



Suivi de l'équivalence des analyseurs automatiques de PM_{10} et $PM_{2,5}$ à la méthode de référence : bilan 2015-2017

Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l’Air

SUIVI DE L’EQUIVALENCE DES ANALYSEURS AUTOMATIQUES DE PM_{2,5} ET PM₁₀ : BILAN 2015-2017

Tanguy AMODEO (INERIS)

Septembre 2018

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	Tanguy Amodeo	Olivier Favez	Marc Durif
Qualité	Ingénieur de l’Unité ASUR Direction des risques Chroniques	Ingénieur de l’Unité ASUR Direction des risques Chroniques	Responsable du Pôle CARA Direction des risques Chroniques
Visa			



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

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

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

TABLE DES MATIERES

RESUME	7
REMERCIEMENTS ET COLLABORATIONS.....	8
1. INTRODUCTION	9
2. SITE D'ETUDE	11
3. MATERIEL ET METHODE	14
3.1 Référentiel normatif.....	14
3.2 Méthode de référence : mise en oeuvre	14
3.3 Rappel des AMS PM conformes pour la mesure réglementaire des concentrations de particules PM ₁₀ et PM _{2,5}	14
3.4 Critères de validation et traitement des données	15
3.4.1 Nombre, durée et fréquence des comparaisons	15
3.4.2 Évaluation des résultats des essais	16
4. RESULTATS ET DISCUSSIONS	19
4.1 Ecart aux exigences méthodologiques de la NF EN 16450.....	19
4.2 Résultats du suivi en continu de l'adéquation du BAM 1020	20
4.3 Résultats du suivi en continu de l'adéquation du MP 101M-RST.....	24
4.4 Résultats du suivi en continu de l'adéquation du TEOM FDMS 8500	29
4.5 Résultats du suivi en continu de l'adéquation du TEOM FDMS 1405-F	33
4.6 Résultats du suivi en continu de l'adéquation du FIDAS 200	37
5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	41

RESUME

Ce rapport présente les résultats du suivi en continu de l'adéquation des systèmes automatisés (AMS) conformes pour la mesure des PM en France avec la méthode de référence. Cette action, demandée par l'arrêté du 19 avril 2017 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air, a été effectuée en accord avec les exigences de la norme NF EN 16450 encadrant l'utilisation des systèmes de mesure automatisés des PM.

Le bilan des campagnes réalisées de 2015 à 2017 sur une douzaine de sites répartis sur le territoire national est présenté ici. Il fait suite aux deux bilans réalisés sur la période 2013-2016 et 2011-2014. A ce stade, les bases de données utilisées ne remplissent pas encore l'intégralité des exigences de la norme NF EN 16450 (notamment en termes de nombre et de répartitions des données). Par conséquent, ce rapport ne doit pas conduire à des conclusions définitives sur l'adéquation des AMS à la méthode de référence ou sur la nécessité de leur appliquer des fonctions de correction, mais indique des tendances sur leurs performances.

Les résultats obtenus pour la période 2015-2017 sont assez cohérents avec les tendances du bilan précédent. Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Modèles d'appareils conformes pour la surveillance des PM	Respect des critères de la norme en termes de résultats		Respect des exigences encadrant l'application d'une fonction de correction	
	PM _{2,5}	PM ₁₀	Amélioration des résultats après correction	Base de données (80 paires de données/site/an, nombre de valeur haute > 20%)
BAM 1020	Oui	Non	Non	Non
MP101M	Non	Oui	Non	Non
TEOM FDMS 8500	Non	Oui	Non	Non
TEOM FDMS 1405-F	Non	Oui	Non	Non
FIDAS 200 (site de fond urbain)	Non	Non	Non	Non

Un bilan plus complet en nombre de paires de données pourra être fait début 2019 car à cette date, une dizaine de site rassembleront un an de données réparties sur les quatre saisons. Ainsi, à l'issue de ces campagnes, l'application ou non d'une fonction de correction aux données produites par les AMS PM déclarés conformes à la méthode de référence en France pourra être discutée sur la base des résultats obtenus entre 2016 et 2018 conformément aux prescriptions de la norme NF EN 16450.

REMERCIEMENTS ET COLLABORATIONS

Le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l’Air (LCSQA) tient à remercier, pour la qualité de leur collaboration et de leur travail, les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l’Air (AASQA) suivantes :

Atmo Occitanie
Atmo Grand Est
Atmo Auvergne-Rhône-Alpes
Air PACA
AIRPARIF
Atmo Haut-de-France
Qualitair Corse
Atmo Nouvelle-Aquitaine
MadininAir

ainsi que les sociétés ADDAIR, Ecomesure, Envicontrol, Environnement SA et THERMO Scientific pour la mise à disposition des analyseurs automatiques.

1. INTRODUCTION

La surveillance réglementaire des PM₁₀ et PM_{2,5} en France est réalisée au moyen de systèmes de mesure continue automatisés : AMS (« *Automatic measurement System* »). Ces AMS permettent le suivi dynamique des concentrations de particules sur des pas de temps allant du quart d'heure à deux heures selon le type d'instrument utilisé.

L'utilisation des AMS est conforme à la directive 2008/50/CE qui autorise leur utilisation si ceux-ci ont été démontrés équivalents à la méthode de référence. Le groupe de travail WG15 du CEN/TC264 a travaillé de 2009 à 2017 à la rédaction d'un texte à caractère normatif pour la mesure des PM à l'aide des AMS. Ainsi, la norme NF EN 16450¹, publiée en Avril 2017, encadre l'utilisation des AMS pour la mesure de la concentration de matière particulaire PM₁₀ et PM_{2,5}. Cette norme décrit notamment :

- les exigences de performances minimales et les modes opératoires d'essais en laboratoire et sur site qui doivent être réalisés pour l'approbation des types d'AMS adaptés à la mesure de la concentration en matière particulaire. Elle inclut notamment l'évaluation de l'équivalence des AMS à la méthode de référence telle que stipulée dans la directive 2008/50/CE ;
- les exigences minimales en termes de contrôle qualité des AMS déployés sur site. Elle comporte des modes opératoires de maintenance, d'étalonnage, de vérification et de contrôle. Ces exigences sont reprises dans les guides méthodologiques publiés par le LCSQA ;
- les exigences en terme de vérification en continu de l'adéquation des AMS à la méthode de référence. Pour cela, il est demandé à chaque laboratoire national de référence en charge de la coordination de la surveillance de la qualité de l'air de procéder en continu à des comparaisons avec la méthode de référence. Le nombre d'analyseurs automatiques à déployer est fonction l'incertitude élargie obtenue lors des tests d'approbation par type.

L'Arrêté du 19 avril 2017 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant indique que le LCSQA est en charge du suivi de l'équivalence des méthodes de mesure. Le présent rapport concerne donc la mise en œuvre du dernier alinéa ci-dessus, à savoir la vérification en continu de l'adéquation des AMS à la méthode de référence pour la mesure des PM₁₀ et des PM_{2,5}.

¹ FR EN 16450 : Air ambiant - Systèmes automatisés de mesurage de la concentration de matière particulaire (PM₁₀;PM_{2,5})

Le LCSQA a anticipé la mise en œuvre de cette norme dès 2010, et a publié depuis une dizaine de rapports ou notes techniques à ce sujet (www.lcsqa.org). En 2014, une note² spécifiant la méthodologie adoptée par la France pour la détermination d'un réseau minimum de sites de suivi d'équivalence permettant de répondre aux exigences de la NF EN 16450 a conclu à la nécessité de réaliser le suivi d'équivalence sur une douzaine de sites représentatifs du « climat de PM » rencontré sur tout le territoire. Le présent rapport synthétise les résultats obtenus lors des campagnes de mesure réalisées de 2015 à 2017 et fait suite aux deux bilans précédents pour les période 2011-2014³ et 2013-2016.⁴

² Rapport LCSQA : S.Verlhac, 2014, Méthodologie pour la détermination des sites de suivi d'équivalence des analyseurs automatique des PM.

³ Rapport LCSQA : S. Verlhac, 2014, « Suivi d'équivalence des analyseurs automatiques de PM homologués en France – Bilan 2011-2014 ».

⁴ Rapport LCSQA : S. Verlhac, 2017, Suivi d'équivalence des analyseurs automatiques de PM10 et PM2,5 – Bilan 2013-2016

2. SITE D'ETUDE

Pour la période 2015-2017, les sites d'étude (présentés sur la Figure 1) correspondent à des stations fixes du dispositif national de surveillance et ont été sélectionnés en fonction de leur capacité d'accueil et du souhait de l'AASQA à participer activement à l'étude. Cette sélection a également été réalisée de façon à couvrir un panel aussi représentatif que possible des différentes typologies de stations (trafic, rural, urbaine) et des conditions rencontrées sur le territoire [2]. Le Tableau 1 synthétise l'ensemble des conditions de test.

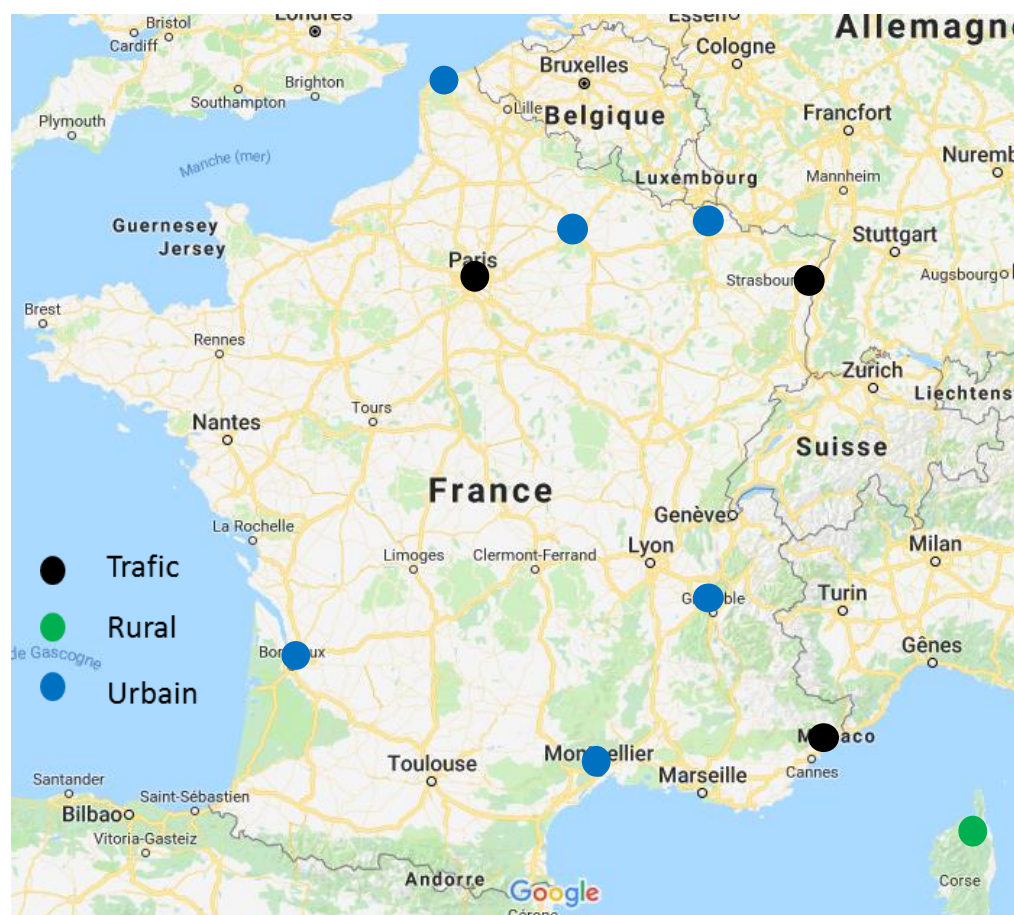


Figure 1 : Sites où ont été réalisées les campagnes de suivi en continu de l'adéquation des AMS à la méthode de référence

La partie nord-ouest de la France sera prochainement intégrée au dispositif avec la mise en place du suivi d'équivalence en Normandie en 2018 dans la station de fonds rural « La Coulonche » d'Atmo-Normandie.

Il est important de noter la présence d'une station d'outre-mer dans cette liste, permettant de prendre en compte les conditions climatiques spécifiques de ces régions. Pour la période 2015-2017, la campagne a été réalisée en Martinique à la station « Lycée Bellevue » de Fort de France.

Tableau 1 : Sites ayant participé aux campagnes de vérification en continu de l'équivalence des AMS PM avec la méthode de référence.

AASQA	Ville	Station	Référence	Typologie
Atmo Grand-Est	Metz	Borny	1012	Fond Urbain
	Reims	Jean d'Aulan	14012	Fond Urbain
	Strasbourg	Clémenceau	16034	Trafic
Atmo HdF	Calais	Berthelot	10016	Fond Urbain
Atmo AuRA	Grenoble	Les Frênes	15043	Fond Urbain
Atmo Occitanie	Montpellier	Près d'arènes	8016	Fond Urbain
Qualit'air Corse	Venaco	Venaco	41024	Fond Rural
Atmo NA	Talence	Talence	31002	Fond Urbain
Air PACE	Nice	Magnan	24035	Trafic
AIRPARIF	Paris	BP_Est	4329	Trafic
Madininair	Fort de France	Lycée Bellevue	39002	Fond Urbain

Le Tableau 2 présente le planning des campagnes réalisées sur ces différents sites sur la période 2015-2017. Afin de maximiser le nombre de données disponibles, et de se rapprocher des exigences de la norme NF EN 16450, le bilan a été étendu à mi-2014 afin notamment d'intégrer les campagnes réalisées à Nice et à Strasbourg.

Les campagnes 6 à 16, notées en vert dans le tableau 2 avaient déjà été intégrées au bilan précédent (2013-2016). Les campagnes numérotées de 17 à 24 et notées en noir correspondent à des résultats récents.

3. MATERIEL ET METHODE

Ce chapitre présente le référentiel normatif, la méthode de référence, les différents types d'AMS PM démontrés équivalents à la méthode de référence en France, ainsi que la méthode d'évaluation mise en œuvre.

3.1 Référentiel normatif

Les travaux du groupe de travail WG15 du CEN/TC 264 auxquels participe le LCSQA ont aboutis à la publication en 2017 de la norme NF EN 16450¹. Celle-ci spécifie la démarche à appliquer pour démontrer l'équivalence des AMS PM à la méthode de référence mais également les essais à mettre en œuvre pour garantir l'équivalence de ces AMS en continu dans le temps. Conformément à la directive 2008/50/CE⁵ (révisée par la directive 2015/1480⁶), la méthode de référence utilisée est conforme à la norme NF EN 12341⁷.

3.2 Méthode de référence : mise en œuvre

Les prélèvements ont été réalisés selon par les AASQA sur filtres en PTFE (de type « Teflo », 2µm de porosité, Pall) à l'aide de préleveurs séquentiels à un débit de 2,3m³/h, et en conformité avec les spécifications de la norme NF EN 12341. Les préleveurs ont été installés en extérieur et équipés de module de contrôle de la température de stockage des filtres échantillonnés. Les mesures gravimétriques ont été réalisées par le LCSQA, selon la norme NF EN 12341.

3.3 Rappel des AMS PM conformes pour la mesure réglementaire des concentrations de particules PM₁₀ et PM_{2,5}.

Le Tableau 3 présente la liste des AMS PM déclarés conformes techniquement en France au 1^{er} janvier 2018⁸.

La NF EN 16450 précise également les protocoles de contrôle qualité et assurance qualité à mettre en œuvre pour l'utilisation des AMS PM. Le LCSQA s'est attaché, en collaboration avec les AASQA partenaires, à mettre en œuvre ces protocoles lors des différentes campagnes de suivi d'équivalence par la transposition de ces exigences dans les guides méthodologiques nationaux.

⁵ « Directive 2008/50/CE du parlement européen et du conseil du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe », 2008.

⁶ « Directive 2015/1480/CE de la Commission du 28 août 2015 modifiant plusieurs annexes des directives du Parlement européen et du Conseil 2004/107/CE et 2008/50/CE », 2015.

⁷ AFNOR, «NF EN 12341: Air ambiant - Méthode normalisée de mesurage gravimétrique pour la détermination de la concentration massique MP10 ou MP2,5 de matière particulaire en suspension», 2014.

⁸ https://www.lcsqa.org/system/files/liste_appareils_conforme_mesure_qualite_air_maj_20-03-18.pdf

Tableau 3 Analyseurs automatiques de particules conformes pour la mesures des concentrations de particules.

Constructeur	Modèle d'appareil équivalent à la méthode de référence PM₁₀ et PM_{2,5}
Thermo Scientific (TEI)	TEOM-FDMS 8500 version b & c
	TEOM 1405-F
	TEOM 1405-DF *
Met One	BAM 1020 avec système « Smart Heater »
Environnement SA	MP101M avec ligne RST
PALAS	FIDAS 200, 200S, avec ligne IADS de 1,2 m (conforme en fond urbain depuis 2017, conforme en fond rural depuis mars 2018)

** Le suivi en continu de l'adéquation du TEOM 1405-DF à la méthode de référence n'est plus assuré à la suite de la résolution interne de la CS PM d'octobre 2015 demandant de ne plus s'équiper de ce type d'instrument.*

3.4 Critères de validation et traitement des données

3.4.1 Nombre, durée et fréquence des comparaisons

En tant que laboratoire national de référence, le LCSQA coordonne pour l'ensemble du dispositif national de surveillance de la qualité de l'air le suivi en continu de l'adéquation des différents AMS conformes à la méthode de référence (MR) pour la surveillance réglementaire des particules. Pour des raisons d'économies d'échelle et d'harmonisation des modes opératoires, le LCSQA réalise ce suivi à un niveau national plutôt que régional.

Selon la NF EN 16450, l'étendue des comparaisons de suivi d'équivalence dépend ainsi :

- de l'étendue du réseau de surveillance ;
- des différences de caractéristiques entre les sites du réseau de surveillance ;
- de l'incertitude déterminée pour chaque AMS dans le cadre de la démonstration d'équivalence.

La proportion de sites à soumettre à essai (avec un minimum défini) dépend de l'incertitude relative élargie obtenue en évaluant l'ensemble des données des essais d'approbation de type. Les exigences minimales sont données dans le Tableau 4. Le Tableau 5 présente quant à lui le nombre de sites minimal qui doivent être implémentés pour suivre l'équivalence de chacun des AMS homologués.

Tableau 4 : Exigences relatives aux comparaisons en continu des AMS PM avec la méthode de référence (selon NF EN 16450)

<i>Incertitude relative élargie obtenue par l'AMS lors de la démonstration d'équivalence : W_{AMS} (%)</i>	≤10	10 à 15	15 à 20	20 à 25
Nombre de sites minimum	2	3	4	5

Tableau 5 : Nombre de sites minimal par an pour la vérification en continu de l'adéquation des AMS selon l'incertitude déterminée lors des essais d'approbation de type

	PM_{2,5}		PM₁₀	
	Incertitude relative élargie (W)	Nombre de sites minimal	Incertitude relative élargie (W)	Nombre de sites minimal
TEOM-FDMS (8500C, 1405-F et 1405-DF)	11,2% < < 19%	4	8,4% < < 17,6%	4
MP101M-RST	17%	4	12,8% < < 13,8%	3
BAM 1020	13%	3	10%	2
FIDAS 200	14,4%	3	7,5%	2

Ainsi, les comparaisons doivent être réalisées, pendant une année entière, sur le nombre de sites minimum définis dans le Tableau 5, au cours de laquelle un minimum de 80 paires (AMS+MR) de données valides doit être recueilli pour chaque fraction (PM₁₀ et PM_{2,5}). Les sites peuvent être modifiés chaque année afin d'augmenter la couverture du réseau de surveillance et doivent être représentatifs des diverses conditions caractéristiques du réseau.

3.4.2 Évaluation des résultats des essais

Selon la NF EN 16450, les résultats des essais de suivi d'équivalence doivent être évalués tous les ans en utilisant les données cumulées sur les trois années précédentes.

Sur la totalité de l'ensemble de données, au moins 20 % des résultats obtenus avec la méthode de référence doivent être supérieurs à :

- 28 µg/m³ pour la fraction PM₁₀ ;
- 17 µg/m³ pour la fraction PM_{2,5}.

Lorsqu'en raison de faibles niveaux de concentration, les critères des 20 % de résultats supérieurs à 28 µg/m³ pour la fraction PM₁₀, ou supérieurs à 17 µg/m³ pour la fraction PM_{2,5}, ne peuvent être respectés, on considère comme suffisant un minimum de 32 résultats supérieurs à ces seuils.

En théorie, si les AMS et la méthode de référence (MR) sont pleinement équivalents, la relation entre les résultats des deux méthodes peut être décrite par une relation linéaire $y = x$. Cependant, puisque les mesurandes des deux méthodes sont généralement différents, on suppose que la relation entre les résultats de mesure des AMS et ceux de la méthode de référence peut être décrite par une relation linéaire du type : $y = bx + a$, où :

- y est le résultat d'un AMS sur une période unique de 24 h, (en µg/m³ aux conditions ambiantes) ;
- x est le résultat de la méthode de référence sur la même période unique de 24 h, (en µg/m³ aux conditions ambiantes) ;
- a est l'ordonnée à l'origine de la fonction de correction ;
- b est la pente de la fonction de correction.

La relation entre les résultats des AMS et les résultats de la méthode de référence doit être établie pour chacun des AMS individuellement selon la technique décrite dans la NF EN 16450 :

- pour l'ensemble de tous les résultats ;
- pour deux ensembles de données obtenus en répartissant la totalité de l'ensemble de données d'après les concentrations de matière particulaire : concentrations supérieures ou égales à $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la fraction PM_{10} , concentrations supérieures ou égales à $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la fraction $\text{PM}_{2,5}$, à condition que le sous-ensemble contienne 40 paires de données valides au minimum ;
- pour les ensembles de données de chacun des sites.

Pour chacun des sous-ensembles ci-dessus, les résultats pourront mettre en évidence la nécessité d'appliquer une fonction de correction. Celle-ci est obtenue en utilisant les valeurs obtenues pour la pente et/ou l'ordonnée à l'origine de la totalité des paires de données lorsque :

- les résultats des essais montrent que la pente s'écarte de manière significative de 1 soit $|b-1| \leq 2u_b$ où u_b est l'incertitude-type de la pente b , calculée comme la racine carrée de sa variance ;
- et/ou que l'ordonnée à l'origine s'écarte de manière significative de 0 soit $|a| \leq 2u_a$ où u_a est l'incertitude-type de l'ordonnée à l'origine a , calculée comme la racine carrée de sa variance.

Au final, une même et unique fonction de correction doit être appliquée à tous les sites/sous-ensembles.

Il est inutile d'appliquer une fonction de correction lorsque :

- la valeur de la pente est : $0,980 \leq b \leq 1,020$; et/ou
- la valeur de l'ordonnée à l'origine est : $-1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3 \leq a \leq 1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$; ou
- l'introduction de termes d'incertitude supplémentaires conduit à une modification non significative de l'incertitude composée de l'AMS; ou
- lorsque les domaines d'incertitude de la MR et de l'AMS se recouvrent.

A noter que la directive 2008/50/CE stipule une exigence de 25% pour l'incertitude élargie maximale admissible pour la mesure des concentrations massiques de PM. Cette exigence s'applique aux voisinages de la valeur limite. En l'absence de valeur limite journalière pour les $\text{PM}_{2,5}$, une valeur journalière de substitution de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ peut être utilisé pour le calcul des incertitudes.

La Figure 2 synthétise l'ensemble du processus d'évaluation des essais.

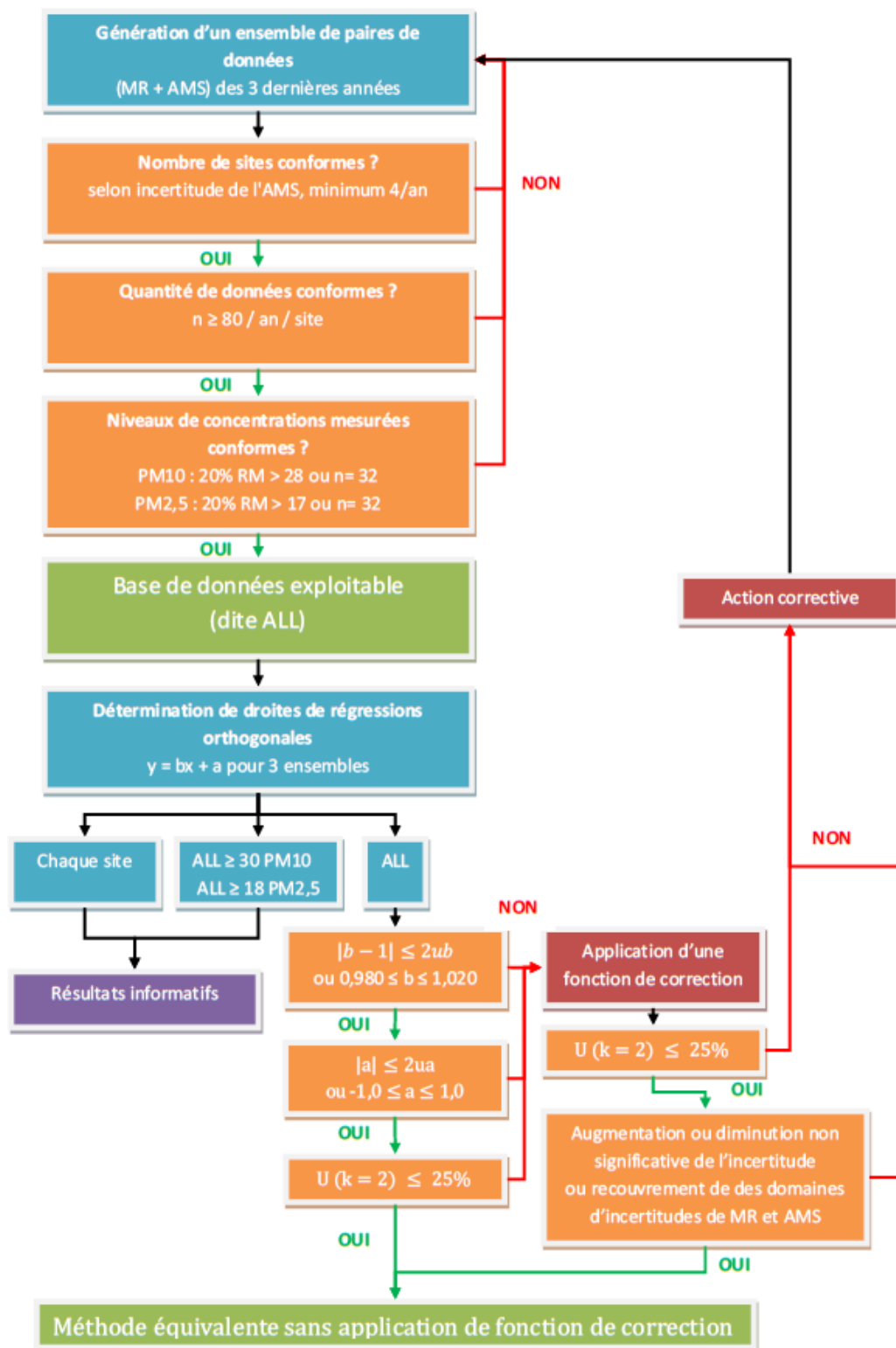


Figure 2 : Processus d'évaluation des essais

4. RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1 Ecart aux exigences méthodologiques de la NF EN 16450

Les campagnes de suivi d'équivalence conduites entre 2013 et 2015 étaient exploratoires et réalisées en prévision de la publication de la norme. Elles ont permis de consolider les procédures de fonctionnement des études ainsi que la liste des sites de mesure participants. Néanmoins, un certain nombre de sites ne rassemblent pas encore un jeu de donnée répondant aux exigences de la norme.

Leur bilan ne doit donc pas conduire à des conclusions définitives sur la performance des AMS actuellement conformes en France mais permet d'indiquer une tendance sur leur performance.

En raison du non-respect, dans cette phase de démarrage, des exigences sur le nombre annuel de paires de données recueillies, il a été choisi pour ce bilan de cumuler les résultats de la fin de l'année 2014 afin de compléter la base de données pour obtenir un jeu de donnée plus conséquent. Le présent bilan a donc été réalisé sur une plage de temps de 3,5 ans.

4.2 Résultats du suivi en continu de l'adéquation du BAM 1020

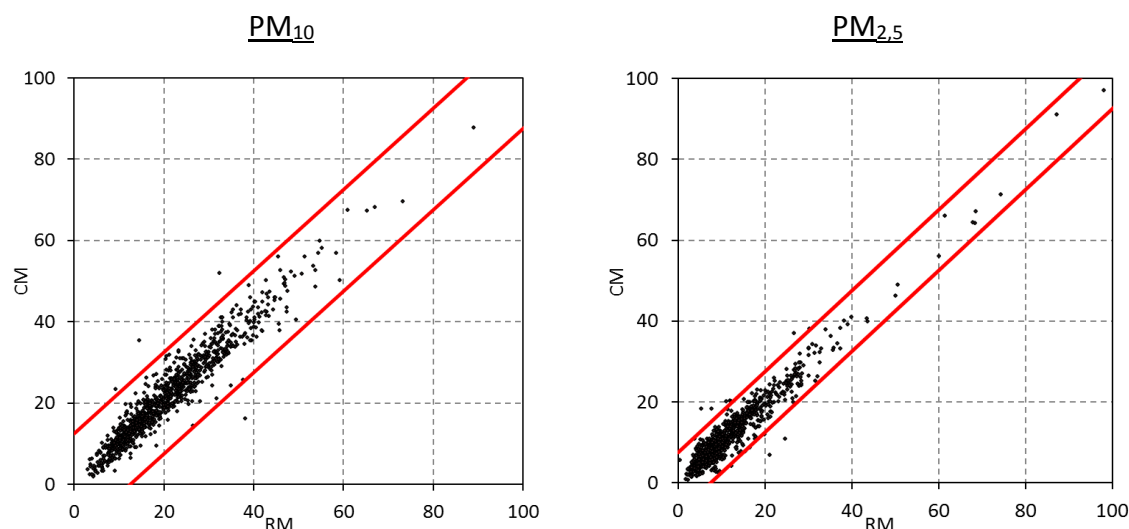


Figure 3 : Ensemble des mesures PM_{10} et $PM_{2,5}$ obtenues avec les AMS de type BAM 1020 lors des campagnes entre fin 2014-2017

La BAM 1020 a été évaluée, entre juillet 2014 et décembre 2017, pour les fractions PM_{10} et $PM_{2,5}$, sur six sites de fond urbain, trois sites trafic et un site de fond rural.

Sur les dix sites étudiés, cinq d'entre eux rassemblent au moins 80 paires de données (enregistrées sur une période de plus d'un an et réparti sur les quatre saisons) exigées par la norme NF EN 16450. La base de données devra être complétée lors des prochaines campagnes de mesure afin notamment d'obtenir des jeux de données robustes sur chaque typologie de site (trafic, fond urbain et fond rural).

Tableau 6 : comparaison du présent bilan avec le bilan précédent. Les résultats ne respectant pas les exigences de la norme EN 16450 sont soulignés.

	PM_{10}		$PM_{2,5}$	
	2013-2016	2015-2017	2013-2016	2015-2017
Pente	<u>1,03</u>	<u>1,05</u>	<u>1,05</u>	1
Ordonnée à l'origine	0,59	-0,03	-0,02	0,19
Incertitude (k=2)	15,8%	15,8%	17,3%	16,6%
Nb paires de données	700	1005	722	868

Les résultats obtenus pour la fraction PM_{2,5}, à partir l'ensemble des sites, sont très satisfaisants et les critères (pente, ordonnée à l'origine et incertitude) respectent les exigences de la norme. Ils sont en amélioration par rapport au bilan précédent. Il faut noter une bonne homogénéité des résultats des différents sites. Les résultats du site 41024 montrent des valeurs de pente et d'incertitude extrêmement hautes. Ils doivent être considéré avec prudence puisque les niveaux de concentration sur ce site étaient très faibles (<20 µg/m³) et quelques points de mesure ont été surestimés par le BAM induisant une pente très élevée. Il faudra compléter la base de données de ce site pour pouvoir tirer des conclusions. Ce site sera de nouveaux instrumenté tout au long de l'année 2018.

Concernant la fraction PM₁₀, les résultats obtenus sur l'ensemble des sites présentent une pente de 1,05 et une incertitude élargie de 15,8%. L'incertitude est tout à fait cohérente avec l'incertitude de 25% exigée par la réglementation, néanmoins, la pente ne respecte pas les exigences de la norme NF EN 16450 puisque celle-ci est supérieure à plus de deux fois son incertitude.

Ces résultats sont très similaires à ceux du bilan 2013-2016. Malgré l'utilisation d'un jeu de données plus conséquent, ils semblent confirmer une légère tendance à la surestimation des BAM 1020 en PM₁₀. Néanmoins, les résultats présentent une certaine dispersion puisque deux sites, rassemblant un an de données, montrent des pentes inférieures à 1. Ainsi, l'application d'une fonction de correction sur l'ensemble des résultats de la fraction PM₁₀ (Cf Tableau 7) ne permettrait pas d'améliorer significativement l'incertitude sur chaque site Elle ne peut donc pas être appliquée dans ces conditions conformément à la norme NF EN 16450.

A ce stade, seulement cinq sites présentent un nombre de paires de données supérieur à 80 (trois sites de fond urbain et deux sites trafic). La base de données doit être encore complétée afin d'obtenir assez de données pour l'ensemble des sites. En effet, si ces résultats se confirment, il conviendra de réfléchir à la possibilité de définir des sous-ensembles de sites présentant des contraintes identiques (typologies, conditions climatiques, nature chimique des particules) pouvant expliquer les différences constatées

Tableau 7 : Résultats du suivi en continu de l'adéquation du BAM 1020 à la méthode de référence pour la faction PM₁₀

Campagne	All	All ≥ 30	6	7	9	10	11	13	17	19	6+20	7+21	14+22	15+23
Référence station			16034	24035	14012	4329	4156	1012	41024	31002	16034	24035	10016	15043
Ville			Strasbourg	Nice	Reims	Paris	Paris	Metz	Venaco	Bordeaux	Strasbourg	Nice	Calais	Grenoble
Station			Clémenceau	Magnan	Jean d'Aulan	BP est	Bobigny	Borny	Venaco	Talence	Clémenceau	Magnan	Berthelot	Les frères
Typologie			Trafic	Trafic	Urbain	Trafic	Urbain	Urbain	Rural	Urbain	Trafic	Trafic	Urbain	Urbain
Résultats sur les données brutes														
Paires de données	1005	186	72	89	57	55	49	118	56	40	215	145	133	137
Moyenne de l'AMS	21,8	39,5	25,4	30,2	16,1	28,3	23,5	18,2	10,0	27,7	22,8	32,5	19,9	15,9
Moyenne de la MR	20,8	38,5	23,1	31,2	16,7	26,9	22,4	14,7	10,8	26,0	21,4	30,8	20,0	16,6
Nombre de valeur de la MR > 18 µg/m3 (PM2,5) ou 30 (PM10)	186	186	11	45	1	19	7	5	0	16	35	72	16	15
Nombre de valeur de la MR > 17 µg/m3 (PM2,5) ou 28 (PM10)	150													
Pourcentage de valeur > 17 µg/m3 (PM2,5) ou 28 (PM10)	15%													
Nombre de valeur de la MR > 30 µg/m3 (PM2,5) ou 50 (PM10)	15	15	2	3	0	0	1	0	0	1	6	4	3	0
Paires de données au printemps	196	45	0	9	0	0	0	26	0	0	43	48	38	41
Paires de données en été	241	27	11	13	21	33	0	41	27	0	40	26	22	31
Paires de données en automne	318	62	35	35	29	22	16	16	29	16	79	35	39	37
Paires de données en hivers	250	52	26	32	7	0	33	35	0	24	53	36	34	28
Régression linéaire sur les données brutes														
Pente b	1,05	1,09	1,04	1,09	1,16	1,04	1,05	1,24	1,18	1,04	1,02	1,16	0,94	0,95
Incertitude de la pente ub	0,01	0,04	0,02	0,05	0,06	0,02	0,03	0,04	0,05	0,03	0,01	0,05	0,03	0,02
Ordonnée à l'origine a	-0,03	-2,37	1,28	-3,85	-3,15	0,38	-0,01	-0,05	-2,81	0,56	0,91	-3,17	1,14	0,25
Incertitude de l'ordonnée à l'origine ua	0,22	1,49	0,43	1,76	1,08	0,70	0,70	0,62	0,58	0,75	0,27	1,69	0,58	0,29
Corrélation R ²	0,92	0,77	0,98	0,78	0,84	0,97	0,96	0,89	0,91	0,98	0,97	0,68	0,90	0,96
Pente b avec ordonnée à l'origine forcée par 0	1,05	1,03	1,09	0,97	0,99	1,05	1,05	1,24	0,97	1,06	1,06	1,06	0,98	0,96
Incertitude de la pente avec l'ordonnée à l'origine forcée par 0	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m3)	2,39	2,01	3,40	0,67	4,73	2,23	2,52	12,04	6,38	2,75	2,03	4,76	-1,85	-2,50
Incertitude relative élargie (k=2)	15,8%	19,7%	15,0%	17,0%	22,2%	10,7%	12,2%	49,4%	26,4%	12,9%	10,9%	28,4%	14,8%	11,8%
Régression linéaire après application d'une fonction de correction														
Fonction de correction appliquée	0,954y + 0,024													
Moyenne de l'AMS	20,8	37,7	24,2	28,8	15,4	27,0	22,4	17,4	9,5	26,5	21,8	31,0	19,0	15,2
Moyenne de la MR	20,8	38,5	23,1	31,2	16,7	26,9	22,4	14,7	10,8	26,0	21,4	30,8	20,0	16,6
Nombre de valeur de la MR > 18 µg/m3	188	162	16	33	1	21	8	9	0	13	38	68	18	12
Nombre de valeur de la MR > 25 µg/m3	15	15	2	3	0	0	1	0	0	2	5	5	2	0
Régression linéaire sur les données calibrées														
Pente b	1,00	1,03	0,99	1,03	1,10	0,99	1,00	1,18	1,13	1,00	0,97	1,09	0,89	0,90
Incertitude de la pente ub	0,01	0,04	0,02	0,05	0,06	0,02	0,03	0,04	0,05	0,03	0,01	0,05	0,02	0,01
Ordonnée à l'origine a	0,04	-1,98	1,26	-3,44	-2,90	0,41	0,04	0,02	-2,63	0,57	0,91	-2,67	1,15	0,28
Incertitude de l'ordonnée à l'origine ua	0,21	1,42	0,41	1,67	1,03	0,67	0,67	0,59	0,55	0,72	0,26	1,61	0,56	0,28
Corrélation R ²	0,92	0,77	0,98	0,78	0,84	0,97	0,96	0,89	0,91	0,98	0,97	0,68	0,90	0,96
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m3)	-0,06	-0,44	0,95	-1,77	2,08	-0,17	0,10	9,08	3,70	0,33	-0,37	2,05	-4,12	-4,69
Incertitude relative élargie (k=2)	12,2%	17,3%	7,4%	17,6%	13,9%	6,0%	6,8%	37,8%	16,2%	6,8%	7,4%	21,7%	20,6%	19,8%

Tableau 8 : Résultats du suivi en continu de l'adéquation du BAM 1020 à la méthode de référence pour la faction PM_{2,5}

Campagne	All	All ≥ 18	9	10	11	13	17	6+20	7+21	14+22	15+23
Référence station			14012	4329	4156	1012	41024	16034	24035	10016	15043
Ville			Reims	Paris	Paris	Metz	Venaco	Strasbourg	Nice	Calais	Grenoble
Station			Jean d'Aulan	BP est	Bobigny	Borny	Venaco	Clémenceau	Magnan	Berthelot	Les frênes
Typologie			Urbain	Trafic	Urbain	Urbain	Rural	Trafic	Trafic	Urbain	Urbain
Caractéristiques des données brutes											
Paires de données	868	135	54	50	42	127	45,0	199	131	89	131
Moyenne de l'AMS	12,7	27,9	8,7	17,4	13,6	9,8	7,7	16,0	14,3	10,0	12,1
Moyenne de la MR	12,6	28,5	9,5	15,6	12,6	9,2	5,3	16,3	12,7	9,6	14,6
Nombre de valeur de la MR > 18 µg/m3 (PM2,5) ou 30 (PM10)	159	134	6	13	7	14	0,0	61	11	9	38
Nombre de valeur de la MR > 17 µg/m3 (PM2,5) ou 28 (PM10)	197										
Pourcentage de valeur > 17 µg/m3 (PM2,5) ou 28 (PM10)	23%										
Nombre de valeur de la MR > 30 µg/m3 (PM2,5) ou 50 (PM10)	33	33	1	3	1	0	0	16	1	2	9
Paires de données au printemps	158	22	0	0	0	21	0	21	55	25	36
Paires de données en été	192	7	22	25	0	37	12	49	10	12	25
Paires de données en automne	310	44	25	25	15	38	27	76	34	30	40
Paires de données en hivers	208	62	7	0	27	31	6	53	32	22	30
Régression linéaire sur les données brutes											
Pente b	1,00	1,02	1,02	0,96	0,94	1,00	1,93	1,01	0,95	0,98	1,00
Incertitude de la pente ub	0,01	0,02	0,07	0,03	0,02	0,03	0,14	0,01	0,03	0,04	0,02
Ordonnée à l'origine a	0,19	-1,09	-1,01	2,44	1,75	0,61	-2,56	-0,53	2,15	0,56	-2,45
Incertitude de l'ordonnée à l'origine ua	0,14	0,66	0,81	0,53	0,30	0,33	0,86	0,22	0,38	0,45	0,40
Corrélation R²	0,93	0,94	0,74	0,95	0,98	0,89	0,71	0,98	0,89	0,86	0,93
Pente b avec ordonnée à l'origine forcée par 0	1,01	0,99	0,95	1,09	1,05	1,05	1,55	0,99	1,10	1,02	0,88
Incertitude de la pente avec l'ordonnée à l'originie forcée par 0	0,01	0,01	0,04	0,02	0,01	0,02	0,07	0,01	0,01	0,02	0,01
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m3)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Incertitude relative élargie (k=2)	16,6%	21,6%	21,8%	13,6%	4,4%	12,9%	170,1%	12,8%	10,3%	15,4%	23,3%
Régression linéaire après application d'une fonction de correction											
Fonction de correction appliquée	1,004y -0,196										
Régression linéaire sur les données calibrées											
Pente b	1,00	1,02	1,03	0,97	0,94	1,01	1,94	1,02	0,95	0,99	1,00
Incertitude de la pente ub	0,01	0,02	0,07	0,03	0,02	0,03	0,14	0,01	0,03	0,04	0,02
Ordonnée à l'origine a	0,00	-1,30	-1,21	2,25	1,56	0,41	-2,78	-0,73	1,96	0,36	-2,65
Incertitude de l'ordonnée à l'origine ua	0,14	0,67	0,81	0,54	0,30	0,33	0,87	0,22	0,38	0,45	0,40
Corrélation R²	0,93	0,94	0,74	0,95	0,98	0,89	0,71	0,98	0,89	0,86	0,93
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m3)	0,00	-0,59	-0,34	1,23	-0,13	0,62	25,40	-0,24	0,61	-0,03	-2,57
Incertitude relative élargie (k=2)	16,8%	21,9%	22,0%	13,5%	4,9%	13,0%	170,4%	13,1%	10,4%	15,6%	23,8%

4.3 Résultats du suivi en continu de l'adéquation du MP 101M-RST

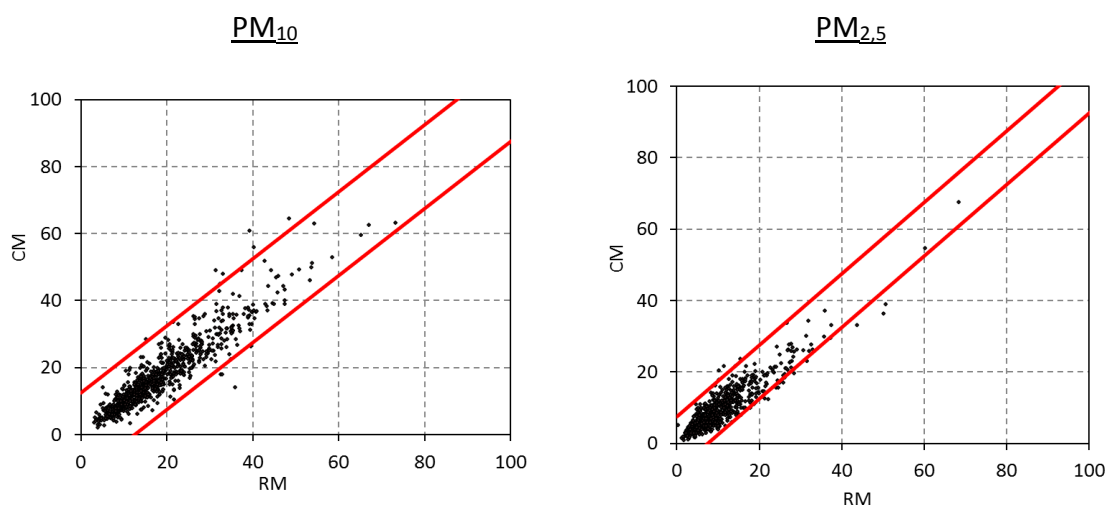


Figure 4 : Ensemble des mesures PM_{10} et $PM_{2,5}$ obtenues avec les AMS de type MP101M-RST lors des campagnes entre fin 2014-2017.

La jauge bêta MP101M-RST a été évaluée, entre juillet 2014 et décembre 2017, sur neuf sites pour la fractions PM_{10} (six sites de fond urbain, deux sites trafic et un site de fond rural) et sur sept sites pour la station $PM_{2,5}$ (quatre sites de fond urbain, deux site trafic et un site de fond rural).

Sur l'ensemble des sites, cinq d'entre eux rassemblent les 80 paires de données (enregistrées sur une période de plus d'un an et réparti sur les quatre saisons) exigées par la norme NF EN 16450. Pour les deux fractions de taille, la base de données devra être complétée lors des prochaines campagnes de mesure.

Tableau 9 : comparaison des résultats du présent bilan avec le bilan précédent pour les MP101M-RST. Les résultats ne respectant pas les exigences de la norme EN 16450 sont soulignées.

	PM_{10}		$PM_{2,5}$	
	2013-2016	2015-2017	2013-2016	2015-2017
Pente	<u>1,01</u>	1	<u>0,90</u>	<u>0,88</u>
Ordonnée à l'origine	-0,53	-0,6	0,22	0,57
Incertitude (k=2)	16%	15,5%	<u>26,3%</u>	<u>27%</u>
Nb paires de données	554	835	740	690

Les résultats obtenus pour la fraction PM_{10} , calculés à partir de l'ensemble des données, montrent une bonne cohérence entre les mesures du MP101M et celles de la méthode de référence avec une bonne stabilité par rapport au bilan 2013-2016. Néanmoins, et de façon similaire au bilan précédent, les résultats montrent des fortes surestimations pour les concentrations hautes ($> 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Enfin, les résultats présentent une forte variabilité d'un site à un autre. Ces observations avaient déjà été formulées dans le rapport du bilan 2013-2016.

Dans le présent bilan, les bases de données des trois sites de Grenoble (15043), de Nice (24035) et de Montpellier (8016) ont pu être complétées grâce aux campagnes de mesure réalisée en 2017. Pour ces trois sites, le bilan ne s'est pas amélioré.

La campagne réalisée à Grenoble au deuxième semestre 2017 (n°23) montrent des résultats similaires à la campagne du premier semestre 2016 à savoir, une sous-estimation des mesures malgré une bonne corrélation avec la méthode de référence. Cette sous-estimation avait été discutée lors du bilan précédent et l'hypothèse avait été faite d'un possible impact de la ligne RST utilisé supérieur à 2,75m en raison de la hauteur de plafond dans cette station.

Les résultats des campagnes réalisées à Nice et Montpellier présentent des surestimations à la méthode de référence. Ces surestimations sont causées par l'existence de quelques points de mesure de concentration assez élevée divergeant assez largement de la valeur de référence, tandis qu'une grande partie des autres mesures semblent équivalente. La Figure 5 ci-dessous illustre ce propos. Elle présente les résultats des campagnes de Nice (trafic) et Montpellier (fond urbain). De telles surestimations des MP pourraient être générées par une mauvaise prise en compte de la température induisant des problèmes de chauffage de la ligne.

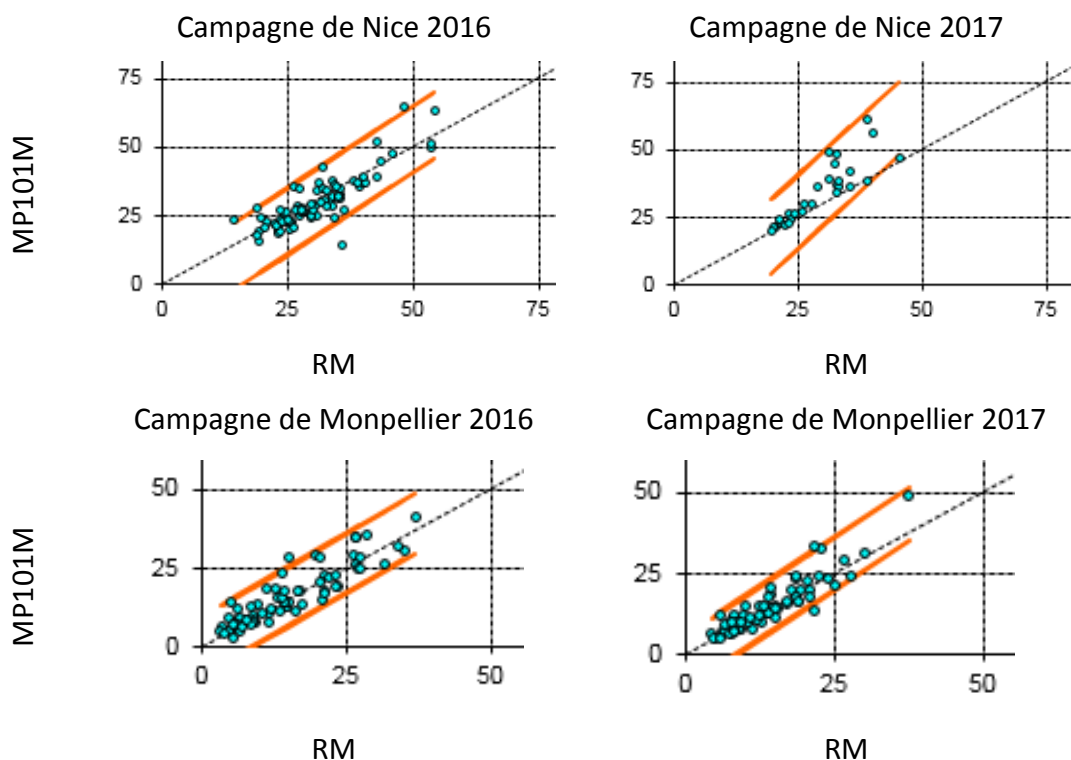


Figure 5 : Régression orthogonale des MP en fonction de la méthode de référence en PM10 pour les sites de Nice et Montpellier

Les résultats obtenus pour la fraction PM_{2,5} montrent des résultats similaires à ceux de la fraction PM₁₀ à savoir une dispersion des résultats d'un site à l'autre, avec certains sites montrant des écarts à la méthode de référence important, ainsi qu'une pente plus élevée pour les concentrations hautes ($> 17\mu\text{g}/\text{m}^3$). Le site de Metz avait été cité dans le bilan précédent pour les résultats de la fraction PM_{2,5}. Nous pouvons constater dans ce bilan que les sites de Grenoble et de Montpellier montrent les mêmes biais que ceux discutés précédemment en PM₁₀ tandis que les résultats du site de Nice sont cette fois équivalents à la méthode de référence.

Néanmoins, contrairement aux résultats PM₁₀, l'utilisation de l'ensemble des données indique ici un résultat peu satisfaisant, à savoir une pente de 0,88 et une incertitude de 27% non conforme à l'exigence requise par la directive 2008/50/CE.

Il est difficile de tirer des conclusions définitives quant à l'équivalence du MP101M étant données la dispersion des résultats d'un site à un autre. En effet, l'application d'une fonction de correction, sur les deux fractions de taille, ne pourrait pas améliorer les résultats de manière significative sur l'ensemble des sites (Cf 3.4.2). Elle ne pourrait donc pas être appliquée dans ces conditions. En outre, il est à noter que la totalité des exigences de la NF EN 16450 ne sont pas encore remplies en ce qui concerne la base de données (le nombre de données et le nombre de points de concentration élevées sont insuffisants).

Lors des prochaines campagnes de mesure, une attention particulière devra être portée à la configuration technique du MP101M notamment en ce qui concerne l'installation de la ligne chauffée et de la sonde de température. En effet, celle-ci a précédemment fait l'objet de travaux de la part du LCSQA menant à des recommandations concernant la configuration technique de la ligne chauffée. Un travail devra être mené afin d'identifier s'il existe des sous-ensembles de type de station ou de configuration technique pour lesquels les résultats divergent.

Tableau 10 : Résultats du suivi en continu de l'adéquation du MP101M-RST à la méthode de référence pour la faction PM₁₀

Campagne	All	All ≥ 30	8	9	13	14	17	20	7+21	15+23	16+24
Référence station			14010	14012	1012	10016	41024	16034	24035	15043	8016
Ville			Reims	Reims	Metz	Calais	Venaco	Strasbourg	Nice	Grenoble	Montpellier
Station			Betheny	Jean d'Aulan	Borny	Berthelot	Venaco	Clémenceau	Magnan	Les Frênes	Prés d'arènes
Typologie			Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Rural	Trafic	Trafic	Urbain	Urbain
Caractéristiques des données brutes											
Paires de données	835	113	43	62	119	60	37	140	112	124	138
Moyenne de l'AMS	17,9	36,5	16,2	14,9	13,7	19,8	10,0	19,7	31,0	14,2	15,2
Moyenne de la MR	18,5	38,4	15,4	15,3	14,7	21,4	10,4	20,7	30,5	16,9	14,5
Nombre de valeur de la MR > 18 µg/m3 (PM2,5) ou 30 (PM10)	113	113	0	1	5	9	0	25	54	14	5
Nombre de valeur de la MR > 17 µg/m3 (PM2,5) ou 28 (PM10)	93										
Pourcentage de valeur > 17 µg/m3 (PM2,5) ou 28 (PM10)	11%										
Nombre de valeur de la MR > 30 µg/m3 (PM2,5) ou 50 (PM10)	9	9	0	0	0	2	0	4	3	0	0
Paires de données au printemps	228	33	21	0	25	37	0	43	21	40	41
Paires de données en été	206	15	22	21	46	2	7	30	26	31	21
Paires de données en automne	241	33	0	38	16	0	30	38	35	36	48
Paires de données en hivers	160	32	0	3	32	21	0	29	30	17	28
Régression linéaire sur les données brutes											
Pente b	1,00	1,37	1,15	0,90	0,94	0,91	1,04	0,90	1,35	0,83	1,10
Incertitude de la pente ub	0,01	0,08	0,10	0,05	0,05	0,04	0,04	0,02	0,07	0,02	0,04
Ordonnée à l'origine a	-0,60	-16,04	-1,65	1,12	-0,17	0,23	-0,77	1,13	-10,05	0,10	-0,66
Incertitude de la pente avec l'ordonnée à l'origine forcée par 0	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m3)	-0,70	2,35	6,08	-3,72	-3,01	-4,10	1,09	-4,10	7,35	-8,16	4,27
Incertitude relative élargie (k=2)	15,5%	31,7%	26,6%	17,3%	19,2%	22,0%	6,4%	19,2%	38,8%	33,7%	22,5%
Régression linéaire après application d'une fonction de correction											
Fonction de correction appliquée	1,002y + 0,603										
Moyenne de l'AMS	18,5	37,2	16,8	15,5	14,4	20,5	10,6	20,3	31,7	14,9	15,9
Moyenne de la MR	18,5	38,4	15,4	15,3	14,7	21,4	10,4	20,7	30,5	16,9	14,5
Nombre de valeur de la MR > 18 µg/m3	104	90	0	1	3	9	0	21	52	8	10
Nombre de valeur de la MR > 25 µg/m3	12	12	0	0	0	2	0	3	7	0	0
Pente b	1,00	1,37	1,16	0,91	0,95	0,92	1,04	0,90	1,35	0,84	1,10
Incertitude de la pente ub	0,01	0,08	0,10	0,05	0,05	0,04	0,04	0,02	0,07	0,02	0,04
Ordonnée à l'origine a	0,00	-15,50	-1,06	1,72	0,42	0,83	-0,17	1,74	-9,48	0,71	-0,06
Incertitude de l'ordonnée à l'origine ua	0,27	3,17	1,63	0,76	0,83	0,95	0,48	0,44	2,22	0,42	0,65
Corrélation R ²	0,86	0,55	0,66	0,85	0,66	0,90	0,94	0,94	0,67	0,92	0,82
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m3)	0,00	3,07	6,81	-3,02	-2,30	-3,40	1,80	-3,41	8,08	-7,47	4,99
Incertitude relative élargie (k=2)	15,5%	32,8%	29,4%	15,2%	17,8%	20,2%	9,0%	17,2%	41,1%	31,2%	25,0%

Tableau 11 : : Résultats du suivi en continu de l'adéquation du MP101M-RST à la méthode de référence pour la faction PM_{2,5}

Campagne	All	All ≥ 18	13	14	17	20	7+21	15+23	16+24
Référence station			1012	10016	41024	16034	24035	15043	8016
Ville			Metz	Calais	Venaco	Strasbourg	Nice	Grenoble	Montpellier
Station			Borny	Berthelot	Venaco	Clémenceau	Magnan	Les Frênes	Prés d'arènes
Typologie			Urbain	Urbain	Rural	Trafic	Trafic	Urbain	Urbain
Caractéristiques des données brutes									
Paires de données	690	93	129	58	48	117	112	124	102
Moyenne de l'AMS	10,2	21,9	8,7	10,8	6,4	12,6	12,7	9,7	8,6
Moyenne de la MR	11,0	25,9	9,4	10,4	6,3	13,9	12,5	13,1	7,9
Nombre de valeur de la MR > 18 µg/m3 (PM2,5) ou 30 (PM10)	93	93	16	6	2	30	8	28	3
Nombre de valeur de la MR > 17 µg/m3 (PM2,5) ou 28 (PM10)	90								
Pourcentage de valeur > 17 µg/m3 (PM2,5) ou 28 (PM10)	13%								
Nombre de valeur de la MR > 30 µg/m3 (PM2,5) ou 50 (PM10)	16	16	0	2	0	5	1	7	1
Paires de données au printemps	165	21	21	25	0	22	34	35	28
Paires de données en été	159	6	37	11	12	37	10	27	25
Paires de données en automne	224	32	40	0	30	39	34	45	36
Paires de données en hivers	142	34	31	22	6	19	34	17	13
Régression linéaire sur les données brutes									
Pente b	0,88	0,99	0,75	1,00	1,00	0,92	1,02	0,77	1,10
Incertitude de la pente ub	0,01	0,04	0,04	0,06	0,03	0,02	0,04	0,02	0,06
Ordonnée à l'origine a	0,57	-3,72	1,66	0,30	0,08	-0,10	0,02	-0,36	-0,02
Incertitude de l'ordonnée à l'origine ua	0,18	1,15	0,40	0,77	0,28	0,34	0,51	0,33	0,52
Corrélation R²	0,84	0,83	0,73	0,78	0,95	0,95	0,84	0,91	0,74
Pente b avec ordonnée à l'origine forcée par 0	0,91	0,86	0,89	1,02	1,01	0,91	1,02	0,75	1,10
Incertitude de la pente avec l'ordonnée à l'origine forcée par 0	0,01	0,01	0,02	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,03
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m3)	-3,07	-4,10	-5,87	0,37	0,19	-2,61	0,66	-7,39	3,07
Incertitude relative élargie (k=2)	27,0%	35,9%	42,0%	21,2%	7,0%	22,3%	13,2%	50,9%	28,3%
Régression linéaire après application d'une fonction de correction									
Fonction de correction appliquée	1,138y -0,648								
Moyenne de l'AMS	11,0	24,2	9,2	11,6	6,7	13,7	13,9	10,4	9,2
Moyenne de la MR	11,0	25,9	9,4	10,4	6,3	13,9	12,5	13,1	7,9
Nombre de valeur de la MR > 18 µg/m3	98	73	9	6	2	30	20	21	10
Nombre de valeur de la MR > 25 µg/m3	17	17	0	3	1	6	3	4	0
Pente b	1,01	1,14	0,87	1,16	1,15	1,05	1,18	0,88	1,28
Incertitude de la pente ub	0,02	0,05	0,04	0,07	0,04	0,02	0,04	0,02	0,06
Ordonnée à l'origine a	-0,13	-5,24	1,07	-0,50	-0,58	-0,81	-0,79	-1,13	-0,87
Incertitude de l'ordonnée à l'origine ua	0,20	1,31	0,45	0,88	0,31	0,38	0,58	0,37	0,59
Corrélation R²	0,84	0,83	0,73	0,78	0,95	0,95	0,84	0,91	0,74
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m3)	0,22	-1,11	-2,81	4,29	3,80	0,58	4,48	-4,83	7,56
Incertitude relative élargie (k=2)	20,6%	27,9%	25,9%	37,6%	26,8%	16,8%	33,3%	35,7%	55,4%

4.4 Résultats du suivi en continu de l'adéquation du TEOM FDMS 8500

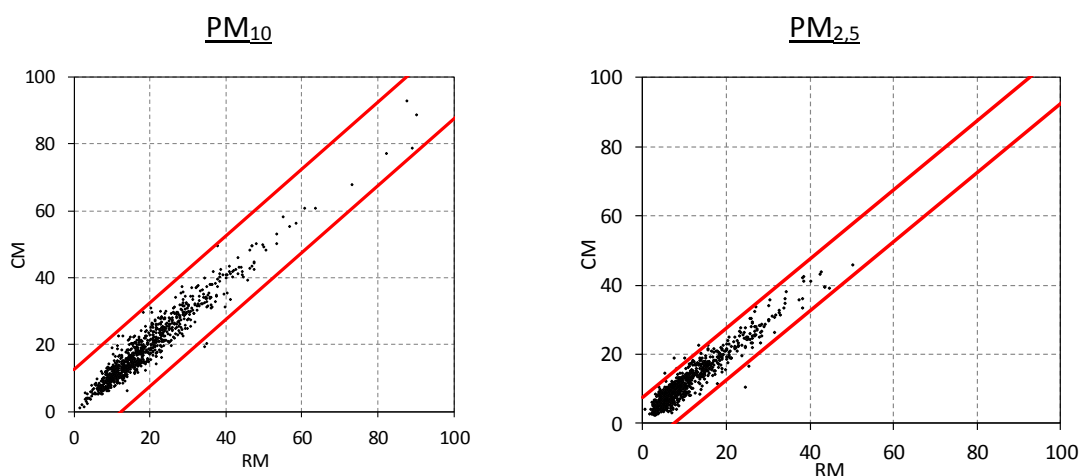


Figure 6 : Ensemble des mesures PM_{10} et $PM_{2,5}$ obtenues avec les AMS de type TEOM FDMS 8500 lors des campagnes entre fin 2014-2017.

L'équivalence du TEOM FDMS 8500 a été évaluée entre juillet 2014 et décembre 2017 sur dix sites pour la fraction PM_{10} (sept sites de fond urbain, deux sites trafic et un site de fond rural) et neuf sites pour la fraction $PM_{2,5}$ (six sites de fond urbain, deux sites trafic et un site de fond rural).

Sur l'ensemble des sites, quatre sites (15023, 16034, 10016 et 1012) remplissent les exigences de la norme NF EN 16450 en présentant plus de 80 paires de données réparties sur une période d'un an et cinq pour la fraction $PM_{2,5}$ (15023, 16034, 10016, 1012 et 8016).

Tableau 12 : comparaison des résultats du présent bilan avec le bilan précédent pour type TEOM FDMS 8500. Les résultats ne respectant pas les exigences de la norme EN 16450 sont soulignés.

	PM_{10}		$PM_{2,5}$	
	2013-2016	2015-2017	2013-2016	2015-2017
Pente	0,99	0,99	<u>0,96</u>	<u>0,975</u>
Ordonnée à l'origine	0,43	0,86	<u>1,98</u>	0,97
Incertitude (k=2)	11,3%	10,9%	15,2%	16,4%
Nb paires de données	892	915	833	867

Les résultats obtenus sur la fraction PM_{10} , à partir de l'ensemble des données sont très satisfaisants puisque les critères sur la pente (0,99), l'ordonnée à l'origine (0,86) et l'incertitude (10,9%) sont remplis. L'adéquation est également vérifiée pour les hautes concentration ($> 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Ces résultats sont tout à fait similaires à ceux du bilan précédent.

Les résultats de la fraction $PM_{2,5}$ sont légèrement meilleurs que lors du bilan précédent mais présentent toujours une légère sous-estimation de l'AMS par rapport à la méthode de référence avec une pente de 0,975. Néanmoins, notons que cette valeur est proche de la valeur limite de 0,98 (valeur au-dessus de laquelle l'application de la fonction de correction n'est pas nécessaire selon NF EN 16450). L'application d'une fonction de correction ici n'améliore ni l'incertitude globale ni les résultats de chaque site, étant donnée la dispersion des résultats. Dans ces conditions, elle ne devrait pas être réalisée selon la norme EN 16450.

Tableau 13 : Résultats du suivi en continu de l'adéquation du TEOM FDMS 8500 à la méthode de référence pour la faction PM₁₀

Campagne	ALL	ALL ≥ 30	9	10	11	12	13	17	19	6+20	14+22	15+23
Référence station			14012	4329	4156	7004	1012	14013	Bordeaux	16034	10016	15043
Ville			Reims	Paris	Paris	Clermont	Metz	Venaco	talence	Strasbourg	Calais	Grenoble
Station			Jean d'Aulan	BP est	Bobigny	Montferrand	Borny	Venaco		Clémenceau	Berthelot	Les Frênes
Typologie			Urbain	Trafic	Urbain	Urbain	Urbain	rural	urbain	trafic	Urbain	Urbain
Caractéristiques des données brutes												
Paires de données	915	118	43	55	49	59	121	57	40	224	132	135
Moyenne de l'AMS	19,7	39,0	19,1	28,3	23,5	18,0	17,4	8,2	28,0	22,1	19,7	16,0
Moyenne de la MR	18,9	39,3	17,0	26,9	22,4	17,0	14,7	10,7	26,0	21,1	20,0	16,4
Nombre de valeur de la MR > 18 µg/m3 (PM2,5) ou 30 (PM10)	118	118	1	19	7	4	5	0	16	36	16	14
Nombre de valeur de la MR > 17 µg/m3 (PM2,5) ou 28 (PM10)	152											
Pourcentage de valeur > 17 µg/m3 (PM2,5) ou 28 (PM10)	13%											
Nombre de valeur de la MR > 30 µg/m3 (PM2,5) ou 50 (PM10)	11	11	0	0	1	0	0	0	1	6	3	0
Paires de données au printemps	144	19	0	0	0	0	26	0	0	43	37	38
Paires de données en été	224	13	18	33	0	0	46	27	0	47	22	31
Paires de données en automne	323	44	24	22	16	43	16	30	16	79	39	38
Paires de données en hivers	224	42	1	0	33	16	33	0	24	55	34	28
Régression linéaire sur les données brutes												
Pente b	0,99	0,96	1,14	1,04	1,05	1,00	1,04	0,68	1,05	0,94	0,94	0,92
Incertitude de la pente ub	0,01	0,03	0,08	0,02	0,03	0,02	0,05	0,05	0,02	0,01	0,02	0,02
Ordonnée à l'origine a	0,86	1,31	-0,31	0,38	-0,01	0,95	2,07	0,94	0,56	2,29	0,84	0,90
Incertitude de la pente avec l'ordonnée à l'origine forcée par 0	0,00	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m3)	0,57	-0,68	6,63	2,23	2,52	1,15	4,24	-15,20	3,19	-0,65	-2,07	-2,98
Incertitude relative élargie (k=2)	10,9%	12,7%	29,4%	10,7%	12,2%	6,4%	21,8%	61,1%	13,4%	8,0%	12,9%	14,3%
Régression linéaire après application d'une fonction de correction												
Fonction de correction appliquée	1,006y -0,861											
Moyenne de l'AMS	18,9	38,4	18,3	27,6	22,8	17,2	16,7	7,3	27,3	21,8	19,3	15,7
Moyenne de la MR	18,9	39,3	17,0	26,9	22,4	17,0	14,7	10,7	26,0	21,1	20,0	16,4
Nombre de valeur de la MR > 18 µg/m3	121	104	2	23	8	4	6	0	17	39	16	10
Nombre de valeur de la MR > 25 µg/m3	11	11	0	0	1	0	0	0	2	5	3	0
Régression linéaire sur les données calibrées												
Pente b	1,00	0,97	1,15	1,04	1,06	1,01	1,05	0,68	1,06	0,94	0,94	0,92
Incertitude de la pente ub	0,01	0,03	0,08	0,02	0,03	0,02	0,05	0,05	0,02	0,01	0,02	0,02
Ordonnée à l'origine a	0,00	0,44	-1,19	-0,48	-0,87	0,10	1,21	0,08	-0,30	1,93	0,48	0,54
Incertitude de l'ordonnée à l'origine ua	0,19	1,23	1,38	0,70	0,70	0,39	0,76	0,56	0,50	0,27	0,46	0,36
Corrélation R ²	0,93	0,89	0,81	0,97	0,96	0,98	0,76	0,76	0,99	0,97	0,94	0,94
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m3)	0,01	-1,26	6,11	1,67	1,96	0,58	3,72	-15,84	2,64	-0,93	-2,35	-3,27
Incertitude relative élargie (k=2)	10,8%	13,6%	27,6%	9,1%	10,6%	5,4%	20,3%	63,7%	11,5%	8,6%	13,7%	15,3%

Tableau 14 : Résultats du suivi en continu de l'adéquation du TEOM FDMS 8500 à la méthode de référence pour la fraction PM_{2,5}.

Campagne	ALL	ALL ≥ 18	6	9	12	13	17	6+20	14+22	15+23	16+24
Référence station			16034	14012	7004	1012	14013	16034	10016	15043	8016
Ville			Strasbourg	Reims	Clermont	Metz	Venaco	Strasbourg	Calais	Grenoble	Montpellier
Station			Clémenceau	Jean d'Aulan	Montferrand	Borny	Venaco	Clémenceau	Berthelot	Les Frênes	Près d'arènes
Typologie			Trafic	Urbain	Urbain	Urbain	rural	trafic	urbain	urbain	urbain
Caractéristiques des données brutes											
Paires de données	867	149	79	69	54	125	47	195	103	139	135
Moyenne de l'AMS	11,9	25,2	15,5	9,8	13,6	12,1	7,6	16,0	7,9	12,2	10,4
Moyenne de la MR	11,2	25,5	15,2	8,1	12,7	9,4	6,3	14,4	9,3	14,3	9,2
Nombre de valeur de la MR > 18 µg/m3 (PM2,5) ou 30 (PM10)	148	148	25	2	13	16	2	55	9	39	12
Nombre de valeur de la MR > 17 µg/m3 (PM2,5) ou 28 (PM10)	150										
Pourcentage de valeur > 17 µg/m3 (PM2,5) ou 28 (PM10)	17%										
Nombre de valeur de la MR > 30 µg/m3 (PM2,5) ou 50 (PM10)	23	23	5	0	0	0	0	10	2	9	2
Paires de données au printemps	144	18	0	0	0	21	0	22	25	37	39
Paires de données en été	204	5	13	35	0	33	12	49	24	27	24
Paires de données en automne	313	52	37	21	41	40	29	76	27	45	34
Paires de données en hivers	206	74	29	13	13	31	6	48	27	30	38
Régression linéaire sur les données brutes											
Pente b	0,975	0,94	0,97	0,981	1,03	0,99	0,93	0,93	1,04	0,94	1,10
Incertitude de la pente ub	0,01	0,03	0,03	0,06	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02	0,03
Ordonnée à l'origine a	0,97	1,27	0,70	1,83	0,53	2,82	1,68	2,52	-1,79	-1,17	0,40
Incertitude de la pente avec l'ordonnée à l'origine forcée par 0	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,02	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m3)	0,22	-0,61	-0,11	1,26	1,37	2,38	-0,46	0,48	-0,59	-3,02	3,27
Incertitude relative élargie (k=2)	16,4%	20,0%	11,5%	16,9%	10,5%	18,2%	4,8%	14,3%	14,9%	24,0%	24,9%
Régression linéaire après application d'une fonction de correction											
Fonction de correction appliquée	1,025y -0,993										
Moyenne de l'AMS	11,2	24,8	14,9	9,1	13,0	11,4	6,8	15,4	7,1	11,5	9,7
Moyenne de la MR	11,2	25,5	15,2	8,1	12,7	9,4	6,3	14,4	9,3	14,3	9,2
Nombre de valeur de la MR > 18 µg/m3	154	135	25	4	16	18	2	61	7	33	13
Nombre de valeur de la MR > 25 µg/m3	24	24	4	0	0	0	0	10	3	7	4
Régression linéaire sur les données calibrées											
Pente b	1,00	0,96	1,00	1,01	1,05	1,01	0,95	0,96	1,07	0,96	1,12
Incertitude de la pente ub	0,01	0,03	0,03	0,06	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02	0,03
Ordonnée à l'origine a	-0,02	0,25	-0,29	0,85	-0,46	1,89	0,73	1,59	-2,85	-2,20	-0,59
Incertitude de l'ordonnée à l'origine ua	0,15	0,88	0,45	0,58	0,28	0,26	0,20	0,29	0,41	0,32	0,29
Corrélation R²	0,90	0,83	0,95	0,74	0,98	0,93	0,97	0,94	0,88	0,95	0,93
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m3)	0,03	-0,84	-0,33	1,16	1,18	2,23	-0,69	0,27	-0,80	-3,32	3,15
Incertitude relative élargie (k=2)	16,9%	21,0%	12,2%	17,2%	9,9%	17,6%	6,5%	14,7%	15,9%	25,9%	24,5%

4.5 Résultats du suivi en continu de l'adéquation du TEOM FDMS 1405-F

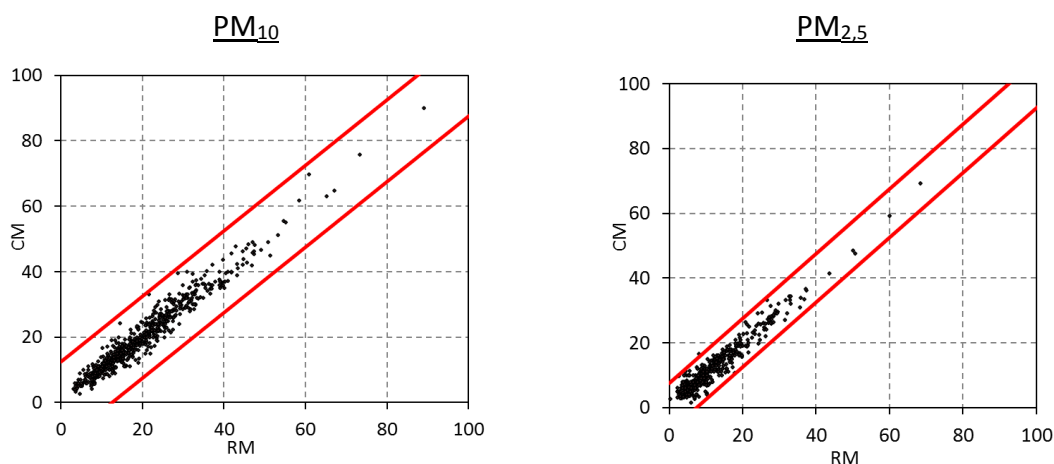


Figure 7 : Ensemble des mesures PM₁₀ et PM_{2,5} obtenues avec les AMS de type TEOM FDMS 1405-F lors des campagnes entre fin 2014-2017.

L'équivalence du TEOM FDMS 1405-F a été évaluée entre juillet 2014 et décembre 2017 sur huit sites pour la fraction PM₁₀ (cinq sites de fond urbain, deux sites trafic et un site de fond rural) et sept sites pour la fraction PM_{2,5} (quatre sites de fond urbain, deux sites trafic et un site de fond rural).

Deux sites (15023 et 16034) remplissent les exigences de la norme NF EN 16450 en présentant plus de 80 paires de données réparties sur une période d'un an. Le nombre total de données est plus faible que pour les instruments traités précédemment puisque celui-ci a été mis sur le marché plus récemment. La base de données de cet instrument doit être encore complétée.

Tableau 15 : comparaison des résultats du présent bilan avec le bilan précédent pour les TEOM FDMS 1405-F. Les résultats ne respectant pas les exigences de la norme EN 16450 sont soulignés.

	PM ₁₀		PM _{2,5}	
	2013-2016	2015-2017	2013-2016	2015-2017
Pente	<u>1,04</u>	1	0,95	<u>0,97</u>
Ordonnée à l'origine	0,02	0,17	1,24	0,75
Incertitude (k=2)	13,9%	9,8%	16,1%	14,3%
Nb paires de données	400	638	298	460

Les résultats obtenus pour le FDMS 1405-F sont satisfaisants et meilleurs que lors du bilan précédent. Par ailleurs, notons une très bonne cohérence entre les résultats globaux et les résultats obtenus sur les points de concentration élevées.

Sur la fraction PM₁₀, la pente obtenue à partir de l'analyse de l'ensemble des données est égale à 1 avec une incertitude de 13,9%.

En $PM_{2,5}$, la pente est égale à 0,97 et l'incertitude de 14,3%. Notons que la valeur de la pente est proche de la valeur limite de 0,98 (valeur au-dessus de laquelle l'application de la fonction de correction n'est pas nécessaire selon NF EN 16450).

L'application d'une fonction de correction ici ne permettrait pas d'améliorer significativement les résultats globaux ainsi que les incertitudes de chaque site. Elle ne devrait donc pas être appliquée selon la NF EN 16450. Il faut noter de plus que le nombre de paires de données disponibles sur cette fraction est plus faible que pour la fraction PM_{10} . Il est possible que les résultats puissent être améliorés quand la base de données sera plus conséquente.

Tableau 16 : Résultats du suivi en continu de l'adéquation du TEOM FDMS 1405-F à la méthode de référence pour la fraction PM₁₀

Campagne	All	All ≥ 30	11	14	17	19	21	24	6+20	15+23
Référence station			4156	10016	41024	31002	24035	8016	16034	15043
Ville			Paris	Calais	Venaco	Talence	Nice	Montpellier	Strasbourg	grenoble
Station			Bobigny	Berthelot			Magnan	Clémenceau	Les Frères	
Typologie			Urbain	Urbain	rural	Urbain	trafic	Urbain	trafic	Urbain
Caractéristiques des données brutes										
Paires de données	638	111	49	71	42	40	56	33	212	135
Moyenne de l'AMS	20,6	38,8	21,1	20,8	11,3	27,4	29,8	17,9	22,3	15,4
Moyenne de la MR	20,4	39,0	22,4	21,0	10,0	26,0	30,1	14,1	21,6	16,5
Nombre de valeur de la MR > 18 µg/m ³ (PM _{2,5}) ou 30 (PM ₁₀)	111	111	7	11	0	16	27	0	36	14
Nombre de valeur de la MR > 17 µg/m ³ (PM _{2,5}) ou 28 (PM ₁₀)	61									
Pourcentage de valeur > 17 µg/m ³ (PM _{2,5}) ou 28 (PM ₁₀)	10%									
Nombre de valeur de la MR > 30 µg/m ³ (PM _{2,5}) ou 50 (PM ₁₀)	11	11	1	2	0	1	1	0	6	0
Paires de données au printemps	161	36	0	38	0	0	39	0	43	41
Paires de données en été	121	9	0	20	12	0	13	0	45	31
Paires de données en automne	199	29	17	0	30	16	0	29	69	38
Paires de données en hivers	157	37	32	13	0	24	4	4	55	25
Régression linéaire sur les données brutes										
Pente b	1,00	1,03	0,99	1,03	1,09	1,05	0,94	1,16	1,01	0,95
Incertitude de la pente ub	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,01	0,02
Ordonnée à l'origine a	0,17	-1,27	-1,19	-0,76	0,43	-0,07	1,55	1,58	0,56	-0,25
Incertitude de la pente avec l'ordonnée à l'origine forcée par 0	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m ³)	0,39	0,15	-1,46	0,72	4,84	2,65	-1,52	9,62	1,06	-2,74
Incertitude relative élargie (k=2)	9,8%	11,3%	9,0%	11,8%	19,7%	12,4%	10,2%	39,3%	9,6%	13,4%
Régression linéaire après application d'une fonction de correction										
Fonction de correction appliquée	0,996y -0,170									
Moyenne de l'AMS	20,4	38,5	20,9	20,6	11,1	27,1	29,5	17,6	22,1	15,2
Moyenne de la MR	20,4	39,0	22,4	21,0	10,0	26,0	30,1	14,1	21,6	16,5
Nombre de valeur de la MR > 18 µg/m ³	116	99	5	11	0	17	24	5	42	12
Nombre de valeur de la MR > 25 µg/m ³	9	9	1	2	0	1	0	0	5	0
Régression linéaire sur les données calibrées										
Pente b	1,00	1,02	0,99	1,03	1,08	1,05	0,93	1,16	1,01	0,95
Incertitude de la pente ub	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,01	0,02
Ordonnée à l'origine a	0,00	-1,42	-1,35	-0,92	0,26	-0,24	1,38	1,40	0,39	-0,41
Incertitude de l'ordonnée à l'origine ua	0,20	1,13	0,71	0,72	0,37	0,72	1,16	0,80	0,32	0,36
Corrélation R ²	0,95	0,92	0,96	0,94	0,96	0,98	0,91	0,94	0,97	0,95
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m ³)	0,00	-0,24	-1,84	0,33	4,43	2,25	-1,90	9,18	0,67	-3,12
Incertitude relative élargie (k=2)	9,8%	11,4%	10,3%	11,7%	18,1%	11,2%	11,3%	37,6%	9,2%	14,8%

Tableau 17 : Résultats du suivi en continu de l'adéquation du TEOM FDMS 1405-F à la méthode de référence pour la fraction PM_{2,5}.

Campagne	All	All ≥ 18	11	14	17	19	20	21	15+23
Référence station			4156	10016	41024	31002	16034	24035	15043
Ville			Paris	Calais	Venaco	Talence	Strasbourg	Nice	Grenoble
Station			Bobigny	Berthelot				Magnan	Les Frênes
Typologie			Urbain	Urbain	rural	Urbain	trafic	trafic	Urbain
Caractéristiques des données brutes									
Paires de données	460	88	42	47	43	53	114	46	115
Moyenne de l'AMS	12,8	26,3	11,4	10,5	9,3	14,9	15,0	12,6	12,7
Moyenne de la MR	12,5	26,6	12,6	10,5	6,5	14,0	14,0	12,0	13,4
Nombre de valeur de la MR > 18 µg/m3 (PM2,5) ou 30 (PM10)	88	88	7	5	2	14	30	3	27
Nombre de valeur de la MR > 17 µg/m3 (PM2,5) ou 28 (PM10)	39								
Pourcentage de valeur > 17 µg/m3 (PM2,5) ou 28 (PM10)	8%								
Nombre de valeur de la MR > 30 µg/m3 (PM2,5) ou 50 (PM10)	17	17	1	1	0	3	5	0	7
Paires de données au printemps	123	19	0	25	0	9	22	40	27
Paires de données en été	92	4	0	12	12	0	36	6	26
Paires de données en automne	132	25	15	0	25	10	37	0	45
Paires de données en hivers	113	40	27	10	6	34	19	0	17
Régression linéaire sur les données brutes									
Pente b	0,97	1,00	0,95	1,12	0,91	0,99	0,99	1,02	0,93
Incertitude de la pente ub	0,01	0,03	0,04	0,06	0,03	0,02	0,01	0,04	0,03
Ordonnée à l'origine a	0,75	-0,23	-0,50	-1,24	3,39	0,94	1,06	0,33	0,23
Incertitude de la pente avec l'ordonnée à l'origine forcée par 0	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,01	0,01	0,01	0,02
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m3)	-0,19	-0,29	-2,02	2,28	0,59	0,73	0,84	1,02	-1,98
Incertitude relative élargie (k=2)	14,3%	15,3%	17,3%	22,3%	7,5%	8,5%	10,8%	9,9%	21,7%
Régression linéaire après application d'une fonction de correction									
Fonction de correction appliquée	1,033y -0,777								
Moyenne de l'AMS	12,5	26,4	11,0	10,0	8,9	14,6	14,7	12,2	12,3
Moyenne de la MR	12,5	26,6	12,6	10,5	6,5	14,0	14,0	12,0	13,4
Nombre de valeur de la MR > 18 µg/m3	83	80	6	5	2	14	30	3	23
Nombre de valeur de la MR > 25 µg/m3	19	19	1	2	0	5	6	0	5
Régression linéaire sur les données calibrées									
Pente b	1,00	1,03	0,98	1,16	0,94	1,03	1,03	1,06	0,96
Incertitude de la pente ub	0,01	0,03	0,04	0,06	0,03	0,02	0,01	0,04	0,03
Ordonnée à l'origine a	-0,01	-1,04	-1,31	-2,08	2,72	0,19	0,31	-0,45	-0,57
Incertitude de l'ordonnée à l'origine ua	0,19	0,83	0,58	0,72	0,29	0,33	0,25	0,57	0,45
Corrélation R ²	0,93	0,93	0,93	0,88	0,95	0,98	0,98	0,92	0,90
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m3)	0,02	-0,09	-1,87	2,60	0,83	0,96	1,07	1,28	-1,81
Incertitude relative élargie (k=2)	15,0%	16,0%	17,0%	24,4%	9,1%	10,1%	12,3%	11,7%	21,8%

4.6 Résultats du suivi en continu de l'adéquation du FIDAS 200

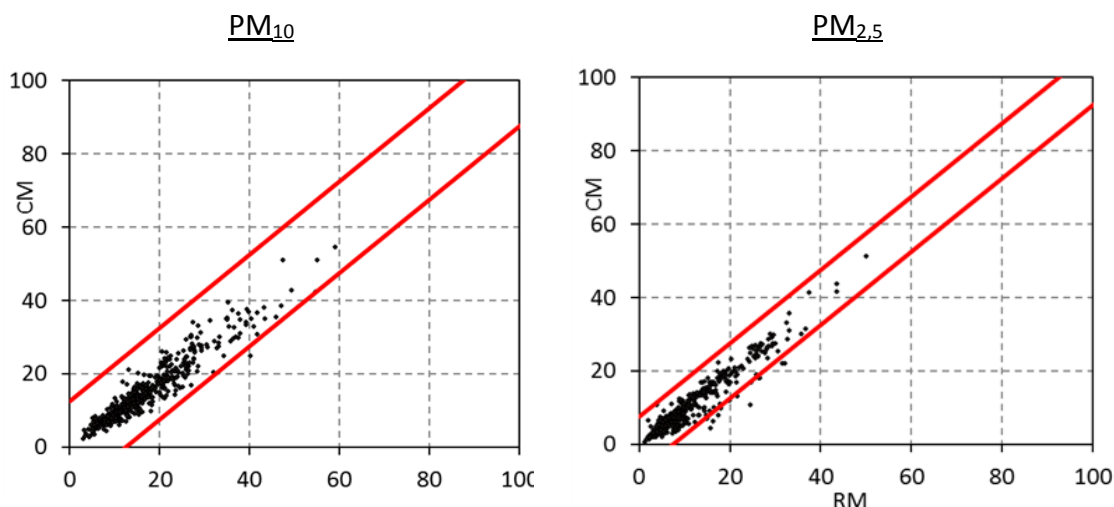


Figure 8 : Ensemble des mesures PM_{10} et $PM_{2,5}$ obtenues avec les AMS de type FIDAS 200 lors des campagnes entre fin 2014-2017.

Les résultats du suivi en continu de l'adéquation du FIDAS 200 à la méthode de référence entre juillet 2014 et décembre 2017 présentés ici, concernent uniquement les sites de fond urbain. En effet, jusqu'en 2017 le FIDAS 200 était déclaré conforme pour la mesure réglementaire uniquement sur ces types de site. Ainsi, les campagnes ont été réalisées sur huit sites de fond urbain pour les fractions PM_{10} et $PM_{2,5}$.

Le FIDAS 200 étant un instrument récent, les campagnes de contrôle de l'équivalence à la méthode de référence ont commencé plus récemment que pour les autres AMS. Ainsi, seulement un site présente plus de 80 paires de données. Il faut noter que des campagnes de comparaison du FIDAS avait été commencées avant 2017. C'est à partir des résultats de ces campagnes que la conformité avait été validée pour la surveillance des PM en France. Les résultats de ces campagnes ont été logiquement utilisés dans le présent bilan, devant rassembler des données sur un pas glissant de trois ans.

La base de données de cet instrument reste incomplète et doit être encore complétée pour répondre aux exigences de la norme NF EN 16450.

Tableau 18 : comparaison des résultats du présent bilan avec le bilan précédent pour les FIDAS 200. Les résultats ne respectant pas les exigences de la norme EN 16450 sont soulignées.

	PM_{10}		$PM_{2,5}$	
	2013-2016	2015-2017	2013-2016	2015-2017
Pente	0,97	<u>0,92</u>	1	<u>0,96</u>
Ordonnée à l'origine	-0,84	-0,46	-0,38	-0,29
Incertitude (k=2)	14,5%	20,6%	11,9%	17%
Nb paires de données	341	489	345	533

Les résultats obtenus sur la fraction PM_{10} , à partir de l'ensemble des données, montrent une sous-estimation du FIDAS vis-à-vis de la méthode de référence avec une pente de corrélation égal $y=0,86x-0,46$. Cependant, la droite de corrélation calculée pour les niveaux de concentration supérieurs à $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectent les critères d'adéquation indiquée par la norme. En l'état, aucune conclusion ne peut être tirée de ces résultats puisqu'un grand nombre d'exigences ne sont pas remplies. En effet, le nombre de données, le nombre de valeur haute et le nombre de site présentant 80 paires de données sont insuffisants. Par ailleurs, la forte dispersion des résultats d'un site à l'autre ne permet pas l'application d'une fonction de correction, celle-ci ne pouvant pas améliorer les résultats sur chaque site. Enfin, l'application d'une fonction de correction dégraderait les résultats pour les concentrations les plus hautes ($>30 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ce qui n'est pas l'effet escompté.

Les résultats obtenus sur la fraction $PM_{2,5}$ sont un peu meilleurs. Les résultats obtenus à partir de l'ensemble des données montrent une sous-estimation des mesures, néanmoins celle-ci est plus faible que pour la fraction PM_{10} . De plus, il faut noter une plus faible dispersion des résultats d'un site à l'autre.

Cette base de données est encore assez insuffisante et devra être complétée par la suite.

Tableau 19 : Résultats du suivi en continu de l'adéquation du FIDAS 200 à la méthode de référence pour la faction PM₁₀

Campagne	ALL	ALL ≥ 30	9	11	12	13	19	22	15+23	16+24
Référence station			14012	4156	7004	1012	31002	8016	15043	8016
Ville			Reims	Paris	Clermont	Metz	Bordeaux	Calais	Grenoble	Montpellier
Station			Jean d'Aulan	Bobigny	Montferrand	Borny	Talence	Berthelot	Les frènes	Prés d'arènes
Typologie			Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
Résultats sur les données brutes										
Paires de données	489	42	73	49	59	62	22	52	111	61
Moyenne de l'AMS	15,3	34,2	15,0	17,9	14,8	13,2	18,8	16,4	14,8	14,8
Moyenne de la MR	17,1	39,0	15,5	22,4	17,0	13,5	25,4	18,8	16,7	15,0
Nombre de valeur de la MR > 18 µg/m3 (PM2,5) ou 30 (PM10)	42	42	1	7	4	2	7	4	14	3
Nombre de valeur de la MR > 17 µg/m3 (PM2,5) ou 28 (PM10)	28									
Pourcentage de valeur > 17 µg/m3 (PM2,5) ou 28 (PM10)	6%									
Nombre de valeur de la MR > 30 µg/m3 (PM2,5) ou 50 (PM10)	3	3	0	1	0	0	1	1	0	0
Paires de données au printemps	103	9	0	0	0	29	0	0	38	36
Paires de données en été	81	1	22	0	0	33	0	0	6	20
Paires de données en automne	185	16	43	17	43	0	0	39	38	5
Paires de données en hivers	120	16	8	32	16	0	22	13	29	0
Régression linéaire sur les données brutes										
Pente b	0,92	1,04	1,15	0,94	0,95	1,11	0,83	0,93	0,981	0,86
Incertitude de la pente ub	0,01	0,10	0,04	0,04	0,02	0,04	0,03	0,03	0,02	0,04
Ordonnée à l'origine a	-0,46	-6,48	-2,81	-3,09	-1,21	-1,79	-2,30	-1,02	-1,61	1,86
Corrélation R ²	0,91	0,65	0,90	0,90	0,96	0,91	0,97	0,94	0,96	0,89
Pente b avec ordonnée à l'origine forcée par 0	0,90	0,88	0,99	0,82	0,89	1,00	0,76	0,89	0,91	0,96
Incertitude de la pente avec l'ordonnée à l'origine forcée par 0	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m3)	-4,48	-4,32	4,46	-6,29	-3,93	3,72	-10,66	-4,50	-2,55	-5,06
Incertitude relative élargie (k=2)	20,6%	24,6%	19,9%	27,2%	16,7%	16,8%	43,3%	19,9%	12,5%	22,5%
Régression linéaire après application d'une fonction de										
Fonction de correction appliquée	1,088y + 0,498									
Moyenne de l'AMS	17,1	37,7	16,8	20,0	16,6	14,9	21,0	18,4	16,6	16,6
Moyenne de la MR	17,1	39,0	15,5	22,4	17,0	13,5	25,4	18,8	16,7	15,0
Nombre de valeur de la MR > 18 µg/m3	50	38	5	6	6	3	5	6	15	4
Nombre de valeur de la MR > 25 µg/m3	3	3	0	1	0	0	0	1	1	0
Régression linéaire sur les données calibrées										
Pente b	1,00	1,16	1,25	1,02	1,03	1,21	0,91	1,01	1,07	0,94
Incertitude de la pente ub	0,01	0,11	0,05	0,05	0,03	0,05	0,04	0,03	0,02	0,04
Ordonnée à l'origine a	-0,07	-7,46	-2,64	-2,96	-0,85	-1,52	-2,04	-0,65	-1,29	2,46
Incertitude de l'ordonnée à l'origine ua	0,27	4,19	0,78	1,11	0,50	0,69	1,04	0,72	0,39	0,70
Corrélation R ²	0,91	0,65	0,90	0,90	0,96	0,91	0,97	0,94	0,96	0,89
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m3)	0,14	0,43	9,92	-1,84	0,66	9,10	-6,68	0,06	2,16	-0,47
Incertitude relative élargie (k=2)	11,4%	19,5%	41,0%	13,8%	7,4%	37,5%	28,1%	9,8%	12,1%	11,2%

Tableau 20 : Résultats du suivi en continu de l'adéquation du TEOM FDMS 1405-F à la méthode de référence pour la fraction PM_{2,5}

Campagne	ALL	ALL ≥ 18	9	11	12	13	19	22	15+23	16+24
Référence station			14012	4156	7004	1012	31002	10016	15043	8016
Ville			Reims	Paris	Clermont	Metz			Grenoble	Montpellier
Station			Jean d'Aulan	Bobigny	Montferrand	Borny	Talence		Les Frênes	Prés d'Arènes
Typologie			Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
Résultats sur les données brutes										
Paires de données	533	69	85	42	55	58	39	45	114	95
Moyenne de l'AMS	10,0	25,0	8,9	11,8	12,3	6,5	13,6	8,2	13,0	7,0
Moyenne de la MR	10,8	26,3	8,9	12,6	12,6	6,4	13,7	7,4	15,5	7,9
Nombre de valeur de la MR > 18 µg/m3 (PM2,5) ou 30 (PM10)	82	69	7	7	13	0	10	3	38	4
Nombre de valeur de la MR > 17 µg/m3 (PM2,5) ou 28 (PM10)	66									
Pourcentage de valeur > 17 µg/m3 (PM2,5) ou 28 (PM10)	12%									
Nombre de valeur de la MR > 30 µg/m3 (PM2,5) ou 50 (PM10)	14	14	1	1	0	0	2	0	9	1
Paires de données au printemps	96	13	0	0	0	21	9	0	37	29
Paires de données en été	108	0	33	0	0	37	0	12	2	24
Paires de données en automne	205	15	39	15	42	0	0	29	45	35
Paires de données en hivers	124	41	13	27	13	0	30	4	30	7
Régression linéaire sur les données brutes										
Pente b	0,96	1,06	0,99	0,93	0,99	1,08	0,91	1,00	1,05	0,92
Incertitude de la pente ub	0,01	0,05	0,04	0,04	0,02	0,07	0,03	0,03	0,03	0,02
Ordonnée à l'origine a	-0,29	-2,78	0,09	0,14	-0,23	-0,34	1,14	0,79	-3,26	-0,19
Incertitude de la pente avec l'ordonnée à l'origine forcée par 0	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m3)	-1,48	-1,10	-0,35	-1,98	-0,44	1,91	-1,68	0,71	-1,83	-2,64
Incertitude relative élargie (k=2)	17,0%	20,3%	12,2%	18,0%	8,1%	14,5%	14,0%	7,6%	24,4%	18,8%
Régression linéaire après application d'une fonction de										
Fonction de correction appliquée	1,041y + 0,3									
Moyenne de l'AMS	10,8	26,3	9,6	12,6	13,1	7,1	14,5	8,8	13,9	7,6
Moyenne de la MR	10,8	26,3	8,9	12,6	12,6	6,4	13,7	7,4	15,5	7,9
Nombre de valeur de la MR > 18 µg/m3	93	66	11	10	20	0	11	3	35	3
Nombre de valeur de la MR > 25 µg/m3	14	14	0	1	0	0	4	0	9	0
Régression linéaire sur les données calibrées										
Pente b	1,00	1,10	1,03	0,97	1,03	1,13	0,94	1,04	1,09	0,96
Incertitude de la pente ub	0,01	0,06	0,04	0,04	0,02	0,07	0,03	0,04	0,03	0,02
Ordonnée à l'origine a	-0,02	-2,72	0,37	0,42	0,06	-0,09	1,48	1,12	-3,13	0,10
Incertitude de l'ordonnée à l'origine ua	0,17	1,52	0,40	0,64	0,35	0,47	0,45	0,32	0,57	0,23
Corrélation R ²	0,92	0,82	0,89	0,91	0,97	0,78	0,97	0,95	0,91	0,94
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m3)	0,03	0,41	1,23	-0,49	1,09	3,67	-0,19	2,31	-0,33	-1,18
Incertitude relative élargie (k=2)	14,8%	20,2%	15,3%	13,5%	11,1%	25,7%	9,3%	16,8%	22,3%	10,9%

5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Ce rapport présente les résultats du suivi en continu de l'adéquation des AMS conformes pour la mesure des PM en France avec la méthode de référence. Cette action, demandée par l'arrêté du 19 avril 2017 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air, a été effectuée en accord avec les exigences de la norme NF EN 16450 encadrant l'utilisation des systèmes de mesure automatisé des PM.

Les résultats présentés ici rassemblent les données obtenues sur la période 2015-2017 qui a été étendue à juillet 2014 afin d'obtenir une base de données plus conséquente. Malgré cela, les bases de données utilisées ne remplissent pas encore les exigences de la norme en termes de nombre et de répartitions. Un bilan plus complet en nombre de paires de données pourra être fait à partir de la fin de l'année 2018. A cette date, une dizaine de sites rassembleront un an de données réparties sur les quatre saisons.

Par conséquent, aucune conclusion définitive sur l'adéquation des AMS à la méthode de référence ou sur la nécessité d'appliquer des fonctions de correction n'est tirée de ce rapport. En effet, les bases de données ne permettent pas encore de répondre aux exigences de la norme NF EN 16450 ou ne permettent pas d'apprécier les résultats selon différents types de site ou de région. De plus, en appliquant le processus d'évaluation indiqué par la norme, dans aucun cas rencontré ici, l'application d'une fonction de correction ne permet d'améliorer significativement les résultats de l'ensemble des sites ni les incertitudes de chaque site pris séparément.

Afin de stabiliser et de renforcer la base de données, la liste des huit AASQA métropolitaines présentées dans le Tableau 1 seront reconduites pour la période 2018-2020. Un site de fond rural sera ajouté à cette liste afin d'améliorer la représentativité des résultats à l'ensemble du territoire. La base de données en site trafic sera également renforcée puisqu'une campagne sur le site trafic « BP_Est », peut présent dans les résultats de ce rapport, a été démarrée début 2018 et pourra être présentée dans le prochain bilan. Le suivi de l'équivalence des AMS à la méthode de référence en métropole sera donc effectué pour la période 2018-2020 sur onze sites soit au total, six sites de fond, trois sites trafic et deux sites de fond rural.

La campagne 2016 en Martinique n'ayant pas donné de résultats satisfaisants, un autre site de mesure en DOM représentative des conditions météorologiques subtropicales doit être ajouté à cette liste.

La mise en place des campagnes de suivi de l'équivalence des AMS à la méthode de référence a été effectuée, depuis 2012 jusqu'ici, sur des périodes d'un semestre sur la majorité des sites. Cette durée était cohérente avec le fait qu'il fallait définir et affiner la liste des stations de mesures participantes. A partir de 2018, et pour une période de trois ans, le suivi d'équivalence sera effectué sur des périodes d'un an afin de faciliter la logistique induite par les installations et désinstallations des campagnes de mesure.

Les résultats obtenus pour la période 2015-2017 sont assez cohérents avec les tendances du bilan précédent. Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 21 : Synthèse des résultats du suivi en continu de l'équivalence des AMS PM en France métropolitaine sur la période 2015-2017.

Modèles d'appareils conformes pour la surveillance des PM	Respect des critères de la norme en termes de résultats		Respect des exigences encadrant l'application d'une fonction de correction	
	PM _{2,5}	PM ₁₀	Amélioration des résultats après correction	Base de données (80 paires de données/site/an, nombre de valeur haute > 20%)
BAM 1020	Oui	Non	Non	Non
MP101M	Non	Oui	Non	Non
TEOM FDMS 8500	Non	Oui	Non	Non
TEOM FDMS 1405	Non	Oui	Non	Non
FIDAS 200 (site de fond urbain)	Non	Non	Non	Non

Le rapport du bilan précédent (2013-2016)⁴ avait conclu sur l'impact important des variabilités saisonnières et géographiques sur les résultats. Il avait également démontré l'impact de la qualité de la base de données sur les résultats. Les mêmes remarques sont reconduites dans ce rapport puisqu'après analyse des données, il est très difficile pour chaque AMS pris individuellement de noter une tendance systématique et reproductible sur l'ensemble des sites.

A l'issu de l'année 2018, un nouveau bilan pourra présenter un an de données sur une majorité de site. Il sera intéressant d'affiner les résultats en isolant des sous-groupes de type de station, de condition météo ou encore de type de pollution, comme le demande la norme EN 16450 lorsque l'équivalence n'est pas démontrée. Ce dernier point renforce la stratégie mise en place par le LCSQA et consistant à obtenir des bases de données robustes sur une douzaine de sites de mesure réparties sur le territoire.

Afin de lever les incertitudes sur certaines mesures validées techniquement mais donnant des résultats statistiques non satisfaisants, une attention toute particulière devra être portée sur les configurations techniques des AMS et tout particulièrement à celle du MP101M. En effet, ce dernier a montré des résultats extrêmement variables d'un site à l'autre.

Enfin, le prochain bilan pourra présenter les premiers résultats du FIDAS en fond rural.



direction et secrétariat du LCSQA

INERIS - parc technologique Alata - BP 2 - F60550 Verneuil-en-Halatte
tél. 03 44 55 64 04 - www.lcsqa.org