



HAL
open science

Contrôle des paramètres de fonctionnement et raccordement à l'aide de cales étalons des analyseurs automatiques de PM

François Mathe, Pamela Harb, Benoît Herbin

► **To cite this version:**

François Mathe, Pamela Harb, Benoît Herbin. Contrôle des paramètres de fonctionnement et raccordement à l'aide de cales étalons des analyseurs automatiques de PM. LCSQA. 2021. hal-04251893

HAL Id: hal-04251893

<https://imt-nord-europe.hal.science/hal-04251893>

Submitted on 20 Oct 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Contrôle des paramètres de fonctionnement et raccordement à l'aide de cales étalons des analyseurs automatiques de PM

**Laboratoire Central de Surveillance
de la Qualité de l’Air**

**CONTROLE DES PARAMETRES DE FONCTIONNEMENT ET
RACCORDEMENT A L'AIDE DE CALES ETALONS DES ANALYSEURS
AUTOMATIQUES DE PM**

Auteurs

François MATHE - Pamela HARB - Benoît HERBIN

IMT Lille Douai

**Centre d’Enseignement, de Recherche et d’Innovation Energie et
Environnement (CERI EE)**

Mai 2021

Vérification : S. Crunaire

Approbation : N. Locoge

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 DE MATIERE

RESUME.....	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
ABSTRACT.....	9
1. INTRODUCTION.....	11
2. ANNEE 2017	12
2.1 Répartition du parc d'analyseurs automatiques de particules.....	12
2.2 Résultats des essais métrologiques pratiqués en 2017	14
2.2.1 Vérification des paramètres métrologiques des Microbalances.....	15
2.2.2 Vérification des paramètres métrologiques pour jauges radiométriques MP101M	16
2.2.3 Vérification de la réponse de jauges radiométriques BAM1020.....	17
3. ANNEE 2018	18
3.1 Répartition du parc d'analyseurs automatiques de particules.....	18
3.2 Résultats des essais métrologiques pratiqués en 2018.....	19
3.2.1 Vérification des paramètres métrologiques des Microbalances.....	20
3.2.2 Vérification des paramètres métrologiques pour jauges radiométriques MP101M	21
3.2.3 Vérification de la réponse de jauges radiométriques BAM1020.....	23
4. ANNEE 2019	23
4.1 Répartition du parc d'analyseurs automatiques de particules.....	23
4.2 Résultats des essais métrologiques pratiqués en 2019.....	25
4.2.1 Vérification des paramètres métrologiques des Microbalances.....	25
4.2.2 Vérification des paramètres métrologiques pour jauges radiométriques MP101M	27
4.2.3 Vérification de la réponse de jauges radiométriques BAM1020.....	28
5. ANNEE 2020	29
5.1 Répartition du parc d'analyseurs automatiques de particules.....	29
5.2 Résultats des essais métrologiques pratiqués en 2020.....	30
5.2.1 Vérification des paramètres métrologiques des Microbalances.....	31
5.2.2 Vérification des paramètres métrologiques pour jauges radiométriques MP101M	32
5.2.3 Vérification des paramètres métrologiques pour jauges radiométriques BAM1020	34
6. ANALYSE DE L'EVOLUTION DU PARC INSTRUMENTAL REGLEMENTAIRE ENTRE 2016 ET 2020	35

7. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	40
GLOSSAIRE	42
ANNEXE	43

RESUME

Les procédures de raccordement des mesures aux étalons de référence nationaux mis en place par le LCSQA-IMT Lille Douai depuis plusieurs années, permettent aux Associations Agréées pour la Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA) de vérifier le bon fonctionnement de leurs appareils de mesure automatiques (AMS) utilisés pour la surveillance réglementaire des particules en suspension dans l'air ambiant. Le présent rapport présente les bilans des années 2017 à 2020 des contrôles de paramètres métrologiques suivants :

- Débit de prélèvement, constante d'étalonnage et linéarité pour les microbalances à variation de fréquence de marque américaine Thermo Scientific modèle 1400AB + FDMS 8500C et modèle 1405-F (appareils distribués en France par la société Ecomesure) ;
- Cale étalon et linéarité de réponse pour les jauges radiométriques (communément appelées « jauges bêta ») de marque française ENVEA (anciennement Environnement SA) modèle MP101M et de marque américaine MetOne modèle BAM 1020 (appareils distribués en France par la société Envicontrol).

Les résultats montrent que l'ensemble des spécifications fixées ont été globalement respectées depuis 2018 et que les moyens mis en œuvre ont permis d'identifier les dysfonctionnements d'un appareil parmi l'ensemble des analyseurs et moyens d'étalonnage contrôlés. L'efficacité de cette « chaîne de contrôle pour la mesure réglementaire des particules » mise en place par le LCSQA-IMT Lille Douai peut être qualifiée de très satisfaisante.

Ce bilan a également permis d'effectuer une analyse du parc instrumental entre les années 2016 et 2020, mettant en évidence un accroissement du taux de mise au rebut par les AASQA des microbalances à variation de fréquence modèle TEOM 1400AB au profit de l'utilisation de techniques plus robustes ou à dynamique de mesures plus élevée comme notamment les jauges radiométriques BAM 1020 et les granulomètres par diffusion lumineuse FIDAS 200 E (de marque PALAS, distribuée en France par ADDAIR).

ABSTRACT

The scheme for traceability of the measurements to national reference standards established by the French National reference laboratory (LCSQA-IMT Lille Douai) provide to Air quality monitoring Networks (AASQA) a mean to check the correct operation of AMS used for regulated monitoring of particles in ambient air. This report presents a synthesis of the metrological tests done between 2017 and 2020 for the following parameters:

- Sampling rate, calibration constant and linearity of microbalances model 1400AB + FDMS 8500C and model 1405-F made by the American company Thermo Scientific and distributed in France by Ecomesure;
- Control of reference span membrane and linearity for radiometric gauges model MP101M of the French company ENVEA and model BAM 1020 of the American one Met One (distributed in France by the company Envicontrol).

Results show that the overall specifications were respected since 2018 and that the implemented scheme allows to identify malfunction on a device among the tested ones. The "*control chain for particles monitoring*" implemented by the French National reference laboratory (LCSQA-IMT Lille Douai) is well adapted and efficient.

In addition, the report presents an analysis of the distribution of approved particle analyzers between 2016 and 2020, showing an increase of the rejection rate concerning oscillating microbalance model TEOM 1400 AB in favor of more robust techniques or devices with higher temporal dynamic (like radiometric gauges BAM 1020 or light diffusion granulometer FIDAS 200 E).

1. INTRODUCTION

Dès 1996, la « chaîne nationale d'étalonnage » a été mise en place dans le but de garantir la cohérence spatiale des mesures réalisées dans le cadre de la surveillance de la qualité de l'air pour les principaux polluants atmosphériques gazeux mesurés en automatique dans les stations de mesure, à savoir : monoxyde d'azote, dioxyde d'azote, dioxyde de soufre, monoxyde de carbone, ozone, benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes. Dans le cas des particules, en l'absence d'étalons primaires nationaux, il s'avère impossible d'effectuer comme pour les gaz un raccordement direct des analyseurs automatiques en station de mesure aux étalons de référence nationaux. Les objectifs de la mise à disposition par le LCSQA-IMT Lille Douai de moyens de contrôle de mesure de particules en suspension dans l'air ambiant par voie automatique sont les suivants :

- Fournir aux AASQA un moyen de contrôle raccordé à une chaîne d'étalonnage, leur permettant de vérifier, si possible directement sur le site, le bon fonctionnement de leurs analyseurs automatiques (microbalances à variation de fréquence, jauges radiométriques) ;
- Vérifier la conformité du débit de prélèvement des appareils par le biais d'une procédure commune et, donc de permettre une comparaison de l'ensemble des résultats de mesures au niveau national (les éventuels problèmes liés aux caractéristiques des sites de prélèvements ne sont pas pris en compte dans ces travaux) ;
- Tester la linéarité des appareils ou la réponse à un autre niveau de la gamme de mesure d'appareillage dans des conditions respectant les servitudes d'utilisation préconisées par le fabricant, à savoir dans une gamme de valeurs correspondant à l'empoussièrément usuel observé sur un site de mesure.

Le cadre réglementaire de surveillance de la qualité de l'air est défini par les Directives Européennes 2004/107/CE du 15 décembre 2004, 2008/50/CE du 21 mai 2008 et 2015/1480 (UE) du 28 août 2015. Dans ce cadre, la surveillance de la qualité de l'air ambiant est réalisée à travers des techniques spécifiquement désignées répondant aux objectifs de qualité des données en fonction du niveau de polluant visé. Le parc instrumental réglementaire peut se distinguer entre :

- La « *mesure fixe* » qui désigne la technique de mesure jugée la plus performante devant être utilisée lorsque les niveaux des polluants réglementés dépassent le seuil fixé par les Directives.
- Les méthodologies jugées moins contraignante tels que la « *mesure indicative* » qui peuvent être utilisées en l'absence de seuil réglementaire spécifique et/ ou lorsque les niveaux des polluants règlementés ne dépassent pas le seuil fixé par les Directives.

L'objectif du présent rapport est double :

- Donner les bilans sur les mises à disposition de moyens de contrôle d'étalonnage d'AMS PM effectués de 2017 à 2020 par le LCSQA-IMT Lille Douai. Ces bilans pourront permettre un ajustement des spécifications fixées par le LCSQA-IMT Lille Douai pouvant s'avérer très stricts.
- Présenter une analyse de l'évolution entre 2016 et 2020 du parc instrumental réglementaire des AMS PM.

Le rapport est structuré de la manière suivante : un paragraphe dédié à chaque année entre 2017 et 2020. Les paragraphes sont subdivisés en deux parties, une première partie consacrée à la répartition du parc instrumental et une deuxième partie présentant les résultats synthétiques des différents paramètres métrologiques testés par type d'analyseur : vérification du débit de prélèvement, de la constante d'étalonnage et de la linéarité pour les microbalances (TEOM 1400AB, TEOM 1400AB + FDMS, 1405-F), contrôle de cales étalons et vérification de linéarité de réponse pour les Jauges radiométriques (MP101M et BAM 1020).

Les résultats sont présentés avec un code couleur :

- **Vert** pour les critères respectés,
- **Orange** lorsque les tolérances sont acceptables (écart $\leq \pm 5\%$)
- **Rouge** lorsque les critères ne sont pas respectés ($\pm 5\% < \text{écart} \leq \pm 10\%$). Dans ce cas une action est requise (intervention sur l'appareil, réajustage du moyen d'étalonnage de l'AASQA).

2. ANNEE 2017

2.1 Répartition du parc d'analyseurs automatiques de particules

La Figure 1 présente la répartition du parc instrumental d'analyseurs automatiques de particules pour l'année 2017 (inventorié sur l'outil national Gestion'Air). 796 analyseurs automatiques de particules étaient en utilisation dans le dispositif national : 471 microbalances (59%), 317 jauges radiométriques (soit 40%) et 8 granulomètres (soit 1%). 81% du parc instrumental (641 analyseurs) correspond à des appareils conformes sur le plan technique et 155 analyseurs (soit 19%) sont des appareils non conformes sur le plan technique. Des travaux seront menés par le LCSQA pour définir les conditions à respecter pour effectuer des mesures indicatives, l'utilisation de ces analyseurs « non conformes techniquement » pourra être examinée à cet effet.

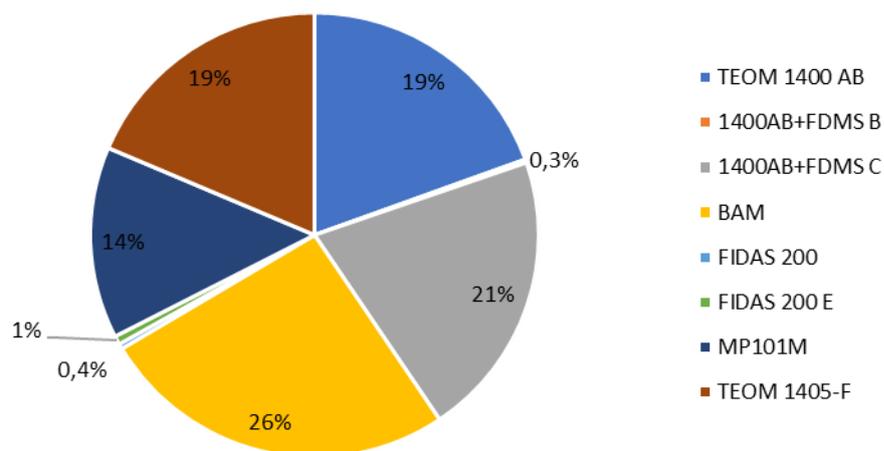


Figure 1 : Répartition du parc instrumental d'analyseurs automatiques de particules en 2017 (source : Donnée Gestion'Air)

La répartition du parc instrumental entre PM₁₀ et PM_{2,5} est représentée sur la Figure 2. 20% (soit 161 analyseurs) sont déclarés « dédiés » à la mesure des concentrations massiques en PM_{2,5}, 46% (soit 363) à la mesure des PM₁₀ et 264 analyseurs (soit un tiers du parc instrumental) ne sont pas dédiés à une fraction particulière et peuvent donc être considérés comme « interchangeables » entre PM₁₀ et PM_{2,5}. Par ailleurs, il est à noter que les 8 granulomètres optiques (modèles Fidas 200 et 200E) permettent la mesure simultanée des PM₁₀ et PM_{2,5}.

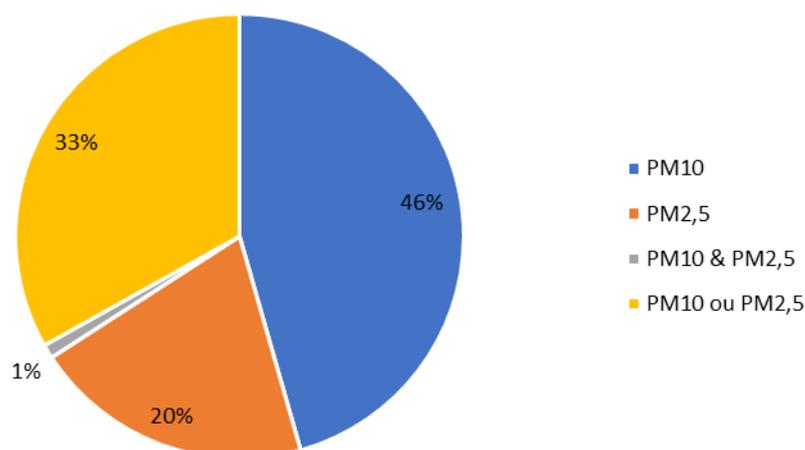


Figure 2 : Répartition du parc instrumental d'analyseurs automatiques de particules entre PM₁₀ et PM_{2,5} (source : Données Gestion 'Air)

2.2 Résultats des essais métrologiques pratiqués en 2017

Un total de 148 analyseurs (104 microbalances et 44 jauges radiométriques) ont fait l'objet de vérifications métrologiques en 2017. Le bilan est présenté dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Répartition des analyseurs vérifiés en 2017

Modèle d'appareil	AASQA	Nombre d'appareils testés ou de cales étalon évaluées
Microbalances (TEOM 1400AB, TEOM 1400AB + FDMS, 1405-F)	Lig'Air	7
	Atmo Hauts-de-France	18
	Atmo Bourgogne-Franche-Comté	4
	Atmo Normandie	8
	Atmo Occitanie	5
	Air Pays de la Loire	17
	Qualitair Corse	4
	Air Breizh	4
	AtmoSud	10
	Madininair	10
	Atmo Nouvelle-Aquitaine	16
	Hawa Mayotte	1
Jauges MP101M	Atmo Nouvelle-Aquitaine	9
	Atmo Occitanie	3
	Atmo Normandie	6
	Atmo Bourgogne-Franche-Comté	2
	Atmo Hauts-de-France	6
Jauges BAM 1020	Atmo Normandie	4
	Air Pays de la Loire	1
	Qualitair Corse	6
	Air Breizh	1
	Atmo Nouvelle-Aquitaine	6

Les moyens à mettre en œuvre pour la vérification de différents paramètres métrologiques sont décrits dans le rapport LCSQA intitulé « *Maintien et amélioration des chaînes nationales d'étalonnage (analyseurs automatiques de PM)* » publié en 2016. Les spécifications fixées par le LCSQA-IMT Lille Douai pour chacun des critères métrologiques contrôlés sont rappelés en annexe de ce rapport.

2.2.1 Vérification des paramètres métrologiques des microbalances

2.2.1.1 Vérification du débit de prélèvement

Pour l'année 2017, 5 AASQA ont contrôlé le débit des analyseurs selon l'une des procédures conseillées par le LCSQA-IMT Lille Douai. Les résultats obtenus pour un total de 45 microbalances, soit environ 10% du parc des microbalances, sont résumés dans le Tableau 2. La moyenne de la valeur absolue de l'écart relatif (MVAER) varie entre 0,24% et 3,51% et l'étendue de l'écart relatif réel constaté sur le terrain est comprise entre -5,22% et 2,82%.

Tableau 2 : Résultats des contrôles de débit effectués sur des microbalances en 2017

AASQA	Nombre d'appareils	MVAER (%)	Ecart mini (%)	Ecart maxi (%)
Atmo Nouvelle-Aquitaine	13	3,51	-5,22	0,18
Madininair	7	0,24	-0,14	0,7
Atmo Bourgogne-Franche-Comté	4	0,95	-2,82	0,66
Atmo Normandie	6	1,56	-3,42	0,9
Air Pays de la Loire	15	0,68	0,06	2,82

2.2.1.2 Vérification de la constante d'étalonnage de la microbalance

La constante d'étalonnage de 62 microbalances équipant 7 AASQA, soit environ 13% du parc des microbalances, a été contrôlée en 2017 à l'aide de cales étalon fournies par le LCSQA. Les résultats obtenus sont résumés dans le Tableau 3, la MVAER varie entre 0,64 et 1,63%, l'étendue de l'écart relatif réel constaté sur le terrain est comprise entre -1,91 et 2,39%.

Tableau 3 : Résultats des mises à disposition de cales étalon à des AASQA pour le contrôle de la constante d'étalonnage de TEOM (2017)

AASQA	Nombre d'appareils	MVAER (%)	Ecart mini (%)	Ecart maxi (%)
Atmo Hauts-de-France	18	0,72	0,06	1,81
Madininair	10	0,64	0,04	1,24
Qualitair Corse	4	1,02	0,38	2,05
Air Breizh	4	1,28	-1,48	1,32
Atmo Normandie	8	0,83	-0,55	1,63
Air Pays de la Loire	17	0,80	-1,91	2,39
Hawa Mayotte	1	1,63	1,63	1,63

2.2.1.3 Vérification de la linéarité des microbalances

Le nombre de points de vérification de la linéarité a été fixé à 4 (3 points d'échelle et le zéro). Le contrôle de linéarité a été effectué sur 39 appareils (soit environ 8% du parc des microbalances) appartenant à 5 AASQA. Les résultats des droites de régression obtenues sont présentés dans le Tableau 4.

Les résultats montrent un comportement satisfaisant des microbalances avec un coefficient de régression R^2 supérieur à 0,999. La pente et l'ordonnée à l'origine de la droite de régression varient respectivement de 0,977 à 1,019 et de -74,1 à 80,1. Les spécifications sur la linéarité fixées par le LCSQA-IMT Lille Douai ont été respectées.

Tableau 4: Résultats des droites de régression obtenues pour le contrôle de linéarité des microbalances (2017)

AASQA	Nombre d'appareils	R^2			Pente		Ordonnée à l'origine	
		moyen	Min	max	min	max	min	max
Atmo Bourgogne-Franche-Comté	4	0,99977	0,99958	0,99993	1,003	1,012	-74,1	16,9
Lig'Air	7	0,99998	0,99997	0,99999	0,985	1,007	-17	4,8
Atmo Occitanie	5	0,99998	0,99997	0,99999	0,977	0,998	-66,6	8,8
AtmoSud	10	0,99996	0,99992	0,99998	0,994	1,011	34,2	80,1
Atmo Nouvelle-Aquitaine	13	0,99993	0,99962	0,99999	0,979	1,019	2,3	79,5

2.2.2 Vérification des paramètres métrologiques pour jauges radiométriques MP101M

2.2.2.1 Contrôle de cales étalon

En 2017, Atmo Hauts-de-France a demandé au LCSQA-IMT Lille Douai de contrôler ses 4 cales étalons utilisées pour les jauges MP101M. Le Tableau 5 résume les résultats obtenus. Par rapport aux valeurs annoncées par l'AASQA, les écarts déterminés après vérification du LCSQA-IMT Lille Douai sont faibles (< 3%). Les résultats sont considérés comme satisfaisants.

Tableau 5 : Résultats de vérifications de cale étalon d'Atmo Hauts-de-France (2017)

Valeur annoncée pour la cale ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	Résultat vérification LCSQA ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	Écart relatif par rapport à la valeur annoncée (%)
894	887	-0,8
845	825	-2,4
865	862	-0,3
805	810	0,6

2.2.2.2 Vérification de la linéarité

16 jauges MP101M, soit environ 14% du parc des jauges MP101M, appartenant à 5 AASQA ont été contrôlées en 2017. Le nombre de points de vérification a été fixé à 4 (3 points d'échelle et zéro). Les résultats, présentés sur le Tableau 6, montrent l'excellent comportement des jauges vérifiées avec un coefficient de régression supérieur à 0,999. Les valeurs de pente et ordonnées à l'origine de la droite de régression varient respectivement de 0,995 à 1 et de -13 à 8. Les spécifications sur la linéarité fixées par le LCSQA-IMT Lille Douai ont été respectées.

Tableau 6 : Résultats des droites de régression obtenues pour le contrôle de linéarité des jauges MP101M (2017)

AASQA	Nombre d'appareils	R ²			Pente		Ordonnée à l'origine	
		moyen	min	max	max	min	max	min
Atmo Bourgogne-Franche Comté	2	0,9999	0,9998	1	1,036	0,995	3	-12
Atmo Nouvelle-Aquitaine	3	0,9999	0,9997	1	1,003	0,976	8	2,6
Atmo Occitanie	3	0,9995	0,9991	0,9997	1,047	1,039	-9	-22
Atmo Hauts-de-France	2	0,9996	0,9995	0,9996	1,031	1,018	-11	-12
Atmo Normandie	6	0,9996	0,9994	0,9998	1,047	1,014	-5	-13

2.2.3 Vérification de la réponse de jauges radiométriques BAM1020

En 2017, 5 AASQA ont demandé au LCSQA-IMT LD la vérification de leurs jauges BAM1020. 18 appareils ont été contrôlés, les résultats figurent dans le

Tableau 7. Pour Atmo Normandie, les 4 appareils contrôlés ont abouti à des valeurs de coefficient de régression R^2 inférieurs à la valeur à respecter. Parallèlement, les valeurs de pente trouvées sont supérieures aux valeurs fixées. Toutefois les écarts observés, pour le coefficient de régression et la pente, sont inférieurs à 5% donc les tolérances sont « acceptables ». Ces écarts peuvent-être liés aux conditions d'utilisation des cales notamment l'influence de l'humidité. Néanmoins, les mêmes appareils montrent un fonctionnement correct en 2019 (cf. Tableau 20) mettant en avant des actions correctives menées par Atmo Normandie. Pour le reste des appareils, les résultats montrent un excellent comportement des jauges, avec des valeurs de R^2 supérieures à 0,999, le critère fixé est respecté. La pente et l'ordonnée à l'origine de la droite de régression varient respectivement de 0,9642 à 1,1035 et de -10,03 à 3,96. Donc pour ces appareils les spécifications sur la linéarité ont été respectées.

Tableau 7 : Résultats des droites de régression obtenues pour le contrôle de linéarité des jauges BAM 1020 (2017)

AASQA	Nombre d'appareils	R ²			Pente		Ordonnée à l'origine	
		moyen	min	max	min	max	min	max
Atmo Normandie	4	0,9938	0,9934	0,9941	1,0571	1,1001	-10,03	-9,24
Air Pays de la Loire	1	0,9991	0,9991	0,9991	1,035	1,035	-5	-5
Qualitair Corse	6	0,9999	0,9999	1	0,9642	1,0046	0,4	1,24
Atmo Nouvelle-Aquitaine	6	0,9996	0,9995	0,9997	0,989	1,0208	3,2	4,2
Air Breizh	1	0,9995	0,9995	0,9995	0,9738	0,9738	3,96	3,96

3. ANNEE 2018

3.1 Répartition du parc d'analyseurs automatiques de particules

La Figure 3 présente la répartition du parc instrumental d'analyseurs automatiques de particules pour l'année 2018 (inventorié sur l'outil national Gestion'Air). 781 analyseurs automatiques de particules étaient en utilisation dans le dispositif national : 407 (soit 52%) microbalances, 337 (soit 43%) jauges radiométriques et 37 granulomètres (soit 5%). 84% du parc instrumental (656 analyseurs) correspond à des appareils conformes sur le plan technique et 125 analyseurs (soit 16%) sont des appareils non conformes sur le plan technique. Des travaux seront menés par le LCSQA pour définir les conditions à respecter pour effectuer des mesures indicatives, l'utilisation de ces analyseurs « non conformes techniquement » pourra être examinée à cet effet.

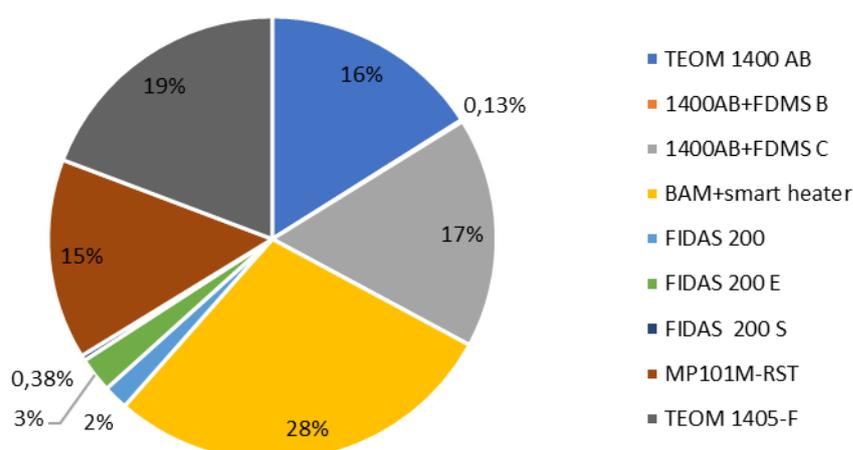


Figure 3 : Répartition du parc instrumental d'analyseurs automatiques de particule en 2018 (source : Donnée Gestion'Air)

La répartition du parc instrumental entre PM₁₀ et PM_{2,5} est représentée sur la Figure 2. 15% (soit 120 analyseurs) sont déclarés dédiés à la mesure des concentrations massiques en PM_{2,5}, 48% (soit 372 appareils) à la mesure des PM₁₀ et 262 analyseurs, soit 34% du parc instrumental, ne sont pas dédiés à une fraction particulière et peuvent donc être considérés comme « interchangeables » entre PM₁₀ et PM_{2,5}.

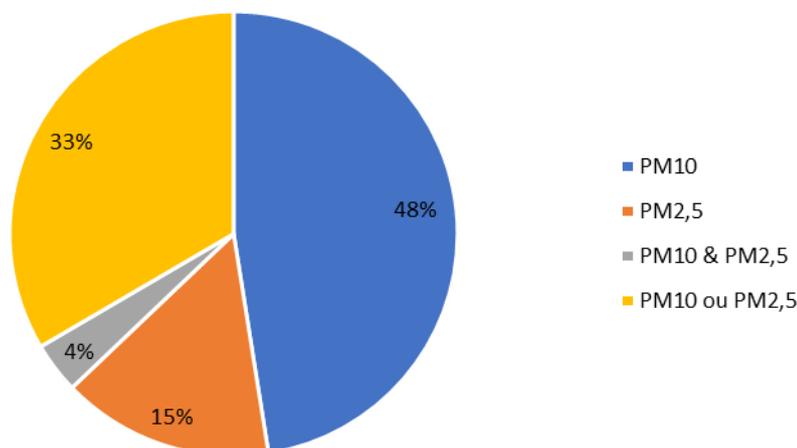


Figure 4 : Répartition du parc instrumental d'analyseurs automatiques de particules entre PM₁₀ et PM_{2,5} en 2018 (source : Données Gestion 'Air)

3.2 Résultats des essais métrologiques pratiqués en 2018

Un total de 117 analyseurs (49 microbalances et 68 Jauges radiométriques) ont fait l'objet de vérifications métrologiques. Le bilan est présenté dans le Tableau 8.

Tableau 8 : Répartition des analyseurs vérifiés en 2018

Modèle d'appareil	AASQA	Nombre d'appareils testés ou de cales étalon évaluées
Microbalances (TEOM 1400AB, TEOM 1400AB + FDMS, 1405-F)	Atmo Auvergne-Rhône-Alpes	2
	Lig'Air	12
	Atmo Bourgogne-Franche-Comté	6
	Qualitair Corse	9
	Atmo Hauts-de-France	12
	Madininair	8
Jauges MP101M	Atmo Hauts-de-France	13
	Atmo Auvergne-Rhône-Alpes	12
	Atmo Bourgogne-Franche-Comté	10
Jauges BAM 1020	Atmo Auvergne-Rhône-Alpes	8
	Lig'Air	9
	Qualitair Corse	5
	Atmo Bourgogne-Franche-Comté	11

3.2.1 Vérification des paramètres métrologiques des microbalances

3.2.1.1 Vérification du débit de prélèvement

Pour l'année 2018, 4 AASQA ont contrôlé le débit des analyseurs selon l'une des procédures conseillées par le LCSQA-IMT Lille Douai. Les résultats obtenus pour un total de 21 microbalances, soit environ 5% du parc des microbalances, sont résumés dans le Tableau 9. La moyenne de la valeur absolue de l'écart relatif (MVAER) varie entre 0,72% et 2,18%, l'étendue de l'écart relatif réel constaté sur le terrain est comprise entre -1,14% et 4,68%.

Tableau 9 : Résultats des contrôles de débit effectués sur des microbalances en 2018

AASQA	Nombre d'appareils	MVAER (%)	Ecart mini (%)	Ecart maxi (%)
Lig'Air	5	2,18	-0,12	4,68
Madininair	8	0,72	-0,3	2,22
Atmo Bourgogne-Franche-Comté	4	1,36	-1,14	1,86
Atmo Auvergne-Rhône-Alpes	4	1,83	1,83	1,83

3.2.1.2 Vérification de la constante d'étalonnage de la microbalance

La constante d'étalonnage de 35 microbalances équipant 4 AASQA, soit environ 13% du parc des microbalances, ont été contrôlées en 2018 à l'aide de cales étalon fournies par le LCSQA. Les résultats obtenus sont résumés dans le

, la MVAER varie entre 0,29 et 1,95%, l'étendue de l'écart relatif réel constaté sur le terrain est comprise entre -1,19 et 7,62 %.

Tableau 10 : Résultats des mises à disposition de cales étalon à des AASQA pour le contrôle de la constance d'étalonnage de TEOM (2018)

AASQA	Nombre d'appareils	MVAER (%)	Ecart mini (%)	Ecart maxi (%)
Qualitair Corse	9	0,29	-0,62	0,59
Madininair	8	1,95	0,08	7,62
Atmo Bourgogne-Franche-Comté	6	0,61	-1,19	0,79
Atmo Hauts-de-France	12	0,80	0,03	1,9

3.2.1.3 Vérification de la linéarité des microbalances

Le nombre de points de vérification de la linéarité a été fixé à 4 (3 points d'échelle et le zéro). Le contrôle de linéarité a été effectué sur 26 appareils (soit environ 6% du parc des microbalances) appartenant à 4 AASQA. Les résultats des droites de régression obtenues sont présentés dans le Tableau 11.

Les résultats montrent le comportement satisfaisant des microbalances avec un coefficient de régression R^2 supérieur à 0,999. La pente et l'ordonnée à l'origine de la droite de régression varient respectivement de 0,983 à 1,018 et de -198,7 à 34,5. Les spécifications sur la linéarité fixées par le LCSQA-IMT Lille Douai ont été respectées.

Tableau 11: Résultats des droites de régression obtenus pour le contrôle de linéarité des microbalances (2018)

AASQA	Nombre d'appareils	R ²			Pente		Ordonnée à l'Origine	
		moyen	min	max	min	max	min	max
Atmo Auvergne-Rhône-Alpes	2	0,99999	0,99999	0,99999	0,994	0,998	-11,2	-10,1
Lig'Air	12	0,99997	0,99982	1	0,949	1,018	-35,8	34,5
Atmo Bourgogne-Franche-Comté	4	0,99977	0,99958	0,99993	1,003	1,012	-74,1	16,9
Madininair	8	0,99984	0,99976	0,99990	0,983	1,003	-198,7	-117,4

3.2.2 Vérification des paramètres métrologiques pour jauges radiométriques MP101M

3.2.2.1 Contrôle de cales étalon

En 2018, 3 AASQA ont demandé au LCSQA-IMT Lille Douai de contrôler leurs cales étalons utilisées sur les jauges MP101M. 16 cales étalons ont été contrôlées, le Tableau 12 résume les résultats obtenus. Par rapport aux valeurs annoncées par les AASQA, les écarts déterminés après vérifications LCSQA-IMT LD sont faibles ($\leq 4\%$). Les résultats sont ainsi satisfaisants.

Tableau 12 : Résultats de vérifications de cales étalon des jauges MP101M (2018)

AASQA	Valeur annoncée pour la cale ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	Résultat vérification LCSQA ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	Écart par rapport à la valeur annoncée (%)
Atmo Hauts-de-France	887	885	-0,2
	854	880	3,0
	853	848	-0,6
	825	826	0,1
	849	848	-0,1
	828	824	-0,5
Atmo Auvergne-Rhône-Alpes	855	857	0,2
	787	804	1,5
	817	837	2,4
	833	859	3,1
	848	869	2,5
	863	876	1,5
Atmo Bourgogne-Franche-Comté	810	807	-0,4
	863	870	0,8
	822	828	0,7
	863	860	-0,3

3.2.2.2 Vérification de la linéarité

19 jauges MP101M, soit environ 17% du parc des jauges MP101M, appartenant à 3 AASQA ont été contrôlées en 2018. Le nombre de points de vérification a été fixé à 4 (3 points d'échelle et zéro). Les résultats, présentés sur le Tableau 13, montrent l'excellent comportement des jauges vérifiées, le coefficient de régression R^2 est supérieur à 0,999. Les valeurs de pente et ordonnées à l'origine de la droite de régression varient respectivement de 0,995 à 1,042 et de -15 à 5. Les spécifications sur la linéarité fixées par le LCSQA-IMT Lille Douai ont été respectées.

Tableau 13 : Résultats des droites de régression obtenues pour le contrôle de linéarité des jauges MP101M (2018)

AASQA	Nombre d'appareils	R^2			Pente		Ordonnée à l'origine	
		moyen	Min	max	min	max	min	max
Atmo Bourgogne-Franche-Comté	6	0,9996	0,9994	0,9998	1,014	1,036	-13	-5
Atmo Auvergne-Rhône-Alpes	6	0,9997	0,9995	0,9999	0,9983	1,027	-10	5
Atmo Hauts-de-France	7	0,9996	0,9991	1	0,9953	1,042	-15	4

3.2.3 Vérification de la réponse de jauges radiométriques BAM1020

En 2018, 4 AASQA ont demandé au LCSQA-IMT LD la vérification de leurs jauges BAM1020. 33 appareils ont été contrôlés, les résultats figurent dans le Tableau 14. Les résultats montrent un excellent comportement des jauges, les valeurs de R^2 sont supérieures à 0,999. La pente et l'ordonnée à l'origine de la droite de régression varient respectivement de 0,956 à 1,101 et de -0,41 à 2,73. Les spécifications sur la linéarité fixées par le LCSQA-IMT LD ont été respectées.

Tableau 14 : Résultats des droites de régression obtenus pour le contrôle de linéarité des jauges BAM 1020 (2018)

AASQA	Nombre d'appareils	R ²			Pente		Ordonnée à l'origine	
		moyen	min	max	min	max	min	max
Atmo Auvergne-Rhône-Alpes	8	1	0,9999	1	0,9556	1,0107	-0,33	1,4
Lig'Air	9	0,9999	0,9997	1	0,959	1,0066	0,76	2,73
Atmo Bourgogne-Franche-Comté	11	0,9999	0,9998	1	0,9634	1,0107	-0,41	2,67
Qualitair Corse	5	1	1	1	0,9556	1,0005	0,32	0,88

4. ANNEE 2019

4.1 Répartition du parc d'analyseurs automatiques de particules

La Figure 5 présente la répartition du parc instrumental d'analyseurs automatiques de particules pour l'année 2018 (inventorié sur l'outil national Gestion'Air). 754 analyseurs automatiques de particules étaient en utilisation dans le dispositif national : 329 (soit 44%) microbalances, 253 (34%) jauges radiométriques et 72 (10%) granulomètres. 88% du parc instrumental réglementaire (667 analyseurs) correspond à des appareils conformes sur le plan technique et 67 analyseurs (soit 12%) sont des appareils non conformes sur le plan technique. Des travaux seront menés par le LCSQA pour définir les conditions à respecter pour effectuer des mesures indicatives, l'utilisation de ces analyseurs « non conformes techniquement » pourra être examinée à cet effet.

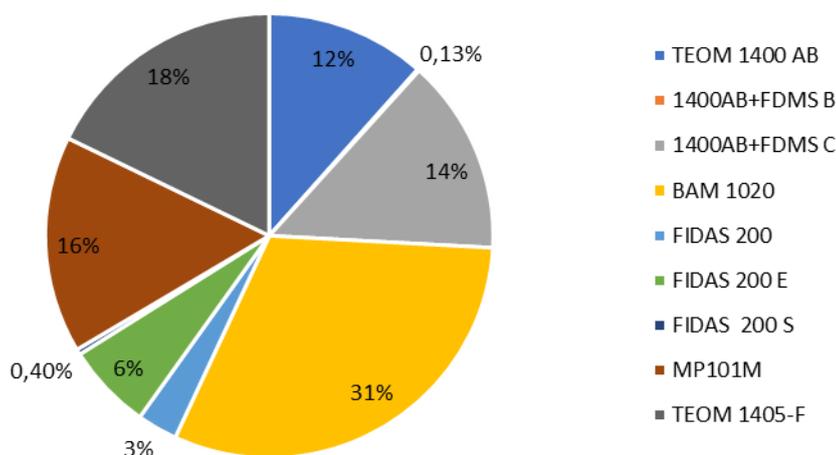


Figure 5 : Répartition du parc instrumental d'analyseurs automatiques de particule en 2019 (source : Donnée Gestion'Air)

La répartition du parc instrumental entre PM_{10} et $PM_{2,5}$ est représentée sur la Figure 6. 99 analyseurs (soit 13%) sont déclarés « dédiés » à la mesure des concentrations massiques en $PM_{2,5}$, 41% (soit 309) à la mesure des PM_{10} et 278 analyseurs, soit 37% du parc instrumental, ne sont pas dédiés à une fraction particulière et peuvent donc être considérés comme « interchangeables » entre PM_{10} et $PM_{2,5}$.

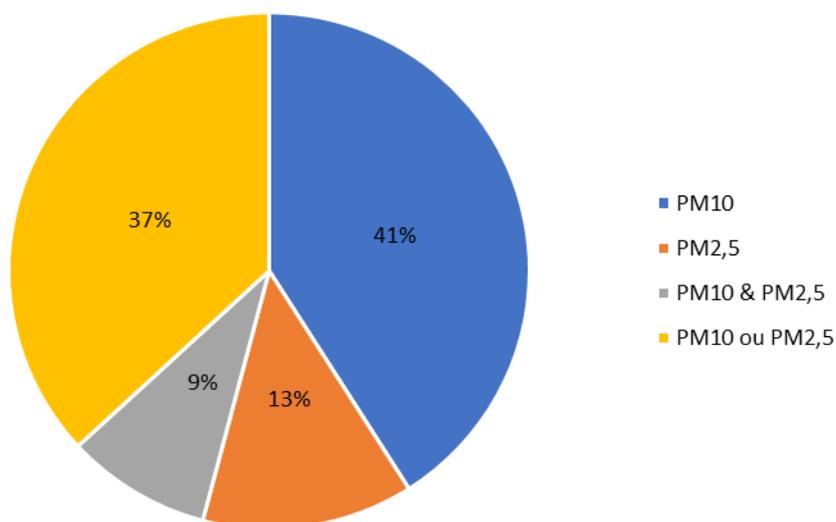


Figure 6 : Répartition du parc instrumental d'analyseurs automatiques de particules entre PM_{10} et $PM_{2,5}$ en 2019 (source : Données Gestion 'Air)

4.2 Résultats des essais métrologiques pratiqués en 2019

Un total de 144 analyseurs (74 microbalances et 70 jauges radiométriques) ont fait l'objet de vérifications métrologiques. Le bilan est présenté dans le Tableau 15.

Tableau 15 : Répartition des analyseurs vérifiés en 2019

Modèle d'appareil	AASQA	Nombre d'appareils testés ou de cales étalon évaluées
Microbalances (TEOM 1400AB, TEOM 1400AB + FDMS, 1405-F)	Atmo Grand-Est	6
	Madininair	7
	Atmo Réunion	6
	Air Pays de la Loire	20
	Atmo Normandie	16
	Atmo Nouvelle-Aquitaine	8
	Atmo Bourgogne-Franche-Comté	5
	Lig'Air	6
Jauges MP101M	Atmo Hauts-de-France	18
	Atmo Réunion	10
	Atmo Nouvelle-Aquitaine	4
	Atmo Normandie	7
Jauges BAM 1020	Atmo Bourgogne-Franche-Comté	14
	Air Pays de la Loire	1
	Atmo Nouvelle-Aquitaine	8
	Qualitair Corse	6
	Atmo Réunion	2

4.2.1 Vérification des paramètres métrologiques des microbalances

4.2.1.1 Vérification du débit de prélèvement

Pour l'année 2019, 4 AASQA ont contrôlé le débit des analyseurs selon l'une des procédures conseillées par le LCSQA-IMT LD. Les résultats obtenus pour un total de 38 microbalances, soit environ 12% du parc des microbalances, sont résumés dans le

Tableau 16. La moyenne de la valeur absolue de l'écart relatif (MVAER) varie entre 0,75 et 1,45%, l'étendue de l'écart relatif réel constaté sur le terrain est comprise entre -1,02 et 5,16.

Tableau 16 : Résultats des contrôles du débit effectués sur des microbalances en 2019

AASQA	Nombre d'appareils	MVAER (%)	Ecart mini (%)	Ecart maxi (%)
Atmo Grand-Est	5	1,02	-1,02	2,16
Madininair	7	0,75	-0,84	2,7
Atmo Réunion	6	0,42	-0,96	1,02
Air Pays de la Loire	20	1,45	0,12	5,16

4.2.1.2 Vérification de la constante d'étalonnage de la microbalance

La constante d'étalonnage de 48 microbalances équipant 4 AASQA, soit environ 15% du parc des microbalances, ont été contrôlées en 2019 à l'aide de cales étalon fournies par le LCSQA. Les résultats obtenus sont résumés dans le Tableau 17, la MVAER varie entre 0,3 et 1,07 %, l'étendue de l'écart relatif réel constaté sur le terrain est comprise entre -1,48 et 2,67%.

Tableau 17 : Résultats des mises à disposition de cales étalon à des AASQA pour le contrôle de la constante d'étalonnage de TEOM (2019)

AASQA	Nombre d'appareils	MVAER (%)	Ecart mini (%)	Ecart maxi (%)
Air Pays de la Loire	20	0,94	0,33	2,67
Atmo Réunion	6	0,30	0,08	0,64
Atmo Grand-Est	6	1,07	-1,48	1,63
Atmo Normandie	16	0,65	-1,07	1,63

4.2.1.3 Vérification de la linéarité de microbalance

Le nombre de points de vérification de la linéarité a été fixé à 4 (3 points d'échelle et le zéro). Le contrôle de linéarité a été effectué sur 32 appareils (soit environ 10% du parc des microbalances) appartenant à 5 AASQA. Les résultats des droites de régression obtenues sont présentés dans le

Tableau 18.

Les résultats montrent un comportement satisfaisant des microbalances avec un coefficient de régression R^2 supérieur à 0,999. La pente et l'ordonnée à l'origine de la droite de régression varient respectivement de 0,982 à 1,015 et de -162,9 à 21,7. Les spécifications sur la linéarité fixées par le LCSQA-IMT Lille Douai ont été respectées.

Tableau 18: Résultats des droites de régression obtenus pour le contrôle de linéarité des microbalances (2019)

AASQA	Nombre d'appareils	R ²			Pente		Ordonnée à l'Origine	
		moyen	min	max	min	max	min	Max
Atmo Nouvelle Aquitaine	8	0,99989	0,99979	1	0,982	1,012	-162,9	-59,4
Atmo Bourgogne-Franche Comté	5	0,99998	0,99990	1	0,990	1,008	0,6	21,7
Atmo Réunion	6	0,99267	0,99000	0,99800	0,990	1,040	-50,0	-1,7
Lig'Air	6	0,99990	0,99980	0,99997	0,987	1,015	-145,2	-46,7
Madininair	7	0,99997	0,99983	1	0,988	1,011	-126,7	-37,2

4.2.2 Vérification des paramètres métrologiques pour jauges radiométriques MP101M

4.2.2.1 Contrôle de cales étalon

En 2019, 2 AASQA ont demandé au LCSQA-IMT LD de contrôler leurs cales étalons utilisées sur les jauges MP101M. Le nombre de points de vérification a été fixé à 4 (3 points d'échelle et zéro). Un total de 10 cales étalons a été contrôlé. Le Tableau 12 résume les résultats obtenus. Par rapport aux valeurs annoncées par les AASQA, les écarts déterminés après vérifications LCSQA-IMT LD sont faibles ($\leq 4\%$). Les résultats sont ainsi satisfaisants.

Tableau 19 : Résultats de vérifications de cales étalons des jauges MP101M (2019)

AASQA	Valeur annoncée pour la cale ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	Résultat vérification LCSQA ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	Écart par rapport à la valeur annoncée (%)
Atmo Hauts-de-France	814	842	3,4
	819	832	1,6
	848	837	-1,4
	880	894	1,5
	853	838	-1,8
	826	818	-0,9
	885	886	0,1
	823	829	0,7
Atmo Réunion	800	816	2,0
	855	820	4,1

4.2.2.2 Vérification de la linéarité

21 jauges MP101M, soit environ 18% du parc des jauges MP101M, appartenant à 4 AASQA ont été contrôlées en 2019. Les résultats, présentés sur le Tableau 20, montrent l'excellent comportement des jauges vérifiées, le coefficient de régression est supérieur à 0,999. Les valeurs de pente et ordonnée à l'origine des droites de régression varient respectivement de 0,983 à 1,041 et de -15 à 7. Les spécifications sur la linéarité fixées par le LCSQA-IMT LD ont été respectées.

Tableau 20 : Résultats des droites de régression obtenus pour le contrôle de linéarité des jauges MP101M (2019)

AASQA	Nombre d'appareils	R ²			Pente		Ordonnée à l'origine	
		moyen	Min	max	min	max	min	max
Atmo Nouvelle-Aquitaine	4	0,9997	0,9989	1	0,983	1,026	-10	6
Atmo Hauts-de-France	10	0,9997	0,9996	0,9998	0,996	1,029	-14	7
Atmo Normandie	7	0,9998	0,9995	0,9999	1,007	1,041	-11	5
Atmo Réunion	8	0,9995	0,9993	0,9997	0,996	1,035	-15	-4

4.2.3 Vérification de la réponse de jauges radiométriques BAM1020

En 2019, 6 AASQA ont demandé au LCSQA-IMT LD la vérification de leurs jauges BAM 1020. 35 appareils ont été contrôlés, les résultats figurent dans le

Tableau 21. Les résultats montrent un excellent comportement des jauges, les valeurs de R^2 sont supérieures à 0,999. La pente et l'ordonnée à l'origine de la droite de régression varient respectivement de 0,965 à 1,102 et de -1,85 à 5,69. Les spécifications sur la linéarité fixées par le LCSQA-IMT LD ont été respectées.

Tableau 21 : Résultats des droites de régression obtenus pour le contrôle de linéarité des jauges BAM 1020 (2019)

AASQA	Nombre d'appareils	R ²			Pente		Ordonnée à l'Origine	
		moyen	min	max	min	Max	min	max
Atmo Bourgogne-Franche-Comté	14	0,9994	0,9990	0,9997	0,9656	1,0173	2,28	4,81
Air Pays de la Loire	1	1	1	1	1,0077	1,0077	0,52	0,52
Atmo Nouvelle-Aquitaine	8	1	0,9999	1	0,9665	1,0184	3,19	5,69
Qualitair Corse	6	1	0,9999	1	0,9693	1,0055	-1,85	0,57
Atmo Normandie	4	1	0,9999	1	0,9708	1,0108	0,55	1,60
Atmo Réunion	2	0,9992	0,9992	0,9992	0,9828	1,0115	4,8	5

5. ANNEE 2020

5.1 Répartition du parc d'analyseurs automatiques de particules

La Figure 7 présente la répartition du parc instrumental d'analyseurs automatiques de particules pour l'année 2018 (inventorié sur l'outil national Gestion'Air). 744 analyseurs automatiques de particules étaient en utilisation dans le dispositif national : 279 (soit 38%) microbalances, 252 (34%) jauges radiométriques et 108 (15%) granulomètres. 92% du parc instrumental réglementaire (686 analyseurs) correspond à des appareils conformes sur le plan technique et 58 analyseurs (soit 8%) sont des appareils non conformes sur le plan technique. Des travaux seront menés par le LCSQA pour définir les conditions à respecter pour effectuer des mesures indicatives, l'utilisation de ces analyseurs « non conformes techniquement » pourra être examinée à cet effet.

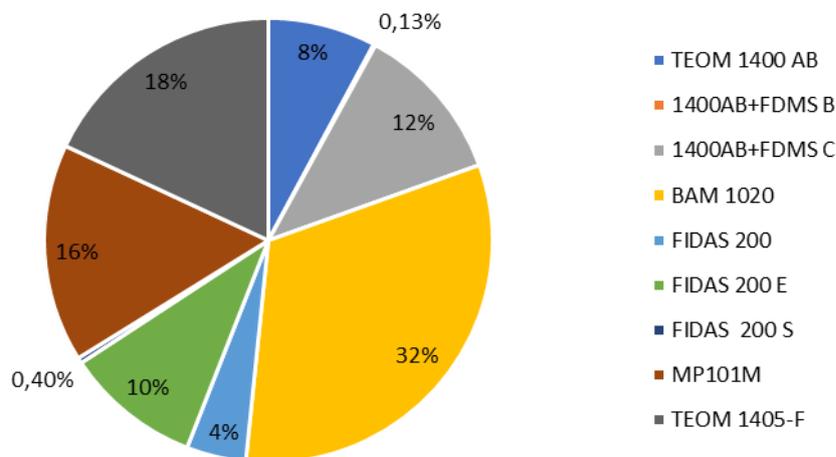


Figure 7 : Répartition du parc instrumental d'analyseurs automatiques de particule en 2020 (source : Donnée Gestion'Air)

La répartition du parc instrumental entre PM₁₀ et PM_{2,5} est représentée sur la Figure 8. 92 analyseurs (soit 12%) sont déclarés « dédiés » à la mesure des concentrations massiques en PM_{2,5}, 38% (soit 287) à la mesure des PM₁₀ et 259 analyseurs, soit 35% du parc instrumental, ne sont pas dédiés à une fraction particulière et peuvent donc être considérés comme « interchangeables » entre PM₁₀ et PM_{2,5}.

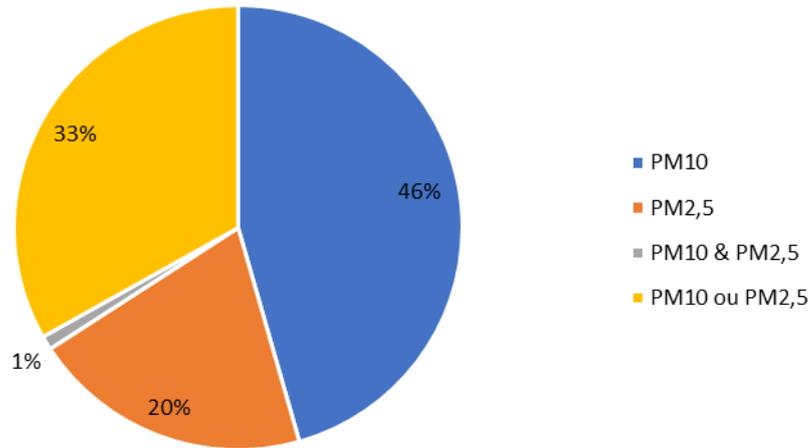


Figure 8 : Répartition du parc instrumental d'analyseurs automatiques de particules entre PM₁₀ et PM_{2,5} en 2020 (source : Données Gestion 'Air)

5.2 Résultats des essais métrologiques pratiqués en 2020

Au total, 122 analyseurs (24 microbalances et 98 Jauges radiométriques) ont fait l'objet de vérifications métrologiques. Le bilan est présenté dans le

Tableau 22. Il est à noter que l'année 2020 se démarque des précédentes par le nombre de cales étalons envoyées pour vérification par le LCSQA-IMT Lille Douai. 43 cales ont été évaluées en 2020 contre 10, 16 et 4 cales étalons vérifiées respectivement en 2019, 2018 et 2017. Il est possible que les AASQA ont opté pour ce mode de vérification de leurs appareils pour des contraintes liées à la crise sanitaire, notamment les restrictions de déplacements qui ont impacté fortement les plannings de maintenance sur site.

Tableau 22 : Répartition des analyseurs vérifiés en 2020

Modèle d'appareil	AASQA	Nombre d'appareils testés	Nombre de cales étalon évaluées
Microbalances (TEOM 1400AB, TEOM 1400AB + FDMS, 1405-F)	Lig'Air	8	
	Atmo Nouvelle-Aquitaine	4	
	Atmo Occitanie	11	
	Atmo Bourgogne-Franche-Comté	1	
Jauges MP101M	Atmo Nouvelle-Aquitaine	5	13
	Atmo Auvergne-Rhône-Alpes		10
	Atmo Hauts-de-France		2
	Atmo Occitanie	16	
	Atmo Bourgogne-Franche-Comté	4	
	Atmo Grand-Est		9
Jauges BAM 1020	Lig'Air	10	
	Atmo Nouvelle-Aquitaine		9
	Atmo Occitanie	3	
	Atmo Bourgogne-Franche-Comté	16	
	Atmo Auvergne-Rhône-Alpes	14	

5.2.1 Vérification des paramètres métrologiques des microbalances

5.2.1.1 Vérification du débit de prélèvement

Pour l'année 2020, Lig'Air a contrôlé le débit de ses 8 analyseurs (soit environ 14% du parc des microbalances) selon l'une des procédures conseillées par le LCSQA-IMT Lille Douai. La moyenne de la valeur absolue de l'écart relatif (MVAER) trouvée est de 1,69%, l'étendue de l'écart réel constaté sur le terrain est comprise entre -0,3% et 5,7%.

5.2.1.2 Vérification de la constante d'étalonnage des microbalances

La constante d'étalonnage de 12 microbalances équipant 2 AASQA, soit environ 21% du parc des microbalances, ont été contrôlées en 2020 à l'aide de cales étalon fournies par le LCSQA. Les résultats obtenus sont résumés dans le Tableau 17, la MVAER de Lig'Air et Atmo Nouvelle-Aquitaine est respectivement de 0,725 et 0,635 %, l'étendue de l'écart relatif réel constaté sur le terrain est comprise entre -0,89 et 1,49%.

Tableau 23 : Résultats des mises à disposition de cales étalon à des AASQA pour le contrôle de la constance d'étalonnage de TEOM (2020)

AASQA	Nombre d'appareils	MVAER (%)	Ecart mini (%)	Ecart maxi (%)
Lig'Air	8	0,725	0,01	1,49
Atmo Nouvelle-Aquitaine	4	0,635	-0,89	0,54

5.2.1.3 Vérification de la linéarité de microbalances

Le nombre de points de vérification de la linéarité a été fixé à 4 (3 points d'échelle et le zéro). Le contrôle de linéarité a été effectué sur 24 appareils (soit environ 10% du parc des microbalances) appartenant à 4 AASQA. Les résultats des droites de régression obtenues sont présentés dans le Tableau 24.

Les résultats montrent le comportement satisfaisant des microbalances avec un coefficient de régression R^2 supérieur à 0,999. La pente et l'ordonnée à l'origine de la droite de régression varient respectivement de 0,983 à 1,015 et de -33,3 à 35,3. Les spécifications sur la linéarité fixées par le LCSQA-IMT Lille Douai ont été respectées.

Tableau 24: Résultats des droites de régression obtenus pour le contrôle de linéarité des microbalances (2020)

AASQA	Nombre d'appareils	R^2			Pente		Ordonnée à l'origine	
		moyen	min	max	min	max	min	max
Atmo Bourgogne-Franche-Comté	1	1	1	1	1,0145	1,0146	32,7	32,7
Lig'Air	8	0,99996	0,99988	0,99999	0,9829	1,0108	-33,3	-1,9
Atmo Occitanie	11	0,99998	0,99996	0,99999	0,9888	1,0238	14,7	35,3
Atmo Nouvelle-Aquitaine	4	0,99999	0,99997	0,99999	0,9924	1,0063	-30,0	2,1

5.2.2 Vérification des paramètres métrologiques pour jauges radiométriques MP101M

5.2.2.1 Contrôle de cales étalon

En 2020, 4 AASQA ont demandé au LCSQA-IMT LD de contrôler leurs cales étalons utilisées sur les jauges MP101M. Le nombre de points de vérification a été fixé à 4 (3 points d'échelle et zéro). 34 cales étalons ont été contrôlées, le Tableau 25 résume les résultats obtenus. A l'exception de la cale de 343 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ appartenant à Atmo Grand-Est, pour laquelle un écart de 12,8% est trouvé, nécessitant le réajustage du moyen d'étalonnage de l'AASQA, les écarts déterminés après vérifications par le LCSQA-IMT LD sont faibles (< 4%). Les résultats sont ainsi satisfaisants.

Tableau 25 : Résultats de vérifications de cales étalon des jauges MP101M (2020)

AASQA	Valeur annoncée pour la cale ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	Résultat vérification LCSQA ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	Écart par rapport à la valeur annoncée (%)
Atmo Grand-Est	338	345	2,1
	334	332	-0,6
	343	387	12,8
	808	804	-0,5
	822	802	-2,4
	810	788	-2,7
	ND	845	ND
	ND	977	ND
	ND	1008	ND
Atmo Auvergne-Rhône-Alpes	855	858	0,4
	ND	834	ND
	843	836	-0,8
	874	877	0,3
	848	856	0,9
	863	862	-0,1
	787	795	1,0
	817	835	2,2
	818	809	-1,1
	833	850	2,0
Atmo Nouvelle-Aquitaine	854	853	0,12
	880	853	3,17
	876	853	2,70
	849	853	-0,47
	858	850	0,94
	874	850	2,82
	842	850	-0,94
	838	850	-1,41
	865	850	1,76
	826	850	-2,82
	867	850	2,00
	827	850	-2,71
	873	850	2,71
Atmo Hauts-de-France	814	831	2,1
	819	849	3,7

5.2.2.2 Vérification de la linéarité

25 jauges MP101M, soit environ 21% du parc des jauges MP101M, appartenant à 3 AASQA ont été contrôlées en 2020. Les résultats, présentés sur le

Tableau 26, montrent l'excellent comportement des jauges vérifiées avec un coefficient de régression supérieur à 0,993. Les valeurs de pente et ordonnées à l'origine de la droite de régression varient respectivement de 0,928 à 1,05 et de -19 à 54. Les spécifications sur la linéarité fixées par le LCSQA-IMT LD ont été respectées.

Tableau 26 : Résultats des droites de régression obtenus pour le contrôle de linéarité des jauges MP101M (2020)

AASQA	Nombre d'appareils	R ²			Pente		Ordonnée à l'origine	
		moyen	Min	max	min	max	min	max
Atmo Nouvelle-Aquitaine	5	0,9985	0,9929	1	0,9275	1,0327	-2	54
Atmo Occitanie	16	0,9992	0,9978	1	0,960	1,05	-19	36
Atmo Bourgogne-Franche-Comté	4	0,9993	0,9990	0,9996	1,025	1,038	-14	-10

5.2.3 Vérification des paramètres métrologiques pour jauges radiométriques BAM1020

5.2.3.1 Contrôle de cale étalon

En 2020, la mise à disposition de cales par le LCSQA-IMT Lille Douai a permis à Atmo Nouvelle-Aquitaine de contrôler ses 9 cales étalons intégrées dans les jauges BAM 1020. Le Tableau 27 résume les résultats obtenus. Les écarts déterminés après utilisation des cales du LCSQA-IMT LD sont faibles (< 3%). Les résultats sont ainsi satisfaisants.

Tableau 27 : Résultats de vérifications de cales étalon d'Atmo Nouvelle-Aquitaine (2020)

Valeur annoncée (µg/cm ²)	Valeur LCSQA (µg/cm ²)	Écart par rapport à la valeur annoncée (%)
858	850	0,94
874	850	2,82
842	850	-0,94
834	850	-1,88
865	850	1,76
826	850	-2,82
867	850	2,00
827	850	-2,71
873	850	2,70

5.2.3.2 Vérification de linéarité

En 2020, 4 AASQA ont demandé au LCSQA-IMT LD la vérification de leurs jauges BAM 1020. 43 appareils ont été contrôlés, les résultats figurent dans le Tableau 28. Les résultats montrent un excellent comportement des jauges, les valeurs de R^2 sont supérieures à 0,999. La pente et l'ordonnée à l'origine de la droite de régression varient respectivement de 0,975 à 1,046 et de -4,94 à 4,94. Les spécifications sur la linéarité fixées par le LCSQA-IMT LD ont été respectées.

Tableau 28 : Résultats des droites de régression obtenus pour le contrôle de linéarité des jauges BAM 1020

AASQA	Nombre d'appareils	R ²			Pente		Ordonnée à l'origine	
		moyen	min	max	min	max	min	max
Atmo Bourgogne-Franche Comté	16	0,9993	0,9991	0,9996	0,9729	1,0227	3,45	5,28
Atmo Auvergne-Rhône Alpes	14	0,9997	0,9991	1	0,9745	1,0424	-4,27	1,02
Lig'Air	10	0,9994	0,9991	0,9997	0,9883	1,0459	-4,94	-2,92
Atmo Occitanie	3	0,9995	0,9994	0,9996	0,9775	1,0083	3,90	4,94

6. ANALYSE DE L'EVOLUTION DU PARC INSTRUMENTAL REGLEMENTAIRE ENTRE 2016 ET 2020

Le Tableau 29, présente le nombre total d'analyseurs automatiques de particules entre 2016 et 2020. On constate que le nombre total des analyseurs automatiques déployés pour la mesure des particules diminue de l'ordre de 2% par an. La diminution sur ces 5 années reste limitée à 9%.

Tableau 29 : Le nombre d'analyseurs automatiques de particules entre 2016 et 2020

Année	Analyseurs automatiques de particules	Appareils conformes	Appareils non conformes
2016	816	622	194
2017	796	641	155
2018	778	653	125
2019	751	664	87
2020	742	684	52

Par ailleurs, en faisant la distinction entre les appareils conformes sur le plan technique de ceux qui ne le sont pas, le taux de conformité du parc instrumental français s'améliore au fil des ans. La répartition du parc entre les appareils conformes et non conformes sur le plan technique est présentée sur la Figure 9. En 2016, La part des appareils conformes a été de 76%, cette part a atteint 92% du parc instrumental en 2020. Cette amélioration découle vraisemblablement de la problématique des particules en France et du contentieux européen en cours pour ce polluant. Une anticipation de la mise en place du nouvel indice Atmo incluant les PM_{2,5} peut également être évoqué.

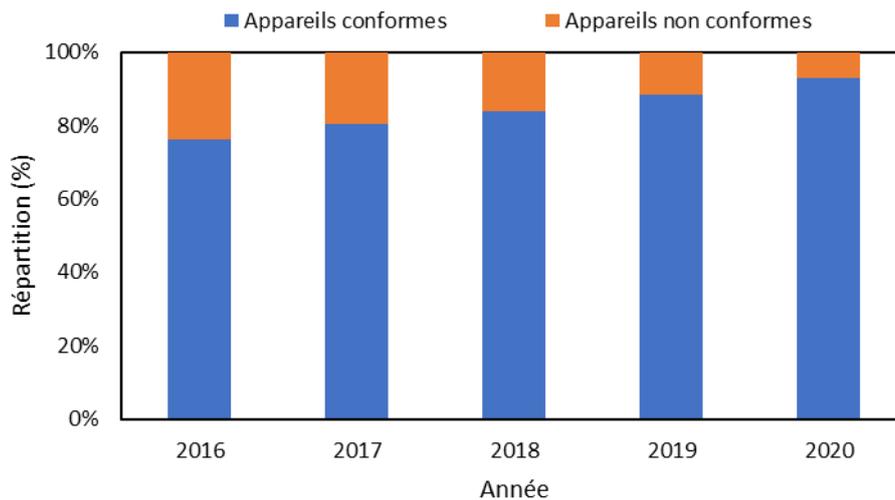


Figure 9 : Répartition (2016 à 2020) du parc instrumental entre appareils conformes et non conformes sur le plan technique

Le

Tableau 30 est un tableau récapitulatif de la répartition du parc d'analyseurs automatiques de particules entre 2016 et 2020. Pour rappel, le TEOM 1400AB reste le seul appareil non conforme sur le plan technique présent dans le parc instrumental français. Des travaux seront menés par le LCSQA pour définir les conditions à respecter pour effectuer des mesures indicatives, l'utilisation de cet analyseur « non conforme techniquement » pourra être examinée à cet effet.

Tableau 30 : Répartition du parc instrumental entre 2016 et 2020

Analyseur	2016	2017	2018	2019	2020
TEOM 1400 AB	194	155	125	87	58
1400 AB + FDMS B	2	2	1	1	1
1400 AB + FDMS C	180	166	131	107	86
BAM 1020	169	206	223	234	239
FIDAS 200	3	3	14	22	32
FIDAS 200 E		5	20	47	73
FIDAS 200 S			3	3	3
MP101M	113	111	114	119	118
TEOM 1405 - F	154	148	150	134	134

Concernant les techniques MP101M et TEOM 1405 – F, le nombre d’analyseurs reste stable entre 2016 et 2020. Les variations constatées sont de 3% (soit une moyenne \pm écart-type de 115 ± 3) et 6% (soit 144 ± 9) respectivement pour MP101M et TEOM 1405 – F.

Par ailleurs, on constate une augmentation de l’utilisation de la BAM 1020. Cette augmentation est progressive entre 2017 et 2020 compte tenu des contraintes administratives liées à la gestion des sources radioactives. En comparaison avec l’année 2016, le nombre d’analyseurs BAM 1020 croît de 22% en 2017 à 41% en 2020 (Figure 10). Cette augmentation d’utilisation peut être expliquée par les avantages de cette technique. À ce jour, le BAM 1020 est considéré par les AASQA comme un appareil simple à utiliser et à entretenir.

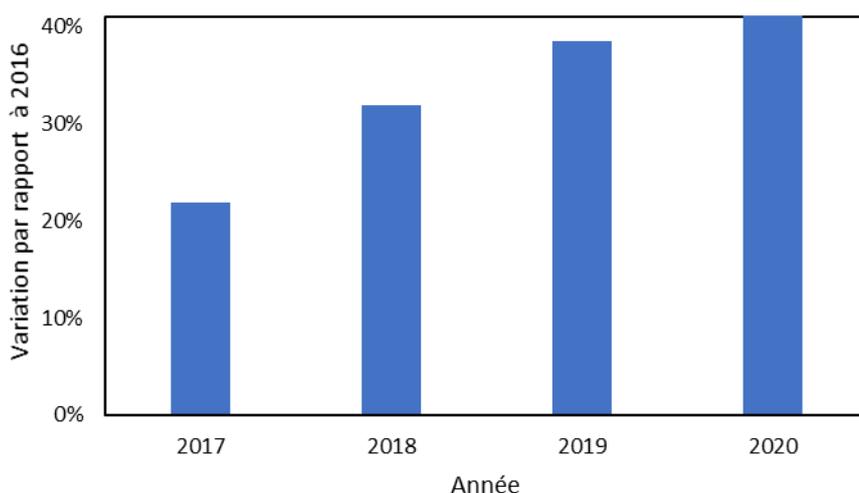


Figure 10 : variation du nombre d’analyseurs BAM 1020 entre 2017 et 2020 en prenant l’année 2016 comme référence

Parallèlement on remarque une tendance à la hausse pour l'équipement en appareils FIDAS 200, FIDAS 200 E. La Figure 11 montre le pourcentage d'augmentation de l'utilisation de ces techniques entre 2017 et 2020 par rapport à l'année 2016. L'augmentation du nombre d'analyseurs FIDAS 200 atteint 17% en 2020. L'analyseur FIDAS 200 E, apparu pour la première fois en 2017 sur le parc d'analyseurs automatiques de particules, connaît une augmentation significative d'utilisation allant de 1% (soit 5 analyseurs) en 2017 à 41% (73 analyseurs) en 2020. L'explication réside vraisemblablement dans la plus grande facilité d'installation en station compte tenu de sa configuration technique (module de mesure dissocié de la ligne de prélèvement). Enfin, il convient de rappeler que les analyseurs FIDAS 200, 200 E et 200 S sont actuellement les seuls appareils de mesure optique conformes sur le plan technique permettant la surveillance simultanée des PM₁₀ et PM_{2,5}.

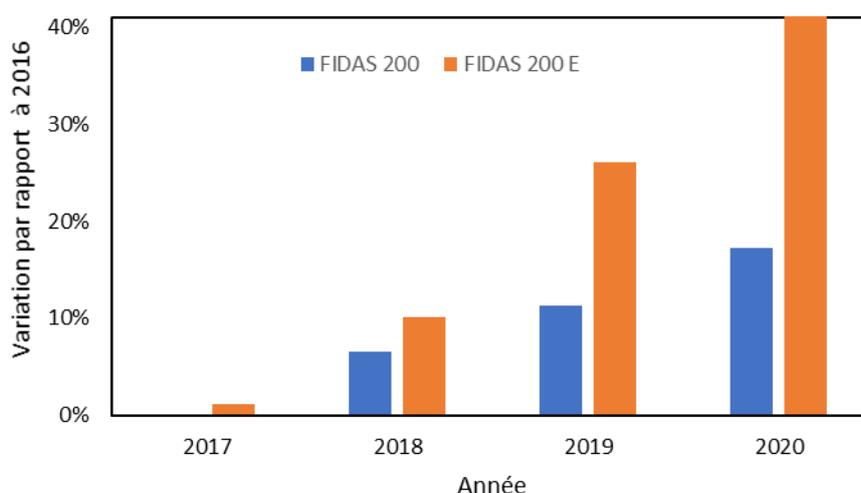


Figure 11 : Variation du nombre d'analyseurs FIDAS 200 et FIDAS 200 E entre 2017 et 2020 en prenant l'année 2016 comme référence

En revanche, on constate une diminution significative des microbalances TEOM 1400AB et 1400AB + FDMS C entre 2016 et 2020 ce qui est logique compte tenu de l'arrêt de leur commercialisation et la difficulté croissante à entretenir ces appareils. Le Taux de Mise au Rebut annuel (TMR) ainsi que l'âge moyen, minimum et maximum lors de la mise au rebut de ces analyseurs ont été déterminés. Les résultats sont présentés dans le

Tableau 31. On constate une tendance croissante du taux de mise au rebut entre 2016 et 2019 pour les deux analyseurs. Environ la moitié de ces analyseurs (49% des TEOM 1400AB et 48% des 1400AB + FDMS C) ont été mis au rebut en 2019. En 2020, les TMR déterminés pour TEOM 1400AB et 1400 AB + FDMS C sont respectivement de 35 et 20 %.

Tableau 31 : Mise au rebut de TEOM 1400 AB et 1400 AB + FDMS C entre 2016 et 2020

Année	TEOM 1400AB				1400AB + FDMS C			
	TMR (%)	Age moyen	Age mini	Age maxi	TMR (%)	Age moyen	Age mini	Age maxi
2016	8	19	11	24	7	17	11	24
2017	11	21	16	24	17	17	11	24
2018	28	19	12	24	35	17	5	24
2019	49	19	5	25	48	16	5	25
2020	35	19	14	23	20	17	12	24

Pour mieux visualiser les variations, l'âge moyen de mise au rebut est représenté sur la Figure 12 avec son étendue (âge minimum et maximum). L'âge moyen de mise au rebut est homogène en fonction des années. Il est d'environ 20 ans pour l'analyseur TEOM 1400 AB et 17 ans pour l'analyseur 1400 AB + FDMS. L'âge minimum de TEOM 1400AB et 1400AB + FDMS C varient respectivement de 5 à 16 ans et de 5 à 12 ans. Même si l'âge minimum est variable, l'âge maximum est très homogène, d'environ 24 ans, pour les deux modèles d'appareil.

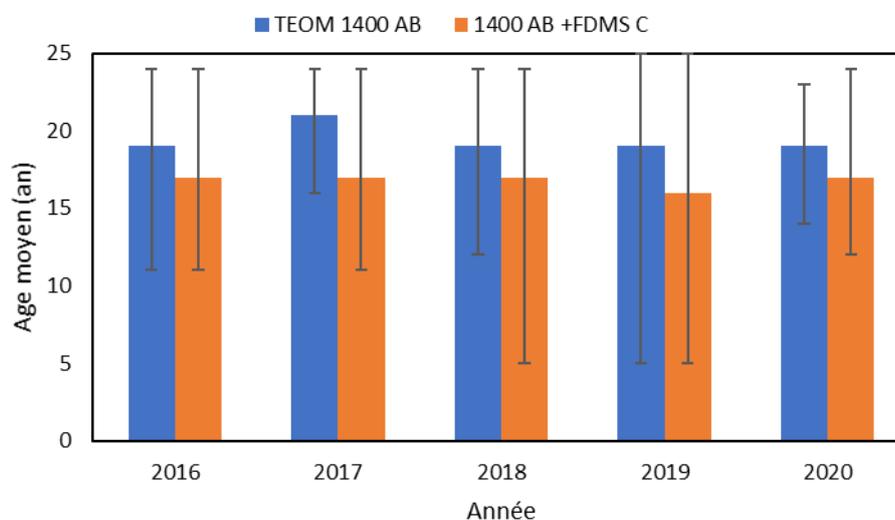


Figure 12 : Age moyen de mise au rebut des analyseurs TEOM 1400 AB et 1400 AB + FDMS C avec son étendue

7. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Compte tenu des résultats obtenus et synthétisés dans le Tableau 32, la « chaîne de contrôle » mise en place par le LCSQA-IMT Lille Douai atteste de la maîtrise des moyens de mesure de particules utilisés sur le terrain par les AASQA.

Tableau 32 : Taux de Conformité par Critère (TCC) des années 2017 à 2020*

		2017	2018	2019	2020
Contrôle des microbalances	Débit de prélèvement	10%	5%	12%	14%
		100%	100%	100%	100%
	Constante d'étalonnage	13%	13%	15%	21%
		100%	100%	100%	100%
Contrôle de linéarité des microbalances		8%	6%	10%	10%
	R ²	100%	100%	100%	100%
	Pente	95% (+5%)	100%	97% (+3%)	96% (+4%)
	Ordonné à l'origine	100%	100%	100%	100%
Contrôle de linéarité des MP101M		14%	17%	18%	21%
	R ²	100%	100%	100%	100%
	Pente	100%	100%	100%	100%
	Ordonné à l'origine	100%	100%	100%	96% (+4%)
Contrôle de linéarité des BAM 1020		9%	15%	15%	18%
	R ²	78% (+22%)	100%	100%	100%
	Pente	78% (+22%)	100%	100%	100%
	Ordonné à l'origine	100%	100%	100%	100%
Contrôle cale étalon jauges	MP101M	4 cales	16 cales	10 cales	34 cales
		100%	100%	100%	97% (3%)
	BAM 1020				9 cales
		-	-	-	100%

*Pourcentage du parc contrôlé ou cales vérifiées, critère respecté, tolérances acceptables, critère non respecté

Cette procédure reste une solution alternative à une chaîne d'étalonnage déclinée depuis un étalon primaire jusqu'aux moyens de mesures via un étalon de transfert. Son application a pour objectif de mettre en évidence des dysfonctionnements parmi un ensemble d'analyseurs ou de moyens de contrôle d'AASQA couverts. Dans le cadre de l'assurance de la traçabilité des mesures, elle peut être considérée comme un moyen de contrôle relativement simple et suffisant et est une source de données pour l'estimation de l'incertitude de mesure sur ce type d'appareil.

La mise en place d'une chaîne nationale métrologique à partir de moyen dynamique, à l'instar de ce qui est fait pour les gaz, ne se fera pas rapidement et ne pourra pas s'abstenir de la vérification au préalable de paramètres critiques de fonctionnement tels que le débit, la température, la pression, l'humidité relative. Le guide méthodologique pour le contrôle des paramètres critiques pour la mesure des analyseurs automatiques de PM de 2018 en complément de la norme EN 16450 « *Air ambient - Systèmes automatisés de mesurage de la concentration de matière particulaire (PM₁₀; PM_{2,5})* » ainsi que le suivi d'équivalence des analyseurs automatiques de PM assuré par le LCSQA vont dans ce sens.

GLOSSAIRE

Abréviations	Libellés
MVAER	Moyenne de la valeur absolue de l'écart relatif
TMR	Taux de mise au rebut
TCC	Taux de conformité par critère

ANNEXE

1. Spécifications sur les paramètres statistiques issus du contrôle de linéarité sur site de TEOM & TEOM-FDMS :

Coefficient de régression	$R^2 \geq 0,98$
Ordonnée à l'origine de la droite de régression	$- 250^{(*)} \leq \text{Ordonnée à l'origine} \leq + 250^{(*)}$
Pente de la droite de régression	$0,98 \leq \text{pente} \leq 1,02$

(*) : L'amplitude de 500 μg correspond à environ 0,5% de la moyenne des masses des 3 filtres étalon constituant le kit de vérification de linéarité fourni à l'AASQA.

2. Spécifications sur les paramètres statistiques issus du contrôle de linéarité sur site de jauge MP101M :

Coefficient de régression	$R^2 \geq 0,95$
Ordonnée à l'origine de la droite de régression	$\text{Ordonnée à l'origine} \leq \pm 50 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ (*)
Pente de la droite de régression	$0,95 \leq \text{pente} \leq 1,05$

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

3. Spécifications sur les paramètres statistiques issus du contrôle de linéarité sur site pour la jauge BAM 1020 :

Coefficient de régression	$R^2 \geq 0,9950$
Ordonnée à l'origine de la droite de régression	$\text{Ordonnée à l'origine} \leq + 50 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ (*)
Pente de la droite de régression	$0,95 \leq \text{pente} \leq 1,05$

(*) : La valeur de 50 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ correspond à 5 fois la limite de détection annoncée par le constructeur dans une configuration cyclique horaire



direction et secrétariat du LCSQA

INERIS - parc technologique Alata - BP 2 - F60550 Verneuil-en-Halatte
tél. 03 44 55 69 16 - www.lcsqa.org