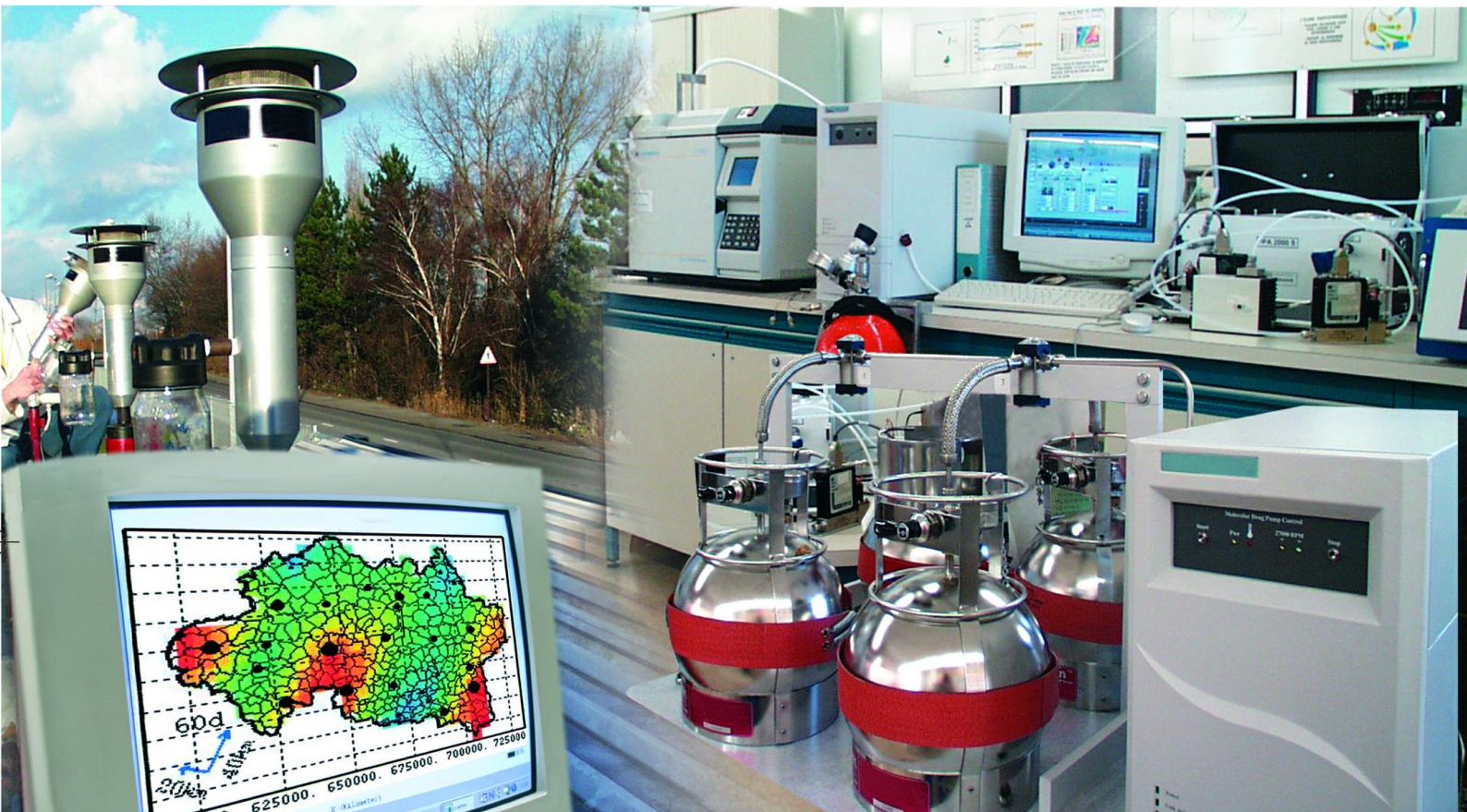




Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air



Métrieologie des particules PM_{10} et $PM_{2.5}$

**Suivi et optimisation de l'utilisation des TEOM-FDMS,
partie 2/2:**

Accompagnement à la mise en œuvre des modules FDMS

Décembre 2009

Programme 2009

A. USTACHE, O. FAVEZ





PREAMBULE

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

Le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air est constitué de laboratoires de l'Ecole des Mines de Douai, de l'INERIS et du LNE. Il mène depuis 1991 des études et des recherches finalisées à la demande du Ministère chargé de l'environnement, sous la coordination technique de l'ADEME et en concertation avec les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA). Ces travaux en matière de pollution atmosphérique supportés financièrement par le Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer 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 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.



Suivi et optimisation de l'utilisation des TEOM-FDMS, partie 2/2 : Accompagnement à la mise en oeuvre des modules FDMS

Laboratoire Central de Surveillance
de la Qualité de l'Air

Métrologie des particules PM₁₀ et PM_{2.5}

Programme financé par la
Direction Générale de l'Énergie et du Climat (DGEC)

2009

A. USTACHE, O. FAVEZ, N. BOCQUET, R. AUJAY

Ce document comporte 29 pages (hors couverture et annexes)

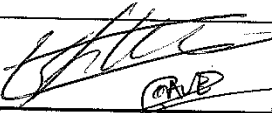


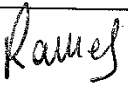
	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	A. USTACHE O. FAVEZ	E. LEOZ-GARZIANDIA	M. RAMEL
Qualité	Ingénieurs Direction des risques chroniques	Responsable unité CIME Direction des risques chroniques	Responsable LCSQA/INERIS Direction de risques chroniques
Visa	 		

TABLE DES MATIÈRES

RESUME	7
1. INTRODUCTION	9
2. ASSISTANCE AU DEPLOIEMENT ET AU FONCTIONNEMENT DES FDMS 11	
2.1 Appui dans le cadre de la Commission de Suivi « Surveillance des particules en suspension ».....	11
2.2 Assurance qualité.....	11
2.3 Gestion des FDMS en prêt.....	12
2.4 Evolution du TEOM-FDMS.....	12
3. REALISATION DE TESTS SUR L'EFFICACITE DU SECHEUR	14
3.1 Contexte de l'étude	14
3.2 Principe de fonctionnement du TEOM-FDMS et objectif de l'étude	14
3.3 Dispositif expérimental	16
3.4 Résultats et discussion.....	18
3.5 Bilan	22
4. VALORISATION DE L'EXPERTISE FRANCAISE	23
5. CONCLUSION	26
6. REFERENCES	28
7. LISTE DES ANNEXES	29

RESUME

Depuis le 1^{er} janvier 2007, les TEOM-FDMS sont très largement utilisés en routine par l'ensemble des AASQA pour la surveillance des PM₁₀ et des PM_{2.5}. Comme démontré par les travaux du LCSQA en 2005 et 2006, ces instruments satisfont aux critères d'équivalence aux normes EN12341 et EN14907, relatives à la mesure des PM₁₀ et des PM_{2.5} respectivement.

Dans le cadre du déploiement et de la mise en œuvre de ces instruments, le LCSQA/INERIS est notamment chargé de suivre et d'optimiser leur utilisation par les AASQA ainsi que d'assurer la qualité des données produites en construisant une approche QC/QA basée sur celle décrite dans les normes utilisées pour la mesure des gaz classiques (O₃, NO_x, SO₂, CO).

Les travaux conduits par le LCSQA/INERIS en 2007 et 2008 ont permis de mieux comprendre le fonctionnement et les limites d'applicabilité des modules FDMS à l'aide de campagnes de mesures et d'intercomparaisons, et du retour d'expériences des AASQA. Ce travail a notamment mis en évidence les rôles prépondérants joués par l'efficacité du sécheur et par les performances de la pompe sur la qualité de la mesure par TEOM-FDMS. Il a également donné lieu à l'élaboration des premières versions d'un « Guide pour l'utilisation des TEOM-FDMS ».

Par ailleurs, depuis la fin de l'année 2008, de nouvelles versions des TEOM-FDMS sont disponibles sur le marché, en particulier les modèles 1405f et 1405df. Le premier consiste globalement en l'unification du TEOM 1400 et du module FDMS en un seul et même instrument, plus compact. Le 1405df est équipé d'un impacteur virtuel placé en aval de la tête de prélèvement, permettant la mesure simultanée des PM₁₀ et PM_{2.5}. Ces nouveaux outils sont amenés à remplacer les premières générations de TEOM-FDMS. Cependant, en 2008, il n'existait pas de preuves scientifiques indiquant leur adéquation avec les critères européens de mesures de PM. Une note du LCSQA envoyée à l'ensemble des AASQA en cours d'année 2008 recommandait donc de ne pas s'équiper de TEOM-FDMS 1405df dans l'immédiat, et d'attendre, si possible, avant de s'équiper en TEOM-FDMS 1405f.

L'objet de ce rapport est de présenter les travaux réalisés en 2009 par le LCSQA/INERIS dans ce contexte.

Une part importante du travail a consisté à finaliser la collection des retours d'expériences des AASQA, afin de faire évoluer le guide de fonctionnement du TEOM-FDMS. Les premières versions de ce document étaient centrées sur les difficultés rencontrées avec l'outil, et les solutions à mettre en œuvre pour leur résolution. La dernière version, mise en ligne, en ligne depuis mai 2009, propose également un protocole de contrôle QC/QA. Ce protocole sera notamment repris par la société Thermo (constructeur du TEOM-FDMS) dans le cadre de l'élaboration de son propre guide de contrôle QC/QA, diffusé au niveau européen.

Un autre point important en 2009 est le suivi de l'évolution de la gamme commerciale des TEOM-FDMS. Dans le cadre des travaux du LCSQA/INERIS 2009, une première série de tests a été réalisée sur les nouveaux TEOM-FDMS (1405f et 1405df). Ces tests ont notamment permis de suspecter une mauvaise qualité des données horaires fournies par les nouvelles versions. Le même type de problèmes a également été mis à jour par différents utilisateurs des TEOM-FDMS aux Etats-Unis et par le constructeur.

En raison de ces problèmes, liés à des défauts de conception induisant un bruit instrumental très important, les TEOM-FDMS 1405f livrés en France avant décembre 2009 nécessitent d'être reconfigurés. Ecomesure (distributeur français de ces instruments) s'engage à effectuer les mises à jour nécessaires avant fin février 2010 (sous condition de livraison par Thermo des kits de réparation dans les temps impartis). Les instruments livrés à partir de décembre 2009 ont été modifiés au préalable ou conçus selon les nouveaux procédés de fabrication.

De ce fait, il a été décidé en cours d'année 2009 de suspendre l'ensemble des tests prévus sur les nouveaux TEOM-FDMS, et d'attendre la reconfiguration des instruments et/ou la livraison de nouveaux instruments.

En revanche, afin de compléter la connaissance de l'outil FDMS, le LCSQA/INERIS s'est attaché à mieux connaître le fonctionnement de la membrane Nafion à travers une étude en laboratoire. Les résultats de cette étude mettent clairement en évidence l'influence de la dépression sur l'efficacité de séchage. En outre, cette influence de la dépression s'accroît à mesure que l'humidité relative est élevée.

1. INTRODUCTION

Les méthodes de référence pour l'évaluation des concentrations de particules définies dans le cadre de la directive européenne concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe, datée du 11 Avril 2008, sont celles décrites dans les normes EN12341 (pour les PM₁₀) et EN14907 (pour les PM_{2.5}).

Ces méthodes manuelles sont onéreuses, difficiles à mettre en œuvre, et ne sont pas adaptées aux besoins d'information rapide (plusieurs jours de délais avant obtention du résultat de la mesure).

La mesure des concentrations de particules en France s'est donc développée sur la base de l'utilisation d'outils automatiques, principalement le TEOM 1400 (fabriqué initialement par R&P, puis désormais par Thermo Scientific), et dans une moindre mesure, la jauge Bêta (l'outil MP101M d'Environnement SA étant distribué en France jusqu'à début 2008).

Depuis 1997, un certain nombre d'études, menées notamment par le LCSQA, ont montré que le TEOM 1400 sous-estime la mesure de PM (PM₁₀ et PM_{2.5}) par rapport à la mesure par méthode de référence.⁽¹⁻³⁾ Cette sous-estimation est due à la volatilisation d'espèces semi-volatiles lors de la mesure par TEOM, réalisée à 50°C afin d'éliminer l'eau présente sur les particules atmosphériques.⁽²⁻⁵⁾ De plus, il a été montré que la relation entre les mesures de PM réalisées par TEOM et celles effectuées selon la méthode de référence n'est pas une relation linéaire simple.^(2, 5) En conséquence, il est apparu difficile d'adopter un facteur correctif pour les données du TEOM par rapport à la méthode de référence.

Dans le même temps, des solutions techniques ont fait leur apparition, et une démonstration d'équivalence a pu être réalisée pour deux outils :

- Le TEOM-FDMS de Thermo R&P, pour la mesure des PM₁₀ et des PM_{2.5}.^(6, 7) Cet instrument correspond en réalité à un TEOM 1400 équipé d'un module FDMS permettant la prise en compte des espèces semi-volatiles tout en éliminant l'eau présente sur les particules.⁽⁸⁾ Il est notamment pourvu d'un sécheur de type membrane Nafion
- La jauge radiométrique MP101M-RST d'Environnement SA pour la mesure des PM₁₀.⁽⁹⁾

La problématique a alors évolué vers la question de leurs modalités d'intégration au sein du système de surveillance français.

Les réflexions et divers travaux ont permis d'élaborer une stratégie nationale d'intégration et de déploiement de ces nouveaux outils, tout en répondant à un impératif de mise en œuvre à partir du 1er janvier 2007. L'ensemble du dispositif (AASQA, Ministère en charge de l'environnement, ADEME, LCSQA, Commission de Suivi "Mesure des particules en suspension") a été mobilisé tout au long de l'année 2006 pour traiter ces questions. L'année 2007 a également connu une activité soutenue, le lancement du nouveau dispositif national nécessitant de nombreuses actions d'accompagnement.

Les mesures réalisées à l'aide du TEOM-FDMS en 2007 et 2008 sur l'ensemble du territoire national ont donné lieu à un questionnement approfondi sur la pollution particulaire en elle-même, mais également sur le bon fonctionnement de ce type d'instrument.

Tout d'abord, le changement de méthode de mesure des PM₁₀ s'est accompagné d'une meilleure prise en compte des épisodes de pollution, le nombre de dépassements de seuils observés augmentant significativement. Un fort besoin de compréhension de l'origine des pics observés s'est alors fait sentir. Ce besoin est à l'origine de la mise en place en 2008 du dispositif CARA, permettant d'étudier la composition chimique et les principales sources de particules lors des dépassements de valeurs limites, ainsi que du processus d'ajustement des mesures des PM₁₀ et d'évaluation des outils de modélisation. Ces études, poursuivies en 2009, sont traitées par ailleurs (rapports disponibles en 2010 sur le site lcsqa.org).

Une part importante des travaux 2007 et 2008 du LCSQA/INERIS a également consisté à mieux comprendre le fonctionnement et les limites d'applicabilité des modules FDMS à l'aide de campagnes de mesures et d'inter-comparaisons, et du retour d'expériences des AASQA. Ce travail a permis de mettre en évidence les rôles prépondérants joués par l'efficacité du sécheur et par les performances de la pompe sur la qualité de la mesure de PM à l'aide du TEOM-FDMS. Il a également donné lieu à l'élaboration d'un « Guide pour l'utilisation des TEOM-FDMS ».⁽¹⁰⁾

Par ailleurs, l'année 2008 coïncidait avec l'évolution de la gamme commerciale du constructeur des TEOM-FDMS, de nouveaux outils étant amenés à remplacer les premières générations de cet instrument.

L'objet de ce rapport est de présenter les travaux réalisés en 2009 par le LCSQA/INERIS dans ce contexte. Dans une première partie, il reprend les différents travaux d'assistance au déploiement et au fonctionnement des FDMS, et notamment la réactualisation du "Guide pour l'utilisation des TEOM-FDMS" ainsi que le suivi de l'évolution de la gamme commerciale de cet instrument. Les résultats d'expériences réalisées sur l'efficacité du sécheur en fonction de la dépression générée par la pompe sont présentés dans une deuxième partie. Enfin, un bilan de la mise en valeur de l'expertise française en matière de mesure de PM par TEOM-FDMS est réalisé.

2. ASSISTANCE AU DEPLOIEMENT ET AU FONCTIONNEMENT DES FDMS

2.1 APPUI DANS LE CADRE DE LA COMMISSION DE SUIVI « SURVEILLANCE DES PARTICULES EN SUSPENSION »

Comme c'est le cas depuis 2006, le LCSQA s'est attaché en 2009 à suivre le bon fonctionnement des TEOM-FDMS installés dans l'ensemble des réseaux de surveillance de la qualité de l'air français. Outre la rédaction de guides de fonctionnement et la veille technologique sur l'évolution de la gamme commerciale du constructeur de TEOM-FDMS (traités aux paragraphes 2.2 et 2.4), cette démarche correspond à un souci constant d'échanges avec les AASQA. Ces échanges ont lieu en lien direct avec chaque AASQA désireuse d'appuis techniques particuliers, au cours de journées d'échanges sur la thématique TEOM-FDMS, et en Commission de Suivi « Surveillance des particules en suspension ».

Deux journées d'échanges ont eu lieu au début de l'année 2009, au Mans et à Martigues, permettant ainsi de compléter les rencontres avec l'ensemble des AASQA, organisées dans chaque niveau 2 et initiées en 2008.

Par ailleurs, le LCSQA s'est attaché à présenter l'avancée de ses travaux relatifs au TEOM-FDMS au cours de chaque réunion de la Commission de Suivi « Surveillance des particules en suspension ». Il a également œuvré auprès du constructeur du TEOM-FDMS (Thermo) et de son distributeur français (Ecomesure) afin de relayer les problèmes rencontrés par les AASQA lors de la mise en œuvre de ces instruments et d'apporter des solutions à ces problèmes. En particulier, le LCSQA a rencontré différents représentants de la société Thermo au mois de novembre 2009. Un compte-rendu de ces rencontres a été présenté en Commission de Suivi « Surveillance des particules en suspension » du 16 novembre 2009 (cf. compte-rendu de cette réunion sur les sites lcsqa.org et atmonet.org). Au cours de cette réunion, un certain nombre de questions relatives au bon fonctionnement des TEOM (-FDMS) ont été posées. Afin d'apporter des éléments de réponse à ces questions, le LCSQA/INERIS a rencontré Claude Chambre de la société Ecomesure quelques jours plus tard. Une note, ayant pour objet de réaliser un compte-rendu de cet entretien, a été rédigée et envoyée aux AASQA (cf. annexe II).

2.2 ASSURANCE QUALITE

Dans le cadre du déploiement et de la mise en œuvre des modules FDMS, le LCSQA/INERIS est chargé depuis 2006 d'assurer la qualité des données produites en construisant une approche QC/QA basée sur celle décrite dans les normes utilisées pour la mesure des gaz classiques (O_3 , NO_x , SO_2 , CO).

L'un des points clés de cette action est donc de mieux comprendre le fonctionnement interne du TEOM-FDMS afin de faciliter son utilisation, la validation des données et la détection de dysfonctionnements. A l'aide des différents travaux métrologiques et de la mutualisation des retours d'expérience réalisés au cours de ces dernières années, un guide de fonctionnement du FDMS a pu voir le jour dès 2007, sous forme de note LCSQA, puis en 2008 sous une forme plus complète.

Une part importante du travail du LCSQA/INERIS en 2009 a été consacrée à l'optimisation et à la mise à jour de ce guide. Ce travail a donné lieu à la rédaction de sa sixième version, en ligne depuis mai 2009 (« guide pour l'utilisation du TEOM-FDMS », téléchargeable depuis le site lcsqa.org).⁽¹⁰⁾ Ce guide, diffusé aux AASQA par le MEEDDM, a pour objet de fournir une aide directe et concrète aux utilisateurs des TEOM-FDMS. Ce document est par définition évolutif ; toutes remarques, contributions et critiques sont les bienvenues, et doivent être adressées directement au LCSQA afin de continuer à faire vivre ce document et d'en faciliter l'application.

2.3 GESTION DES FDMS EN PRET

En mai 2006, le ministère chargé de l'environnement a financé l'acquisition de 11 modules FDMS pour les AASQA qui étaient dans l'impossibilité de s'équiper sur fonds propres avant le 1er janvier 2007, en vue de l'ajustement des données PM₁₀. Ces modules ont été mis à disposition des AASQA pour une durée initialement estimée à un an, puis prolongée de manière tacite.

Un bilan sur l'utilisation de ces FDMS a été demandé au LCSQA par le ministère, afin de connaître l'état de ce parc instrumental et sa disponibilité. Le but était d'étudier le cas échéant leur affectation à d'autres utilisations par les AASQA. A la fin de l'année 2009, ces FDMS sont utilisés par les AASQA (pour la mesure des PM₁₀ sur un site de référence ou pour la mesure des PM_{2.5} dans le cadre de l'IEM), hormis un FDMS initialement affecté dans les DOM-TOM et actuellement en réparation.

2.4 EVOLUTION DU TEOM-FDMS

Depuis la fin de l'année 2008, la société Ecomesure commercialise de nouvelles versions des TEOM (-FDMS) : les TEOM 1405, TEOM 1405d, TEOM-FDMS 1405f et TEOM-FDMS 1405df. En particulier, les modèles 1405f et 1405df présentent des caractéristiques susceptibles de faciliter la mesure de PM par les AASQA. Le 1405f consiste globalement en l'unification du TEOM 1400 et du module FDMS en un seul et même instrument, plus compact. Le 1405df est équipé d'un impacteur virtuel placé en aval de la tête de prélèvement, permettant la mesure simultanée des PM₁₀ et PM_{2.5}. Ces nouveaux outils sont amenés à remplacer les premières générations de TEOM-FDMS.

Cependant, en 2008, il n'existait pas de preuves scientifiques indiquant leur adéquation avec les critères européens de mesures de PM. Une note du LCSQA envoyée à l'ensemble des AASQA en cours d'année 2008 recommandait donc de ne pas s'équiper de TEOM-FDMS 1405df dans l'immédiat, et d'attendre, si possible, avant de s'équiper en TEOM-FDMS 1405f. A la fin de l'année 2009, une vingtaine de modèles 1405f avait été commercialisée et livrée à différentes AASQA.

Une série de tests sur les nouvelles versions de TEOM-FDMS a été réalisée en 2008 et 2009 par l'INERIS en partenariat avec ECOMESURE et plusieurs AASQA. Ces tests ont notamment permis de suspecter des problèmes de bruit instrumental sur les nouvelles versions de TEOM-FDMS. Le même type de problèmes a également été mis à jour par différents utilisateurs des TEOM-FDMS aux Etats-Unis et par la société Thermo.

En raison de ces problèmes de fonctionnement, les TEOM-FDMS 1405f livrés en France avant décembre 2009 nécessitent d'être reconfigurés. Ecomesure s'engage à effectuer les mises à jour nécessaires au plus tôt (avant fin février 2010, sous condition de livraison par Thermo des kits de réparation dans les temps impartis). Les instruments livrés à partir de décembre 2009 ont été modifiés au préalable ou fabriqués en accord avec la résolution de ces problèmes.

Les TEOM-FDMS 1405f et 1405df initialement destinés à réaliser les tests prévus dans le cadre des travaux du LCSQA n'étant pas conformes aux nouveaux procédés de fabrication des TEOM-FDMS, il a été décidé en cours d'année 2009 de suspendre ces tests et d'attendre la reconfiguration des instruments et/ou la livraison de nouveaux instruments.

Il est néanmoins à noter que les premiers tests effectués avec des instruments non conformes semblent indiquer une perturbation substantielle des données horaires, mais une bonne qualité des mesures journalières.

Par ailleurs, des campagnes de démonstration d'équivalence des nouveaux TEOM-FDMS (notamment 1405f et 1405df) aux normes EN12341 et EN14907 sont actuellement en cours en Allemagne et en Angleterre. Selon les résultats obtenus jusqu'ici (1 campagne réalisée au TÜV), les TEOM-FDMS 1405f et 1405df semblent satisfaire aux critères d'équivalence pour les mesures de PM_{2,5} et les TEOM-FDMS 1405df semblent satisfaire aux critères d'équivalence pour les mesures de PM₁₀. Des mesures complémentaires sont bien entendu nécessaires pour confirmer ces résultats, et pour vérifier l'équivalence des TEOM-FDMS 1405f à la norme EN 12341 (PM₁₀).

Dans le cadre des travaux 2010 du LCSQA, les nouveaux TEOM-FDMS seront testés sur différents sites en parallèle de mesures gravimétriques.

3. REALISATION DE TESTS SUR L'EFFICACITE DU SECHEUR

3.1 CONTEXTE DE L'ETUDE

Comme il a été dit précédemment la mise en œuvre des TEOM-FDMS par les AASQA a fait apparaître un certain nombre de questions liées à leur fonctionnement. Dans ce contexte, et pour répondre aux demandes formulées en commission de suivi « Surveillance des particules en suspension », le LCSQA a engagé des travaux visant à améliorer les procédures de réception et de maintenance, déterminer les paramètres à suivre pour vérifier le bon fonctionnement de l'outil, permettre d'identifier d'éventuels problèmes et d'y remédier.

L'efficacité de séchage, caractérisée par les températures du point de rosée amont et aval du sécheur, est une grandeur importante puisqu'elle va directement impacter la mesure de la masse si l'aérosol mesuré est trop humide. Il est donc proposé dans cette étude, d'observer le comportement du sécheur à différents points de fonctionnement en faisant varier l'humidité relative de l'air échantillonné et la dépression. Pour cela, le principe de fonctionnement du TEOM-FDMS sera brièvement rappelé, le montage effectué sera présenté suivi des résultats et de leur interprétation.

3.2 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU TEOM-FDMS ET OBJECTIF DE L'ETUDE

La fonction de l'analyseur de poussières TEOM/FDMS est de mesurer la concentration pondérale des poussières en suspension aussi bien volatiles que non volatiles. Selon le préséparateur d'entrée utilisé, le système mesure l'une des fractions suivantes : poussières totales (TSP), PM₁₀, PM_{2,5} ou PM₁.

Le TEOM 1400AB est associé au module FDMS 8500 qui contient entre autre une colonne déshydratante, des mesures d'hygrométrie, un dispositif de filtration, un refroidisseur à effet Peltier et une vanne 3 voies.

Le principe de fonctionnement, schématisé sur la figure 1, est le suivant (selon la notice du TEOM-FDMS distribuée par Ecomesure) :

Avant d'être introduit dans l'analyseur de poussières TEOM, l'air et les poussières en suspension sont séchés par passage dans une colonne déshydratante du type Nafion située dans le module FDMS 8500.

Une vanne 3 voies, installée en amont de l'analyseur de poussières TEOM, dirige alternativement l'air échantillonné soit vers le filtre de collection de la microbalance TEOM, soit vers un filtre de purge refroidi à 4°C par défaut au moyen d'un effet Peltier. Le filtre de purge et le Peltier sont situés dans le module FDMS 8500. Un cycle de mesure se déroule donc en deux étapes :

- Pendant 6 minutes, la vanne 3 voies dirige l'air échantillonné vers le filtre de collection de la microbalance TEOM. Cet air et les particules en suspension ont été préalablement desséchés par passage dans la cartouche de déshydratation de type Nafion. La variation de masse du filtre de collection de la microbalance TEOM pendant les 6 minutes de collection

représente la masse de poussières non volatiles collectées et permet de calculer la « *concentration en poussières non volatiles* » appelée **Base MC**.

- Pendant les 6 minutes suivantes, la vanne 3 voies dirige l'air vers un filtre de purge refroidi à 4°C. Cette boucle de filtration piège les particules en suspension dans l'air échantillonné. L'air filtré est réinjecté en amont de la microbalance TEOM. Le filtre TEOM ne collectant plus de poussières, la variation de masse du filtre TEOM mesurée pendant les 6 minutes est causée par un ensemble de phénomènes physico-chimiques affectant les poussières collectées préalablement sur le filtre TEOM, dont le plus important est la perte des matières volatilisables. La concentration équivalente calculée à partir de cette variation de masse du filtre TEOM est appelée **Ref MC**. Cette valeur est généralement négative puisqu'elle correspond à une perte de masse due aux matières volatiles.

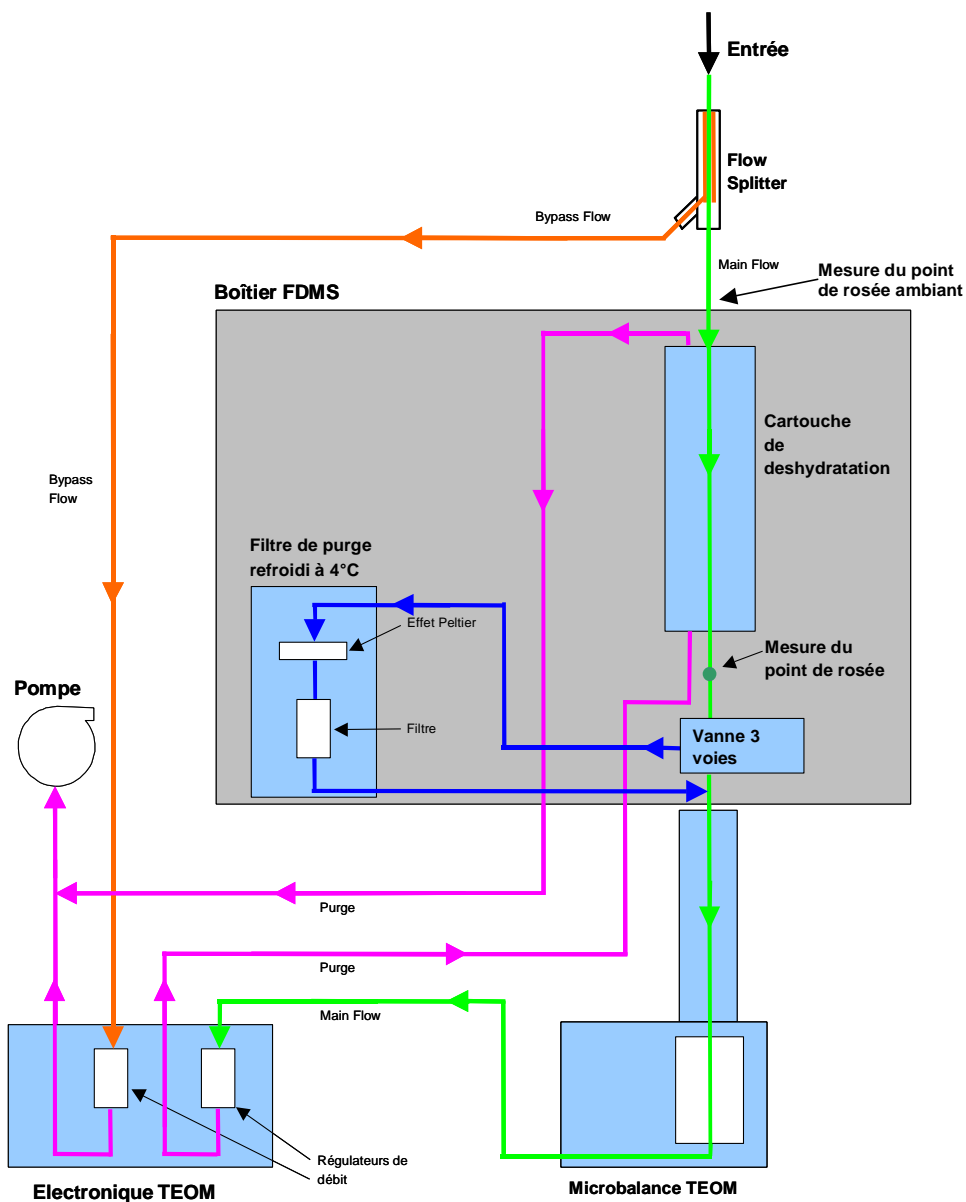


Figure 1 : Schéma de principe du FDMS 8500

La cartouche de déshydratation de type Nafion, également appelée membrane Nafion ou sécheur, tient une place importante dans le fonctionnement du TEOM-FDMS et dans la validité des mesures effectuées par ce système. Un premier effet direct d'une éventuelle défaillance du sécheur est lié au filtre de purge refroidi à 4°C. Le point de rosée de l'air est la température à laquelle la pression partielle de vapeur d'eau est égale à sa pression de vapeur saturante. Par conséquent, la vapeur d'eau contenu dans l'air échantillonné peut condenser si la température de rosée est supérieure ou égale à cette valeur. De plus l'expérience montre qu'un séchage abaissant la température de rosée à 4°C n'est pas suffisant pour garantir des mesures fiables. Dans son fonctionnement normal, le sécheur doit permettre d'atteindre des points de rosée échantillon (point de rosée en aval du sécheur) au moins systématiquement négatifs.

Les symptômes suivants traduisant un séchage insuffisant sont recensés dans le guide pour l'utilisation du TEOM-FDMS :

- *Valeurs maximales de Ref MC ne s'approchant plus de zéro et dérivant,*
- *Valeurs moyennes de Ref MC montrant une dérive dans le temps (non liées à un épisode de poussières ayant une fraction volatile importante),*
- *Point de rosée échantillon trop élevé (doit être au moins < 0°C)*

Le manque d'efficacité du sécheur peut provenir :

- *d'une perte d'efficacité de la membrane Nafion (régénération ou changement du sécheur, voir avec le constructeur),*
- *d'une dépression trop faible dans le circuit (défaillance de la pompe, voir fiche 1, ou problème de fuite, voir fiches 2.1, 2.2, 2.3 de ce guide).*

Dans le but de caractériser le comportement de la membrane Nafion, cette étude propose de recueillir des données à différents points de fonctionnement du TEOM-FDMS en faisant varier l'humidité de l'air échantillonné et la dépression de la ligne de prélèvement.

3.3 DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Afin de tester l'efficacité de séchage, le TEOM-FDMS a été raccordé à un générateur d'humidité. Une vanne a été placée entre la pompe et le TEOM dans le but de créer une fuite contrôlée. Ce montage est schématisé sur la figure 2.

Le matériel utilisé est un TEOM 1400 équipé d'un module 8500 version C. Afin d'assurer une dépression suffisante, une pompe à palette graphite remplace la pompe Thomas d'origine.

Les essais se sont déroulés sur un banc d'essai placé dans une enceinte climatique régulée à 20°C. Les paramètres de pression et de température ambiante ainsi que l'humidité et la température de l'échantillon sont mesurés.

L'air humide est généré au moyen d'un mélangeur (Hovacal 411 de IAS GmbH), équipé de débitmètres massiques, ainsi que d'un évaporateur (cf. figure 3). Ce mélangeur permet de préparer, diluer et humidifier un mélange de gaz (jusqu'à 3 composants). Lors de cette étude, les tests ont été effectués uniquement avec de l'air propre.

En sortie d'évaporateur, l'air humide est à 130°C. Cet air est introduit dans une ampoule de distribution qui permet l'alimentation des analyseurs à pression atmosphérique. La température du mélange gaz/vapeur est alors de 20°C (température de l'enceinte climatique). L'humidité est mesurée dans l'ampoule avec un thermo-hygromètre (Rotronic).

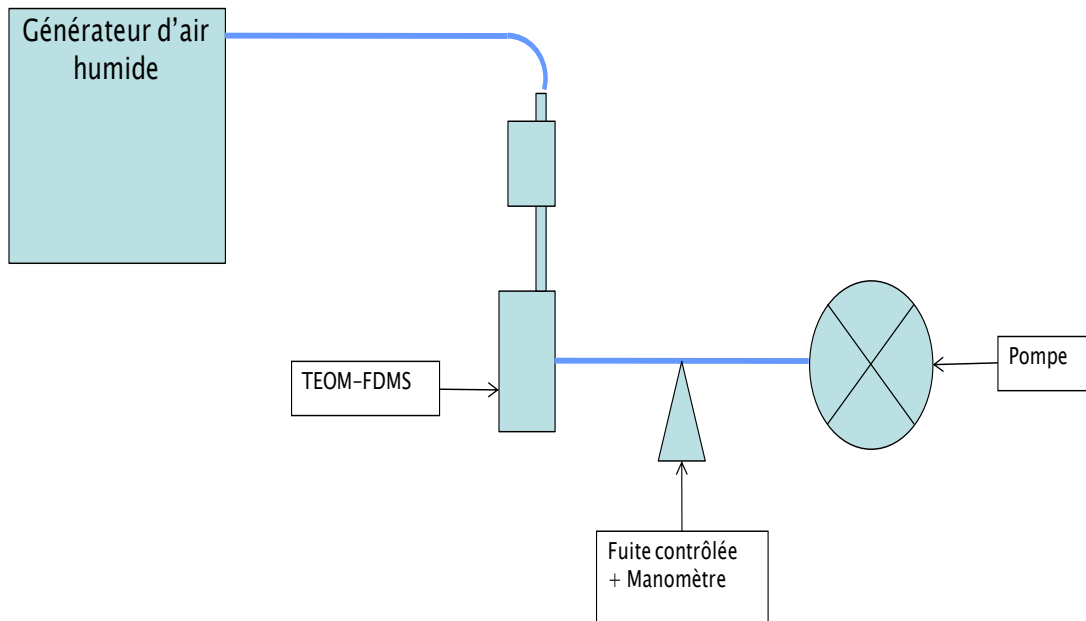


Figure 2 : Schéma du dispositif expérimental

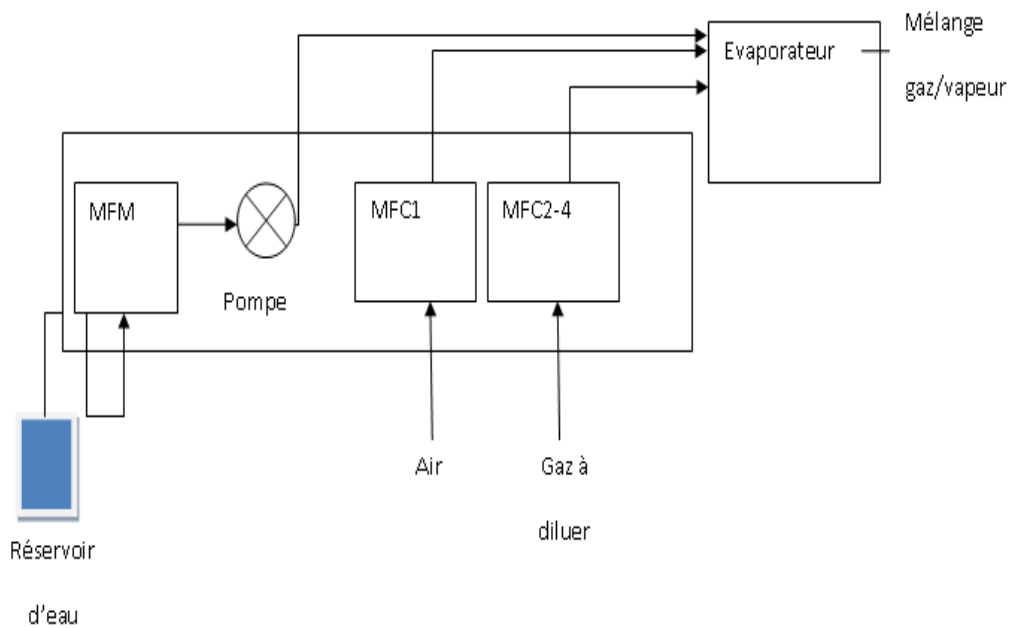


Figure 3 : schéma du générateur d'humidité

Protocole de génération de l'humidité :

Le choix a été fait de faire évoluer le pourcentage d'humidité relative selon cinq paliers à quatre humidités différentes :

$$\text{HR} = 20\% \rightarrow 40\% \rightarrow 80\% \rightarrow 20\% \rightarrow 50\%$$

L'humidité est de 20% au départ du cycle et monte jusqu'à 80% qui est la valeur maximum du générateur. Un passage de 80% à 20% est prévu sans palier intermédiaire afin d'observer un éventuel effet « mémoire » du sécheur. Chaque valeur d'humidité relative étant maintenue pendant 1 heure, la durée totale d'un cycle est de 5 heures à une dépression donnée.

3.4 RESULTATS ET DISCUSSION

La figure 4 présente un suivi temporel de la température de rosée en amont et en aval de la cartouche de déshydratation.

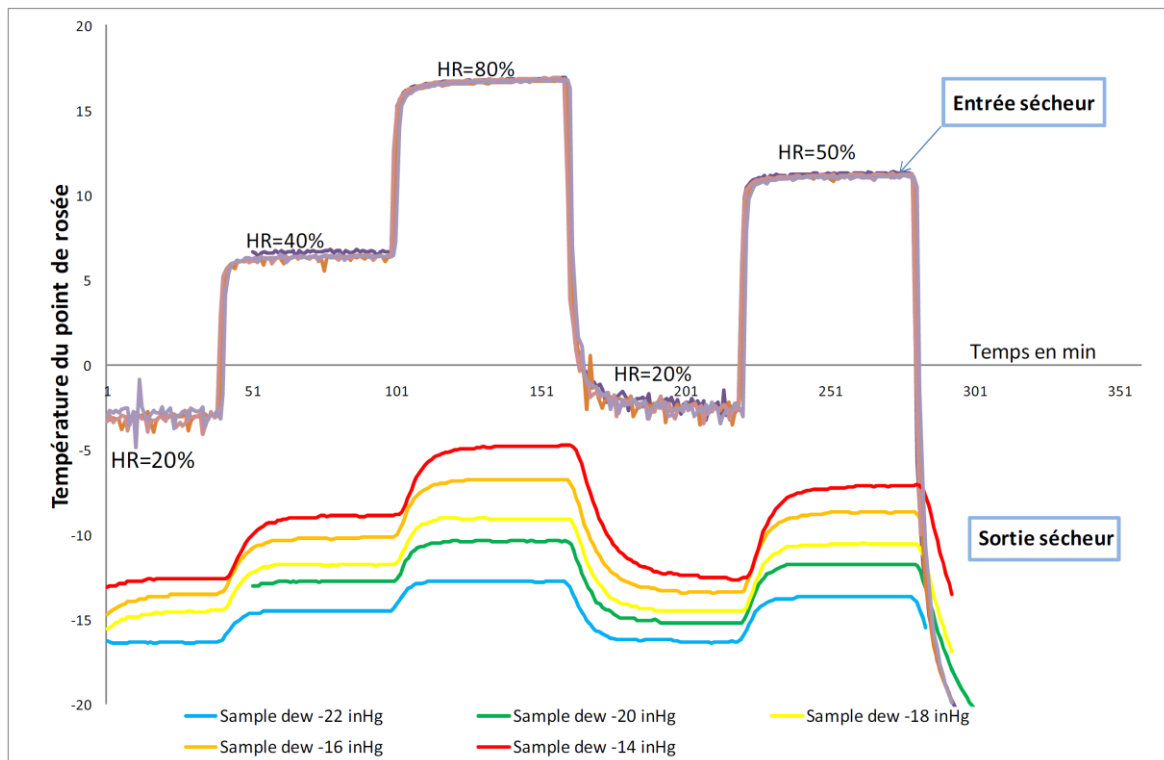


Figure 4 : suivi temporel de la température du point de rosée

Le temps (en minutes) est représenté sur l'axe des abscisses, l'axe des ordonnées indique la température de rosée. Le groupe de courbes sur la partie supérieure représente l'air avant séchage.

Le même cycle de génération d'humidité a été appliqué pour cinq valeurs de dépression différentes : -22 inHg, -20 inHg, -18 inHg, -16 inHg, et -14 inHg. Les résultats des mesures de la température du point de rosée en sortie du sécheur

en fonction de la dépression imposée par la pompe sont représentés en partie basse du graphique.

Il apparaît dans un premier temps que l'efficacité du sécheur est d'autant plus importante que la dépression est forte. Le graphique ci-dessus laisse apparaître que quelque soit l'humidité générée, le sécheur garde une certaine efficacité avec une température de rosée aux environs de -5°C dans les conditions les plus critiques de cette étude. En effet la courbe bleue représente la température de rosée après séchage à une dépression de -22 inHg. Le séchage permet d'obtenir environ -14°C dans cette configuration à 80% d'humidité alors qu'une dépression de -14 inHg dans les mêmes conditions d'humidité ne fait descendre la température de rosée qu'à -5°C . Ce résultat confirme que l'efficacité de séchage est proportionnelle à la valeur de la dépression.

De plus, une bonne dépression atténue les variations de température de rosée en aval du sécheur. A -22 inHg, la température de rosée est à environ -16°C dans sa valeur la plus basse et à -14°C dans sa valeur la plus haute, ce qui induit une variation d'environ 2°C . En revanche, l'écart devient plus important en faisant fonctionner le système à -14 inHg avec une différence des valeurs extrêmes d'environ 9°C . Ce résultat confirme les recommandations du guide pour l'utilisation du TEOM-FDMS qui préconise d'appliquer une dépression inférieure à -20 inHg en utilisant une pompe plus puissante (pompe à palettes sèche) que la pompe fournie par le constructeur.

Indépendamment de la dépression, on remarque que la différence de température de rosée entre l'entrée et la sortie du sécheur est plus grande lorsque le pourcentage d'humidité relative est élevé.

La figure 5 représente la température du point de rosée en amont du sécheur en fonction de la température de rosée en aval. Pour chaque dépression testée, une régression polynomiale du second degré a été tracée. Pour des valeurs allant de -22 inHg à -18 inHg, on remarque que l'efficacité de séchage conserve un caractère linéaire. En revanche une dérive est visible pour les dépressions les moins importantes telles que -16 inHg et -14 inHg. Ceci traduit le fait que lorsque la dépression est faible, l'efficacité de séchage de la membrane Nafion en fonction de l'humidité n'est plus linéaire, la pente étant accentuée à chaque palier d'humidité.

Afin de mieux comprendre le comportement de la membrane déshydratante, il est également intéressant d'observer les températures de rosée en fonction de la dépression pour chaque humidité générée (cf. figure 6). Les données mesurées ont été extrapolées par régression polynomiale du second ordre. Afin de simuler le cas où la dépression serait nulle, les ordonnées à l'origine correspondent à la température de rosée avant séchage pour chaque humidité.

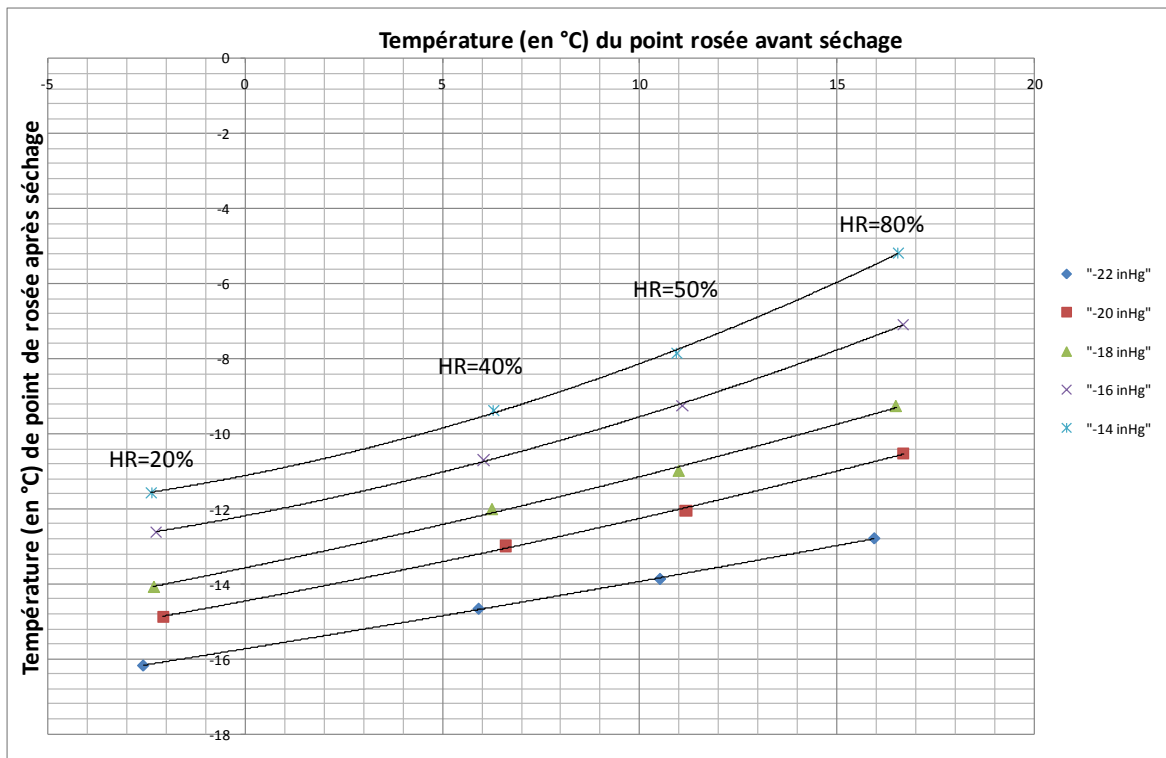


Figure 5 : Isobares des températures de rosée après séchage en fonction des températures de rosée avant séchage

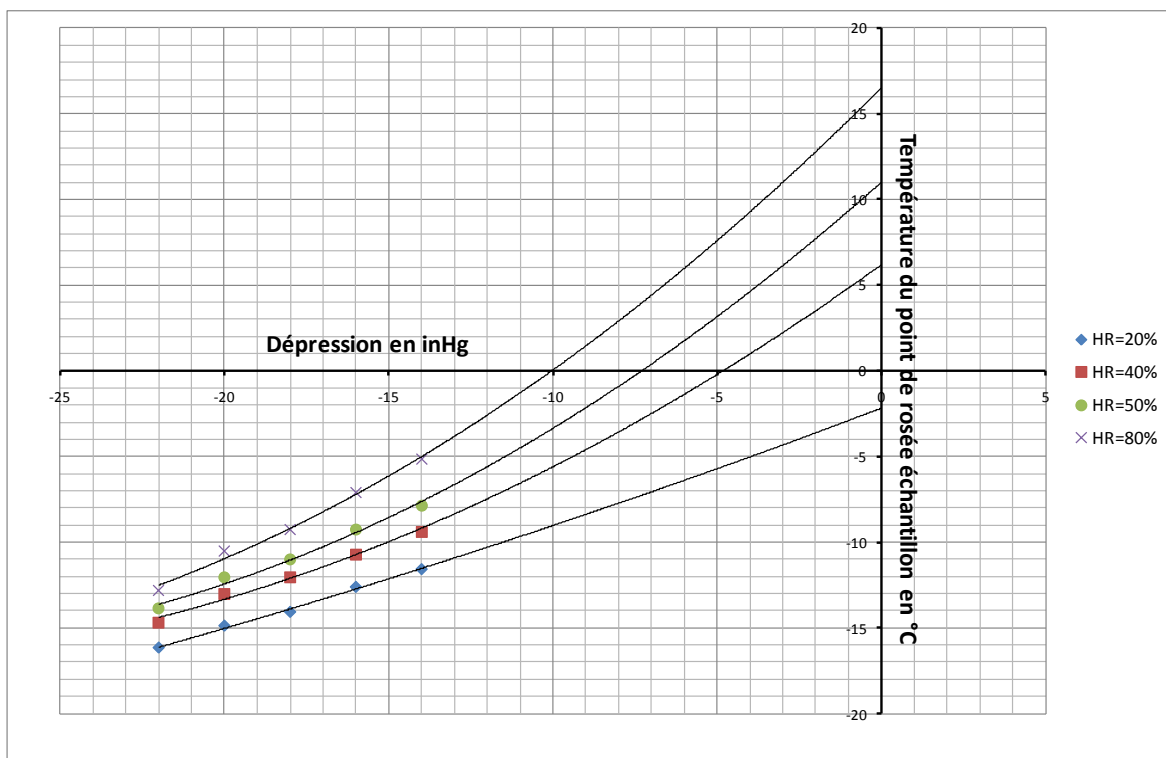


Figure 6 : températures de rosée après séchage en fonction de la dépression à humidité constante

La figure 6 pourrait servir de référence pour vérifier le bon fonctionnement d'un sécheur. En connaissant l'humidité relative, on pourrait à l'aide de ces courbes connaître la dépression à appliquer afin d'obtenir une température de rosée échantillon correcte.

Cependant, plusieurs paramètres laissent penser que les résultats obtenus lors de cette étude ne peuvent pas être généralisés. Tout d'abord, en se référant au guide pour l'utilisation du TEOM-FDMS, les paramètres de fonctionnement conseillés sont respectivement de -20 inHg et de -2 à -4°C pour la dépression et la température de point de rosée en aval du sécheur. On s'aperçoit que sur l'ensemble des données générées, et même dans des valeurs de dépression trop faible, la température de rosée n'excède pas -5°C, ce qui laisse penser que les conditions de laboratoire dans lesquelles se sont déroulées les mesures, ne reflètent pas les conditions réelles d'utilisation du TEOM-FDMS pour la mesure des PM en air extérieur. L'air généré est dépourvu de particules, et il est possible que l'efficacité de séchage soit moins importante sur un air chargé en différents composés.

De plus, l'étude propose d'évaluer le comportement d'un seul sécheur. Or, comme le montre la figure 7 (comparaison des points de rosée amont et aval du matériel de plusieurs AASQA), une grande disparité existe au sein du matériel français. Ainsi, les résultats de l'étude apportent des informations uniquement sur un sécheur à un vieillissement donné. En revanche, il est envisageable de déterminer sur la base de cette étude, des critères de qualité des membranes Nafion à réception du matériel.

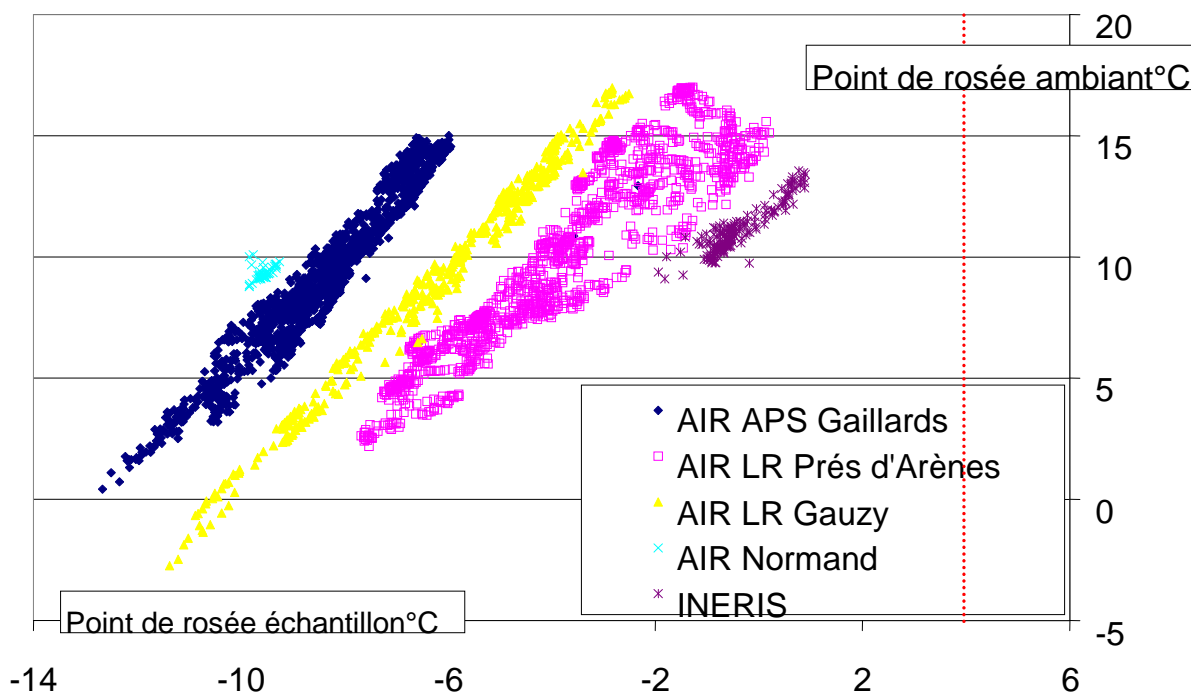


Figure 7 : températures de rosée avant séchage en fonction des températures de rosée après séchage sur plusieurs sites de mesure

3.5 BILAN

Les informations obtenues ont permis de mettre en évidence l'influence de la dépression sur l'efficacité de séchage. Une bonne dépression améliore le séchage, d'autant plus pour des valeurs d'humidité importantes. Cependant, aucune série de données générée lors de cette étude n'a montré une rupture dans le comportement de la membrane Nafion. Les valeurs critiques préconisées dans le guide n'ont pas été dépassées malgré des mises en œuvre du TEOM-FDMS à des dépressions très faibles. Cette étude ne reflète manifestement pas le fonctionnement du sécheur sur le terrain dans la mesure où l'air échantillonné ne comportait pas de particules. De plus, il est difficile d'appliquer les courbes obtenues à une autre membrane déshydratante avec certitude car son efficacité est directement liée à sa durée d'utilisation. En revanche, le protocole appliqué peut servir de base pour mettre au point une liste de critères en vue d'un contrôle qualité à proposer au fournisseur lors de la livraison de matériel neuf. Il peut également permettre de suivre son évolution au cours du temps en répétant à intervalles réguliers cette manipulation. Ces possibilités seront proposées en commission de suivi « Surveillance des particules en suspension ».

4. VALORISATION DE L'EXPERTISE FRANCAISE

Afin de répondre à l'exigence européenne de fournir des données de PM équivalentes aux normes en vigueur, une démonstration d'équivalence du TEOM-FDMS aux normes EN12341 (pour les PM₁₀) et EN14907 (pour les PM_{2.5}) a été réalisée par le LCSQA/INERIS. Le dossier d'équivalence rédigé sur la base de cet exercice a été déposé en 2006 auprès de la commission européenne, dans l'attente des conclusions du groupe de travail 15 (Méthode de référence pour la détermination des PM - PM₁₀ et PM_{2.5} - dans l'air ambiant) du CEN TC 264, chargé de la révision des normes EN12341 et EN14907 ainsi que du projet de norme de mesure automatique des PM.

Dans ce contexte, le LCSQA a œuvré à la mise en valeur de l'expertise française en matière de mesure automatique de PM, notamment au travers de ses interventions lors des réunions du GT15 et de l'association européenne des laboratoires nationaux de référence AQUILA.

Le Joint Research Center (JRC) a par ailleurs pleinement intégré à sa base de données les résultats de l'étape française de l'exercice d'intercomparaison des méthodes de mesure des PM₁₀ organisée par le JRC en mars 2008 à la station de Bobigny (Airparif), avec la participation du LCSQA (en tant que laboratoire national de référence) et d'Airparif (en tant qu'acteur de la surveillance). L'objectif de cet exercice d'intercomparaison était de fournir de nouvelles informations sur la comparabilité des mesures PM₁₀ utilisées en Europe pour la mesure réglementaire dans le cadre de directive. Il ne s'agissait donc pas d'une démonstration d'équivalence, et il n'y avait pas de critère établi pour juger de la qualité des résultats. Toutefois, les méthodologies basées sur l'utilisation du TEOM-FDMS ont vocation à être évaluées par rapport aux autres méthodes mises en œuvre en Europe. Cet exercice était donc l'occasion de valoriser les choix méthodologiques de la France. Comme indiqué dans le précédent rapport annuel (rapport LCSQA 2008, « accompagnement au déploiement des modules FDMS »), les résultats montrent, pour la mesure des PM₁₀ et des PM_{2.5}, de très bonnes corrélations avec les mesures de références du JRC. Ces résultats seront inclus dans le rapport final de l'exercice d'intercomparaisons mené par le JRC au niveau européen. A ce jour, la rédaction de ce rapport final n'a pas encore débuté, mais le LCSQA a d'ores et déjà proposé au JRC de s'associer à ce travail de rédaction. Il est également à noter que le JRC a utilisé ces résultats lors d'interventions à différents séminaires européens, et en particulier lors d'une conférence intitulée « Air Quality – The Major Challenges » organisée à la « Royal Society of Chemistry » (Londres) au début du mois de décembre 2009. Les figures 8 et 9 sont extraites de cette présentation. La figure 8 présente l'écart entre les mesures de référence de PM₁₀ réalisées par l'état visité et celles réalisées par le JRC. Il s'agit donc de résultats obtenus par pesées de filtres (mesures gravimétriques obtenus par le LCSQA/INERIS). La figure 9 présente l'écart entre les mesures automatiques de PM_{2.5} réalisées par l'état visité et les mesures de références de PM_{2.5} réalisées par le JRC. Il s'agit dans ce cas de mesures par TEOM-FDMS (obtenues à l'aide d'un instrument habituellement mis en œuvre par Airparif à la station de Bobigny).

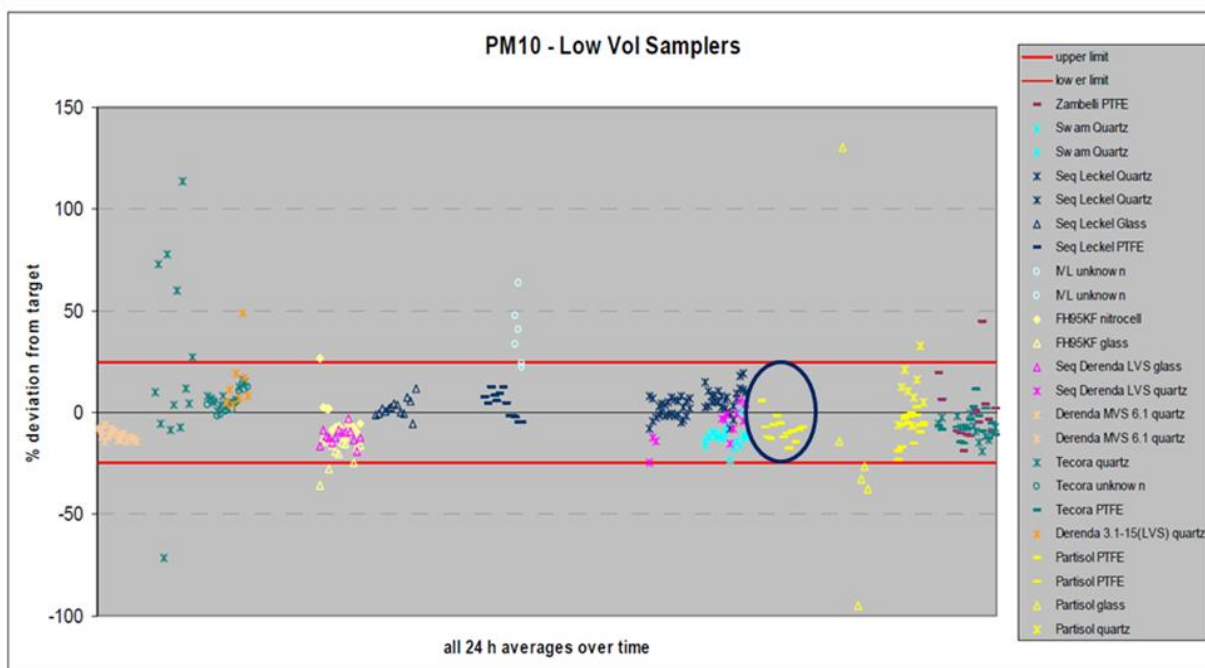


Figure 8 : Ecart entre les mesures de référence de PM_{10} réalisées par l'état visité et celles réalisées par le JRC. Les données relatives mesures gravimétriques réalisées par le LCSQA/INERIS sont entourées d'un rond bleu.

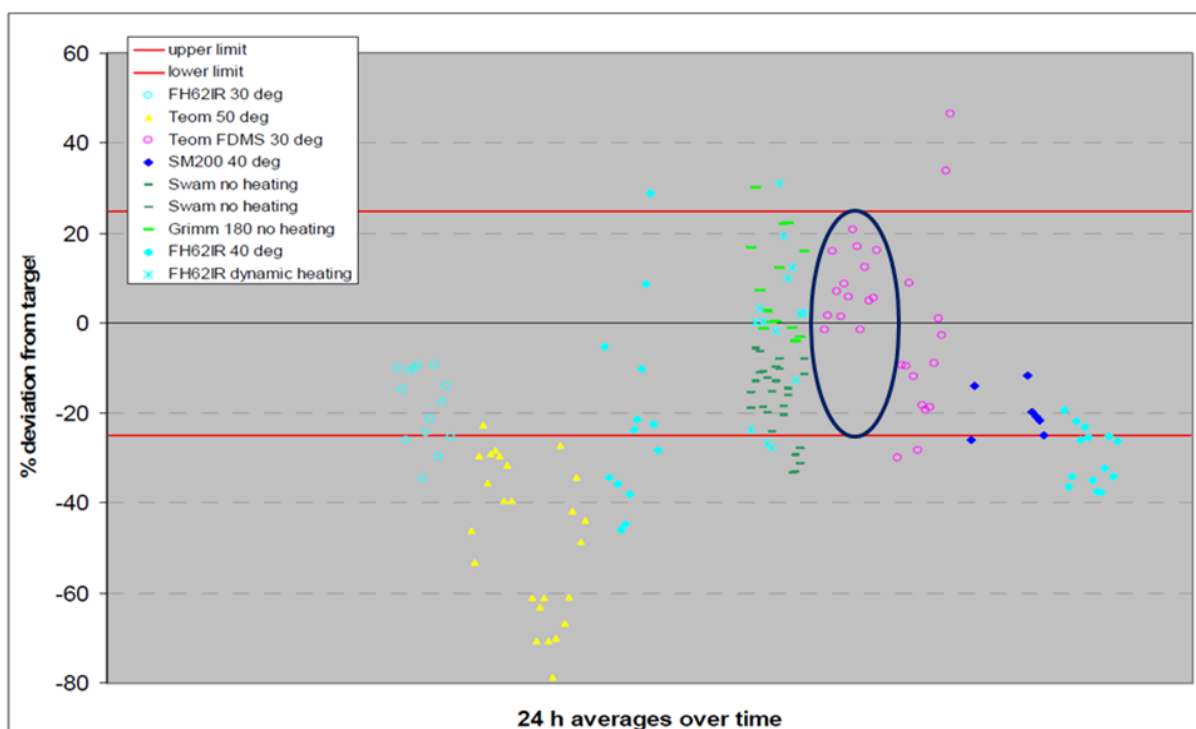


Figure 9 : Ecart entre les mesures automatiques de $PM_{2.5}$ réalisées par l'état visité et les mesures de références de $PM_{2.5}$ réalisées par le JRC. Les données relatives aux mesures par TEOM-FDMS réalisées par Airparif et le LCSQA/INERIS sont entourées d'un rond bleu.

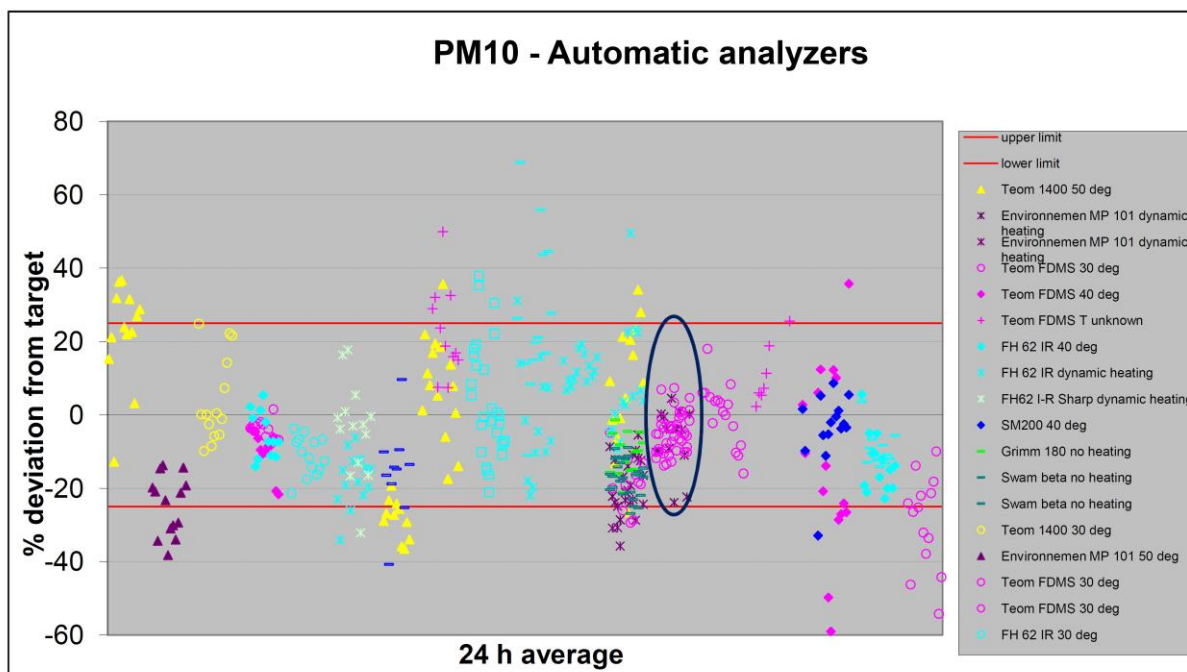


Figure 10 : Ecart entre les mesures automatiques de PM_{10} réalisées par l'état visité et les mesures de références de PM_{10} réalisées par le JRC. Les données relatives aux mesures par TEOM-FDMS réalisées par le LCSQA/INERIS (ronds roses) et relatives aux mesures par jauge Bêta RST réalisées par le LCSQA/EMD sont entourées d'un rond bleu.

La figure 10 n'a pas encore été présentée officiellement par le JRC. Il s'agit du même exercice d'intercomparaison que celui présenté par la figure 9, mais en tenant compte des mesures de PM_{10} (par TEOM-FDMS et par jauge Bêta RST). L'ensemble de ces résultats met en évidence la qualité des mesures de PM réalisées en France.

La reconnaissance de l'expertise française en matière de mesure des PM par TEOM-FDMS est également mise en exergue par le retour d'expérience fourni par le LCSQA au constructeur. Ce dernier a reçu mi-novembre 2009 une demande de la part d'AQUILA de fournir un protocole détaillé de contrôle QC/QA des mesures par TEOM-FDMS. Dans ce contexte, la société Thermo a sollicité le LCSQA afin de pouvoir s'inspirer du « guide (français) pour l'utilisation du TEOM-FDMS », dont le LCSQA/INERIS est maître d'œuvre. La version rédigée par Thermo devrait être fournie aux réseaux européens en début d'année 2010.

5. CONCLUSION

Depuis le 1^{er} janvier 2007, les TEOM-FDMS sont très largement utilisés en routine par l'ensemble des AASQA pour la surveillance des PM₁₀ et des PM_{2.5}. Dans le cadre du déploiement et de la mise en œuvre de ces instruments, le LCSQA/INERIS est notamment chargé de suivre et d'optimiser leur utilisation par les AASQA ainsi que d'assurer la qualité des données produites en construisant une approche QC/QA basée sur celle décrite dans les normes utilisées pour la mesure des gaz classiques (O₃, NO_x, SO₂, CO).

En 2009, le LCSQA/INERIS s'est notamment attaché à finaliser la collection des retours d'expériences des AASQA, afin de faire évoluer le « guide pour l'utilisation du TEOM-FDMS ». La dernière version de ce guide, en ligne depuis mai 2009 et diffusé aux AASQA par le MEEDDM, propose notamment un protocole détaillé de contrôle QC/QA. Il est à noter que ce protocole sera repris par la société Thermo (constructeur du TEOM-FDMS) dans le cadre de l'élaboration de son propre guide de contrôle QC/QA. Un des axes forts du travail pour 2010 sera d'accompagner la mise en œuvre de ce protocole au sein des AASQA et d'adapter les paramètres de contrôle qualité en routine en fonction des retours d'expériences.

Un autre point important en 2009 a été le suivi de l'évolution de la gamme commerciale du constructeur de TEOM-FDMS. Plusieurs études de terrain mettant en œuvre les nouvelles versions de TEOM-FDMS (1405f et 1405df) étaient prévues en 2009. Cependant, en raison de défauts de confection sur l'ensemble des 1405f et 1405df distribués en Europe avant novembre 2009, ces travaux ont dû être suspendus. Le LCSQA/INERIS s'est alors attaché à rencontrer le constructeur américain et le distributeur français de TEOM-FDMS, afin d'obtenir une explication détaillée de ces problèmes et des moyens mis en œuvre pour y remédier.

Ecomesure (distributeur français de ces instruments) s'engage notamment à effectuer avant fin février 2010 les mises à jour nécessaires sur la vingtaine de 1405f livrée aux AASQA avant novembre 2009 (sous réserve de livraison par Thermo des kits de réparation dans les temps impartis). Les instruments livrés à partir de décembre 2009 sont conformes aux nouveaux procédés de fabrication.

En 2010, le LCSQA/INERIS sera particulièrement vigilant à la mise en œuvre des nouvelles générations de TEOM-FDMS. La qualité des sécheurs et les éventuels problèmes de contamination de la membrane Nafion feront également l'objet d'un suivi de la part du LCSQA. Les exercices de démonstration d'équivalence des 1405f et 1405df réalisés par le TÜV à la demande de la société Thermo seront suivis avec attention. Ces nouveaux TEOM-FDMS seront également testés sur différents sites français, si possible en parallèle de mesures gravimétriques, et en collaboration avec les AASQA.

Par ailleurs, afin de compléter la connaissance de l'outil TEOM-FDMS, le LCSQA a réalisé en 2009 une étude de laboratoire sur l'efficacité de sécheurs présents dans les modules FDMS 8500. Les résultats de cette étude mettent en évidence

l'influence de la dépression sur l'efficacité de séchage. En outre, cette influence de la dépression s'accroît à mesure que l'humidité relative est élevée.

Cette étude n'a pas vocation à refléter le fonctionnement du sécheur sur le terrain dans la mesure où l'air échantillonné ne contenait pas de particules. Néanmoins, le mode opératoire appliqué peut servir de base à l'élaboration d'un protocole de contrôle qualité à proposer au fournisseur et/ou à effectuer lors de la réception de matériel neuf. Il peut également permettre de suivre le vieillissement du sécheur en répétant cette expérience à intervalles de temps réguliers. Ces possibilités seront à discuter avec l'ensemble du dispositif national de surveillance de la pollution particulaire, notamment en commission de suivi « particules ».

Dans les années à venir, il serait également très intéressant d'étudier l'efficacité de séchage en conditions de mesure dans l'air ambiant (concentrations connues de particules dans l'air échantillonné, humidité relative supérieure à 90%). Nous précisons ici que ces tests sont néanmoins très difficiles à mettre en œuvre, aussi bien en laboratoire qu'en air ambiant.

Enfin, en 2010, le LCSQA poursuivra sa politique de participation active aux travaux de normalisation française et européenne sur la mesure des PM dans le cadre de la commission X43D et du GT 15 du CEN TC 264. Il poursuivra également ses efforts de valorisation de l'expertise française dans ce domaine, notamment auprès d'AQUILA et lors de séminaires et conférences scientifiques.

6. REFERENCES

- (1) Allen G., Sioutas C., Koutrakis P., Reiss R., Lurmann F.W. et Roberts P.T.: Evaluation of the TEOM method for measurement of ambient particulate mass in urban areas, J. Air Waste Manag. Assoc., 47, 682-687, 1997
- (2) Blanchard O., Marfaing H.: Etude comparative entre le TEOM 1400 et différents préleveurs manuels sur filtre, Rapport INERIS, 2001 (<http://www.lcsqa.org/thematique/traitements-numeriques/modelisation/etude-comparative-entre-le-teom-1400-et-differents-pr>)
- (3) Le Bihan O. : Utilisation du TEOM/FDMS pour la surveillance des PM - synthèse des travaux 2005, Rapport LCSQA, 2005 (http://www.lcsqa.org/system/files/Etude5_2005-PM-SYNTHESE_rapport-v3a.pdf)
- (4) Eatough D.J., Long R.W., Modey W.K., Eatough N.L.: Semi-volatile secondary organic aerosol in urban atmospheres: meeting a measurement challenge, Atmos. Environ., 37, 1277-1292, 2003
- (5) Favez O., Cachier H., Sciare J. et Le Moullec Y. : Characterization and contribution to PM_{2.5} of semi-volatile aerosols in Paris (France), Atmos. Environ., 41, 7969-7976, 2007
- (6) Le Bihan O. et Marfaing H. : procédure d'équivalence : TEOM/FDMS PM₁₀ et PM_{2.5} - campagne de Bobigny, Rapport LCSQA, 2005 (http://www.lcsqa.org/system/files/Etude5_2005-PM-BOBIGNY-rapport-v3a.pdf)
- (7) Le Bihan O. : procédure d'équivalence : TEOM/FDMS PM₁₀ et PM_{2.5} - campagne de Marseille, Rapport LCSQA, 2006 (http://www.lcsqa.org/system/files/TEOM_FDMS_PM10_PM2.5_Campagne_Marseille_vf.pdf)
- (8) Wilson W.E., Grover B.D., Long R.W., Eatough N.L. et Eatough D.J. : The measurement of fine particulate semivolatile material in urban aerosols, J. Air Waste Manag. Assoc., 56, 207-215, 2006
- (9) Mathe F. et Herbin B. : démonstration de l'équivalence de la jauge radiométrique MP101M-RST d'Environnement SA (<http://www.lcsqa.org/system/files/RequivaPM102006+v2.pdf>)
- (10) Aymoz G. et Ustache A. : Suivi et optimisation de l'utilisation du TEOM-FDMS, partie 1/2 – Guide pour l'utilisation du TEOM-FDMS, Rapport LCSQA, 2009 (<http://www.lcsqa.org/thematique/metrologie/suivi-et-optimisation-de-utilisation-des-teom-fdms>)

7. LISTE DES ANNEXES

Repère	Désignation	Nombre de pages
Annexe I	Fiche descriptive de l'étude	3
Annexe II	Note LCSQA relative à l'entretien du 25 novembre 2009 avec Claude Chambre de la société Ecomesure	3
Annexe III	Lettre de la Direction Générale de l'Energie et du Climat pour les AASQA	1

Annexe I

Fiche descriptive de l'étude

THEME 3 : Métrologie des particules PM10 et PM 2.5

SUIVI ET OPTIMISATION DE L'UTILISATION DES TEOM-FDMS

Responsable de l'étude : INERIS

Objectif

L'objectif de cette étude est de poursuivre l'accompagnement de la mise en oeuvre des modules FDMS au sein du dispositif français de surveillance de la qualité de l'air.

Pour ce faire, un ensemble d'actions est proposé, parmi lesquelles :

- la poursuite du dossier "équivalence" et le suivi des travaux européens,
- la mise à jour le guide sur le fonctionnement du FDMS (valorisation des retours d'expérience des AASQA sur l'utilisation des FDMS),
- des tests en laboratoire pour optimiser et faciliter l'utilisation des FDMS.

Il est à noter qu'un travail similaire est mené par l'EMD sur les jauges Bêta (cf. étude 14).

Contexte et travaux antérieurs

Afin de répondre à l'exigence européenne de fournir des données de PM équivalentes aux normes en vigueur, la France a décidée d'opter pour une solution instrumentale (mesures par TEOM-FDMS et Jauge Bêta MP101-RST). Une démonstration d'équivalence de ces deux appareils avec la norme EN12341 (PM10), et du TEOM-FDMS seul avec la norme EN14907 (PM2,5) a été réalisée, et un dossier d'équivalence déposé auprès de la commission européenne. Depuis le 1er janvier 2007, les TEOM-FDMS sont donc très largement utilisés en routine sur l'ensemble du territoire pour la surveillance des PM10 et des PM2.5, en vue du respect de la directive européenne sur la qualité de l'air.

Cette étude se place dans la continuité des études réalisées depuis plusieurs années sur les TEOM-FDMS, et notamment en 2007 (Intégration des modules FDMS et RST) et 2008 (Accompagnement au déploiement des modules FDMS). L'objectif principal est de suivre, par divers types d'actions, l'intégration des TEOM-FDMS au dispositif Français de surveillance de la qualité de l'air. Parmi les principales actions réalisées en 2008, on notera les deux points suivants :

Le suivi de la démonstration d'équivalence et des travaux européens sur la mesure des particules :

En particulier, le JRC réalise actuellement des campagnes de mesure des PM10 dans plusieurs pays européens afin d'évaluer les méthodes de mesure actuellement utilisées. La France a participé en 2008 à cet exercice européen d'intercomparaison.

Le suivi du déploiement et de l'utilisation des FDMS au sein des AASQA :

Concernant les FDMS, la problématique du déploiement qui était une priorité en 2006 et 2007, a désormais largement évolué vers l'assistance technique au fonctionnement de l'outil et à l'optimisation des conditions de son utilisation. L'écriture d'un guide (dont la version 4 est disponible sur le site web du LCSQA), regroupant les retours d'expérience de l'ensemble des utilisateurs (AASQA et LCSQA), a été initiée en 2008. La collecte des retours d'expérience se fait notamment par le biais de réunions d'échanges autour du TEOM-FDMS, organisées en région et regroupant un nombre restreint d'AASQA. La mise à jour de ce guide, ainsi que la finalisation de ces réunions est proposée ci-dessous pour 2009.

Travaux proposés pour 2009

1. Suivi du fonctionnement des TEOM-FDMS et évolution de l'outil

Appuis dans le cadre de la Commission de Suivi "Surveillance des particules en suspension"

L'équipe du LCSQA/INERIS s'attachera notamment, comme c'est le cas depuis 2006, à suivre le bon fonctionnement des TEOM-FDMS, installés sur un site de référence ou non : les AASQA qui rencontreront des difficultés de mise en oeuvre, pourront, en particulier, contacter l'INERIS pour les TEOM-FDMS, en compléments des actions relevant des fournisseurs.

En effet, les exercices 2006, 2007 et 2008 ont montré l'intérêt de prévoir une disponibilité afin de prendre en compte, en cours d'année, des besoins émergents au niveau de la Commission de Suivi "Surveillance des particules en suspension". Toutefois, TEOM-FDMS sont utilisés en routine depuis début 2007 dans chaque AASQA, les principales questions ont été traitées, et les nouveaux besoins émergents devraient désormais connaître une décroissance. Cette disponibilité est donc maintenue, mais à un niveau moins important que les années précédentes.

Assurance Qualité

Il s'agit de poursuivre en 2009, les actions initiées en 2007 et 2008 dans le cadre de l'assistance au déploiement. En particulier, un recensement des pannes et de leur analyse a permis d'établir un guide sur le fonctionnement du FDMS. Ce guide est disponible sur le site web du LCSQA. Afin d'actualiser ce guide, il a été décidé courant 2008 de rencontrer toutes les AASQA afin de recueillir les retours d'expérience sur l'utilisation du FDMS et d'apporter aux AASQA des éléments sur le fonctionnement de l'outil.

Ces rencontres se déroulent par petits groupes d'AASQA, dans un souci d'efficacité et de dialogue entre les différents intervenants. Il est donc proposé pour 2009 :

- La finalisation des réunions avec les AASQA (possiblement deux à trois rencontres début 2009),
- La poursuite du travail amorcé en 2007 sur l'actualisation du guide, et l'élaboration de cartes de contrôle et de protocoles de test,
- Un soutien à l'interprétation et à la validation des données

Gestion des FDMS en prêt

Il est proposé de suivre l'affectation des FDMS en prêt.

Evolution du TEOM

Le constructeur de la microbalance devrait mettre assez rapidement sur le marché de nouvelles versions du TEOM. En particulier, le TEOM 1405df est relativement attrayant pour les AASQA du fait qu'il permet la mesure des PM10 et PM2.5 simultanément avec un seul outil, et semble donc particulièrement adapté aux exigences de la nouvelle directive. Les premiers tests de terrain du TEOM 1405df ont été réalisés en 2008 par l'INERIS, en partenariat avec ECOMESURE et plusieurs AASQA. Ce modèle présente une technologie différente de celle des TEOM-FDMS équivalents du fait de la présence d'un impacteur virtuel placé entre la tête de prélèvement et les sécheurs.

Il est proposé de poursuivre les tests en cours et de suivre l'action du constructeur auprès de la commission européenne pour faire reconnaître cette nouvelle version de l'outil.

En particulier, une série de tests du TEOM 1405f sera réalisée, notamment en site de proximité dans une station de type armoire, si possible en collaboration avec une AASQA, afin de déterminer les avantages et inconvénients de cet outil dans ce type d'utilisation.

2. Optimisation du fonctionnement du FDMS / Efficacité du sécheur

La mise en oeuvre de ce module à l'échelle nationale a permis de disposer d'un large retour d'expérience, et de recenser des questions importantes. L'expérience montre qu'un point central pour le bon fonctionnement du TEOM-FDMS est l'efficacité du sécheur. Si cette efficacité semble évoluer en fonction du vieillissement de la membrane Nafion, elle dépend aussi très fortement de la dépression sur le flux d'air principal. Il est donc proposé de mieux caractériser cette efficacité en fonction de la dépression, par une série de tests en laboratoire, sur plusieurs sécheurs.

Ceci permettra de mieux connaître le fonctionnement de la membrane et de fournir des informations directement utilisables pour évaluer le fonctionnement de la membrane et suivre son évolution.

3. Démarche d'équivalence et exercice QAP-PM10 du JRC Ispra

Le colloque de restitution "équivalence" de mai 2007 a permis de confirmer la conformité du FDMS PM10 et PM2,5 aux exigences du protocole d'équivalence. Toutefois, la commission européenne tarde à reconnaître officiellement la qualité de ces données. Il s'agira donc d'être vigilant, et de suivre l'actualité de ce dossier.

D'autre part, l'étape française de l'intercomparaison "méthodes de référence nationales" / méthode de référence européenne dans les différents Etats Membres menée par le JRC/Ispra a eu lieu au printemps 2008. Il est proposé un suivi de l'utilisation des données, et de poursuivre leur valorisation au plan européen.

Renseignements synthétiques

Titre de l'étude		<i>Suivi et optimisation de l'utilisation des TEOM-FDMS</i>	
Personne responsable de l'étude		G. AYMOZ, O. LE BIHAN, A. USTACHE	
Travaux		pérennes	
Durée des travaux pluriannuels			
Collaboration AASQA		Oui	
Heures d'ingénieur	EMD : -	INERIS : 700	LNE : -
Heures de technicien	EMD : -	INERIS : 400	LNE : -
Document de sortie attendu		Rapport annuel Guide pour l'utilisation du TEOM-FDMS	
Lien avec le tableau de suivi CPT		Thème 2 : Métrologie / Particules	
Lien avec un groupe de travail		Commission de suivi "particules"	
Matériel acquis pour l'étude		TEOM-FDMS	

Annexe II

**Note LCSQA relative à l'entretien du 25 novembre 2009 avec
Claude Chambre de la société Ecomesure**

ELEMENTS DE REPONSE AUX QUESTIONS SOULEVEES EN COMMISSION DE SUIVI « SURVEILLANCE DES PARTICULES EN SUSPENSION » (16 NOVEMBRE 2009) SUR LES PROBLEMES RELATIFS AU FONCTIONNEMENT DU TEOM-FDMS.

Note du LCSQA/INERIS

Un certain nombre de questions relatives au bon fonctionnement des TEOM (-FDMS) ont été posées en Commission de Suivi « Surveillance des particules en suspension » du 16 Novembre 2009 (cf. compte-rendu du C.S.). Suite à ce C.S., le LCSQA a rencontré Claude Chambre de la société ECOMESURE afin d'apporter des éléments de réponse à ces questions. La présente note a pour objet de faire un compte-rendu, point par point, de cet entretien. Pour tout renseignement complémentaire, invitation est faite de contacter ECOMESURE (Claude Chambre) et le LCSQA/INERIS (olivier.favez@ineris.fr, tel : 03.44.55.69.49 / aurelien.ustache@ineris.fr, tel : 03.44.55.66.12).

Remplacement des têtes de coupures plates par des têtes de coupure à chevrons:

Les têtes de coupure plates actuellement utilisées en entrée des TEOM (-FDMS) ne permettent pas d'éviter totalement la pénétration de gouttes d'eau dans l'instrument (notamment en cas de vents violents). Afin d'éviter ce type de problème, l'utilisation de têtes de coupure à chevrons semble être réellement bénéfique, et ne devrait pas être en contradiction avec les normes en vigueur. ECOMESURE envisage de commercialiser un kit d'adaptation permettant de remplacer la partie supérieure des têtes de coupures. Selon les dernières indications d'ECOMESURE, ces kits seront facturés 200 euros en commande unitaire, et 125 euros en commande groupée d'environ cent pièces.

Arrêt de la fabrication des TEOM 1400ab et entretien des TEOM 1400ab actuellement en fonctionnement:

Comme précisé par un email envoyé le 26/11/2009 par la société ECOMESURE aux utilisateurs français du TEOM 1400ab :

- L'arrêt de la fabrication/commercialisation du TEOM 1400ab est fixé au 31 mars 2010.
- La société THERMO s'engage à assurer les réparations sur les TEOM 1400ab jusqu'au 31 mars 2020.

- La société THERMO s'engage à assurer la disponibilité des consommables et pièces détachées du TEOM 1400ab jusqu'au 31 mars 2020. Notons néanmoins que la société THERMO précise que ce dernier point est conditionné à la disponibilité de ces pièces auprès de leurs fournisseurs et à l'évolution des normes de fabrications.

Compatibilité des TEOM 1405 et des modules FDMS 8500:

En raison notamment de la différence des protocoles de communication de ces deux instruments, il n'est pas possible en l'état actuel de placer un module FDMS 8500 sur un TEOM 1405. Néanmoins, en fonction des besoins exprimés, un développement permettant la communication entre ces deux instruments peut être envisagé, soit par THERMO soit par ECOMESURE.

Optimisation des filtres utilisés pour la pesée:

La société THERMO a récemment procédé à l'optimisation de son procédé de fabrication des filtres utilisés pour la pesée. Ces modifications devraient permettre de diminuer le « bruit » généré sur la mesure par le filtre lui-même.

Optimisation des sécheurs:

La société THERMO a récemment procédé à l'optimisation des sécheurs présents dans les modules FDMS 8500 (type c). Les modifications relatives à cette optimisation seront effectuées sur les sécheurs actuellement en utilisation lors de leur reconditionnement. Un rond noir sur le sécheur atteste de la conformité de ce sécheur avec cette optimisation. THERMO a demandé la mise en place d'une certification de non-contamination à son fournisseur de membrane, et s'engage également à tester les membranes (par lot) avant leur installation dans le sécheur. Il est à noter que cette optimisation permet d'assurer une meilleure qualité de séchage. Néanmoins, les sécheurs actuellement en utilisation et ne présentant pas de signes de mauvaise qualité (cf. guide LCSQA sur le fonctionnement des FDMS) ne nécessitent pas d'être reconditionnés avant d'être détectés comme défectueux.

Artefacts de mesure (offset) observés sur certains FDMS:

Un problème d'offset positif (d'environ 3 à 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) a été détecté sur un certain nombre de FDMS utilisé par un réseau de surveillance de la qualité de l'air allemand (LANUV NRW). Après analyse des membranes NAFION de ces FDMS, il s'avère que ces membranes étaient contaminées par un plastifiant (N-butylbenzenesulfonamide). A l'heure actuelle, il est impossible d'expliquer la présence de ce plastifiant sur ces membranes ni de savoir si d'autres sécheurs peuvent être affectés par ce problème. Claude Chambre émet l'hypothèse que la contamination ait eu lieu lors du conditionnement des sécheurs et pense que ce problème se limite probablement à ces sécheurs. Néanmoins, il préconise un test en cas de doute sur un instrument.

Ce test consiste à réaliser une mesure du « blanc » de l'instrument (en appliquant un filtre à particules en entrée). En cas de doute, et notamment en cas de détection d'un artefact de mesure positif (supérieur à $2\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur 24 heures), nous invitons les utilisateurs de FDMS à contacter ECOMESURE (Claude Chambre) et le LCSQA/INERIS (Olivier Favez, Aurélien Ustache). Si un sécheur de moins d'un an (et éventuellement plus vieux) s'avère être pourvu d'une membrane contaminée, ECOMESURE s'engage à reconditionner ce sécheur (si le problème est signalé avant le 01/01/2011). Nous précisons ici que le reconditionnement du sécheur par THERMO consiste en réalité à remplacer les membranes NAFION.

Problèmes de fonctionnement des nouveaux TEOM/FDMS (1405, 1405d, 1405f, 104df):

Les premières versions des nouveaux TEOM/TEOM-FDMS (1405, 1405d, 1405f, 104df) présentent un certain nombre de problèmes techniques conduisant à une augmentation substantielle du « bruit » de l'instrument. Il en résulte une inaptitude pour ces instruments à fournir des moyennes horaires fiables. Néanmoins, selon THERMO et ECOMESURE, les moyennes journalières ne semblent pas être affectées par ces problèmes. Ce dernier point est actuellement à l'étude au LCSQA.

Pour résoudre ces problèmes, ECOMESURE prévoit de modifier sur place en janvier et février 2010 les instruments livrés avant décembre 2009 (une vingtaine en France).

Les instruments livrés à partir de décembre 2009 ont été modifiés au préalable ou fabriqués en accord avec la résolution de ces problèmes.

Equivalence des nouveaux TEOM-FDMS (1405f, 104df) aux normes 12341 et 14907:

Des campagnes de démonstration d'équivalence des nouveaux TEOM-FDMS (1405f, 1405df) aux normes EN 12341 et EN 14907 sont actuellement en cours en Allemagne et en Angleterre. Selon les résultats obtenus jusqu'ici (1 campagne réalisée au TÜV), les TEOM-FDMS 1405f et 1405df satisfont aux critères d'équivalence pour les mesures de $\text{PM}_{2.5}$ et les TEOM-FDMS 1405df satisfont aux critères d'équivalence pour les mesures de PM_{10} . Des mesures complémentaires sont nécessaires pour confirmer ces résultats, et pour vérifier l'équivalence des TEOM-FDMS 1405f à la norme EN 12341 (PM_{10}).

Différents exercices d'inter-comparaisons entre la méthode de référence et les mesures par TEOM-FDMS 1405f et 1405df sont prévus dans le cadre des travaux du LCSQA au cours de l'année 2010.

Elaboration d'une procédure « QA/QC » par la société THERMO:

La société THERMO s'engage à soumettre un guide de bonne utilisation des TEOM-FDMS aux membres du réseau AQUILA avant le 01/01/2010. Ce guide s'inspirera notamment du guide d'utilisation du TEOM-FDMS élaboré par le LCSQA.

Annexe III

**Lettre de la Direction Générale de l’Energie et du Climat à
l’attention des AASQA**



MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DE L'ÉNERGIE
DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE LA MER
et chargé des Technologies vertes et des Négociations sur le climat

Direction Générale de l'Énergie et du Climat

Paris, le 06 OCT. 2009

Service du climat et de l'efficacité énergétique
Sous-direction du climat et de la qualité de l'air
Bureau de la qualité de l'air

Affaire suivie par : Elise CHAPPAZ
tél. : 01 40 81 93 44 - fax : 01 40 81 93 29
Réf : P:5B - Bureau de la Qualité de
l'Air\restore\Surveillance-Qualité-
Air\surveillance_aspects_techniques\Particules
mél : elise.chappaz@developpement-durable.gouv.fr

Madame la Présidente, Monsieur le Président,

Depuis 2007, le dispositif français de surveillance de la qualité de l'air a évolué afin de mettre en place de façon progressive des mesures de PM₁₀ et PM_{2,5} équivalentes aux méthodes de référence, conformément aux exigences de la Directive 2008/50/CE.

Un travail d'accompagnement concernant le contrôle de la qualité des mesures a pu être réalisé par le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air en collaboration avec les AASQA.

Dans ce cadre, un « guide pour l'utilisation du TEOM-FDMS », que vous trouverez ci-joint, a notamment été produit par le LCSQA, avec le concours de l'ensemble des AASQA. Ce guide, également disponible sur le site www.lcsqa.org, a pour objet de fournir une aide directe et concrète aux utilisateurs des TEOM-FDMS dans les AASQA. La mise en œuvre des actions mentionnées dans la partie « Contrôle qualité à réception et en routine » est notamment vivement recommandée afin de renforcer la fiabilité du dispositif national de surveillance des particules.

Les retours d'expériences ou difficultés liées à cette mise en œuvre pourront être communiqués directement au LCSQA et exposés en Commission de Suivi "Mesure des particules en suspension".

Concernant la technique "Jauges Bêta", un travail sur le contrôle métrologique, à l'instar de celui effectué pour la technique "TEOM-FDMS", sera réalisé en 2010. Ce travail sera également suivi par la Commission de Suivi "Mesure des particules en suspension".

Je vous prie d'agréer, Madame la Présidente, Monsieur le Président, l'expression de ma considération distinguée.

Le Directeur général
de l'énergie et du climat

Pierre-Franck CHEVET

PJ : Guide pour l'utilisation du TEOM-FDMS

Destinataires : Mesdames et Messieurs les Présidents des AASQA

Copie (sans P.J.) : ADEME, LCSQA, DRIRE/DREAL, Fédération ATMO

www.developpement-durable.gouv.fr

Grande Arche Paris Nord - 92 055 LA DEFENSE CEDEX

Ressources, territoires, habitats et logement
Énergie et climat
Développement durable
Prévention des risques - Infrastructures, transports et mer

Présent
pour
l'avenir