



Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air



ETUDE N° 3/2 - 2011 MESURE DES PARTICULES EN SUSPENSION PAR ABSORPTION DE RAYONNEMENT BÊTA

Novembre 2011
Programme 2011

François MATHE, Sabine CRUNAIRE
Avec la collaboration technique de Benoît HERBIN



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, 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 la Direction Générale de l'Energie et du Climat (Bureau de la Qualité de l'Air) du Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement (MEDDTL), 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.



Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air

ECOLE DES MINES DE DOUAI

DEPARTEMENT CHIMIE ET ENVIRONNEMENT

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

2011

**MESURE DES PARTICULES EN SUSPENSION
PAR ABSORPTION DE RAYONNEMENT BÊTA**

**Sabine CRUNAIRE
François MATHE
Benoît HERBIN**

Convention : 2200460208

Programme 2011

SOMMAIRE

1	INTRODUCTION.....	11
2	VEILLE TECHNOLOGIQUE SUR LES NOUVEAUX RADIOMETRES BETA	11
2.1	Le SWAM 5A Dual Channel de FAI Instruments (Italie).....	12
2.1.1	<i>Présentation - Fonctionnement</i>	12
2.1.2	<i>Certification</i>	15
2.1.3	<i>Autres fonctionnalités</i>	18
2.2	Le PBL Mixing Monitor de FAI Instruments (Italie).....	18
2.2.1	<i>Présentation - Fonctionnement</i>	18
2.2.2	<i>Certification</i>	20
2.3	Le 5014i de Thermo Scientific (USA).....	20
2.3.1	<i>Présentation – Fonctionnement</i>	20
2.3.2	<i>Certification</i>	22
2.4	Récapitulatif.....	23
	APPAREIL	24
2.5	Autres radiomètres.....	26
3	ETUDE DES MODIFICATIONS TECHNIQUES APPORTEES SUR L'APPAREIL MP101M-RST D'ENVIRONNEMENT SA.....	26
3.1	Essais constructeur	26
3.1.1	<i>Modifications du design de l'appareil</i>	26
3.1.2	<i>Modifications de la source ¹⁴C du MP101M</i>	28
3.2	Essais réalisés par le LCSQA-EMD sur le site de mesure de Douai - Dorignies.....	38
4	ASSISTANCE AU DEPLOIEMENT ET AU FONCTIONNEMENT DES MP101M - GUIDE POUR L'UTILISATION DE LA JAUGE BÊTA MP101M.....	40
4.1	Suivi QA/QC - Opérations à mettre en œuvre pour le suivi du bon fonctionnement de la jauge bêta MP101M	41
4.2	Retour d'expérience des AASQA.....	69
5	SUIVI DU SYSTEME CENTRALISE DE GESTION DES SOURCES RADIOACTIVES POUR LES RADIOMETRES BETA UTILISES PAR LES AASQA	70
6	CONCLUSIONS.....	73
	ANNEXES	79

Résumé de l'étude 3/2 : Mesure des particules en suspension par absorption de rayonnement Bêta

Sabine CRUNAIRE, François MATHE, Benoît HERBIN
LCSQA

sabine.crunaire@mines-douai.fr, tél. : + 33 (0)3 27 71 26 01

francois.mathe@mines-douai.fr, tél. : + 33 (0)3 27 71 26 10

benoit.herbin@mines-douai.fr, tél. : + 33 (0)3 27 71 26 20

1. Présentation des travaux

L'objectif de cette étude est d'assurer le maintien de la méthode par absorption de rayonnement bêta en tant que technique usuelle en AASQA de mesure des particules en suspension dans l'air ambiant. En 2011, seule la jauge bêta MP101M-RST du fabricant français Environnement SA a bénéficié du statut de méthode équivalente en PM₁₀ et est donc utilisée en AASQA. Le système de gestion centralisée des sources radioactives autorisé par l'Autorité de Sûreté Nucléaire en 2010 n'a donc concerné que cet appareil en 2011.

Un accompagnement dans la mise en œuvre de cet appareil au sein du dispositif français de surveillance de la qualité de l'air est proposé, au travers de la mise en place du système centralisée de gestion des sources radioactives (en lien avec l'ASN) ainsi que d'un programme d'Assurance Qualité/Contrôle Qualité (QA/QC) spécifique. Les améliorations technologiques apportées à cet appareil par le constructeur nécessitent d'être également étudiées.

Les travaux effectués en 2011 ont porté sur 4 axes :

- ❶ Une veille technologique sur les nouveaux radiomètres Bêta arrivant sur le marché
- ❷ L'étude des modifications techniques apportées par Environnement SA sur le radiomètre MP101M-RST
- ❸ Le suivi du programme d'Assurance Qualité/Contrôle Qualité (QA/QC) via une assistance à l'utilisation en AASQA des radiomètres Bêta et la participation à une intercomparaison nationale
- ❹ Le suivi du système centralisé de gestion des sources radioactives pour les radiomètres bêta utilisés par les AASQA

2. Principaux résultats obtenus

❶ Plusieurs modèles de jauges radiométriques sont apparues sur le marché européen ces dernières années. Une description du principe de fonctionnement et une analyse technique du modèle 5014//5030i de la société américaine Thermo Scientific et des modèles Swam 5A Dual Channel et PBL Mixing de la société italienne FAI Instruments sont présentées dans ce rapport et montrent que ces appareils sont prometteurs. Notamment l'appareil italien, Swam 5A Dual Channel, permet dans sa version la plus sophistiquée d'effectuer une mesure automatique de la concentration et du nombre de particules de 2 fractions granulométriques

différentes associables à une mesure gravimétrique manuelle. L'appareil américain, 50140i, permet quant à lui d'effectuer une mesure automatique quasi-instantanée avec une couverture temporelle d'échantillonnage proche de 100%.

Ces appareils sont reconnus comme « conforme » aux réglementations nationales (américaine, canadienne ou italienne) en vigueur pour le contrôle automatique des particules dans l'air ambiant (PM_{10} et/ou $PM_{2.5}$). Cependant, pour que ces appareils puissent être utilisés par les AASQA, il reste aux constructeurs ou distributeurs respectifs à accomplir la démarche auprès de l'ASN de demande d'autorisation de commercialisation sur le sol français.

② Les études d'intercomparaison menées chez le constructeur Environnement SA ou par le LCSQA-EMD sur le site de Douai-Dorignies ont montré que pour la mesure des PM_{10} , l'utilisation d'une source ^{14}C à 1,84 MBq au lieu de la source traditionnelle à 3,66 MBq ne modifie pas de manière flagrante les caractéristiques de mesure de l'appareil par absorption de rayonnements Bêta MP101M-RST. Pour les deux études, une légère minoration est à noter mais elle reste dans le domaine de l'incertitude de mesure : ainsi, une concentration de $50 \mu g/m^3$ mesurée sur une jauge MP101M équipée de l'ancienne source équivaldrait à une concentration de $48 \mu g/m^3$ sur une jauge équipée de la nouvelle source.

③ Le présent rapport inclut un chapitre destiné à fournir une aide aux utilisateurs des différentes générations de radiomètres Bêta MP101M d'Environnement SA se trouvant dans les AASQA. Ce guide a été construit sous la forme d'un protocole d'assurance et de contrôle qualité des mesures en routine, à partir des expériences de chacune des AASQA, rencontrées au cours de la journée d'échange organisée en 2010 ou des journées techniques des AASQA qui ont lieu chaque année et à partir des échanges réalisés par le LCSQA avec le constructeur. Ce guide devra être remis à jour régulièrement et toutes les remarques et propositions de corrections sont les bienvenues et peuvent être adressées directement au LCSQA-EMD.

④ Depuis avril 2010, le LCSQA-EMD est autorisé par l'Autorité de Sûreté Nucléaire à gérer de manière centralisée les sources radioactives ^{14}C utilisées en AASQA dans les jauges radiométriques. En 2011, l'ASN a réalisé un audit de ce système centralisé dont les conclusions ont été satisfaisantes. Les axes d'amélioration qui seront à traiter en 2012 concernent la formation en radioprotection du personnel AASQA, les échanges d'informations entre la PCR nationale et les référents techniques AASQA et l'étude de l'augmentation du volume d'activité maximale.

1 INTRODUCTION

L'absorption de rayonnement bêta constitue à ce jour en AASQA l'une des deux techniques usuelles (avec la mesure par variation de fréquence) pour la mesure automatique de la concentration massique des particules en suspension dans l'air ambiant avec objectif réglementaire.

Cette technique a concerné essentiellement les appareils de la gamme MP101M d'Environnement SA qui ont fait l'objet de plusieurs études du Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air ces 10 dernières années et qui sont donc utilisés en station fixe d'AASQA. Un bilan des principales opérations d'Assurance-Qualité / Contrôle-Qualité à assurer sur les appareils de la gamme MP101M est effectué. Un système de gestion centralisée des sources radioactives présentes dans ce type d'appareil existe depuis 2010. Cette technique concerne désormais également les appareils d'autres constructeurs étrangers qui cherchent à pénétrer le marché européen. Un état de l'art technologique des radiomètres bêta a été réalisé, ainsi qu'un état des lieux sur les démonstrations d'équivalence effectuées dans les autres Etats Membres. Par ailleurs, nous nous intéressons ici également aux innovations technologiques dont bénéficie ce type d'instrument, dont certaines permettent de mieux comprendre le comportement de l'atmosphère.

2 VEILLE TECHNOLOGIQUE SUR LES NOUVEAUX RADIOMETRES BETA

Trois jauges bêta qui peuvent intéresser le marché français ont été identifiées. Deux d'entre elles sont issues du constructeur italien FAI Instruments (SWAM 5A et PBL Mixing) et la troisième est fabriquée par le constructeur américain Thermo (5014i-5030i) :

- Le SWAM 5A Dual Channel. Cet appareil, déjà identifié en 2005 par le LCSQA comme appareil pouvant potentiellement intéresser les AASQA [1], a obtenu en version double canal la démonstration d'équivalence en PM_{10} et $PM_{2.5}$ [2]. Cet appareil est distribué en France par la société Envicontrol qui est déjà connue des AASQA comme représentant des marques API (analyseurs de gaz inorganiques), LNI (calibrateurs d'analyseurs), Met One (jauge radiométrique) ou Tekran (analyseur automatique de mercure gazeux total).

- Le PBL Mixing Monitor permet de mesurer la radioactivité naturelle (radon), considéré comme un bon indicateur de la stabilité atmosphérique [3-4]. En effet la mesure de l'activité Bêta associée aux produits de désintégration du radon se fixant sur les particules permet de qualifier les propriétés de mélange vertical des basses couches de l'atmosphère. Ce type d'appareil est d'ailleurs impliqué dans des programmes de recherche italiens sur les particules (le projet PATOS - Particolato Atmosferico in TO Scana – sur la distribution spatiale du niveau de concentration de particules, ainsi que sur leur composition et leur origine [5] et le projet SIMPA - Sistema Integrato per il Monitoraggio del Particolato Atmosferico – sur la réalisation d'un système intégré pour la caractérisation de particules atmosphériques sur de grandes échelles [6]).

- La jauge radiométrique 5014 i / 5030 i. Cet appareil se distingue des autres jauges par sa mesure en quasi-temps réel (en version 5030 i, dite « i Sharp »), permettant a priori un accès à une valeur moyenne horaire pouvant répondre à des besoins spécifiques tels que les procédures d'alerte. Cet appareil (sous ses 2 versions) fait

actuellement l'objet d'une démonstration d'équivalence en PM_{10} et $PM_{2.5}$ par le TÜV en Allemagne. Cet appareil est distribué en France par la société Ecomesure qui représente la marque Thermo sur la ligne de produits dédiés aux particules (TEOM-FDMS, 1405-F et DF).

A ce titre, ces trois appareils sont susceptibles de pénétrer le marché instrumental français. Aussi, cette étude vise à renseigner les acheteurs potentiels en leurs fournissant des éléments techniques avant décision. Les informations pourront également être utilisées dans le cadre de l'élaboration de textes normatifs européens (Spécification Technique TS 16450 pour la mesure automatique des particules [7], destinée vraisemblablement à devenir une norme EN) ou la révision de différentes normes (inter)nationales (norme NF X43-017 « Mesure de la concentration des matières en suspension dans l'air ambiant - Méthode par absorption de rayons bêta » [8], norme NF ISO 10473 « Air ambiant - Mesurage de la masse des matières particulaires sur un milieu filtrant - Méthode par absorption de rayons bêta » [9]). Enfin, il convient de noter que si les appareils Thermo sont autorisés par l'Autorité de Sûreté Nucléaire à la commercialisation, ce n'est pas le cas des appareils FAI Instruments.

2.1 Le SWAM 5A Dual Channel de FAI Instruments (Italie)

2.1.1 Présentation - Fonctionnement

Le SWAM 5A Dual Channel Monitor est un appareil automatique de prélèvement et de mesure de masse des particules en suspension dans l'atmosphère, qui fonctionne avec deux lignes de prélèvement indépendantes et un ensemble source-détecteur mobile (cf. Figure 1). Les échantillons de particules sont collectés sur média filtrant individuel et la masse est déterminée au moyen de la technique de mesure d'atténuation des rayonnements bêta.

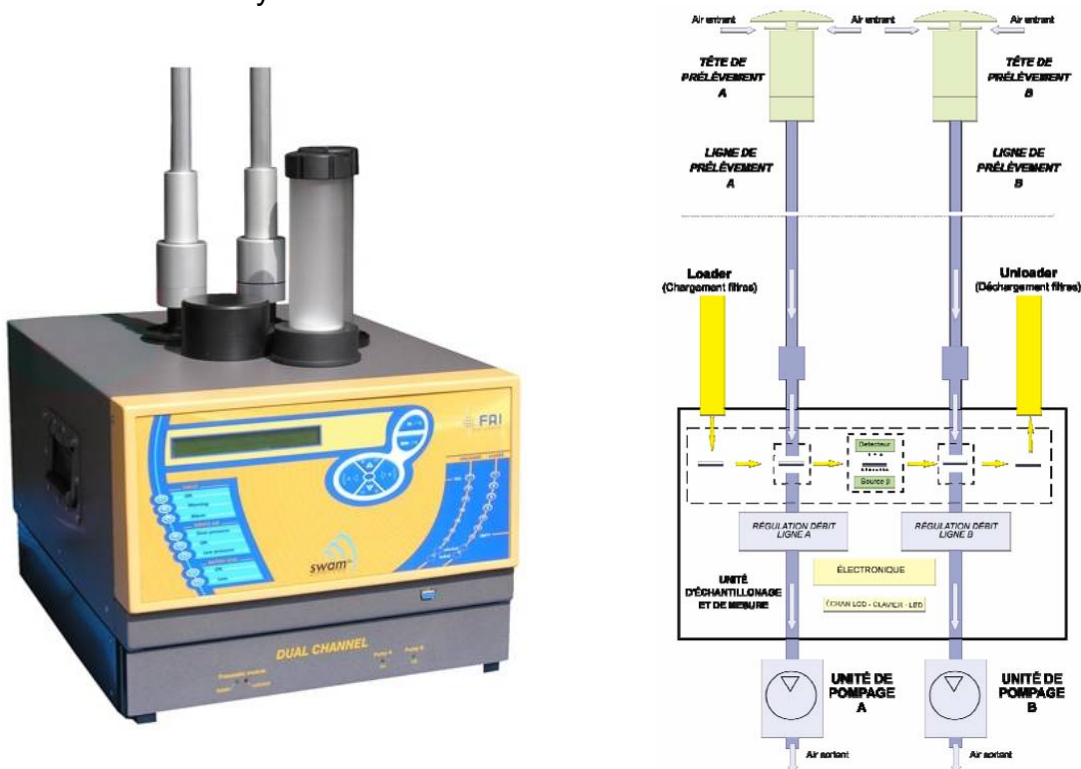


Figure 1 : (gauche) Vue extérieure du SWAM 5A Dual Channel de FAI Instruments. (droite) Vue schématique du principe de fonctionnement du SWAM 5A Dual Channel.

Le SWAM 5A Dual Channel Monitor permet de suivre en simultanée l'évolution des concentrations massiques moyennes de deux fractions de particules en suspension (par exemple PM₁₀ et PM_{2.5}) grâce à un système breveté (WO 2008/023325) [10] qui permet de s'affranchir des incertitudes inhérentes à la mesure par atténuation de rayonnement bêta. L'appareil permet d'obtenir des mesures avec un pas de temps réglable de 6, 8, 12 ou 24 heures. Par ailleurs, les échantillons collectés sur filtres sont stockés ce qui permet de procéder en complément à une caractérisation chimique et à une mesure gravimétrique sur balance de la masse prélevée. L'analyseur-préleveur nécessite en complément deux pompes et une alimentation en air comprimé pour fonctionner.

2.1.1.1 Mesure de la masse

Le système permettant la mesure de masse est composé d'un axe qui relie mécaniquement une source radioactive scellée au ¹⁴C, d'activité totale 3,7 MBq (similaire à celle de l'ancienne MP101M) et un détecteur Geiger-Müller (réf. : Philips, ZP1452). Cet assemblage source-détecteur est fixé à une roue sur laquelle sont posés les filtres de prélèvement (voir Figure 2).

Les deux lignes indépendantes de prélèvement sur filtre permettent d'une part de réaliser les mesures de 2 fractions granulométriques différentes en même temps et de minimiser les erreurs caractéristiques à la phase d'accumulation sur filtre grâce à un système de thermostatisation des lignes de prélèvement associé au contrôle qualité des paramètres de prélèvement (débit, température, pression etc.).

2.1.1.2 Mesure et régulation du débit

La régulation du débit de prélèvement est réalisée au moyen d'un orifice critique et d'une vanne de régulation pilotée par un moteur pas à pas. La mesure du débit de prélèvement est réalisée en aval du filtre au niveau de la vanne de régulation.

Le SWAM 5A Dual Channel Monitor contient un dispositif permettant de générer un débit de référence raccordé à un étalon primaire. Au début de chaque cycle de prélèvement, la valeur mesurée est automatiquement comparée à celle du débit de référence ; l'écart en pourcentage entre les deux valeurs est ensuite calculé et mis en mémoire, ce qui permet de contrôler régulièrement la qualité de la régulation du débit.

Cette approche permet selon les préconisations du constructeur d'espacer dans le temps les contrôles et étalonnages externes de débit (une vérification annuelle est recommandée). Par ailleurs, en cas de dérive constatée, il est possible d'ajuster « en ligne » les paramètres d'étalonnage.

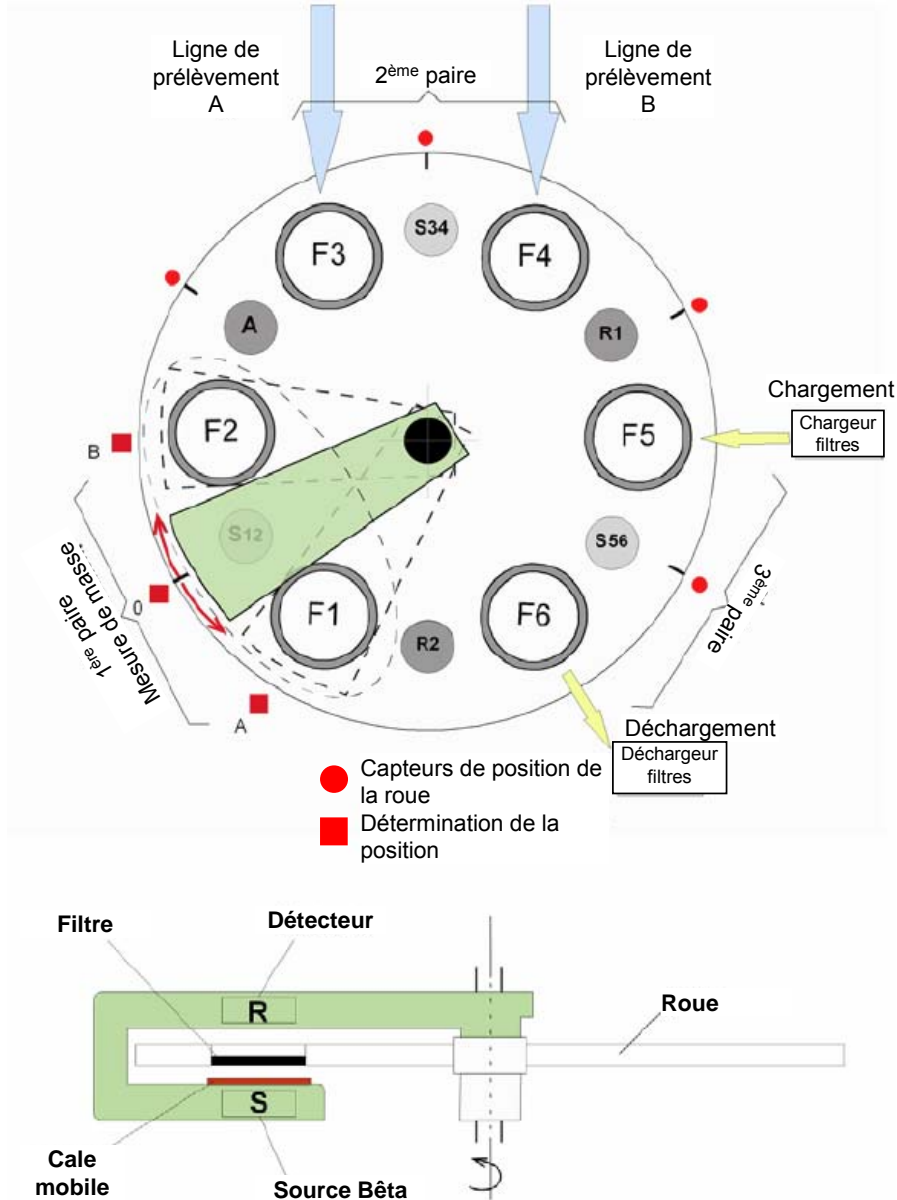


Figure 2 : Système mécanique pour la détermination de la masse de particules déposée sur les filtres de prélèvement du SWAM 5A Dual Channel Monitor.

2.1.1.3 Calculs de concentration massique et correction

La détermination de la masse de particules déposées sur le filtre est basée sur le principe de l'atténuation bêta. Cette technique a été implantée sur la base d'une analyse théorique de l'interaction entre le rayonnement bêta et la matière qui a abouti à la formulation d'une équation paramétrée. Cette équation décrit le lien entre l'atténuation du flux bêta passant à travers un film matière et la densité de masse surfacique de ce film (d'un point de vue opérationnel, ceci signifie qu'il est possible d'utiliser différents types de médias filtrants sans avoir recours à un nouvel étalonnage de l'analyseur, à condition que la densité de masse surfacique soit inférieure à 8 mg/cm²).

Afin de déterminer et de corriger les interférences sur la mesure de masse, deux feuilles d'aluminium de densité surfacique connue sont analysées à chaque nouveau cycle ainsi que 3 filtres vierges identiques au média filtrant utilisé pour la mesure (aussi appelés « spy filters »). En fonction de l'utilisation ultérieure qui sera faite des filtres (mesure gravimétrique, analyse de la composition chimique), l'analyseur permet l'utilisation de différents médias filtrants (ex : en taille de pores, en nature). L'utilisation des « spy filters » permet à l'analyseur de prendre en compte différents facteurs tels que par exemple, les changements météorologiques (température, humidité relative, densité d'air). Un facteur de correction est calculé automatiquement et appliqué aux résultats de mesure. Tous les paramètres et les facteurs de correction calculés sont stockés de façon indépendante pour chacun des échantillons.

Du fait du débit d'échantillonnage plus élevé pour cet analyseur que pour les autres radiomètres usuels (2,3 m³/h contre généralement 1 m³/h), il est peut s'avérer nécessaire de nettoyer la tête de prélèvement plus régulièrement, en fonction des conditions d'empoussièrement du site. Une périodicité moyenne de 3 semaines est à prévoir mais cette valeur doit être ajustée en fonction des teneurs en particules rencontrées sur chaque site).

L'analyseur peut donner les valeurs de masse prélevées pendant une période donnée de durée paramétrable par l'utilisateur. Cette période est généralement de 24 heures mais un temps d'intégration minimale de 8 heures doit être respecté. Le chargeur de filtres de l'appareil peut contenir jusqu'à 36 filtres (ou 72 en option).

2.1.2 Certification

2.1.2.1 Certification TÜV / MCERTS (2010)

Dans la mesure où le SWAM 5A Dual Channel Monitor combine le prélèvement et l'analyse gravimétrique « in situ », l'appareil a été certifié conforme par le TÜV pour le prélèvement sur filtre des fractions PM₁₀ et PM_{2.5} [2] par rapport aux normes européennes EN 12341 [11] et EN 14907 [12]. Par ailleurs, ce même appareil a obtenu une équivalence à la méthode de mesure de concentration par gravimétrie auprès des organismes allemand du TÜV [13] et britannique du MCERTS [14] pour la mesure automatique de concentration massique en PM₁₀ et PM_{2.5}, par rapport au Guide européen de Démonstration d'Equivalence de méthodes de mesure de l'air ambiant (version de novembre 2005 [15]) par rapport aux normes européennes citées précédemment. En complément à cette certification, les critères de la réglementation allemande [16] ont été utilisés pour la vérification de différentes spécifications techniques telles que la limite de détection, la linéarité, l'influence de la température ambiante et de la tension d'alimentation, les dérives de zéro et au point d'échelle. Il est à noter que ce sont ces spécifications techniques qui seront reprises dans la TS 16450 « Air ambiant — Systèmes automatisés de mesurage de la concentration de matière particulaire (PM₁₀ ; PM_{2.5}) », destinée à devenir une norme EN à moyen terme [7].

Les sites qui ont servi à cette étude étaient de différentes typologies : urbain de fond, proximité trafic routier et industrielle (conditionnement de gravier).

L'incertitude élargie obtenue sur l'ensemble des essais a été estimée à 2 niveaux de concentration, correspondant aux seuils réglementaires européens :

- 50 et 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM_{10} ;
- 25 et 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les $\text{PM}_{2.5}$.

Les résultats sont présentés dans le Tableau 1 ci-dessous :

Tableau 1 : Incertitude élargie obtenue pour l'ensemble des tests réalisés sur les 4 sites pour les mesures PM_{10} et $\text{PM}_{2.5}$ à l'aide du SWAM 5A Dual Channel Monitor en comparaison de la méthode gravimétrique.

Valeur Limite	PM_{10}		$\text{PM}_{2.5}$	
	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Incertitude élargie calculée selon les recommandations du guide européen de 2005	$\pm 17,15 \%$	$\pm 17,85 \%$	$\pm 13,35 \%$	$\pm 15,61 \%$
Incertitude élargie calculée après correction de la pente et de l'ordonnée à l'origine de la droite de régression linéaire orthogonale	-	$\pm 9,26 \%$	-	$\pm 15,76 \%$

Selon le Tableau 1, les résultats respectent l'objectif de qualité des données de $\pm 25 \%$ mentionnée dans la Directive Européenne [17]. Il convient de noter la correction pouvant être apportée aux données, a priori plus justifiée pour les PM_{10} que pour les $\text{PM}_{2.5}$. Cette correction n'est pas obligatoire selon le Guide européen, dans la mesure où l'Objectif de Qualité des Données de la Directive est respectée (incertitude $\leq \pm 25\%$ dans la région de la Valeur Limite)

La Figure 3 montre la corrélation globale obtenue pour l'ensemble des résultats entre le SWAM 5A Dual Channel Monitor et les appareils de référence pour respectivement les PM_{10} et les $\text{PM}_{2.5}$.

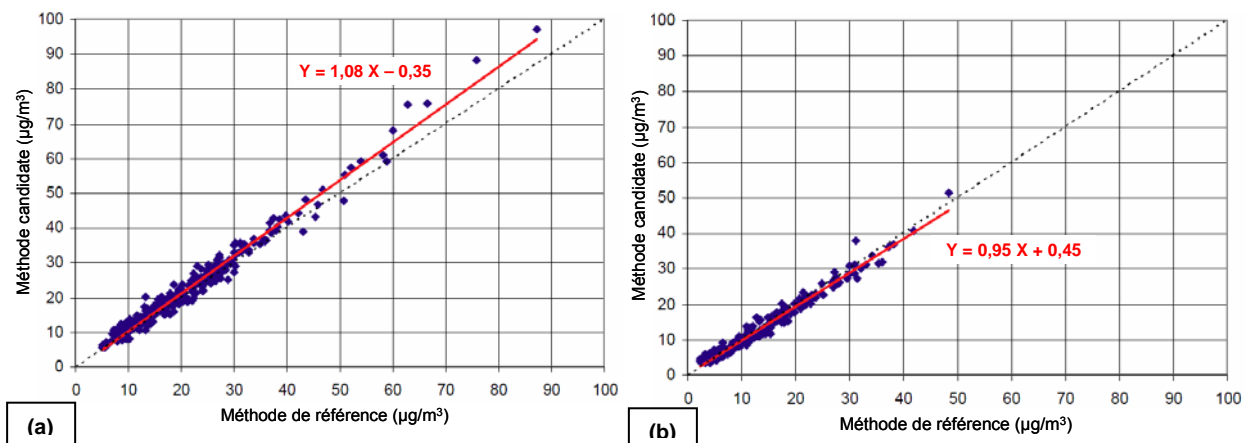


Figure 3 : (a) Corrélation entre les valeurs PM_{10} journalières du SWAM 5A Dual Channel Monitor et la méthode de référence manuelle (305 paires de données)
(b) Corrélation entre les valeurs $\text{PM}_{2.5}$ journalières du SWAM 5A Dual Channel Monitor et la méthode de référence manuelle (216 paires de données).

2.1.2.2 Campagne d'intercomparaison aux Pays-Bas (2007)

La campagne d'intercomparaison qui s'est déroulée aux Pays-Bas en 2007 [18], a permis de comparer sur un site et une période de 5 mois, les mesures de concentration en PM_{10} et en $PM_{2.5}$ obtenues sur 8 appareils basés sur des principes de mesure différents (optique (4 analyseurs), par micro-balance (1 analyseur), par mesure de l'atténuation Bêta (2 analyseurs), par un principe mixte (optique et rayonnement Bêta). Les résultats concernant la comparaison du SWAM 5A Dual Channel Monitor à la méthode de référence gravimétrique, vis à vis des critères de performance du Guide européen de Démonstration d'Equivalence sont présentés dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Taux de données validées, répétabilité intra-méthode et incertitudes élargies obtenues pour l'ensemble des tests réalisés sur les 5 mois d'essais pour les mesures PM_{10} et $PM_{2.5}$ à l'aide du SWAM 5A Dual Channel Monitor en comparaison de la méthode gravimétrique.

Valeur limite	PM_{10}		$PM_{2.5}$		Exigences du Guide européen
	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
Répétabilité intra-méthode (24 h)	1,65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		1,00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		< 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Taux de données validées	84 % (*)				> 90 %
Incertitude élargie calculée selon les recommandations du guide européen	10,2 % (appareil N°1) 8,2 % (appareil N°2)	12,2 % (appareil N°1) 10,2 % (appareil N°2)	24,16 % (appareil N°1) 22,30 % (appareil N°2)	26,4 % (appareil N°1) 24,10 % (appareil N°2)	± 25 %
Incertitude élargie calculée après correction de la pente et de l'ordonnée à l'origine de la droite de régression linéaire orthogonale	> 10,2 % (appareil N°1) > 8,2 % (appareil N°2)	> 12,2 % (appareil N°1) > 10,2 % (appareil N°2)	16,60 % (appareil N°1) 14,62 % (appareil N°2)	20,42 % (appareil N°1) 19,94 % (appareil N°2)	± 25 %

(*) Explication fournie : les utilisateurs étaient peu formés au fonctionnement du préleveur

Selon le Tableau 2, les résultats respectent l'objectif de qualité des données de ± 25 % mentionnée dans la Directive Européenne [17], à condition qu'une correction de la pente et de l'ordonnée à l'origine de la droite de régression linéaire orthogonale soit appliquée au minimum pour les données $PM_{2.5}$. Il convient de noter que ce calcul a été appliqué pour une valeur limite choisie à 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

La Figure 4 montre la corrélation globale obtenue pour l'ensemble des résultats entre les 2 appareils SWAM 5A Dual Channel Monitor et les mesures de référence gravimétriques pour respectivement les PM_{10} et les $PM_{2.5}$.

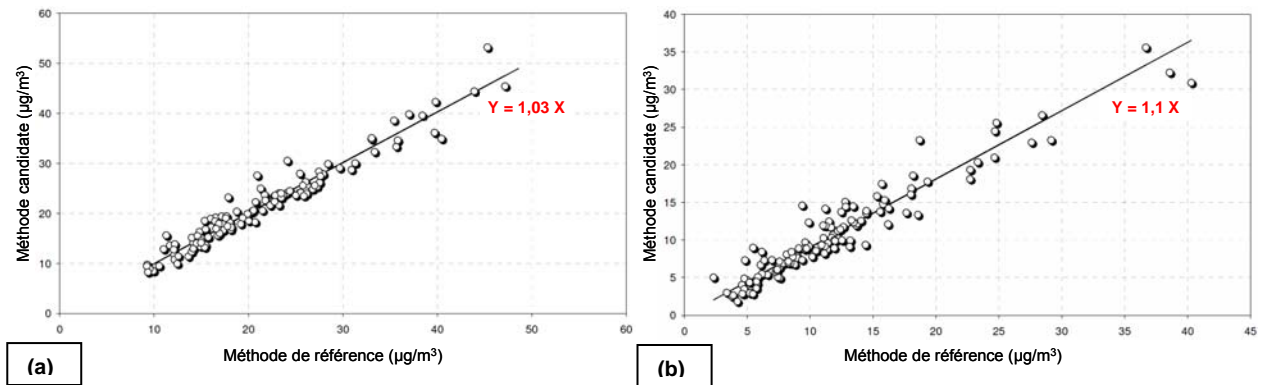


Figure 4 : (a) Corrélation entre les valeurs PM_{10} journalières du SWAM 5A Dual Channel Monitor et la méthode de référence manuelle (123 paires de données)
(b) Corrélation entre les valeurs $PM_{2.5}$ journalières du SWAM 5A Dual Channel Monitor et la méthode de référence manuelle (128 paires de données).

2.1.3 Autres fonctionnalités

L'appareil SWAM Dual Channel Monitor a également été conçu et développé pour le suivi métrologique du dispositif de prélèvement et de mesure de masse de la matière particulaire (évaluation des pertes des composés volatils pendant la phase d'accumulation sur le filtre, évaluation de l'équivalence entre têtes de prélèvement différentes, évaluation des biais induits par des variations dans la coupure granulométrique de tête de prélèvement, etc.).

La dernière version de l'appareil intègre en option la possibilité :

- d'obtenir la mesure horaire de la concentration massique des particules prélevées sur chacun des deux canaux de prélèvement ;
- de mesurer l'activité Bêta associée à la désintégration du radon, permettant ainsi d'évaluer la hauteur de la couche de mélange de l'atmosphère (voir § 2.2) ;
- de réaliser un comptage optique des particules par l'ajout du module « OPC Monitor » sur la ligne de prélèvement, donnant accès au suivi temporel de la distribution granulométrique des particules en suspension et une estimation en temps réel de la concentration massique des particules en suspension pour diverses fractions (PM_1 , $PM_{2.5}$, PM_{10} , TSP) ;
- d'ajouter un module de refroidissement sur le module du stockage des filtres échantillonnés, utiles notamment pour la mesure des HAP ;
- d'éviter la perte de données en cas de coupure d'électricité. L'analyseur peut être pourvu de batteries, permettant de continuer à gérer le cycle de mesures et d'enregistrer les paramètres afin de ne pas perdre la totalité de la période de mesure.

2.2 Le PBL Mixing Monitor de FAI Instruments (Italie)

2.2.1 Présentation - Fonctionnement

Le PBL Mixing Monitor de FAI Instruments permet d'échantillonner la matière particulaire sur des filtres de 47 mm de diamètre et d'estimer l'évolution horaire de la couche de mélange atmosphérique.

La connaissance des propriétés de dilution des basses couches de l'atmosphère est un outil de compréhension essentiel des phénomènes d'accumulation des polluants

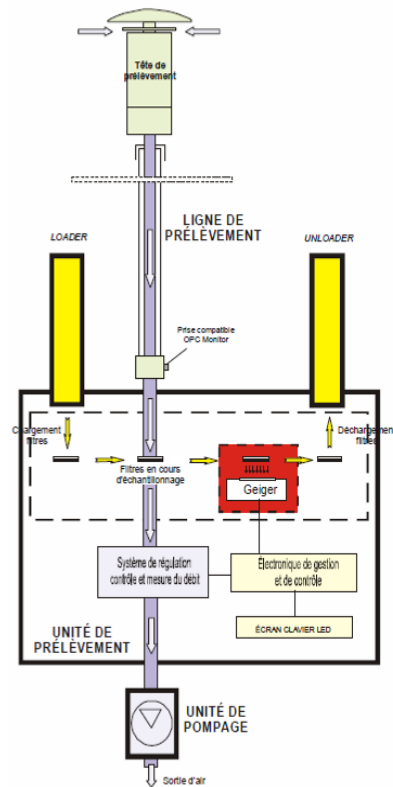
et, de manière générale, de l'évolution dans le temps de tous les processus de pollution atmosphérique. Les informations obtenues sont relatives au potentiel de dilution de la couche limite atmosphérique. Pour cela, il est nécessaire de procéder au suivi d'un composé chimiquement stable (le radon) et dont le flux d'émission peut être considéré comme constant sur une échelle spatio-temporelle donnée [3, 19-20]. Le radon est un gaz rare relativement stable qui est produit dans le sol par la désintégration d'éléments radioactifs naturels tels que l'Uranium ou le Thorium. Il est sous différentes formes isotopiques eux mêmes radioactifs (isotopes ^{222}Rn et ^{220}Rn encore appelé thoron). Le temps de demi-vie est respectivement de l'ordre de 4 secondes et 4 jours. Le radon libéré dans l'atmosphère se disperse essentiellement par diffusion turbulente. La concentration de radon dans l'atmosphère dépend donc principalement du flux de gaz libéré par le sol et du facteur de dilution verticale, il peut être considéré comme un traceur naturel des propriétés de mélange des basses couches de l'atmosphère. Ainsi, la radioactivité naturelle se maintient à des valeurs basses et constantes en cas de mélange convectif ou d'advection et elle augmente lorsque la stabilité atmosphérique permet au radon de s'accumuler dans les basses couches de l'atmosphère.

Le PBL mixing Monitor est un système automatique séquentiel capable d'évaluer le degré de mélange des basses couches de l'atmosphère. L'appareil prélève de façon alternative sur 2 filtres pendant une heure (un filtre en prélèvement pendant que la mesure de radioactivité est réalisée sur le second filtre puis inversement).

L'appareil prélève ainsi sur une base horaire, de la matière particulaire sur laquelle se fixe le radon, et, au moyen d'un compteur Geiger-Müller, il en détermine la radioactivité en Bq.m^{-3} . Les caractéristiques techniques de l'appareil permettent donc d'obtenir pour chaque journée de prélèvement 24 moyennes horaires de la radioactivité naturelle avec une précision de mesure suffisante. Ces mesures horaires permettent de mettre en évidence des périodes caractérisées par un faible mélange et donc favorables à des épisodes de pollution anthropique primaire ou secondaire ou au contraire, de mettre en évidence des périodes caractérisées par un transfert des masses d'air par advection et donc favorables à la mise en évidence d'événements de pollution naturelle.

Comme le montre la Figure 5 ci-dessous, l'ensemble analytique est composé des 4 parties distinctes usuelles à un analyseur automatique de concentration massique de particules en suspension :

- la tête de prélèvement ;
- le tube de prélèvement (d'adduction) ;
- l'unité d'échantillonnage et de mesure ;
- l'unité de pompage.



**Figure 5 : (gauche) Vue extérieure modélisée du PBL Mixing Monitor de FAI Instruments.
(droite) Vue schématique du principe de fonctionnement du PBL Mixing Monitor.**

2.2.2 Certification

Le PBL Mixing Monitor n'a fait l'objet d'aucune demande de certification mais il est déclaré par le constructeur comme appareil conforme en matière de prélèvement de particules atmosphériques PM_{10} avec les prescriptions de la norme EN 12341 [11] et celles de l'arrêté du Ministère Italien correspondant [21].

2.3 Le 5014*i* de Thermo Scientific (USA)

2.3.1 Présentation – Fonctionnement

Comme les autres appareils de mesure des particules par jauge Bêta, la jauge Thermo 5014*i* utilise un principe de fonctionnement permettant de mesurer l'atténuation du rayonnement Bêta (voir Figure 6).



Figure 6 : (gauche) Vue extérieure du 5014i de Thermo Scientific. (droite) Vue intérieure du 5014i.

En revanche, à la différence des autres dispositifs de mesure par jauge Bêta, la mesure de concentration du 5014i est réalisée en continu pendant que les poussières sont collectées sur la bande filtrante (pas de transfert du média filtrant vers une position de détection, voir Figure 7). Ce principe permet une mesure quasi instantanée (réactualisée toutes les secondes) de l'intégralité du prélèvement, pour une couverture temporelle d'échantillonnage pratiquement de 100% avec un moyennage fixe programmable de 1 min à 24 h (à choisir en fonction de la limite de détection souhaitée).

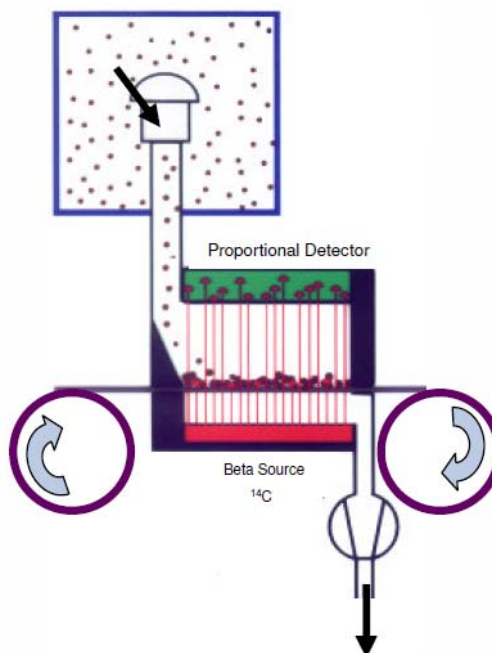


Figure 7 : Schéma de principe du dispositif de mesure par jauge Bêta équipant l'analyseur de particules 5014i de Thermo Scientific.

L'avancement du média filtrant est réalisé de façon automatique lorsqu'un seuil, fixé par l'utilisateur, est atteint. Le critère de seuil peut être une durée, une limite de perte de charge (avant colmatage) ou encore une limite de masse cumulée sur le filtre. Lorsque le filtre avance, l'analyseur réalise une mesure de zéro qui permet d'effectuer les corrections de rayonnement Bêta naturel dû au Radon 222.

La ligne d'échantillonnage est contrôlée en température par un système qui évite ainsi la perte par volatilisation des particules instables. Ce système IMR (Intelligent Moisture Reduction) contrôle la puissance de chauffage de la ligne d'échantillonnage en maintenant l'hygrométrie à une valeur inférieure à 65%. La mesure de l'humidité est effectuée par un hygromètre en amont. Sur le principe, ce système est similaire au dispositif RST équipant la jauge MP101M d'Environnement SA.

Une évolution technique a été apportée sur la 5014 *i* en y adjoignant un néphélomètre (mesure rapide – moyenne sur la minute réactualisée toutes les 4 s – de la lumière diffusée par les particules, sur un segment angulaire entre 60° et 80°). La mesure instantanée par néphélométrie est recalée périodiquement par rapport à la mesure radiométrique. Cette évolution constitue le modèle 5030 *i* (appelé « *i*-Sharp »)

2.3.2 Certification

2.3.2.1 Certifications US-EPA

L'appareil est reconnu comme méthode automatique équivalente pour la mesure des PM₁₀ par l'US EPA [22] et également pour les PM_{2.5} [23]. Par ailleurs, l'appareil est « approuvé » pour la mesure des PM₁₀ et des PM_{2.5} par le National Air Pollution Surveillance (NAPS) canadien [24].

2.3.2.2 Campagnes d'intercomparaison aux Etats-Unis (2010-2012)

Une station de mesure en milieu urbain (dans le quartier du Queens à New York) est équipée avec différents analyseurs pour la mesure des PM_{2.5} depuis 2010. Des tests de comparaison entre les moyennes journalières obtenues par le 5014 *i* et la méthode de référence gravimétrique manuelle ont donné les résultats suivants sur une durée d'exploitation de 5 mois (janvier à mai 2010) :

- coefficient de corrélation moyen de 0,90 ;
- pente moyenne de la droite de régression de 0,96 ;
- ordonnée à l'origine moyenne de 1,40 µg/m³.

Les résultats des 133 paires de données validées sont présentés sur la Figure 8.

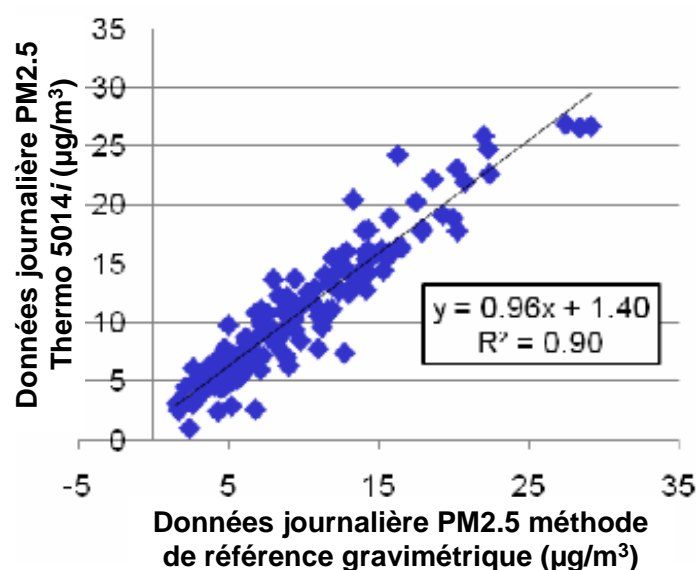


Figure 8 : Corrélation entre les valeurs PM_{2.5} journalières du 5014*i* et de la méthode de référence manuelle (janvier à juin 2010).

Par ailleurs, une comparaison des moyennes journalières a été effectuée entre la référence gravimétrique et différents appareils automatiques dont le 5014 *i* entre janvier et avril 2012 sur le même site du Queens. Pour les appareils automatiques, les moyennes journalières ont été calculées à partir des valeurs horaires. Les valeurs prises en compte correspondent à une durée de fonctionnement de 121 jours. Les profils chronologiques sont décrits dans la Figure 9 suivante.

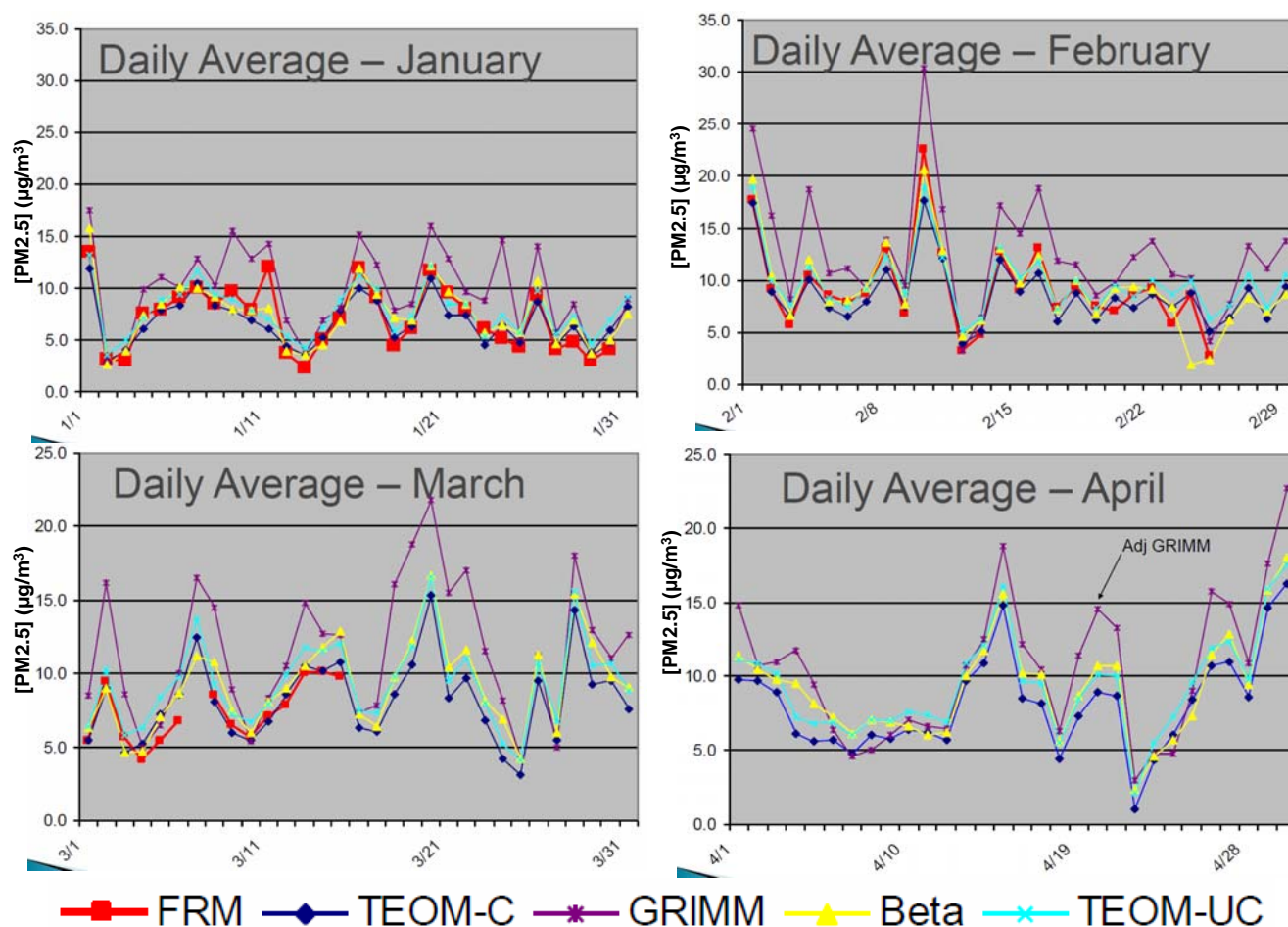


Figure 9 : Profils chronologiques des valeurs journalières en $PM_{2.5}$ de différents appareils automatiques et de la méthode de référence (FRM) de janvier à avril 2012.
N.B. : Le profil du 5014 *i* est présenté en jaune (« Beta »).

Les données disponibles montrent une bonne corrélation entre le 5014 *i* et la méthode de référence mais aussi avec les microbalances. Une confirmation de ces résultats devra être apportée avec la campagne estivale en cours.

2.4 Récapitulatif

Le Tableau 3 ci-après résume les principales caractéristiques, selon les données constructeurs, des jauges radiométriques disponibles (actuellement ou à court terme) sur le sol français.

Tableau 3 : Tableau comparatif des principales caractéristiques techniques des appareils pour la mesure des particules en suspension par rayonnement Bêta disponibles ou prochainement disponibles pour les mesures réglementaires PM₁₀ ou PM_{2.5}.

Appareil	SWAM 5A Dual Channel (FAI Instruments)	PBL Mixing Monitor (FAI Instruments)	5014 i (Thermo)	5030 i (i Sharp) (Thermo)	BAM 1020 (Met One) ou APDA-371 (Horiba)	MP101M – RST (Environnement S.A)
Gamme de mesure	0 à 50 mg soit jusqu'à 7800 µg/m ³ pour un cycle de 8h à un débit de 0,8 m ³ /h	Non applicable	0 à 100 / 1000 / 2000 / 3000 / 5000 / 10000 µg/m ³	0 à 1000 / 2000 / 3000 / 5000 / 10000 µg/m ³	0 à 100 / 200 / 250 / 500 / 1000 / 2000 / 5000 / 10000 µg/m ³	0 à 100 / 200 / 500 / 1000, 2000, 5000, 10000 µg/m ³
Limite de détection (en fonction de la durée du cycle de mesure)	0,7 µg/m ³ (24h à 2,3 m ³ /h)	Non applicable	6 µg/m ³ (30 min) 4 µg/m ³ (1 h) 3 µg/m ³ (3 h) 1 µg/m ³ (24 h)		1 µg/m ³ (24 h) 4,8 µg/m ³ (1 h)	0,5 µg/m ³ (24 h à 1 m ³ /h) 6 µg/m ³ (2 h à 1 m ³ /h)
Type de source radioactive	¹⁴ C, < 3,7 MBq	Pas de source radioactive	¹⁴ C, < 3,7 MBq		¹⁴ C, < 2,22 MBq	¹⁴ C, < 3,7 ou 1,84 MBq
Incertitude de mesure	±2,0 µg/cm ² - soit ±1,3 µg/m ³ pour un prélèvement de 8 h à 2,3 m ³ /h et pour une surface de collecte de 11,95 cm ² - ou 0,4 µg/m ³ pour un prélèvement de 24 h dans les mêmes conditions	Non applicable	Sur la moyenne 24h : ±2,0 µg/m ³ (si C < 80 µg/m ³) ± 4-5 µg/m ³ (si C > 80 µg/m ³)		± 2 % (sur la moyenne 24h) ± 8 % (sur la moyenne 1h) Equivalence démontrée en PM ₁₀ & PM _{2.5}	± 2 % (sur la moyenne 24h) ± 8 % (sur la moyenne 1h) Equivalence démontrée en PM ₁₀
Débit d'utilisation	Programmable entre 0,8 et 2,5 m ³ /h	- en mode PBL Monitor : 2,3 m ³ /h - en mode préleveur standard : entre 0,8 et 2,5 m ³ /h	1m ³ /h (16,67 L/min)	1m ³ /h (16,67 L/min) en nominal mais programmable entre 14 et 20 L/min	0 à 20 L/min (débit ajustable via un RDM)	Programmable entre 1 et 1,5 m ³ /h (16,67L/min)
Consommation (analyseur + groupe pompe)	1200 W (max)	800 W (max)	805 W (max en 115V) 880 W (max en 220V)		400 W (max)	330 W (max en 220V)

Appareil	SWAM 5A Dual Channel (FAI Instruments)	PBL Mixing Monitor (FAI Instruments)	5014 <i>i</i> (Thermo)	5030 <i>i</i> (<i>i</i> Sharp) (Thermo)	BAM 1020 (Met One) ou APDA-371 (Horiba)	MP101M – RST (Environnement S.A)
Température d'utilisation	+5°C à +35°C		+4° à +50°C (mais la température de l'air prélevé peut varier entre -30° et 50°C)		-30°C à +60°C	+10°C à +40°C
Dimensions en mm (L x p x h)	Unité de prélèvement : 430 x 540 x 370 Unité de pompage : 200 x 320 x 200 Unité de compression : 180 x 320 x 200	Unité de prélèvement : 430 x 540 x 240 Unité de pompage : 200 x 320 x 200 Unité de compression : 180 x 420 x 240	Analyseur seul : 425 x 584 x 219	Analyseur seul : 425 x 584 x 360	Analyseur seul : 430 x 400 x 310	Analyseur seul : 360 x 483 x 266
Poids (kg)	Unité de prélèvement : 36 Unité de pompage: 10 Unité de compression : 18	Unité de prélèvement : 38 Unité de pompage : 10 Unité de compression : 18	Analyseur seul : 19	Analyseur seul : 26,1	Analyseur seul : 24,5	Analyseur seul : 15 Groupe de pompage ~10 (fonction de la pompe choisie)
Observations		Appareil qui peut être équipé en option d'un module (OPC) pour la mesure optique en continue (nombre, concentration) des fractions particulaires fine et grossière	Système de conditionnement en température de la ligne d'échantillonnage (Intelligent Moisture Reduction) pour éviter la volatilisation des particules instables	5014 <i>i</i> équipé d'un néphélomètre permettant d'obtenir des mesures en continu	Appareil qui peut être équipé en option d'un module de comptage optique des particules de diamètre compris entre 300 nm et 5 µm	Appareil qui peut être équipé en option d'un module (CPM) pour la mesure optique en continu (nombre, concentration, classification en taille)
Prix indicatif ¹	25 000 €	30 000 €	15.500€	15.500€	18 000€ ou 21 000 € avec le module optique	20.000€

¹ Les prix en dollars ont été convertis selon le cours en vigueur au 31 mai 2012 (1€ ~ 1,24\$) – Les prix indiqués sont des prix moyens hors taxes observés en 2011.

2.5 Autres radiomètres

Actuellement, les radiomètres présentés dans le Tableau 3 de synthèse sont disponible au niveau européen mais d'autres constructeurs internationaux pourraient dans les années à venir tenter de s'insérer dans ce marché. Il s'agit par exemple :

- Verewa/Durag, référence : F-701-20
(http://www.durag.de/ambient_monitoring_en/articles/f_701_20_en.html) ;
- Opsis, référence : SM200
(http://www.opsis.se/Default.aspx?tabid=87&P_ItemId=8) ;
- Kimoto Electric Co. (Japon) et Tisch Environmental, Inc. (USA), références : TE-PM711 et TE-PM717 (http://tisch-env.com/Kimoto_700_Series/pm711.pdf) ;
(http://tisch-env.com/Kimoto_700_Series/pm717.pdf) ;
- DKK-TOA, références : FPM-377, FPM223
(<http://www.toadkk.co.jp/english/product/env/ap/i36qhb0000003y0a.html>).

Leur entrée sur le marché français sera conditionnée par leur autorisation par l'Autorité de Sûreté Nucléaire à la commercialisation sur le sol français.

3 ETUDE DES MODIFICATIONS TECHNIQUES APPORTEES SUR L'APPAREIL MP101M-RST D'ENVIRONNEMENT SA

Environnement SA a apporté dernièrement des modifications techniques sur le radiomètre MP101M-RST. Certaines de ces modifications n'affectent que le design extérieur de l'appareil (diminution de la profondeur de l'appareil, accessibilité des cartes électroniques pour maintenance) et ne sont donc pas liées directement aux éléments cœur de la métrologie. En revanche, une modification a priori majeure a été apportée sur la source de rayonnement Bêta qui équipe les appareils. L'intensité de la source radioactive a ainsi été abaissée de 3,7 MBq à 1,84 MBq. Cette modification a nécessité de vérifier les performances métrologiques du nouvel appareil notamment au regard de l'ancienne version et de référence gravimétrique manuelle. Les essais ont été menés d'une part chez le constructeur Environnement SA et d'autre part sur le site de Douai par le LCSQA-EMD entre octobre 2010 et mars 2011. L'ensemble des résultats est présenté ci-après.

3.1 Essais constructeur

3.1.1 Modifications du design de l'appareil

Le nouvel appareil se présente avec des dimensions inchangées en largeur et hauteur (rack 19" 6U), mais avec une diminution de la profondeur de 8 cm (36 cm contre 44 cm auparavant – voir Figure 10). Le poids de l'appareil s'en trouve réduit de 6,5 kg et passe donc à 15 kg contre 21 auparavant.

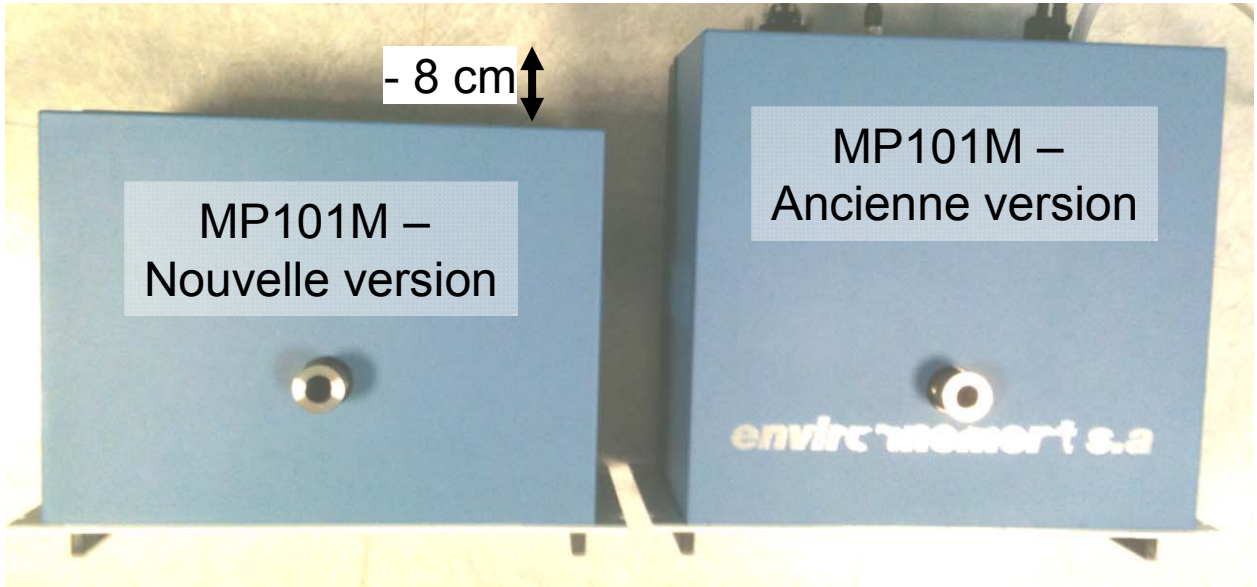


Figure 10 : Vue de dessus de l'ancienne et de la nouvelle version du MP101M d'Environnement SA.

A l'arrière de l'appareil, les sorties analogiques se font avec une carte ESTEL via des connecteurs SUBD 37 points au lieu des connecteurs DIN (voir Figure 11).

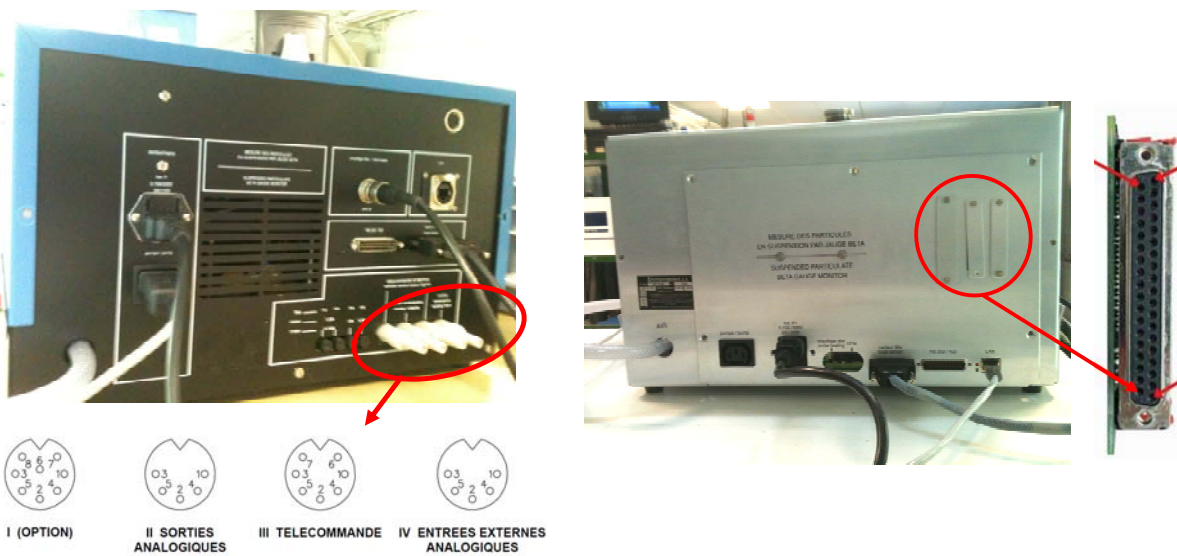
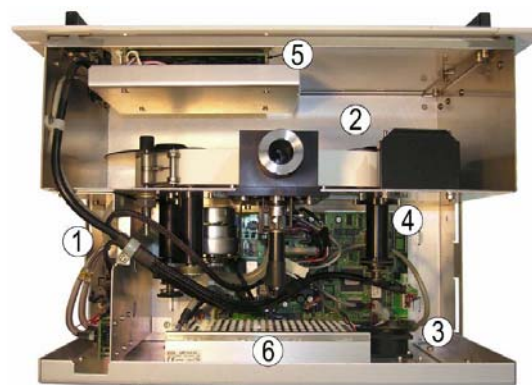


Figure 11 : Vue de derrière de l'ancienne (à gauche) et de la nouvelle (à droite) version du MP101M d'Environnement SA.

La nouvelle version est équipée d'un tiroir coulissant sur la face arrière qui supporte les cartes électroniques et rend ainsi plus facile l'accès à celles-ci (voir Figure 12).



(1) partie régulation de débit, (2) ensemble collecteur et jauge bêta, (3) partie électronique (4) carte Module, (5) carte ARM7, (6) carte d'alimentation.

Figure 12 : Vue arrière du tiroir coulissant « sorti » (à gauche) et de l'intérieur (à droite) de la nouvelle version du MP101M d'Environnement SA.

Ces modifications sont jugées mineures et sans conséquence sur les caractéristiques métrologiques de l'analyseur.

3.1.2 Modifications de la source ^{14}C du MP101M

3.1.2.1 Présentation de la nouvelle source ^{14}C et comparaison avec l'ancienne

La nouvelle source est constituée à partir d'une solution de sucrose marqué au ^{14}C ($^{14}\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ - voir Figure 13).

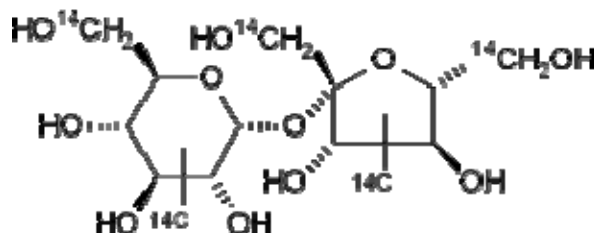


Figure 13 : Formule semi-développée du sucrose marqué ^{14}C utilisé pour la préparation des nouvelles sources du MP101M d'Environnement SA.

La source est composée de deux feuilles de film plastique, le tout collé dans une capsule en aluminium afin de la sceller. Les caractéristiques mécaniques de l'ancienne et de la nouvelle source n'ont pas été modifiées (diamètre = 22 mm, épaisseur = 5 mm) de sorte que les nouvelles sources peuvent s'adapter au porte-source. En revanche, la couleur du support extérieur de la source a changé pour passer du or au bleu (voir Figure 14), facilitant ainsi son identification.



Figure 14 : Photographies de l'ancienne source ^{14}C (à gauche) et de la nouvelle source (à droite) du MP101M d'Environnement SA.

L'activité interne de la nouvelle source passe de 3,30 MBq ($\pm 10\%$, donc déclarée à 3,66 MBq à l'IRSN) à 1,67 MBq ($\pm 10\%$, donc déclarée à 1,84 MBq à l'IRSN) mais la source scellée respecte les tests de classification C22121 réalisés selon les normes ISO 2919 [25] et NF ISO 9978 [26]. Le fabricant reste le même (LEA CERCA).

3.1.2.2 Tests réalisés par Environnement SA sur le site de Poissy et dans les conditions recommandées d'utilisation des sources et des appareils

Les résultats des essais présentés ci-dessous ont fait l'objet d'un rapport de la part d'Environnement SA en 2010 [27].

3.1.2.2.1 Contrôle de la stabilité du flux émis – Mesure de blancs

Deux appareils contenant chacun une source ^{14}C différente ont été installés dans deux cabines climatisées situées à proximité l'une de l'autre sur le site d'Environnement SA à Poissy. Les sources ^{14}C contenues dans les appareils étaient :

- MP101M-1 : analyseur équipé d'une source ^{14}C au triazole (ancienne version), référence : C14EBRH30 n°758 ;
- MP101M-3 : analyseur équipé d'une source ^{14}C au sucrose (nouvelle version), C14EBRH20 n°2935.

Ces deux appareils ont été placés dans des configurations de mesures rigoureusement identiques :

- Même tête PM_{10} ;
- ligne RST (option RST activée) ;
- appareil en mode de mesure continu (cycle 24h avec périodes de 2h).

Un contrôle quotidien du flux émis par les 2 sources a été effectué entre le 25 mars et le 1^{er} juin 2010, soit près de 70 jours. A chaque avancement du filtre ruban, une mesure de « blanc » a été réalisée, en moyennant sur 200 secondes les signaux instantanés délivrés par le détecteur. Cette mesure exprimée en coups/s, correspond à l'intensité moyennée sur 200 secondes du rayonnement bêta émis par la source et qui atteint le compteur Geiger-Müller après avoir traversé une portion de ruban filtre vierge. L'écart type moyen sur chacune de ces valeurs moyennes est de 0,1%. Le profil chronologique de ce suivi d'intensité est représenté sur la Figure 15.

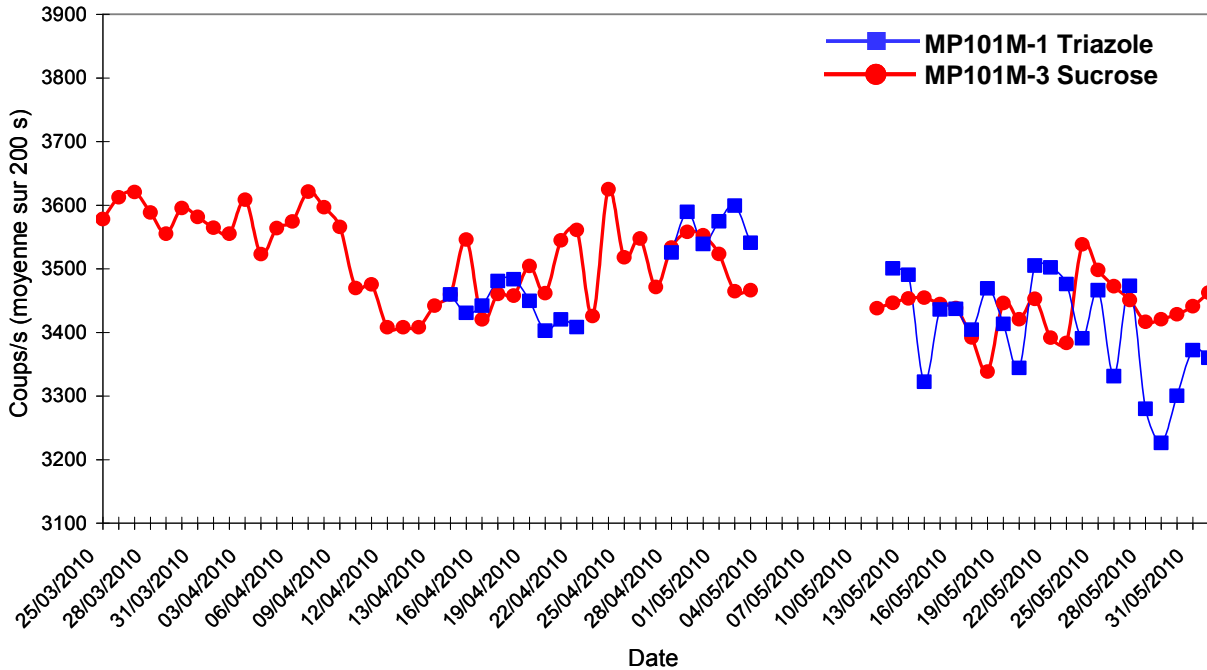


Figure 15 : Profil chronologique des mesures moyennes de blancs réalisées avec deux MP101M contenant des sources ^{14}C de génération et d'activité différentes. En bleu, l'ancienne source et en rouge, la nouvelle source.

L'activité moyenne des deux sources ^{14}C est sensiblement constante sur la période de temps considérée et reste dans les tolérances. L'écart moyen entre les appareils sur la période considérée est compris entre 2 et 3% et l'écart maximal observé est de 6%.

Une étude précédente menée par le constructeur avait montré que pour un même rouleau de papier filtre, une même source et un même compteur Geiger-Müller, des variations moyenne de 2-3% et maximale de 9% pouvaient être observées entre des mesures de blancs effectuées sur des portions de ruban filtre différentes. Ces variations sont attribuées à l'inhomogénéité du papier, son empoussièrément durant le stockage dans l'analyseur et aux fluctuations d'humidité ambiante.

En conclusion, sur la période de mesure considérée, la stabilité du flux de rayons Bêta issus de la nouvelle source au sucrose est tout à fait comparable à celle de l'ancienne source au triazole.

3.1.2.2.2 Contrôle de la stabilité de mesure des concentrations cycliques 24h

Trois appareils contenant chacun une source ^{14}C différente ont été installés dans deux cabines climatisées situées à proximité l'une de l'autre sur le site d'Environnement SA à Poissy. Les sources ^{14}C contenues dans les appareils étaient :

- MP101M-1 : analyseur équipé d'une source ^{14}C au triazole (ancienne version), référence : C14EBRH30 n°758 ;
- MP101M-2 : analyseur équipé d'une source ^{14}C au bicarbonate de sodium (ancienne version), C14EBRH30 n°2864 ;
- MP101M-3 : analyseur équipé d'une source ^{14}C au sucrose (nouvelle version), C14EBRH20 n°2935.

Ces trois appareils ont été placés dans des configurations de mesures rigoureusement identiques :

- Même tête PM₁₀ ;
- ligne RST et option RST activée ;
- appareil en mode de mesure continue (cycles 24h et périodes de 2h).

Les mesures de concentrations journalières (concentration cyclique avec une durée du cycle de 24h) délivrées par les trois appareils ont été comparées sur une période d'essais allant du 21 mars au 18 mai 2010, soit près de 60 jours. Le profil chronologique de ce suivi de concentrations moyennes journalières est représenté sur la Figure 16.

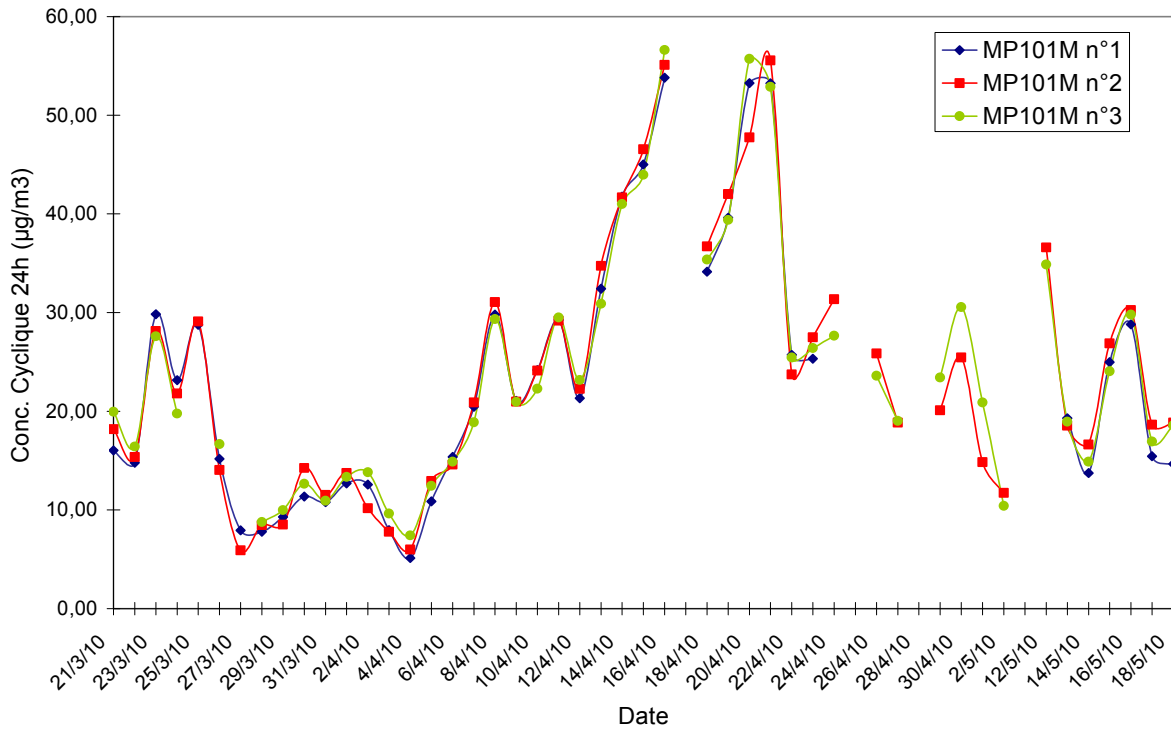


Figure 16 : Profils chronologiques des valeurs journalières obtenues avec trois MP101M incluant trois sources ¹⁴C de génération différente.
En bleu, source « triazole » / en rouge, source « bicarbonate de sodium » / en vert, « source sucrose ».

Le suivi chronologique montre la bonne synchronicité des 3 appareils, ne montrant pas de différences notables pour la nouvelle source, que ce soit pour des valeurs faibles ($\approx 10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) ou élevées ($\approx 55 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) en moyenne journalière de PM₁₀.

Ce constat est confirmé par les comparaisons individuelles ci-après.

3.1.2.2.1 Comparaison entre le MP101M-1 et le MP101M-2

Le Tableau 4 résume les résultats obtenus par la comparaison des données enregistrées à l'aide des MP101M-1 et MP101M-2.

Tableau 4 : Récapitulatif des mesures en parallèle avec les MP101M-1 et MP101M-2.

Appareil	MP101M-1	MP101M-2
Type de source	Triazole	Bicarbonate de sodium
Nombre de données traitées	39	
Minimum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	5,1	5,9
Maximum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	53,8	55,6
Moyenne ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	23,3	23,9
IC ₉₅ sur la moyenne ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	4,2	3,8
Nbre de dépassements de la VL (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	3	2
Droite de corrélation obtenue	MP101M-2 = 0,992 MP101M-1 + 0,791	
Coefficient de corrélation	0,990	
Rapport des moyennes $\frac{MP101M - 1}{MP101M - 2}$	0,975	
Ecart journalier moyen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	-0,6	

La corrélation entre les séries de mesures est décrite dans la Figure 17 suivante :

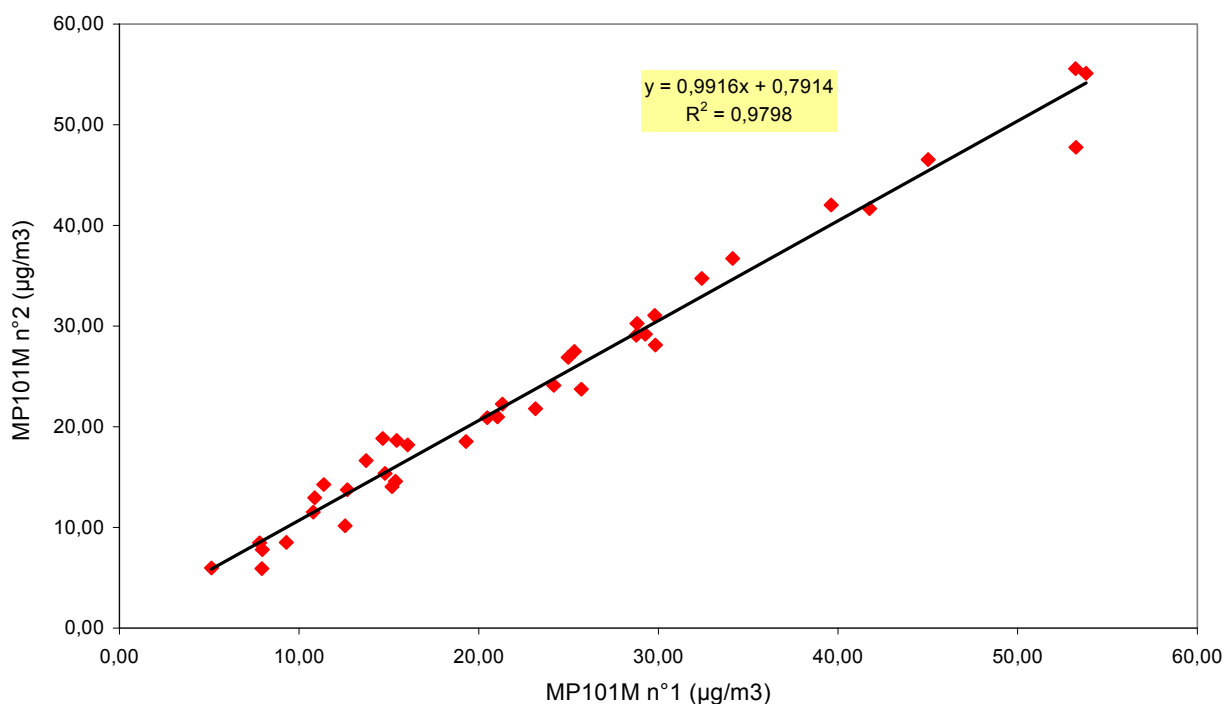


Figure 17 : Corrélation entre les valeurs journalières MP101M-1 et MP101M-2.

Les deux jauges Bêta donnent des résultats comparables (pente de régression linéaire de 0,992, coefficient de corrélation supérieur à 0,95).

3.1.2.2.2 Comparaison entre le MP101M-1 et le MP101M-3

Le Tableau 5 résume les résultats obtenus par la comparaison des données enregistrées à l'aide des MP101M-1 et MP101M-3.

Tableau 5 : Récapitulatif des mesures en parallèle avec les MP101M-1 et MP101M-3.

Appareil	MP101M-1	MP101M-3
Type de source	Triazole	Sucrose
Nombre de données traitées	37	
Minimum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	5,1	7,4
Maximum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	53,8	56,6
Moyenne ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	23,3	24,0
IC ₉₅ sur la moyenne ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	4,2	3,8
Nbre de dépassements de la VL (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	3	3
Droite de corrélation obtenue	MP101M-3 = 0,983 MP101M-1 + 1,026	
Coefficient de corrélation	0,993	
Rapport des moyennes $\frac{MP101M - 1}{MP101M - 3}$	0,971	
Ecart journalier moyen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	-0,5	

La corrélation entre les séries de mesures est décrite dans la Figure 18 suivante :

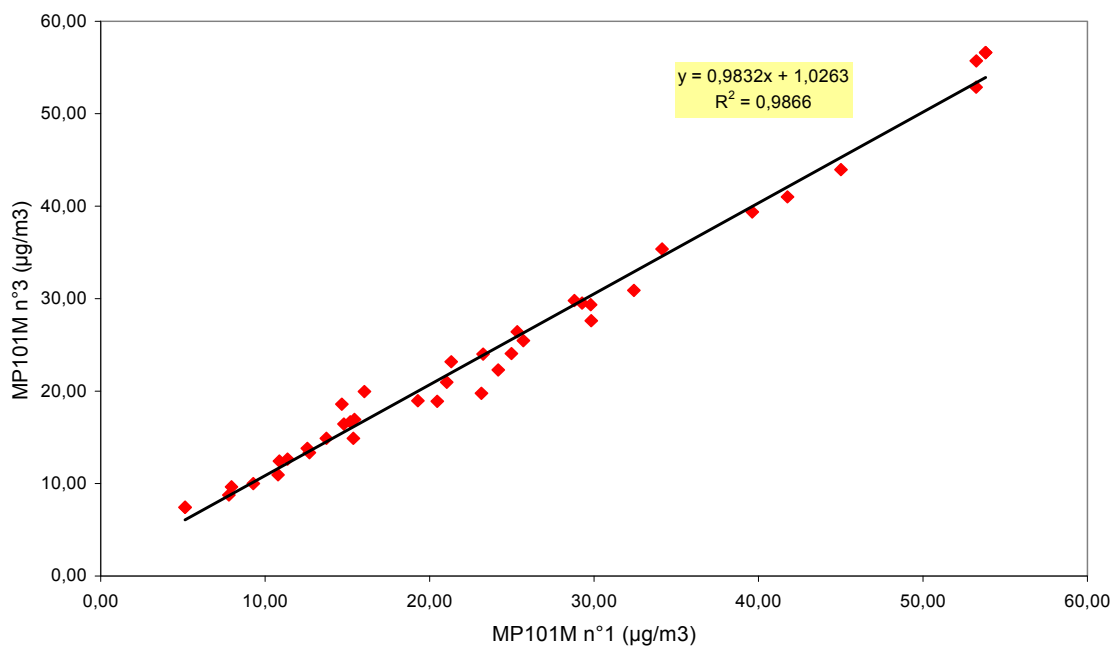


Figure 18 : Corrélation entre les valeurs journalières MP101M-1 et MP101M-3.

Les deux jauges Bêta donnent des résultats comparables (pente de régression linéaire de 0,983, coefficient de corrélation supérieur à 0,95).

3.1.2.2.3 Comparaison entre le MP101M-2 et le MP101M-3

Le Tableau 6 résume les résultats obtenus par la comparaison des données enregistrées à l'aide des MP101M-2 et MP101M-3.

Tableau 6 : Récapitulatif des mesures en parallèle avec les MP101M-2 et MP101M-3.

Appareil	MP101M-2	MP101M-3
Type de source	Bicarbonate de sodium	Sucrose
Nombre de données traitées	45	
Minimum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	6,0	7,4
Maximum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	55,6	56,6
Moyenne ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24,0	24,0
IC ₉₅ sur la moyenne ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	3,6	3,8
Nbre de dépassements de la VL (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2	3
Droite de corrélation obtenue	MP101M-3 = 0,973 MP101M-2 +0,501	
Coefficient de corrélation	0,986	
Rapport des moyennes $\frac{MP101M - 2}{MP101M - 3}$	1,000	
Ecart journalier moyen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,0	

La corrélation entre les séries de mesures est décrite dans la Figure 19 suivante :

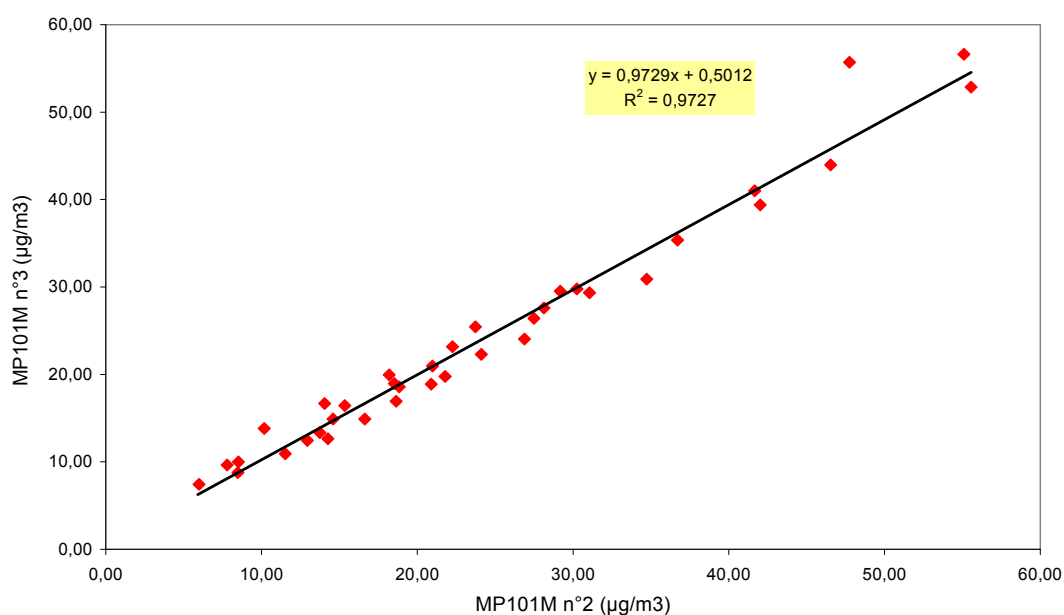


Figure 19 : Corrélation entre les valeurs journalières MP101M-2 et MP101M-3.

Les deux jauges Bêta donnent des résultats relativement comparables (pente de régression linéaire de 0,973, coefficient de corrélation supérieur à 0,95).

3.1.2.2.3 Contrôle de la linéarité de l'analyseur

Une étude de l'impact de la source sur la linéarité a été effectuée sur un même appareil MP101M équipé soit de la nouvelle source ^{14}C au sucrose, soit d'une ancienne source ^{14}C au triazole.

Pour les tests de linéarité, un jeu de quatre cales étalon a été utilisé. Il comprenait :

- Cale A = densité de $336 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ (assimilable à une concentration cyclique journalière de l'ordre de $30 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$);
- Cale B = densité de $862 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ (assimilable à une concentration cyclique journalière de l'ordre de $70 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$);
- Cale C = densité de $3170 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ (assimilable à une concentration cyclique journalière de l'ordre de $260 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$);
- Cale d'étalonnage = densité de $818 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ((assimilable à une concentration cyclique journalière de l'ordre de $70 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$))

Le protocole d'essai qui a été suivi, était le suivant :

Etape 1 : Etalonnage de l'analyseur équipé de la source « sucrose » avec la cale d'étalonnage ($818 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) ;

Etape 2 : Test jauge suivi d'un test masse sans cale (pour le contrôle du zéro) puis avec les cales A puis B puis C (répétés deux fois sauf pour le test masse sans cale) ;

Etape 3 : Installation de la source au triazole sur l'appareil, sans effectuer de nouvel étalonnage de jauge ;

Etape 4 : Test jauge, puis test masse sans cale puis avec les cales A puis B puis C ;

Etape 5 : Etalonnage de l'analyseur avec la cale d'étalonnage ($818 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) et la source au triazole toujours installée sur l'analyseur ;

Etape 6 : Test jauge, puis test masse sans cale puis avec les cales A puis B puis C.

Rappels :

Un test jauge permet de contrôler la mesure du zéro et le bruit du détecteur. Un test masse permet de contrôler l'étalonnage correct de la jauge Bêta. Ces deux tests consistent à répéter 11 (voire plus) mesures successives sur une même tache du ruban filtre, chaque mesure étant la moyenne sur 200 secondes des signaux bruts délivrés instantanément (en coups/s) par le compteur Geiger. A la fin de chacun de ces tests, un rapport permet de relever les valeurs suivantes :

- « Moyenne Blancs » : mesure du blanc (moyenne sur 200 secondes des signaux bruts obtenus sur filtre vierge) ;
- « Moyenne Mesures » : moyenne des 10 mesures de blancs (pour test jauge) ou 10 mesures avec cale étalon (pour test masse) effectuées automatiquement après la première mesure de blanc. A nouveau, chaque mesure est une moyenne sur 200 secondes des signaux bruts ;
- « Mesure » : masse surfacique en $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ déduite des valeurs « Moyenne Blancs » et « Moyenne Mesures » ;
- « Ecart type » : écart type sur cette « Mesure ».

Habituellement, le MP101M n'est ajusté qu'en un point (autour de $800 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ correspondant à une concentration massique de $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur 24h).

Remarque : Lors d'un étalonnage de jauge Bêta, dix blancs puis dix mesures (dites « calibrations ») sont usuellement effectuées.

Les résultats de ces tests de linéarité sont présentés dans le Tableau 7 suivant :

Tableau 7 : Récapitulatif des mesures réalisées par un même MP101M équipé successivement par des sources ^{14}C de deux générations différentes.

		Etapes 1 & 2	Etape 2 : valeurs moyennes (*)	Etape 4	Etapes 5 et 6
Calibration (cale 818 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	K	1,0408		1,0408	1,0778
	Moyenne Blancs (cps/s)	3478,3		3478,3	4338,5
	Moyenne Etalonnage (cps/s)	2834,6		2834,6	3560,3
Test jauge	Moyenne Blancs (cps/s)	3458,6		4381,3	4391,6
	Moyenne Mesures (cps/s)	3460,0		4385,0	4398,3
	Mesure ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	-0,57		-2,69	-5,84
	Ecart type ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	3,04		3,18	4,95
Test masse 1 - cale A	Mesure ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	343,56	334,83	332,26	324,66
	Ecart type ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	4,30	4,09	3,75	3,60
Test masse 2 - cale A	Mesure ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	326,10			
	Ecart type ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	3,88			
Test masse 1 - cale B	Mesure ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	851,94	848,04	838,76	838,34
	Ecart type ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	2,81	3,67	6,02	6,82
Test masse 2 - cale B	Mesure ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	844,14			
	Ecart type ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	4,54			
Test masse 1 - cale C	Mesure ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	3455,30	3463,85	3434,10	3503,60
	Ecart type ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	6,67	6,28	8,69	5,58
Test masse 2 - cale C	Mesure ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	3472,40			
	Ecart type ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	5,89			
Test masse sans cale	Mesure ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	-1,03		-0,20	2,19
	Ecart type ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	3,21		2,20	3,39

(*) Les résultats des tests masse, réalisés deux fois lors des mesures avec la nouvelle source au sucre, sont moyennés dans cette colonne et peuvent par conséquent être comparés directement aux valeurs affichées dans les deux colonnes suivantes.

Comme la surface d'une tache de particules déposées sur le ruban filtre est égale à $2,4 \text{ cm}^2$ et que le débit d'aspiration est fixé à $1 \text{ m}^3/\text{h}$ soit un volume d'air prélevé égal à 24 m^3 en une journée, il est possible de calculer les concentrations massiques correspondantes du Tableau 7.

Celles-ci sont données dans le Tableau 8 ci-après.

Tableau 8 : Concentrations massiques (équivalentes à un prélèvement de 24 h) obtenues à partir des données du Tableau 7

	Valeur théorique	Valeur pour la nouvelle source « sucre »	Valeur pour l'ancienne source au triazole (sans étalonnage)	Valeur pour l'ancienne source au triazole (avec étalonnage)
Sans cale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,0	-0,1	-0,0	0,2
Cale A ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	33,6	33,5	33,2	32,5
Cale B ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	86,2	84,8	83,9	83,9
Cale C ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	317,0	346,4	343,4	350,4

Ces résultats montrent un bon accord entre les valeurs mesurées avec la nouvelle source au sucre et celles mesurées avec l'ancienne source au triazole que ce soit sans ou avec un nouvel étalonnage (écart moyen de 1%, écart maximum de 3,1%).

En traçant les droites de corrélation entre les valeurs mesurées et les valeurs théoriques (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$), on obtient les résultats présentés sur les 4 graphiques de la Figure 20 et le Tableau 9 :

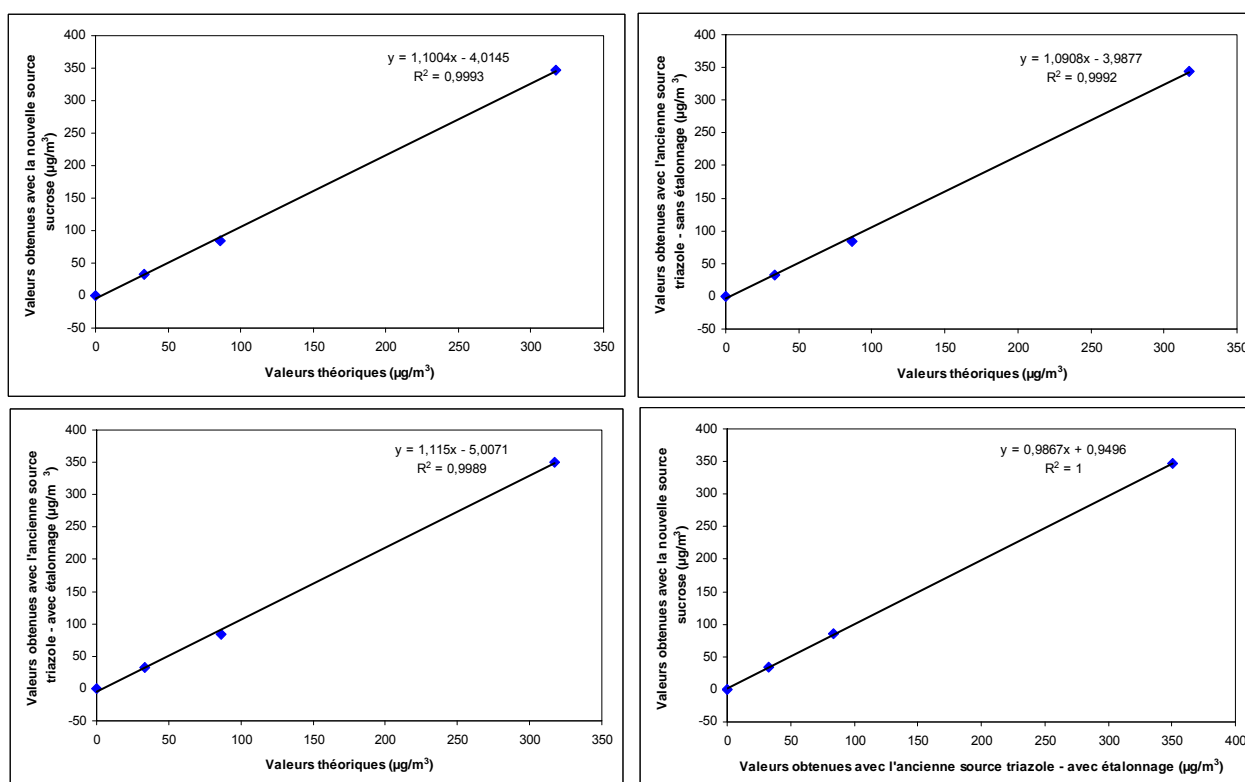


Figure 20 : Corrélation entre les valeurs théoriques et les valeurs mesurées à l'aide d'un MP101M équipé de deux sources différentes.

Tableau 9 : Equations des droites de corrélations correspondantes de la Figure 20.

	X = Valeurs théoriques (de 0 à 317 µg/m ³)	X = ancienne source triazole - nouvel étalonnage
Y = nouvelle source sucrose	Y = 1,100 X - 4,019 R ² = 0,9993	Y = 0,987 X + 0,966 R ² = 1
Y = ancienne source triazole - sans étalonnage	Y = 1,091 X - 3,995 R ² = 0,9992	
Y = ancienne source triazole - avec étalonnage	Y = 1,115 X - 5,026 R ² = 0,9989	

Ces résultats confirment le très faible impact de changement de source sur les résultats de mesure de la MP101M. A titre d'exemple, une concentration de 50 µg/m³ mesurée sur une jauge MP101M équipée de l'ancienne source équivaldrait à une concentration de 50,3 µg/m³ sur une jauge équipée de la nouvelle source

3.2 Essais réalisés par le LCSQA-EMD sur le site de mesure de Douai - Dorignies

Une comparaison a été effectuée sur le site du LCSQA-EMD de Dorignies entre la jauge MP101M PM₁₀ équipée d'une source à 3,66 MBq et une jauge MP101M PM₁₀ équipée d'une source à 1,84 MBq, entre le 6 octobre 2010 et 23 mars 2011. Les valeurs journalières prises en compte correspondent à une durée de fonctionnement validée de 123 jours. La moyenne journalière de jauge a été calculée à partir des valeurs périodiques sur 2 h. Le Tableau 10 résume les résultats obtenus :

Tableau 10 : Récapitulatif des mesures en parallèle en PM₁₀ des 2 MP101M-RST.

Appareil	MP101M-RST_1 (source 3,66 MBq)	MP101M-RST_2 (source 1,84 MBq)
Nombre de paires de données traitées	123	
Minimum (µg.m ⁻³)	4,3	3,6
Maximum (µg.m ⁻³)	83,6	79,8
Moyenne (µg.m ⁻³)	27,5	26,0
IC ₉₅ sur la moyenne (µg.m ⁻³)	3,1	3,0
Nbre de valeurs ≥ 35 µg.m ⁻³	29	26
Droite de corrélation obtenue	MP101M-RST_2 = 0,9763 MP101M-RST_1 - 0,7912	
Coefficient de corrélation	0,9965	

Le suivi chronologique est donné dans la Figure 21.

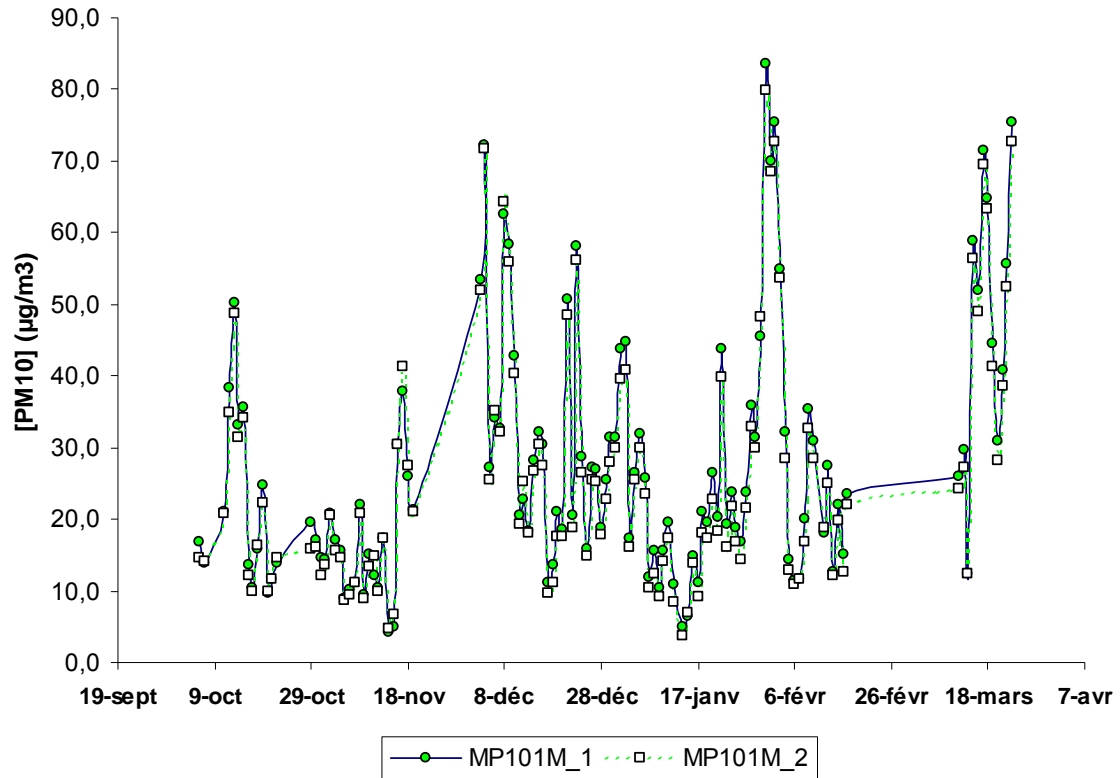


Figure 21 : Profils chronologiques des valeurs journalières radiométriques (MP101M-RST) en PM₁₀.

La corrélation entre les séries de mesure est décrite par la Figure 22.

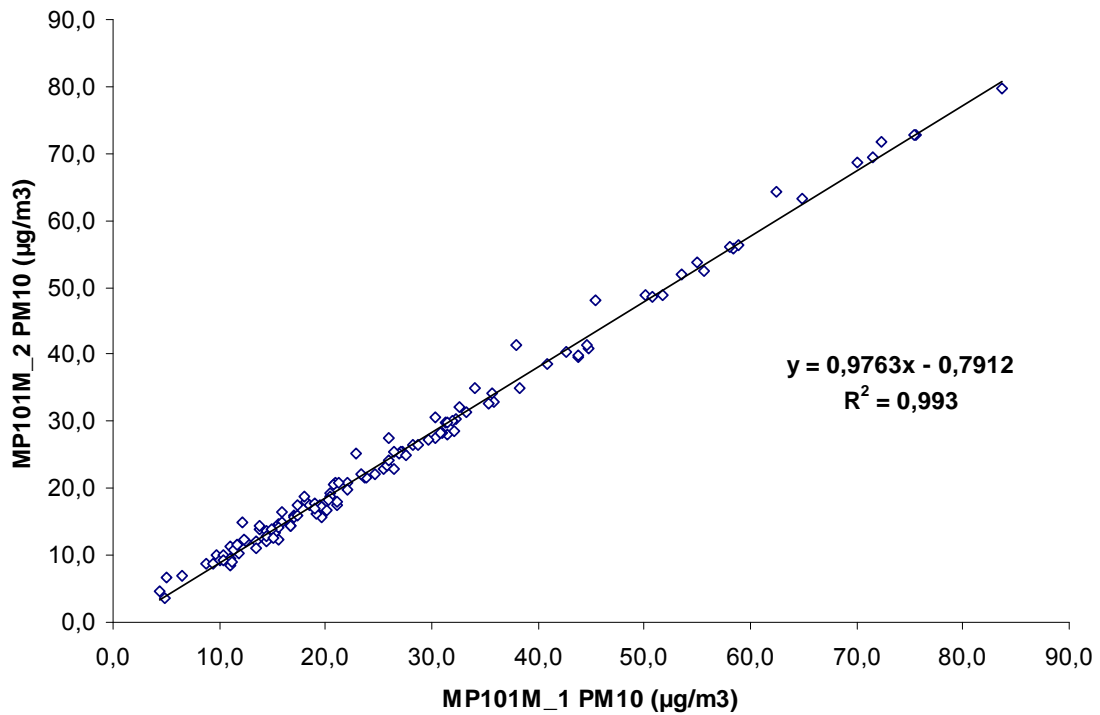


Figure 22 : Corrélation entre les valeurs journalières PM₁₀ MP101M-RST

En comparaison avec la jauge radiométrique MP101M équipée de la source à 3,66 MBq, celle équipée de la source à 1,84 MBq montre une correspondance satisfaisante. La corrélation s'avère satisfaisante avec un coefficient de corrélation supérieur à 0,99. La gamme de variation de concentration en PM₁₀ était assez étendue. En considérant les 2 appareils comme identiques, la répétabilité intra-méthode (dispersion) serait de l'ordre de 1,5 µg/m³ (calculée selon les préconisations du Guide de Démonstration d'Equivalence). Il est rappelé que le critère de satisfaction donné dans le Guide est une répétabilité intra-méthode ≤ 2,5 µg/m³. Il est possible d'annoncer que pour la mesure des PM₁₀, sur la période de mesure considérée, l'utilisation d'une source à 1,84 MBq ne modifie pas de manière flagrante les caractéristiques de mesure de l'appareil par absorption de rayonnements bêta. Une légère minoration est à noter mais restant dans le domaine d'incertitude de mesure : ainsi, une concentration de 50 µg/m³ mesurée sur une jauge MP101M équipée de l'ancienne source équivaldrait à une concentration de 48 µg/m³ sur une jauge équipée de la nouvelle source. Il sera intéressant d'avoir un retour d'expérience des AASQA, compte tenu de la répartition géographique très diversifiée des sites équipés en jauges MP101M (cf. § 5).

4 ASSISTANCE AU DEPLOIEMENT ET AU FONCTIONNEMENT DES MP101M - GUIDE POUR L'UTILISATION DE LA JAUGE BÊTA MP101M

Un nombre important et croissant de jauge bêta MP101M sont installées (cf. § 5) et fonctionnent sur l'ensemble du territoire français depuis maintenant plus de 15 ans et trois générations d'appareils coexistent actuellement au sein des AASQA (voir Figure 23). La majorité du parc est couverte par les versions « LCD » et « New ».



Figure 23 : Les différentes générations de jauges MP101M utilisées en AASQA

Afin d'assurer la conformité des mesures issues de la MP101M vis à vis des Objectifs de Qualité de Données fixés par la Directive européenne 2008/50/CE (notamment une incertitude de ± 25% dans la région de la Valeur Limite pour un taux de données valides ≥ 90%), il est nécessaire de mettre en place un suivi du fonctionnement des appareils à partir de la réception puis de façon périodique tout au long de la « vie » de l'appareil. Les actions jugées nécessaires sont répertoriées dans les paragraphes 4.1 et 4.2.

4.1 Suivi QA/QC - Opérations à mettre en œuvre pour le suivi du bon fonctionnement de la jauge bêta MP101M

L'un des objectifs principaux de ce suivi est de maîtriser le fonctionnement interne de la jauge Bêta MP101M, afin de faciliter son utilisation par les opérateurs, de détecter les dysfonctionnements et d'aider à la validation des données. En d'autres termes il s'agit d'assurer la qualité des données produites en construisant une approche QA/QC basée sur l'approche décrite dans les normes EN utilisées pour la mesure des gaz inorganiques « classiques » (SO₂, O₃, NO_x, CO). A un paramètre jugé « pertinent » est associée sa périodicité de contrôle, l'outillage nécessaire et une fiche / procédure spécifique.

Tableau 11 : Liste des opérations QA/QC pouvant être mises en œuvre

Paramètre	Fréquence de vérification	Version d'appareil concernée	Outillage nécessaire	Référence / Procédure
Contrôle jauge	Semestrielle	Toutes	Cale étalon de densité surfacique connue	Fiches 1 et 2
Vérification des sondes de température et humidité relative	Semestrielle	Toutes	Sondes de température atmosphérique et d'humidité relative de référence	Fiches 3 et 4
Contrôle du groupe de pompage	Annuelle	Toutes	Kit de maintenance pompe correspondant au modèle de pompe utilisé	Fiche 5 (pompe Picolino) / Fiche 6 (pompe KNF)
Nettoyage de la tête de prélèvement	Mensuelle	Toutes	Air comprimé Brosse souple Ecouvillon Graisse silicone	Fiche 7
Remplacement du ruban filtre	Lorsqu'une alarme « fin papier » ou « papier déchiré » s'affiche	Toutes	Ruban filtre Ruban adhésif	Fiche 8
Vérification de la tension exercée sur le filtre	Annuelle ou lors du remplacement du ruban filtre	Toutes	-	Fiche 9
Contrôle du débit	Trimestrielle ou lors du changement de ruban filtre	Toutes	Débitmètre de référence raccordé et muni de son embout	Fiche 10

Paramètre	Fréquence de vérification	Version d'appareil concernée	Outillage nécessaire	Référence / Procédure
Test d'étanchéité	Trimestrielle ou lors du changement de ruban filtre	Toutes	Débitmètre de référence raccordé et muni de son embout Bouchon adaptable à l'entrée d'aspiration (appareil ou ligne de prélèvement)	Fiche 11
Etalonnage / ajustage de la jauge Bêta	- Semestrielle ou lors de la première installation, - après remplacement du ruban filtre, - après remplacement du détecteur ou de la source, - si un test masse (cf. Fiche 2) ne donne pas de résultat correct	Toutes	Cale étalon de densité surfacique connue	Fiche 12
Etalonnage / ajustage du débit d'aspiration	Semestrielle ou lors de la première installation, - après remplacement du ruban filtre - si le test de débit (cf. Fiche 9) ne donne pas de résultat correct	Toutes	Débitmètre de référence raccordé et muni de son embout	Fiche 13
Test de contamination	Semestrielle	MP101M « LCD » et MP101M « LCD-New »		Fiche 14
Vérification de l'horloge	Quotidien / Hebdomadaire	Toutes	-	Fiche 15
Vérification des messages d'erreur	Quotidien / Hebdomadaire	Toutes	-	Fiche 16
Vérification de la stabilité du détecteur	Trimestrielle	Toutes		Fiche 17
Vérification des signaux MUX (paramètres électriques)	Trimestrielle	Toutes		Fiche 18
Vérification de la linéarité	Annuelle à bisannuelle	Toutes	Jeu de 3 cales étalon de différentes densités surfaciques (disponible sur demande au LCSQA-EMD)	Fiche 19

Les fiches sont détaillées ci après :

Fiche 1 : Test jauge

Ce test permet de vérifier la stabilité des mesures effectuées par la jauge bêta, en contrôlant le niveau du zéro du système dans son intégralité.

Il est réalisé sur une série de **5** mesures de blancs effectuées sur la même portion du ruban filtre.

Les critères à vérifier sont :

- Moyenne des 5 blancs (en coups/s) \Rightarrow **l'écart par rapport à la précédente moyenne des blancs ne doit pas dépasser ± 200 coups/s**
- Mesure de masse moyenne ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) \Rightarrow **la valeur absolue ne doit pas dépasser $5 \mu\text{g}/\text{cm}^2$**
- Ecart – type sur la moyenne \Rightarrow **la valeur ne doit pas dépasser $5 \mu\text{g}/\text{cm}^2$**

Si l'un ou plusieurs des critères précédents n'est ou ne sont pas respecté(s).

Solution 1 : Recommencer le test. Jusqu'à 3 essais, on peut considérer que le test jauge est satisfaisant.

Solution 2 : Remplacer le détecteur (un bruit élevé au niveau du détecteur induit une instabilité des mesures).

Si uniquement la valeur moyenne des 5 blancs a chuté depuis le test jauge précédent

Solution 3 : Effectuer un test de contamination pour vérifier si la source est endommagée (voir Fiche 14).

Fiche 2 : Test masse

Ce test permet de vérifier la stabilité de la mesure de masse effectuée sur une cale étalon dont la densité surfacique est connue. Il est réalisé sur une série de **5** mesures de masse précédées chacune d'une mesure de blanc réalisée sur filtre ruban vierge.

Les critères à vérifier sont :

- Mesure de masse moyenne \Rightarrow **l'écart par rapport à la valeur indiquée pour la cale étalon ne doit pas dépasser $\pm 30 \mu\text{g}/\text{cm}^2$**
- Ecart-type sur la moyenne \Rightarrow **la valeur ne doit pas dépasser $15 \mu\text{g}/\text{cm}^2$**

Si l'un ou plusieurs des critères précédents n'est ou ne sont pas satisfaisant(s) :

Solution : Recommencer le test. Sinon, il faut procéder à un nouvel étalonnage de la jauge Bêta (voir Fiche 12).

Fiche 3 : Vérification des sondes de température et humidité relative

Ce test permet de vérifier la concordance des valeurs de température atmosphérique et humidité relative par rapport aux valeurs données par des sondes de référence.

Les valeurs de ces paramètres se trouvent dans le menu « Menu général ⇒ Carte(s) I2C ⇒ Carte RST »

Les critères à vérifier sont :

- Humidité relative ⇒ **l'écart par rapport à la valeur indiquée par la sonde de référence ne doit pas être supérieur à la tolérance maximale fixée par l'utilisateur (à défaut supérieur à la précision de la sonde de référence)**
- Température atmosphérique ⇒ **l'écart par rapport à la valeur indiquée par la sonde de référence ne doit pas être supérieur à la tolérance maximale fixée par l'utilisateur (à défaut supérieur à la précision de la sonde de référence)**
- Température de tête ⇒ **si l'humidité relative est inférieure à 60%, cette valeur doit être égale à la valeur de la température atmosphérique sinon elle doit être égale à la valeur de la température atmosphérique +5°C**

Si l'un ou plusieurs des critères précédents n'est ou ne sont pas satisfaisant(s).

Solution: Il faut procéder à un ajustement des coefficients de linéarisation A et B du ou des capteurs identifié(s) (voir Fiche 4).

Fiche 4 : Remplacement des sondes de température et humidité relative

Suite au contrôle fait en Fiche 3 : L'un ou plusieurs des capteurs de température ou humidité relative ou sonde sont défectueux ou endommagés.

Solution : Il faut procéder à un remplacement du (ou des) capteur(s). Il convient ensuite de se reporter au rapport d'étalonnage fourni avec les capteurs ou sonde afin de remplacer les coefficients A et B des capteurs respectifs dans le menu « Menu général ⇒ Carte(s) I2C ⇒ Carte RST ».

- $A = 1 / \text{pente}$ avec la pente donnée en mV/%HR dans le cas d'un capteur d'humidité relative et en mV/°C dans le cas d'un capteur de température ;
- $B = - \text{ordonnée à l'origine} \times 1000 / \text{pente}$ avec l'ordonnée à l'origine donnée en V quelque soit le capteur et la pente comme définie ci-dessus.

Fiche 5 : Contrôle du groupe de pompage Picolino

Cette action est une action préventive destinée à garantir un fonctionnement optimal de la pompe à palettes Picolino nécessaire au bon fonctionnement des MP101M (régulation de débit).

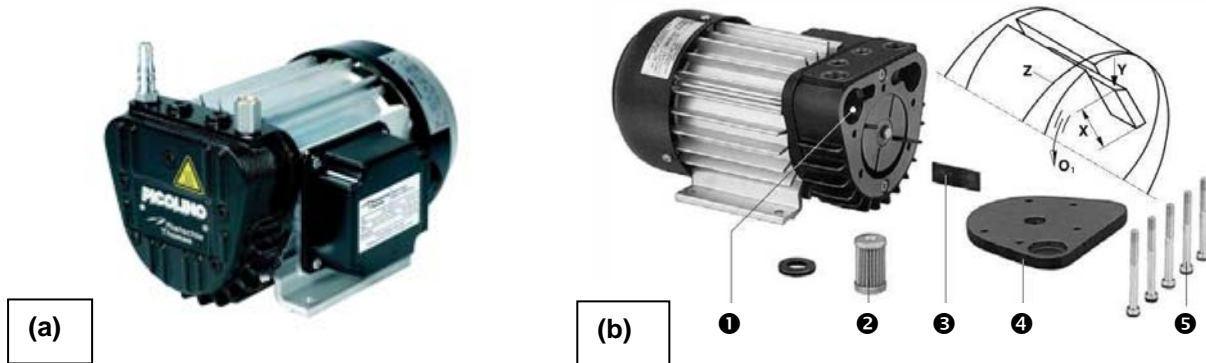


Figure 24 : (a) Photographie d'une pompe Picolino.

(b) Photographie d'une pompe Picolino avec vue éclatée des éléments composant le corps de pompe.

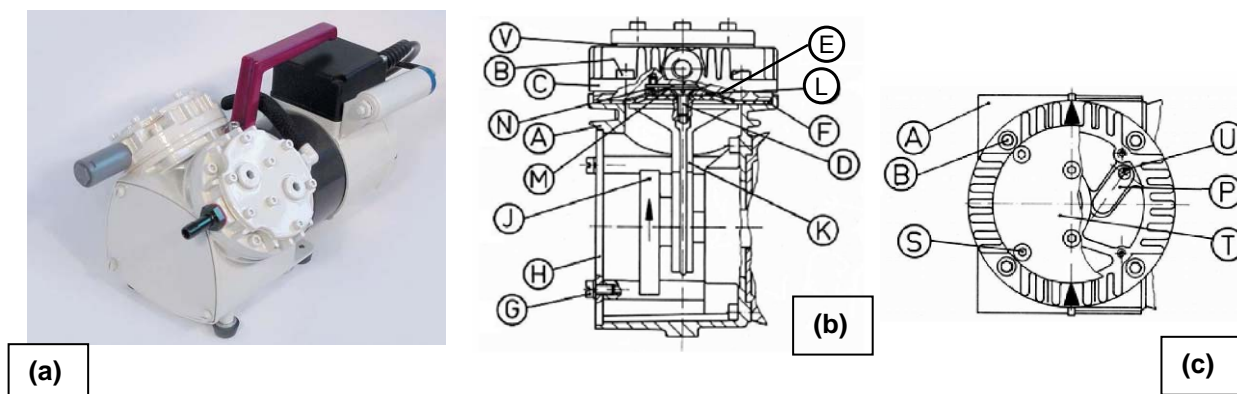
Procédure de vérification :

1. Arrêter le cycle de mesure en cours sur l'appareil en appuyant sur la touche F5 « Menu général ⇒ Mesure ⇒ Synoptique »
2. Déconnecter la pompe de l'analyseur : déconnexion électrique et fluidique à l'arrière de l'appareil
3. Désassembler le couvercle de corps (4) en desserrant les 5 vis (5)
4. Sortir la cartouche filtrante (2) logée dans l'orifice (1)
5. Inspecter la cartouche filtrante (2) :
 - a. Si la cartouche est légèrement poussiéreuse, retirer la poussière en faisant passer de l'air comprimé de l'intérieur de la cartouche vers l'extérieur
 - b. Si la cartouche est fortement poussiéreuse ou huileuse, il faut la remplacer
6. Sortir les palettes (3)
7. Contrôler l'état d'usure des palettes (3) en mesurant la hauteur (X) de chacune des palettes
 - a. Si l'une ou plusieurs des palettes a une hauteur (X) inférieure à 10 mm, il faut remplacer les 4 palettes par des palettes neuves
 - b. Si toutes les palettes ont une hauteur (X) supérieure à 10 mm, les nettoyer avec un chiffon doux non pelucheux
8. Nettoyer le corps de pompe et les fentes du rotor à l'air comprimé
9. Remonter la cartouche filtrante en changeant les joints qui l'entourent si nécessaire (joints cassant ou huileux)
10. Remonter les palettes en vérifiant bien que le chanfrein (Y) soit positionné comme sur la Figure 24-(b)
11. Remonter le couvercle de corps
12. Reconnecter la pompe à l'analyseur (électrique et fluidique)

13. Vérifier le débit d'aspiration (cf. Fiche 10)

Fiche 6 : Contrôle du groupe de pompage KNF

Cette action est une action préventive destinée à garantir un fonctionnement optimal de la pompe à membrane bi-corps KNF nécessaire au bon fonctionnement des MP101M (régulation de débit).



**Figure 25 : (a) Photographie d'une pompe KNF bi-corps à membrane.
 (b) Vue schématique en coupe longitudinale.
 (c) Vue de dessus de la partie comprenant la culasse (C).**

Procédure de vérification d'une tête de pompe.

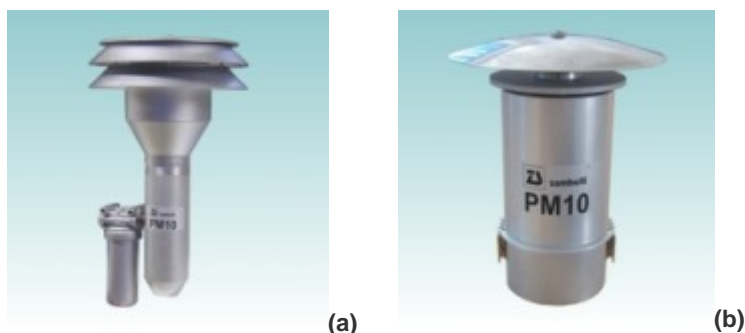
ATTENTION : entre les sections 4 et 20, les actions devront être répétées pour la seconde tête de pompe :

1. Arrêter le cycle de mesure en cours sur l'appareil en appuyant sur la touche F5 « Menu général ⇒ Mesure ⇒ Synoptique »
2. Déconnecter la pompe de l'analyseur : déconnexion électrique et fluidique à l'arrière de l'appareil
3. Déconnecter le raccordement pneumatique entre les 2 têtes de pompe
4. Marquer par un trait de feutre les éléments T (couvercle), C (culasse) et A (corps de pompe) afin de pouvoir les replacer dans le même axe longitudinal lors du remontage
5. Désassembler les parties T et C en retirant les 4 vis de fixation B à l'aide d'une clé Allen (ou clé 6 pans ou clé BTR)
6. Désassembler les parties E (disque de serrage), L (rondelle éventail) et F (membrane) en retirant la vis D
7. Accéder à la partie mécanique du corps de pompe en retirant les 4 vis G et le couvercle H
8. Tourner le contrepoids de façon à amener la bielle (K) en milieu de course
9. Mettre la nouvelle membrane (F)
10. Procéder, si nécessaire, au nettoyage des différentes pièces précitées à l'aide d'un chiffon doux non-pelucheux
11. Remettre en place, au dessus de la membrane les parties L (rondelle éventail) et E (disque de serrage), dans cet ordre et serrer fortement l'ensemble à l'aide de la vis (D)
12. Remettre en place l'ensemble couvercle (T) et culasse (C) en respectant bien le trait de position

13. Fixer l'ensemble à l'aide des 4 vis de fixation (B) qui seront vissées en croix et alternativement de façon à répartir les forces sur l'ensemble de l'assemblage
14. Contrôler le fonctionnement en tournant le contrepoids à la main. Si la manœuvre présente un « point dur », il faut revérifier le serrage des différentes parties
15. Retirer le couvercle T de la culasse en dévissant les 6 vis de fixation S
16. Ôter la vis N, retirer et remplacer le clapet inférieur usagé (M)
17. Vérifier l'état de la culasse, du couvercle et des logements de clapets
 - a. Si vous constatez, la présence sur l'une ou plusieurs de ces pièces d'aspérités, de rayures ou de traces de corrosion, il faut remplacer les pièces défectueuses
 - b. Sinon, procédez à un nettoyage doux des pièces
18. Ôter la vis U, retirer et remplacer le clapet supérieur usagé (P)
19. Remplacer le joint V
20. Reposer le couvercle T à l'aide des 6 vis de fixation (S) qui seront vissées en croix et alternativement de façon à répartir les forces sur l'ensemble de l'assemblage
21. Reconnecter les 2 têtes de pompe entre elles
22. Reconnecter la pompe à l'analyseur (électrique et fluïdique)
23. Vérifier le débit d'aspiration (cf. Fiche 10)

Fiche 7 : Nettoyage de la tête de prélèvement

En fonction de l'équipement utilisé comme tête de prélèvement, à savoir la tête américaine US-EPA (a) ou européenne (b), la procédure à adopter pour le nettoyage est différente.



**Figure 26 : (a) Photographie d'une tête de prélèvement PM_{10} américaine US-EPA.
(b) Photographie d'une tête de prélèvement PM_{10} européenne.**

Procédure associée au nettoyage de la tête US-EPA (a) :

1. Séparer la tête de prélèvement du tube en tirant la tête doucement vers le haut
2. Vider le bocal de décantation (si besoin est)
3. Nettoyer la grille d'entrée à l'aide d'une brosse souple en nylon
4. Séparer la partie haute et la partie basse de la tête de prélèvement par un mouvement vertical de traction
5. Nettoyer l'intérieur du conduit d'aspiration à l'aide d'un écouvillon
6. Dépoussiérer à l'air comprimé les 3 orifices de la partie basse de la tête
7. Remonter la tête de prélèvement et replacer là sur le conduit

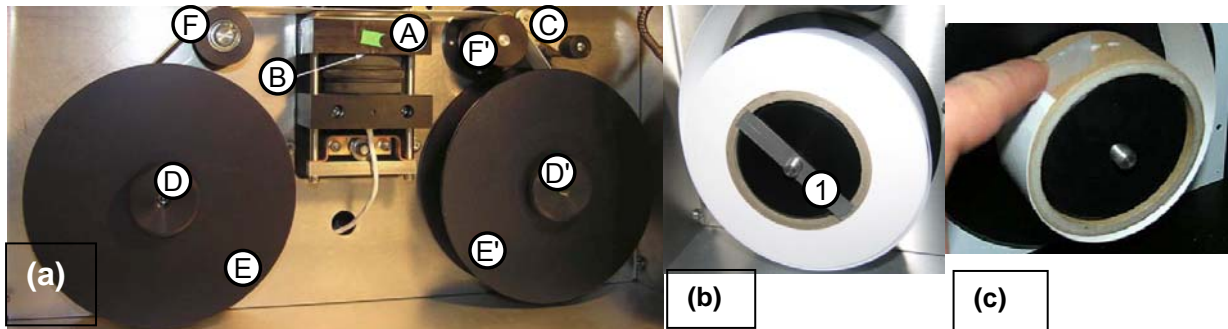
Procédure associée au nettoyage de la tête européenne (b) :

1. Desserrer la bague de fixation que se situe sous la partie basse de la tête de prélèvement
2. Séparer la tête de prélèvement du conduit d'aspiration en la tirant doucement vers le haut
3. Nettoyer la grille d'entrée à l'aide d'une brosse souple en nylon
4. Déclipser les fixations qui se situent entre la partie haute et la partie basse de la tête pour désolidariser ses deux parties
5. Nettoyer la plaque d'impaction qui est fixée à la partie basse de la tête. Si besoin, utiliser de l'alcool pour nettoyer la graisse résiduelle.
6. Remettre une couche de graisse silicone pour les applications vide sur la plaque d'impaction
7. Dépoussiérer à l'air comprimé les 8 orifices de la partie haute de la tête
8. Remonter la tête de prélèvement et replacer là sur le conduit

Fiche 8 : Remplacement du ruban filtre

Symptôme : Une alarme « Fin papier » ou « Papier déchirée » est affichée.

Remède : Il est nécessaire de vérifier la position du ruban de papier filtre et le niveau de remplissage de la bobine. Si la bobine est vide ou le ruban coupé, il est nécessaire de procéder au remplacement en suivant la procédure indiquée ci-dessous.



**Figure 27 : (a) Photographie intérieure de l'analyseur face avant ouverte.
 (b) Photographie de la bobine débitrice E.
 (c) Photographie de la bobine réceptrice E'.**

Procédure associée au remplacement de la bobine de ruban filtre :

1. Arrêter le cycle de mesure en cours sur l'appareil en appuyant sur la touche F5 « Menu général ⇒ Mesure ⇒ Synoptique »
2. Ouvrir la porte avant de l'analyseur
3. Faire descendre le plateau mobile de l'ensemble presseur (B) :
 - a. Aller dans le menu « Menu général ⇒ Tests ⇒ Entrées/Sorties carte mère »
 - b. Aller dans le champ « Plateau » à l'aide des touches [↑] (F4) et [↓] (F5) et valider à l'aide de la touche [>] (F6)
 - c. Appuyer sur la touche [s] (en dessous de descente / F2)
 - d. Le moteur du plateau (A) se met en marche et s'arrête après 5 secondes
4. Soulever le galet presseur C
5. Dévisser les molettes D et D' des bobines débitrice et réceptrice
6. Retirer les flasques en plastique noir E et E' des bobines débitrice et réceptrice
7. Retirer les griffes anti-glissement (1) des bobines débitrice et réceptrice
8. Retirer le rouleau usager de la bobine réceptrice
9. Récupérer le mandrin en carton vide de la bobine débitrice et le mettre sur la roue réceptrice
10. Placer la bobine de ruban filtre neuve sur la roue débitrice de manière à ce que le papier se déroule dans le sens des aiguilles d'une montre
11. Dérouler le ruban filtre et le faire passer successivement au dessus du premier cabestan (F), au dessus du plateau (A) et au dessus du second cabestan (F')

12. Enrouler l'extrémité du ruban filtre sur la bobine réceptrice vide et la fixer à l'aide d'un morceau de ruban adhésif
13. Replacer les 2 griffes anti-glissement
14. Replacer les flasques en plastique noir E et E' des bobines débitrice et réceptrice
15. Visser les molettes D et D' des bobines débitrice et réceptrice
16. Tendre légèrement le ruban en tournant les 2 bobines vers l'extérieur
17. Baisser le galet presseur C
18. Refermer la porte de la face avant
19. Réinitialiser le compteur d'autonomie de fin de papier
 - a. Aller dans le menu « Menu général ⇒ Configuration ⇒ Mode de mesure »
 - b. Aller à la ligne « Bobine/Remplacement » à l'aide de la touche [↑] (F4) et [↓] (F5)
 - c. Aller dans le champ « ON/OFF » et appuyer sur la touche [*] (F3) pour basculer de « OFF » à « ON »
20. Vérifier la tension du ruban filtre (voir Fiche 9)
21. Vérifier l'étanchéité du système de prélèvement (voir Fiche 11)
22. Etalonner la jauge Bêta (voir Fiche 12)
23. Etalonner le débit d'aspiration (voir Fiche 13)

Fiche 9 : Vérification de la tension exercée sur le filtre

Il s'agit ici d'une simple vérification qui doit être réalisée à la suite du remplacement du ruban filtre ou de façon annuelle pour garantir une avancée optimale du ruban et éviter le déchirement de celui-ci.

Procédure associée à la vérification de la tension exercée sur le ruban filtre :

1. Arrêter le cycle de mesure en cours sur l'appareil en appuyant sur la touche F5 « Menu général ⇒ Mesure ⇒ Synoptique »
2. Ouvrir la porte avant de l'analyseur

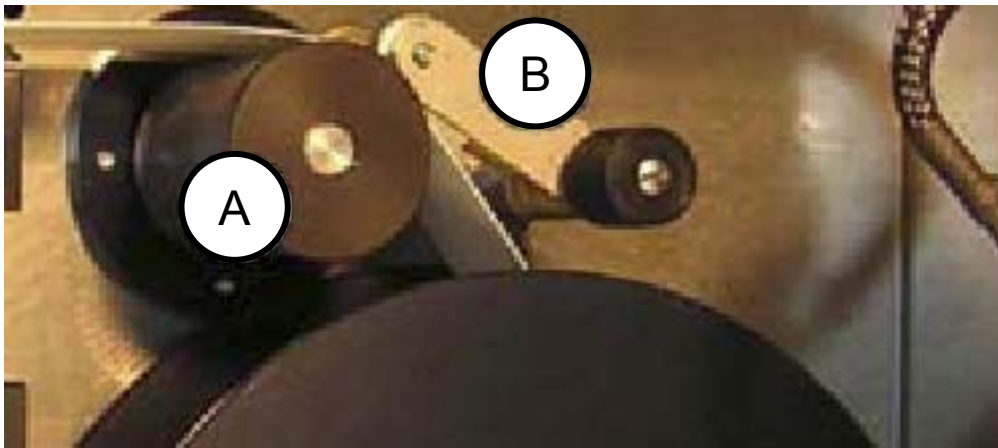


Figure 28 : Photographie du cabestan d'entraînement du ruban filtre et du galet presseur (côté bobine réceptrice de l'analyseur).

3. Faire descendre le plateau mobile de l'ensemble presseur :
 - a. Aller dans le menu « Menu général ⇒ Tests ⇒ Entrées/Sorties carte mère »
 - b. Aller dans le champ « Plateau » à l'aide des touches [↑] (F4) et [↓] (F5) et valider à l'aide de la touche [>] (F6)
 - c. Appuyer sur la touche [s] (en dessous de descente / F2)
 - d. Le moteur du plateau se met en marche et s'arrête après 5 secondes
4. Soulever le galet presseur (B)
5. Découper une bande de papier lisse (type feuille d'imprimante) ayant pour dimension 10 à 15 cm de long sur 2,5 cm de large
6. Glisser cette bande de papier entre le cabestan d'entraînement (A) et le ruban filtre
7. Vérifier que seule la rotation du cabestan (A) permet à la bande de papier lisse d'avancer
8. Faire avancer le papier en continu
 - a. Aller dans le menu « Menu général ⇒ Tests ⇒ Entrées/Sorties carte mère »
 - b. Aller à la ligne « Filtre » à l'aide de la touche [↑] (F4) et [↓] (F5) et valider à l'aide de la touche [Test] (F3)
 - c. Appuyer sur la touche [...] (F6)
 - d. Le moteur d'avancement se met en marche continue

9. Retenir la bande de papier lisse pour empêcher son entraînement par le cabestan (A)
10. Vérifier que le ruban filtre n'avance pas alors que le cabestan tourne toujours
 - a. Si c'est le cas, retirer la bande de papier lisse et repositionner le galet presseur (B)
 - b. Sinon, il se peut que la bobine débitrice soit trop serrée. Pour la desserrer, dévisser un peu le bouton moleté et le ressort de la bobine et refaire le test papier ci-dessus jusqu'à ce que la bande de papier lisse n'avance plus.

Fiche 10 : Contrôle du débit

Ce test permet de vérifier la conformité de la mesure de débit effectuée par l'analyseur par rapport à une mesure de débit réalisée à l'aide d'un débitmètre raccordé. Il est réalisé à chaque changement de ruban filtre et à une fois par mois si possible ou à minima une fois par trimestre. Deux procédures sont explicitées ci-dessous, la première présente l'avantage de pouvoir être menée par une personne seule. Pour la seconde procédure, 2 personnes sont nécessaires mais la procédure présente l'avantage de prendre en compte les éventuelles fuites en amont de l'analyseur.

Procédure associée à la mesure de débit à l'aide d'un débitmètre (type Drycal) connecté à l'entrée échantillon de l'analyseur (1 personne) :

1. Dégager l'analyseur de sa ligne de prélèvement
2. Lancer la mesure du débit d'aspiration sur l'analyseur
 - a. Aller dans le menu « Menu général ⇨ Calibration ⇨ Débit »
 - b. Passer à l'écran suivant en appuyant sur [>>] (F2)
 - c. Appuyer sur la touche [Auto] (F4)
 - d. Mettre en marche la pompe en appuyant sur la touche [Départ] (F2)
3. Connecter le débitmètre muni de son embout d'adaptation à l'entrée échantillon
4. Vérifier l'accord entre les débits mesurés par l'analyseur en appuyant sur la touche [Détails] (F3) et en relevant la valeur notée derrière la ligne « Mesure » et par le débitmètre de référence
 - a. Si l'écart est inférieur à 1,5 L/min, retirer le débitmètre et remettre l'analyseur en place
 - b. Si l'écart est supérieur à 1,5 L/min, procéder en premier lieu à un test d'étanchéité (Fiche 11). Si celui-ci est satisfaisant, procéder à un étalonnage du débit (voir Fiche 13)

Procédure associée à la mesure de débit à l'aide d'un débitmètre (type Drycal) connecté en amont de la ligne de prélèvement (2 personnes) :

1. Lancer la mesure du débit d'aspiration sur l'analyseur
 - a. Aller dans le menu « Menu général ⇨ Calibration ⇨ Débit »
 - b. Passer à l'écran suivant en appuyant sur [>>] (F2)
 - c. Appuyer sur la touche [Auto] (F4)
 - d. Mettre en marche la pompe en appuyant sur la touche [Départ] (F2)
2. Connecter le débitmètre en lieu et place de la tête de prélèvement
3. Vérifier l'accord entre les débits mesurés par l'analyseur en appuyant sur la touche [Détails] (F3) et en relevant la valeur notée derrière la ligne « Mesure » et par le débitmètre de référence
 - a. Si l'écart est inférieur à 1,5 L/min, retirer le débitmètre et remettre l'analyseur en place
 - b. Si l'écart est supérieur à 1,5 L/min, procéder en premier lieu à un test d'étanchéité (Fiche 11). Si celui-ci est satisfaisant, procéder à un étalonnage du débit (voir Fiche 13)

Fiche 11 : Test d'étanchéité

Ce test permet de vérifier qu'il n'y a aucune fuite ou micro-fuite sur l'analyseur. Il est réalisé à chaque changement de ruban filtre et à une fois par mois si possible ou à minima une fois par trimestre. Ce test peut aussi inclure la recherche de fuite en amont de la ligne de prélèvement. Dans ce cas, procéder par étape : recherche de fuite sur analyseur seul puis recherche de fuite sur analyseur + ligne de prélèvement afin de localiser plus facilement les sources de fuite.

Procédure associée au test d'étanchéité « analyseur seul » :

1. Passer en position d'aspiration
 - a. Aller dans le menu « Menu général ⇒ Tests ⇒ Entrées/Sorties carte mère »
 - b. Aller à la ligne « P. Source » à l'aide des touches [↑] (F4) et [↓] (F5) et valider à l'aide de la touche [Test] (F3)
 - c. Appuyer sur la touche [s] (F2) en dessous de « Aspiration » ou « Rangement » (en fonction de la version de soft installée)
 - d. Le moteur du barillet se met en marche, la source est rangée, le barillet se met en position d'aspiration et le moteur s'arrête au bout de 5 secondes
 - e. Contrôler visuellement qu'il n'y a pas d'obstacle entre l'entrée l'aspiration et le ruban filtre
 - f. Contrôler visuellement que le barillet est bien positionné
 - g. Sortir de l'écran en appuyant sur la touche [↵] (F1)
2. Faire descendre le plateau
 - a. Aller à la ligne « Plateau » à l'aide des touches [↑] (F4) et [↓] (F5) et valider à l'aide de la touche [Test] (F3)
 - b. Appuyer sur la touche [s] (F2) en dessous de « Descente »
 - c. Le moteur du plateau se met en marche, le plateau descend et le moteur s'arrête au bout de 5 secondes
 - d. Contrôler qu'il n'y a pas d'obstacle à la descente
 - e. Sortir de l'écran en appuyant sur la touche [↵] (F1)
3. Faire avancer le ruban filtre
 - a. Aller à la ligne « Filtre » à l'aide des touches [↑] (F4) et [↓] (F5) et valider à l'aide de la touche [Test] (F3)
 - b. Appuyer sur la touche [s] (F5)
 - c. Le moteur d'avancement des bobines se met en marche, le papier avance et le moteur s'arrête au bout de 7 secondes
 - d. Sortir de l'écran en appuyant sur la touche [↵] (F1)
4. Faire monter le plateau
 - a. Aller à la ligne « Plateau » à l'aide des touches [↑] (F4) et [↓] (F5) et valider à l'aide de la touche [Test] (F3)
 - b. Appuyer sur la touche [s] (F5) en dessous de « Montée »
 - c. le moteur du plateau se met en marche, le plateau monte et le moteur s'arrête au bout de 5 secondes
 - d. Contrôler qu'il n'y a pas d'obstacle à la montée
 - e. Sortir de l'écran en appuyant sur la touche [↵] (F1)
5. Passer l'analyseur en mode aspiration
 - a. Aller à la ligne « Pompe » à l'aide des touches [↑] (F4) et [↓] (F5)

- b. Passer le champ « OFF » en « ON » en appuyant sur la touche [*] (F3)
 - c. La pompe se met en marche et l'appareil indique un débit d'aspiration à l'écran
6. Boucher l'entrée d'aspiration de l'analyseur
7. Vérifier à l'écran la valeur du débit d'aspiration
 - a. Si la valeur est < 5 L/min, passer à l'étape 8
 - b. Si la valeur est > 5 L/min, suivre la procédure indiquée dans la section remède en cas de fuite indiquée ci-dessous
8. Faire descendre le plateau
 - a. Aller à la ligne « Plateau » à l'aide des touches [↑] (F4) et [↓] (F5) et valider à l'aide de la touche [Test] (F3)
 - b. Appuyer sur la touche [s] (F2) en dessous de « Descente »
 - c. Le moteur du plateau se met en marche, le plateau descend et le moteur s'arrête au bout de 5 secondes
 - c. Sortir de l'écran en appuyant sur la touche [↵] (F1)
9. Couper l'aspiration
 - a. Aller à la ligne « Pompe » à l'aide des touches [↑] (F4) et [↓] (F5)
 - b. Passer le champ « ON » en « OFF » en appuyant sur la touche [*] (F3), la pompe s'arrête
10. Retirer le bouchon

Procédure associée au test d'étanchéité « analyseur et ligne de prélèvement » :

1. Suivre la procédure « analyseur seul »
2. Mettre un bouchon en lieu et place de la tête de prélèvement
3. Relancer la procédure « analyseur seul » à partir de l'étape n°7

Lors de la procédure de test « analyseur seul » ou « analyseur et ligne de prélèvement », si la mesure du débit d'aspiration avec bouchon est supérieure à 5 L/min

Solution : Procéder à une recherche de fuite en vous concentrant sur les points névralgiques de l'analyseur à savoir : raccord entre la canne de prélèvement et l'analyseur (au niveau du joint à lèvres), au niveau du filtre ruban (pression ressort insuffisante) ou du Geiger (silicone)

Fiche 12 : Etalonnage de la jauge Bêta

Un nouvel étalonnage de la jauge Bêta intervient dans les conditions usuelles de fonctionnement a minima tous les 6 mois ou à la suite des événements listés ci-après :

- première mise en service de l'analyseur
- remplacement du ruban filtre
- remplacement du détecteur
- remplacement de la source
- test masse (cf. Fiche 2) insatisfaisant

Dans tous les cas, la procédure à mettre en place est décrite ci-dessous.

Procédure associée à l'étalonnage de la jauge Bêta :

1. Lancement de la procédure d'étalonnage
 - a. Aller dans le menu « Menu général ⇒ Calibration ⇒ Jauge Bêta »
 - b. Passer à l'écran suivant en appuyant sur [>>] (F2)
 - c. Appuyer sur la touche [Auto] (F4), la séquence d'étalonnage s'affiche
 - d. Lancer la première étape de l'étalonnage (initialisation) en appuyant sur la touche [Départ] (F2)
2. Laisser l'appareil poursuivre la séquence : étape « initialisation » – étape « séchage papier » - étape « blanc » jusqu'à ce que la ligne « Mise en place de la cale » clignote
3. Placer la cale étalon entre le porte-source et le ruban papier en la glissant dans les 2 ergots prévus et jusqu'à entendre un clic qui signifie que la cale est en butée
4. Relancer la séquence d'étalonnage en appuyant sur la touche [->] (F3)
5. Laisser l'appareil poursuivre l'étape « calibration » jusqu'à ce que la ligne « Retrait de la cale » clignote
6. Retirer la cale et la replacer dans son logement à l'abri de la poussière
7. Finaliser la procédure en appuyant sur la touche [Arrêt] (F2)

Fiche 13 : étalonnage du débit d'aspiration

Un nouvel étalonnage du débit d'aspiration intervient dans les conditions usuelles de fonctionnement a minima tous les 6 mois ou à la suite des événements listés ci-après :

- première mise en service de l'analyseur
- remplacement du ruban filtre
- contrôle du débit insatisfaisant (cf. Fiche 10)

Procédure associée à l'étalonnage du débit d'aspiration :

1. Lancement de la procédure d'étalonnage
 - a. Aller dans le menu « Menu général ⇒ Calibration ⇒ Débit »
 - b. Passer à l'écran suivant en appuyant sur [>>] (F2)
 - c. Appuyer sur la touche [Auto] (F4), la séquence d'étalonnage s'affiche
 - d. Lancer la première étape de l'étalonnage (initialisation) en appuyant sur la touche [Départ] (F2)
2. Laisser l'appareil poursuivre la séquence : étape « initialisation » – étape « séchage papier » - étape « calibration »
3. Comparer à l'écran la valeur du débit d'aspiration de consigne et du débit d'aspiration mesuré
 - a. Si l'écart entre les 2 valeurs est < 1,5 L/min, arrêtez la procédure en appuyant sur la touche [Arrêt] (F2)
 - b. Si l'écart entre les 2 valeurs est > 1,5 L/min, poursuivre cette procédure
4. Dégager l'analyseur de sa ligne de prélèvement
5. Raccorder un débitmètre de référence (type Drycal) sur l'embout rétractable de l'analyseur en utilisant un adaptateur adéquat
6. Afficher les paramètres de calcul du débit d'aspiration (pressions amont et aval de l'orifice critique, pression atmosphérique, températures au niveau du filtre ruban et atmosphérique), en appuyant sur la touche [Détails] (F3)
7. Lancer la procédure de calcul automatique du coefficient de débit
 - a. Aller à la ligne « Etalon » à l'aide des touches [↑] (F4) et [↓] (F5) et activer la saisie du débit lu sur le débitmètre de référence en appuyant sur la touche [*] (F3)
 - b. Saisir la nouvelle valeur du débit (en L/min) à l'aide des touches [↑] (F4), [↓] (F5) et [→] (F3)
 - c. Valider en appuyant sur la touche [←] (F6), l'appareil calcul alors automatiquement le nouveau coefficient d'étalonnage « Coef. D » et l'affiche
 - d. Valider ce nouveau coefficient en appuyant sur la touche [Mémo.] (F2)
 - e. Quittez l'écran en appuyant sur la touche [<<<] (F1)
8. Comparer à l'écran la valeur du débit d'aspiration de consigne et du débit d'aspiration mesuré
 - a. Si l'écart entre les 2 valeurs est < 1,5 L/min, arrêtez la procédure en appuyant sur la touche [Arrêt] (F2)
 - b. Si l'écart entre les 2 valeurs est > 1,5 L/min, réitérez les étapes 6 à 8

Fiche 14 : Test de contamination

L'analyseur MP101M permet de réaliser un test de contamination éventuelle (perte d'intégrité de la source radioactive). Afin de garantir l'absence de risque d'exposition, une surveillance d'ambiance doit être réalisée au minimum une fois tous les mois en suivant la procédure décrite ci-dessous.

Procédure associée au test de contamination :

1. Arrêter le cycle de mesure en cours sur l'appareil en appuyant sur la touche F5 « Menu général ⇒ Mesure ⇒ Synoptique »
2. Faire un Test Geiger pour vérifier le fonctionnement du compteur Geiger – Müller
 - a. Aller dans le menu « Menu général ⇒ Tests ⇒ Entrées/Sorties carte mère »
 - b. Aller à la ligne « Plateau » à l'aide des touches [↑] (F4) et [↓] (F5) et valider à l'aide de la touche [Test] (F3)
 - c. Appuyer sur la touche [s] (F2) en dessous de « Descente », le moteur du plateau se met en marche, le plateau descend et le moteur s'arrête au bout de 5 secondes
 - d. Sortir de l'écran en appuyant sur la touche [↶] (F1)
 - e. Aller à la ligne « Filtre » à l'aide des touches [↑] (F4) et [↓] (F5) et valider à l'aide de la touche [Test] (F3)
 - f. Appuyer sur la touche [s] (F5), le moteur d'avancement des bobines de ruban filtre se met en marche, le ruban filtre avance et le moteur s'arrête au bout de 7 secondes
 - g. Sortir de l'écran en appuyant sur la touche [↶] (F1)
 - h. Aller à la ligne « Plateau » à l'aide des touches [↑] (F4) et [↓] (F5) et valider à l'aide de la touche [Test] (F3)
 - i. Appuyer sur la touche [s] (F5) en dessous de « Montée », le moteur du plateau se met en marche, le plateau monte et le moteur s'arrête au bout de 5 secondes
 - j. Sortir de l'écran en appuyant sur la touche [↶] (F1)
 - k. Aller à la ligne « P. Source » à l'aide des touches [↑] (F4) et [↓] (F5) et valider à l'aide de la touche [Test] (F3)
 - l. Appuyer sur la touche [s] (F5) en dessous de « Aspiration », le moteur du barillet se met en marche, la source est placée en position d'aspiration et le moteur s'arrête au bout de 5 secondes
 - m. Sortir de l'écran en appuyant sur la touche [↶] (F1)
 - n. Aller à la ligne « HT GeiGer » puis sur le champ « ON/OFF »
 - o. Modifier le paramètre en « ON » pour actionner la haute tension d'alimentation du compteur Geiger
3. Contrôler les valeurs qui s'affichent à l'écran :
 - a. La tension d'alimentation doit être comprise entre 500 et 700 V
 - b. La valeur de comptage doit être inférieure à 30 coups/s pour les sources ^{14}C à 3,67 MBq et à 25 coups/s pour les sources ^{14}C à 1,84 MBq

Symptôme : La valeur de la tension d'alimentation du compteur Geiger-Müller est inférieure à 500 V ou supérieure à 700 V.

Solution : Effectuer les contrôles électriques sur la carte mère comme indiqué à la ligne « Jauge » du tableau 5-1 de la notice (pages 5-4 et 5-8).

Symptôme : Le compteur Geiger-Müller donne une valeur de comptage supérieure à 30 coups/s alors que la source est en position aspiration/stockage.

Solution : Cela peut indiquer une fuite au niveau de la source ou une contamination au niveau du bloc conduit d'aspiration / buse de mesure.

1. Vérifier le bon positionnement du cylindre rotatif contenant la source
 - a. si la source est encore partiellement en position d'émission, le défaut est à rechercher au niveau du moteur du barillet
 - b. effectuer les contrôles électriques sur la carte mère comme indiqué à la ligne « Jauge » du tableau 5-1 de la notice (page 5-4) : bon fonctionnement du moteur et bon fonctionnement des relais de commande
2. Confirmer la contamination par un contrôle au radiomètre muni d'une sonde pour les rayonnements Bêta

Remarque : ces 2 dernières procédures peuvent être légèrement différentes en fonction de la génération d'appareil et notamment de la génération de cartes électroniques qui équipent l'appareil. Pour des appareils équipés de carte « Micro III », les points de vérification à effectuer sont indiqués aux lignes « +600 V Geiger » et « Compteur Geiger » du tableau 5-1 de la notice (pages 5-4 et 5-5).

Fiche 15 : Vérification de l'horloge

Vérifier si l'heure et la date affichées sur l'appareil sont concordantes avec les données UTC ou UTC \pm x heures.

Symptôme : L'écart entre la valeur affichée sur l'appareil et la valeur de référence (UTC) est supérieur à 30 secondes

Solution : Ajuster l'horloge

1. Aller dans le menu « Menu général \Rightarrow Configuration \Rightarrow Date/Heure/Langue »
2. Atteindre le champ à modifier à l'aide des touches [\uparrow] (F4) et [\downarrow] (F5)
3. Appuyer sur la touche [*] (F3)
4. Utiliser les touches [\uparrow] (F4) et [\downarrow] (F5) pour incrémenter ou décrémente le caractère
5. Utiliser les touches [\rightarrow] (F3) et [\leftarrow] (F2) pour passer au caractère suivant
6. Valider la ou les modifications en appuyant sur la touche [\leftarrow] (F6)

Fiche 16 : Vérification des messages d'erreur

Vérifier s'il y a des messages d'erreur en cours en allant dans le menu « Menu général ⇒ Mesure ⇒ Affichage des alarmes » ou des messages d'erreur récents dans l'historique des messages en allant dans le menu « Menu général ⇒ Mesure ⇒ Historique des alarmes ».

Constat : Des défauts de fonctionnement sont répertoriés dans l'un ou l'autre des écrans.

Solution : Il faut se reporter au tableau 5-1 de la notice, pour identifier les actions correctives à mettre en place. L'affichage est spécifique à la version de l'appareil. Pour information, la version du tableau 5-1 de la notice du MP101M « New » est présentée sur la Figure 29 ci-après.

AFFICHAGE	CAUSE	ACTIONS POSSIBLES	AFFICHAGE	CAUSE	ACTIONS POSSIBLES
0 V	- Le potentiel de masse est inférieur à - 0,05 V ou supérieur à 0,05 V.	- Connecter un voltmètre entre le point de test PT16 et une vis servant à fixer la carte sur le fond du tiroir : vérifier la valeur mesurée. - Vérifier le bon fonctionnement du + 5 V.	D. Seuil	- La mesure périodique ou cyclique dépasse la valeur supérieure admise (1000 µg/m ³ ou 1000 mg/m ³).	- Changer d'unités de mesure : remplacer µg/m ³ par mg/m ³ dans l'écran « Configuration ⇒ Offsets et unités ». - Vérifier le positionnement de la source face au papier. Si mal positionnée, vérifier le bon fonctionnement du moteur de positionnement. - Si le moteur ne fonctionne pas : vérifier les tensions + 15V et - 15V.
+5 V	- L'alimentation délivre une tension inférieure à 4,8 V ou supérieure à 5,2 V.	- Connecter un voltmètre entre le point de test PT16 (masse) et le point de test PT12 (+ 5V) : vérifier la valeur mesurée.	Colmatage	- Le système est resté plus de 360 s (6 min) consécutives en mode commande de vanne de régulation.	- Vérifier les pressions Pr. Amont, Pr. Aval et Pr. Atm. - Vérifier le bon fonctionnement de la commande du moteur de la vanne (voir l'écran « Tests ⇒ Entrées sorties carte mère »). - Vérifier le moteur de la vanne. - Vérifier la vanne. - Vérifier le circuit fluide.
+15 V	- L'alimentation délivre une tension inférieure à 14,50 V ou supérieure à 15,50 V.	- Connecter un voltmètre entre le point de test PT16 (masse) et le point de test PT13 (+ 15V) : vérifier la valeur mesurée.	Débit	- Le débit sort de l'intervalle acceptable centré autour de la commande de 1 m ³ /h.	- Vérifier le bon fonctionnement de la commande du moteur de la vanne (voir l'écran « Tests ⇒ Entrées sorties carte mère »). - Vérifier le moteur de la vanne. - Vérifier la vanne. - Vérifier l'étanchéité du circuit fluide.
-15 V	- L'alimentation délivre une tension inférieure à - 15,50 V ou supérieure à - 14,50 V.	- Connecter un voltmètre entre le point de test PT16 (masse) et le point de test PT14 (- 15V) : vérifier la valeur mesurée.	Comptage R.A.N.	- L'analyseur détecte un taux de radioactivité naturelle anormalement élevé.	- Informer les autorités compétentes le plus rapidement possible.
Température	- L'une, au moins, des températures T° Int. ou T° Filtre sort de l'intervalle acceptable.	- L'appareil n'est pas dans les conditions de fonctionnement normal. - Vérifier l'état des capteurs de température et les changer si défectueux.	Papier déchiré	- Valeur de comptage fournie par le Geiger-Müller > 8500 cps/s.	- Vérifier la position du ruban de papier filtre. Le repositionner si nécessaire. - Faire un test de contamination. - Vérifier le positionnement de la source face au papier. Si mal positionnée, vérifier le bon fonctionnement du moteur de positionnement. Si le moteur ne fonctionne pas : vérifier les tensions + 15V et - 15V.
Pression	- L'une, au moins, des pressions Pr. Amont ou Pr. Aval ou Pr. Atm. sort de l'intervalle acceptable.	- Vérifier dans l'écran « Calibration ⇒ Pressions » les coefficients de linéarisation A et B pour les 3 capteurs. - Vérifier que pompe éteinte, les 3 pressions sont bien égales. - Changer le (ou les) capteur de pression si défectueux.	Fin papier	- Le compteur de nombre de tâches restantes, initialement à 1200, a atteint la valeur 0.	- Changer le ruban de papier filtre. - Aller sur l'écran « Configuration ⇒ Mode de Mesure », et réinitialiser le compteur de tâche.
Jauge	- Le détecteur à tube Geiger-Müller fournit un résultat inférieur à 1000 cps/s ou supérieur à 8500 cps/s.	- Vérifier le bon positionnement du ruban filtre. - Vérifier la tension d'alimentation (600 V). - Vérifier le positionnement de la source face au papier. Si mal positionnée, vérifier le bon fonctionnement du moteur de positionnement. - Si le moteur ne fonctionne pas : vérifier les tensions + 15V et - 15V.			
Alarme RST	- Liaison RST non détectée. - Valeur de température ou d'humidité relative hors des tolérances.	- Vérifier les branchements de la ligne RST sur le panneau arrière de l'analyseur (2 connexions : chauffage ligne et paramètres T°/HR). - Contrôler les valeurs de température et humidité relative à l'aide de capteurs de référence. Si un capteur est défectueux, le remplacer.			

Figure 29 : Reproduction de la liste des défauts et remèdes données dans le tableau 5-1 de la notice du MP101M « new » d'Environnement SA.

Fiche 17 : Vérification de la stabilité du détecteur

Pour le suivi du fonctionnement de l'analyseur et plus particulièrement de la stabilité du détecteur, il est intéressant de mettre en place une carte de contrôle sur les signaux du compteur Geiger-Müller avec un relevé périodique des paramètres suivants :

- comptage instantané ;
- comptage corrigé ;
- tension d'alimentation du compteur.

Le rapport entre les valeurs de comptage corrigé et de comptage instantané doit être compris inférieur à 1,5 voir 2.

Une valeur supérieure à 2 est généralement corrélée avec une dérive du détecteur.

La valeur de la tension d'alimentation du compteur Geiger-Müller doit être comprise entre 500 et 700 V.

Une valeur en dehors de ces bornes peut être corrélée à un défaut d'alimentation.

Fiche 18 : Vérification des signaux MUX (paramètres électriques)

Pour le suivi du fonctionnement de l'analyseur, il est intéressant de vérifier de façon ponctuelle (2 fois par an) les signaux électriques du multiplexeur (encore appelés signaux MUX). Les paramètres et les plages de valeurs associées à ces différents paramètres sont indiqués dans le Tableau 12 ci-après.

Tableau 12 : Liste des paramètres du multiplexeur et des limites acceptables pour ceux-ci.

N° de la voie	Paramètre	Valeur de référence	Valeur minimale affichée sur l'analyseur	Valeur maximale affichée sur l'analyseur	Observations
Voie 1 (Masse/ GND)	Masse analogique	0 mV	- 50 mV	50 mV	-
Voie 2 (+5V)	Contrôle de l'alimentation +5V	2500 mV	2300 mV	2700 mV	Présence d'un pont diviseur sur le point test (+5V divisé à +2,5V)
Voie 3 (+15V)	Contrôle de l'alimentation +15V	1500 mV	1450 mV	1550 mV	Présence d'un pont diviseur sur le point test (+15V divisé à +1,5V)
Voie 4 (-15V)	Contrôle de l'alimentation -15V	- 1500 mV	- 1550 mV	-1450 mV	Présence d'un pont diviseur sur le point test (-15V divisé à -1,5V)
Voie 5 (+24 V)			Voie non-active		
Voie 6 (+600V)	Contrôle de la tension d'alimentation du détecteur Geiger-Müller	600.0 V	500.0 V	700.0 V	Voie effective uniquement si le détecteur est alimenté Sinon affichage normal = 000.0 V
Voie 7 (+10V AD)	Contrôle du convertisseur A/D	990 mV	980 mV	1000 mV	Présence d'un pont diviseur sur le point test (10V divisé à 1V)
Voie 8 (Masse/ GND)	Masse analogique	0 mV	-50 mV	50 mV	-
Voie 9 (Temp. N° 1)	Contrôle de la température de la buse	Température ambiante +/- 10°C	+ 05.00 dc	+ 70.00 dc	-
Voie 10 (Temp. N° 2)	Contrôle de la température interne	Température ambiante +/- 10°C	+ 05.00 dc	+ 70.00 dc	-
Voie 11 (Press. N° 1)	Contrôle de la pression en amont du diaphragme (P1)	XXXX mb	0400 mb	1050 mb	-

N° de la voie	Paramètre	Valeur de référence	Valeur minimale affichée sur l'analyseur	Valeur maximale affichée sur l'analyseur	Observations
Voie 12 (Press. N° 2)	Contrôle de la pression en aval du diaphragme (P2)	XXXX mb	0400 mb	1050 mb	-
Voie 13 (Ext1)	Contrôle de la tension sur l'entrée extérieure 1	500 mV (si débit = 1 L/min)	-	-	Valeur de débit si appareil équipé d'une ligne RST
Voie 14 (Ext 2)	Contrôle de la tension sur l'entrée extérieure 1	X.XXX V	1.5 V	2.5 V	Température extérieure si appareil équipé d'une ligne RST
Voie 15 (Masse/ GND)	Masse analogique	0 mV	-50 mV	50 mV	-
Voie 16 (Masse/ GND)	Masse analogique	0 mV	-50 mV	50 mV	-

Fiche 19 : Vérification de la linéarité

Un contrôle « multipoints » et sur site de la linéarité de l'appareil peut être effectué de façon ponctuelle (tous les ans ou tous les 2 ans).

La plage de masse surfacique qui est testée à l'aide du jeu de 3 cales étalon (feuille en polymère, de type Mylar montée sur un support adapté) fourni par le LCSQA-EMD sur demande, correspond à une plage de concentration massique usuellement mesurée en AASQA (de 70 à 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en valeur journalière).

Le nombre de points de vérification de la linéarité a été fixé à 4 (3 points d'échelle et le zéro) avec 3 mesures indépendantes à chaque fois. Les manipulations à effectuer pour mesurer la masse surfacique des cales sont identiques à celles indiquées dans les fiches 1 et 2. Une fois qu'une mesure est effectuée sur l'une des cales étalon, la masse moyenne déterminée par l'appareil est comparée à la masse affichée sur le constat de vérification fourni par le LCSQA-EMD.

Lorsque les 4 points de vérification sont réalisés, un calcul de régression linéaire est effectué et les paramètres de la droite de régression sont comparés aux spécifications fixées à partir des résultats obtenus par le LCSQA-EMD lors de la mise au point en laboratoire de la procédure de vérification de la linéarité et sur la base de spécifications utilisées dans la norme EN 12341 [11]. Ces spécifications sont rappelées dans le Tableau 13.

Tableau 13 : Spécifications sur les paramètres statistiques issus du contrôle de linéarité sur site du MP101M.

Critères statistiques à vérifier sur les paramètres de la droite de régression Y (masse mesurée M) = pente de la droite x [X(masse annoncée Réf)] + ordonnée à l'origine	
Coefficient de régression	$R^2 \geq 0,95$
Ordonnée à l'origine	$\leq 50 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ (*)
Pente de la droite	$= 1 \pm 0,05$

(*) : La valeur de $50 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ correspond à 10 fois la limite de détection annoncée par le constructeur dans une configuration cyclique 24 heures.

4.2 Retour d'expérience des AASQA

La mutualisation des retours d'expérience s'est réalisée soit en Commission de Suivi "Mesure des particules en suspension", soit directement auprès du LCSQA ou soit encore lors des journées d'échange sur la thématique « MP101M » organisées en 2010 ou lors des ateliers des Journées Techniques des AASQA ayant lieu chaque année. En complément des paramètres QA/QC indiqués dans le paragraphe 4.1 précédent, les utilisateurs ont mentionné des actions complémentaires à mettre en œuvre pour un fonctionnement optimal de l'appareil ou pour simplifier les démarches à mettre en œuvre sur le terrain. Ces compléments sont répertoriés dans le Tableau 14 ci-dessous.

Tableau 14 : Liste complémentaires d'opérations QA/QC mises en œuvre au sein des AASQA concernant l'utilisation de la jauge bêta MP101M d'Environnement SA.

Paramètre	Fréquence de vérification	Version d'appareil concernée	Critère d'action	Référence / Procédure
Nettoyage de la tête de prélèvement	trimestrielle	Toutes	-	Fiche 7
Nettoyage de la ligne de prélèvement	une fréquence pluri annuelle (ex : tous les 3 ans) est conseillée pour éviter un encrassement excessif de la partie fluide après la tête (depuis le tube d'adduction chauffé à la sortie de la pompe). Un simple passage de goupillon est conseillé	Toutes	-	-
Contrôle de fuite	Lors du nettoyage de la tête de prélèvement ou du démontage du tube d'adduction	Toutes	Pression < 200 mbar ou débit < 5 L/min	Fiche 9
Contrôle du débit	Mensuelle	Toutes		Fiche 9
Test de contamination	Mensuelle	MP101M « LCD » et MP101M « New »	Tension \neq 550-600 V	Fiche 14
Contrôle jauge	Mensuelle	Toutes	Cale étalon de densité connue	Fiches 1 et 2

5 SUIVI DU SYSTEME CENTRALISE DE GESTION DES SOURCES RADIOACTIVES POUR LES RADIOMETRES BETA UTILISES PAR LES AASQA

Depuis Avril 2010, le LCSQA-EMD est autorisé par l'Autorité de Sûreté Nucléaire à gérer de manière centralisée les sources radioactives ^{14}C utilisées en AASQA dans les jauges radiométriques. Cette gestion des sources repose sur la collaboration entre le LCSQA et les AASQA et l'échange permanent d'informations, tant au niveau local (demande d'achat, affectation à un site, reprise des sources par le constructeur) que national (traçabilité centralisée pour information de l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire - IRSN). Cette autorisation donne au LCSQA - Mines de Douai, en tant qu'organisme indépendant, la fonction de Personne Compétente en Radioprotection pour les AASQA utilisatrices de jauges Bêta ^{14}C de marque Environnement SA modèle MP101M-RST.

Ce système de gestion centralisé garantit à l'ASN que :

- la traçabilité des sources (entrée, mouvement, sortie) est assurée ;
- la correcte évaluation des risques (étude de poste, conformité des locaux) est effectuée ;
- le suivi des contrôles périodiques d'ambiance (internes, externes) est assuré ;
- les personnes exposées (consignes afférentes) sont correctement informées.

Le système centralisé est basé sur le principe d'une Personne Compétente en Radioprotection (PCR) unique externalisée s'appuyant sur un réseau de responsables locaux désignés et formés.

Une personne désignée du LCSQA-EMD (en l'occurrence François Mathé) assure la fonction de PCR. Ceci est justifié par :

- l'implication dans le dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ;
- la connaissance technique de l'appareil ;
- la proximité de l'unité territoriale de l'ASN (division de Lille) qui gère l'autorisation globale.

Une Convention de Collaboration est établie nominativement avec chaque AASQA participante. Ce document est susceptible d'évoluer en fonction des demandes complémentaires éventuelles de l'ASN.

L'autorisation actuelle permet :

- d'utiliser un appareil sur l'ensemble des sites déclarés par l'AASQA. Une jauge avec sa source n'est plus associée à un site unique mais peut « se déplacer » sur les sites recensés dans le système informatique de centralisation des données de qualité de l'air (remplaçant l'ancienne BDQA et géré par le LCSQA-INNERIS), pour des raisons de maintenance (remplacement temporaire d'une jauge en panne) ou de mesure (duplication d'appareils de mesure PM_{10} et $\text{PM}_{2.5}$) ;

- d'utiliser un appareil hors « zone de compétence » d'une AASQA (ex: lors d'un exercice inter laboratoire) sur un site recensé au niveau national (les AASQA actuellement non équipées de jauges bêta sont mentionnées dans le document-cadre) ;
- d'utiliser 1 appareil en « unité mobile » le cas échéant. Sur ce point, après fourniture et examen de toutes les informations demandées (notamment en ce qui concerne les dispositions contre le vol et l'incendie), l'ASN donne son accord sur l'utilisation en « unité mobile ».

Cette autorisation (référéncée n°T590988) est valide jusqu'au 10 avril 2015. L'activité maximale en ^{14}C pouvant être détenue est de 360 MBq, soit 98 appareils de type MP101M-RST d'Environnement SA sur la base d'une activité unitaire par source de 3,66 MBq.

La Figure 30 donne la carte des 11 AASQA détentrices de jauges radiométriques (pour un total de 101 jauges fin 2011)



Figure 30 : Carte des AASQA utilisatrices de jauges radiométriques MP101M (fin 2011)

Le passage à la nouvelle source radioactive en ^{14}C avec une activité unitaire réduite à 1,84 MBq a permis d'augmenter le potentiel d'équipement.

L'autorisation obtenue en 2010 annule et remplace les autorisations individuelles que certaines AASQA possédaient (6 au total, concernant Atmo Nord Pas de Calais, Atmo Franche Comté, Atmo Rhône-Alpes, Atmosf'Air Bourgogne, AERFOM et ESPOL réunies désormais en Atmo Lorraine Nord).

L'ASN a réalisé un audit du système centralisé le 20 septembre 2011. Les conclusions sont globalement satisfaisantes. Les principaux axes d'amélioration identifiés sont :

- la nécessité de formation en radioprotection des personnels d'AASQA (d'ores et déjà planifiée pour fin décembre 2011 et début janvier 2012) ;
- la nécessité d'amélioration de l'échange d'informations entre la PCR nationale et les Référents Techniques Locaux (la solution proposée de création d'un espace d'échange informatique dédié a été retenue. Sa création est d'ores et déjà planifiée pour le 1^{er} trimestre 2012). Cet espace d'échanges spécifique aidera la PCR au suivi des mouvements de sources et au respect du contrôle périodique annuel obligatoire d'appareil par un Organisme Agréé ;
- L'étude de la modification de l'autorisation actuelle, notamment en ce qui concerne le volume d'activité maximale détenue qui peut s'avérer insuffisant. Ce point est cependant dépendant de plusieurs paramètres tels que l'obtention de l'homologation en $PM_{2,5}$ de la MP101M et l'entrée sur le marché de nouveaux instruments tels que la BAM 1020 de Met One ou les jauges radiométriques Thermo. Cependant, il convient de rappeler pour ce dernier point la nécessité que l'appareil soit autorisé à être commercialisé sur le sol français, cette démarche auprès de l'ASN dépendant du constructeur / distributeur. Une fois ce point levé, il conviendra de consulter les AASQA pour estimer le nombre d'appareils potentiellement achetables, ce qui permettra d'évaluer au mieux le volume d'activité maximale à demander pour l'autorisation ASN. L'ensemble de ces démarches sera à effectuer en lien avec la Commission de Suivi « Particules en Suspension ».

6 CONCLUSIONS

Les travaux présentés dans ce rapport et effectués en 2011 ont porté sur 4 axes :

❶ Une veille technologique sur les nouveaux radiomètres Bêta arrivant sur le marché.

Ainsi, plusieurs modèles de jauges radiométriques sont apparues sur le marché européen ces dernières années. Une description du principe de fonctionnement et une analyse technique du modèle 5014i/5030i de la société américaine Thermo Scientific et des modèles Swam 5A Dual Channel et PBL Mixing de la société italienne FAI Instruments ont été présentées dans ce rapport et montrent que ces appareils sont prometteurs. Notamment l'appareil italien, Swam 5A Dual Channel, permet dans sa version la plus sophistiquée d'effectuer une mesure automatique de la concentration et du nombre de particules de 2 fractions granulométriques différentes associables à une mesure gravimétrique manuelle. L'appareil américain, 50140i, permet quant à lui d'effectuer une mesure automatique quasi-instantanée avec une couverture temporelle d'échantillonnage proche de 100%.

Ces appareils sont reconnus comme « conformes » aux réglementations nationales (américaine, canadienne ou italienne) en vigueur pour le contrôle automatique des particules dans l'air ambiant (PM₁₀ et/ou PM_{2,5}). Cependant, pour que ces appareils puissent être utilisés par les AASQA, il reste aux constructeurs ou distributeurs respectifs à accomplir la démarche auprès de l'ASN de demande d'autorisation de commercialisation sur le sol français.

❷ L'étude des modifications techniques apportées par Environnement SA sur le radiomètre MP101M-RST.

Aussi des études d'intercomparaison menées chez le constructeur Environnement SA ou par le LCSQA-EMD sur le site de Douai-Dorignies ont montré que pour la mesure des PM₁₀, l'utilisation d'une source ¹⁴C à 1,84 MBq au lieu de la source traditionnelle à 3,66 MBq ne modifie pas de manière flagrante les caractéristiques de mesure de l'appareil par absorption de rayonnements Bêta MP101M-RST. Pour les deux études, une légère minoration est à noter mais elle reste dans le domaine de l'incertitude de mesure : ainsi, une concentration de 50 µg/m³ mesurée sur une jauge MP101M équipée de l'ancienne source équivaldrait à une concentration de 48 µg/m³ sur une jauge équipée de la nouvelle source.

❸ Le suivi du programme d'Assurance Qualité/Contrôle Qualité (QA/QC) via une assistance à l'utilisation en AASQA des radiomètres Bêta et la participation à une intercomparaison nationale.

Un nombre important et croissant de jauges Bêta MP101M sont installées et fonctionnent sur l'ensemble du territoire depuis plus de 15 ans et différentes générations d'appareils coexistent au sein des AASQA. La connaissance du fonctionnement et de l'utilisation de ces instruments est donc primordiale. Une part importante du travail a consisté à collecter les retours d'expériences des AASQA, afin de faire compléter au mieux la caractérisation des appareils et de répertorier les difficultés rencontrées ainsi que les solutions à mettre en œuvre pour leur résolution. Ainsi la rédaction d'un "guide pour l'utilisation des jauges Bêta MP101M" a été entreprise. Ce dernier comprend une partie "action en cas de panne", mais aussi, et surtout, une première proposition complète de contrôle qualité à mettre en place pour s'assurer du bon fonctionnement de l'outil et de la qualité des données produites.

④ Le suivi du système centralisé de gestion des sources radioactives pour les radiomètres bêta utilisés par les AASQA.

Depuis avril 2010, le LCSQA-EMD est autorisé par l'Autorité de Sûreté Nucléaire à gérer de manière centralisée les sources radioactives ^{14}C utilisées en AASQA dans les jauges radiométriques. En 2011, l'ASN a réalisé un audit de ce système centralisé dont les conclusions ont été satisfaisantes. Les axes d'amélioration qui seront à traiter en 2012 concernent la formation en radioprotection du personnel AASQA, les échanges d'informations entre la PCR nationale et les référents techniques AASQA et l'étude de l'augmentation du volume d'activité maximale.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Mathé F. et B. Herbin “Equivalence et représentativité des méthodes de surveillance des particules – Partie 1 : Démonstration de l'équivalence de la jauge radiométrique MP101M-RST d' Environnement SA - Veille technologique sur la jauge radiométrique”, Etude LCSQA-EMD, 34 p., 2005, disponible sur : <http://www.lcsqa.org/rapport/2005/emd/equivalent-representativite-methodes-surveillance-particules>.
- [2] TÜV Rheinland “Report on suitability testing of the ambient air quality measurement system SWAM 5A Dual Channel Monitor with PM10 and PM2.5 pre-separators of the company FAI Instruments s.r.l. for the components suspended particulate matter PM10 and PM2.5”, Report 936/21207522/A of the 23rd of March 2009, 531 p., 2009.
- [3] Perrino C., A. Pietrodangelo and A. Febo “An atmospheric stability index based on radon progeny measurements for the evaluation of primary urban pollution”, Atmospheric Environment, vol. 35, pp. 5235-5244, 2001.
- [4] Perrino C., M. Catrambone and A. Pietrodangelo, A. “Influence of atmospheric stability on the mass concentration and chemical composition of atmospheric particles: A case study in Rome, Italy”, vol. 34, Environment International, pp. 621-628, 2008.
- [5] Regione Toscana “Progetto regionale PATOS: Particolato Atmosferico In TOScana Il materiale particolato fine PM10”, 252 p., 2011, disponible sur : http://servizi.regione.toscana.it/aria/img/getfile_img1.php?id=21169.
- [6] Casella M., B.E. Darestaa, G. de Gennaroa, P. Ielpoa, C.M. Placentinoa, A. Febo, A. Forgiob, A.C.R. Imperatoreb, F.De Tomasic, M.R. Perronec and S. Di Sabatinod “Sistema Integrato per Il Monitoraggio del Particolato Atmosferico (SIMPA)”, X Congresso Nazionale di Chimica dell' Ambiente e dei Beni Culturali, Acaya, Vernole (Italie), 11 - 15 juin 2007.
- [7] FPRCEN/TS 16450 : Qualité de l'air ambiant - Exigences relatives aux méthodes automatisées de détermination en continu de la concentration en particules, février 2013.
- [8] NF X 43-017 : Mesure de la concentration des matières en suspension dans l'air ambiant. Méthode par absorption de rayons bêta, juillet 1984.
- [9] NF ISO 10473 : Air ambiant - Mesurage de la masse des matières particulaires sur un milieu filtrant - Méthode par absorption de rayons bêta, août 2000.
- [10] Febo A. “Apparatus and method for environmental monitoring”, brevet WO 2008/023325, 28 février 2008.

[11] NF EN 12341 : Qualité de l'air - Détermination de la fraction MP10 de matière particulaire en suspension - Méthode de référence et procédure d'essai in situ pour démontrer l'équivalence à la référence de méthodes de mesurage, janvier 1999.

[12] NF EN 14907 : Qualité de l'air ambiant - Méthode normalisée de mesurage gravimétrique pour la détermination de la fraction massique MP 2,5 de matière particulaire en suspension, mars 2006.

[13] TÜV Rheinland "Certification as Standard/Reference Sampler", Report 936/212111111/A of the 11th of May 2010, 2010.

[14] Sira Certification Service "MCERTS Performance Standards for Continuous Ambient Air Quality Monitoring Systems", Certificate No: Sira MC090148/02 of the 2nd of February 2010, 2010.

[15] "Demonstration of equivalence of ambient air monitoring methods", Report by an EC Working group on Guidance for the Demonstration of Equivalence, November 2005, 81 p., 2005.

[16] Richtlinie VDI 2066 Blatt 10: Messen von Partikeln - Staubmessung in strömenden Gasen - Messung der Emissionen von PM10 und PM2,5 an geführten Quellen nach dem Impaktionsverfahren, juillet 2003.

[17] Parlement Européen et Conseil de l'Union Européenne, Directive 2008/50/CE du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe, Journal officiel de l'Union européenne, L 152, pp. 1-44, 2008.

[18] De Jonge D. "Field experiment on 11 automated PM monitors", Report no. 07-1124, Amsterdam : GGD Amsterdam, 78 p., 2008.

[19] Pearson J.E. and G.E. Jones "Emanation of Radon 222 from soils and its use as a tracer", Journal of Geophysical Research, vol. 70, pp. 5279-5290, 1965.

[20] Shweikani R., T.G. Giaddui and S.A. Durrani "The effect of soil parameters on the radon concentration values in the environment", Radiation Measurements, vol. 25, pp. 581-584, 1995.

[21] Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, Decreto Ministeriale n° 60 del 02/04/2002, Recepimento della direttiva 1999/30/CE del Consiglio del 22 aprile 1999 concernente i valori limite di qualità dell'aria ambiente per il biossido di zolfo, il biossido di azoto, gli ossidi di azoto, le particelle e il piombo e della direttiva 2000/69/CE relativa ai valori limite di qualità aria ambiente per il benzene ed il monossido di carbonio, Gazzetta Ufficiale Suppl. Ordin., n° 87 del 13/04/2002, pp. 1-31, 2002.

[22] United States Environmental Protection Agency "Thermo Andersen Series FH 62 C14 Continuous PM10 Monitor, Thermo Scientific Model 5014i Beta (5014i Beta), Continuous Ambient Particulate Monitor", Automated Equivalent Method: EQPM-1102-150 of the 11th of December 2002, vol. 67, page 76174, 2002.

[23] United States Environmental Protection Agency “Thermo Scientific Model 5014i or Thermo Scientific FH62C14-DHS Continuous Ambient Particle Monitor”, Automated Equivalent Method: EQPM-0609-183 of the 17th of June 2009, vol. 74, page 28696, 2009.

[24] National Air Pollution Surveillance Network “Quality Assurance and Quality Control Guidelines”, Report No. AAQD 2004-1, 44 p., 2004.

[25] ISO 2919 : Radioprotection - Sources radioactives scellées - Prescriptions générales et classification, février 2012.

[26] NF ISO 9978 : Radioprotection - Sources radioactives scellées - Méthodes d'essai d'étanchéité, mai 1992.

[27] Thaury C. “Sources C14 pour MP101M et BETA5M – Rapport de tests : Nouvelles sources CERCA C14EBRH20”, Rapport technique du 19 juillet 2010, 15 p., 2010.

ANNEXES

Annexe n°1 : Document de référence de l'étude

ETUDE N° 3/2 : MESURE DES PARTICULES EN SUSPENSION PAR ABSORPTION DE RAYONNEMENT BÊTA

Responsable de l'étude : EMD
en collaboration avec : INERIS (point ❶)

Objectif

L'objectif de cette étude est de développer la méthode par absorption de rayonnement bêta pour la mesure des particules en suspension dans l'air ambiant comme technique de mesure usuelle en AASQA. A l'heure actuelle, seule la jauge bêta MP101M-RST du fabricant français Environnement SA bénéficie du statut de méthode équivalente en PM₁₀ et est donc utilisée en AASQA.

Un accompagnement dans la mise en œuvre de cet appareil au sein du dispositif français de surveillance de la qualité de l'air est proposé, au travers de la mise en place d'un programme d'Assurance-Qualité./Contrôle Qualité (QA/QC) spécifique. Les améliorations technologiques de cet appareil ainsi que la démonstration d'équivalence en PM_{2,5} effectuées par le constructeur nécessitent d'être également étudiées.

Enfin, d'autres constructeurs de jauges radiométriques arrivent sur le marché français, avec comme arguments techniques la démonstration d'équivalence dans un autre Etat Membre ou des innovations technologiques aidant à la compréhension du comportement de l'atmosphère et donc pouvant aider les modélisateurs.

Contexte et travaux antérieurs

L'absorption de rayonnement bêta constitue à ce jour en AASQA la seule technique usuelle (avec la mesure par variation de fréquence) pour la mesure automatique de la concentration massique des particules en suspension dans l'air ambiant. Ceci est permis grâce à la démonstration d'équivalence en PM₁₀ obtenue en 2006, confirmé en 2008 et 2010 par les exercices d'intercomparaison sur site.

Un système centralisé de gestion administrative des sources radioactives a été autorisé en 2010 par l'Autorité de Sûreté Nucléaire. Cette simplification des démarches administrative associée au redéploiement technique en vue de respecter l'échéance de 2013 fixée par la Directive n°2008/50/CE (sur la conformité des techniques de mesure) a amené des AASQA (Atmo Poitou Charentes, ORA, Air Languedoc Roussillon...) à adopter cette technique. Le fait d'avoir une reconnaissance de méthode équivalente en PM_{2,5} étant un élément d'influence supplémentaire, le constructeur envisage de mener cette opération en 2011. De même, il a apporté des modifications techniques sur son appareil (changement de design, abaissement de l'activité de la source). Tout ceci nécessite donc une expertise technique.

Cette technique concerne également d'autres constructeurs qui cherchent à pénétrer le marché européen. Outre la démonstration d'équivalence effectuée dans un Etat Membre, des appareils bénéficient d'innovations technologiques permettant de mieux comprendre le comportement de l'atmosphère et donc d'être une source d'informations intéressantes pour des communautés telles que celle de la recherche ou des modélisateurs. Les appareils de la société FAI Instruments en sont une illustration. Il serait donc intéressant de faire une veille technologique sur ces instruments.

Travaux proposés pour 2011

Le LCSQA - EMD propose donc de développer le programme QA/QC pour la jauge bêta instauré en 2010 (recommandations d'installation et de suivi métrologique, propositions de solutions pour les principaux problèmes rencontrés par les utilisateurs, le tout en lien avec le constructeur), d'étudier les modifications technologiques apportées par Environnement SA sur son appareil et d'effectuer une veille technologique sur les développements sur jauge radiométrique.

Ces travaux sont utiles dans le cadre des travaux actuels du CEN WG15 sur l'établissement d'une méthode normalisée pour la mesure automatique des particules ou pour la révision prochaine des normes françaises et internationales.

Ces travaux comportent 3 volets :

❶ Le suivi du programme d'Assurance Qualité/Contrôle Qualité (QA/QC) via une assistance à l'utilisation en AASQA des radiomètres bêta et la participation à une intercomparaison nationale :

Les actions initiées en 2010 dans le cadre de l'Assurance-Qualité pour l'utilisation des jauges radiométriques MP101M-RST seront poursuivies en 2011, en lien avec le fournisseur et les AASQA :

- mise à jour du Guide de recensement des dysfonctionnements et de leur analyse pour solution,
- élaboration de protocoles de test pour le suivi des paramètres principaux de fonctionnement,
- établissement de recommandations concernant l'interprétation et à la validation des données.

La Commission Européenne recommande aux Etats Membres disposant d'une méthode équivalente de vérifier ce statut, afin de s'assurer de la qualité des données rapportées au niveau européen. A la demande des pouvoirs publics, la mise en place de ce processus de vérification (devant être pérenne) sera étudiée en 2011 par le LCSQA-ENERIS, dans le cadre de l'étude n°3/1 « Suivi et optimisation de l'utilisation des TEOM-FDMS » .

Ce processus sera basé sur des campagnes de comparaison périodique entre les méthodes équivalentes nationales et la méthode de référence organisées sur site d'AASQA. L'appareil MP101M-RST sera inclus dans ces campagnes

❷ L'étude des modifications techniques apportées par Environnement SA sur le radiomètre MP101M-RST :

Environnement SA a apporté des modifications techniques sur sa jauge : si certaines peuvent être considérées comme mineures (changement du design et de l'ergonomie pour réduire les dimensions), d'autres touchent le volet métrologique (diminution de l'intensité de la source radioactive à 1,67 MBq) et nécessitent une expertise technique pour juger leur impact sur les performances de l'appareil. L'objectif est d'étudier la nouvelle version de la MP101M-RST sur le site de Douai ainsi que sur d'autres situations d'exploitation (site d'AASQA ou du fournisseur) en comparaison avec les appareils disponibles (référence gravimétrique manuelle, génération précédente de la jauge) afin de juger de la non-dégradation des performances métrologiques.

⑥ Une veille technologique sur les nouveaux radiomètres bêta arrivant sur le marché :

3 jauges bêta (deux issues du constructeur italien FAI Instruments et une fabriquée par le constructeur américain Thermo) pouvant intéresser le marché français ont été identifiées:

- Le SWAM 5A Dual Channel. Cet appareil, déjà identifiée en 2005 par le LCSQA comme appareil pouvant potentiellement intéresser les AASQA ^[1], a obtenu en version double canal la démonstration d'équivalence en PM₁₀ et PM_{2.5} ^[2].
- Le PBL Mixing Monitor permet de mesurer la radioactivité naturelle (radon) qui est un bon indicateur de la stabilité atmosphérique ^[3] ^[4]. En effet la mesure de l'activité bêta associée aux produits de désintégration du radon qui se fixent sur les particules permet de qualifier les propriétés de mélange vertical des basses couches de l'atmosphère. Ce type d'appareil est d'ailleurs impliqué dans des programmes de recherche italiens sur les particules (le projet PATOS - Particolato Atmosferico in TOScana – sur la distribution spatiale du niveau de concentration de particules, ainsi que sur leur composition et leur origine et le projet SIMPA - Sistema Integrato per il Monitoraggio del Particolato Atmosferico – sur la réalisation d'un système intégré pour la caractérisation de particules atmosphériques sur de grandes échelles).
- La jauge radiométrique 5014 i. Cet appareil se distingue des autres jauges par sa mesure en quasi-temps réel, permettant a priori un accès à une valeur moyenne horaire pouvant répondre à des besoins spécifiques tels que les procédures d'alerte. Cet appareil fait actuellement l'objet d'une démonstration d'équivalence en PM₁₀ et PM_{2.5} par le TÜV en Allemagne.

Les 2 appareils d'origine italienne sont distribués en France par la société de services Envicontrol basé à Le Pecq, déjà connu dans le dispositif national de surveillance comme représentant des marques API, LNI, Met One ou Tekran. L'appareil américain est distribué par Ecomesure (représentant de la marque Thermo sur la ligne de produits dédiés aux particules). Ils sont susceptibles d'entrer dans le parc instrumental français. Les acheteurs potentiels ont donc besoin d'un avis technique avant décision. L'étude proposée vise à répondre à ce besoin.

Les informations pourront également être utilisées dans le cadre de la création (projet européen de méthode normalisée pour la mesure automatique des particules) ou la révision de normes (norme NF X43-017 « Mesure de la concentration des matières en suspension dans l'air ambiant - Méthode par absorption de rayons bêta », norme NF ISO 10473 « Air ambiant - Mesurage de la masse des matières particulaires sur un milieu filtrant - Méthode par absorption de rayons bêta »).

Renseignements synthétiques 2011

Titre de l'étude	Mesure des particules en suspension dans l'air ambiant par absorption de rayonnement bêta		
Personne responsable de l'étude	F. MATHE		
Travaux	Pérennes		
Durée des travaux pluriannuels			
Collaboration AASQA			
Heures d'ingénieur	EMD : 200	INERIS :	LNE :
Heures de technicien	EMD : 450	INERIS :	LNE :
Document de sortie attendu	Rapport d'étude		
Lien avec le tableau de suivi CPT	Thème 2 : Métrologie / Particules		
Lien avec un groupe de travail	Commission de Suivi "Particules"		
Matériel à acquérir pour l'étude			
