



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**

---

*François Gaie-Levrel, Tatiana Macé (LNE)*

**Octobre 2016**



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

---

Le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air est constitué des laboratoires de Mines 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 de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer (MEEM). 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 MEEM 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

---

RESUME .....	6
1. CONTEXTE .....	7
2. RAPPEL DE L'ETUDE 2015 .....	7
3. OBJECTIF .....	8
4. DESCRIPTION DU GENERATEUR PORTABLE (GARP).....	8
5. PROTOCOLE D'UTILISATION DU GENERATEUR PORTABLE.....	9
6. RETOUR D'EXPERIENCE DE L'UTILISATION DU GARP SUR LE TERRAIN PAR AIRPARIF19	
7. CONCLUSION GENERALE .....	22

## 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 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 ».

En 2016, en aval de la caractérisation au laboratoire réalisée en 2015, 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 LNE. De plus, la procédure associée au générateur miniaturisé a également été appliquée au contrôle des jauges béta, ce qui permet de rendre ce système versatile. La description du protocole optimisé de par les expériences menées sur le terrain fait l'objet de ce rapport.

## 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 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 2015

---

En 2015, le dispositif de contrôle a été miniaturisé afin de le rendre plus compact et autonome. L'ensemble du dispositif est rapidement utilisable par un opérateur sans qualification particulière. Cette miniaturisation n'a engendré que des changements mineurs du fonctionnement du générateur. Sa qualification en termes de répétabilité et de reproductibilité a été effectuée grâce à la méthode gravimétrique. Les masses de référence et les incertitudes associées obtenues grâce à l'application de la norme ISO 5725-2, sont respectivement égales à  $30 \pm 10$  µg,  $57 \pm 13$  µg et  $91 \pm 15$  µg pour la gamme « µg », et égales à  $1145 \pm 48$  µg,  $2304 \pm 101$  µg et  $3456 \pm 83$  µg pour la gamme du « mg », aux temps de prélèvement de 12, 24 et 36 minutes.

Les incertitudes associées représentent les écarts-types de reproductibilité élargis (k=2). 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 inférieurs à 16 % pour la gamme du « µg » et inférieurs à 2,5% pour la gamme du « mg ». Les plus importants écarts-types relatifs obtenus pour la gamme du « µg » sont liés à la réduction de la masse particulaire produite pour cette gamme.

A l'issue de cette caractérisation, le couplage du générateur avec le TEOM-FDMS du LNE a permis une comparaison globale entre les masses de référence et les masses moyennes lues obtenues pour les mesures du TEOM-FDMS pour les mêmes temps de prélèvement. L'écart global obtenu entre les masses de référence moyennes et les masses lues sur le TEOM-FDMS est inférieur à 25 % pour la gamme du « µg » et inférieur à 4 % pour la gamme du « mg ».

### 3. OBJECTIF

---

L'objectif final de cette étude 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 : ce générateur de particules sera ensuite utilisé pour réaliser le contrôle des TEOM-FDMS dans deux gammes de masses (inférieures à 100 µg et supérieures à 1 mg).

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 lues sur le TEOM-FDMS avec les masses de référence et leurs incertitudes associées. Cette étape sera investiguée plus en détail 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.

De par les résultats obtenus en 2013-2015 et le retour d'expérience sur le terrain, 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 LNE. De plus, la procédure associée au générateur miniaturisé a également été appliquée au contrôle des jauges béta, ce qui permet de rendre ce système versatile.

La description du protocole optimisé de par les expériences menées sur le terrain fait l'objet de ce rapport.

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

---

A l'instar de l'étude 2015, 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.

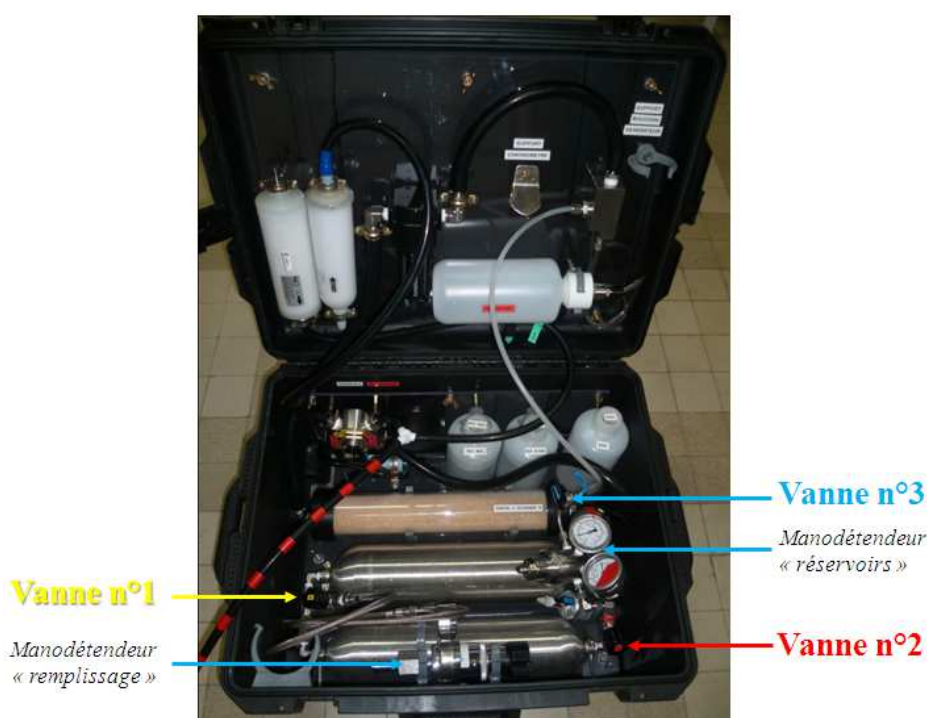


## 5. PROTOCOLE D'UTILISATION DU GENERATEUR PORTABLE

### Etapes préliminaires avant utilisation:

#### → Remplissage des cylindres d'air comprimé

- Vérifier que le *manodétendeur « remplissage »* est en position « fermée » (molette noire) ;
- Connecter le *manodétendeur « remplissage »* à une bouteille d'air comprimé ( $P_{\text{bouteille}} > 100$  bars) ;
- Vérifier que la **Vanne n°3** est fermée ;
- Ouvrir la **Vanne n°1** et la **Vanne n°2** ;



- Ouvrir la bouteille d'air comprimé ;
- Remplir **doucement** les réserves d'air jusqu'à **100 bars maximum** (lecture sur manodétendeur « réservoirs ») en ouvrant progressivement le *manodétendeur « remplissage »* ;
- Une fois que le remplissage est effectué, fermer la **Vanne n°1** et laisser la **Vanne n°2** ouverte ;
- Fermer la bouteille d'air comprimé puis fermer le *manodétendeur « remplissage »* de la bouteille d'air comprimé en effectuant sa purge (purge automatique en l'ouvrant et en le fermant successivement), le déconnecter de la bouteille puis le remettre en place dans la valise.

**Note :** pour une utilisation optimale du générateur, la pression au sein des réserves d'air ne doit pas être inférieure à 30 bars.

### → Vérification du sécheur aérosol

- Vérifier la saturation du silica gel au sein du « sécheur aérosol » ;
- Si ce dernier est saturé, retirer le « sécheur aérosol » de son emplacement ;
- Retirer les tuyaux de gauche et de droite et dévisser la partie noire de droite en maintenant le sécheur en position verticale grâce au collier de maintien (voir photo) ;
- Vider le silica gel dans un récipient adapté et le placer à l'étuve pour régénération ;
- Pour le remplissage du « sécheur aérosol », fixer le sécheur dans le collier prévu à cet usage (voir photo) et utiliser l'élément de remplissage noir situé à droite de la **Vanne n°4** ;



- Attention à ne pas faire tomber le silica gel dans le tube central du sécheur ;
- Après remplissage, revisser le tout et réinsérer le sécheur dans la valise en portant une attention à la bonne connexion des tuyaux de chaque côté du sécheur.

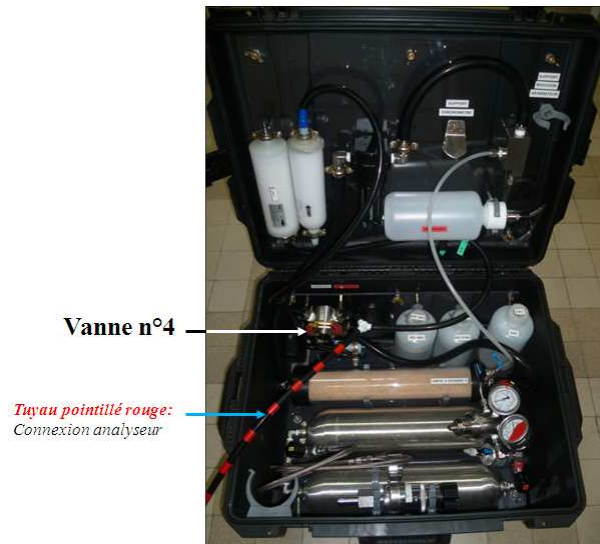
### → Vérification de la chambre de condensation

- Vérifier périodiquement la chambre de condensation ;
- Si besoin, procéder à son nettoyage en tournant le robinet afin de purger la chambre et en tournant la partie basse dans le sens horaire puis en tirant vers le bas ;
- Nettoyer l'intérieur grâce à du papier absorbant, vérifier la qualité du joint torique et remettre en place la chambre.



### Etape 1 : Couplage du générateur à l'analyseur

- Positionner la valise au sol ou sur un support stable puis enlever la mousse intérieure si besoin ;
- Vérifier que la **Vanne n°4** du générateur n'est pas en position « *Etalonnage* » ;
- Connecter le tuyau en pointillé rouge avec l'analyseur (attention à ne pas pincer le tuyau au niveau de la connexion en utilisant le système inséré sur le tuyau) ;



- Pour les TEOM-FDMS, la connexion doit être effectuée sur l'entrée à 3L/min hors tête de prélèvement ;
- Pour les jauges radiométriques, la connexion doit être effectuée sur l'entrée à 16,67L/min hors tête de prélèvement en utilisant l'embout d'adaptation *ad hoc* (voir photo ci-dessous).



## Etape 2: Préparation du générateur

- Enlever la bouteille « *transport* » de son support et la dévisser totalement du bouchon blanc du générateur ;
- Poser le bouchon blanc du générateur sur le support adapté (voir photo) ;
- Enlever la bouteille située dans le coin de la valise, puis visser ***sans forcer*** la bouteille contenant la solution de KCl à 0,1 g/L sur le bouchon blanc du générateur et la poser verticalement sur le fond de la valise à côté des autres bouteilles.

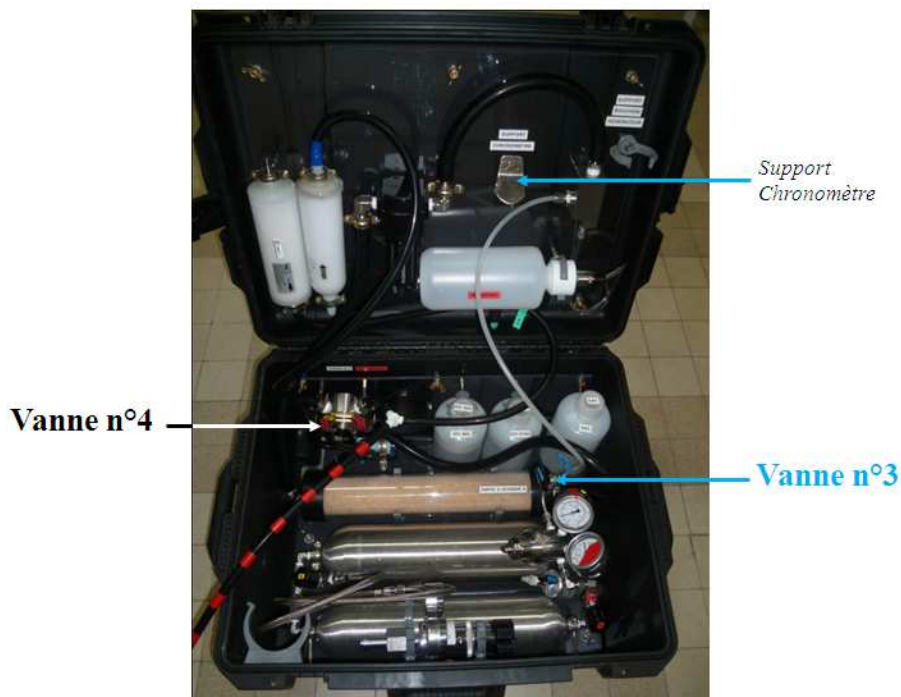


## Etape 3 : Mise en fonctionnement et synchronisation du générateur avec l'analyseur

### **Protocole pour les TEOM 1400-FDMS**

- Appuyer sur « STEP SCREEN » puis sur « Mass concentration » (ou taper 14 + Enter) afin de visualiser la position de la vanne du FDMS :
  - **Cas n°1** : Si la vanne du FDMS est en position « REF », attendre son positionnement sur la position « BASE » puis ouvrir la **Vanne n°3** et attendre le rafraichissement de la masse totale « Tot Mass » sur l'écran du boîtier de contrôle du TEOM-FDMS (1min30 d'attente) ;

- **Cas n°2** : Si la vanne du FDMS est déjà en position « BASE », attendre un cycle complet afin que la vanne passe sur « REF » puis attendre le positionnement de la vanne FDMS à nouveau sur « BASE » puis ouvrir la **Vanne n°3** et attendre le rafraichissement de la masse totale « Tot Mass » sur l'écran du boîtier de contrôle du TEOM-FDMS (environ 1min30 d'attente) ;
- En attendant le rafraichissement de la masse totale « Tot Mass », préparer le chronomètre (utilisation du support adapté, voir photo) ;
- Dès le rafraichissement de « Tot Mass », basculer la **Vanne n°4** en position « Etalonnage » (attention à une certaine difficulté pour la tourner) et lancer le chronomètre en appuyant sur les boutons T1, T2 et T3 ;
- Noter la valeur initiale de « Tot Mass » affichée à l'écran ;
- Relever les masses totales sur l'écran du boîtier de contrôle du TEOM-FDMS à 12, 24 et 36 min ;
- Après le point à 36min, rebasculer la **Vanne n°4**, fermer la **Vanne n°3**, puis stopper le chronomètre en appuyant sur T1, T2 et T3, puis sur CLEAR, puis à nouveau sur T1, T2, T3 ;



- Puis procéder, si nécessaire, au changement des filtres du TEOM et du FDMS (en fonction du taux de colmatage) ;
- Les valeurs relevées doivent être **soustraites de la valeur initiale de « Tot Mass »** et également **multipliées par un facteur 2**. Les valeurs doivent donc être comprise entre:

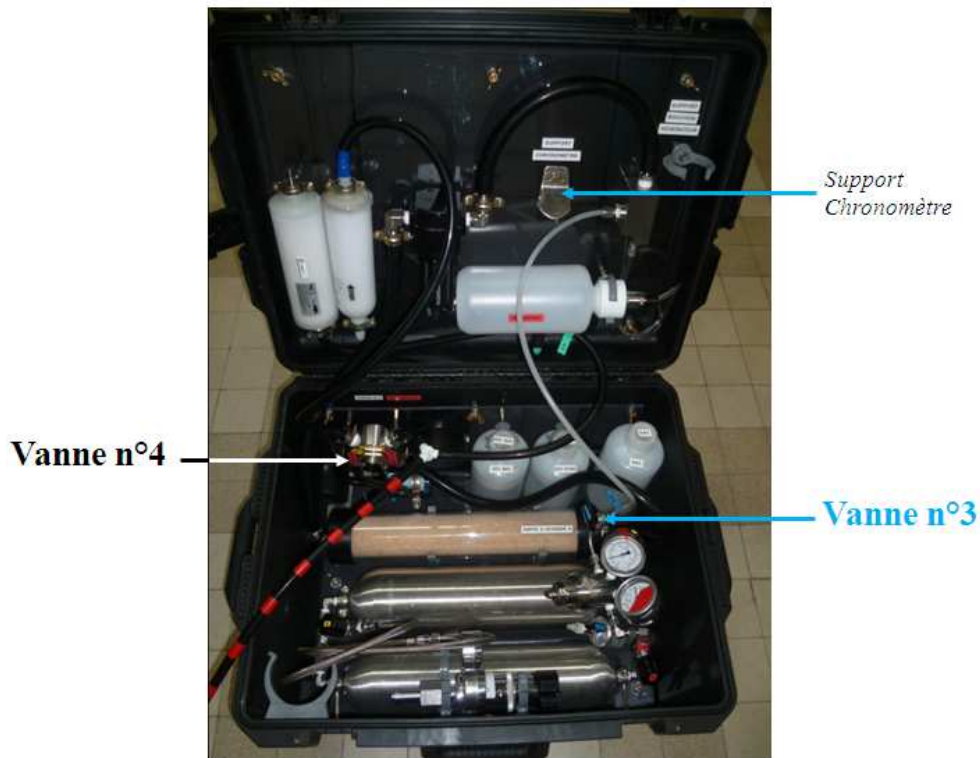
**A t = 12min:**  $20 \mu\text{g} < m_{\text{lue}} < 40 \mu\text{g}$

**A t = 24min:**  $44 \mu\text{g} < m_{\text{lue}} < 70 \mu\text{g}$

**A t = 36min:**  $76 \mu\text{g} < m_{\text{lue}} < 106 \mu\text{g}$

## Protocole pour les TEOM 1405-F

- Appuyer sur « Settings » puis sur « Data Storage » puis sur « Storage Interval » ;
- Taper 720 afin de paramétrer un temps d'acquisition de 12 min puis appuyer sur « Skip hourly synchronization » ;
- Appuyer sur « Settings » puis sur « Data Storage » puis sur « Edit List » ;
- Choisir « Total Mass » afin d'enregistrer la valeur de la masse totale prélevée toutes les 12 min ;
- Appuyer sur « Instrument Conditions » puis sur « FDMS Module » afin de visualiser la position de la vanne du FDMS :
  - **Cas n°1 :** Si la vanne du FDMS est en position « REF », attendre son positionnement sur la position « BASE »
    - Puis ouvrir la **Vanne n°3** ;
    - Attendre 60 s (pour le rafraichissement de la masse totale « Tot Mass » dans le système) ;
    - En attendant, préparer le chronomètre (utilisation du support adapté, voir photo) et positionner une main sur la **Vanne n°4** (attention à une certaine difficulté pour la tourner) ;
    - Après ces 60 s, basculer la **Vanne n°4** sur « Etalonnage » et lancer le chronomètre en appuyant sur le bouton T1 (36 min) ;
    - Noter l'heure de démarrage indiquée sur l'écran du TEOM 1405F.
  - **Cas n°2 :** Si la vanne du FDMS est déjà en position « BASE », attendre un cycle complet afin que la vanne passe sur « REF » puis attendre le positionnement de la vanne FDMS à nouveau sur « BASE »
    - Puis ouvrir la **Vanne n°3** ;
    - Attendre 60 s (pour le rafraichissement de la masse totale « Tot Mass » dans le système) ;
    - En attendant, préparer le chronomètre (utilisation du support adapté, voir photo) et positionner une main sur la **Vanne n°4** (attention à une certaine difficulté pour la tourner) ;
    - Après ces 60 s, basculer la **Vanne n°4** sur « Etalonnage » et lancer le chronomètre en appuyant sur le bouton T1 (36 min) ;
    - Noter l'heure de démarrage indiquée sur l'écran du TEOM 1405F.
- Après le point à 36min, rebasculer la **Vanne n°4**, fermer la **Vanne n°3**, puis stopper le chronomètre en appuyant sur T1, puis sur CLEAR, puis à nouveau sur T1 ;



- Puis procéder au changement des filtres du TEOM et du FDMS (en fonction du taux de colmatage) ;
- Utiliser une clef USB afin de télécharger les données stockées au sein du TEOM 1405-F (Introduire la clef + choisir de télécharger les données depuis le dernier téléchargement « from last download ») ;
- Lors de l'ouverture du fichier de données sur Excel, repérer l'heure de démarrage notée précédemment afin de sélectionner correctement les masses totales à 12, 24 et 36 min.
- Les valeurs identifiées à 12, 24 et 36 min doivent être **soustraites de la valeur « Tot Mass »** initiale (c'est-à-dire précédent la valeur à 12 min) et également **multipliées par un facteur 2**. Les valeurs doivent donc être comprise entre :

**A t = 12min:**  $20 \mu\text{g} < m_{\text{lue}} < 40 \mu\text{g}$

**A t = 24min:**  $44 \mu\text{g} < m_{\text{lue}} < 70 \mu\text{g}$

**A t = 36min:**  $76 \mu\text{g} < m_{\text{lue}} < 106 \mu\text{g}$



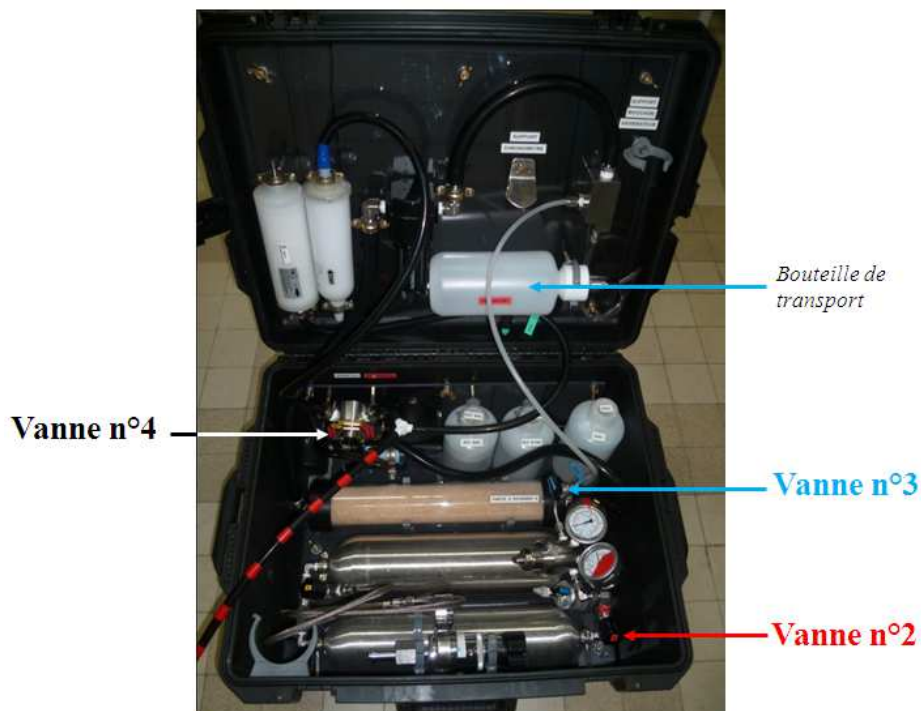
## **Protocole pour les jauges radiométriques MP101M-RST (Env. SA) / BAM 1020 (MET ONE)**

- Attendre la fin de la mesure « I<sub>0</sub> count » et la mise en fonctionnement de la pompe pour la phase de prélèvement « I<sub>1</sub> count » ;
- Dès que la pompe se met en fonctionnement, ouvrir la **Vanne n°3** et attendre 2 min tout en préparant le chronomètre ;
- Après ces 2 min d'attente, basculer la **Vanne n°4** sur « Etalonnage » et lancer le chronomètre en appuyant sur T1 (36min) ;
- Après ces 36 min, rebasculer la **Vanne n°4** et fermer la **Vanne n°3** puis stopper le chronomètre en appuyant sur T1, puis sur CLEAR, puis à nouveau sur T1 ;
- Attendre environ 20 min pour le rafraichissement de la concentration massique sur l'écran de la jauge radiométrique ;
- Pour la solution de KCl à 0,1 g/L, les concentrations massiques doivent être comprise entre :

$$127 \mu\text{g}/\text{m}^3 < C_{\text{lue}} < 177 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

### **Etape finale : Nettoyage du générateur**

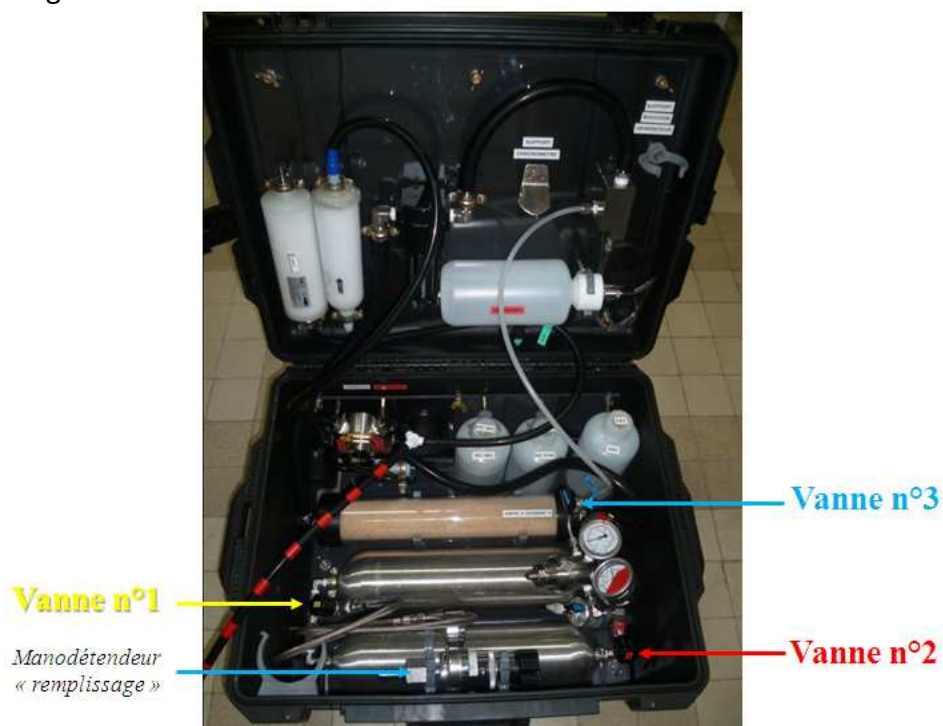
- Déconnecter le tuyau en **pointillé rouge** de l'analyseur ;
- Dévisser la bouteille contenant la solution de KCl ;
- Visser la bouteille contenant de l'eau ;
- Vérifier que la **Vanne n°4** n'est pas en position « contrôle » ;
- Ouvrir la **Vanne n°3** et faire fonctionner 30 secondes le générateur ;
- Fermer la **Vanne n°3** ;
- Dévisser la bouteille d'eau puis visser la bouteille « *transport* » et la mettre en place sur le couvercle de la valise en position horizontale (maintien par le bouchon blanc, voir photo).
- Fermer la **Vanne n°2**.



➔ Purge des réserves d'air comprimé

Afin de purger le reste d'air contenu dans les réserves du générateur, vérifier que le manodétendeur « remplissage » est déconnecté de la bouteille d'air comprimé ; fermer la **Vanne n°3**, ouvrir la **Vanne n°2** et ouvrir progressivement la **Vanne n°1** jusqu'à la purge complète des réservoirs.

Si besoin, ouvrir le manodétendeur « remplissage » afin de purger complètement les réserves de gaz.



## 6. RETOUR D'EXPERIENCE DE L'UTILISATION DU GARP SUR LE TERRAIN PAR AIRPARIF

Dans l'objectif d'obtenir un retour d'expérience constructif et correctif de par l'utilisation du protocole d'utilisation précédemment présenté, le LNE a sollicité Airparif afin de prendre en main le système GARP. Des tests, concernant les jauges radiométriques, 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. Les résultats associés à ces tests sont décrits ci-dessous, sachant que les concentrations massiques doivent être comprise entre  $127 \mu\text{g}/\text{m}^3 < C_{\text{lue}} < 177 \mu\text{g}/\text{m}^3$  afin de valider une mesure.

### → Station d'Auteuil (Trafic):

Cette station est équipée de deux BAM 1020. Lors de ces tests, le système GARP était placé sur le toit de la station et les conditions météorologiques étaient les suivantes: soleil-nuages, limite orage, température : 16-18°C. Voici les résultats associés à ces deux BAM :

- BAM 10-220 (PM<sub>10</sub>) = 154  $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- BAM 10-209 (PM<sub>2,5</sub>) = 137  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Il est important de noter que la présence de coups de poinçons au niveau des tâches a été observée lors de ces mesures. Ceci est susceptible d'induire des risques de fuites.

### → Station de RUR S (Bois-Herpin) (Rural):

Cette station est équipée de deux BAM 1020. Lors de ces tests, le système GARP était placé sur le toit de la station et les conditions météorologiques étaient les suivantes : soleil, température : 28-30°C. Voici les résultats associées à ces deux BAM :

- BAM 10-224 (PM<sub>10</sub>) = Pas de mesure.

Raison: L'instrument présente une variation de débit, ce qui a conduit à obtenir des réponses nulles ; l'appareil est alors passé en mode défaut (test réalisé 2 fois).

Cause: Non déterminée.

Hypothèse: Qualité du rouleau filtre non adaptée aux conditions de fonctionnement.

Note: Débit de l'appareil = 16,37 L/min (mesuré avec le débitmètre DB-045).

- BAM 10-232 (PM<sub>2,5</sub>) = 188  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , hors seuil.

Information: L'appareil passe en défaut (delta pressure) au moment de la permutation de la vanne 4. De plus, le ruban filtre est très marqué, comme si l'appareil était sous vide (empreinte très visible du croisillon « support » du ruban filtre au niveau de la buse).

Cause: Non déterminée.

Supposition: Qualité du rouleau filtre non adaptée aux conditions de fonctionnement.

Note: Débit de l'appareil = 16,48 L/min (mesuré avec le débitmètre DB-045) et volume prélevé durant le cycle = 0,636 m<sup>3</sup>/0,7014 m<sup>3</sup> (nominal).

Suite aux résultats obtenus sur site et plus particulièrement sur le site rural, des tests ont été réalisés sur deux BAM 1020 (en mode stand-by avant les tests) à l'atelier du Service Instrumentation et Mesures (pièce climatisée). Les résultats associés sont décrits ci-après.

Informations: Atelier climatisé (consigne  $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ ) ; appareils en mode stand-by avant le début des tests ; étalonnage du débit à travers le filtre HEPA du générateur de particules : 13,73 L/min (ok).

- BAM 10-202 =  $147 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Note: Durant le cycle, le volume total prélevé =  $0,701 \text{ m}^3/0,7014 \text{ m}^3$  (nominal) et RH = 25%. Le débit de l'appareil sur le cycle suivant = 16,76 L/min (mesuré avec le débitmètre DB-045).

- BAM 10-223 = Pas de mesure.

Raison: Comme pour la BAM 10-224, le débit fluctue, au bout d'un certain temps, avant que l'appareil interrompe son cycle avec le message « Flow error ».

Cause: Non déterminée.

Supposition: Qualité du rouleau filtre non adaptée aux conditions de fonctionnement.

Note: La tâche est visible et présente un aspect « humide ». En revanche, le ruban filtre n'est pas marqué comme si l'appareil s'était mis sous vide. Etalonnage du débit avant et après le test : avant = 16,55 L/min ; après = 16,48 L/min (mesuré avec le débitmètre DB-045).

De nouveaux tests ont alors été effectués sur cette jauge BAM 1020 (en service avant le test).

Informations: Présence d'un nouveau type de rouleau filtre présentant une meilleure tenue vis-à-vis de l'humidité (Reoder #46018 lot : G2442139). Mesure du débit à travers le filtre HEPA du générateur de particules tout au long des tests avec un débitmètre (DB 045).

- Nouvelle mesure BAM 10-223 =  $137 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Note: Au cours du cycle, le volume total prélevé était de  $0,700 \text{ m}^3/0,7014 \text{ m}^3$  (nominal) et RH = 35%. Rien à signaler au niveau du cycle de l'appareil. Le tableau ci-après résume différents paramètres.

Temps (min)	Débit BAM1020 (L/min)	Humidité relative BAM1020 (%)	Débit « Filtre HEPA » (L/min)
35	16,7	37	13,44
30	16,7	/	13,44
25	16,7	/	13,43
20	16,7	35	13,46
15	16,7	/	13,46
10	16,7	33	13,45
5	16,7	33	13,49

### Synthèse

Le générateur de particules est simple d'utilisation et nécessite un faible temps de mise en œuvre. Toutefois, pour une utilisation sur le terrain, il reste encombrant et lourd, nécessitant la présence de deux personnes pour la manutention et ce malgré de gros progrès entre les deux prototypes. Les résultats obtenus sur le terrain confirment à la fois le bon fonctionnement des appareils mais aussi très probablement les doutes sur la qualité du ruban filtre de certains appareils.

### Conclusion

Le générateur de particules du 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 atypiques, de type non représentatives, de certains sites.

### Suite à donner/ Perspectives

AIRPARIF souhaite poursuivre les tests sur le terrain avec le générateur de particules afin de pouvoir identifier les dysfonctionnements des BAM 1020 et plus particulièrement faire des tests sur les appareils mesurant en continu la concentration massique des particules en suspension dans l'air sur le principe d'une microbalance oscillante.

A la charge du LNE : améliorer le poids et l'encombrement du générateur de particules. Pourquoi ne pas imaginer, dans le futur, des générateurs de particules sur sites pour réaliser des autocontrôles ou des contrôles à distance.

## 7. 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 « µg » et du « 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 lues sur 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.

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 LNE. De plus, la procédure associée au générateur miniaturisé a également été appliquée au contrôle des jauges béta, ce qui permet de rendre ce système versatile.



---

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)