LCSQA

Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air

Suivi d'équivalence des analyseurs automatiques de PM_{10} et $PM_{2,5}$ – Bilan 2013-2016

INERIS maîtriser le risque pour un développement durable

LNE Le progrès, une passion à partager

MINES Douai

"L'expertise au service de la qualité de l'air"

Laboratoire Central de Surveillance
de la Qualité de l'Air

SUIVI D'EQUIVALENCE DES ANALYSEURS AUTOMATIQUES DE PM_{10} ET $PM_{2,5}$- BILAN 2013-2016

Stéphane Verlhac (INERIS)

Janvier 2017

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	Stéphane Verlhac	Oliver Favez	Marc Durif
Qualité	Responsable étude de l'Unité CIME Direction des risques chroniques	Responsable étude de l'Unité CIME Direction des risques chroniques	Responsable du Pôle CARA Direction des risques chroniques
Visa			

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

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

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

TABLE DES MATIERES

RESUME **7**

REMERCIEMENTS ET COLLABORATIONS **8**

1. INTRODUCTION **9**

2. SITES D'ETUDES **10**

3. MATERIEL ET METHODES **13**

3.1 Référentiel normatif 13

3.2 Méthode de référence mise en œuvre 13

3.3 Rappel des AMS PM démontrés conformes techniquement 13

3.4 Critères de validation et traitement des données 14

3.4.1 Nombre, durée et fréquence des comparaisons 14

3.4.2 Évaluation des résultats des essais 15

4. RESULTATS ET DISCUSSIONS **18**

4.1 Ecarts aux exigences méthodologiques de la prEN 16450 18

4.2 Grille de lecture des résultats 19

4.1 Résultats obtenus sur la MP101M-RST 20

4.2 Résultats obtenus sur la BAM 24

4.3 Résultats obtenus sur le TEOM 8500 27

4.4 Résultats obtenus sur le TEOM 1405-F 30

4.5 Résultats obtenus sur le TEOM 1405-DF 33

4.6 Résultats obtenus sur le FIDAS 200 35

5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES **38**

6. REFERENCES **39**

RESUME

Conformément à la demande de la Commission Européenne de renforcer le contrôle de la qualité des mesures réglementaires dans l'air ambiant en Europe, le groupe de travail WG15 du CEN/TC 264, auquel participe le LCSQA, travaille depuis 2009 à la rédaction d'un projet de norme pour la mesure des PM à l'aide des méthodes automatiques. Ce texte (prEN 16450), qui sera rendu applicable au second semestre 2017, implique le suivi d'équivalence des analyseurs automatiques de PM pour chaque classe de taille (PM_{10} et $PM_{2,5}$) et chaque type d'instrument utilisé pour la surveillance réglementaire

Ce suivi se traduit par la réalisation périodique d'exercice d'intercomparaison (3 à 4 exercices annuels) avec la méthode de référence sur un nombre de sites devant être représentatifs de l'ensemble des conditions rencontrées sur le territoire national (en termes de typologie de station mais également de climat et de niveau de PM et interférents). Le LCSQA a produit en 2015 une note démontrant le besoin de réaliser ce suivi sur une minimum de douze stations.

Ce rapport présente le bilan des campagnes de 2013 à 2016 et fait suite au premier bilan réalisé sur la période 2011-2014. Il ne doit pas conduire à des conclusions hâtives sur la performance des analyseurs actuellement homologués en France mais permet simplement d'indiquer une tendance sur leur performance (présentée dans le tableau ci-dessous).

Modèle d'appareil équivalent à la méthode de référence	Nécessité d'appliquer une fonction de correction	
	$PM_{2,5}$	PM_{10}
TEOM-FDMS 8500	**Oui**	**Non**
TEOM 1405-F	**Oui**	**Non**
TEOM 1405-DF	**Peu de données disponibles**	
BAM 1020 avec système « Smart Heater »	**Oui**	**Oui**
MP101M avec ligne RST	**Oui**	**Oui**
FIDAS 200	**Non**	**Non**

L'application ou non d'une fonction de correction aux données produites par les AMS PM homologués en France devra être décidée à l'horizon 2019 sur la base des résultats obtenus entre 2016 et 2018 conformément aux prescriptions de la norme prEN 16450.

Il convient de souligner d'ores et déjà la disparité des résultats obtenus sur les sites de typologie trafic. Actuellement au nombre de deux, il conviendrait d'augmenter leur nombre afin de couvrir les différentes conditions rencontrées sur le territoire.

Enfin, le FIDAS, démontré conforme techniquement en 2016 pour la surveillance réglementaire des PM_{10} et $PM_{2,5}$ sur les sites de fond urbain, présente des résultats très encourageants.

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 :

- ✓ Air Languedoc-Roussillon
- ✓ Air Lorraine
- ✓ Air PACA
- ✓ Air Rhône-Alpes
- ✓ AIRPARIF
- ✓ ASPA
- ✓ ATMO Auvergne
- ✓ ATMO Champagne-Ardenne
- ✓ ATMO Nord-Pas-de-Calais
- ✓ Qualitair Corse

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

1. INTRODUCTION

La surveillance réglementaire en France des PM_{10} et $PM_{2,5}$ est réalisée au moyen d'analyseurs automatiques de particules (AMS PM) permettant le suivi dynamique des concentrations.

Conformément à la demande de la Commission Européenne pour un contrôle renforcé de la qualité des mesures réglementaires dans l'air ambiant en Europe, le groupe de travail WG15 du CEN/TC[1] 264 travaille depuis 2009 à la rédaction d'un texte à caractère normatif pour la mesure des PM à l'aide de ce type de méthodes. Dans sa forme actuelle, ce texte est à l'état de projet de norme (prEN 16450 [1]) dont la publication est prévue pour le second semestre 2017 et se base notamment sur le suivi en continu de l'équivalence des analyseurs automatiques. Ainsi, il sera demandé :

- aux constructeurs d'analyseurs automatiques de faire procéder à des tests d'approbation par type intégrant une démonstration d'équivalence à la méthode de référence ;
- à chaque laboratoire national de référence en charge de la coordination de la surveillance de la qualité de l'air de procéder périodiquement à un exercice d'intercomparaison avec la méthode de référence. Le nombre d'analyseurs automatiques sera fonction de l'incertitude élargie obtenue lors des tests d'approbation par type ;
- aux utilisateurs la mise place de processus de contrôle et d'assurance qualité. En France, ces exigences sont reprises dans les guides méthodologiques publiés par le LCSQA.

Par souci d'anticipation, un processus de vérification de l'équivalence a été initié par le LCSQA dès 2011 pour les microbalances à variation de fréquence et jauges bêta et depuis 2015 pour le FIDAS en prévision de sa démonstration de conformité technique (obtenue en 2016). Ce processus consiste en la réalisation de mesures gravimétriques de PM_{10} et $PM_{2,5}$ selon la norme NF EN 12341 [1] en parallèle de mesures automatiques sur plusieurs sites de mesures fixes.

En 2014, le LCSQA a rédigé une note [2] 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 prEN 16450 et a conclu à la nécessité de réaliser le suivi d'équivalence sur une douzaine de sites représentatif du « climat de PM » rencontré sur tout le territoire. Le LCSQA a publié depuis 2011, une dizaine de rapports ou notes techniques à ce sujet (www.lcsqa.org).

Le présent rapport synthétise les résultats obtenus lors des campagnes de suivi d'équivalence réalisée de 2013 à 2016 et fait suite au premier bilan réalisé sur la période 2011-2014 [3].

[1] Conseil technique du comité européen de normalisation

2. SITES D'ETUDES

Pour la période 2013-2016, 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.

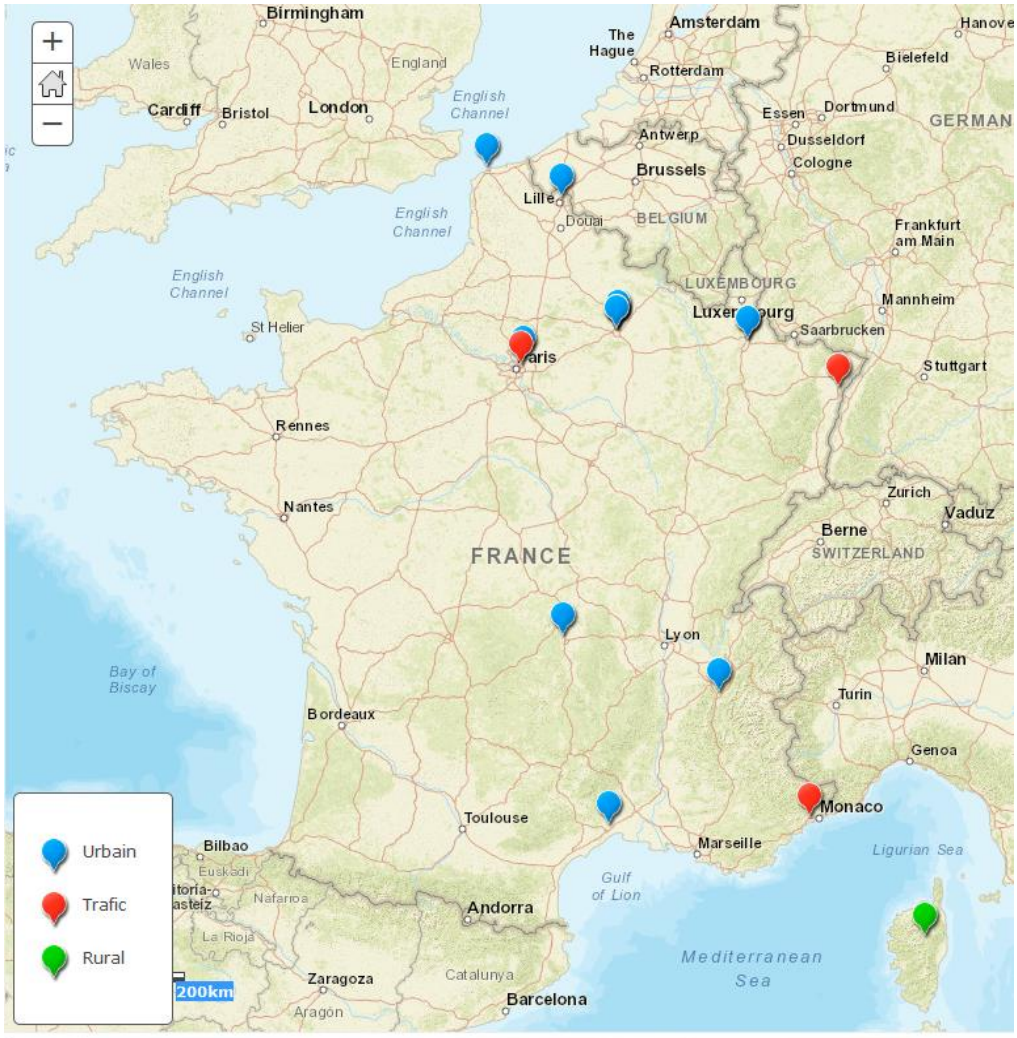


Figure 1 : Sites où a été réalisé le suivi d'équivalence des AMS PM de 2011 à 2014

La partie ouest de la France sera prochainement intégrée au dispositif avec la mise en place du suivi d'équivalence à AIRAQ (station de Talence) depuis septembre 2016 et la perspective d'une station en Normandie pour 2018.

Tableau 1 : Détails des sites où a été réalisé le suivi d'équivalence des AMS PM de 2013 à 2016

AASQA	Référence station	Ville	Station	Typologie
Qualitair Corse	41024	Venaco	Venaco	Rural
ATMO Nord-Pas-de-Calais	11025	Lilles	Fives	Urbain
Air Lorraine	1012	Metz	Borny	Urbain
ASPA	16034	Strasbourg	Clémenceau	Trafic
Air PACA	24035	Nice	Magnan	Trafic
ATMO Champagne-Ardenne	14010	Reims	Betheny	Urbain
ATMO Champagne-Ardenne	14012	Reims	Jean d'Aulan	Urbain
AIRPARIF	4329	Paris	BP est	Trafic
AIRPARIF	4156	Paris	Bobigny	Urbain
ATMO Auvergne	7004	Clermont	Montferrand	Urbain
ATMO Nord-Pas-de-Calais	10016	Calais	Berthelot	Urbain
Air Rhône-Alpes	15043	Grenoble	Les Frênes	Urbain
Air Languedoc-Roussillon	8016	Montpellier	Prés d'arènes	Urbain

Certaines de ces campagnes ont déjà fait l'objet de publications dans le rapport LCSQA synthétisant les résultats sur la période 2011-2014 [1]. Leurs résultats ont été repris pour la constitution de la base de données nécessaire à l'établissement de ce rapport.

Le Tableau 2 présente le planning des campagnes réalisées sur ces différents sites sur la période 2013-2016. Les campagnes 17 à 19 ne sont pas intégrées à ce bilan en raison de l'absence des données validées au moment de la réalisation du traitement statistique.

Tableau 2 : Planning des campagnes de suivi d'équivalence réalisée de 2013 à 2016.

Année	2013												2014												2015												2016											
Mois	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Metz Borny - 1012												5	10	10	10																		13	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
Reims Jean d'Aulan - 14012			1	2,5	2,5	2,5	2,5			4	2,5	2,5	2,5	2,5	10	10	10													9	X	X	X	X	X	X											
Strasbourg Clémenceau - 16034																			6	X	X	X	X	X	X																							
Calais Berthelot- 10016																																				14	X	X	X	X	X	X						
Grenoble Les frênes - 15043																																				15	X	X	X	X	X	X						
Montpellier Prés d'arènes - 8016																																				16	X	X	X	X	X	X						
Venaco - 41024			2	2,5	2,5	2,5	2,5	10	10	10	2,5	2,5	2,5	2,5	10	10	10																									17	X	X	X	X	X	X
Bordeaux Talence - 31002																																												19	X	X	X	X
Fort de France Lycée Bellevue - 39002																																											18	X	X	X	X	X
Nice Magnan - 24035																			7	X	X	X	X	X	X	X	X																					
Lille Fives - 11025 - 8500				3	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10																													
Paris Bpest - 4329																														10	X	X	X	X	X	X	X											
Paris Bobigny - 4156																														11	X	X	X	X	X	X	X											
Clermont - 7004																																	12	X	X	X											
Reims - 14010																												8	X	X																	

Légende :

Numéro de campagne
Fraction PM2,5
Fraction PM10
Alternance fraction PM10/PM2,5
Campagne non intégrée au bilan

3. MATERIEL ET METHODES

Ce chapitre présente le référentiel normatif, la méthode de référence, les différents types d'AMS PM démontrés conforme techniquement 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 en 2013 à la parution d'une spécification technique XP CEN/TS 16450 [4]. 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 le suivi d'équivalence de ces AMS dans le temps. Conformément à la directive 2008/50/CE [5] (révisée par la directive 2015/1480 [10]), la méthode de référence utilisée est conforme à la norme NF EN 12341 [1].

A noter qu'en 2015, cette spécification technique est passée à l'état de projet de norme (prEN 16450 [6]), soumise à enquête publique en 2016 et sera applicable au second semestre 2017.

3.2 Méthode de référence mise en œuvre

Les prélèvements ont ainsi été réalisés selon la norme NF EN 12314 par les AASQA à un débit de 2,3m^3/h sur filtres en PTFE (de type « Teflo », 2µm de porosité, Pall), à l'aide de préleveurs séquentiels conforme aux spécifications de cette même norme. Ils 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.

3.3 Rappel des AMS PM démontrés conformes techniquement

Le Tableau 3 présente la liste des AMS PM démontrés conformes techniquement en France au 1er janvier 2017[2].

Tableau 3 : Analyseurs automatiques de particule homologués

Constructeur	Modèle d'appareil équivalent à la méthode de référence PM_{10} 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, 200E (en fond urbain uniquement)

[2] http://www.lcsqa.org

La prEN 16450 précise également les contrôles et assurance qualité à mettre œuvre pour l'utilisation des AMS PM. Par anticipation et depuis sa parution, Le LCSQA s'est attaché, en collaboration avec les AASQA partenaires, à mettre en œuvre ces contrôles lors des différentes campagnes de suivi d'équivalence par la transposition de ces exigences dans les guides méthodologiques nationaux [7], [8].

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 coordonne pour l'ensemble du réseau national de surveillance le suivi de l'équivalence des méthodes autres que la méthode de référence. 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.

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 au Tableau 4. Le Tableau 5 présente quant à lui le nombre de sites minimal pour chacun des AMS homologués.

Tableau 4 : Exigences relatives aux comparaisons en continu avec la méthode de référence

Incertitude relative élargie obtenue par l'AMS lors de la démonstration d'équivalence W_{AMS}, en %	≤ 10	10 à 15	15 à 20	20 à 25
Nombre de sites minimum (nombre ≥ 2)	2	3	4	5

Tableau 5 : Exigences des AMS homologués selon l'incertitude déterminée lors des essais d'approbation de type

	$PM_{2,5}$		PM_{10}	
	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% < < 19,0%	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%	2	7,5%	2

Ainsi, les comparaisons doivent être réalisées, pendant une année entière, sur le nombre de sites 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 (PM_{10} 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 prEN 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/m^3 pour la fraction PM_{10};
- 17 µg/m^3 pour la fraction $PM_{2,5}$.

Lorsqu'en raison de faibles niveaux de concentration, les critères des 20 % de résultats supérieurs à 28 µg/m^3 pour la fraction PM_{10}, ou supérieurs à 17 µg/m^3 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/m^3 aux conditions ambiantes) ;
- x est le résultat de la méthode de référence sur la même période unique de 24 h, (en µg/m^3 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 prEN 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 µg/m^3 pour la fraction PM_{10}, concentrations supérieures ou égales à 18 µg/m^3 pour la fraction $PM_{2,5}$, 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 $|b - 1| \leq 2ub$ où ub 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 $|a| \leq 2ua$ où ua 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 ≤ b ≤ 1,020 ; et/ou
- la valeur de l'ordonnée à l'origine est : -1,0 µg/m^3 ≤ a ≤ 1,0 µg/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 le 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 $PM_{2,5}$, une valeur journalière a été estimée à 30 µg/m^3 pour permettre le calcul des incertitudes.

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

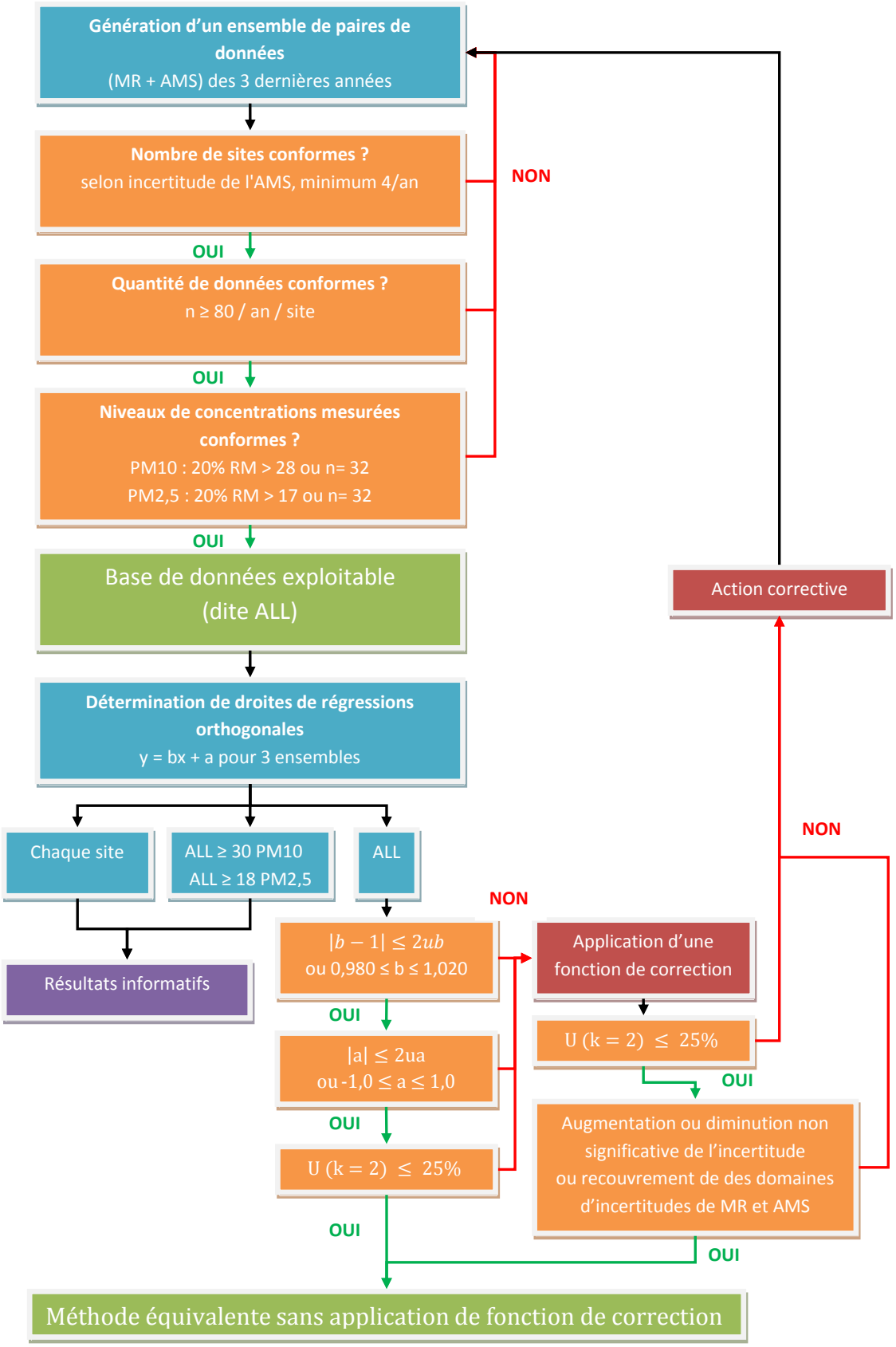


Figure 2 : Processus d'évaluation des essais

4. RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1 Ecarts aux exigences méthodologiques de la prEN 16450

En 2014, le LCSQA a rédigé une note [2] 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 prEN 16450 et a conclu à la nécessité de réaliser le suivi d'équivalence sur une douzaine de sites représentatif du « climat de PM » rencontré sur tout le territoire. Le bilan présenté dans ce rapport ne répond pas à l'ensemble des exigences fixées vis-à-vis du nombre minimum de sites requis et de la représentativité temporelle. En effet, les campagnes de suivi d'équivalence conduites entre 2013 et 2015 étaient exploratoires et réalisées en prévision de la publication de la prEN 16450. **Leur bilan ne doit donc pas conduire à des conclusions hâtives sur la performance des AMS actuellement homologués en France mais permet simplement d'indiquer une tendance sur leur performance**.

En raison du non respect, dans cette phase de démarrage, des exigences sur le nombre annuel de sites instrumentés, il a été choisi pour ce bilan de cumuler les résultats sur 4 années (au lieu de 3 prescrites) pour obtenir un jeu de donnée plus conséquent.

4.2 Grille de lecture des résultats

Les figures ci-dessous explicitent les données présentées dans les tableaux et figures du paragraphe 4. L'ensembles de ces données est exprimé en µg/m³.

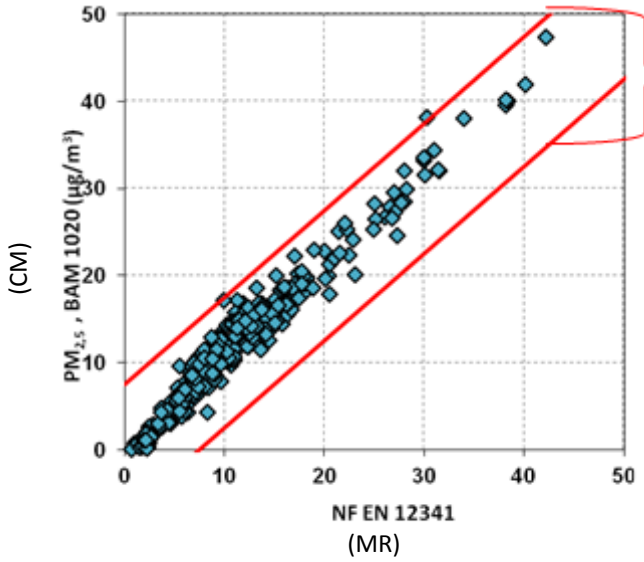
Campagne	All	All ≥ 18	1	2
Référence station			14012	41024
Ville			Reims	Venaco
Station			Jean d'Aulan	Venaco
Typologie			Urbain	Rural
Résultats sur les données brutes				
Paires de données	740	83	198	167
Moyenne de l'AMS	9,1	21,4	11,1	4,8
Moyenne de la MR	9,9	25,6	11,8	6,0
Nombre de valeur de la MR > 18 µg/m3 (PM2,5) ou 30 (PM10)	83	83	31	5
Nombre de valeur de la MR > 17 µg/m3 (PM2,5) ou 28 (PM10)	90			
Poourcentage 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)	17	17	10	0
Paires de données au printemps	209	31	58	27
Paires de données en été	172	4	49	46
Paires de données en automne	99	11	9	16
Paires de données en hivers	260	37	82	78
Régression linéaire sur les données brutes				
Pente b	**0,90**	**1,17**	**0,93**	**0,85**
Incertitude de la pente ub	0,01	0,07	0,03	0,03
Ordonnée à l'origine a	0,22	**-8,63**	0,08	-0,31
Incertitude de l'ordonnée à l'origine ua	0,17	1,84	0,38	0,22
Corrélation R^2	0,83	0,70	0,84	0,80
Pente b avec ordonnée à l'origine forcée par 0	**0,91**	**0,86**	**0,94**	**0,81**
Incertitude de la pente avec l'ordonnée à l'originie forcée par 0	0,01	0,02	0,02	0,02
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m3)	-2,92	-3,39	-1,94	-4,83
Incertitude relative élargie (k=2)	**26,3%**	**39,6%**	24,0%	**33,8%**
Régression linéaire après application d'une fonction de correction				
Fonction de correction appliquée	1,117y -0,240			
Moyenne de l'AMS	9,9	23,7	12,1	5,1
Moyenne de la MR	9,9	25,6	11,8	6,0
Nombre de valeur de la MR > 18 µg/m3	72	58	27	3
Nombre de valeur de la MR > 25 µg/m3	18	18	10	0
Pente b	1,01	**1,34**	1,05	0,96
Incertitude de la pente ub	0,02	0,08	0,03	0,03
Ordonnée à l'origine a	-0,11	**-10,56**	-0,27	**-0,66**
Incertitude de l'ordonnée à l'origine ua	0,19	2,06	0,43	0,25
Corrélation R^2	0,83	0,70	0,84	0,80
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m3)	0,22	-0,40	1,28	-1,84
Incertitude relative élargie (k=2)	20,3%	**37,0%**	24,6%	17,2%
	30	30,00	30	30

Sous-ensembles

Résultats obtenus uniquement pour le site 14012

Résultats obtenus pour le TEOM 8500 pour l'ensemble des sites

En rouge sont identifiés les paramètres ne répondant pas aux exigences de la prEN 16450



Limites garantissant le respect de l'incertitude élargie de 25% prescrite par la directive 2008/50/CE

Les commentaires associés au tableau de résultats se focalisent sur les points importants associés à chaque AMS et ne discutent pas chaque paramètre étudié de façon systématique.

4.1 Résultats obtenus sur la MP101M-RST

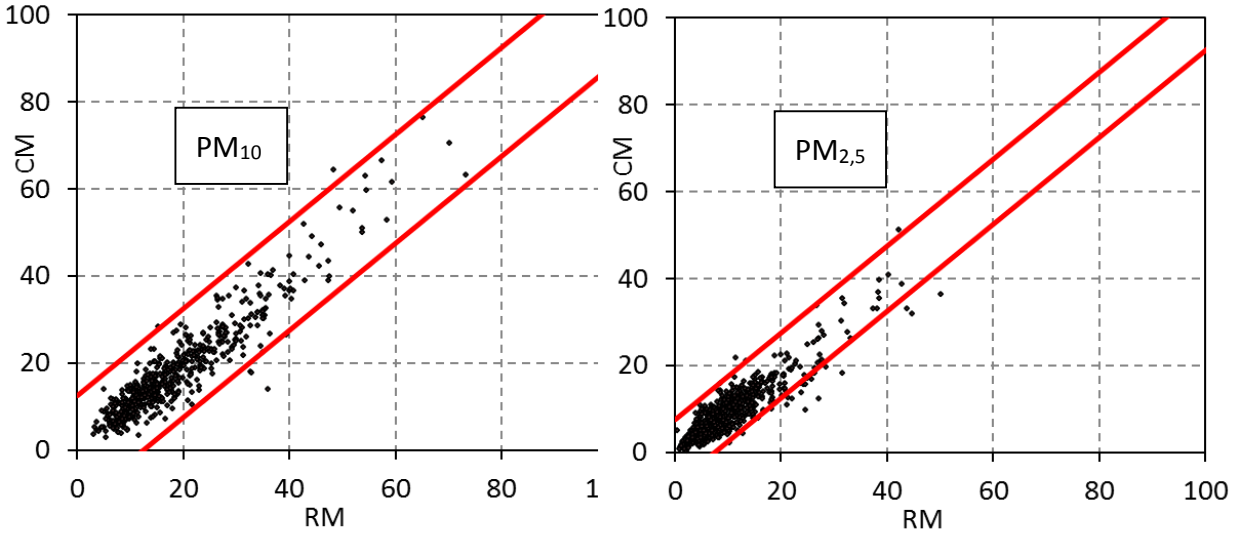


Figure 3 : Ensemble des mesures PM_{10} et $PM_{2,5}$ obtenues avec la MP101M-RST lors des campagnes 2013-2016

Note : les résultats de la MP101M-RST ont été exploités pour les données « periode 2h » moyennées sur 24h conformément aux pratiques AASQA.

Sur la fraction $PM_{2,5}$ (Tableau 6), la jauge beta MP101M a été évaluée sur 5 sites de fond urbain, 1 site de type trafic et 1 site rural. Au global, les résultats obtenus présentent une sous-estimation significative de l'ordre de 10% pour une incertitude élargie de 26% alors que la Directive 2008/50/CE impose une incertitude élargie n'excédant pas 25%. Lors du bilan 2011-2014, sur un nombre moindre de site (3), cette incertitude élargie était de 19% pour une sous-estimation de 6%. Seuls les sites de Nice (24035), Calais (10016) et Montpellier (8016) présentent des résultats satisfaisant à la fois en termes de corrélation vis-à-vis de la méthode et également en termes d'incertitudes.

Il convient de noter la surestimation de 17% des mesures supérieures à 18µg/m^3 en $PM_{2,5}$ (mesures au voisinage de la valeur limite journalière de 30 µg/m^3 appliquée pour le calcul statistique), une ordonnée à l'origine très significativement différente de 0 (-9) ainsi qu'une corrélation beaucoup plus dégradé (r^2=0.7).

Sur la fraction PM10, la jauge beta MP101M a été évaluée sur 7 sites de fond urbain et 1 site de type trafic. L'ensemble des données présente des résultats très satisfaisants à la fois en termes de corrélation à la méthode de référence et également en termes d'incertitude élargie (16%). Lors du bilan 2011-2014, la MP101M présentait une surestimation significative de l'ordre de 13% pour une incertitude élargie de 15%.

Le site de Grenoble présente les résultats les plus dégradés sur les deux fractions (PM_{10} et $PM_{2,5}$) avec des sous-estimations de l'ordre de 25% et des incertitudes élargies respectives de 55 et 44%. Des échanges avec Environnement SA ont permis d'émettre l'hypothèse que l'utilisation d'une ligne RST de 2m75 en raison de la hauteur de plafond (peu utilisée en AASQA) pourrait être à l'origine de cette sous-estimation. Des essais vont être réalisés par Environnement SA dans le courant de l'année 2017 pour valider cette hypothèse et améliorer les exigences d'installation des lignes RST suite aux modifications apportées sur le chauffage et la mesure de température de ces lignes.

Les sites de Metz (1012) présentent des résultats préoccupants (uniquement sur la fraction $PM_{2,5}$) car le processus du suivi réalisé sur ce site répond à l'ensemble des exigences de la prEN 16450, tout particulièrement en termes de représentativité temporelle (les prélèvements couvrent une année entière) et alors qu'aucune raison technique ne permet d'expliquer ces résultats. Sur la fraction PM10, deux campagnes réalisées à Metz sont présentées dans ce bilan. Il est à noter la bonne reproductibilité des résultats sur ces deux campagnes en termes d'incertitudes élargies (de l'ordre de 19%) mais pas de corrélation (0.98 et 0.66) démontrant l'importance de ne pas se focaliser uniquement sur l'incerittude.

Contrairement à la fraction $PM_{2,5}$, le site trafic (Nice 24035) présente une ordonnée à l'origine très significativement différente de 0 (-7,16) pour une surestimation de 20% des concentrations mesurées en PM_{10}.

Enfin, comme constaté pour la fraction $PM_{2,5}$, le sous-ensemble des données supérieures à 30µg/m^3 en PM_{10} présente une ordonnée à l'origine très significativement différente de 0 (-13) et une surestimation de 38%.

Ainsi, la jauge beta MP101M surestime donc significativement aux niveaux pour lesquels les exigences de la Directive 2008/50/CE s'appliquent (La moyenne journalière en PM_{10} ne devant pas dépasser 50µg/m^3 et la moyenne annuelle en $PM_{2,5}$ ne devant pas dépasser 25 µg/m^3).

L'application d'une fonction de correction améliore l'incertitude élargie (20%) pour l'ensemble des données $PM_{2,5}$ mais ne permet pas de répondre à l'ensemble des exigences de la prEN 16450 en termes de corrélation et d'incertitude pour chaque site individuellement. Pour la fraction PM_{10}, les résultats actuels n'impliquent pas l'application d'une fonction de correction pour les données produites par les MP101M-RST contrairement aux résultats présentés dans le bilan 2011-2014. Cela confirme l'importance de constituer un jeu de données complet et robuste avant tout décision quant à l'application d'une fonction de correction aux mesures réglementaires de particules.

Tableau 6 : Résultats obtenus sur la MP101M-RST sur la fraction $PM_{2,5}$

Campagne	All	All ≥ 18	1	2	7	13	14	15	16
Référence station			14012	41024	24035	1012	10016	15043	8016
Ville			Reims	Venaco	Nice	Metz	Calais	Grenoble	Montpellier
Station			Jean d'Aulan	Venaco	Magnan	Borny	Berthelot	Les Frênes	Prés d'arènes
Typologie			Urbain	Rural	Trafic	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
Caractéristiques des données brutes									
Paires de données	740	83	198	167	85	129	58	62	41
Moyenne de l'AMS	9,1	21,4	11,1	4,8	13,0	8,7	10,8	10,0	6,3
Moyenne de la MR	9,9	25,6	11,8	6,0	12,9	9,4	10,4	13,5	5,7
Nombre de valeur de la MR > 18 µg/m3 (PM2,5) ou 30 (PM10)	83	83	31	5	8	16	6	17	0
Nombre de valeur de la MR > 17 µg/m3 (PM2,5) ou 28 (PM10)	90								
Poourcentage 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)	17	17	10	0	1	0	2	4	0
Paires de données au printemps	209	31	58	27	13	21	25	37	28
Paires de données en été	172	4	49	46	4	37	11	12	13
Paires de données en automne	99	11	9	16	34	40	0	0	0
Paires de données en hivers	260	37	82	78	34	31	22	13	0
Régression linéaire sur les données brutes									
Pente b	**0,90**	**1,17**	**0,93**	**0,85**	1,01	**0,75**	1,00	**0,73**	1,07
Incertitude de la pente ub	0,01	0,07	0,03	0,03	0,04	0,04	0,06	0,03	0,12
Ordonnée à l'origine a	0,22	**-8,63**	0,08	-0,31	-0,07	**1,66**	0,30	0,08	0,18
Incertitude de l'ordonnée à l'origine ua	0,17	1,84	0,38	0,22	0,59	0,40	0,77	0,47	0,78
Corrélation R^2	0,83	0,70	0,84	0,80	0,85	0,73	0,78	0,92	0,47
Pente b avec ordonnée à l'origine forcée par 0	**0,91**	**0,86**	**0,94**	**0,81**	1,00	**0,89**	1,02	**0,74**	1,10
Incertitude de la pente avec l'ordonnée à l'originie forcée par 0	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,06
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m3)	-2,92	-3,39	-1,94	-4,83	0,15	-5,87	0,37	-7,94	2,36
Incertitude relative élargie (k=2)	**26,3%**	**39,6%**	24,0%	**33,8%**	12,6%	**42,0%**	21,2%	**54,8%**	21,7%
Régression linéaire après application d'une fonction de correction									
Fonction de correction appliquée	1,117y -0,240								
Moyenne de l'AMS	9,9	23,7	12,1	5,1	14,2	9,4	11,8	10,9	6,8
Moyenne de la MR	9,9	25,6	11,8	6,0	12,9	9,4	10,4	13,5	5,7
Nombre de valeur de la MR > 18 µg/m3	72	58	27	3	14	9	6	13	0
Nombre de valeur de la MR > 25 µg/m3	18	18	10	0	2	0	3	3	0
Pente b	1,01	**1,34**	1,05	0,96	**1,14**	**0,85**	1,14	**0,82**	1,26
Incertitude de la pente ub	0,02	0,08	0,03	0,03	0,05	0,04	0,07	0,03	0,14
Ordonnée à l'origine a	-0,11	**-10,56**	-0,27	**-0,66**	-0,45	**1,47**	-0,07	-0,20	-0,39
Incertitude de l'ordonnée à l'origine ua	0,19	2,06	0,43	0,25	0,66	0,44	0,86	0,52	0,87
Corrélation R^2	0,83	0,70	0,84	0,80	0,85	0,73	0,78	0,92	0,47
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m3)	0,22	-0,40	1,28	-1,84	3,61	-2,98	3,99	-5,54	7,41
Incertitude relative élargie (k=2)	20,3%	**37,0%**	24,6%	17,2%	**28,2%**	**26,5%**	**35,8%**	**40,5%**	**52,4%**

Tableau 7 : Résultats obtenus sur la MP101M-RST sur la fraction PM_{10}

Campagne	All	All ≥ 30	5	7	8	9	13	14	15	16
Référence station			1012	24035	14010	14012	1012	10016	15043	8016
Ville			Metz	Nice	Reims	Reims	Metz	Calais	Grenoble	Montpellier
Station			Borny	Magnan	Betheny	Jean d'Aulan	Borny	Berthelot	Les Frênes	Prés d'arènes
Typologie			Urbain	Trafic	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
Caractéristiques des données brutes										
Paires de données	554	77	64	83	43	62	119	60	51	72
Moyenne de l'AMS	18,4	38,3	23,7	30,0	16,2	14,9	13,7	19,8	11,9	15,9
Moyenne de la MR	18,8	40,0	20,6	31,0	15,4	15,3	14,7	21,4	15,2	14,9
Nombre de valeur de la MR > 18 µg/m3 (PM2,5) ou 30 (PM10)	77	77	13	40	0	1	5	9	5	4
Nombre de valeur de la MR > 17 µg/m3 (PM2,5) ou 28 (PM10)	93									
Poourcentage 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)	11	11	6	3	0	0	0	2	0	0
Paires de données au printemps	204	31	35	5	21	0	25	37	40	41
Paires de données en été	117	8	0	13	22	21	46	2	6	7
Paires de données en automne	89	19	0	35	0	38	16	0	0	0
Paires de données en hivers	144	19	29	30	0	3	32	21	5	24
Régression linéaire sur les données brutes										
Pente b	1,01	**1,38**	1,03	**1,20**	1,15	**0,90**	0,94	**0,91**	**0,78**	1,06
Incertitude de la pente ub	0,02	0,08	0,02	0,07	0,10	0,05	0,05	0,04	0,03	0,06
Ordonnée à l'origine a	-0,53	**-16,91**	**2,50**	**-7,16**	-1,65	1,12	-0,17	0,23	0,01	0,14
Incertitude de l'ordonnée à l'origine ua	0,34	3,08	0,52	2,19	1,63	0,76	0,83	0,94	0,53	0,95
Corrélation R^2	0,87	0,76	0,98	0,72	0,66	0,85	0,66	0,90	0,93	0,81
Pente b avec ordonnée à l'origine forcée par 0	0,99	**0,98**	**1,11**	0,98	**1,05**	0,97	**0,93**	**0,92**	**0,78**	**1,06**
Incertitude de la pente avec l'ordonnée à l'originie forcée par 0	0,01	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m3)	0,00	2,14	4,07	2,92	6,08	-3,72	-3,01	-4,10	-10,83	2,94
Incertitude relative élargie (k=2)	16,0%	**27,7%**	19,1%	24,2%	**26,6%**	17,3%	19,2%	22,0%	**43,9%**	20,0%
Régression linéaire après application d'une fonction de correction										
Fonction de correction appliquée	0,990y + 0,52									
Moyenne de l'AMS	18,8	38,4	24,0	30,2	16,5	15,3	14,1	20,1	12,3	16,3
Moyenne de la MR	18,8	40,0	20,6	31,0	15,4	15,3	14,7	21,4	15,2	14,9
Nombre de valeur de la MR > 18 µg/m3	69	61	13	35	0	1	3	9	2	6
Nombre de valeur de la MR > 25 µg/m3	13	13	7	4	0	0	0	2	0	0
Pente b	1,00	**1,36**	**1,02**	**1,19**	1,14	**0,89**	0,93	**0,90**	**0,77**	1,04
Incertitude de la pente ub	0,02	0,07	0,02	0,07	0,10	0,05	0,05	0,04	0,03	0,05
Ordonnée à l'origine a	0,01	**-16,14**	3,00	**-6,50**	-1,07	**1,64**	0,38	0,75	0,53	0,67
Incertitude de l'ordonnée à l'origine ua	0,33	3,05	0,51	2,17	1,61	0,75	0,82	0,93	0,53	0,94
Corrélation R^2	0,87	0,76	0,98	0,72	0,66	0,85	0,66	0,90	0,93	0,81
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m3)	-0,02	2,10	4,02	2,84	5,92	-3,72	-3,06	-4,07	-10,73	2,86
Incertitude relative élargie (k=2)	16,2%	**27,5%**	19,1%	24,1%	**26,2%**	17,5%	19,5%	22,1%	**43,7%**	20,0%

4.2 Résultats obtenus sur la BAM

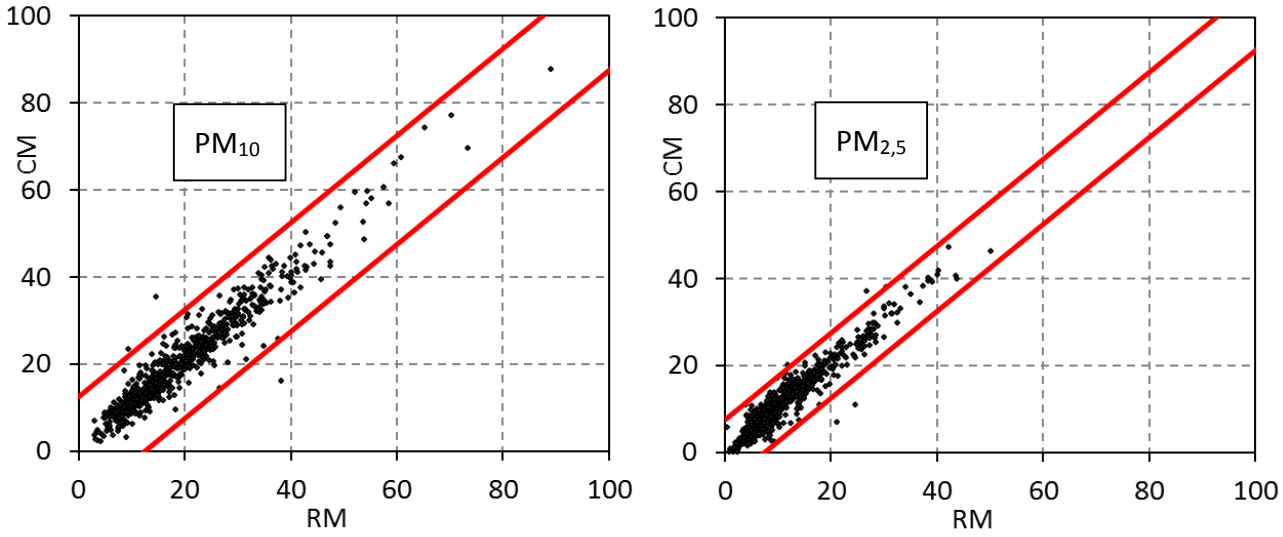


Figure 4 : Ensemble des mesures PM_{10} et $PM_{2,5}$ obtenues avec la BAM1020 lors des campagnes 2013-2016

La BAM1020 a été évalué, sur les fractions PM_{10} (Tableau 9) et $PM_{2,5}$ (Tableau 8), sur 3 sites trafic, 6 sites de fond urbain et 1 site rural.

Sur la fraction $PM_{2,5}$, l'ensemble des données présente des résultats bien meilleurs que lors du bilan 2011-2014 à savoir une incertitude élargie de 17% (22% en 2014) et une surestimation significative de 5% (11% en 2014).

Sur la fraction PM_{10}, la BAM1020 présente une incertitude élargie de 16% (17,5% en 2014) pour une surestimation significative de 3% (6% en 2014).

En pratique, la surestimation significative sur chaque fraction nécessiterait de corriger les données produites par le BAM1020 mais l'application d'une fonction de correction ne permet pas de répondre à l'ensemble des exigences de la prEN 16450 en termes de corrélation et d'incertitude élargie pour chaque site individuellement.

Sur plusieurs sites de même typologie (i.e : trafic), la BAM1020 peut présenter des résultats très différents, allant d'une surestimation de 12% à une sous-estimation de 8%. Ceci peut s'expliquer par la différence des sources trafic spécifiques à chaque site (vitesse des véhicules, proportions de véhicules légers et poids lourds, embouteillages…).

Pour le site de Reims (14012), deux campagnes ont été couplées (1+9 pour la fraction $PM_{2,5}$ et 4+9 pour la fraction PM_{10}) pour obtenir un jeu de données plus robustes et explicites sur ce site. En effet, la campagne n°1 présente une surestimation de 6%, alors que la campagne n°9 présente une surestimation non significative de 2%. Ainsi, le couplage des deux campagnes conduit à une surestimation de 8%. Le constat est identique sur la fraction PM_{10}. Ceci démontre l'importance d'éviter toute conclusion hâtive sur les résultats d'un site tant que le jeu de données ne couvre pas une année entière.

Tableau 8 : Résultats obtenus sur la BAM sur la fraction $PM_{2,5}$

Campagne	All	All ≥ 18	1	2	6	7	9	10	11	13	14	15	1 + 9
Référence station			14012	41024	16034	24035	14012	4329	4156	1012	10016	15043	14012
Ville			Reims	Venaco	Strasbourg	Nice	Reims	Paris	Paris	Metz	Calais	Grenoble	Reims
Station			Jean d'Aulan	Venaco	Clémenceau	Magnan	Jean d'Aulan	BP est	Bobigny	Borny	Berthelot	Les Frênes	Jean d'Aulan
Typologie			Urbain	Rural	Trafic	Trafic	Urbain	Trafic	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
Caractéristiques des données brutes													
Paires de données	722	118	105	56	78	83	54	50	42	127	55	72	159
Moyenne de l'AMS	12,1	26,1	12,4	2,3	16,4	14,8	8,7	17,4	13,6	9,8	11,3	14,2	11,2
Moyenne de la MR	11,6	25,9	11,3	3,3	15,3	13,2	9,5	15,6	12,6	9,2	10,5	16,0	10,7
Nombre de valeur de la MR > 18 µg/m3 (PM2,5) ou 30 (PM10)	117	117	11	0	25	8	6	13	7	14	6	27	17
Nombre de valeur de la MR > 17 µg/m3 (PM2,5) ou 28 (PM10)	137												
Pooourcentage de valeur > 17 µg/m3 (PM2,5) ou 28 (PM10)	19%												
Nombre de valeur de la MR > 30 µg/m3 (PM2,5) ou 50 (PM10)	24	24	5	0	5	1	1	3	1	0	2	6	6
Paires de données au printemps	151	30	56	0	0	13	0	0	0	21	25	36	56
Paires de données en été	172	5	49	0	13	4	22	25	0	37	12	10	71
Paires de données en automne	178	34	0	4	37	34	25	25	15	38	0	0	25
Paires de données en hivers	221	49	0	52	28	32	7	0	27	31	18	26	7
Régression linéaire sur les données brutes													
Pente b	**1,05**	**1,12**	**1,06**	1,01	**1,12**	**0,92**	1,02	0,96	**0,94**	1,00	1,03	1,02	**1,08**
Incertitude de la pente ub	0,01	0,04	0,02	0,06	0,02	0,03	0,07	0,03	0,02	0,03	0,05	0,03	0,03
Ordonnée à l'origine a	-0,02	**-2,79**	0,44	**-1,05**	**-0,73**	**2,69**	-1,01	**2,44**	**1,75**	0,61	0,45	**-2,04**	-0,32
Incertitude de l'ordonnée à l'origine ua	0,15	1,12	0,31	0,21	0,35	0,42	0,81	0,53	0,30	0,33	0,69	0,51	0,36
Corrélation R^2	0,92	0,83	0,95	0,84	0,98	0,91	0,74	0,95	0,98	0,89	0,85	0,95	0,89
Pente b avec ordonnée à l'origine forcée par 0	**1,05**	1,01	**1,09**	**0,77**	**1,08**	**1,10**	0,95	**1,09**	**1,05**	**1,05**	**1,06**	**0,93**	**1,05**
Incertitude de la pente avec l'ordonnée à l'originie forcée par 0	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,04	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m3)	1,37	0,67	2,28	-0,77	2,88	0,33	-0,28	1,29	-0,06	0,69	1,43	-1,55	1,94
Incertitude relative élargie (k=2)	17,3%	20,3%	18,9%	5,6%	21,1%	8,5%	21,8%	13,6%	4,4%	12,9%	20,5%	18,9%	21,2%
Régression linéaire après application d'une fonction de correction													
Fonction de correction appliquée	0,956y + 0,021												
Moyenne de l'AMS	11,6	25,0	11,9	2,2	15,7	14,2	8,3	16,7	13,0	9,4	10,9	13,6	10,7
Moyenne de la MR	11,6	25,9	11,3	3,3	15,3	13,2	9,5	15,6	12,6	9,2	10,5	16,0	10,7
Nombre de valeur de la MR > 18 µg/m3	121	107	11	0	28	10	6	18	8	10	6	24	17
Nombre de valeur de la MR > 25 µg/m3	26	26	5	0	8	1	0	3	1	0	2	6	5
Régression linéaire sur les données calibrées													
Pente b	1,00	1,06	1,01	0,96	**1,07**	**0,88**	0,97	**0,92**	**0,90**	0,96	0,98	0,97	1,02
Incertitude de la pente ub	0,01	0,04	0,02	0,05	0,02	0,03	0,07	0,03	0,02	0,03	0,05	0,03	0,03
Ordonnée à l'origine a	0,02	**-2,53**	0,46	**-0,96**	-0,66	**2,61**	-0,88	**2,37**	**1,69**	**0,63**	0,49	**-1,92**	-0,26
Incertitude de l'ordonnée à l'origine ua	0,14	1,07	0,30	0,20	0,34	0,41	0,77	0,51	0,28	0,31	0,65	0,49	0,35
Corrélation R^2	0,92	0,83	0,95	0,84	0,98	0,91	0,74	0,95	0,98	0,89	0,85	0,95	0,89
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m3)	-0,03	-0,69	0,85	-2,15	1,43	-1,03	-1,73	-0,09	-1,37	-0,71	-0,02	-2,80	0,49
Incertitude relative élargie (k=2)	14,1%	19,5%	12,3%	14,6%	12,8%	10,6%	23,8%	10,2%	10,2%	12,6%	17,4%	24,2%	16,5%

Tableau 9 : Résultats obtenus sur la BAM sur la fraction PM_{10}

Campagne	All	All ≥ 30	2	4	6	7	9	10	11	13	14	15	4 + 9
Référence station			41024	14012	16034	24035	14012	4329	4156	1012	10016	15043	14012
Ville			Venaco	Reims	Strasbourg	Nice	Reims	Paris	Paris	Metz	Calais	Grenoble	Reims
Station			Venaco	Jean d'Aulan	Clémenceau	Magnan	Jean d'Aulan	BP est	Bobigny	Borny	Berthelot	Les Frênes	Jean d'Aulan
Typologie			Rural	Urbain	Trafic	Trafic	Urbain	Trafic	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
Résultats sur les données brutes													
Paires de données	700	120	52	64	72	89	57	55	49	118	81	63	121
Moyenne de l'AMS	21,6	40,4	12,9	23,6	25,4	30,2	16,1	28,3	23,5	18,2	21,3	14,1	20,1
Moyenne de la MR	20,3	39,3	11,3	20,6	23,1	31,2	16,7	26,9	22,4	14,7	20,7	14,3	18,7
Nombre de valeur de la MR > 18 µg/m3 (PM2,5) ou 30 (PM10)	120	120	2	13	11	45	1	19	7	5	12	5	14
Nombre de valeur de la MR > 17 µg/m3 (PM2,5) ou 28 (PM10)	150												
Poourcentage de valeur > 17 µg/m3 (PM2,5) ou 28 (PM10)	21%												
Nombre de valeur de la MR > 30 µg/m3 (PM2,5) ou 50 (PM10)	14	14	0	6	2	3	0	0	1	0	2	0	6
Paires de données au printemps	201	34	52	35	0	9	0	0	0	26	38	41	35
Paires de données en été	147	21	0	0	11	13	21	33	0	41	22	6	21
Paires de données en automne	153	35	0	0	35	35	29	22	16	16	0	0	29
Paires de données en hivers	199	30	0	29	26	32	7	0	33	35	21	16	36
Régression linéaire sur les données brutes													
Pente b	**1,03**	**1,14**	**1,11**	**1,11**	**1,04**	1,09	**1,16**	1,04	1,05	**1,24**	0,97	1,02	**1,14**
Incertitude de la pente ub	0,01	0,04	0,04	0,02	0,02	0,05	0,06	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03	0,02
Ordonnée à l'origine a	**0,59**	**-4,47**	0,30	0,76	**1,28**	**-3,85**	**-3,15**	0,38	-0,01	-0,05	1,33	**-0,46**	**-1,31**
Incertitude de l'ordonnée à l'origine ua	0,25	1,68	0,57	0,50	0,43	1,76	1,08	0,70	0,70	0,62	0,86	0,42	0,50
Corrélation R^2	0,93	0,84	0,92	0,98	0,98	0,78	0,84	0,97	0,96	0,89	0,89	0,96	0,95
Pente b avec ordonnée à l'origine forcée par 0	**1,06**	**1,03**	**1,13**	**1,13**	**1,09**	0,97	0,99	**1,05**	**1,05**	**1,24**	1,02	1,00	**1,10**
Incertitude de la pente avec l'ordonnée à l'originie forcée par 0	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m3)	2,32	2,51	5,74	6,35	3,40	0,67	4,73	2,23	2,52	12,04	-0,38	0,53	5,86
Incertitude relative élargie (k=2)	15,8%	20,7%	24,4%	**27,1%**	15,0%	17,0%	22,2%	10,7%	12,2%	**49,4%**	15,0%	6,6%	**26,4%**
Régression linéaire après application d'une fonction de correction													
Fonction de correction appliquée	0,967y -0,567												
Moyenne de l'AMS	20,3	38,4	11,9	22,3	24,0	28,6	15,0	26,8	22,1	17,1	20,1	13,1	18,9
Moyenne de la MR	20,3	39,3	11,3	20,6	23,1	31,2	16,7	26,9	22,4	14,7	20,7	14,3	18,7
Nombre de valeur de la MR > 18 µg/m3	122	106	3	14	15	33	1	21	8	8	14	5	15
Nombre de valeur de la MR > 25 µg/m3	15	15	0	7	2	3	0	0	1	0	2	0	7
Régression linéaire sur les données calibrées													
Pente b	1,00	**1,10**	1,07	**1,07**	1,01	1,05	1,12	1,00	1,01	**1,20**	0,93	0,99	**1,10**
Incertitude de la pente ub	0,01	0,04	0,04	0,02	0,02	0,05	0,06	0,02	0,03	0,04	0,04	0,02	0,02
Ordonnée à l'origine a	0,03	**-4,75**	-0,26	0,18	0,68	**-4,14**	**-3,55**	-0,18	-0,56	-0,58	0,76	-1,00	**-1,82**
Incertitude de l'ordonnée à l'origine ua	0,24	1,62	0,55	0,48	0,42	1,70	1,05	0,68	0,68	0,60	0,83	0,40	0,49
Corrélation R^2	0,93	0,84	0,92	0,98	0,98	0,78	0,84	0,97	0,96	0,89	0,89	0,96	0,95
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m3)	-0,04	0,15	3,25	3,88	1,04	-1,68	2,23	-0,09	0,18	9,31	-2,66	-1,75	3,40
Incertitude relative élargie (k=2)	12,5%	17,6%	15,5%	18,2%	7,7%	17,7%	14,4%	6,1%	7,0%	**38,8%**	18,0%	9,5%	18,1%

4.3 Résultats obtenus sur le TEOM 8500

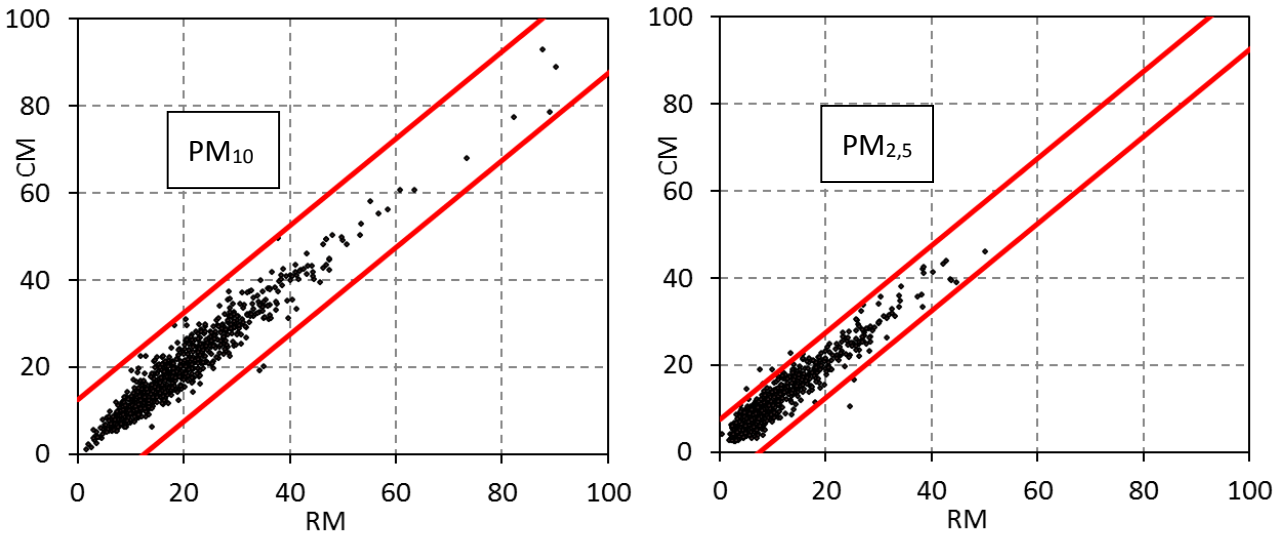


Figure 5 : Ensemble des mesures PM_{10} et $PM_{2,5}$ obtenues avec le TEOM FDMS 8500 lors des campagnes 2013-2016

Sur la fraction $PM_{2,5}$ (Tableau 10), le TEOM FDMS 8500 a été évalué sur 1 site trafic, 8 sites de fond urbain et 1 site rural. L'ensemble de ces données présente une sous-estimation significative de 4% pour une incertitude élargie de 15,2%, confirmant les résultats obtenus lors du bilan 2011-2014 L'application d'une fonction de correction dégrade l'incertitude élargie (15,5%) et ne doit donc pas être réalisée.

Sur cette fraction, (dernière colonne du Tableau 10) sur le site de Reims, lorsque l'on couple deux campagnes (1+9) pour obtenir un jeu de données plus conséquent et que l'on isole les données hivernales, on constate un offset de 3,5 µg/m^3 et une sous-estimation significative de 15% des concentrations mesurées alors que près de 80% de ces données se trouvent au voisinage de la valeur limite. Cet exercice, réalisé et actuellement seulement réalisable sur un seul site, ne permet pas de conclure à un biais systématique des mesures réalisées par le TEOM FDMS 8500 au voisinage des valeurs limites fixées par le Directive 2008/50/CE mais démontre le potentiel analytique du suivi d'équivalence lorsqu'il est réalisé de manière robuste et conforme à la norme prEN16450.

Sur la fraction PM_{10} (Tableau 11), le TEOM FDMS 8500 a été évalué sur 2 sites trafic, 7 sites de fond urbain et 1 site rural. L'ensemble de ces données présente une sous-estimation non significative de 1% pour une incertitude élargie de 11,3%, confirmant les résultats obtenus lors du bilan 2011-2014. L'application d'une fonction de correction n'est donc pas nécessaire sur cette fraction.

Similairement à ce qui a été constaté pour la BAM1020, sur plusieurs sites de même typologie (i.e : trafic), le TEOM-FDMS 8500 peut présenter des résultats très différents, allant d'une surestimation de 4% à une sous-estimation de 7%. Ce constat démontre le besoin d'augmenter le nombre de sites trafic instrumentés au sein du dispositif national de suivi d'équivalence afin de tenir compte de toutes les conditions rencontrées sur le territoire.

Tableau 10 : Résultats obtenus sur le TEOM 8500 sur la fraction $PM_{2,5}$

Campagne	ALL	ALL ≥ 18	1	2	6	9	12	13	14	15	16	1 + 9	1 + 9 hivers
Référence station			14012	41024	16034	14012	7004	1012	10016	15043	8016	14012	14012
Ville			Reims	Venaco	Strasbourg	Reims	Clermont	Metz	Calais	Grenoble	Montpellier	Reims	Reims
Station			Jean d'Aulan	Venaco	Clémenceau	Jean d'Aulan	Montferrand	Borny	Berthelot	Les Frênes	Prés d'arènes	Jean d'Aulan	Jean d'Aulan
Typologie			Urbain	Rural	Trafic	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
Caractéristiques des données brutes													
Paires de données	833	138	204	90	79	69	54	125	60	75	77	273	100
Moyenne de l'AMS	12,7	25,6	14,3	10,7	15,5	9,8	13,6	12,1	9,9	14,1	11,2	13,2	13,7
Moyenne de la MR	11,2	25,5	12,4	7,7	15,2	8,1	12,7	9,4	10,5	15,5	8,8	11,3	12,0
Nombre de valeur de la MR > 18 µg/m3 (PM2,5) ou 30 (PM10)	137	137	37	2	25	2	13	16	6	27	9	39	19
Nombre de valeur de la MR > 17 µg/m3 (PM2,5) ou 28 (PM10)	150												
Poourcentage de valeur > 17 µg/m3 (PM2,5) ou 28 (PM10)	18%												
Nombre de valeur de la MR > 30 µg/m3 (PM2,5) ou 50 (PM10)	26	26	12	0	5	0	0	0	2	6	1	12	5
Paires de données au printemps	232	28	55	55	0	0	0	21	25	37	39	55	0
Paires de données en été	199	1	46	35	13	35	0	33	12	12	13	81	0
Paires de données en automne	155	32	16	0	37	21	41	40	0	0	0	37	0
Paires de données en hivers	247	77	87	0	29	13	13	31	23	26	25	100	100
Régression linéaire sur les données brutes													
Pente b	**0,96**	1,02	**0,96**	0,99	0,97	0,98	1,03	0,99	1,06	**0,94**	**1,09**	0,97	**0,85**
Incertitude de la pente ub	0,01	0,04	0,02	0,04	0,03	0,06	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02
Ordonnée à l'origine a	**1,98**	-0,53	**2,48**	**3,04**	0,70	**1,83**	0,53	**2,82**	**-1,26**	-0,45	**1,60**	**2,27**	**3,49**
Incertitude de l'ordonnée à l'origine ua	0,14	0,94	0,29	0,31	0,44	0,57	0,27	0,25	0,51	0,42	0,26	0,24	0,36
Corrélation R^2	0,91	0,84	0,92	0,89	0,95	0,74	0,98	0,93	0,91	0,96	0,96	0,91	0,92
Pente b avec ordonnée à l'origine forcée par 0	**1,08**	1,00	**1,10**	**1,32**	1,01	**1,17**	**1,06**	**1,21**	0,97	**0,92**	**1,21**	**1,11**	**1,06**
Incertitude de la pente avec l'ordonnée à l'originie forcée par 0	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m3)	0,63	0,16	1,24	2,86	-0,11	1,26	1,37	2,38	0,48	-2,30	4,19	1,27	-0,97
Incertitude relative élargie (k=2)	15,2%	18,4%	17,1%	20,6%	11,5%	16,9%	10,5%	18,2%	13,8%	20,5%	**29,2%**	17,2%	14,3%
Régression linéaire après application d'une fonction de correction													
Fonction de correction appliquée	1,047y -2,072												
Moyenne de l'AMS	11,2	24,7	12,9	9,1	14,2	8,2	12,2	10,6	8,3	12,7	9,7	11,8	12,2
Moyenne de la MR	11,2	25,5	12,4	7,7	15,2	8,1	12,7	9,4	10,5	15,5	8,8	11,3	12,0
Nombre de valeur de la MR > 18 µg/m3	132	119	35	4	22	1	15	17	5	24	9	36	13
Nombre de valeur de la MR > 25 µg/m3	27	27	13	0	4	0	0	0	3	6	1	13	5
Régression linéaire sur les données calibrées													
Pente b	1,00	**1,08**	1,01	1,04	1,02	1,03	**1,08**	1,03	**1,11**	0,98	**1,14**	1,01	**0,89**
Incertitude de la pente ub	0,01	0,04	0,02	0,04	0,03	0,06	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02	0,03
Ordonnée à l'origine a	-0,03	**-2,74**	0,50	**1,09**	**-1,36**	-0,22	**-1,53**	**0,87**	**-3,41**	**-2,55**	-0,41	0,28	**1,56**
Incertitude de l'ordonnée à l'origine ua	0,14	0,98	0,30	0,32	0,46	0,60	0,28	0,27	0,54	0,44	0,28	0,26	0,37
Corrélation R^2	0,91	0,84	0,92	0,89	0,95	0,74	0,98	0,93	0,91	0,96	0,96	0,91	0,92
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m3)	0,04	-0,47	0,67	2,40	-0,75	0,83	0,78	1,86	-0,11	-3,06	3,75	0,72	-1,64
Incertitude relative élargie (k=2)	15,5%	19,7%	16,5%	18,1%	13,3%	16,6%	8,0%	15,8%	14,4%	25,0%	**26,6%**	16,6%	17,5%

Tableau 11 : Résultats obtenus sur le TEOM 8500 sur la fraction PM_{10}

Campagne	ALL	ALL ≥ 30	2	3	6	9	10	11	12	13	14	15
Référence station			41024	11025	16034	14012	4329	4156	7004	1012	10016	15043
Ville			Venaco	Lilles	Strasbourg	Reims	Paris	Paris	Clermont	Metz	Calais	Grenoble
Station			Venaco	Fives	Clémenceau	Jean d'Aulan	BP est	Bobigny	Montferrand	Borny	Berthelot	Les Frênes
Typologie			Rural	Urbain	Trafic	Urbain	Trafic	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
Caractéristiques des données brutes												
Paires de données	892	119	83	264	78	43	55	49	59	121	80	60
Moyenne de l'AMS	19,6	39,7	11,1	21,3	23,3	19,1	28,3	23,5	18,0	17,4	19,8	13,4
Moyenne de la MR	19,2	40,4	10,9	22,3	22,5	17,0	26,9	22,4	17,0	14,7	20,8	14,3
Nombre de valeur de la MR > 18 µg/m3 (PM2,5) ou 30 (PM10)	119	119	2	53	11	1	19	7	4	5	12	5
Nombre de valeur de la MR > 17 µg/m3 (PM2,5) ou 28 (PM10)	152											
Poourcentage 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)	13	13	0	8	2	0	0	1	0	0	2	0
Paires de données au printemps	252	48	75	76	0	0	0	0	0	26	37	38
Paires de données en été	158	17	0	16	17	18	33	0	0	46	22	6
Paires de données en automne	242	28	0	86	35	24	22	16	43	16	0	0
Paires de données en hivers	240	26	8	86	26	1	0	33	16	33	21	16
Régression linéaire sur les données brutes												
Pente b	0,99	1,00	1,00	1,03	**0,93**	1,14	1,04	1,05	1,00	1,04	**0,91**	0,97
Incertitude de la pente ub	0,01	0,03	0,02	0,01	0,02	0,08	0,02	0,03	0,02	0,05	0,03	0,02
Ordonnée à l'origine a	**0,43**	-0,67	0,19	**-1,62**	**2,40**	-0,31	0,38	-0,01	**0,95**	**2,07**	0,81	-0,50
Incertitude de l'ordonnée à l'origine ua	0,19	1,22	0,24	0,37	0,55	1,38	0,70	0,70	0,38	0,76	0,60	0,28
Corrélation R^2	0,93	0,90	0,97	0,95	0,96	0,81	0,97	0,96	0,98	0,76	0,94	0,98
Pente b avec ordonnée à l'origine forcée par 0	**1,01**	**0,98**	1,01	**0,97**	1,01	**1,12**	**1,05**	**1,05**	**1,05**	**1,17**	**0,94**	**0,94**
Incertitude de la pente avec l'ordonnée à l'originie forcée par 0	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m3)	0,11	-0,75	0,18	-0,34	-1,09	6,63	2,23	2,52	1,15	4,24	-3,49	-2,06
Incertitude relative élargie (k=2)	11,3%	15,0%	3,7%	11,8%	9,8%	**29,4%**	10,7%	12,2%	6,4%	21,8%	17,3%	9,0%
Régression linéaire après application d'une fonction de correction												
Fonction de correction appliquée	1,007y -0,437											
Moyenne de l'AMS	19,2	39,5	10,8	21,0	23,0	18,8	28,0	23,2	17,7	17,1	19,5	13,0
Moyenne de la MR	19,2	40,4	10,9	22,3	22,5	17,0	26,9	22,4	17,0	14,7	20,8	14,3
Nombre de valeur de la MR > 18 µg/m3	126	107	2	53	13	2	23	9	4	6	9	5
Nombre de valeur de la MR > 25 µg/m3	13	13	0	8	2	0	0	1	0	0	2	0
Régression linéaire sur les données calibrées												
Pente b	1,00	1,01	1,01	**1,03**	**0,94**	1,15	1,04	1,06	1,01	1,05	**0,92**	0,98
Incertitude de la pente ub	0,01	0,03	0,02	0,01	0,02	0,08	0,02	0,03	0,02	0,05	0,03	0,02
Ordonnée à l'origine a	0,00	-1,13	-0,25	**-2,07**	**1,98**	-0,76	-0,05	-0,45	0,52	**1,64**	0,38	**-0,94**
Incertitude de l'ordonnée à l'origine ua	0,19	1,23	0,24	0,37	0,55	1,38	0,71	0,70	0,39	0,76	0,61	0,28
Corrélation R^2	0,93	0,90	0,97	0,95	0,96	0,81	0,97	0,96	0,98	0,76	0,94	0,98
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m3)	0,01	-0,86	0,07	-0,45	-1,20	6,59	2,14	2,43	1,05	4,19	-3,62	-2,18
Incertitude relative élargie (k=2)	11,5%	15,3%	4,1%	12,1%	10,3%	**29,3%**	10,6%	12,1%	6,5%	21,8%	17,8%	9,6%

4.4 Résultats obtenus sur le TEOM 1405-F

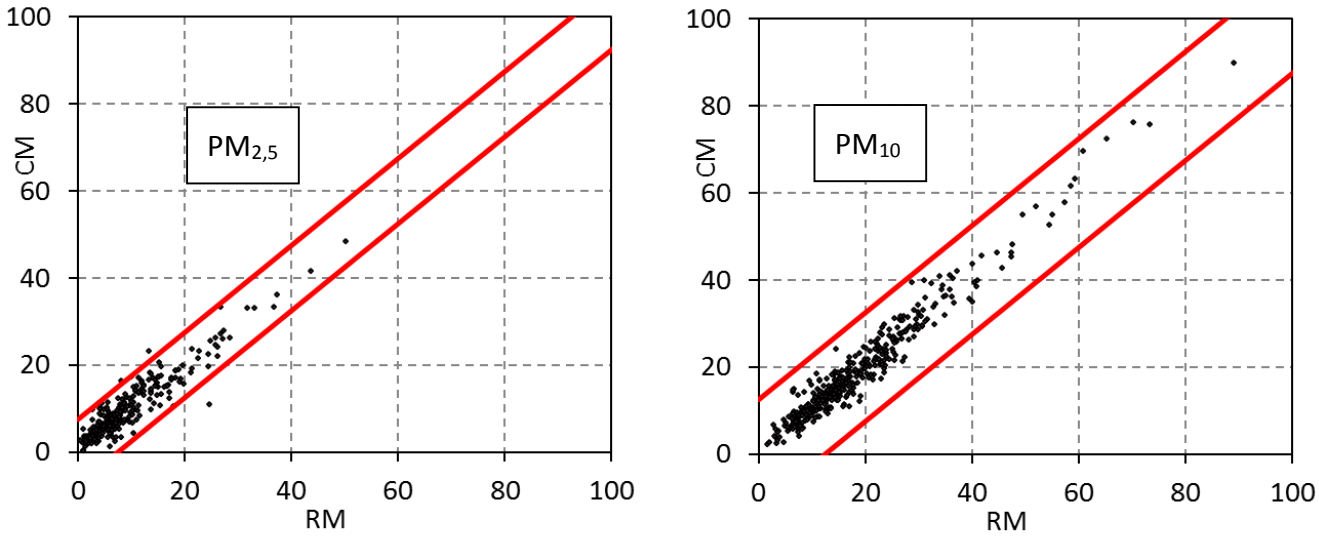


Figure 6 : Ensemble des mesures PM_{10} et $PM_{2,5}$ obtenues avec le TEOM 1405-F lors des campagnes 2013-2016

Sur la fraction $PM_{2,5}$ (Tableau 12), le TEOM FDMS 1405F a été évalué sur 4 sites de fond urbain et 1 site rural. L'ensemble de ces données présente une sous-estimation non significative de 5% pour une incertitude élargie de 16,1%.

Sur la fraction PM_{10} (Tableau 13), le TEOM FDMS 1405F a été évalué sur 1 site trafic, 4 sites de fond urbain et 1 site rural. L'ensemble de ces données présente une surestimation significative de 4% pour une incertitude élargie de 13,9%.

Le faible jeu de données obtenus jusqu'à présent pour cet instrument (comparativement aux autres AMS) ne permet pas de conclure clairement. On peut seulement constater que les résultats tendent à s'approcher de ceux du TEOM FDMS 8500, excepté pour le site de Reims sur la fraction PM2,5 qui présente des résultats très inquiétants (surestimation de 28% pour une incertitude élargie de 56%).

Tableau 12 : Résultats obtenus sur le TEOM 1405-F sur la fraction $PM_{2,5}$

Campagne	All	All ≥ 18	1	2	11	14	15
Référence station			14012	41024	4156	10016	15043
Ville			Reims	Venaco	Paris	Calais	Grenoble
Station			Jean d'Aulan	Venaco	Bobigny	Berthelot	Les Frênes
Typologie			Urbain	Rural	Urbain	Urbain	Urbain
Caractéristiques des données brutes							
Paires de données	298	32	64	91	42	47	54
Moyenne de l'AMS	10,0	24,7	11,6	5,3	11,4	10,5	14,4
Moyenne de la MR	9,2	26,0	9,1	4,0	12,6	10,5	14,3
Nombre de valeur de la MR > 18 µg/m3 (PM2,5) ou 30 (PM10)	32	32	1	2	7	5	17
Nombre de valeur de la MR > 17 µg/m3 (PM2,5) ou 28 (PM10)	39						
Poourcentage 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)	6	6	0	0	1	1	4
Paires de données au printemps	69	14	15	0	0	25	29
Paires de données en été	73	1	49	0	0	12	12
Paires de données en automne	31	2	0	16	15	0	0
Paires de données en hivers	125	15	0	75	27	10	13
Régression linéaire sur les données brutes							
Pente b	0,95	1,08	**1,28**	0,99	0,95	**1,12**	**0,90**
Incertitude de la pente ub	0,02	0,08	0,05	0,04	0,04	0,06	0,04
Ordonnée à l'origine a	1,24	-3,39	-0,07	**1,34**	-0,50	-1,24	1,55
Incertitude de l'ordonnée à l'origine ua	0,23	2,07	0,53	0,22	0,56	0,70	0,78
Corrélation R^2	0,88	0,85	0,89	0,83	0,93	0,88	0,88
Pente b avec ordonnée à l'origine forcée par 0	1,04	0,96	**1,27**	**1,22**	**0,92**	1,03	0,97
Incertitude de la pente avec l'ordonnée à l'originie forcée par 0	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m3)	-0,25	-0,92	8,25	1,19	-2,02	2,28	-1,52
Incertitude relative élargie (k=2)	16,1%	22,1%	**56,0%**	11,0%	17,3%	22,3%	**25,3%**
Régression linéaire après application d'une fonction de correction							
Fonction de correction appliquée	1,053y -1,309						
Moyenne de l'AMS	9,2	24,7	10,8	4,2	10,7	9,7	13,8
Moyenne de la MR	9,2	26,0	9,1	4,0	12,6	10,5	14,3
Nombre de valeur de la MR > 18 µg/m3	29	26	4	0	6	5	14
Nombre de valeur de la MR > 25 µg/m3	7	7	0	0	1	2	4
Régression linéaire sur les données calibrées							
Pente b	1,00	1,14	1,35	1,05	1,00	**1,18**	0,95
Incertitude de la pente ub	0,02	0,08	0,06	0,05	0,04	0,06	0,05
Ordonnée à l'origine a	-0,03	-5,00	**-1,41**	0,08	**-1,86**	**-2,65**	0,27
Incertitude de l'ordonnée à l'origine ua	0,24	2,17	0,56	0,23	0,59	0,74	0,82
Corrélation R^2	0,88	0,85	0,89	0,83	0,93	0,88	0,88
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m3)	0,07	-0,68	9,03	1,66	-1,83	2,74	-1,28
Incertitude relative élargie (k=2)	17,5%	23,3%	**61,4%**	14,4%	17,3%	**25,5%**	**26,2%**

Tableau 13 : Résultats obtenus sur le TEOM 1405-F sur la fraction PM_{10}

Campagne	All	All ≥ 30	2	5	6	11	14	15
Référence station			41024	1012	16034	4156	10016	15043
Ville			Venaco	Metz	Strasbourg	Paris	Calais	Grenoble
Station			Venaco	Borny	Clémenceau	Bobigny	Berthelot	Les Frênes
Typologie			Rural	Urbain	Trafic	Urbain	Urbain	Urbain
Caractéristiques des données brutes								
Paires de données	400	49	80	64	76	49	71	60
Moyenne de l'AMS	19,3	44,5	13,2	22,4	25,1	21,1	20,8	13,5
Moyenne de la MR	18,5	42,8	11,2	20,6	22,6	22,4	21,0	14,5
Nombre de valeur de la MR > 18 µg/m3 (PM2,5) ou 30 (PM10)	49	49	2	13	11	7	11	5
Nombre de valeur de la MR > 17 µg/m3 (PM2,5) ou 28 (PM10)	61							
Poourcentage 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)	11	11	0	6	2	1	2	0
Paires de données au printemps	189	25	75	35	0	0	38	41
Paires de données en été	41	3	0	0	15	0	20	6
Paires de données en automne	52	7	0	0	35	17	0	0
Paires de données en hivers	118	14	5	29	26	32	13	13
Régression linéaire sur les données brutes								
Pente b	**1,04**	1,07	**1,09**	**1,06**	**1,06**	0,99	1,03	1,01
Incertitude de la pente ub	0,01	0,04	0,04	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02
Ordonnée à l'origine a	0,02	-1,44	**1,01**	0,73	1,05	-1,19	-0,76	**-1,09**
Incertitude de l'ordonnée à l'origine ua	0,25	1,68	0,49	0,41	0,57	0,71	0,72	0,42
Corrélation R^2	0,95	0,94	0,90	0,99	0,97	0,96	0,94	0,97
Pente b avec ordonnée à l'origine forcée par 0	**1,05**	1,04	**1,16**	1,08	**1,10**	**0,95**	1,00	**0,96**
Incertitude de la pente avec l'ordonnée à l'originie forcée par 0	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m3)	2,27	2,27	5,33	3,55	4,28	-1,46	0,72	-0,55
Incertitude relative élargie (k=2)	13,9%	16,3%	23,0%	16,1%	19,4%	9,0%	11,8%	6,5%
Régression linéaire après application d'une fonction de correction								
Fonction de correction appliquée	0,957y -0,020							
Moyenne de l'AMS	18,5	42,6	12,6	21,5	24,0	20,2	19,9	12,9
Moyenne de la MR	18,5	42,8	11,2	20,6	22,6	22,4	21,0	14,5
Nombre de valeur de la MR > 18 µg/m3	51	44	2	14	16	5	10	4
Nombre de valeur de la MR > 25 µg/m3	12	12	0	7	2	1	2	0
Régression linéaire sur les données calibrées								
Pente b	1,00	1,03	1,04	1,01	1,02	0,95	0,98	0,97
Incertitude de la pente ub	0,01	0,04	0,04	0,01	0,02	0,03	0,03	0,02
Ordonnée à l'origine a	0,02	-1,34	**0,98**	0,69	1,00	-1,14	-0,72	**-1,05**
Incertitude de l'ordonnée à l'origine ua	0,24	1,61	0,47	0,39	0,54	0,68	0,69	0,40
Corrélation R^2	0,95	0,94	0,90	0,99	0,97	0,96	0,94	0,97
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m3)	-0,03	-0,01	2,84	1,21	1,90	-3,59	-1,51	-2,73
Incertitude relative élargie (k=2)	10,3%	13,1%	14,3%	9,0%	11,8%	16,0%	12,8%	12,6%

4.5 Résultats obtenus sur le TEOM 1405-DF

Le TEOM FDMS 1405-DF n'a été évalué que sur 1 site trafic et 1 site de fond urbain en raison de son manque de fiabilité et de sa faible disponibilité en AASQA. Il conviendra de se rapporter à la note rédigée par le LCSQA à ce sujet [9].

Le faible jeu de données obtenus pour cet instrument ne permet pas de conclure sur une quelconque tendance si ce n'est une défaillance significative constatée sur le site trafic.

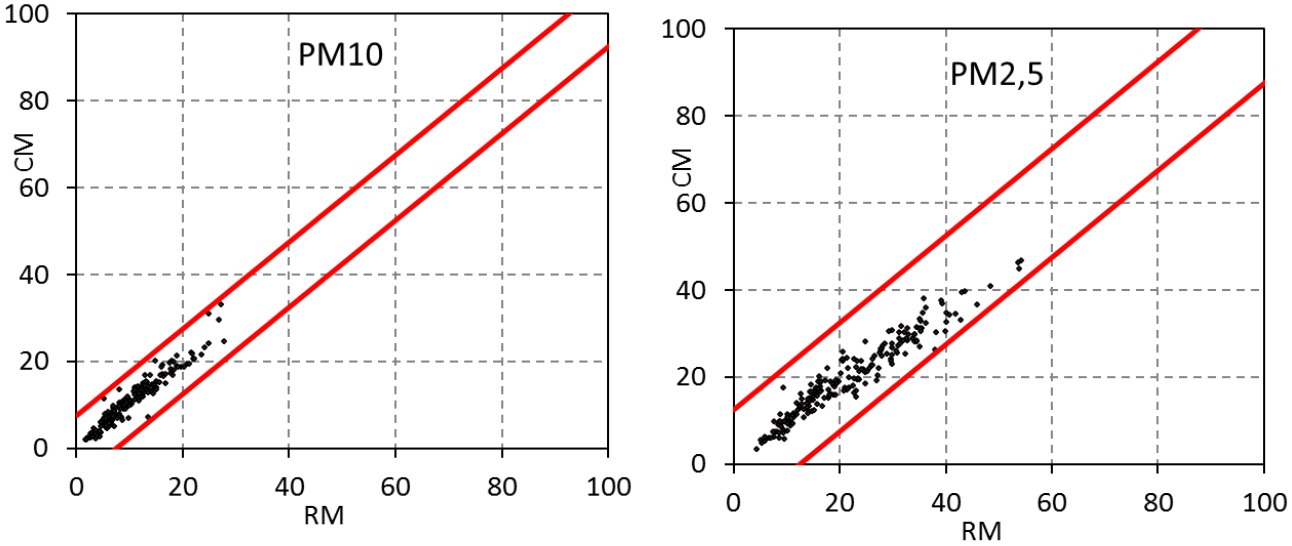


Figure 7 : Ensemble des mesures PM_{10} et $PM_{2,5}$ obtenues avec le TEOM 1405-DF lors des campagnes 2013-2016

Tableau 14 : Résultats obtenus sur le TEOM 1405-DF

	PM2,5				PM10			
Campagne	All	All ≥ 18	7	13	All	All ≥ 30	7	13
Référence station			24035	1012			24035	1012
Ville			Nice	Metz			Nice	Metz
Station			Magnan	Borny			Magnan	Borny
Typologie			Trafic	Urbain			Trafic	Urbain
Résultats sur les données brutes								
Paires de données	197	21	74	123	209	48	88	121
Moyenne de l'AMS	11,3	22,1	13,8	9,7	19,9	32,5	27,3	14,6
Moyenne de la MR	10,6	21,9	12,4	9,4	21,6	37,1	31,1	14,7
Nombre de valeur de la MR > 18 µg/m3 (PM2,5) ou 30 (PM10)	21	21	5	16	48	48	43	5
Nombre de valeur de la MR > 17 µg/m3 (PM2,5) ou 28 (PM10)	25				59			
Poourcentage de valeur > 17 µg/m3 (PM2,5) ou 28 (PM10)	13%				28%			
Nombre de valeur de la MR > 30 µg/m3 (PM2,5) ou 50 (PM10)	0	0	0	0	3	3	3	0
Paires de données au printemps	24	3	3	21	34	8	8	26
Paires de données en été	37	1	4	33	59	8	13	46
Paires de données en automne	72	7	34	38	51	18	35	16
Paires de données en hivers	64	10	33	31	65	14	32	33
Régression linéaire sur les données brutes								
Pente b	1,04	**1,53**	**1,20**	**0,94**	**0,84**	**0,84**	**0,85**	0,98
Incertitude de la pente ub	0,02	0,18	0,03	0,02	0,02	0,06	0,03	0,03
Ordonnée à l'origine a	0,28	**-11,33**	**-1,09**	**0,86**	**1,85**	1,14	1,00	0,16
Incertitude de l'ordonnée à l'origine ua	0,25	3,93	0,43	0,25	0,37	2,28	1,04	0,50
Corrélation R^2	0,92	0,71	0,94	0,93	0,93	0,77	0,88	0,88
Pente b avec ordonnée à l'origine forcée par 0	**1,06**	1,02	**1,12**	1,01	**0,91**	**0,87**	**0,88**	0,99
Incertitude de la pente avec l'ordonnée à l'originie forcée par 0	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m3)	1,45	4,48	4,91	-1,01	-6,29	-6,63	-6,67	-0,84
Incertitude relative élargie (k=2)	13,7%	**34,4%**	**33,4%**	11,1%	**26,8%**	**28,3%**	**28,4%**	9,2%
Régression linéaire après application d'une fonction de correction								
Fonction de correction appliquée	0,962y -0,272				1,195y -2,211			
Moyenne de l'AMS	10,6	21,0	13,0	9,1	21,6	36,6	30,4	15,2
Moyenne de la MR	10,6	21,9	12,4	9,4	21,6	37,1	31,1	14,7
Nombre de valeur de la MR > 18 µg/m3	19	15	9	10	49	43	42	7
Nombre de valeur de la MR > 25 µg/m3	1	1	1	0	3	3	3	0
Régression linéaire sur les données calibrées								
Pente b	1,00	**1,46**	**1,15**	**0,90**	1,01	1,03	1,02	**1,18**
Incertitude de la pente ub	0,02	0,17	0,03	0,02	0,02	0,07	0,04	0,04
Ordonnée à l'origine a	0,02	**-10,97**	**-1,30**	**0,57**	-0,14	-1,77	-1,40	**-2,22**
Incertitude de l'ordonnée à l'origine ua	0,24	3,78	0,42	0,24	0,44	2,72	1,24	0,60
Corrélation R^2	0,92	0,71	0,94	0,93	0,93	0,77	0,88	0,88
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m3)	-0,03	2,83	3,30	-2,40	0,18	-0,09	-0,22	6,99
Incertitude relative élargie (k=2)	10,3%	**25,3%**	23,3%	18,6%	11,7%	12,6%	12,1%	**30,0%**

4.6 Résultats obtenus sur le FIDAS 200

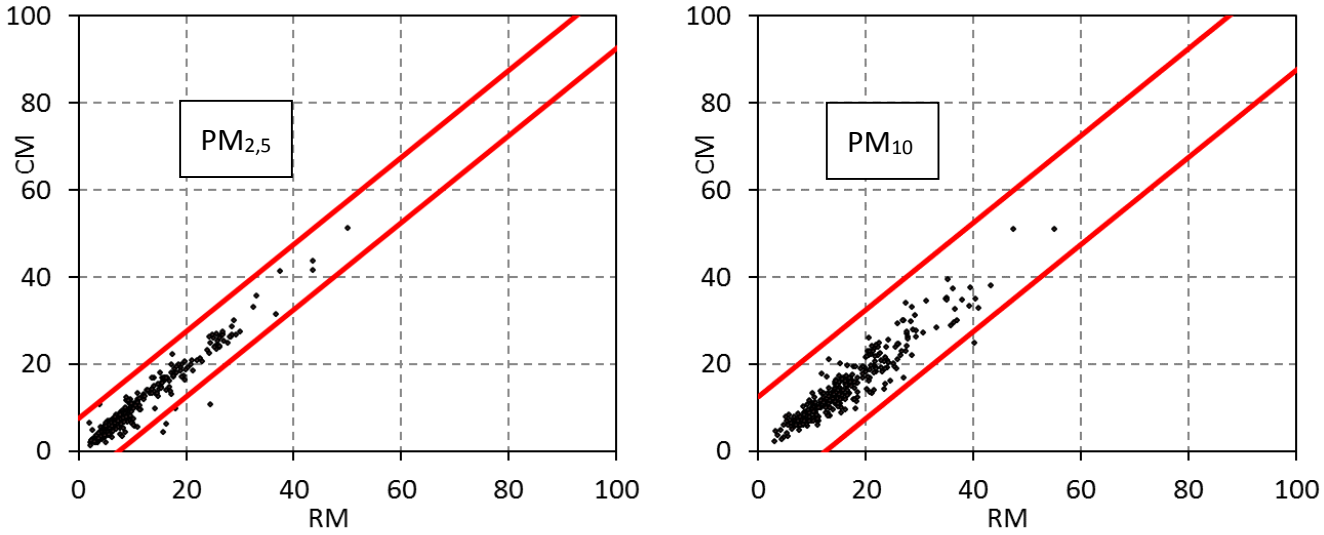


Figure 8 : Ensemble des mesures PM_{10} et $PM_{2,5}$ obtenues avec le FIDAS 200 lors des campagnes 2013-2016

Les résultats présentés pour le FIDAS 200 concernent les essais réalisés pour la démonstration de son adéquation à la mesure réglementaire des PM_{10} et $PM_{2,5}$. Ces essais ont été réalisés en parallèle du suivi d'équivalence dans le cadre de la demande de conformité technique déposée par la société ADDAIR (revendeur français).

Ces résultats ont conduit le Comité de Pilotage Stratégique à émettre un avis positif sur la conformité technique des appareils de marque PALAS modèles FIDAS 200, 200S, 200E pour la mesure réglementaire des PM10 et PM2,5. Cette conformité ne s'applique que pour les sites de typologie de fond urbain et péri urbain en site fixe ou moyen mobile et munie d'une ligne IADS de 1,20 m uniquement.

En effet, l'ensemble des données PM_{10} et $PM_{2,5}$ ne présente pas de surestimation ou sous-estimation significative et respecte les niveaux d'incertitudes élargies prescrits par le Directive 2088/50/CE (respectivement 14,5 et 11,9%).

Tableau 15 : Résultats obtenus sur le FIDAS 200 sur la fraction $PM_{2,5}$

Campagne	ALL	ALL ≥ 18	9	11	12	13	15	16
Référence station			14012	4156	7004	1012	15043	8016
Ville			Reims	Paris	Clermont	Metz	Grenoble	Montpellier
Station			Jean d'Aulan	Bobigny	Montferrand	Borny	Les Frênes	Prés d'arènes
Typologie			Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
Résultats sur les données brutes								
Paires de données	345	55	85	42	55	58	63	42
Moyenne de l'AMS	10,4	25,0	8,9	11,8	12,3	6,5	16,4	5,6
Moyenne de la MR	10,7	25,9	8,9	12,6	12,6	6,4	17,3	6,3
Nombre de valeur de la MR > 18 µg/m3 (PM2,5) ou 30 (PM10)	55	55	7	7	13	0	27	1
Nombre de valeur de la MR > 17 µg/m3 (PM2,5) ou 28 (PM10)	66							
Poourcentage de valeur > 17 µg/m3 (PM2,5) ou 28 (PM10)	19%							
Nombre de valeur de la MR > 30 µg/m3 (PM2,5) ou 50 (PM10)	8	8	1	1	0	0	6	0
Paires de données au printemps	87	12	0	0	0	21	37	29
Paires de données en été	83	0	33	0	0	37	0	13
Paires de données en automne	96	12	39	15	42	0	0	0
Paires de données en hivers	79	31	13	27	13	0	26	0
Régression linéaire sur les données brutes								
Pente b	1,00	1,09	0,99	0,93	0,99	1,08	**1,07**	0,94
Incertitude de la pente ub	0,01	0,05	0,04	0,04	0,02	0,07	0,03	0,03
Ordonnée à l'origine a	-0,38	**-3,27**	0,09	0,14	-0,23	-0,34	**-2,15**	-0,27
Incertitude de l'ordonnée à l'origine ua	0,17	1,35	0,38	0,62	0,34	0,45	0,62	0,24
Corrélation R^2	0,95	0,89	0,89	0,91	0,97	0,78	0,95	0,95
Pente b avec ordonnée à l'origine forcée par 0	0,98	0,98	0,99	0,94	0,98	1,03	0,98	0,91
Incertitude de la pente avec l'ordonnée à l'originie forcée par 0	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m3)	-0,38	-0,43	-0,35	-1,98	-0,44	1,91	-0,03	-2,07
Incertitude relative élargie (k=2)	11,9%	16,2%	12,2%	18,0%	8,1%	14,5%	17,5%	14,1%
Régression linéaire après application d'une fonction de correction								
Fonction de correction appliquée				1,000x + 0,377				
Moyenne de l'AMS	10,7	25,4	9,3	12,2	12,6	6,9	16,8	6,0
Moyenne de la MR	10,7	25,9	8,9	12,6	12,6	6,4	17,3	6,3
Nombre de valeur de la MR > 18 µg/m3	58	51	9	7	15	0	26	1
Nombre de valeur de la MR > 25 µg/m3	8	8	0	1	0	0	7	0
Régression linéaire sur les données calibrées								
Pente b	1,00	1,09	0,99	0,93	0,99	1,07	**1,07**	0,94
Incertitude de la pente ub	0,01	0,05	0,04	0,04	0,02	0,07	0,03	0,03
Ordonnée à l'origine a	0,00	**-2,90**	0,47	0,52	0,15	0,04	**-1,78**	0,11
Incertitude de l'ordonnée à l'origine ua	0,17	1,35	0,38	0,62	0,34	0,45	0,62	0,24
Corrélation R^2	0,95	0,89	0,89	0,91	0,97	0,78	0,95	0,95
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m3)	0,00	-0,06	0,03	-1,61	-0,07	2,28	0,35	-1,69
Incertitude relative élargie (k=2)	11,9%	16,2%	12,3%	16,5%	8,0%	16,9%	17,9%	12,0%

Tableau 16 : Résultats obtenus sur le FIDAS 200 sur la fraction PM_{10}

Campagne	ALL	ALL ≥ 30	9	11	12	13	15	16
Référence station			14012	4156	7004	1012	15043	8016
Ville			Reims	Paris	Clermont	Metz	Grenoble	Montpellier
Station			Jean d'Aulan	Bobigny	Montferrand	Borny	Les Frênes	Prés d'arènes
Typologie			Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain
Résultats sur les données brutes								
Paires de données	341	21	73	49	59	62	55	43
Moyenne de l'AMS	14,9	34,9	15,0	17,9	14,8	13,2	13,9	15,3
Moyenne de la MR	16,3	38,1	15,5	22,4	17,0	13,5	15,1	15,3
Nombre de valeur de la MR > 18 µg/m3 (PM2,5) ou 30 (PM10)	21	21	1	7	4	2	5	2
Nombre de valeur de la MR > 17 µg/m3 (PM2,5) ou 28 (PM10)	28							
Poourcentage 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)	1	1	0	1	0	0	0	0
Paires de données au printemps	103	9	0	0	0	29	38	36
Paires de données en été	62	0	22	0	0	33	0	7
Paires de données en automne	103	5	43	17	43	0	0	0
Paires de données en hivers	73	7	8	32	16	0	17	0
Régression linéaire sur les données brutes								
Pente b	0,97	1,28	**1,15**	0,94	**0,95**	**1,11**	**1,12**	**0,81**
Incertitude de la pente ub	0,02	0,19	0,04	0,04	0,02	0,04	0,03	0,05
Ordonnée à l'origine a	-0,84	-14,04	**-2,81**	**-3,09**	**-1,21**	**-1,79**	**-2,93**	**2,90**
Incertitude de l'ordonnée à l'origine ua	0,32	7,34	0,72	1,02	0,46	0,64	0,47	0,80
Corrélation R^2	0,89	0,52	0,90	0,90	0,96	0,91	0,97	0,87
Pente b avec ordonnée à l'origine forcée par 0	0,93	0,92	0,99	0,82	0,89	1,00	0,98	0,96
Incertitude de la pente avec l'ordonnée à l'originie forcée par 0	0,01	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m3)	-2,49	0,12	4,46	-6,29	-3,93	3,72	2,94	-6,50
Incertitude relative élargie (k=2)	14,5%	20,9%	19,9%	**27,2%**	16,7%	16,8%	13,5%	**28,0%**
Régression linéaire après application d'une fonction de correction								
Fonction de correction appliquée				1,034x + 0,866				
Moyenne de l'AMS	16,3	36,9	16,4	19,4	16,2	14,5	15,2	16,7
Moyenne de la MR	16,3	38,1	15,5	22,4	17,0	13,5	15,1	15,3
Nombre de valeur de la MR > 18 µg/m3	26	19	4	5	5	3	6	3
Nombre de valeur de la MR > 25 µg/m3	2	2	0	1	0	0	1	0
Régression linéaire sur les données calibrées								
Pente b	1,00	**1,34**	**1,19**	0,97	0,98	**1,15**	**1,16**	**0,84**
Incertitude de la pente ub	0,02	0,20	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03	0,05
Ordonnée à l'origine a	-0,03	**-14,28**	**-2,07**	**-2,37**	-0,40	-1,01	**-2,17**	**3,83**
Incertitude de l'ordonnée à l'origine ua	0,33	7,60	0,74	1,05	0,48	0,66	0,49	0,83
Corrélation R^2	0,89	0,52	0,90	0,90	0,96	0,91	0,97	0,87
Biais au niveau de la valeur limite (µg/m3)	0,07	2,90	7,26	-3,88	-1,47	6,49	5,64	-4,08
Incertitude relative élargie (k=2)	11,5%	25,0%	**30,7%**	19,2%	9,1%	**27,5%**	23,9%	19,9%

5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Suite aux tests réalisés, le tableau ci-dessous présente les premières tendances observées sur la nécessité d'appliquer une fonction de correction aux données produites pour chacun des AMS actuellement homologué. A noter que ces tendances sont les mêmes que celles constatées lors du bilan 2011-2014.

Modèle d'appareil équivalent à la méthode de référence	Fonction de correction	
	$PM_{2,5}$	PM_{10}
TEOM-FDMS 8500	**Oui**	**Non**
TEOM 1405-F	**Oui**	**Non**
TEOM 1405-DF	**Peu de données disponibles**	
BAM 1020 avec système « Smart Heater »	**Oui**	**Oui**
MP101M avec ligne RST	**Oui**	**Oui**
FIDAS 200	**Non**	**Non**

De plus, il a pu être constaté sur différents sites de même typologie (i.e : trafic), pour un même AMS des résultats très différents, allant d'une surestimation de 12% à une sous-estimation de 8%. Ce constat suggère le besoin d'augmenter le nombre de sites trafic (minimum 4) instrumentés au sein du dispositif national de suivi d'équivalence afin de tenir compte de toutes les conditions rencontrées sur le territoire. Une fois le suivi d'équivalence réalisé sur un nombre de site trafic plus important, il conviendra de réaliser un traitement statistique distinct pour les sites trafic et les sites de fond urbain et ruraux.

Enfin, il a été démontré que les tendances constatées sur une campagne incomplète (i.e : année non couverte complètement) pouvaient considérablement évoluée une fois le jeu de données complété. Ceci démontre à nouveau l'importance d'éviter toute conclusion hâtive sur les résultats d'un site tant que le jeu de données ne couvre pas une année complète.

6. REFERENCES

[1] 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.

[2] S. Verlhac (LCSQA), O. Favez, L. Malherbe and F. Couvidat, "Méthodologie pour la détermination des sites de suivi d'équivalence des analyseurs automatiques de PM," 2014.

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

[4] AFNOR, «XP CEN/TS 16450: Air ambiant - Systèmes automatisés de mesurage de la concentration de matière particulaire (PM10 ; PM2,5),» 2013.

[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] AFNOR, «prEN 16450: Air ambiant - Systèmes automatisés de mesurage de la concentration de matière particulaire (PM10; PM2,5),» 2015.

[7] F. Mathé (LCSQA), B. Herbin et S. Crunaire, «Surveillance des particules en suspension PM10 et PM2.5 par absorption de rayonnement bêta,» 2014.

[8] S. Verlhac (LCSQA), «Guide méthodologique pour la surveillance des PM10 et PM2,5 par TEOM-FDMS dans l'air ambiant,» 2013.

[9] R. Aujay (LCSQA), Retour d'expérience sur les TEOM-FDMS 1405-DF, 2015.

[10] «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.

[11] (LCSQA), «Liste des appareils pouvant être utilisés en AASQA pour la surveillance réglementaire de la qualité de l'air (http://www.lcsqa.org/homologation-appareils-mesure)».

[12] S. Verlhac (LCSQA), «Suivi de l'équivalence des appareils de mesure PM2,5, Campagne printemps/été 2013 à Reims (Jean d'Aulan, station fond urbain),» 2013.

[13] S. Verlhac (LCSQA) et O. Favez, «Suivi de l'équivalence des analyseurs automatiques de PM: contexte européen et mise en oeuvre à l'échelle nationale,» 2013.

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