



Guide méthodologique pour la surveillance des PM10 et PM2,5 dans l'air ambiant par FIDAS

Octobre 2023

Groupement d'intérêt scientifique

Travaux réalisés par l’Ineris



dans le cadre du

Laboratoire Central de
Surveillance de la Qualité de l’Air

GUIDE METHODOLOGIQUE POUR LA SURVEILLANCE DES PM10 ET PM2,5 DANS L’AIR AMBIANT PAR FIDAS

Tanguy Amodeo (Ineris)

Vérification : MARCHAND CAROLINE,

Approbation : Document approuvé le 01/12/2023 par MORIN ANNE

Liste des personnes ayant participé à l’étude : AUJAY-PLOUZEAU Robin

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

Le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air est un groupement d'intérêt scientifique constitué des laboratoires de l'IMT Nord Europe, de l'Ineris et du LNE. Il mène depuis 1991 des études et des recherches en appui au 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). Ils sont réalisés avec le souci constant d'améliorer le dispositif de surveillance de la qualité de l'air en France en apportant un appui scientifique et technique au ministère et aux AASQA.

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

TABLE DES MATIERES

RESUME.....	5
ABSTRACT.....	7
REMERCIEMENTS ET COLLABORATIONS	8
1. INTRODUCTION	9
2. MISE EN ŒUVRE SUR SITE	10
2.1 Considérations générales	10
2.2 Ligne de prélèvement	11
2.3 Sonde météorologique.....	11
2.4 Filtre de collection	12
2.5 Connexion à la station d'acquisition.....	12
2.6 Version de firmware	13
3. CONTROLES ET MAINTENANCES DES COMPOSANTS DE L'ANALYSEUR.....	14
3.1 Synthèse des contrôles et maintenances	14
3.2 Tête de prélèvement et ligne de prélèvement	14
3.3 Nettoyage de la sonde météorologique	14
3.4 Nettoyage de la cellule optique.....	15
3.5 Pompe de prélèvement.....	15
3.6 Joints toriques	15
4. ASSURANCE QUALITE/ CONTROLES QUALITE (QA/QC)	16
4.1 Rappel.....	16
4.2 Synthèse des contrôles QA/QC.....	17
4.3 Contrôle et étalonnage des capteurs de température, pression et humidité relative.....	18
4.3.1 Paramètres de la sonde météorologique (T _a , P _a , HR _a)	18
4.3.2 Température de la ligne IADS.....	20
4.3.2.1 Méthode 1 : En démontant la ligne IADS.....	20
4.3.2.2 Méthode 2 : sans démonter la ligne IADS	20
4.4 Test de fuite (étanchéité).....	21
4.5 Contrôle et étalonnage du débit	21
4.6 Blanc d'instrument.....	22
4.7 Bruit de fond électronique	23
4.8 Contrôle et ajustage de la réponse optique.....	23
4.9 Contrôle et réglage de la vitesse d'écoulement.....	25
4.10 Vérification des indicateurs des paramètres opérationnels.....	26
5. INCERTITUDE ET BANCARISATION DES DONNEES	28
6. LISTE DES ANNEXES	31

RESUME

Ce document constitue le guide méthodologique pour la surveillance dans l'air ambiant des PM_{10} et $PM_{2,5}$ par le granulomètre optique FIDAS. Il s'attache à la définition des configurations techniques, maintenances, protocoles de contrôle qualité et d'assurance qualité (QA/QC) qui permettent le fonctionnement optimal de l'instrument et assure la qualité des données produites par le dispositif de surveillance de la qualité de l'air. Les critères définis dans ce document respectent les exigences de la norme NF EN 16450 (2017) « Air Ambiant-système automatisés de mesurage de la concentration de matière particulaire (PM_{10} ; $PM_{2,5}$) ».

Ce document constitue la mise à jour du premier guide méthodologique FIDAS publié en 2017, ainsi que du guide LCSQA sur le contrôle des paramètres techniques, publié en 2022 (pour la partie concernant le FIDAS). Parmi les mises à jour, certains protocoles d'assurance et de contrôle qualité ont été modifiés sur la base d'évolutions constructeur comme par exemple, la périodicité de la mesure de la vitesse d'écoulement, les tolérances à respecter pour les tests de la réponse optique, la valeur du blanc ou encore la valeur du test de fuite. D'autres protocoles de contrôles ont été modifiés pour donner suite à des difficultés constatées sur le terrain comme par exemple le contrôle de la température de la ligne chauffée IADS ou encore le contrôle de la sonde d'humidité relative. De plus, l'ensemble des paramètres opérationnels a été explicité afin de faciliter la validation des données.

A partir du 01/01/2024, ce document est à considérer comme le référentiel français en termes d'exigences de qualité des données obtenues sur le territoire national par méthode optique FIDAS pour la surveillance des PM_{10} et $PM_{2,5}$ comme préconisé par l'arrêté du 16 avril 2021 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant.

ABSTRACT

This document constitutes the methodological guide for PM₁₀ and PM_{2.5} monitoring in ambient air using the FIDAS optical granulometer. It focuses on defining the technical configurations, maintenance, quality control and quality assurance (QA/QC) protocols that will enable the instrument to operate optimally and ensure the quality of the data produced by the air quality monitoring system. The criteria defined in this document comply with the requirements of standard NF EN 16450 (2017) "Ambient air-automated systems for measuring the concentration of particulate matter (PM₁₀; PM_{2.5})".

This document updates the first FIDAS methodological guide published in 2017, as well as the LCSQA guide on the control of technical parameters, published in 2022 (for the part concerning FIDAS). Among the updates, some quality assurance and quality control protocols have been modified on the basis of changes made by the manufacturer, such as the frequency of flow velocity measurement, the tolerances to be respected for optical response tests, the blank value and the leakage test value. Other control protocols have been modified in response to difficulties observed in the field, such as the control of the temperature of the IADS heated line or the control of the relative humidity probe. In addition, all the operational parameters have been explained to facilitate data validation.

From 01/01/2024, this document is to be considered as the French reference in terms of quality requirements for data obtained on the national territory using the FIDAS optical method for monitoring PM₁₀ and PM_{2.5} as recommended by the decree of 16 April 2021 relating to the national ambient air quality monitoring system.

REMERCIEMENTS ET COLLABORATIONS

Le LCSQA-Ineris remercie l'ensemble de la CS « Suivi Technique des AASQA » ainsi que le distributeur Addair pour leurs relectures et leurs participations aux réunions de travail.

1. INTRODUCTION

Les granulomètres optiques de type FIDAS 200, 200S et 200E (Palas) appartiennent à la liste des instruments conformes à la méthode de référence pour la surveillance des PM.¹

Ce document constitue le guide méthodologique pour la surveillance dans l'air ambiant des PM₁₀ et PM_{2,5} par méthode FIDAS. Il s'attache à la définition des configurations techniques, maintenances, protocoles de contrôle qualité et d'assurance qualité (QA/QC) qui permettent le fonctionnement optimal de l'instrument et assure la qualité des données produites par le dispositif de surveillance de la qualité de l'air. Les critères définis dans ce document respectent les exigences de la norme NF EN 16450 (2017) « Air Ambiant-système automatisés de mesurage de la concentration de matière particulaire (PM₁₀ ; PM_{2,5}) ».

Ce document constitue la mise à jour du premier guide méthodologique FIDAS publié en 2017, ainsi que du guide LCSQA sur le contrôle des paramètres techniques, publié en 2022 (pour la partie concernant le FIDAS).²

A partir du 01/01/2024, ce document est à considérer comme le référentiel français en termes d'exigences de qualité des données obtenues sur le territoire national par méthode optique FIDAS pour la surveillance des PM₁₀ et PM_{2,5} comme préconisé par l'arrêté du 16 avril 2021 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant.

Il revient à chaque AASQA de les mettre en œuvre selon la périodicité indiquée, de les documenter et de mettre en place les actions correctives adéquates en cas de non-respect des exigences minimales. Pour ce faire, le LCSQA continuera son travail de centralisation des retours d'expérience des Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA) et de synthèse des problèmes rencontrés et solutions trouvées au travers de rapports et des réunions d'échanges.

A la date de rédaction du présent document (2023), le Référentiel Technique National (RTN), à travers « la liste des instruments conformes à la méthode de référence pour la surveillance de la qualité de l'air »¹, précise que les FIDAS peuvent être utilisés pour la surveillance des PM₁₀ et PM_{2,5} sur tout type de site avec certaines limitations concernant leur mise en œuvre. Ces notions étant susceptible d'évoluer dans le temps, les utilisateurs doivent se référer à ce document pour les questions relatives aux périmètres d'utilisation et aux conditions de mises en œuvre de l'instrument. Le présent document, en tant que guide méthodologique, s'attache à assurer un fonctionnement optimal de l'instrument indépendamment de ces considérations.

¹ [LCSQA Liste des appareils conformes pour la mesure réglementaire de la qualité de l'air](#)

² [Rapport LCSQA : Guide méthodologique pour le contrôle des paramètres critiques pour la mesure des analyseurs automatiques de PM](#)

2. MISE EN ŒUVRE SUR SITE

2.1 Considérations générales

Le FIDAS est décliné en trois modèles :

- FIDAS 200 : instrument compact rassemblant électronique, cellule de mesure et ligne de prélèvement ;
- FIDAS 200E : instrument dont la partie électronique est déportée de la cellule optique et de la ligne de prélèvement ;
- FIDAS 200S : instrument adapté pour être installé dans un caisson étanche, ventilé et chauffé : IP65, placé à l'extérieur.

Ces trois modèles sont considérés comme équivalents entre eux, et sans mentions contraires, l'ensemble des recommandations de ce document est valable pour les trois modèles.

Les modèles 200 et 200E doivent être installés à l'intérieur des stations de mesure. Le constructeur recommande de conserver une température de fonctionnement du local entre 5 et 40°C. Les stations de surveillance de la qualité de l'air étant régulées en température, l'installation du FIDAS en leur sein n'appelle donc pas de recommandation particulière. Les modèles 200S peuvent être installés en extérieur dans le caisson IP65. Pour tous les modèles, le constructeur indique des températures extérieures (i.e. ambiante) de fonctionnement entre -20 et 50°C.

Concernant les FIDAS 200E, les cellules de mesures **ne doivent pas être séparées** de leurs boîtiers électroniques. En effet, des paramètres de calibrage sont enregistrés dans le boîtier électronique et associés au numéro de série de la carte électronique du boîtier optique. Si l'unité électronique ne détecte pas cette carte électronique du boîtier optique au démarrage, le FIDAS 200E affiche un code d'erreur « Unlicensed Firware » bloquant le calcul des fractions massiques. Ce code d'erreur peut donc apparaître si des cellules de mesures ont été interverties ou si le FIDAS 200E est démarré alors que tous les raccordements n'ont pas été réalisés. Pour les FIDAS 200E ayant une version de logiciel interne (ou firmware) inférieure à v100434, ce blocage nécessitait d'entrer un code dans un menu du logiciel. Depuis la version v100434, un redémarrage permet de désactiver ce message d'erreur, après s'être assuré que toutes les connectiques sont en place.

Comme spécifié dans « la liste des instruments conformes à la méthode de référence pour la surveillance de la qualité de l'air »¹, **la version de l'algorithme permettant de convertir la mesure de la distribution en taille vers une distribution en masse doit être le « PM_ENVIRO_0011 »**, certifiée par le TÜV. Cet algorithme est indépendant des différentes versions de logiciel interne proposées par le constructeur et constitue un élément central de la configuration technique soumis à conformité.

2.2 Ligne de prélèvement

Le FIDAS doit être installé avec la ligne de prélèvement chauffée IADS (Intelligent Aerosol Drying System) de 1,2 m. Seule cette configuration technique a été reconnue conforme pour la mesure réglementaire. Si nécessaire, il est possible de rallonger la ligne de prélèvement en plaçant un tube d'extension en inox (diamètre 15 mm) entre la tête de prélèvement et la ligne « IADS », la longueur de l'assemblage final ne devant pas excéder 3m.

Il est nécessaire que la ligne IADS dépasse à l'extérieur de la station de quelques centimètres afin d'éviter tout phénomène de condensation et assurer le maintien de la ligne avec le presse-étoupe.

Une attention particulière doit être portée à la fixation entre la base de la ligne IADS et la cellule de mesure car celle-ci peut être à l'origine d'une mauvaise étanchéité. Il est donc nécessaire de s'assurer qu'il n'existe aucun espace entre la base de la ligne IADS et la cellule de mesure avant de serrer les brides et les bagues d'étanchéité (voir manuel constructeur).

La ligne de prélèvement chauffée IADS (longueur de 1,2 m) possède trois modes de régulation :

- OFF (température minimale fixée à 23°C) ;
- remove volatile/moisture compensation (asservissement par la sonde météorologique) ;
- remove volatil/semi-volatil (chauffage fixé à 90°C).

Le mode de régulation à employer pour la surveillance réglementaire est « remove volatil/moisture compensation ».

Le FIDAS doit être installé avec la tête de prélèvement TSP (Total Suspended Particles) fournie avec l'instrument et positionnée en tête de la ligne de prélèvement. Etant donné son principe de fonctionnement (détection de la lumière diffusée par les aérosols), le FIDAS ne nécessite pas de coupure granulométrique en tête de ligne de prélèvement. Ainsi, la tête de prélèvement TSP a pour unique fonction de protéger l'instrument de la pluie et de filtrer les débris grossiers à l'aide d'une grille.

2.3 Sonde météorologique

Avant le 1^{er} janvier 2023, le FIDAS était livré avec une sonde météorologique (T,P,HR) de type *WS300-UMB*, fabriquée par *OTT HydroMet Fellbach GmbH*. Une deuxième sonde *WS600-UMB*, permettant de mesurer également la pluviométrie, la direction et la vitesse du vent, était disponible en option.

A compter du 1^{er} janvier 2023, les analyseurs FIDAS sont livrés avec la sonde « Station Météo Thiès T/P/HR, Palas réf. 8370 ». Cette nouvelle station météo est compatible avec n'importe quel FIDAS 200 (firmware v532 ou supérieur avec modification du fichier *promo.ini*).

L'instrument doit être équipé de l'une de ces sondes.

2.4 Filtre de collection

Un filtre de collection de diamètre 47 ou 50 mm peut être installé dans le porte-filtre situé sous la cellule de mesure afin de prélever les particules analysées par le FIDAS. Cependant, la présence de ce filtre n'est pas nécessaire au bon fonctionnement du FIDAS.

2.5 Connexion à la station d'acquisition

Les FIDAS sont compatibles avec les protocoles Modbus et Bayern Hessen utilisés avec les stations d'acquisition (SAM) ISEO et FDE utilisées dans les AASQA. Leur sélection est disponible dans le sous menu « interface ». Les protocoles de connexion des FIDAS sont mentionnés dans les documentations des constructeurs ISEO et FDE.

Le FIDAS permet une sauvegarde des données locales dans le PC interne à l'instrument. Elles sont disponibles sous deux formats : un format brut *.promo et un format texte *.txt. Elles peuvent être récupérées par clé USB ou par connexion réseau à l'aide de l'interface « Windows » de l'instrument.

Les données au format constructeur (*.promo) peuvent être analysées à l'aide du logiciel de traitement des données : PD_ANALYZE. Ce dernier permet notamment d'analyser les données de distributions en taille des particules, selon différentes unités et sur des pas de temps différents (journalier, horaire, ...).

Les données au format texte (.txt) contiennent les mesures des concentrations de PM, avec un certain nombre de paramètres techniques ainsi que les concentrations en nombre par classe de taille. Les données accessibles dans les fichiers texte sont les suivantes :

- Fractions massiques : PM₁, PM_{2,5}, PM₄, PM₁₀, PM_{Tot} ;
- Concentration en nombre total (Nombre de particules. cm⁻³) ;
- Paramètres météorologiques : T, HR, P, Vent, paramètres météorologiques complémentaires : vent et précipitations (avec sonde WS600) ;
- Status (erreur ou non, 1 ou 0) sur les paramètres de fonctionnement ;
- Valeurs numériques des paramètres de fonctionnement ;
- Concentration en nombre par classe de taille (64 canaux entre 0,18 et 18 µm)

Le nom du fichier est de la forme : DUSTMONITOR_N°de sérieFIDAS_aaaa_mm (Ex : DUSTMONITOR_6573_2019_05).

Le pas de temps standard des données extraites dans le fichier .txt est **d'une minute**. Chaque point de mesures correspond à une **moyenne quart-horaire**. **Cette configuration ne doit pas être modifiée car en lien avec la conformité technique**. L'ensemble de ces paramètres sont configurés dans le fichier « promo.ini ».

Depuis la version de firmware v100447, la communication ASCII en protocole IP est disponible.

Le FIDAS est également accessible grâce à son interface Windows en utilisant un logiciel de connexion à distance.

2.6 Version de firmware

Le terme « firmware » désigne le logiciel de fonctionnement de l'instrument. Les numéros de versions firmware des FIDAS 200 changent régulièrement. Ces modifications ne concernent en aucune manière l'algorithme de calcul des fractions massiques (PM_ENVIRO_0011), mais sont associées à des améliorations et à la résolution des dysfonctionnements des versions précédentes. Le numéro de la version de firmware complète est visible dans le menu Expert User du FIDAS 200.

La décomposition du numéro de version de firmware (ex : 100444.0014.0001.0001.0011) est la suivante :

- 100444 : version du logiciel de l'analyseur ;
- 0014 : version de logiciel de la carte SLA (Scattering Light Evaluation) ;
- 0001 : version initiale de logiciel de la carte MOI (carte multifonction) ;
- 0001 : version initiale de logiciel de la gestion des températures Pt100 (IADS) ;
- 0011 : version d'algorithme de calcul des fractions massiques PM_ENVIRO_0011 certifiée par le TÜV.

Il est recommandé aux utilisateurs de réaliser les mises à jour du logiciel au fil de l'eau. Une note technique est disponible auprès du distributeur.

Une liste des versions de firmware mise à jour avec les modifications apportées est fournie en annexe.

3. CONTROLES ET MAINTENANCES DES COMPOSANTS DE L'ANALYSEUR

3.1 Synthèse des contrôles et maintenances

Le tableau 1 présente l'ensemble des actions de contrôles et maintenances préventives ou curatives des composants de l'analyseur qu'il est nécessaire de réaliser, ainsi que leurs fréquences minimales, pour garantir un fonctionnement optimal du FIDAS sur site.

Tableau 1 : tableau des contrôles et maintenance des composants de l'analyseurs

Contrôles/maintenances	Fréquence	Lieu	Chapitre
Tête de prélèvement Ligne de prélèvement	Trimestrielle Annuelle	Labo/Site	3.2
Nettoyage de la sonde météorologique	Annuelle	Labo/Site	0
Nettoyage de la cellule optique	Annuelle	Labo/Site	3.4
Filtre de pompe	P >50%	Site	3.5
Pompe de prélèvement	P >80%	Site	3.5
Joints toriques	Annuelle ou en cas de test de fuite invalide	Labo/Site	3.6

3.2 Tête de prélèvement et ligne de prélèvement

Une vérification visuelle de la tête de prélèvement doit être réalisée trimestriellement. Il convient alors d'enlever les corps étrangers (insectes, végétation, ...) déposés sur la grille. Bien que la tête de prélèvement n'opère pas de coupure granulométrique, le nettoyage de la tête doit être réalisé une fois par an afin d'éviter l'installation de faune et de flore intempestive. Pour cela, le constructeur préconise de nettoyer la tête de prélèvement en l'immergeant quelques temps dans un bac d'eau. Le constructeur ne recommande pas de démonter la tête de puisque l'opération peut abîmer les joints assurant l'étanchéité.

Un nettoyage de la ligne IADS est recommandée une fois par an. Le tube interne de la ligne de prélèvement chauffée IADS peut être nettoyé avec un chiffon doux. Un contrôle visuel à travers la ligne de prélèvement permet de contrôler son état de contamination.

En fonction du degré d'empoussièrement du site de mesure, et/ou d'encrassement constaté, il est possible d'adapté les périodicités. Une ligne encrassée peut par exemple avoir un impact sur la mesure du zéro (cf section 4.6).

3.3 Nettoyage de la sonde météorologique

Il est recommandé de nettoyer la sonde météorologique une fois par an au niveau des ailettes de protection (e.g. avec de l'eau éventuellement savonneuse) et au niveau du ventilateur situé sous la sonde.

3.4 Nettoyage de la cellule optique

Le nettoyage de la cellule de mesure est une procédure de maintenance préventive qui doit être effectuée annuellement. La procédure est détaillée dans le manuel constructeur. Durant ce nettoyage, **il convient de ne pas endommager les lentilles optiques situées dans la cellule de détection**. Pour cela, il est impératif d'utiliser un tissu adapté au nettoyage des optiques (i.e qui ne dépose pas de fibre) et de ne pas toucher les optiques avec les doigts.

Le nettoyage de la cellule optique peut être également réalisé de manière curative notamment si l'étalonnage de la réponse optique (section 4.8) n'est pas satisfaisant ou bien si une dérive de celui-ci est constatée via une variation trop importante du paramètre « channel deviation ». Un encrassement de la cellule peut dans une moindre mesure être la source d'un défaut du test zéro ou bien du paramètre Velocity.

3.5 Pompe de prélèvement

Le libellé « pompe de prélèvement » employé dans ce guide correspond à un module composé de deux pompes qui assurent le débit de l'instrument.

Le paramètre « suction pumps » accessible dans le menu « device status » donne une information sur la puissance du courant de pompe nécessaire à la régulation du débit à 4,8 L/min (conditions standards : 1013 hPa, 25°C). La valeur initiale de ce paramètre pour un FIDAS neuf est de l'ordre de 40%. Avec l'encrassement du filtre absolu de protection (cartouche filtrante bleue en face du FIDAS) et l'usure de la pompe, ce paramètre augmente progressivement. A partir de 80%, un message d'erreur apparaît.

Si le courant de pompe a augmenté régulièrement au fil du temps, la cartouche filtrante bleue en face du FIDAS peut être encrassée et doit être remplacée. Si le courant reste élevé après cette opération, la pompe est usée et devra être remplacée avant d'atteindre un courant pompe de 100%. Si le courant de pompe a fait un saut brutal d'au moins 40%, cela signifie qu'un des deux corps de pompe est défectueux. La pompe de prélèvement doit être immédiatement remplacée.

Afin d'éviter tout problème lié à l'encrassement du filtre de pompe, il est recommandé de nettoyer ou de changer celui-ci dès que le courant de pompe dépasse 50%.

Il est également recommandé de nettoyer le porte filtre situé sous la cellule de mesure à chaque contrôle trimestriel.

3.6 Joints toriques

L'étanchéité du circuit fluidique de l'analyseur est assurée par la présence de plusieurs joints toriques. Une fois par an, il est nécessaire de contrôler l'état visuel des différents joints toriques. Un mauvais état de ces joints (e.g. craquelés, coupés) doit amener à leur remplacement. Si la réalisation d'un test de fuite (section 4.4) donne un résultat négatif, les joints toriques doivent être vérifiés et, si besoins, changés avant de procéder à un nouveau test de fuite.

4. ASSURANCE QUALITE/ CONTROLES QUALITE (QA/QC)

4.1 Rappel

Le terme « contrôle » utilisé dans la norme NF EN 16450 et dans les guides LCSQA fait référence au terme de « vérification » utilisé dans le guide « Vocabulaire international de métrologie » (VIM)³ dont voici la définition :

Vérification (extrait VIM) : fourniture de preuves tangibles qu'une entité donnée satisfait à des exigences spécifiées.

Par analogie à cette norme et aux guides méthodologiques des analyseurs automatiques de particules (AMS) dans l'air ambiant déjà publiés, le terme "contrôle" sera utilisé dans ce guide. Un contrôle est par conséquent une action assujettie à un critère d'acceptation qui, en cas de non-respect, aboutit à une action corrective (exemple : étalonnage, ajustage ...).

Le terme « étalonnage » utilisé dans la norme NF EN 16450 et appliqué au contrôle QA/QC fait référence au terme « ajustage d'un système de mesure » utilisé dans le VIM.

Etalonnage (extrait VIM) : opération qui, dans des conditions spécifiées, établit en une première étape une relation entre les valeurs et les incertitudes de mesure associées qui sont fournies par des étalons et les indications correspondantes avec les incertitudes associées, puis utilise en une seconde étape cette information pour établir une relation permettant d'obtenir un résultat de mesure à partir d'une indication.

Ajustage d'un système de mesure (extrait VIM) : ensemble d'opérations réalisées sur un système de mesure pour qu'il fournisse des indications prescrites correspondant à des valeurs données des grandeurs à mesurer.

L'étalonnage au sens du VIM est définie comme une action préalable à l'ajustage du système de mesure.

Au sens de la norme NF EN 16450 et de ce guide, s'agissant de paramètres critiques qui ne peuvent être corrigés à posteriori (T, P, HR, Débit), l'étalonnage inclut la notion d'ajustage.

³ Vocabulaire international de métrologie (VIM)– Concepts fondamentaux et généraux et termes associés (VIM), version corrigée de la 3e édition, éditée en 2012 par les membres du JCGM (Joint Committee for Guides in Metrology). <https://www.bipm.org/fr/publications/guides/vim.html>

4.2 Synthèse des contrôles QA/QC

Le Tableau 2 résume l'ensemble des contrôles métrologiques et étalonnages nécessaires au bon fonctionnement des FIDAS pour la mesure réglementaire en air ambiant en respect avec les exigences de la norme NF EN 16450. Ils sont une condition au maintien de l'équivalence à la méthode de référence gravimétrique décrite dans la norme NF EN 12341.⁴

Les fréquences indiquées sont à appliquer pour tout matériel fonctionnant en routine dans une station fixe ou dans un moyen mobile. Il conviendra d'adapter les fréquences de l'ensemble des actions présentées dans ce chapitre en fonction des actions curatives mises en place sur les appareils. L'ensemble des contrôles est à réaliser à chaque (re)installation ou démarrage de campagne de mesure.

Tableau 2 : Liste des actions QA/QC à appliquer sur les FIDAS 200 de Palas en accord avec la norme NF EN 16450.

Contrôles/étalonnages	Fréquence minimale	Lieu	Exigence de performance	Chapitre
Contrôle des capteurs de température, pression et humidité relative	3 mois	Site	$ T_{\text{sonde}} - T_{\text{ref}} \leq 2^{\circ}\text{C}$ $ HR_{\text{sonde}} - HR_{\text{ref}} \leq 5\%$ $ P_{\text{sonde}} - P_{\text{ref}} \leq 10 \text{ hPa}$	4.3
Etalonnage des capteurs de température, pression et humidité relative	1 an	Site/Labo	-	4.3
Contrôle de la température de la ligne IADS	1 an	Site/Labo	$ T_{\text{sonde}} - T_{\text{ref}} \leq 2^{\circ}\text{C}$	4.3
Test de fuite (étanchéité)	3 mois 1 ans	Site/Labo	0,5 L/min avec ligne IADS 0,08 L/min sans ligne IADS	4.4
Contrôle du débit	3 mois	Site	$ D_{\text{ref}} - D_{\text{FIDAS}} \leq 0,24 \text{ L/min}$	4.5
Etalonnage du débit	1 an	Site/Labo	-	4.5
Blanc d'instrument	1 an	Site/Labo	$N = 0 \text{ p/cm}^{-3}$	4.6
Bruit de fond électronique	1 an	Site/Labo	Offset <0,2 mV 2V < Tension d'ajustement <3V	4.7
Contrôle et ajustage de la réponse optique	3 mois	Site/Labo	$\pm 0,5$	4.8
Contrôle et réglage de la vitesse d'écoulement	Initial puis au fil de l'eau	Site/Labo	$\pm 15\%$ de la valeur initiale	4.9
Vérification des indicateurs des paramètres opérationnels	Au fil de l'eau	Site/Labo	-	4.10

Les contrôles de température de la ligne IADS (4.3), de fuite (4.4), de débit (4.5), de bruit de fond (4.7) et de réponse optique (4.8) doivent être réalisés en utilisant le mode « sensor calibration » du FIDAS. Ce mode de fonctionnement, la ligne IADS est chauffée à 50°C.

⁴ NF EN 12341 : Air ambiant - Méthode normalisée de mesurage gravimétrique pour la détermination de la concentration massique MP_{10} ou $MP_{2,5}$ de matière particulaire en suspension

Il est nécessaire d'attendre que la température soit stabilisée. Le temps d'attente peut être assez long en fonction des températures extérieures.

4.3 Contrôle et étalonnage des capteurs de température, pression et humidité relative.

Les paramètres de température, de pression et d'humidité concernés par les exigences de la norme NF EN 16450 sont répertoriés dans le Tableau 3. Ces paramètres sont jugés « critiques » au sens où un écart peut induire une erreur sur la mesure de la concentration massique de PM. Le contrôle et l'étalonnage de ces paramètres doivent être réalisés à l'aide d'étalons de transferts. Ceux-ci doivent être raccordés aux étalons (internationaux de référence). Les exigences de ces étalons en termes d'incertitude sont reportées dans le Tableau 3.

En accord avec la norme NF EN 16450, la fréquence des contrôles indiqués peut être allégée lorsqu'il existe un historique suffisant permettant de démontrer le maintien du respect des exigences spécifiées. Néanmoins, dans la mesure du possible, la périodicité trimestrielle est recommandée ; celle-ci est à synchroniser avec le changement de saison car ce dernier induit généralement une variation notable des conditions environnementales ambiantes.

Tableau 3 : Exigences des contrôles et étalonnages des paramètres de Température, Pression et Humidité en accord avec la norme NF EN 16450.

Paramètre	Périodicité	Critère d'exigence du contrôle	Exigence sur l'incertitude de l'étalon de transfert
Température de l'air dans la ligne chauffée IADS (T_{IADS})	Contrôle à l'installation puis trimestriel sur Site	$ T_{IADS}-T_{ref} \leq 2^{\circ}\text{C}$	1,5 °C
Température ambiante (T_a)		$ T_a-T_{ref} \leq 2^{\circ}\text{C}$	
Pression ambiante (P_a)	Etalonnage annuel sur site ou en Laboratoire	$ P_a-P_{ref} \leq 10 \text{ hPa}$	0,5 kPa
Humidité relative ambiante (HR_a)		$ HR_a-HR_{ref} \leq 5\% \text{ HR}$	3% HR

4.3.1 Paramètres de la sonde météorologique (T_a , P_a , HR_a)

Les contrôles de la température, de la pression et de l'humidité relative ambiantes doivent être réalisés à l'installation puis chaque trimestre sur site. Le contrôle est réalisé aux conditions ambiantes (un seul point de mesure) par comparaison entre les valeurs mesurées par un étalon de transfert et le FIDAS. Ces différences doivent être $\leq 2^{\circ}\text{C}$, $\leq 10 \text{ hPa}$ et $\leq 5\%$ respectivement pour la température (T_a), la pression (P_a) et l'humidité relative (HR_a) en accord avec la norme NF EN 16450.

Il convient d'attendre que la mesure des étalons de transfert soit stabilisée avec les conditions ambiantes. Sur site, il faut éviter les interférences tels que le rayonnement solaire, les différences de mesure issues de rafales de vent ; en cas de pluie, éviter de faire la mesure si cela doit porter atteinte à l'intégrité des matériels utilisés ou en cas de risque d'entrée d'eau dans la ligne d'échantillonnage.

Les valeurs des paramètres de la station météo lues sur l'écran du FIDAS sont des valeurs moyennes de 10 minutes actualisées toute les 2 minutes. Il convient donc d'utiliser les valeurs brutes disponibles dans le sous-menu « weather station » afin de réaliser le contrôle.

Le critère de 5% appliqué au contrôle trimestriel de l'humidité relative (HR) est difficile à atteindre sur site sous conditions ambiantes. Il est préférable de le réaliser dans une atmosphère contrôlée, en laboratoire ou en station. En station, afin d'atteindre ce critère, une solution consiste à démonter la sonde météo, à l'enfermer dans un sac hermétique et attendre la stabilisation des paramètres. Si le contrôle trimestriel est réalisé sous condition ambiante un écart de 10 % est autorisé.

En cas de contrôle non conforme, il convient de procéder à un étalonnage de la sonde météorologique. De manière générale, un étalonnage doit être réalisé une fois par an.

L'ajustage des paramètres techniques de la sonde météorologique (T_a , P_a et HR_a) est réalisé, sur site ou en laboratoire, en modifiant les paramètres de pente (scale) et d'offset de chaque paramètre dans le menu « Accessories -> calibrate weather station ».

Avant l'ajustage, les paramètres de pente (scale) et d'offset du paramètre technique correspondant doivent être modifiés à des valeurs de 1 et 0 respectivement. Cette modification n'est prise en compte qu'après le redémarrage de l'analyseur. Une fois l'instrument redémarré, l'étalonnage du paramètre technique est réalisé par comparaison entre les valeurs mesurées par la sonde météorologique et celle d'un étalon de transfert. Les nouveaux paramètres, pente (scale) et offset, se calculent sous la forme :

$$\text{Valeur corrigée} = \text{« scale »} \times \text{mesure brute de la sonde} + \text{« offset »}.$$

Après le calcul, les nouveaux paramètres doivent être renseignés dans l'instrument, puis celui-ci doit être redémarré.

Il est recommandé, selon le constructeur, de réaliser l'étalonnage en trois points distincts. Cette opération ne peut généralement se faire qu'en laboratoire. Sur site, **en cas d'impossibilité de le faire en trois points distincts, il est permis de réaliser l'étalonnage en un point. Ceci impose d'avoir une mesure très stable sur l'étalon de transfert.** Si l'étalonnage est réalisé en un point de mesure, seul le paramètre offset doit être ajusté.

Il est recommandé d'assurer de la cohérence des mesures dans le temps, sur des plages de variations de concentration élargies, par comparaison lorsque cela est possible avec tout autre moyen de mesure disponible.

En cas d'étalonnage non conforme, il convient de changer de sonde météorologique et de recommencer les opérations précédentes. Si, après ce changement, l'étalonnage est toujours non conforme, des investigations doivent être menées.

4.3.2 Température de la ligne IADS

La ligne de prélèvement chauffée (IADS) est équipée d'une sonde de température qui permet d'ajuster sa puissance de chauffe. La réponse de cette sonde de température doit être contrôlée tous les ans. Ce capteur ne peut pas être étalonné. Si un défaut est constaté, il est nécessaire de contacter le distributeur.

Ce contrôle peut être effectué de deux manières différentes. La première méthode décrite en 4.3.2.1 peut être réalisée lorsque que la ligne IADS est démontée, lors d'un contrôle en laboratoire par exemple. La deuxième méthode décrite en 4.3.2.2 ne nécessite pas de démonter la ligne et semble donc plus adaptée à un contrôle en station. Les deux méthodes sont équivalentes en termes de conformité.

4.3.2.1 Méthode 1 : En démontant la ligne IADS

Cette approche nécessite de démonter la ligne IADS et de la mettre en stabilisation dans un local à température stable (e.g. laboratoire, station de mesures). Un temps conséquent de stabilisation dans le local est nécessaire afin que la température de l'air dans la ligne soit équilibrée avec celle du local où la mesure est effectuée. Une fois cet équilibre de température atteint, le FIDAS doit être redémarré en ayant préalablement débranché le connecteur de la ligne IADS. Attendre le démarrage de l'analyseur et, dès que possible, aller dans le menu « Accessories -> IADS » pour suivre la température de la ligne de prélèvement chauffée IADS. Lorsque la ligne est débranchée la température affichée est de 318 °C. Il convient alors de rebrancher le connecteur de la ligne IADS et de comparer immédiatement (car la ligne va commencer à chauffer) la température de la ligne IADS avec un étalon de transfert. La différence entre les températures ne doit pas dépasser 2°C.

4.3.2.2 Méthode 2 : sans démonter la ligne IADS

Le démontage de la ligne IADS est une opération difficile à réaliser sur site, elle peut notamment provoquer des problèmes d'étanchéité. Afin de faciliter l'opération de contrôle de la sonde, il est possible d'introduire une sonde de température souple (de longueur de 1.2m) dans la ligne IADS (par le haut) pour mesurer la température de l'air à proximité de la sonde de température IADS.

La sonde de température IADS se situe à 68 cm de la tête de la ligne (un repère peut être mis sur la sonde). Il est préconisé de stopper le débit d'air en déconnectant le porte filtre de la cellule de mesure, et de boucher l'entrée de la ligne pour éviter l'introduction de la pluie et faciliter l'homogénéisation de la température. Après un temps de stabilisation, la différence entre la température du contrôle et celle de la sonde de la ligne IADS ne doit pas dépasser 2°C.

Ce contrôle doit être réalisé lorsque la ligne est chauffée à 50°C. Il peut être organisé avant ou après les tests de réponse optique, de bruit de fond, de fuite et de débit qui nécessitent que la température de la ligne IADS soit stabilisée à 50°C.

4.4 Test de fuite (étanchéité)

Un test d'étanchéité de l'ensemble de l'instrument, incluant la ligne IADS, doit être réalisé avant chaque contrôle de débit soit une fois par trimestre.

Pour cela :

- Retirer préalablement la tête de prélèvement Sigma-2 ;
- Déterminer préalablement la valeur de l'offset de la pompe (L/min) en appuyant sur le bouton « flow sensor offset measurement » (arrêt de la pompe) ;
- Boucher l'entrée de l'échantillon au niveau de la tête de prélèvement IADS. Puis lire la valeur du débit « flow rate ».

La différence entre les deux valeurs de débit ne doit pas excéder 0,5 L/min. En cas d'écart de plus de 0,5 L/min lors du test, les éventuelles fuites (e.g. joints toriques) doivent être recherchées.

Le test de fuite peut également être réalisé sans la ligne IADS. Dans ce cas, le critère est de 0,08 L/min. Pour cela, la procédure est la même mais le flux d'air est obstrué à l'entrée de la cellule de mesure.

Il est recommandé de réaliser cette procédure une fois par an lorsque la ligne IADS est démontée ou pour localiser une fuite lorsque le résultat du test de fuite incluant la ligne IADS n'est pas satisfaisant.

4.5 Contrôle et étalonnage du débit

Le débit est un paramètre critique au sens de la norme NF EN 16450 puisqu'il influence les résultats de mesures. Il est en effet utilisé pour le calcul des volumes d'air prélevés et donc pour la mesure des concentrations massiques des PM en ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Le

Tableau 4 recense les fréquences et critères d'exigences associés à ce paramètre. Le contrôle et l'étalonnage du débit doivent être réalisés à l'aide d'un débitmètre dont les caractéristiques répondent aux exigences relatives aux étalons de transfert. Une liste de débitmètres adéquats est présentée en Annexe 2.

Les opérations de contrôle et d'étalonnage du débit ne peuvent être réalisées que si le contrôle préalable de l'étanchéité et du zéro sont conformes (section 4.4 et 4.6).

Tableau 4 : Exigences des contrôles et étalonnages du débit de prélèvement du FIDAS en respect des exigences de la norme NF EN 16450

Débit	Action	Périodicité	Lieu	Critère d'exigence	Exigence sur l'incertitude de l'étalon de transfert
4,8 L/min (1013 hPa, 25°C)	Contrôle	3 mois	Site	$\leq 0,24$ L/min ou 5%	2%
	Etalonnage	1 an	Site /Labo	-	1%

La régulation du débit du FIDAS est assurée par une pompe de prélèvement asservie par un débitmètre massique assurant un débit de 4,8 L/min (1013 hPa, 25°C). L'instrument calcule ensuite le débit volumique aux conditions ambiantes par correction des paramètres de température et de pression mesurés par la sonde météorologique du FIDAS. Par conséquent, le contrôle et l'étalonnage du débitmètre est plus pratique avec l'utilisation d'un débitmètre massique, cependant il est possible d'utiliser un débitmètre volumique et de rapporter les mesures du débit effectuées en conditions ambiantes aux conditions de température et de pression standard (25°C et 1013 hPa) en utilisant la relation suivante :

$$\begin{aligned} \text{Débit}_{standard} &= \text{Débit}_{Ambiant} \cdot \frac{P_{Ambiant}}{P_{Standard}} \cdot \frac{T_{Standard}(K)}{T_{Ambiant}(K)} \\ &= \text{Débit}_{Ambiant} \cdot \frac{P_{Ambiant}}{1013,25} \cdot \frac{298,15}{T_{Ambiant}(^{\circ}C) + 273,15} \end{aligned}$$

Le contrôle du débit de prélèvement doit être réalisé sur site à une fréquence trimestrielle. La prise de débit est réalisée de préférence en tête de ligne après avoir ôté la tête de prélèvement. La différence entre le débit du FIDAS et celui de l'étalon doit être inférieur à 5% du débit nominal soit 0,24 L/min. Le constructeur préconise un écart inférieur à 0,15 L/min, ce qui correspond à 3,1% du débit nominal. Pour donner suite aux retours d'expérience terrain, la tolérance de 5% est préférée dans ce guide. Cependant, un écart compris entre 0,15 et 0,24 L/min doit générer une vigilance.

Si le contrôle n'est pas conforme, il est nécessaire de procéder à l'étalonnage du débit. De manière général, l'étalonnage doit être réalisé au moins une fois par an.

L'ajustage du débit du FIDAS est réalisé en paramétrant dans l'instrument, dans le menu dédié (Settings/calibration/ sensor calibration / continue with calibration / calibrate flow sensor offset), la valeur du débit rapporté aux conditions standard (25°C, 1013hPa). Le logiciel interne du FIDAS calcule automatiquement le nouvel offset à appliquer.

Après l'étalonnage, il convient de contrôler le débit. En cas d'étalonnage non conforme, il convient de contacter le fournisseur.

4.6 Blanc d'instrument

La vérification du zéro (ou blanc) d'instrument permet de valider l'installation en s'assurant de l'absence de contamination de l'air échantillonné. Ce test peut être réalisé à la fin des contrôles afin de valider l'installation.

Le blanc d'instrument est réalisé par mise en place d'un filtre absolu HEPA en tête de la ligne de prélèvement. Il est recommandé d'utiliser le menu « Dustchart » pour obtenir une mesure de la concentration en temps réel et une visualisation graphique.

Le blanc est validé si la concentration en nombre atteint de manière stable la valeur de 0 particules/cm³, correspondant à des concentrations de PM égale à 0 µg/m³.

Si une valeur stabilisée de 0 particules /cm³ n'est jamais atteinte, il convient de refaire le test avec un filtre neuf, de s'assurer de l'absence de fuite ou que l'affichage n'est pas perturbé par des interférences électroniques. Si le problème persiste, il conviendra de nettoyer la cellule optique et la ligne de prélèvement, s'assurer de l'étanchéité. Si le blanc n'est toujours pas conforme, il conviendra de contacter le distributeur.

4.7 Bruit de fond électronique

Il s'agit d'une procédure automatique qui permet de réduire autant que possible le bruit de fond électronique de l'analyseur ou « offset ». Un ajustement de la mesure de ce paramètre est effectué quotidiennement et automatiquement par l'analyseur. Il doit être réalisé manuellement une fois par an.

La procédure est démarrée avec le bouton « adjust offset ». Elle dure environ 2 minutes. La tension pour laquelle le bruit de fond le plus faible (« offset ajustement voltage ») doit être comprise entre 2 et 3 V. La valeur de l'offset doit être inférieure à 0,2mV.

Si ces valeurs ne sont pas atteintes, contacter le distributeur.

4.8 Contrôle et ajustage de la réponse optique

Le FIDAS 200 mesure la taille des particules échantillonnées par leur capacité à diffuser un faisceau de lumière incident. Le principe de mesure repose sur le fait que l'intensité de la lumière diffusées par une particule est fonction de son diamètre. Le contrôle et l'étalonnage de la réponse optique consistent à exposer le FIDAS à des particules de diamètre et de composition connus puis à vérifier, et si besoin ajuster, le diamètre mesuré par celui-ci.

Ce contrôle doit intervenir trimestriellement après la vérification de l'étanchéité et du débit.

Pour cela, il faut utiliser les aérosols monodispersés calibrés, fournis avec l'analyseur : Palas MonoDust 1500. Il s'agit de particules de dioxyde de silice de diamètre moyen de 1.28 µm.

Pour exposer le FIDAS à ces particules, il faut positionner un tuyau souple sur la partie supérieure de la ligne de prélèvement IADS en lieu et place de la tête Sigma-2. Puis, il convient de mettre en suspension la poudre (en secouant ou en tapotant la bouteille d'aérosols monodispersés) et de positionner le tuyau souple de prélèvement en sortie du flacon. Attention : il faut ne pas aspirer la poudre elle-même sous peine d'encrasser le système de mesure, mais seulement la suspension, même si celle-ci n'est pas visible.

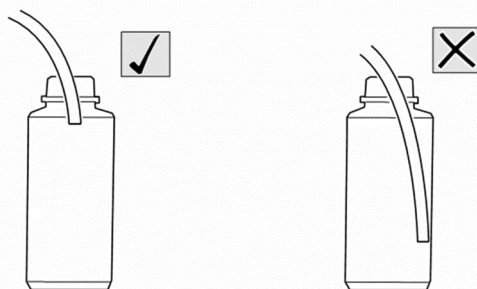


Figure 1 : schéma du positionnement du tuyau pour l'exposition des poudres Monodust 1500

Dans le menu « calibration », le graphe de distribution en taille (graphe du haut de l'écran) doit laisser apparaître un pic autour du canal 141 correspondant aux particules monodispersées. Le paramètre « measured peak at : XXX » indique le canal de taille des particules mesurées. **Cette valeur doit correspondre au canal de mesure spécifié sur le flacon de poudre MonoDust.** Si ce dernier n'est pas indiqué (sur les anciennes bouteilles de poudre), il faut considérer une valeur de référence égale à 141.

- Lors du contrôle, le pic doit être égale à la valeur de référence avec une tolérance de 0,5 ($V_{ref} \pm 0,5$). Si c'est le cas, aucune action n'est requise ;
- Si le pic possède un décalage compris entre $|0,5|$ et $|1,5|$: il faut ajuster la tension du photomultiplicateur à l'aide du bouton « calibrate PM amplification » pour minimiser l'écart (la valeur du pic évolue de manière linéaire avec la tension) ;
- Si l'écart observé est au-delà de $\pm 1,5$, l'ajustage n'est plus possible. Il convient alors de nettoyer l'ensemble de la cellule optique dont les lentilles avant d'essayer de procéder à nouveau au réglage. Si malgré les nettoyages le décalage est toujours supérieur à 1,5, il convient de contacter le distributeur.

De manière générale, le décalage observé est plutôt négatif, traduisant une diminution de l'intensité lumineuse liée à un encrassement des optiques ou à un vieillissement de la source lumineuse ou du détecteur. Un décalage positif est moins fréquent et potentiellement plus problématique.

L'erreur induite par un décalage observé jusqu'à ± 3 canaux a été évaluée à partir d'un jeu de données pour lequel l'ensemble de la distribution en taille a été décalé du même nombre de canaux.⁵ Il a été considéré que le décalage observé lors de l'étalonnage de la réponse optique est le même sur toute la gamme de mesure. Le tableau ci-après présente les erreurs sur la mesure des PM_{10} et $PM_{2,5}$ pour des décalages de -3 à +3.

Tableau 5 : erreur induite par un décalage observé sur la concentration en masse

Décalage du pic (Nb de canaux)	PM_{10}		$PM_{2,5}$	
	pente	offset	pente	offset
-3	1,086	0,03889	1.0877	0.0331
-2	1,056	0,025	1.057	0.012
-1	1,029	0,0122	1.028	0.048
0	1	0	1	0
1	0,973	-0,00785	0.976	-0.0047
2	0,945	-0,0197	0.947	0.038
3	0,918	-0,031	0.9224	0.083

⁵ Rapport TÜV n° 936/21218896/A , octobre 2015. Report on supplementary testing of the FIDAS 200 S respectively FIDAS 200 measuring system manufactured by PALAS GmbH for the components suspended particulate matter PM_{10} and $PM_{2,5}$.

Le tableau ci-dessus indique, par exemple, qu'un décalage de - 3 canaux correspond à une erreur d'environ 8% : $PM_{2,5 \text{ corrigé}} = 1,0877 PM_{2,5} + 0,03889$ et $PM_{10 \text{ corrigé}} = 1,086 PM_{10} + 0,03889$.

Le constructeur indique une date de validité sur les flacons des poudres MonoDust. Celle-ci est certifiée conforme pendant une durée de deux ans. La durée d'utilisation de ces poudres peut être étendue si après avoir réalisé le réglage avec des poudres récentes, le contrôle réalisé avec les anciennes poudres est validé (i.e $<|0,5|$). Il est recommandé de réaliser ces comparaisons chaque année.

Les poudres doivent être conservées dans un contenant étanche dans un local à température contrôlée (station ou laboratoire) à l'abri de la lumière.

4.9 Contrôle et réglage de la vitesse d'écoulement

Le paramètre « Velocity » est la vitesse d'écoulement des poussières dans la cellule de mesure. Cette vitesse est mesurée en déterminant la largeur temporelle du signal optique induit par une particule détectée. Ce temps est directement proportionnel à la vitesse de la particule dans la cellule puisque la hauteur de la cellule est connue. Une erreur sur ce paramètre peut signifier que le débit n'est pas correct ou que le flux dans la cellule est perturbé.

Par défaut, les analyseurs FIDAS sont préconfigurés avec une valeur d'usine de 9,3 m/s. Cependant, la mesure du paramètre Velocity du FIDAS 200 varie d'un analyseur à l'autre (à cause des tolérances mécaniques) et d'un site de mesure à un autre. En effet, elle va dépendre du débit de prélèvement volumique de l'analyseur, qui varie par exemple avec l'altitude d'installation du FIDAS. A titre informatif, pour des conditions standards observées en métropoles à basse altitude les plages de variations observées sont environ entre 8,5 et 10,1 m/s d'un instrument à l'autre.

Lors de l'installation du FIDAS sur site, cette valeur doit être ajustée. Cet ajustage doit être réalisé après s'être assuré que l'ensemble des tests de bon fonctionnement de l'analyseur ont été réalisés avec succès (i.e. test de débit, test de fuite, blanc d'instrument et réponse optique). La valeur « *velocity average* » lue lorsque l'instrument est en mode « Auto » à partir d'un échantillon d'air ambiant, doit être notée et inscrit dans le fichier « promo.ini » (cf protocole dans le manuel constructeur).

Ensuite, **en fonctionnement, ce paramètre doit être suivi au fil de l'eau** sur l'écran via l'indicateur « Velocity » (cf section 4.10) ou à l'aide de ses valeurs numériques dans les fichiers de données. Ce paramètre oscille avec les conditions météorologiques (pression et température) et la température de la ligne IADS mais doit être, en moyenne, stable sur le temps long. La tolérance sur ce paramètre est de 15% de sa valeur initiale (i.e. celle déterminée à l'installation sur site).

Une erreur sur la valeur de ce paramètre peut être rapportée à une perturbation du débit de prélèvement liée à : un porte filtre encrassé, une obstruction ou un encrassement en amont ou en aval du volume optique, à la présence d'une fuite.

En cas d'écart trop important il convient donc, de nettoyer le porte filtre, la cellule optique, de s'assurer de l'étanchéité et de la valeur du débit. Si l'écart est toujours présent, il convient de contacter le constructeur/distributeur.

4.10 Vérification des indicateurs des paramètres opérationnels

Différents paramètres de fonctionnement du FIDAS 200 sont associés à des indicateurs qui peuvent provoquer des alarmes. Ces alarmes sont indiquées dans les fichiers de données exportés (*.xls) sous la forme status=0 ou 1. Ces alarmes imposent une invalidation des données. Le suivi des valeurs des paramètres de fonctionnement permet d'anticiper les maintenances et les contrôles.

Ces indicateurs doivent être suivi au fil de l'eau, lors des passages à la station de mesure ou lors de la validation technique des données. Ils sont listés ci-dessous :

- **Sensor flow** : cet indicateur est lié au **débit de prélèvement** qui est régulé à 4,8 L/min (condition standards 1013 hPa, 25°C) avec une tolérance de $\pm 5\%$. Ce débit est lié à la vitesse d'écoulement des aérosols dans la cellule de mesure (velocity). Le paramètre « **velocity** » est caractérisée pour chaque FIDAS lors de son installation. La tolérance sur ce paramètre est ensuite de $\pm 15\%$. Au-delà de ces critères, l'indicateur « Sensor Flow » se met en alarme. Les données doivent être invalidées. Il convient alors de mener des actions d'investigation appropriées (test de fuite, Filtre de pompe, Contrôle du débit, contrôle de la vitesse d'écoulement). Pour la validation des données, il peut être utile de suivre l'évolution du paramètre Velocity au cours du temps, par exemple de manière graphique, pour pouvoir évaluer des comportements inhabituels.
- **Coïncidence** : Ce paramètre permet de s'assurer que le FIDAS détecte les aérosols un par un. Si plusieurs aérosols se retrouvent simultanément dans la cellule de mesure, l'erreur de coïncidence augmente. Le FIDAS est capable de corriger une erreur de coïncidence jusqu'à 20%, au-delà, l'alarme se déclenche car le comptage est sous-estimé faussant la concentration des fractions massiques. Les données doivent alors être invalidées.
- **Suction pumps** : Il s'agit de l'indicateur de la puissance du courant pompe qui assure le débit de prélèvement. Il se déclenche à 80 % entraînant l'invalidation des données. Il convient de suivre la valeur de ce paramètre au fil de l'eau pour la maintenance des pompes. Voir la section 3.5.
- **Weatherstation** : lorsque la station météorologique multi-paramètres n'est pas détectée, l'analyseur est en défaut car la correction des fractions massiques par rapports aux conditions ambiantes n'est plus possible. Les mesures sont invalidées.
- **IADS** : La température de la ligne de prélèvement chauffée IADS doit être comprise entre 23°C et 90°C. Un code d'erreur apparaît lorsque la température mesurée dans la ligne de prélèvement IADS ne correspond pas à la consigne. De plus, si la sonde de température est cassée, la température affichée est de 318°C. Un mauvais fonctionnement de cette ligne implique l'invalidation des mesures.

- **Calibration** : Cet indicateur est une alerte concernant la dérive de l'étalonnage optique de l'analyseur (i.e. réponse optique, section 4.8). Cet indicateur est relié au paramètre « channel deviation » ou « PM deviation » ou « calibration deviation » qui mesure cette dérive. Celui-ci est présent dans les fichiers de données exportés au format *txt*. Il est également visible sous forme d'évolution temporelle dans le menu settings / calibration. Il représente l'évolution temporelle de la position d'un pic de la distribution autour du canal 100, toujours présent car lié à la géométrie de la cellule de mesure. Ce paramètre va fluctuer dans le temps et sa tolérance est de $\pm 3,5$ canaux. La mise en défaut de ce paramètre peut être lié à un encrassement de la cellule, une baisse de sensibilité du photomultiplicateur, un mauvais étalonnage de la réponse optique. Dans ce cas, les données doivent être invalidées et une opération de maintenance doit être menée. Une mise en défaut peut également apparaître quand les niveaux de concentrations sont très faibles rendant la détermination du pic difficile. Dans ce cas de figure, il n'est pas nécessaire d'invalider les données. Parfois le système n'est pas en mesure de déterminer la position du pic et renvoie une valeur NaN (pouvant être traduite par 9999 au niveau des stations d'acquisition).

Lors de la mise en défaut de l'indicateur « *Calibration* », il convient d'analyser l'évolution temporelle du paramètre « *deviation* » :

- Un dépassement du paramètre au-dessus ou en dessous de la valeur limite de $\pm 3,5$ canaux sur une longue période signifie que le FIDAS peut être mal calibré. Une intervention sur site est à prévoir pour réaliser les tests de bon fonctionnement de l'analyseur.
- Des valeurs inférieures à $-3,5$ canaux, associées à une baisse sur le long terme peut être le résultat d'un encrassement de la cellule optique. Une intervention sur site est à prévoir pour réaliser les tests de bon fonctionnement de l'analyseur et vérifier l'encrassement de la cellule de mesure.
- Si le paramètre est en dehors des valeurs limites $\pm 3,5$ canaux de manière ponctuelle mais relativement stable à long terme (à la manière d'une mesure bruitée), il est probable que la concentration dans l'air ambiant soit trop faible pour que la position du pic du canal 100 soit correctement déterminée. Si les concentrations dans l'air ambiant ne sont pas faibles, une intervention sur site est à prévoir pour réaliser les tests de bon fonctionnement de l'analyseur. Si sur un site de mesure de fond, ce genre de situation est fréquente, il est possible de jouer sur la tolérance de ce paramètre en l'augmentant à $\pm 4,5$ canaux.

Pour la validation des données, il peut être utile de suivre l'évolution du paramètre « *Deviation* » au cours du temps, par exemple de manière graphique, pour pouvoir évaluer des comportements inhabituels.

- **LED temperature** : la température de la source de lumière de la cellule de mesure doit être comprise entre 10°C et 90°C. Lorsque l'analyseur est stabilisé en température, la température de la source de lumière de la cellule de mesure est de 10-15°C au-dessus de la température d'ambiance de la cellule de mesure. Si la température est la même alors la LED est défectueuse. Si la température est significativement haut dessus, une sonde de température peut être défectueuse.

Un mauvais fonctionnement de la source lumineuse implique l'invalidation des données.

- **Operating modus** : l'état de fonctionnement du FIDAS doit être en mode « auto ». Lorsque l'analyseur est calibré, le mode passe en « Calib. », invalidant la mesure. L'opérateur doit s'assurer que l'analyseur est bien repassé en mode « auto » après toute intervention.

Certains codes de « service » peuvent également apparaître sur l'écran du FIDAS :

- Service « C » : Ce message apparaît à l'écran 4 ans après la date de construction. Il s'agit d'une recommandation afin de considérer une maintenance constructeur préventive. Il n'a pas d'effet sur le fonctionnement de l'analyseur.
- Service « B » : Ce message apparaît à l'écran après 35000 h de fonctionnement du système de détection optique. Il s'agit d'une recommandation afin de considérer un remplacement du dispositif de détection optique. Il n'y a pas d'effet sur le fonctionnement de l'analyseur.
- Service « A » « B » « C » apparaissant ensemble. Il s'agit d'une erreur technique liée à la non-détection du système de détection optique au démarrage. Dans ce cas, l'analyseur peut nécessiter une intervention pour rétablir la liaison

Le constructeur précise cependant que les FIDAS 200 ne sont pas soumis à un service d'usine ou à un étalonnage obligatoire. Si un analyseur réussit tous contrôles périodiques, il est supposé être dans un état de fonctionnement optimal. Ces alertes sont avant tout des recommandations à but préventif.

5. INCERTITUDE ET BANCARISATION DES DONNEES

Toute mesure effectuée par FIDAS doit pouvoir être associée à une incertitude. L'incertitude (exprimée pour un intervalle de confiance de 95%) doit être calculée pour les mesures individuelles, et ne doit pas dépasser 25% au niveau de la valeur limite. Pour cela, les AASQA doivent mettre en application les recommandations du LCSQA retranscrites dans le Fascicule de Documentation FD-X43-070-6⁶ pour l'estimation des incertitudes sur les concentrations massiques de particules mesurées en automatique.

Ce Fascicule indique deux approches d'évaluation de l'incertitude.

Tout d'abord un budget d'incertitude peut être déterminé suivant une méthodologie décrite dans le guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM, JCGM 100:2008) et basée sur la connaissance du principe de fonctionnement de l'appareil de mesure et la modélisation mathématique du processus de mesure. Concernant le FIDAS, le processus de mesure est basé sur une loi mathématique de type $\sum_i \frac{4}{3} \pi R_i^3 \rho_i N_i$, et dépend en première approche de la densité (ρ), la concentration N et la taille de la particule (R).

⁶ FD X43-070-6 ; Mai 2011 ; Qualité de l'air - Guide pratique pour l'estimation de l'incertitude de mesure des concentrations en polluants dans l'air ambiant - Partie 6 : estimation des incertitudes sur les concentrations massiques de particules mesurées en automatique

La détermination de l'incertitude est rendue extrêmement difficile par le fait que les informations sur le paramètre de densité ne sont pas accessibles.

La seconde approche est basée sur la procédure intitulée « vérification en continu de l'adéquation » décrite dans la norme NF EN 16450 et plus communément appelée « suivi d'équivalence » des systèmes de mesure automatisés à la méthode de référence. Cette approche semble plus appropriée pour la caractérisation de l'incertitude des FIDAS.

En complément des données PM_{10} et $PM_{2.5}$ remontées dans la base de données nationale de la qualité de l'air (Geod'air), il est demandé aux AASQA de bancariser également les données PM_1 , en tant que « variable d'intérêt nationale ». En effet, les PM_1 sont une variable d'intérêt pour aider à la validation des données d'espèces chimiques majeures de la fraction fine des PM en temps réel (mesures ACSM du programme CARA) ainsi qu'en accompagnement des données réglementaires de $PM_{2.5}$ et PM_{10} (pour toutes stations de mesure, y compris les stations rurales nationales). De plus, la fraction PM_1 pourrait être considérée comme un meilleur proxy des émissions anthropiques que la fraction $PM_{2.5}$, cette dernière pouvant inclure une part significative de particules d'origines naturelles. De ce fait, il est demandé que dès lors qu'une mesure de PM_1 FIDAS est déployée, elle soit bancarisée dans Geod'air.

6. LISTE DES ANNEXES

Annexes	titres
Annexe 1	Liste des mises à jour du logiciel interne du FIDAS
Annexe 2	Liste de débit mètre adapté au contrôle et à l'étalonnage

ANNEXES 1 : LISTE DES MISES A JOUR DU LOGICIEL INTERNE DU FIDAS

Version no.	Change date	Description
100327		
10380	2014-10-15	Extension of serial IO protocol
		Digital output added
		Automatic calibration monitoring according to pending patent added
		Cosmetic changes in user interface
		Flow calibration added to calibration screen
		Fault in Bayern/Hessen protocol implementation corrected
		DiSC mini plugin included in Fidas® software
		Displaying of distributions changed
		Fault in SMTP mailing of alarms corrected
		Option to lock calibration procedure - allows calibration only at stable temperature of 35°C
		Firmware string expanded for representation in compliance with autumn, 2014 audit.
100381	2014-10-20	Language module integrated in Fidas® software plugin - includes Cyrillic characters
		Licensing scheme extended for automatic service reminders
100389	2015-05-22	Fault corrected in calibration procedure, IADS temperature now kept stable at 35°C
		Fault corrected in licensing scheme (serial number was not incorporated in code)
		Calibration of weather station data now possible in Fidas® firmware and promo.ini file
		GPS tracking removed
		2.5 s delay before manual measurement to allow for PM stabilization
100390	2015-06-02	dCn distribution data set to 1 s averaging instead of 60 s in ASCII protocol
100394	2015-07-24	Peak channel target value displayed with 1 digit after decimal during calibration
100396	2015-08-03	Fault corrected in weather station calibration when using linear equation data from promo.ini version 100389 (values were ignored).
100406	2016-02-03	Calibration screen now displays serial number and date/time
		Display of fault states changed: 1.) "Sensor flow": Calculation of velocity deviation now refers to calibrated particle velocity according to promo.ini entry instead of idealized velocity of 9.3 m/s 2.) "Suction pumps": Active at 80% pump performance instead of 60% 3.) "IADS": Bugfix, now active at 90°C instead of 60°C 4.) "LED temperature": Active above 90°C

		Fault corrected for digital outputs (Output was sometimes delayed)
		Fault corrected: "estimated channel deviation" now correctly displayed as 40h average instead of current value.
		IADS temperature for calibration configurable through promo.ini entry (in section "Fidas", e.g., temperature_calibration=50°C). Default value always 35°C if no entry present.
		Temperature stability bandwidth for calibration procedure expanded from $\pm 0.2^\circ\text{C}$ to $\pm 1^\circ\text{C}$.
100407	2016-02-12	TXT data file saved to panel PC disk in the "Fidas" directory.
100408	2016-02-15	On/off switch for pumps added to "accessories->filter" menu (previously only available in Expert User Menu).
100409	2016-02-19	If "estimated channel deviation" is "NaN", corresponding value for serial protocol is set to "0".
100410	2016-04-11	If TXT files are recorded in 15 min intervals, file saving is synchronized to XX:00; XX:15; XX:30 and XX:45 h.
100411	2016-04-21	Reference values for fault alarm and calibration according to factory calibration were treated incorrectly in firmware v. 408.
100413	2016-05-31	Fidas® data text file now includes three additional values: Temperature, pressure and relative humidity recorded by optional analog sensor. Serial IO protocol now delivers Cn distribution based on 10s accumulated data (instead of 1s). Serial IO protocol expanded to include control of setpoint temperature controller #1 (channel 126), setpoint temperature controller #2 (channel 127) and flow rate (channel 128).
100414	2016-06-14	UDP ASCII protocol extended to include 1s distribution in data stream, Bayern-Hessen protocol implementation extended to include customer configurable ID number.
100418	2016-10-04	Fault corrected in display of calibration trend ("estimated calibration deviation" was not updated, present since v. 100406). Both charts now display 24h averaged values.
100419	2016-11-15	UDP protocol extended to include MIO signals (channels 8-19) as displayed.
100422	2016-12-21	Bayern/Hessen-protocol extended for retrieval of historic data.
100425	2017-01-15	Circular buffer functionality corrected (deletion of oldest files non-functional if no USB drive was present).
100426	2017-01-31	Fine dust data reporting changed from mg/m^3 to $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in all IO protocols, fault in Bayern/Hessen protocol corrected (all values too high by factor 1000).
100427	2017-02-22	Changes in v 100426 reverted (data was correct), fine dust data again reported in mg/m^3
100428	2017-03-28	Licensing scheme changed to include service management. Fault corrected in APDA version - missing IADS connection not displayed correctly.
100430	2017-05-09	Licensing file "gamma.dll" based only on MAC address of MMS-SLA; new License file generator.
100431	2017-05-31	Messages for services A B C included.
100434	2017-08-02	MAC address detection routine changed.

		Web site command "service interface" now points to _palassupport_default.exe (interface with static password).
100437	2017-12-22	Bugfix: Pump output (setting #6) can be set to fixed value manually (for service checks). N.B.: 100% = off, 0% = full power; therefore enter: 100%-target%.
100439	2018-02-28	Fidas Firmware: Text log file now contains headers for particle size distribution, meteo sensor data and other data.
		Fidas Firmware: New entry in in "promo.ini" allows setting individual limit for "channel drift"
		Fidas Firmware: Error status "operating modus" now also activates if zero signals are recorded during the PM averaging period (900s); indicator for sensor system malfunction.
		PM-Algorithm code with additional analyzing functionality – not used in certified algorithm #11. Used only for alternative algorithms for non-certified applications.
100443	2018-05-24	License check now more error tolerant (error will no longer invalidate the license file).
100444	2018-06-14	License error due to MIO board detection error at startup will no longer invalidate the license.
100445	2018-07-09	"UDP single particle data stream" protocol improved to operate on 100ms clock generated by MIO board with 1% accuracy.
		UDP protocol now only transmits valid signals (no border zone or coincident signals) if sensor settings are selected accordingly.
		TCP/IP communication timeout reduced to 199ms
		Velocity measurement now only based on non-coincident signals.
100447	2018-07-11	ASCII TCP/IP protocol implemented
		LED brightness can be adjusted for test purposes
100448	2018-08-15	If dust_type=1 is set in promo.ini PM values are calculated in 1s intervals (instead of 5 s), based on 10s averaging.
		E-mail alert now sent by Fidas firmware not on status error but on exceedance of PM threshold defined for "digital_out" in promo.ini.
	2018-09-14	New TeamViewer version requires additional entry in systemprotection_enable.bat to allow writing of temporary data: fbwfmgr /addexclusion C: "\Documents and Settings\Administrator\Local Settings\Temp\TeamViewer" Change implemented for Fidas SN \geq 9856
100449	2018-09-21	Calibration screen shows text "see bottle" instead of target channel value; target channel is now printed on MonoDust bottle.
100450	2019-02-12	Textdatei bei Fidas nun mit 80 Kanälen für die Partikelgrößenverteilung und nicht mehr 64

		Alternative averaging of PM values if "dust_type" ≠ 2. Procedure is controlled by value of PM_interval: If PM_interval=1 averaging period=1s; if PM_interval=2-30 averaging period=10 s; if PM_interval=31-90 averaging period=60 s; if PM_interval=91-180 averaging period=120 s. Calculation interval 500ms (was 1s). Affects readout of data on all interfaces. Uses algorithm #11 but due to averaging ≠ 900s operation is not certified; special feature for mobile measurements (Google Cars London).
		If preset velocity value is found in promo.ini the difference to currently measured velocity "velocity (av.)" is displayed in the calibration screen.
		Improved definition of procedure: Value of "preset velocity (av.,std)" to be written by client to promo.ini must refer to standard conditions 1013hPa and 25°C. Internal calculation of deviation to currently measured velocity takes IADS temperature and ambient pressure into account (based on rule for ideal gases).
100451	2019-03-01	Value of "preset velocity (av., std.)" is now calculated continuously, depending on IADS temperature and ambient pressure and displayed on the calibration screen. Operator can now read this value directly and can write a preset to promo.ini, without manual transformation to standard conditions.
100454	2019-04-28	Protocols now give access to additional data channels for PM values calculated with averaging periods different from 900s (certified averaging period).
		Averaging period for particle size distributions calculated by the firmware can now be set by operator.
		ASCII protocol now allows sending current time to analyzer.
		TCP/IP ASCII communication port changed.
100464	2019-11-08	Firmware now generated in LabVIEW 2014 (was LabVIEW 2008).
		Firmware ≥ 100464 requires LabVIEW runtime engine 2014
		Additional fog detection functionality implemented (not active in certified algorithm #11).
		Bugfix in Fidas text file generation: Headers and number of size classes corrected. In non-certified mode particle size distribution data now observes user defined averaging intervals.
		Modification to UDP protocol; UDP datagram is split in two and number of post-decimal digits reduced to 4 to reduce datagram length.
		Modbus TCP/IP protocol implemented
		First (incomplete) implementation of UIDEP protocol
		License management modified to prevent post-processing of Fidas data in PDAnalyze with non-certified algorithms.
100468	2020-01-09	Bug fixed in UIDEP protocol
100524	2021-07-09	Bug fixed, Changes relevant to Fidas serve to improve operational reliability (backup of the settings file), to expand the transmitted measurement data and to correct an error (measured value of wind speed).
100525	2021-09-10	Extension for UIDEP protocol (Fidas)

100527	2021-10-06	<p>Extension of the ASCII protocols to include switching between sensors (does not affect Fidas).</p> <p>In firmware versions ≤ 525, an automatism shifts the time window for the detection of valid signals in case of coincidence. If the sensor is heavily overloaded, this can lead to no more signals being recognised as valid when the particle concentration returns to normal. The automatism is therefore temporarily overridden in the overload situation.</p>
100532	2022-01-19	<p>Addition of mapping to UIDEP protocol (customer-specific renumbering of ID numbers).</p> <p>Integration of communication with the alternative weather station HTB compact from Thies clima.</p>
100535	10/08/2022	<p>-Bug fix: Command for setting the system time (B/H, TCP-IP, Serial) via Elevate.exe. Last time this command did not work in Windows 10 due to insufficient permissions.</p> <p>- Up to version 100532, Fidas devices could connect to and store measurement data on an FTP server. With version 100535, the FTP solution is replaced by a more modern cloud solution. Fidas devices can now connect to the my-Atmosphere cloud and store measurement data there. These can then be analyzed comprehensively using resources provided in the cloud.</p>
100536	24/01/2023	<p>Re-initialisation of the PT100 card: If errors are detected in the configuration of the PT100 card as a result of malfunctions during operation, the card is reinitialised.</p> <p>Menu "interfaces" (see appendix): Further development of the integration of "MyAtmosphere" into the Fidas firmware. Easier login of devices to MyAtmosphere.</p> <p>TeamViewer button repositioned: The Teamviewer customer module can now be started directly from the interfaces menu.</p>

ANNEXES 2 : LISTE DE DEBITMETRES ADAPTES AU CONTROLE ET A L'ETALONNAGE DES AMS PM

La liste des débitmètres fournie au Tableau 2 n'est pas exhaustive mais est néanmoins représentative des différentes techniques de mesure de débit couramment disponibles sur le marché (effet Venturi, piston et débitmètre massique). Cependant, si un autre débitmètre devait être utilisé (modèle ou principe de mesure autres que ceux listés ci-dessus), l'utilisateur devra en vérifier la bonne adéquation avec l'exigence de la norme à savoir que l'incertitude relative élargie du débitmètre étalon de transfert ($k=2$) doit être $\leq 2\%$ pour les contrôles et $\leq 1\%$ pour les étalonnages.

À la suite des travaux menés précédemment par le LCSQA, les recommandations générales suivantes peuvent être appliquées :

- un conditionnement en température du débitmètre "étalon de transfert" (aux conditions de mesure sur site que ce soit au niveau de la tête de prélèvement ou de l'instrument en station) doit être fait avant utilisation ;
- le diamètre du tuyau reliant l'analyseur automatique de particules à contrôler et le débitmètre devra être choisi afin d'assurer un raccord étanche ;
- basé sur les résultats obtenus avec le débitmètre TETRACAL, l'usage de tuyau en PVC armé pour la mesure de débit par effet Venturi est à proscrire.

tableau 6 : Moyens mis en oeuvre par les AASQA et recommandés par les fabricants/distributeurs pour le suivi QA/QC (assurance qualité / contrôle qualité) du débit des AMS PM.

Principe de mesure	Fabricant / Distributeur	Modèle de débitmètre	Type d'AMS PM concerné
Débitmètre à effet Venturi	Fabricant : BGI Distributeurs français : Ecomesure/ADDAIR/Envicontrol	TETRACAL	tous
		ULTRACAL	tous
		DELTACAL	tous
	TECORA	FLOWCAL	tous
Débitmètre à piston	DRYCAL	BIOS DC2M	tous
	Fabricant MesaLabs / Distributeur Mesa France	BIOS DEFENDER 510 PLATRON	tous
Débitmètre massique	Fabricant ALICAT / distributeur OMICRON Technologies	ALICAT M-20SL/MIN-D	tous

