/TEOM-FDMS et 65 % des mesures des jauges radiométriques étaient comprises dans les zones de référence définies par la méthode gravimétrique pour les temps de génération 12, 24 et 36 minutes. Ces instruments semblent donc présenter, dans la majorité, une bonne justesse de mesure. Les autres mesures en dehors des domaines de référence peuvent être liées soit à des problèmes techniques liés aux instruments considérés (problème de débit par exemple), soit à un problème de manipulation du générateur GARP. Notons également que les écarts-types des mesures AASQA sur l'ensemble des temps de génération sont compris entre 1,9 et 7,7  $\mu\text{g}$  pour les TEOM/TEOM-FDMS et entre 6,4 et 30,5  $\mu\text{g}$  pour les jauges radiométriques.

Ces essais ont ainsi pu montrer que le générateur de particules du LCSQA/LNE offre de nouvelles perspectives dans la compréhension du fonctionnement et des données des appareils mesurant en continu la concentration massique des particules en suspension dans l'air. Il permet une vérification complète de la chaîne de mesure, du prélèvement au système de mesure, renforçant ainsi la fiabilité des mesures. De plus, il permettra de répondre à des doutes sur des mesures obtenues pour certains sites.

## REMERCIEMENTS ET COLLABORATIONS

---

Le LCSQA/LNE souhaite remercier l'ensemble des AASQA volontaires pour leur participation à cette étude : Air PACA, Airparif, Air Pays de la Loire, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes, Atmo Bourgogne Franche-Comté, Atmo Grand-Est et Atmo Hauts-de-France.



## 1. CONTEXTE

---

Les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA) ont pour mission de mesurer les concentrations des polluants dans l'air ambiant. Parmi ces polluants, se trouvent les particules dont il convient de mesurer les concentrations massiques conformément à la directive européenne 2008/50/CE. Ces mesures peuvent être effectuées en utilisant un analyseur automatique appelé TEOM, qui est constitué d'une microbalance à variation de fréquence.

Au sein du LCSQA, le LNE a pour mission d'assurer la traçabilité des mesures réalisées par les AASQA. Pour cette raison, le LCSQA/LNE s'est intéressé au contrôle des TEOM-FDMS. A l'heure actuelle, cet appareil est étalonné à l'aide de cales étalons raccordées au système international. Ces cales, ayant des masses de l'ordre de 80-100 mg, permettent de vérifier la constante d'étalonnage de la microbalance. Le contrôle de sa linéarité est effectué grâce à trois cales étalons ayant des différences de masses de l'ordre de la dizaine de mg. En considérant un débit volumique du TEOM-FDMS de 3 L/min, la valeur limite pour les PM<sub>10</sub> (50 µg/m<sup>3</sup> en moyenne journalière) représente une masse particulaire d'environ 2 µg sur 15 min de prélèvement. La différence de masse des cales étalons n'est donc pas représentative des masses particulaires atmosphériques prélevées sur un quart d'heure. De plus, l'utilisation de ces cales ne permet pas de prendre en compte un éventuel dysfonctionnement du système de prélèvement en amont de la mesure de la masse et du système de filtration intrinsèque à la microbalance.

## 2. RAPPEL DE L'ETUDE 2016

---

En 2016, le générateur miniaturisé et le protocole d'utilisation associé ont été envoyés chez Airparif pour une application directe sur le terrain avec le soutien du LCSQA/LNE. De plus, la procédure associée au générateur miniaturisé a également été appliquée au contrôle des jauges radiométriques, ce qui permet de rendre ce système versatile.

Dans ce protocole optimisé par le retour d'expérience constructif et correctif obtenu sur le terrain, sont décrites les étapes de préparation du générateur, ainsi que les étapes de sa mise en fonctionnement et de sa synchronisation avec l'analyseur à contrôler.

Concernant les jauges radiométriques, des tests ont été effectués sur le terrain au sein de stations de mesure situées en sites Trafic et Rural et au sein de l'atelier du Service Instrumentation et Mesures d'Airparif. Ces derniers ont permis de mettre en avant la simplicité d'utilisation et le faible temps de mise en œuvre du générateur de particules. Toutefois, pour une utilisation sur le terrain, il a été souligné que son encombrement et son poids restaient trop importants, nécessitant la présence de deux personnes pour la manutention et ce malgré de gros progrès entre les deux prototypes.

Cette utilisation sur le terrain a permis de souligner le fait que le générateur de particules du LCSQA/LNE offre de nouvelles perspectives dans la compréhension du fonctionnement et des données des appareils mesurant en continu la concentration massique des particules en suspension dans l'air. Il permet une vérification complète de la chaîne de mesure, du prélèvement au système de mesure. De plus, il permettra de répondre à des doutes sur des mesures obtenues pour certains sites.

### 3. OBJECTIF DE L'ETUDE 2017

---

L'objectif final de ce projet est de développer un générateur de particules dont les propriétés métrologiques (répétabilité et reproductibilité) devront être en adéquation avec les caractéristiques techniques des TEOM-FDMS. Ceci implique :

- de caractériser le générateur de particules en termes de masses particulières générées (masses de référence) et d'évaluer sa répétabilité et sa reproductibilité pour les deux gammes en se basant sur la méthode de référence qui est la méthode gravimétrique.
- de comparer les valeurs mesurées par le TEOM-FDMS avec les masses de référence et leurs incertitudes associées. Cette étape sera investiguée plus en détails afin de mieux appréhender les sources possibles d'erreur dans la mesure.

En considérant l'ensemble des éléments précités, cette méthode devra également permettre le contrôle des TEOM-FDMS dans des conditions proches de leur fonctionnement « normal ». De plus, cette méthode doit tenir compte des spécificités des AASQA, puisqu'elle doit pouvoir être facilement mise en œuvre directement par les AASQA dans les stations de mesure.

Le protocole d'utilisation du générateur, optimisé par les expériences menées sur le terrain entre 2013 et 2016, est également adapté au contrôle des jauges radiométriques, ce qui permet de rendre ce système versatile.

Afin d'approfondir l'évaluation de ce dispositif lors d'application directes sur le terrain, le générateur a été envoyé successivement à 7 AASQA volontaires (Air PACA, Airparif, Air Pays de la Loire, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes, Atmo Bourgogne Franche-Comté, Atmo Grand-Est et Atmo Hauts-de-France) entre juin et novembre 2017. Les essais ont été réalisés aussi bien sur des TEOM/TEOM-FDMS, que sur des jauges radiométriques.

Les résultats de mesure ont été comparés aux domaines de masse de référence pour les trois temps de prélèvement déterminés par méthode gravimétrique. Les résultats de cette comparaison font l'objet de ce rapport.

### 4. DESCRIPTION DU GENERATEUR PORTABLE (GARP)

---

Le générateur utilisé est un nébuliseur du type « Constant Output Atomizer » (modèle 3076, TSI) et permet de générer un aérosol polydispersé à partir de la nébulisation d'une solution. L'aérosol produit traverse ensuite un sécheur par diffusion (modèle 3062, TSI) permettant de sécher les particules. Ce nouveau dispositif portable et autonome est appelé GARP – Générateur d'Aérosol de Référence Portable.

### 5. RESULTATS

---

Afin d'approfondir l'évaluation du générateur lors d'application directes sur le terrain, celui-ci a été envoyé successivement à 7 AASQA volontaires (Air Pays de la Loire, Atmo Grand-Est, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes, Atmo Hauts-de-France, Atmo Bourgogne Franche-Comté, Air PACA et Airparif) entre juin et novembre 2017.

Les essais ont été réalisés sur des TEOM/TEOM-FDMS, ainsi que sur des jauges radiométriques. Au total 24 TEOM-FDMS, 1 TEOM 50°C, 7 BAM1020 et 1 MP101M-RST ont été utilisés pour les 123 mesures obtenues.

Préalablement à ces envois successifs, une session de formation commune à toutes les AASQA volontaires a été organisée le 20 juin 2017 au LCSQA/LNE afin de familiariser les AASQA à l'utilisation du GARP. Un protocole d'utilisation, incluant la mise en œuvre du couplage du générateur avec les différents types d'appareils de mesure de concentrations massiques particulières, a également été fourni lors de cette formation.

## **5.1 Caractérisation du GARP par méthode gravimétrique**

Entre chaque envoi aux AASQA volontaires, le bon fonctionnement de générateur a été contrôlé au LCSQA/LNE pour des générations de 12, 24 et 36 minutes avec prélèvement sur un filtre externe et mesure des masses obtenues par la méthode gravimétrique.

La méthode gravimétrique consiste à prélever les particules produites par le générateur de particules sur un filtre placé dans un porte-filtre externe et à peser ce filtre sur une balance de précision. Elle permet : (1) - de déterminer les masses de référence de particules générées, (2) - de déterminer les incertitudes de répétabilité et de reproductibilité dans le temps du générateur de particules.

Dans le cadre de ces mesures de contrôle, au total 9 jours d'essais ont été réalisés, à raison de 3 mesures par temps de génération (12, 24 et 36 minutes) pour chaque jour considéré, soit un total de 27 mesures par temps de génération (donc 81 mesures au total) pour l'ensemble de la période d'envoi dans les AASQA volontaires (5 mois). Une nouvelle solution de KCl a été utilisée pour chaque jour d'essai.

Ces mesures permettent ainsi d'obtenir une caractérisation globale du système portable de génération en prenant en compte les multiples déplacements sur sites.

### **5.1.1 Description du porte-filtre externe utilisé**

Pour réaliser la caractérisation par la méthode gravimétrique, un porte filtre classique de 47 mm a été utilisé avec des filtres « Pallflex® » de type « Emfab™ TX40HI20-WW » constitués de microfibres de verre borosilicaté renforcées avec un tissu de verre tissé et collé grâce à du PTFE. Le mode opératoire associé est présenté au paragraphe suivant.

### **5.1.2 Résultats**

Le tableau 1 présente les valeurs moyennes et le traitement statistique global des données effectué selon la norme ISO 5725-2 en termes de répétabilité et reproductibilité ( $k=1$ ) sur les 27 essais réalisés pour chaque temps de prélèvement de 12, 24 et 36 min avec une solution de KCl à 0,1 g/L.

Tableau 1 - Traitement statistique global, effectué selon la norme ISO 5725-2 sur les 27 essais réalisés, pour les masses de référence pour des temps de prélèvement de 12, 24 et 36 min (k=1) pour une solution de KCl à 0,1 g/L

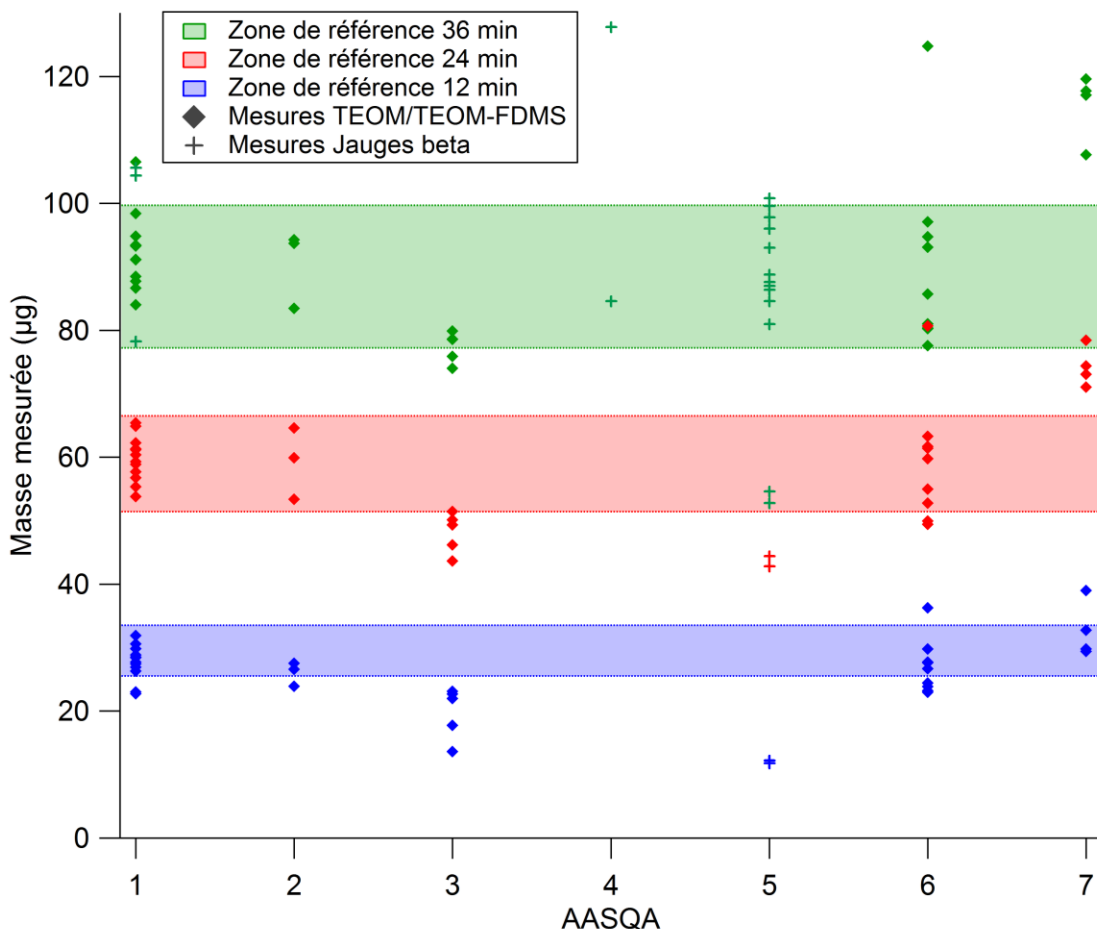
		Valeur moyenne (µg)	Ecart-type de répétabilité		Ecart-type de reproductibilité	
			Absolu (µg)	Relatif	Absolu (µg)	Relatif
Temps de génération	12 min	29,5	2,5	8,4 %	4,0	13,5 %
	24 min	58,9	2,5	4,3 %	7,5	12,8 %
	36 min	88,4	4,8	5,4 %	11,3	12,8 %

Dans le cadre des essais effectués, les écarts-types relatifs de répétabilité et de reproductibilité globaux sont compris entre 4,3 % et 13,5 % pour les masses de référence. Ainsi, cette caractérisation globale permet de déterminer un domaine de masse de référence pour les trois temps de prélèvement, à savoir  $29,5 \pm 4,0 \mu\text{g}$  ;  $58,9 \pm 7,5 \mu\text{g}$  et  $88,4 \pm 11,3 \mu\text{g}$  à 12, 24 et 36 min respectivement. Les incertitudes associées correspondent à l'écart-type de reproductibilité (k=1). Dans ce cadre, les résultats liés à la caractérisation du générateur grâce à la méthode gravimétrique ont conduit à des écarts-types relatifs de répétabilité et de reproductibilité proches de ceux mesurés en 2015.

## 5.2 Résultats des mesures des AASQA volontaires

La Figure 1 présente les 123 mesures obtenues par les 7 AASQA volontaires au temps de génération de 12 (en bleu), 24 (en rouge) et 36 minutes (en vert) avec les domaines de masse de référence associés (k=1) déterminés à partir de la caractérisation par méthode gravimétrique. Les jauges radiométriques mesurant directement une concentration massique, leurs résultats ont été recalculés en termes de masses mesurées en prenant l'hypothèse d'un débit stable à 16,67 L/min. Plusieurs types d'appareils mesurant les concentrations massiques de particules ont été utilisés avec, au total, 24 TEOM-FDMS, 1 TEOM 50°C, 7 BAM1020 et 1 MP101M-RST. Ces mesures ont été effectuées à des températures comprises entre 20 et 35°C, sur différents types de sites (stations de mesure de type proximité trafic et fond urbain, ainsi qu'en laboratoire), avec une installation du générateur aussi bien en intérieur qu'en extérieur.

Ces mesures, réalisées dans des conditions très diverses, sont comparées aux domaines de masse de référence pour les trois temps de prélèvement déterminés précédemment à partir de la caractérisation par méthode gravimétrique effectuée au LCSQA/LNE. La comparaison des mesures réalisées par les AASQA avec les domaines de référence permet ainsi de vérifier la justesse des appareils de mesure utilisés sur le terrain.



**Figure 1 - Comparaison des résultats de mesures de masse effectuées par les 7 AASQA volontaires (TEOM/TEOM-FDMS et jauges radiométriques) au temps de génération de 12 (en bleu), 24 (en rouge) et 36 minutes (en vert) avec les domaines de masse de référence associés (k=1) déterminés à partir de la caractérisation par méthode gravimétrique.**

### 5.2.1 TEOM 50°C et TEOM-FDMS

Dans cette étude, 1 TEOM 50°C et 24 TEOM-FDMS ont été utilisés, pour un total de 99 mesures réalisées par 5 des 7 AASQA volontaires. Dans le cadre du déploiement sur site du générateur portable, seules les masses mesurées fournies par les instruments impliqués ont été exploitées. Les résultats obtenus pour ces instruments sont représentés par des losanges dans la Figure 1.

La Figure 1 montre ainsi que 67 % des masses mesurées par les TEOM/TEOM-FDMS des AASQA sont comprises dans les zones de référence définies par la méthode gravimétrique pour les temps de génération 12, 24 et 36 minutes. Ces instruments semblent donc présenter, dans la majorité, une bonne justesse dans leur mesure. Le détail des proportions de masses mesurées par les TEOM/TEOM-FDMS comprises dans les domaines de référence est indiqué dans le Tableau 2.

Tableau 2 – Caractéristiques des mesures TEOM/TEOM-FDMS réalisées par les AASQA volontaires et comparaison aux écarts-types de reproductibilité obtenus par méthode gravimétrique. \*Le calcul des écarts-types entre les mesures de l'AASQA 6 ne prend pas en compte les mesures surestimées identifiées comme liées à un problème de manipulation

AASQA		1	2	3	6	7
Nombre de TEOM/TEOM-FDMS utilisés		5	3	5	9	3
Nombre total de mesures par temps de génération (12, 24 et 36 min)		12	3	5	9	4
Pourcentage des mesures comprises dans le domaine de référence	12 min	83 %	67 %	0 %	44 %	75 %
	24 min	100 %	100 %	20 %	67 %	0 %
	36 min	92 %	100 %	60 %	89 %	0 %
Ecart-type des mesures AASQA ( $\mu\text{g}$ )	12 min	2,7	1,9	4,1	*2,5	4,4
	24 min	3,5	5,6	3,2	*5,6	3,1
	36 min	5,9	6,1	2,4	*7,7	5,3
Ecart-type de reproductibilité ( $k=1$ , méthode gravimétrique par LCSQA/LNE, $\mu\text{g}$ )	12 min	4,0				
	24 min	7,5				
	36 min	11,3				

Concernant les masses mesurées par les TEOM/TEOM-FDMS qui sont en dehors des domaines de référence, la surestimation observée pour un des TEOM-FDMS de l'AASQA 6 a pu être attribuée à un problème de manipulation lors des mesures réalisées. Les autres masses mesurées en dehors des domaines de référence peuvent être liées, soit à des problèmes techniques liés aux instruments considérés (problème de débit par exemple), soit à un problème de manipulation du générateur GARP. Dans le cas où une surestimation (AASQA 7) ou une sous-estimation (AASQA 3) des mesures est globalement observée pour l'ensemble des instruments utilisés par une AASQA, l'existence d'un problème technique touchant plusieurs instruments au même moment est peu probable. Les écarts de justesse observés dans les mesures sont donc très probablement liés à une erreur de manipulation du générateur GARP.

Si on s'intéresse à la variabilité des mesures effectuées par une même AASQA sur les TEOM/TEOM-FDMS, on constate que les écarts-types des mesures (Tableau 2) sont proches des écarts-types de reproductibilité ( $k=1$ ) calculés par le LCSQA/LNE lors de la caractérisation par méthode gravimétrique.

## 5.2.2 Jauges radiométriques

Dans cette étude, 7 BAM1020 et 1 MP101M-RST ont été utilisés, pour un total de 24 mesures réalisées par 3 des 7 AASQA volontaires. Les jauges radiométriques mesurant directement une concentration massique, leurs résultats ont été recalculés en termes de masses mesurées en prenant l'hypothèse d'un débit stable à 16,67 L/min. Les résultats obtenus pour ces instruments sont représentés par des croix dans la Figure 1.

La Figure 1 montre ainsi que 65 % des mesures de jauges radiométriques des AASQA volontaires sont comprises dans la zone de référence définie par la méthode gravimétrique. Ces instruments semblent donc présenter, dans la majorité, une bonne justesse dans leur mesure. Les caractéristiques de ces mesures sont présentées dans le Tableau 3.

**Tableau 3 – Caractéristiques des mesures des jauges radiométriques réalisées par les AASQA volontaires et comparaison aux écarts-types de reproductibilité pour les essais réalisés par méthode gravimétrique.**  
\*Le calcul des écarts-types entre les mesures de l'AASQA 5 ne prend pas en compte les mesures sous-estimées identifiées comme liées à un problème d'utilisation du générateur

AASQA		1	4	5
Nombre de jauges radiométriques utilisées		3	2	3
Nombre total de mesures	12 min	0	0	2
	24 min	0	0	2
	36 min	3	2	15
Pourcentage des mesures comprises dans le domaine de référence	12 min	/	/	0 %
	24 min	/	/	0 %
	36 min	33 %	50 %	73 %
Ecart-type des mesures AASQA (µg)	12 min	/	/	0,3
	24 min	/	/	1,1
	36 min	15,5	30,5	*6,4
Ecart-type de reproductibilité (méthode gravimétrique LCSQA/LNE, µg)	12 min	4,0		
	24 min	7,5		
	36 min	11,3		

Concernant les mesures par jauges radiométriques qui sont en dehors des domaines de référence, la sous-estimation observée pour une des jauges radiométriques de l'AASQA 5 est attribuée à un problème lié à l'utilisation du générateur GARP lors des mesures. Les autres mesures en dehors des domaines de référence peuvent être liées, comme pour les TEOM/TEOM-FDMS, soit à des problèmes techniques liés aux instruments considérés (problème de débit par exemple), soit à un problème de manipulation du générateur GARP.

Si on s'intéresse à la variabilité des mesures effectuées par une même AASQA sur les jauges radiométriques, et plus particulièrement pour l'AASQA 5 où le nombre de mesures réalisées à un temps de génération de 36 minutes est élevé, on constate que l'écart-type des mesures (Tableau 3) est proche de l'écart-type de reproductibilité ( $k=1$ ) déterminé par méthode gravimétrique.

### 5.2.3 Conclusion

Les résultats obtenus sur le terrain montrent que le générateur joue son rôle de dispositif de contrôle des appareils mesurant les concentrations massiques de particules puisqu'il a permis de confirmer le bon fonctionnement de la majorité des appareils testés et qu'il a également permis d'identifier les instruments qui pourraient présenter des problèmes de justesse dans leur mesure, et cela, dans des conditions proches de leur fonctionnement « normal ».

Il a également été confirmé que le générateur de particules est simple d'utilisation. Toutefois, pour son utilisation sur le terrain, il reste trop lourd pour pouvoir être aisément monté sur un toit de station. Les AASQA ont également indiqué que la consommation d'air zéro était pour eux trop importante dans le cas d'une utilisation régulière du générateur. Des améliorations seraient souhaitées pour protéger le générateur en cas d'intempéries (en cas d'usage en extérieur), ainsi qu'une gestion automatisée des vannes. La volonté de disposer d'un tuyau de couplage plus long pour faciliter la connexion à des instruments disposés en hauteur a également été émise.

## 6. CONCLUSION GENERALE

---

L'objectif final de cette étude est de développer un générateur de particules et de le caractériser afin de pouvoir l'utiliser ensuite pour le contrôle d'instruments type TEOM-FDMS. La méthode de contrôle consiste à :

- Générer et prélever des particules ayant des concentrations connues et stables dans le temps (prélèvement de masses particulières dans les gammes du «  $\mu\text{g}$  » et du «  $\text{mg}$  » sur une demi-heure de prélèvement), d'une part sur le filtre du TEOM-FDMS en passant par le système de prélèvement (hors tête de prélèvement), et d'autre part sur un filtre externe,
- Puis comparer les masses mesurées par le TEOM-FDMS avec les masses de référence mesurées par la méthode gravimétrique sur le filtre externe.



Au regard de l'ensemble des éléments précités, cette méthode a été développée pour mettre en place un contrôle des TEOM-FDMS (1) - pour une gamme de masse inférieure à celle des cales étalons et (2) - réalisable dans des conditions proches de leur fonctionnement « normal ». De plus, cette méthode doit tenir compte des spécificités des AASQA, puisqu'elle doit pouvoir être facilement mise en œuvre directement par les AASQA dans les stations de mesure pour le contrôle de leurs TEOM-FDMS.

Le protocole d'utilisation du générateur, optimisé par les expériences menées sur le terrain entre 2013 et 2016, est également adapté au contrôle des jauges radiométriques, ce qui permet de rendre ce système versatile.

En 2017, afin d'approfondir l'évaluation de ce dispositif lors d'application directes sur le terrain, le générateur a été envoyé successivement à 7 AASQA volontaires qui ont réalisé des essais sur différents types d'instruments mesurant les concentrations massiques de particules (TEOM/TEOM-FDMS et jauges radiométriques). Il a ainsi pu être observé que 67 % des masses mesurées par les TEOM/TEOM-FDMS et 65 % des mesures des jauges radiométriques étaient comprises dans les zones de référence définies par la méthode gravimétrique pour les temps de génération 12, 24 et 36 minutes. Ces instruments semblent donc présenter, dans la majorité, une bonne justesse de mesure. Notons également que les écarts-types des mesures AASQA sur l'ensemble des temps de génération sont compris entre 1,9 et 7,7  $\mu\text{g}$  pour les TEOM/TEOM-FDMS et entre 6,4 et 30,5  $\mu\text{g}$  pour les jauges radiométriques.

Ces essais ont ainsi pu montrer que le générateur de particules du LCSQA/LNE offre de nouvelles perspectives dans la compréhension du fonctionnement et des données des appareils mesurant en continu la concentration massique des particules en suspension dans l'air. Il permet une vérification complète de la chaîne de mesure, du prélèvement au système de mesure, renforçant ainsi la fiabilité des mesures. De plus, il permettra de répondre à des doutes sur des mesures obtenues pour certains sites.



---

**direction et secrétariat du LCSQA**

INERIS - parc technologique Alata - BP 2 - F60550 Verneuil-en-Halatte  
tél. 03 44 55 64 04 - [www.lcsqa.org](http://www.lcsqa.org)