

Rapport d'études

Guide méthodologique pour la mesure du « Black Carbon » par Aethalomètre multi longueur d'onde dans l'air ambiant (révision 2025)

novembre 2025



Groupement d'intérêt scientifique



«L'expertise au service de la qualité de l'air»

Travaux réalisés par
Ineris
dans le cadre du

Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l’Air

Guide méthodologique pour la mesure du « Black Carbon » par Aéthalomètre multi longueur d’onde dans l’air ambiant (révision 2025)

Hasna Chebaicheb - Ineris

Vérification : Olivier Favez - Ineris

Approbation : Ineris : Document approuvé le 28/11/2025 par MARCHAND-MARQUIS CAROLINE

Liste des personnes ayant participé à l’étude :

Clothilde Mantelle,- Ineris

Table des matières

ABSTRACT	8
REMERCIEMENTS ET COLLABORATIONS	9
RÉFÉRENCES DOCUMENTAIRES	10
1 REMARQUE INTRODUCTIVE	11
2 PRINCIPE DE MESURE DE L'AE33 ET MODÈLE DE RÉPARTITION DES SOURCES	11
2.1 Mesure de la concentration de BC	11
2.1.1 Mesure de l'atténuation optique des particules	11
2.1.2 Détermination du coefficient d'atténuation b_{atn}	12
2.1.3 Correction du facteur de fuite	12
2.1.4 Correction de la lumière diffusée par le filtre	12
2.1.5 Détermination de la concentration de BC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	12
2.1.6 Correction de l'effet de charge	13
2.1.7 Equation finale du calcul de BC	14
2.1.8 Utilisation de la mesure de BC à 880nm	14
2.1.9 Harmonisation par rapport à la valeur du MAC (implémentation nouvelle directive)	14
2.2 Modèle de répartition des sources	15
3 INSTALLATION SUR SITE	17
3.1 Choix des sites d'implantation	17
3.2 Ligne de prélèvement	17
3.3 Tête de prélèvement	17
3.4 Séchage	18
3.5 Utilisation des sondes de température et de pression	18
3.6 Upgrade de l'instrument	18
3.7 Utilisation du flacon de garde ou grille à insecte	19
3.8 Paramétrage de l'instrument	19
4 ENTRETIENS, MAINTENANCE, ET CONTRÔLE QUALITÉ	20
4.1 Entretien, maintenance	21
4.1.1 Nettoyage du circuit de prélèvement et de la chambre optique	21
4.1.2 Lubrification de la chambre optique	21
4.1.3 Remplacement du joint de la chambre	21
4.1.4 Remplacement du filtre by-pass	21
4.1.5 Remplacement de la bande filtrante	21
4.2 Contrôle qualité	22
4.2.1 Contrôle et étalonnage du débit	22

4.2.2 Test de vérification du zéro (blanc d'instrument)	23
4.2.3 Test de fuite	23
4.2.4 Test de stabilité et test d'air propre.....	23
4.2.5 Test optique	24
4.2.6 Tableau de synthèse des critères à respecter lors de tests de contrôle qualité	24
5 RECOMMANDATIONS LOGICIELLES	24
5.1 Version du logiciel interne	24
5.2 Contrôles du paramétrage logiciel interne.....	25
5.3 Logiciel d'accès à distance.....	25
6 ACQUISITION ET VALIDATION DES MESURES ISSUES DE L'INSTRUMENT	26
6.1 Paramétrage des mesures à acquérir	26
6.2 Désactivation des alarmes sur l'AE36.....	27
6.3 Validation technique des données issues de l'AE33.....	27
6.4 Validation environnementale de BC (BC6).....	28
7 CALCULS ET VALIDATION DE EBCWB ET DE EBCFF	29
7.1 Vérification de l'exposant d'absorption d'angström et du coefficient de corrélation R^2	29
7.1.1 Calculs de α et de R^2	29
7.1.2 Critères de validité de α et de R^2	30
7.2 Calculs et validations de eBC_{wb} et de eBC_{ff}	31
8 EXTRAPOLATION DES DONNÉES DE PM_{FF} ET DE PM_{WB}	33
8.1 Estimation de PM_{wb}	33
8.1.1 Différentes méthodes de calculs possibles pour PM_{wb}	33
8.1.2 Préconisations	34
8.2 Estimation de PM_{ff}	34
8.3 Validation environnementale de PM_{wb} et PM_{ff}	35
9 EXPORT DES DONNÉES VERS GEODAIR.....	36
9.1 Rappel des codes constituants	36
9.2 Liste des mesures à remonter à Geod'air	37
9.3 Informations complémentaires sur les estimations de PM_{ff} et PM_{wb}	37
10 RÉFÉRENCES.....	38
11 LISTE DES ANNEXES	41
ANNEXES	42
ANNEXE 1 : CALCUL EBC_{WB} SELON LE PAS DE TEMPS	42
ANNEXE 2 : APPLICATION DANS XR.....	42
ANNEXE 3 : HISTORIQUE DES RÉSULTATS DU PROGRAMME CARA POUR LES ESTIMATIONS DE PM_{WB}	43

Résumé

Ce document constitue la mise à jour du guide méthodologique du Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air LCSQA, relatif à l'utilisation de l'aéthalomètre multi-longueurs d'onde AE33 (ou AE36) fabriqué par « Magee Scientific » en air ambiant. Cet instrument permet la mesure des concentrations de carbone suie (ou *Black Carbon*, BC), émis par les sources de combustion.

Cette version modifiée du guide porte sur la réorganisation et la vérification des différents chapitres de l'ancienne version. Elle inclut ensuite une évaluation des critères de traitement et de validation des données BC, ainsi que des aspects liés à leur acquisition. Enfin, le dernier chapitre, consacré à l'intégration des données dans les postes centraux, a également été mis à jour après concertation avec les Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA).

Ce guide méthodologique ne constitue pas un mode opératoire ou un manuel d'utilisation. Le lecteur est invité à se reporter au manuel fourni par le distributeur pour les informations relatives au fonctionnement de l'instrument lui-même. Ce document s'attache à recenser les bonnes pratiques, les fréquences de maintenance, les différentes étapes inhérentes à la validation des données ainsi que les méthodes d'exploitation des données à travers notamment l'utilisation d'un modèle d'estimation des sources reliées aux combustions de biomasse ou de carburant fossile. Il a été rédigé sur la base des documents des constructeurs, des échanges avec le distributeur, de l'état de l'art scientifique. Il s'appuie aussi sur les retours d'expérience des utilisateurs des AASQA, émis lors des différentes réunions de travail animées par le LCSQA. Enfin, il intègre les retours des séminaires techniques à destination des AASQA, organisées conjointement avec le constructeur, le distributeur français et le LCSQA.

Ce guide pour l'utilisation des AE33 pourra être remis à jour ultérieurement, en fonction des retours d'expériences des utilisateurs, des préconisations du constructeur ou des avancées de l'état de l'art scientifique.

Abstract

This document is an updated version of the methodological guide from the Central Laboratory for Air Quality Monitoring (LCSQA) concerning the use of the multi-wavelength aethalometer AE33 (or AE36) manufactured by Magee Scientific for ambient air measurements. This instrument enables the measurement of black carbon (BC) concentrations, emitted by combustion sources.

This revised version of the guide focuses on reorganizing and reviewing the various chapters of the previous edition. It also includes an assessment of the criteria for processing and validating BC data, as well as aspects related to data acquisition. Finally, the last chapter, dedicated to the integration of data into central databases, has also been updated following consultation with the accredited Air Quality Monitoring Associations (AASQA).

This methodological guide is not an operating procedure or a user manual. Readers are encouraged to refer to the manual provided by the distributor for information regarding the operation of the instrument itself. This document aims to compile best practices, maintenance frequencies, the different steps involved in data validation, as well as methods for data analysis, notably through the use of a model that estimates contributions from biomass or fossil fuel combustion sources. It has been written based on manufacturer documentation, discussions with the distributor, and the scientific state of the art. It also draws on feedback from AASQA users gathered during various working meetings led by LCSQA. Lastly, it incorporates insights from technical seminars for the AASQA, jointly organized with the manufacturer, the French distributor, and the LCSQA.

This guide for the use of AE33 instruments may be updated in the future based on user feedback, manufacturer recommendations, and advances in scientific knowledge.



Remerciements et collaborations

Le LCSQA remercie l'ensemble des AASQA pour leurs précieux retours d'expérience au sein des différentes réunions animées par le LCSQA pour les nombreux échanges par courriels et mise en commun des connaissances, ainsi que pour leurs contributions aux études du programme CARA ([Le dispositif CARA | LCSQA](#)).

Le LCSQA remercie également les sociétés Aerosol d.o.o et Ecomesure pour la tenue de séminaires techniques, en octobre 2018, juin 2019 et en février 2025 sur les aéthalomètres multi-longueurs d'onde AE33. Ces derniers ont permis un temps d'échange sur les problèmes techniques rencontrés lors de l'utilisation de l'aéthalomètre ; ainsi qu'un atelier pratique dédié à des opérations d'entretien de l'instrument.

Références documentaires

Ce document reprend en grande partie des informations disponibles sur les documents suivants :

- Première version du guide méthodologique pour la mesure du « Black Carbon » par Aéthalomètre multi longueur d'onde AE33 dans l'air ambiant (2018, T. Amodeo),
- Compte-rendu du séminaire technique AE33 du 6 juin 2019 disponible aux acteurs du dispositif national sur : [CS observatoires nationaux - 6 juin 2019 \(GU AE33\) | LCSQA](#),
- Comptes rendus de l'ensemble des réunions LCSQA disponibles aux acteurs du dispositif national sur : [GT Caractérisation chimique et études de sources des particules | LCSQA](#),
- Manuel en Français du distributeur « Ecomesure » ,
- Manuel en Anglais du constructeur « Magee Scientific » ,
- Site du constructeur : <https://aerosolimageesci.com/>,
- Chaîne YouTube détaillant les procédures à suivre pour diverses opérations de maintenance : https://www.youtube.com/channel/UCg1lnrZ_sbZtZHAVVFcuCiA,
- Réunions du GT Traitement des données AE33 : [GT Traitement des données AE33 | LCSQA](#).

1 Remarque introductive

Le présent guide s'applique à la fois à l'AE33 et à l'AE36 (nouvelle version d'AE33). Les différences entre les deux aéthalomètres sont mineures. L'une d'elles concerne la longueur d'onde : 660 nm pour l'AE33 et 630 nm pour l'AE36. Ce changement correspond à une évolution technologique et scientifique : l'AE36 utilise des composants optiques plus récents et standardisés (LEDs et détecteurs), offrant une meilleure stabilité et une sensibilité accrue. Par ailleurs, une meilleure étanchéité de l'instrument permet de limiter l'influence des variations d'humidité relative dans la station sur la mesure. Ces adaptations améliorent le rapport signal/bruit et la robustesse de la mesure, tout en garantissant la comparabilité des données avec celles obtenues à l'aide de l'AE33. Ces optimisations n'ont pas d'incidence sur les calculs sous-jacents. Par souci de simplicité, seul le terme « AE33 » est utilisé ci-après, mais il peut être remplacé par « AE36 » dans la suite de ce document. Certains points spécifiques de l'AE36 sont précisés si nécessaire.

2 Principe de mesure de l'AE33 et modèle de répartition des sources

L'AE33 est un instrument qui mesure la concentration de BC (Black Carbon) en effectuant une mesure de la lumière absorbée des particules prélevées en continu sur une bande filtrante. Un coefficient d'absorption de la lumière par les particules est déterminé en faisant la différence entre des mesures de la transmission lumineuse de la bande filtrante vierge et celle de la bande filtrante avec des particules. Cette analyse est faite à sept longueurs d'ondes réparties entre 370 et 950 nm. L'AE33 calcule les concentrations de BC avec une haute résolution temporelle en analysant l'atténuation de la transmission lumineuse au cours du temps. La mesure de BC est extraite de la mesure du coefficient d'absorption à 880 nm. Les autres longueurs d'onde peuvent notamment être utilisées pour estimer les contributions des différentes sources de combustion.

Le principe de mesure de la concentration de BC par AE33 est expliqué dans le manuel utilisateur fourni par le constructeur et de façon très détaillée dans la publication de Drinovec et al. (2014). Ce document rappelle ici les principales étapes de la mesure.

2.1 Mesure de la concentration de BC

Il est à noter que si le terme BC « black carbon » est utilisé dans ce document pour citer les particules de carbone suies issues des combustions, il serait plus juste de parler d'eBC « Equivalent Black Carbon » afin de tenir compte du fait que la mesure optique réalisée à l'aide de l'AE33 à 880 nm ne peut être convertie en concentration massique qu'à l'aide d'un coefficient d'absorption massique (MAE) dont le choix reste actuellement sujet de discussion au sein de la communauté scientifique.

2.1.1 Mesure de l'atténuation optique des particules

La mesure de la concentration de BC par l'AE33 est basée sur la mesure de l'atténuation de la lumière par un filtre chargé en aérosols. Cette atténuation optique (noté ATN) est calculée à partir de la mesure de l'intensité lumineuse mesurée à travers la bande filtrante vierge (I_0) et mesurée à travers la bande chargée en particules (I) à l'aide de la loi mathématique suivante :

$$ATN = -100 \ln (I/I_0) \quad (1)$$

Cette mesure est schématisée sur la Figure 1.

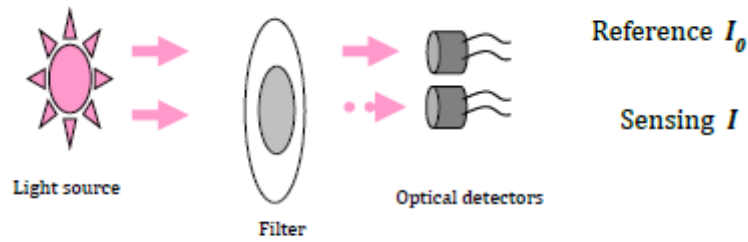


Figure 1 : principe de mesure de l'atténuation optique sur laquelle repose la détermination de la concentration de BC.

2.1.2 Détermination du coefficient d'atténuation b_{atn}

Le coefficient d'atténuation des particules noté b_{atn} est calculé en prenant en compte la surface de la mesure S , le débit F_{in} et le temps de prélèvement Δt entre deux mesures de ATN. Ainsi le coefficient d'atténuation noté b_{atn} induit par les particules déposées sur la bande exprimé en m^{-1} peut s'écrire :

$$b_{atn} = \frac{S \cdot \left(\frac{\Delta ATN}{100} \right)}{F \cdot \Delta t} \quad (2)$$

2.1.3 Correction du facteur de fuite

Le débit F de l'équation (2) est ensuite corrigé d'un facteur de fuite ξ représentant la perte de débit dans la chambre optique, c'est-à-dire la différence entre le débit mesuré à l'entrée de l'instrument et le débit réel passant à travers le filtre.

$$F = F_{out} \cdot (1 - \xi) \quad (3)$$

avec F_{out} le débit mesuré et F le débit réel passant à travers la bande.

2.1.4 Correction de la lumière diffusée par le filtre

Le coefficient d'atténuation b_{atn} (m^{-1}) est corrigé de la quantité de lumière diffusée par la bande filtrante. Ainsi, le coefficient d'absorption des particules b_{abs} (m^{-1}) représente la quantité de lumière absorbée par les particules et s'écrit :

$$b_{abs} = b_{atn} / C \quad (4)$$

avec C le coefficient de diffusion de la bande filtrante.

2.1.5 Détermination de la concentration de BC ($\mu g/m^3$)

La conversion d'un coefficient d'absorption (m^{-1}) en concentration massique ($\mu g/m^3$) s'effectue à l'aide d'une surface efficace d'absorption notée $\sigma (m^2/g)$.

$$BC = b_{abs} / \sigma \quad (5)$$

Pour les aéthalomètres multi-longueurs d'onde commercialisés par Magee Scientific., la mesure de BC s'effectue historiquement à 880 nm. A cette longueur d'onde, il est admis que seules les particules carbonées réfractaires absorbent la lumière dans le domaine du proche infrarouge (i.e. autour de 900 nm). Les particules de nature chimique différentes sont quant à elle considérées comme quasi transparentes.

La valeur de la surface efficace d'absorption (σ_{880nm}) est fixée à $7,77m^2/g$ par le constructeur. Cette valeur a été obtenue empiriquement par comparaison des résultats de mesures d'atténuation optique (mesure du BC) par les premiers modèles d'aéthalomètre avec des mesures thermiques du carbone élémentaire (noté EC) prélevés sur filtres.

Cette valeur peut, en réalité, varier avec la complexité de la nature des particules présentes dans l'air, induisant des variations spatiales et/ou temporelles du ratio BC/EC. Le choix d'un éventuel facteur de correction à appliquer aux données AE33 pour homogénéiser les bases de données d'eBC au niveau international reste actuellement sujet à discussion au sein de la communauté scientifique et des instances normatives.

Note : Il est courant de voir utilisé l'efficacité d'absorption massique (MAE) en lieu et place de la surface efficace d'absorption (σ). La première exprime l'efficacité d'absorption des particules en suspension dans l'air, tandis que la deuxième exprime l'efficacité d'absorption des particules prélevées sur une bande filtrante et est déterminée empiriquement pour chaque type d'instrument. Il convient donc ici, en toute rigueur, de parler de surface efficace d'absorption (σ).

2.1.6 Correction de l'effet de charge

Une originalité de l'AE33 est la prise en compte de l'effet de charge de la bande filtrante (« *loading effect* »). En effet, lorsque le niveau d'atténuation de la bande filtrante devient important, traduisant une forte charge de particules présentes sur le filtre, la relation entre la quantité de lumière absorbée ATN et la quantité de BC est impactée par des effets de diffusion produit par la présence de particules de natures différentes, générant une baisse de sensibilité de la mesure de BC.

Cet effet de charge est corrigé par l'AE33 à l'aide de la mesure de l'atténuation sur deux spots de particules prélevés à deux débits différents réglés autour de 3,5 et 1,5 L/min. Cette correction s'exprime ainsi :

$$BC = BC \text{ mesuré} / (1 - k \cdot ATN) \quad (6)$$

où k , appelé le coefficient de compensation, est déterminé par comparaison entre les mesures effectuées aux deux débits.

La valeur attendue de k est comprise entre 0 et 0,01 avec une incertitude de $\pm 0,005$, expliquant le paramétrage par défaut d'une borne minimale à -0,005 et maximale à 0,015.

A noter :

- Ce coefficient permet d'obtenir une idée sur la nature des particules (Drinovec et al., 2017). En effet, les variations de k dépendent essentiellement du type d'aérosols échantillonnés (la présence d'humidité relative pouvant également influencer le calcul). Ainsi, ce sont généralement les caractéristiques du site qui expliquent les différences de valeurs de k : on s'attend à une diffusion plus importante en milieu urbain qu'en zone de trafic, et donc à des valeurs de k plus faibles (i.e., les valeurs de k sont élevées pour un site trafic, où l'on observe généralement une proportion plus importante d'aérosols frais). (Ferrero et al., 2024) ;
- Une différence selon les saisons : k est plus faible pour les aérosols plus âgés, ce que l'on observe généralement en été, avec une proportion plus élevée dans les stations urbaines de fond par rapport aux sites trafics.

2.1.7 Equation finale du calcul de BC

En combinant les équations de (1) à (6), l'équation finale de la mesure du BC peut être écrite de la manière suivante :

$$BC = \frac{S * (\Delta ATN_1 / 100)}{F_1 (1 - \zeta) * \sigma_{air} * C * (1 - k * ATN_1) * \Delta t} \quad (7)$$

2.1.8 Utilisation de la mesure de BC à 880nm

L'AE33 applique la méthode exposée ci-dessus à sept longueurs d'onde différentes.

Par convention, **la mesure par absorption optique de la concentration massique du BC à l'aide de l'AE33 s'effectue à 880 nm. Ainsi eBC ≈ eBC6 ≈ eBC880**

Les autres longueurs d'onde peuvent être utilisées pour étudier l'impact radiatif du BC à différentes longueurs d'onde et pour discriminer ses principales sources d'émission, (Cf section 2.2).

Le tableau 1 recense les valeurs de σ utilisées pour chacun des sept canaux de mesure de l'AE33. Pour l'AE36, la longueur d'onde 660 nm est remplacée par 630 nm avec MAE (630nm) = 10.84 m²/g.

Tableau 1 : Surface efficace d'absorption (MAE ou σ_{air}) considérées par le logiciel de mise en œuvre de l'AE33 pour chaque canal de mesure.

Canal	Longueur d'onde mesurée (nm)	Surface efficace d'absorption (σ) (m ² /g)
1	370	18,47
2	470	14,54
3	520	13,14
4	590	11,58
5	660	10,35
6	880	7,77
7	950	7,19

2.1.9 Harmonisation par rapport à la valeur du MAC (implémentation nouvelle directive)

En vertu de la nouvelle directive 2024/2881 du 23 octobre 2024 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe, les données AE33 peuvent être validées et traitées selon les consignes du centre d'expertise ECAC (<https://www.actris-ecac.eu/>) pour la mesure in situ des aérosols au sein d'ACTRIS (Infrastructure de recherche sur les aérosols, les nuages et les gaz réactifs). En particulier, un facteur d'harmonisation (H) doit être utilisé dans le calcul du coefficient d'absorption, puis les concentrations d'eBC (équivalent Black Carbon) doivent être recalculées en normalisant les valeurs de coefficients d'absorption par une valeur de Mass Absorption Cross-section (MAC) considérée comme représentative des conditions de fond en Europe.

Les dispositions de la Directive révisée devant être appliquées à partir du 1^{er} janvier 2027, cette harmonisation impliquera de changer (avant le 1^{er} janvier 2027) les formules de calcul de traitement décrites dans la partie 6, et de corriger les mesures historiques dans GEOD'AIR.

$$eBC_c(\square) = \frac{babs_c(\square)}{MAC_{ACTRIS}(\square)} = \frac{BC(\square) \times MAE(\square)}{H \times MAC_{ACTRIS}(\square)}$$

Avec $H = 1.76$ et $MAC_{ACTRIS} = 10 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ à 637 nm ¹

Cette correction fera l'objet d'une révision mineure du guide pour indiquer les nouvelles formules à appliquer et spécifier les modalités de correction des données historiques.

2.2 Modèle de répartition des sources

L'AE33, grâce à la mesure simultanée de l'absorption optique à sept longueurs d'onde, permet d'obtenir des informations sur la répartition des sources d'émission du Black Carbon. Le modèle utilisé pour répartir ces sources d'émission est celui rapporté par Sandradewi *et al.* (2008).

Ce modèle repose sur le fait que le coefficient d'absorption des particules : $b_{abs}(\lambda)$ mesuré à chaque longueur d'onde par l'AE33, peut être exprimé comme la somme :

- D'un coefficient d'absorption des particules émises par la combustion de biomasse $b_{abs}(\lambda)_{wb}$, noté wb pour « wood burning » et ;
- D'un coefficient d'absorption des particules émises par la combustion d'hydrocarbures $b_{abs}(\lambda)_{ff}$, noté ff pour « fuel fossile » rattaché principalement au transport routier.

Ainsi, le coefficient d'absorption peut être écrit :

$$b_{abs}(\lambda) = b_{abs}(\lambda)_{wb} + b_{abs}(\lambda)_{ff} \quad (8)$$

Le modèle est également basé sur le fait que le coefficient d'absorption des particules $b_{abs}(\lambda)$ est proportionnel à $\lambda^{-\alpha}$, avec λ la longueur d'onde et α l'**exposant d'absorption d'Angström** qui décrit la dépendance spectrale du coefficient d'absorption.

$$b_{abs}(\lambda) = cste. \lambda^{-\alpha} \quad (9)$$

Ainsi, ce modèle considère que les coefficients d'absorption $b_{abs}(\lambda)_{wb}$ et $b_{abs}(\lambda)_{ff}$ évoluent tous deux proportionnellement à $\lambda^{-\alpha}$ avec respectivement des coefficients α_{wb} et α_{ff} .

En air ambiant, α est généralement compris entre 0,8 et 2,5. De hautes valeurs de α traduisent une forte absorption des particules dans l'UV et sont observées notamment pour les particules issues de la combustion de biomasse. Les particules émises à la suite de la combustion de carburants fossiles ont un coefficient α globalement compris entre 0,8 et 1,1.

Cette décomposition est représentée schématiquement sur la Figure 2 qui représente l'évolution du coefficient d'absorption $b_{abs}(\lambda)$ en fonction de la longueur d'onde λ .

¹ <http://www.actris-ecac.eu/particle-light-absorption.html#Guidelines>

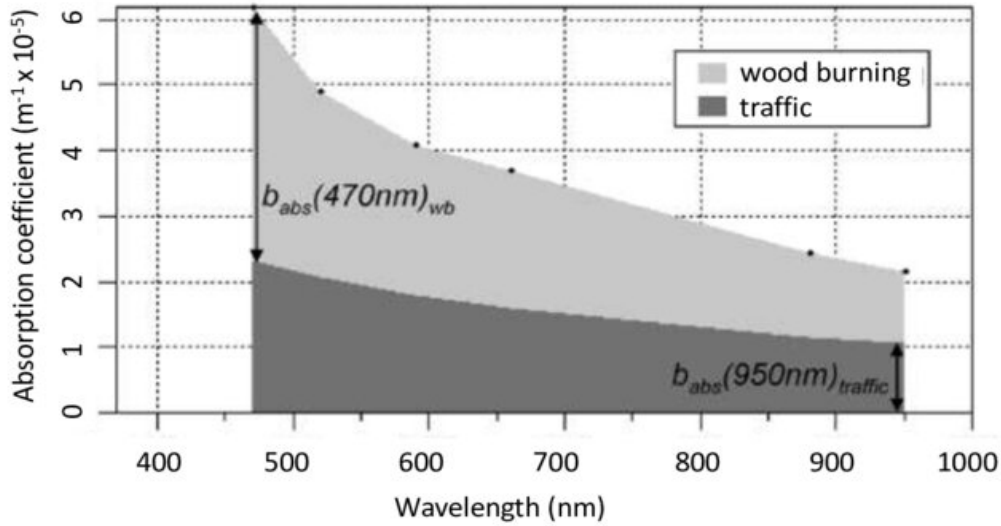


Figure 2 : Répartition des coefficients d'absorption de la lumière par les particules de BC provenant des combustions de carburant fossiles et de biomasse en fonction de la longueur d'onde (Sandradewi et al. 2008).

De ces deux hypothèses, découlent les égalités suivantes :

$$\frac{b_{abs}(470 \text{ nm})_{ff}}{b_{abs}(950 \text{ nm})_{ff}} = \left(\frac{470}{950}\right)^{-\alpha_{ff}} \quad (10)$$

$$\frac{b_{abs}(470 \text{ nm})_{wb}}{b_{abs}(950 \text{ nm})_{wb}} = \left(\frac{470}{950}\right)^{-\alpha_{wb}} \quad (11)$$

En considérant les équations (8), (10) et (11) les coefficients d'absorption peuvent être calculés ainsi :

$$b_{abs}(950 \text{ nm})_{wb} = b_{abs}(470 \text{ nm})_{wb} \left(\frac{470}{950}\right)^{\alpha_{wb}} \quad (12)$$

$$b_{abs}(470 \text{ nm})_{wb} = \left(\frac{1}{1 - \left(\frac{470}{950}\right)^{\alpha_{wb}} \left(\frac{470}{950}\right)^{-\alpha_{ff}}} \right) (b_{abs}(470 \text{ nm}) - b_{abs}(950 \text{ nm}) \left(\frac{470}{950}\right)^{-\alpha_{ff}}) \quad (13)$$

Dans le logiciel de l'AE33, ces valeurs sont fixées à **αff=1** et **αwb=2** (cf section 5.3).

Ensuite, le calcul du pourcentage de BC « Biomass Burning » relié à la combustion de biomasse BB (%) est calculé de la façon suivante :

$$BB(\%) = \left(\frac{b_{abs}(950 \text{ nm})_{wb}}{b_{abs}(950 \text{ nm})} \right) \quad (14)$$

Enfin, les concentrations de BC liées à la combustion de biomasse BC_{wb} et à la combustion de carburants fossiles BC_{ff} s'expriment de cette façon :

$$BC_{wb} = BB \times BC \quad (15)$$

$$BC_{ff} = BC - BC_{wb} \quad (16)$$

3 Installation sur site

3.1 Choix des sites d'implantation

Au niveau national, l'intérêt majeur à la mise en œuvre de mesures de BC sur différents sites du dispositif réside dans le suivi sur le long-terme d'indicateurs d'impact des évolutions sociétales ou de plans d'actions et mesures d'urgence orientées « trafic » ou « biomasse ». Un autre intérêt réside dans la compréhension en temps quasi-réel des origines des particules issues des processus de combustions lors des épisodes de pollution de large échelle spatiale.

Dans ce contexte, **la priorité d'installation des AE33 est donnée à des sites urbains de fond**. Néanmoins, l'implantation complémentaire d'AE33 sur un ou plusieurs sites de proximité automobile reste intéressante en particulier dans le cadre de l'évaluation spécifique de l'efficacité de mesures de réduction des émissions de l'axe routier étudié.

3.2 Ligne de prélèvement

L'AE33 doit être installé à l'intérieur d'une station fixe de mesures dans un environnement propre.

La ligne de prélèvement doit être non électrostatique afin de limiter les pertes en ligne. Pour cela, il est possible d'utiliser le tube flexible vendu par le fournisseur de l'instrument ou du tube en inox. **La ligne doit être la plus courte possible** afin de limiter les pertes par déposition et par diffusion dans la ligne. **La longueur maximale recommandée est de 3 mètres**. Pour des lignes qui seraient supérieures à 3 mètres, le LCSQA recommande alors d'effectuer un calcul des pertes en ligne par diffusion, notamment. Il est possible d'utiliser pour cela la feuille de calcul Aerocalc2001.xls en accès libre sur internet. Elle est aussi disponible sur le site LCSQA².

Il est recommandé d'installer l'AE33 **sur une ligne indépendante et isolée thermiquement**. Cette recommandation est d'autant plus importante que la ligne de prélèvement serait amenée à se trouver sous l'influence directe de l'air soufflé par la climatisation. En effet, la ligne de prélèvement ainsi que l'instrument doivent être positionnés en dehors de la zone d'influence directe de l'air soufflé par la climatisation de la station. Plus de 20 % de valeurs négatives ont déjà été détectées sur des AE33 placés sous influence directe de l'air provenant de la climatisation.

Une installation dans des moyens d'essais mobiles est permise à condition qu'elle respecte les conditions décrites ci-dessus.

3.3 Tête de prélèvement

Le LCSQA recommande d'utiliser l'AE33 à 5 L/min avec un cyclone PM_{2,5} prévu pour fonctionner à ce débit. Néanmoins, sur certains sites trafic pour lesquels les concentrations de BC sont très élevées, il est possible de diminuer le débit afin de préserver la bande filtre de l'instrument. Dans ce cas, il est recommandé d'utiliser l'AE33 avec un débit de 2 L/min avec un cyclone (e.g. 1 µm) permettant d'atteindre une coupure proche de 2,5 µm à ce débit.

² [GT Caractérisation chimique et études de sources des particules | LCSQA](#)

3.4 Séchage

Dans l'état actuel des connaissances, la mesure du BC par l'AE33 ne semble pas être impactée par l'humidité en France métropolitaine. L'utilisation de sécheur n'est donc pas indispensable en métropole.

Néanmoins, il convient de protéger l'instrument des gouttes de condensation qui peuvent se former dans la ligne d'échantillonnage lorsque le taux d'humidité relative est élevé et que la température de la station est significativement plus faible que la température extérieure. Ces gouttes de condensation peuvent en effet provoquer des dommages si elles rentrent dans l'instrument.

Pour cela, le LCSQA recommande d'isoler thermiquement la ligne afin de limiter le processus de condensation. Il recommande également d'utiliser le flacon de garde (ou grille à insecte) qui permet, lorsqu'il est placé en amont de l'instrument, de piéger les insectes mais également de collecter ces éventuelles gouttes de condensation.

Pour les stations connaissant de forts taux d'humidité (comme dans les DOM ou en bord littoral), ou lorsque le point de rosée est régulièrement supérieur à la température de la station, ou si de l'eau est observée de manière récurrente dans le flacon de garde ou dans la ligne d'échantillonnage, le LCSQA recommande vivement d'installer un sécheur.

Le constructeur/distributeur propose un sécheur spécifique pour l'AE33 dont les paramètres de fonctionnement peuvent être récupérés en même temps que les autres données de l'instrument. Néanmoins, tout autre sécheur (e.g. autre type de membrane Nafion, bille à gel de silice) peut convenir ici, sous réserve d'une bonne adéquation avec le débit de fonctionnement choisi pour l'instrument.

3.5 Utilisation des sondes de température et de pression

Le débit de l'AE33 est mesuré et régulé par un débitmètre massique. Il est donc nécessaire d'y relier des mesures de température et de pression ambiante pour obtenir des concentrations aux conditions réelles. Pour ce faire, il est possible de connecter à l'AE33 une mini-station météo proposée comme accessoire.

Le LCSQA préconise que les concentrations soient rapportées aux volumes réels comme pour les mesures réglementaires de PM. Il est donc possible d'équiper les AE33 avec la station météo afin d'obtenir automatiquement des concentrations calculées avec des volumes réels. Dans le cas contraire, l'AASQA effectue une correction manuelle des données obtenues.

3.6 Upgrade de l'instrument

Le constructeur préconise notamment d'effectuer à minima l'upgrade concernant la modification sur la chambre afin d'améliorer son coulissement. Cet upgrade concerne l'ensemble des instruments ayant un numéro de série commençant par S01, S02, S03 ou S04. A la suite d'échanges avec les AASQA, et compte-tenu du coût de cette opération, le LCSQA recommande de faire cet upgrade en cas de conséquence avérée sur le bon fonctionnement de l'instrument.

3.7 Utilisation du flacon de garde ou grille à insecte

En plus de son intérêt pour piéger la condensation, le flacon de garde permet d'éviter à d'autres impuretés de pénétrer dans l'instrument comme des insectes par exemple. Son utilisation est recommandée.

3.8 Paramétrage de l'instrument

Il est recommandé d'appliquer à l'AE33 les paramètres suivants reportés dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Configuration de l'AE33

Débit	5 L/min ou 2L/min sur les sites trafic
Temps d'acquisition (Timebase)	60 s
ATN max	120
« Flow reporting standard »	Ambiant avec l'utilisation de la sonde météo.

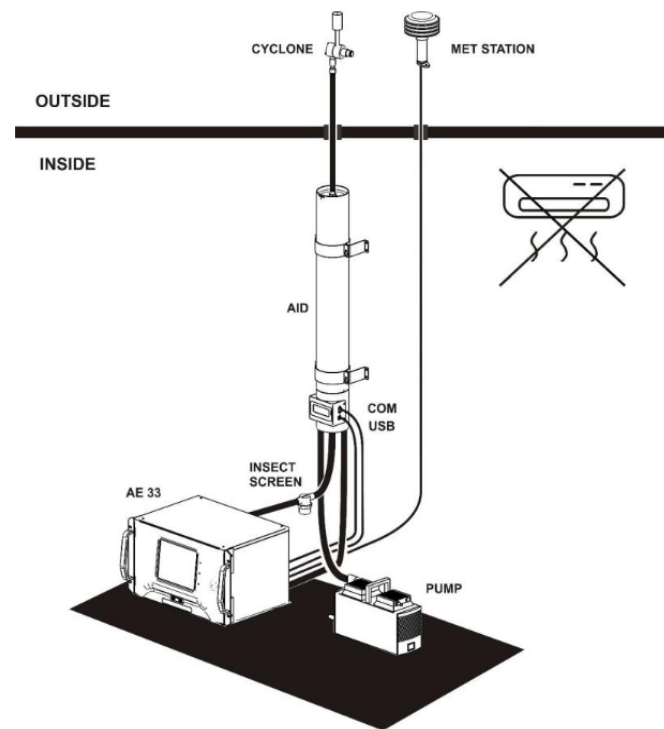


Figure 3 : Schéma d'installation d'un AE33 équipé d'un sécheur. Ce plan est issu du manuel utilisateur fourni par le constructeur.

4 Entretien, maintenance, et contrôle qualité

La description des différentes opérations d'entretien, de maintenance et de contrôle qualité relatifs à l'AE33 ainsi que leur fréquence est reportée dans le Tableau 3.

Tableau 3 : Synthèse des entretiens, maintenances et étalonnage

Entretiens	Fréquence	Exigences
Vérification de la date et de l'heure (pour les instruments non connectés à un système d'acquisition en station)	Tous les 3 mois ou à chaque passage	Écart par rapport au temps UTC $\leq \pm 2$ minutes
Nettoyage du cyclone	Tous les 3 mois (1,5 mois sur site trafic)	-
Contrôle du débit	Tous les 3 mois	$\leq 5\%$
Étalonnage du débit	1 fois par an ou si le contrôle de débit est non conforme	-
Contrôle des capteurs de pression et de température	Tous les 6 mois	$\pm 2^\circ\text{C}$ et $\pm 1\text{kPa}$
Nettoyage de l'ensemble de la ligne d'échantillonnage (grille à insecte comprise)	Tous les 6 mois (3 mois sur site trafic)	-
Réalisation d'un blanc en tête de ligne	Tous les 6 mois (3 mois en site trafic)	$\pm 100\text{ ng/m}^3$ sur le canal BC6
Test de fuite	Tous les 6 mois et à chaque installation ou manipulation sur la ligne de prélèvement	$\leq 10\%$
Inspection et nettoyage si nécessaire de la chambre optique	Tous les 6 mois	Propre
Test de stabilité	Si le résultat au test d'air propre est non conforme	PPBC61 $< 550\text{ ng/m}^3$
Test d'air propre	Tous les 6 mois	PPBC61 $< 550\text{ ng/m}^3$
Remplacement de la bande filtrante	Dès que nécessaire (4 fois par an en moyenne)	Le nombre de spot restant doit être suffisant pour réalisation des mesures jusqu'au prochain passage sur site*.
Test optique (à l'aide des cales optiques)	Une fois par an	$< 10\%$
Lubrification du mécanisme de la chambre optique	Une fois par an	
Remplacement du joint de la chambre	Une fois par an	
Remplacement du filtre by-pass	Une fois par an	

* une alarme avertit l'utilisateur qu'il reste moins de 30 spots disponibles de mesure sur la bande filtrante.

4.1 Entretien, maintenance

4.1.1 Nettoyage du circuit de prélèvement et de la chambre optique

Afin de garantir l'efficacité de coupure de la ligne de prélèvement et de limiter les pertes lors de l'acheminement des particules dans la ligne, il est nécessaire que l'ensemble du conduit en amont de la bande filtrante de l'instrument soit exempt de corps étranger (poussière, débris, insecte, condensation) ou de dépôt graisseux. Ainsi, un nettoyage tous les 3 mois du cyclone et tous les 6 mois de l'ensemble de la ligne de prélèvement est recommandé (conduit, grille à insecte, sécheur). Les périodicités peuvent être réduites sur les sites trafic. Lorsque la ligne de prélèvement est constituée d'un tube souple, il est recommandé de remplacer celui-ci tous les deux ans (tous les ans sur site trafic).

Il est également recommandé d'inspecter et de nettoyer la chambre optique tous les six mois. La procédure est reportée dans le manuel d'utilisation du constructeur ou par vidéo à l'adresse suivante : <https://www.youtube.com/watch?v=5fDXnSTVILc>.

4.1.2 Lubrification de la chambre optique

Les trois cylindres du mécanisme de déplacement de chambre optique doivent être lubrifiés avec de la graisse silicone une fois par an. Un mauvais coulisement de la cellule de mesure peut dégrader l'étanchéité du prélèvement des particules sur la bande filtrante et entraîner des sous-estimations de la mesure. La procédure est indiquée dans le manuel ou sur le lien suivant : <https://www.youtube.com/watch?v=gVKWN37EuBg>.

4.1.3 Remplacement du joint de la chambre

Le LCSQA recommande le changement préventif une fois par an des deux joints assurant l'étanchéité de la chambre de mesure. Il s'agit de joints toriques néoprène de 15 mm de diamètre (référence CAO 0025).

4.1.4 Remplacement du filtre by-pass

Ce filtre permet de réaliser le test d'air propre. Le LCSQA recommande de le changer une fois par an. Cette périodicité peut être augmentée pour les sites à fort empoussièrement ou pour les sites trafic.

4.1.5 Remplacement de la bande filtrante

La procédure de remplacement de la bande filtrante est reportée dans les manuels utilisateur mis à disposition par le constructeur et le distributeur ou bien sur la chaîne *YouTube* du constructeur : <https://www.youtube.com/watch?v=ZoUzagMi2EQ>

Les bandes utilisées doivent être celles fournies par le constructeur ou par le distributeur français (référence actuelle : M8060). L'utilisation d'un type de bande différent est fortement déconseillée car elles pourraient avoir un impact sur l'intégrité de l'instrument ou sur la qualité des mesures.

En moyenne sur les sites de fond urbain, à 5 L/min, la consommation de l'AE33 est typiquement d'un rouleau par trimestre. La consommation est plus élevée sur les sites trafic.

Sur la bande filtrante, la distance entre 2 spots doit être comprise entre 30 et 40 mm. Si cet écart n'est pas respecté, il convient d'effectuer un étalonnage des capteurs de bande.

N.B. : Pour l'AE36, il existe une autre référence de ruban, deux fois plus longue et ayant, en théorie, une durée de vie deux fois supérieure à celle d'un ruban classique. Sa référence chez Ecomasure est « CACA0006 ». Concernant sa consommation, il convient de prévoir un rouleau par semestre. À noter que l'AE36 est compatible avec les bandes AE33, mais l'inverse n'est pas correct.

Enfin, l'AE33 indique en temps réel, l'état d'avancement de la bande filtrante. Une alarme avertit qu'il reste moins de 30 mesures possibles avec la bande filtrante en cours. Le suivi à distance de cet indicateur sur les postes centraux est recommandé.

NB : En fonction du type de bande utilisée, il convient de vérifier, voire d'ajuster, directement via le panel de configuration « Operation - advanced », neuvième et dixième ligne de la colonne de gauche des constantes de fonctionnement de l'appareil) deux paramètres de l'instrument : Z (paramètre de correction de fuite) et C (sensitivity).

Pour le modèle de bande filtrante commercialisé actuellement (M8060) : C = 1,39 et Z = 0,01

(Pour l'ancien modèle de bande filtrante (M8020) : C = 1,57 et Z = 0,07).

4.2 Contrôle qualité

4.2.1 Contrôle et étalonnage du débit

Note : le contrôle et l'étalonnage du débit sont réalisés sur le débit total, en tête de ligne de prélèvement.

Contrôle du débit

Le débit de l'AE33 doit être vérifié tous les trois mois ou à chaque changement de rouleau en utilisant la procédure prévue à cet effet. Celle-ci est disponible dans les manuels fournis par le constructeur ou disponible via un tutoriel en ligne sur le lien suivant : <https://www.youtube.com/watch?v=5N3i5acYEM>.

Si l'écart avec le débit attendu est supérieur à 5%, alors celui-ci devra être étalonné.

Étalonnage du débit

La procédure d'étalonnage est disponible dans le manuel mis à disposition par le constructeur ou sur la chaîne YouTube <https://www.youtube.com/watch?v=4KixL3XQRco>.

L'étalonnage est réalisé une fois par an ou en cas de contrôle de débit non conforme.

Au début de chaque procédure, un écran de choix propose de l'amener en mode manuel ou en mode automatique. Le LCSQA recommande l'utilisation de ces procédures en mode manuel. En effet, la mesure de débit doit être faite en tête de ligne de prélèvement.

Il y a trois mesures de débit distinctes. Pour chaque débit testé, l'utilisateur renseigne la valeur qu'il a mesuré avec son débitmètre. Cette mesure doit être réalisée aux conditions ambiantes de pression et de température quand l'instrument est configuré en mode ambiant pour le débit (flow reporting standard). Si cette option n'est pas disponible, l'opérateur doit faire le calcul.

Le LCSQA recommande l'utilisation de débitmètres dont l'incertitude de mesure est $U(k=2) \leq 1\%$ pour l'étalonnage et $U(k=2) \leq 2\%$ pour le contrôle des AE33 (par exemple, le débitmètre modèle TETRACAL, BGI Inst).

Pour rappel, l'effet de charge est corrigé par l'AE33 à l'aide de la mesure de l'atténuation sur deux spots de particules prélevés à deux débits différents. La répartition des deux débits se situe généralement autour de 3,5 et 1,5 L/min. Ces valeurs n'ont pas besoin d'être fixées précisément, l'important est qu'elles soient mesurées correctement par l'instrument. Pour cela, bien respecter la fréquence du contrôle de débit. Il convient de vérifier que leur somme est égale au débit de fonctionnement de l'instrument (usuellement 5 L/min).

Un message d'erreur (status 12) peut apparaître indiquant que le rapport des débits entre les deux spots dépasse 0,2. Ceci est une indication de l'augmentation du bruit de l'instrument. Ceci n'entraîne pas d'invalidation systématique de données. Il est possible de régler la balance des débits à l'aide de la vanne pointeau, comme vu pendant l'atelier technique lors du séminaire technique de juin 2019. La procédure pourra être demandée au distributeur.

4.2.2 Test de vérification du zéro (blanc d'instrument)

La vérification du zéro (ou blanc) d'instrument constitue un moyen simple de s'assurer de l'absence de contamination/pollution du système dans son intégralité, analyseur et ligne de prélèvement). Celui-ci doit être réalisé après une installation. Puis tous les six mois. Lors d'une manipulation de la ligne (nettoyage ou changement), un blanc d'instrument doit être aussi réalisé.

Ce test peut se réaliser en installant un filtre HEPA à l'orifice d'entrée de la ligne de l'AE33. Une mesure pendant 15 minutes minimum sur l'air ainsi échantillonné est requise. La concentration mesurée sur le canal BC6 doit être proche de zéro à plus ou moins 100 ng/m³.

4.2.3 Test de fuite

Le test de fuite doit être effectué tous les six mois, selon la procédure reportée dans le manuel constructeur ou sur la chaîne YouTube <https://www.youtube.com/watch?v=-y3xbga1gZQ>.

La fuite est la différence entre le débit mesuré à l'entrée de l'instrument et le débit réel qui passe à travers la bande filtrante. Cette fuite correspond au débit d'air qui arrive à passer par les bords de la bande filtrante. A l'issue du test, la fuite doit être inférieure à 10 %.

4.2.4 Test de stabilité et test d'air propre

Ces tests sont détaillés dans le manuel ou sur la vidéo suivante : <https://www.youtube.com/watch?v=UsRTH4yojiM>

Test d'air propre

Le test d'air propre utilise le filtre total disposé à l'intérieur de l'instrument pour déterminer la performance de l'AE33, sous des conditions de débit non nul. Il est recommandé de remplacer le filtre total tous les ans. Il est possible de programmer ce test via l'interface de l'instrument pour qu'il soit effectué automatiquement à intervalles réguliers (par exemple, 1 fois par mois).

Le test est acceptable si la valeur de PPBC sur le spot 1 est inférieure à 550 ng/m³ sur le canal 6. Selon le constructeur, le test de stabilité n'est pas requis si le résultat obtenu lors du test d'air propre est conforme. Si la valeur obtenue au test est supérieure à 550 ng/m³, il convient de vérifier la propreté de la chambre. Puis de procéder à un test de stabilité.

Test de stabilité

Le test de stabilité détermine les performances de la source lumineuse et du détecteur sans qu'aucun débit d'air ne passe à travers le système de mesure. Il permet de comprendre si l'échec du test d'air propre est à attribuer à une fuite ou à un défaut de la mesure optique. Il faut ainsi préalablement réaliser un test de fuite et un contrôle de débit. S'ils sont conformes, le test de stabilité peut être effectué.

Initialement, la valeur obtenue à l'issue du test de PPBC sur le spot 1, devait être inférieure à 450 ng/m³ sur le canal 6. À la suite des échanges avec le constructeur, celui-ci indique que si la valeur obtenue reste inférieure à 550 ng/m³, le test peut être considéré comme conforme. Si la valeur est plus importante, il convient de contacter le constructeur.

4.2.5 Test optique

Une fois par an, il convient d'étalonner la réponse des détecteurs optiques en utilisant un jeu de cales optiques prévu à cet effet. Le protocole est clairement détaillé dans le manuel ou sur la vidéo suivante : <https://www.youtube.com/watch?v=vMUcCYBdVLE>.

Si lors d'un test optique, un écart supérieur à 10 % est constaté alors l'analyseur doit être renvoyé au fournisseur.

Lorsque le jeu de cales optiques est nouveau, il est important de renseigner les valeurs de densité des nouvelles cales optiques en utilisant la clé USB fournie.

Une mise en circulation de cales optiques vérifiées selon les exigences de la norme NF/EN/ISO/CEI 17025 : 2017 est proposée par le LCSQA/LNE pour les AASQA qui en ont besoin. Enfin, il est recommandé que les jeux de cales des AASQA (pour celles qui en possèdent) soient contrôlées une fois par an par un organisme approprié e.g. LNE ou celui du constructeur. Le critère d'acceptabilité de ce contrôle peut être fixé à 5% en regard du critère fixé par le constructeur pour établir la conformité du test optique i.e. 10%.

4.2.6 Tableau de synthèse des critères à respecter lors de tests de contrôle qualité

Le Tableau 4 synthétise les valeurs des critères d'acceptation à respecter lors des principaux tests de contrôle qualité de l'AE33.

Tableau 4 : Critère d'acceptation des différents tests et étalonnages

Test	Critère
Etalonnage du débit	Ecart < 10%
Test de fuite	Fuite < 10%
Test de stabilité	PPBC < 550ng/m ³
Test d'air propre	PPBC < 550ng/m ³
Etalonnage des LED	Ecart < 10 %

5 Recommandations logicielles

5.1 Version du logiciel interne

Il est préférable d'utiliser la version la plus récente du logiciel.

Pour éviter les échecs d'installation d'une nouvelle version du logiciel pouvant bloquer alors l'instrument, il est recommandé d'installer les nouveaux fichiers à l'aide d'une clé USB. Il faut veiller que sur cette dernière il n'y ait que les fichiers d'installation AE33.

Lors de cette mise à jour, il faut aussi prêter attention que, selon la version actuelle en cours, une installation en plusieurs étapes peut être alors nécessaire :

- Si le numéro de série de l'AE33 est inférieur à 00096, prendre absolument contact avec Aerosol d.o.o. avant de procéder à SW upgrade.
- Si le version SW est inférieur à 1.1.8.0 alors faire d'abord la mise à jour jusqu'à la version 1.1.8.0. Puis seulement faire la mise à jour jusqu'à la dernière version.

- A partir de la version SW 1.1.8.0, il est possible d'upgrader directement jusqu'à la dernière version disponible sans conditions particulières.

De nouvelles mises à jour sont régulièrement proposées par le constructeur. Cependant, il est important d'avoir une version stable et homogène sur l'ensemble du territoire national.

Le suivi des versions du logiciel fera l'objet de discussions dans le cadre du groupe utilisateur « GU AE33 ». Les dysfonctionnements et les observations pourront également être remontés au travers du GU AE33 par voie électronique.

En cas de mise à jour logicielle, il conviendra de vérifier les recommandations de paramétrage spécifiées ci-après.

5.2 Contrôles du paramétrage logiciel interne

Certains utilisateurs AASQA ont relevé que, lorsqu'ils sont connectés en IP, les appareils AE33 envoient par défaut des données en continue vers des serveurs étrangers (adresse IP en Slovénie). Les retours utilisateur indiquent que la solution serait de désactiver les options relatives au « datacenter » au niveau de la configuration logicielle de l'appareil pour empêcher ce comportement.

Il conviendra lors de la réception ou en cas de mise à jour logicielle de vérifier que ces options sont bien désactivées.

En parallèle de cette préconisation, le fournisseur sera sollicité pour désactiver cette option par défaut.

5.3 Logiciel d'accès à distance

Il est à noter que le fournisseur Magee met à disposition sur son site des logiciels d'accès à distance pour ces appareils, dont le logiciel 'Accessor' pour l'AE33. Ce logiciel connecté en IP reproduit l'interface de l'AE33 et permet d'agir à distance sur l'appareil, ce qui peut être utile pour certaines actions de contrôle.

6 Acquisition et validation des mesures issues de l'instrument

Cette partie traite des aspects acquisition, traitement et validation appliqués aux paramètres eBC(λ_i) issus l'instrument.

6.1 Paramétrage des mesures à acquérir

Les mesures suivantes doivent être configurées dans les stations d'acquisition en respectant les critères spécifiés dans le tableau suivant concernant les codes constituant, l'unité et le nombre de décimales.

Tableau 5 : Liste des mesures à configurer dans les stations d'acquisition

Paramètre*	Code constituant	Rappel de la voie physique d'acquisition (RS232)	Linéarisation (Coef A)	Unité après linéarisation	Nombre de décimales
k6	G9	Voies technique 42	1	-	4
BC1	G1	Voie principale 1	0.001	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	3
BC2	G2	Voie principale 2	0.001	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	3
BC3	G3	Voie principale 3	0.001	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	3
BC4	G4	Voie principale 4	0.001	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	3
BC5	G5	Voie principale 5	0.001	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	3
BC6	G6	Voie principale 6	0.001	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	3
BC7	G7	Voie principale 7	0.001	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	3
Débit 1	-**	Voie technique 23	0.001	L/min	-***
Débit 2	-**	Voie technique 24	0.001	L/min	-***
Débit station	-**	Voie technique 25	0.001	L/min	-***

* Les noms indiqués ici sont donnés à titres indicatif.

** Au choix des AASQA mais par convention, doit commencer par la lettre Z (majuscule ou minuscule).

*** Pas de préconisation.

La fréquence d'acquisition et d'agrégation de ces mesures correspond aux critères « classiques » des mesures réglementaires de la qualité de l'air : pas de temps d'acquisition de 10s et moyennes quart horaire valides avec un taux de 75%.

Remarques :

- Il n'est pas nécessaire d'acquérir la mesure de BB% (code constituant G8) directement issue de l'instrument car elle ne sera pas utilisée dans les formules de calculs préconisées.
- Parmi les méthodologies de traitements des données préconisées à l'issu du GT AE33, l'une d'elle requière également la configuration en station d'une « mesure virtuelle station » (modèles ENVEA) définie sur une période d'agrégation de base QH et toujours égale à 1. (Cf. annexe 2).
- Il est également possible de remonter d'autres paramètres météorologiques (T, HR) ou techniques (e.g., k1 à k7).

6.2 Désactivation des alarmes sur l'AE36

Les utilisateurs AASQA ont identifié qu'en cas d'activation d'une alarme ou d'un défaut sur les appareils AE36, il est nécessaire de réaliser un reset de cette alarme directement sur l'appareil. (Cette opération peut également être effectuée à distance, via le logiciel d'accès dédié (cf. partie 5.3) ou un outil de type TeamViewer par exemple).

Ce comportement de l'appareil peut occasionner par exemple des mises en défaut prolongées et non pertinentes des données. Par exemple, un codage en défaut des mesures pour cause de problème de débit subsistant alors les valeurs de débits sont correctes au regard des critères de la partie précédente.

En pareil cas, les utilisateurs pourront procéder à une revalidation des données.

6.3 Validation technique des données issues de l'AE33

Données <-LD

Les mesures **quart horaire** de $eBC(\lambda_i)$ <-LD, doivent être invalidées automatiquement (en station ou dans le poste central). Pour tous les $eBC(\lambda_i)$, LD est défini ici à $0.2 \mu\text{g m}^{-3}$.

Note : Sur recommandation du constructeur, ce critère ne doit pas être appliqué directement sur les mesures acquises de 10s mais bien aux moyennes quart horaires.

Changement de SPOT

Les mesures quart-horaire $eBC(\lambda_i)$ doivent être invalidée si elles coïncident avec des valeurs nulles consécutives aux changements de spot. Ces changements de spot génèrent des valeurs nulles pendant environ cinq minutes et peuvent donc impacter deux mesures quart horaire consécutives.

Paramètres techniques et résultats des contrôles qualités

Cette étape de validation des données consiste à vérifier que l'instrument respecte les critères qualités assurant son fonctionnement optimal.

Il convient donc de vérifier :

- Que l'instrument est à jour des contrôles et maintenances périodiques détaillés dans le Tableau 3 et que les résultats de ces contrôles sont conformes aux critères d'acceptation (Tableau 4).
- L'historique des alarmes de l'instrument ou bien de certaines mesures indiquant un mauvais fonctionnement de l'instrument. La liste des paramètres à suivre est reportée dans le Tableau 6.

Tableau 6 : Synthèse des paramètres techniques à contrôler pour assurer la validation des données.

Problème	Action	Statut des données eBC(λ_i)
Débit reporté $\neq$ débit de consigne ($>10\%$)	Etalonner le débit	Invalide
Erreur de plus de 0,5L/min sur les débits 1 ou 2.	Etalonner le débit	Invalide
Débit 1 < 0	Etalonner le débit	Invalide
Débit2/Débit1 $<0,2$ ou Débit2/Débit1 $>0,75$	Prévoir une maintenance	Invalide
Chambre de mesure bloquée	Débloquer	Invalide
Bande filtrante bloquée ou terminée	Remplacer la bande	Invalide
Ecart entre les spots en dehors de la fourchette 30-40 mm	Etalonnage du capteur de bande	Invalide

Ces contrôles et l'invalidation associée des mesures se paramètrent via la configuration des alarmes (ou défauts) en station tel que défini par les constructeurs de stations pour les protocoles de communication de l'AE33.

Il convient, en plus des alarmes, de configurer explicitement les contrôles suivants au niveau des mesures QH pour invalider **les mesures eBC(λ_i)** :

Variable à tester	Seuil bas	Seuil haut
Débit 1	3	4
Deb_STATION (débit total)	4.5	5.5
Débit2/Débit1	0.2	0.75

Ces contrôles peuvent être configurées dans le poste central (ex : règles Adval, « traitements serveur ») ou directement dans les stations (détections de seuils en station) mais l'invalidation doit impacter également les mesures eBC(λ_i).

6.4 Validation environnementale de BC (BC6)

La mesure de BC6 représente, en moyenne haute sur les sites de fond urbain, environ 10 % de la quantité de PM_{2,5}. Cette contribution peut être doublée sur les sites de fond urbain fortement impactés par les émissions de trafic ou par le chauffage au bois. Des valeurs nettement supérieures doivent alerter les utilisateurs sur la qualité des données ou sur la présence d'une source de combustion interférente proche.

Il est également possible de comparer les mesures de BC6 obtenues par AE33 avec celles de EC obtenues par la méthode de référence thermo-optique. Les comparaisons entre mesure de BC et d'EC montrent une relation linéaire avec un coefficient directeur fluctuant d'un site de mesure à un autre, et généralement compris entre 1 et 2. Une non-linéarité ou un rapport très supérieur à 2 doivent amener à une investigation sur la qualité des données.

7 Calculs et validation de eBCwb et de eBCff

Cette partie traite des méthodes de calcul et de validation des paramètres eBCwb et eBCff qui requièrent préalablement le calcul et la validation intermédiaire des paramètres α (exposant d'absorption d'angström), du coefficient de corrélation R^2 et de BB_{cal} .

Ces calculs sont à effectuer au niveau des mesures quart horaires (dans le poste central ou par le biais un outil externe).

7.1 Vérification de l'exposant d'absorption d'angström et du coefficient de corrélation R^2

La validité des paramètres BB_{cal} , eBCff et eBCwb est conditionnée par la bonne corrélation des mesures de eBC(λ_i) entre elles.

Il convient, pour vérifier cette corrélation, de calculer les valeurs de l'exposant d'absorption d'Angström α et du coefficient de corrélation R^2 à partir des différentes valeurs de eBC(λ_i) mesurées à chaque longueur d'onde.

7.1.1 Calculs de α et de R^2

Pour chaque longueur d'onde λ , l'équation (9) lie l'exposant d'absorption d'angström α et le coefficient d'absorption des particules $b_{abs}(\lambda)$:

$$b_{abs}(\lambda) = cste \cdot \lambda^{-\alpha}$$
$$\Leftrightarrow \ln(b_{abs}(\lambda)) = \ln(cste) - \alpha \ln(\lambda)$$

Pour une série de mesures de eBC(λ_i), α correspond donc à la pente de la droite de régression linéaire des $\ln(b_{abs}(\lambda_i))$ sur les $\ln(\lambda_i)$ et R^2 au coefficient de corrélation de cette droite.

Exemple sur la Figure 4 pour une série de mesures eBC(λ_i) sur un quart d'heure donné : la régression linéaire sur la courbe des $b_{abs}(\lambda_i)$ sur λ_i permet de déduire un coefficient d'angström $\alpha = 1,3$ et un coefficient de corrélation $R^2 = 0,99$.

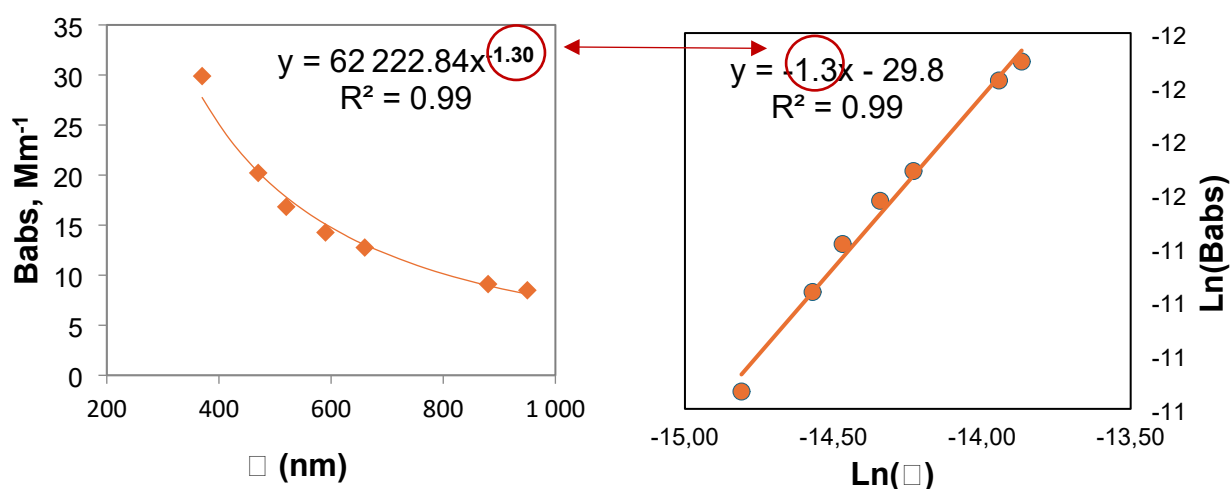


Figure 4 : Coefficient d'absorption $b_{abs}(\lambda)$ mesuré par l'AE33 en fonction de la longueur d'onde λ (nm)

Une régression linéaire simple (moindres carrés ordinaires) appliquée après une transformation logarithmique (log–log regression) permet d'appliquer les formules suivantes :

$$\alpha = - \frac{Cov(\ln(\lambda_i), \ln(b_{abs}(\lambda_i)))}{Var(\ln(\lambda_i))}$$

$$R^2 = \left(\frac{Cov(\ln(\lambda_i), \ln(b_{abs}(\lambda_i)))}{\sqrt{Var(\ln(\lambda_i)) \times Var(\ln(b_{abs}(\lambda_i)))}} \right)^2$$

Pour déterminer α et de R^2 il conviendra de calculer pour chacun des sept canaux de mesure ($eBC(\lambda_i)$), le logarithme des coefficients d'absorption : $\ln(b_{abs}(\lambda_i))$.

En considérant l'équation (5) : $eBC(\lambda_i) = b_{abs}(\lambda_i) / \sigma_i$ et les valeurs de MAE (σ_i) reportées dans le Tableau 1, les équations à appliquer sont les suivantes :

$$\ln(b_{abs}(\lambda_{370})) = \ln(0.00001847 \times BC1)$$

$$\ln(b_{abs}(\lambda_{470})) = \ln(0.00001454 \times BC2)$$

$$\ln(b_{abs}(\lambda_{520})) = \ln(0.00001314 \times BC3)$$

$$\ln(b_{abs}(\lambda_{590})) = \ln(0.00001158 \times BC4)$$

$$\ln(b_{abs}(\lambda_{660})) = \ln(0.00001035 \times BC5)$$

$$\ln(b_{abs}(\lambda_{880})) = \ln(0.00000777 \times BC6)$$

$$\ln(b_{abs}(\lambda_{950})) = \ln(0.00000719 \times BC7)$$

Le nombre minimum de décimal à conserver pour ces mesures intermédiaires est de 6.

Ces $\ln(b_{abs}(\lambda_i))$ ne peuvent être calculés que si les paramètres $eBC(\lambda_i)$ sont valides et strictement supérieur à 0.

Exemples et méthodologie de calculs de α et de R^2

Un exemple de méthodologie appliqué sur un jeu de données est disponible sur le fichier Excel « LCSQA_AE33_fichier type de traitement de données_V4 ».

Les formules à appliquer dans le poste central Xr sont disponibles dans le fichier Excel « LCSQA_AE33_Formules de calcul_XR_V1 » (cf. Annexe 2).

7.1.2 Critères de validité de α et de R^2

Détermination des valeurs des bornes pour α

En air ambiant, α est globalement compris entre 0,8 et 2,5.

Sa valeur moyenne possède une forte variabilité en fonction des sites de mesures (α site rural > α site urbain > α site trafic), et en fonction de la saison (e.g. α plus grand l'hiver que l'été).

De hautes valeurs de α traduisent une forte absorption des particules dans l'UV et sont observées notamment pour les particules issues de la combustion du bois.

Les particules émises à la suite de combustion d'hydrocarbures ont un coefficient α typiquement compris entre 0,8 et 1,1.

A titre d'illustration, la Figure 5 représente les valeurs maximale et minimale de l'exposant d'Angström α obtenues lors d'une étude sur les données AE33 sur la période de l'hiver 2014-2015. Ces valeurs ont été obtenues en moyennant les 2% des valeurs maximales et minimales (après validation) de chaque instrument sur la période. Les valeurs minimales représentatives sont comprises entre 0,9 et 1,1 et les valeurs maximales entre 1,8 et 2,5.

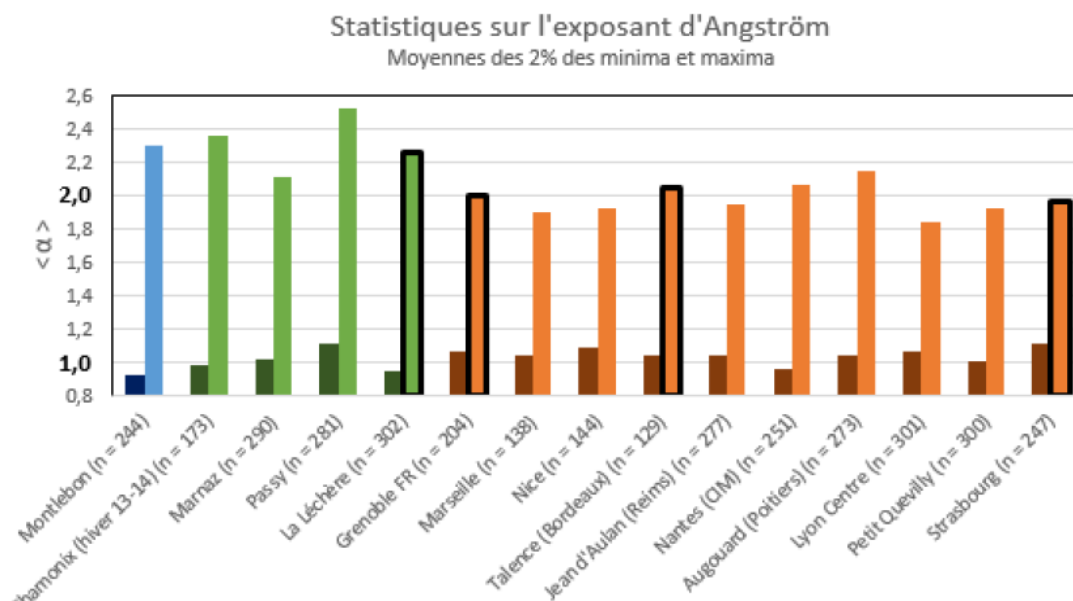


Figure 5 : Valeurs maximales et minimales de l'exposant d'Angström en fonction des sites (Orange : site de fond urbain, vert : site de proximité industrielle, bleu : site de fond rural)

Critères de validation à appliquer

Les bornes de validité à appliquer sont les suivants :

- $0.75 < \alpha < 3$
- $R^2 < 0.9$

Ainsi, les mesure quart horaires de BB_{cal} , eBC_{ff} , eBC_{wb} , PM_{ff} et PM_{wb} seront invalidées (ou tout simplement non calculées) si α et R^2 ne respectent pas les critères précédents.

Le fichier Excel « LCSQA_AE33_Formules de calcul_XR_V1 » propose deux méthodes pour effectuer cette opération sur le poste central Xr (cf. Annexe 2).

***Note :** En l'état actuel des retours d'expérience, il apparaît que l'utilisation de ces bornes conviennent à la grande majorité des sites. Néanmoins, quelques retours concernant des sites extrêmement impactés par le chauffage au bois (vallées alpines) ou par les émissions automobiles (sites trafic), suggèrent que l'application stricte de ces valeurs induit un risque d'invalidation d'un nombre significatif de données valides.*

7.2 Calculs et validations de eBC_{wb} et de eBC_{ff}

Si les mesures de α et R^2 respectent les critères décrits dans la partie précédente, les mesures de eBC_{wb} et de eBC_{ff} peuvent être calculées.

En travaillant à partir des mesures QH, il convient de recalculer la valeur de $BB\%$, notée BB_{cal} , pour déduire ensuite eBC_{wb} en $\mu g/m^3$ selon l'équation (15) de la partie 2.2 :

$$BC_{wb} = BB \times BC$$

En effet la valeur de $BB\%$ fournie directement par l'AE33 de mesure puis moyennée au quart d'heure ne permet pas d'appliquer directement la formule (15) pour le calcul de eBC_{wb} (cf annexe 1).

En injectant les valeurs numériques $\alpha_{wb}=2$ et $\alpha_{ff}=1$ dans les équations (12) (13) et (14) de la partie 2.2, le calcul de BB_{cal} prend cette forme :

$$BB_{cal} = \left[\frac{k_1 k_3 BC_2 \sigma_2}{BC_7 \sigma_7} - k_1 k_2 k_3 \right]$$

$$\text{Avec } k_1 = \left(\frac{1}{1 - \left(\frac{470}{950} \right)^{\alpha_{wb}} \left(\frac{470}{950} \right)^{-\alpha_{ff}}} \right) = 1.979166666666670$$

$$\text{Avec } k_2 = \left(\frac{470}{950} \right)^{-\alpha_{ff}} = 2,021276595744680$$

$$\text{Avec } k_3 = \left(\frac{470}{950} \right)^{\alpha_{wb}} = 0.2447645429362880$$

Avec σ_2 et σ_7 les surfaces efficaces d'absorption à 470 et 950 nm, respectivement égales à 14,54 et 7,19 m²/g (Cf tableau 1).

Ce qui donne :

$$BB_{cal} = (0,97964 \times \frac{BC_2}{BC_7}) - 0,97917$$

eBC_{wb} et eBC_{ff} se déduisent ensuite en fonction des valeurs obtenues lors du calcul de BB_{cal} selon les règles suivantes :

- Si $BB_{cal} < 0$:

$$eBC_{wb} = 0$$

$$eBC_{ff} = BC_6$$

- Si $BB_{cal} > 1$:

$$eBC_{wb} = BC_6$$

$$eBC_{ff} = 0$$

- Sinon si $0 < BB_{cal} < 1$:

$$eBC_{wb} = BB_{cal} \times BC_6$$

$$eBB_{ff} = BC_6 - eBC_{wb}$$

Exemple d'application

Un exemple d'application est disponible sur le fichier Excel « LCSQA_AE33_fichier type de traitement de données_V4 ».

Les formules à appliquer dans le poste central Xr sont disponibles dans le fichier Excel « LCSQA_AE33_Formules de calcul_XR_V1 » (cf. Annexe 2).

8 Extrapolation des données de PM_{ff} et de PM_{wb}

Pour contribuer à une étude de sources, l'AE33 permet de distinguer deux fractions du carbone suie (BC) que l'on peut relier à la combustion d'hydrocarbures (eBC_{ff}) et à la combustion de biomasse (eBC_{wb}). Ces fractions peuvent ensuite être utilisées pour estimer (à l'aide d'un facteur multiplicatif et avec une précision de l'ordre de 50 %) les concentrations de PM_{10} attribuables à ces deux familles de sources, notées respectivement PM_{ff} et PM_{wb} , tel que :

$$PM_{ff} = a \times eBC_{ff}$$

$$PM_{wb} = b \times eBC_{wb}$$

où PM_{ff} et PM_{wb} représentent la concentration massique des particules issues respectivement de la combustion d'hydrocarbures et de la combustion de biomasse au sein de la fraction PM_{10} .

PM_{ff} et PM_{wb} sont constituées, en plus du BC, principalement d'aérosols organiques primaires. Les coefficients a et b sont issus (i) de la littérature scientifique pour la contribution fossile, et (ii) d'études LCSQA pour la contribution biomasse.^{3,4,5}

8.1 Estimation de PM_{wb}

8.1.1 Différentes méthodes de calculs possibles pour PM_{wb}

Calcul à partir de eBC_{wb} et du coefficient multiplicatif b

Dans le cas où le coefficient multiplicatif entre PM_{wb} et eBC_{wb} a pu être évalué spécifiquement pour le site, ce dernier peut être utilisé :

$$PM_{wb} = b_{\text{évalué(site)}} \times eBC_{wb}$$

Un exemple est présenté à l'annexe 3.

Dans le cas où le coefficient multiplicatif entre PM_{wb} et eBC_{wb} n'a pas pu être évalué, il convient d'utiliser un coefficient multiplicatif « universel » égal à 10 pour estimer PM_{wb} à partir de eBC_{wb} .

$$PM_{wb} = 10 \times eBC_{wb}$$

En considérant que $BC_{wb} = 10\%$ des émissions combustion de biomasse (études à l'émission).

Méthode alternative à partir de BC1 et BC7

Outre le carbone suie, les combustions de biomasse émettent principalement de la matière organique, dont une partie est capable d'absorber le rayonnement lumineux dans le proche ultraviolet. Cette fraction organique absorbante, appelée *Brown Carbon* (BrC), n'est pas identique d'une combustion à l'autre, ne provient pas uniquement de la combustion de biomasse et n'est pas le seul composé (en plus du carbone suie) à absorber la lumière autour de 400 nm. Cependant, on constate de très bonnes corrélations entre les concentrations de PM issues de la combustion de biomasse et la quantité de lumière absorbée dans le proche UV sur un panel de sites de fond urbain

³ LCSQA-INERIS-DRC-16-152341-05992A : Bilan des travaux 2014-2015 du programme CARA.

⁴ LCSQA-INERIS-DRC-16-152341-05991A: Impact de la combustion de biomasse sur les concentrations de PM10 dans 10 agglomération du programme CARA au cours de l'hiver 2014-2015

⁵ LCSQA-INERIS- DRC-17-167619-01983A : Eléments de compréhension des épisodes de pollution particulaire de début décembre 2016 à partir des mesures de composition chimique.

français (Zhang et al., 2020). Ces observations suggèrent la possibilité d'utiliser une méthodologie alternative pour l'estimation de PM_{wb} en France, tel que :

$$PM_{wb} \approx 5,735 \times (BC1 - BC7)$$

Cette méthodologie alternative :

- peut être utilisée par les AASQA en première approche (i.e., pour traitement des données AE33 en temps réel et/ou dans le cas de campagnes de terrain spécifiques) pour l'estimation des concentrations de PM_{wb} directement à partir des mesures BC1 et BC7 fournies par l'instrument ;
- est actuellement recommandée dans le cas où aucune information complémentaire sur la valeur du facteur de conversion BC_{wb} - PM_{wb} n'est disponible ;
- reste soumise à des exercices de vérification/validation au fil de l'eau, ainsi qu'aux retours d'expériences que pourront apporter les AASQA le souhaitant via leur utilisation au quotidien et/ou sur d'autres (types de) sites. (cf partie préconisation ci-dessous 7.1.2)

8.1.2 Préconisations

Le choix de la méthode à appliquer pour l'estimation de PM_{wb} est laissé à la libre appréciation de l'AASQA, en fonction des informations disponibles sur les différentes stations de mesure.

D'une manière générale, il est préconisé de :

- Mener des campagnes de prélèvement sur filtres sur différents sites et effectuer un suivi dans le temps pour affiner le facteur b.
- Calculer et comparer les trois méthodes : Avec le coefficient b (10 ou calculé) et avec la formule ($PM_{wb} = 5,735 \times (BC1 - BC7)$).
- Comparer les résultats obtenus avec les mesures PM ou d'autres mesures complémentaires (voir section 7.3).

NB : La formule alternative ($PM_{wb} = 5,735 \times (BC1 - BC7)$) induit généralement des valeurs de PM_{wb} plus faibles qu'avec les autres méthodes, limitant les risques de surestimation en période estivale.

8.2 Estimation de PM_{ff}

Pour convertir BC_{ff} en PM_{ff} au sein de la fraction PM_{10} , le LCSQA recommande aux AASQA de prendre un coefficient multiplicatif égal à 2.

$$PM_{ff} = 2 \times eBC_{ff}$$

Ce coefficient est estimé ici à partir des rapports OM/OC (i.e. Matière Organique/Carbone Organique) et OC/BC (ou OC/EC) des émissions émises par le trafic et reportées dans la littérature. La quantité de PM_{10} issue des émissions trafic (PM_{ff}) peuvent être écrites comme la somme du eBC_{ff} et de la matière organique (OM_{ff}), ainsi :

$$\begin{aligned} PM_{ff} &= BC_{ff} + OM_{ff} \\ &= BC_{ff} [1 + (OM_{ff} / BC_{ff})] \\ &= BC_{ff} [1 + (OM_{ff} / OC_{ff}) \times (OC_{ff} / BC_{ff})] \end{aligned}$$

OM/OC est généralement fixé entre 1,2 et 1,6 pour les particules provenant des émissions trafic (Zhang et al., 2005 ; Bressi et al., 2012).

Les rapports EC/OC (ou BC/OC) considérés dans la littérature oscillent généralement entre 0,5 et 2,5 en fonction des types de carburant utilisés (Zhang et al., 2015 ; El Haddad et al., 2009).

Sur un site français représentatif du parc automobile le rapport a été mesuré : $1,6 < EC/OC < 1,9$ (El Haddad et al., 2009). Ce ratio pourrait être diminué grâce à la baisse des émissions liées au trafic en France.

OM_{ff}/BC_{ff} a été évalué à 1,15 à partir de mesure dans le sud de Paris durant l'hiver 2011 (Petit et al., 2014).

En se basant sur ces valeurs, le facteur de conversion est estimé oscillant entre 1,8 et 2,2. Une valeur égale à 2 a été prise en compte dans l'étude LCSQA de l'épisode de décembre 2016.

Il est à noter que l'utilisation d'un coefficient égal à 2 ne reflète que les émissions primaires à l'échappement automobile au sein de PM_{ff} . Dans ce cas, PM_{ff} n'intègre pas les particules issues de l'abrasion de la chaussée, des pneus, des freins, etc. Ces estimations ne tiennent pas compte non plus de l'influence de l'échappement automobile sur la formation d'aérosols secondaires à partir des émissions de précurseurs gazeux (dont les NO_x , issus à 60% du transport au niveau national).

Ainsi, il est proposé de manière consensuelle de garder par défaut un coefficient multiplicatif égal à 2. Cependant, selon les objectifs et/ou les sites d'étude, les AASQA qui le souhaitent peuvent appliquer une valeur >2 afin de tenir compte des émissions hors échappement et des aérosols secondaires provenant du transport routier.

8.3 Validation environnementale de PM_{wb} et PM_{ff}

Seuil bas

Comme pour les autres mesures de PM, les mesures de PM_{ff} et PM_{wb} strictement inférieures à $-3 \mu g/m^3$ doivent être invalidées.

Comparaison avec les mesures de PM

PM_{wb} et PM_{ff} sont une estimation de la part des particules émises par les sources de combustion au sein des PM_{10} . Ils représentent les particules de matière organique primaire et secondaire émises par les sources de combustion. Celles-ci sont essentiellement comprises dans la fraction $PM_{2,5}$. Néanmoins, une part du PM_{wb} et PM_{ff} représente la matière organique comprises dans la fraction comprise entre $PM_{2,5}$ et PM_{10} .

La comparaison de la somme des PM_{ff} et PM_{wb} avec les mesures de PM peut aider à la validation environnementale de ces paramètres (e.g., invalidation des pics suspects). Elle aide également à l'évaluation des facteurs de conversion. Une surestimation par rapport aux PM_{10} indique que les facteurs de conversion PM_{ff}/BC_{ff} ou PM_{wb}/BC_{wb} sont probablement surestimés. Cette comparaison peut être effectuée avec les mesures de PM_{10} (et si disponible $PM_{2,5}$) issues d'un appareil localisé sur le même site que l'AE33 ou sur un autre site voisin.

Note : L'utilisation de facteurs de conversion, ainsi que les procédures de traitement de données des analyseurs automatiques (e.g., mesures élémentaires délivrées par le TEOM-FDMS correspondant en réalité à une moyenne horaire lissée) peuvent provoquer des comportements erratiques d'un point à l'autre. La comparaison sur des plages de temps d'au moins une heure est à privilégier.

Comparaison avec des mesures complémentaires

L'expérience des opérateurs locaux, notamment basée sur les résultats de la comparaison avec les mesures de PM, est primordiale dans le choix de la valeur du coefficient b. Compte-tenu des éventuelles évolutions du parc des appareils de chauffage au bois, il est également recommandé de comparer ponctuellement et dans la mesure du possible, (e.g., tous les 3 ans) les mesures eBC_{wb} à des jeux de données indépendants (e.g., mesure des concentrations de levoglucosan et EC-OC prélevés sur filtres) pour chaque site dédié à une surveillance pérenne par AE33.

9 Export des données vers Geodair

9.1 Rappel des codes constituants

Les codes constituant en lien avec l'exploitation des mesures de AE33 sont rappelés dans le tableau 7.

Tableau 7 : codes constituants pour les mesures AE33

Code	Paramètre	Description
G1	BC1	eBC370, Concentration d'équivalent black carbon à 370nm
G2	BC2	eBC470, Concentration d'équivalent black carbon à 470nm
G3	BC3	eBC520, Concentration d'équivalent black carbon à 520nm
G4	BC4	eBC590, Concentration d'équivalent black carbon à 590nm
G5	BC5	Pour les modèles AE33 : eBC660, Concentration d'équivalent black carbon à 660nm Pour les modèles AE36 : eBC630, Concentration d'équivalent black carbon à 630nm
G6	BC6 (BC)	eBC880, Concentration d'équivalent black carbon à 880nm
G7	BC7	eBC950, Concentration d'équivalent black carbon à 950nm
G8	BB%	BCwb, contribution de la combustion de biomasse
G9	k6	Coefficient de compensation à 880nm
GA	eBCwb	eBCwb, Concentration d'équivalent black carbon issu de la combustion de biomasse (AE33)
GB	eBCff	eBCff, Concentration d'équivalent black carbon issu de la combustion de dérivés du pétrole (AE33)
wb*	PMwb	Estimation de la concentration massique des particules issues de la combustion de biomasse au sein de la fraction PM ₁₀
ff*	PMff	Estimation de la concentration massique des particules issues de la combustion d'hydrocarbures au sein de la fraction PM ₁₀
pm*	PMffwb	PM reconstitués par la somme de PMff et PMwb
24	PM10	Particules PM10
39	PM2.5	Particules PM2.5
68	PM1	Particules PM1

* lettres minuscules

Notes :

- Les noms spécifiés dans ce tableau sont donnés à titre indicatif. Ils ne sont pas à strictement à reproduire au niveau des postes centraux.
- Il existe un code G0 qui concerne l'instrument MAAP correspondant à la mesure du eBC à 670nm.
- Les paramètres techniques issus de l'AE33, telles que les mesures de débits par exemple, n'ont pas de code constituant de définis. Le choix du code constituant est laissé aux AASQA mais par convention il doit commencer par la lettre Z (majuscule ou minuscule).

9.2 Liste des mesures à remonter à Geod'air

Mesures AE33	Description	rappel code polluant	Unité attendue	Nombre de décimales
k6	paramètre k6	G9	1' ou ' _ '	4
eBC370	paramètre BC1	G1	µg/m3	3
eBC470	paramètre BC2	G2	µg/m3	3
eBC520	paramètre BC3	G3	µg/m3	3
eBC590	paramètre BC4	G4	µg/m3	3
eBC660	paramètre BC5	G5	µg/m3	3
eBC880	paramètre BC6	G6	µg/m3	3
eBC950	paramètre BC7	G7	µg/m3	3
BCwb recalculé	BB _{cal} exprimé en %	G8	%	3
eBCwb	eBCwb calculé à partir de BB _{cal}	GA	µg/m3	2
eBCff	eBCff calculé à partir de BB _{cal}	GB	µg/m3	2
PM2.5	Si appareil de référence mesurant le PM _{2.5} installé sur le site de l'AE33, mesure de PM _{2.5} à remonter.	39	µg/m3	1
PM10	Si appareil de référence mesurant le PM ₁₀ installé sur le site de l'AE33, mesure de PM ₁₀ à remonter.	24	µg/m3	1

9.3 Informations complémentaires sur les estimations de PM_{ff} et PM_{wb}

Les estimations de PM_{ff} et PM_{wb} ne faisant pas l'objet d'une remontée sur Geod'Air, il est demandé aux AASQAs, le souhaitant, de spécifier au LCSQA quelle méthodes/coefficients sont à privilégier pour alimenter les graphes de la page web CARA de visualisation des données de mesure en temps réel de la composition chimique des particules.

Les modalités pour transmettre ces informations ont été définies conjointement entre les AASQA et le LCSQA lors des réunions du GT AE33. Ces modalités seront spécifiées sur la page de publication de ce guide

10 Références

- Bressi, M., Sciare, J., Gherzi, V., Bonnaire, N., Nicolas, J. B., Petit, J.-E., Moukhtar, S., Rosso, A., Mihalopoulos, N., and Féron, A.: A one-year comprehensive chemical characterisation of fine aerosol (PM_{2.5}) at urban, suburban and rural background sites in the region of Paris (France), *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13, 7825–7844, <https://doi.org/10.5194/acp-13-7825-2013>, 2013.
- Chebaicheb, H., de Brito, J. F., Amodeo, T., Couvidat, F., Petit, J.-E., Tison, E., Abbou, G., Baudic, A., Chatain, M., Chazeau, B., Marchand, N., Falhun, R., Francony, F., Ratier, C., Grenier, D., Vidaud, R., Zhang, S., Gille, G., Meunier, L., Marchand, C., Riffault, V., and Favez, O.: Multiyear high-temporal-resolution measurements of submicron aerosols at 13 French urban sites: data processing and chemical composition, *Earth Syst. Sci. Data*, 16, 5089–5109, <https://doi.org/10.5194/essd-16-5089-2024>, 2024.
- Drinovec, L., Močnik, G., Zotter, P., Prévôt, A. S. H., Ruckstuhl, C., Coz, E., Rupakheti, M., Sciare, J., Müller, T., Wiedensohler, A., and Hansen, A. D. A.: The "dual-spot" Aethalometer: an improved measurement of aerosol black carbon with real-time loading compensation, *Atmos. Meas. Tech.*, 8, 1965–1979, <https://doi.org/10.5194/amt-8-1965-2015>, 2015.
- Drinovec, L., Gregorič, A., Zotter, P., Wolf, R., Bruns, E. A., Prévôt, A. S. H., Petit, J.-E., Favez, O., Sciare, J., Arnold, I. J., Chakrabarty, R. K., Moosmüller, H., Filep, A., and Močnik, G.: The filter-loading effect by ambient aerosols in filter absorption photometers depends on the coating of the sampled particles, *Atmos. Meas. Tech.*, 10, 1043–1059, <https://doi.org/10.5194/amt-10-1043-2017>, 2017.
- El Haddad, I., Marchand, N., Dron, J., Temime-Roussel, B., Quivet, E., Wortham, H., Jaffrezo, J. L., Baduel, C., Voisin, D., Besombes, J. L., and Gille, G.: Comprehensive primary particulate organic characterization of vehicular exhaust emissions in France, *Atmospheric Environment*, 43, 6190–6198, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.09.001>, 2009.
- Ferrero, L., Losi, N., Rigler, M., Gregorič, A., Colombi, C., D'Angelo, L., Cuccia, E., Cefali, A. M., Gini, I., Doldi, A., Cerri, S., Maroni, P., Cipriano, D., Markuszewski, P., and Bolzacchini, E.: Determining the Aethalometer multiple scattering enhancement factor C from the filter loading parameter, *Science of The Total Environment*, 917, 170221, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170221>, 2024.
- Petit, J.-E., Favez, O., Sciare, J., Canonaco, F., Croteau, P., Močnik, G., Jayne, J., Worsnop, D., and Leoz-Garziandia, E.: Submicron aerosol source apportionment of wintertime pollution in Paris, France by double positive matrix factorization (PMF₂) using an aerosol chemical speciation monitor (ACSM) and a multi-wavelength Aethalometer, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14, 13773–13787, <https://doi.org/10.5194/acp-14-13773-2014>, 2014.
- Sandradewi, J., Prévôt, A. S. H., Szidat, S., Perron, N., Alfarra, M. R., Lanz, V. A., Weingartner, E., and Baltensperger, U.: Using Aerosol Light Absorption Measurements for the Quantitative Determination of Wood Burning and Traffic Emission Contributions to Particulate Matter, *Environ. Sci. Technol.*, 42, 3316–3323, <https://doi.org/10.1021/es702253m>, 2008.
- Savadkoobi, M., Pandolfi, M., Favez, O., Putaud, J.-P., Eleftheriadis, K., Fiebig, M., Hopke, P. K., Laj, P., Wiedensohler, A., Alados-Arboledas, L., Bastian, S., Chazeau, B., María, Á. C., Colombi, C., Costabile, F., Green, D. C., Hueglin, C., Liakakou, E., Luoma, K., Listrini, S., Mihalopoulos, N., Marchand, N., Močnik, G., Niemi, J. V., Ondráček, J., Petit, J.-E., Rattigan, O. V., Reche, C., Timonen, H., Titos, G., Tremper, A. H., Vratolis, S., Vodička, P., Funes, E. Y., Zíková, N., Harrison, R. M., Petäjä, T., Alastuey, A., and Querol, X.: Recommendations for reporting equivalent black

carbon (eBC) mass concentrations based on long-term pan-European in-situ observations, *Environ. Int.*, 185, 108553, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108553>, 2024.

Zhang Q. et al.: "Hydrocarbon-like and oxygenated organic aerosols in Pittsburgh: insights into sources and processes of organic aerosols, *Atmos. Chem. Phys.*", 5, 3289–3311, 2005

Zhang Y. et al., "Emission factors of fine particles, carbonaceous aerosols and traces gases from road vehicles: Recent tests in an urban tunnel in the Pearl River Delta, China," *Atmo. Env.* 122(2015) 876-884

Zhang Y. et al.: Substantial brown carbon emissions from wintertime residential wood burning over France. *Science of the Total Environment*, 743, 140752, 2020. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140752.

11 Liste des annexes

Annexes	Titres
Annexe 1	Calcul eBC_{wb} selon le pas de temps
Annexe 2	Application dans X_r
Annexe 3	Historique des résultats du programme CARA pour les estimations de PM_{wb}

Annexes

Annexe 1 : Calcul eBC_{wb} selon le pas de temps

Pour faciliter les traitements au sein de la chaîne d'acquisition de la qualité de l'air et des postes centraux où la mesure de base est historiquement quart horaire, le présent guide décrit les traitements à réaliser pour les calculs de eBC_{wb} et eBC_{ff} au pas de temps quart horaire.

Cette méthode implique de recalculer le paramètre $BB(\%)$ (BB_{cal}) au pas de temps QH en vue d'appliquer cette équation.

$$\text{Au niveau QH : } eBC_{wb} = BB_{cal} \times BC_6$$

En effet, au niveau des moyennes quart horaire l'équation ci-dessus ne se vérifie plus avec le paramètre $BB(\%)_{AE33}$ directement fourni par l'AE33 :

$$\text{Au niveau QH : } eBC_{wb} \neq BB(\%)_{AE33} \times BC_6$$

Annexe 2 : Application dans Xr

Le GT AE33 2024/2025 a abouti à la proposition différentes formules à configurer sur le poste central Xr pour implémenter les règles de validation et de calcul des différents paramètres $eBC(\lambda_i)$, eBC_{wb} , eBC_{ff} , PM_{wb} et PM_{ff} .

Ces formules sont disponibles dans le fichier Excel « LCSQA_AE33_Formules de calcul_XR_V1 ».

Les éléments proposés y sont :

- Validation des $eBC(\lambda_i)$ en lien avec les critères sur les mesures de débits : proposition d'une mesure virtuelle serveur + Règles Adval.
- Formules de calculs pour α et de R^2 : proposition de 11 mesures virtuelles serveur (impliquant des mesures intermédiaires).
- 2 options de mises en œuvre pour les calculs de eBC_{wb} , eBC_{ff} , PM_{wb} , PM_{ff} et PM_{wbff} :
 - Option 1 : formules qui implémentent les critères de validités relatifs à α et de R^2 directement dans les formules des calculs de BB_{cal} , eBC_{wb} , eBC_{ff} , PM_{wb} et PM_{ff} .
→ 7 mesures virtuelles à configurer
 - Option 2 : création d'une mesure virtuelle station, toujours égale à 1 dont la validité est ensuite conditionnée par le respect des critères par α et de R^2 . Cette mesure virtuelle conditionne ensuite la validité des différents calculs de BB_{cal} , eBC_{wb} , eBC_{ff} , PM_{wb} et PM_{ff} .
→ 1 mesure virtuelle station

- ➔ 2 règles Adval
- ➔ 7 mesures virtuelles serveur à configurer

L'option 2 est un peu plus complexe à configurer mais peut faciliter la compréhension de la validation des données à l'exploitation avec la gestion de la mesure virtuelle station qui conditionne le reste des calculs.

Annexe 3 : Historique des résultats du programme CARA pour les estimations de PM_{wb}

Lors d'une étude LCSQA sur la contribution de la combustion de biomasse sur les PM_{10} pendant l'hiver 2014-2015, des concentrations de BC_{wb} mesurés par AE33 ont été directement comparées aux concentrations de PM_{wb} (ou $PM_{biomasse}$) estimées, selon une approche mono-traceur classique, à l'aide des concentrations de Lévo-glucosan (espèces chimiques caractéristiques de la combustion de biomasse) mesurées sur filtres.

Le résultat, exposé sur la Figure 1 montre la relation linéaire reliant les mesures de BC_{wb} et celles de PM_{wb} obtenues sur une station de fond urbain.

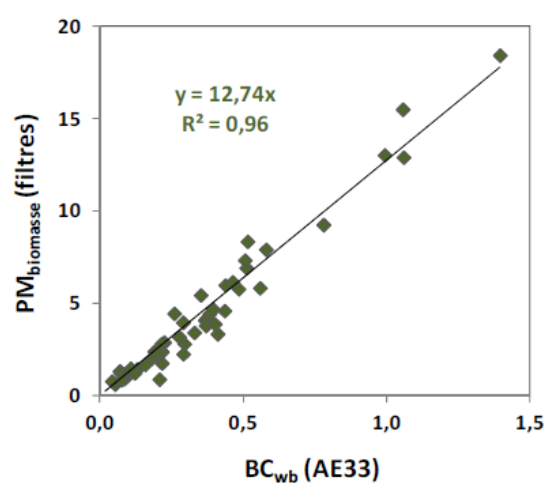


Figure 1 : Corrélation entre BC_{wb} et $PM_{biomasse}$ lors de l'hiver 2014-2015 à Rouen (station de fond urbain de Petit-Quevilly)

Cette comparaison a pu être réalisée pour différents sites de mesure au cours de l'hiver 2014-2015 et les résultats sont répertoriés dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Exemples de facteurs multiplicatifs de conversion $PM_{biomasse}/BC_{wb}$ pour huit sites de mesures du dispositif de surveillance de la qualité de l'air national.

	$PM_{\text{biomasse}} / BC_{\text{wb}}$		$PM_{\text{biomasse}} / BC_{\text{wb}}$
Reims	13,0	Strasbourg	8,6
Rouen	12,7	Lyon	13,4
Nantes	15,2	Grenoble	11,1
Poitiers	15,3	Marseille	16,0
Bordeaux	14,2	Nice	17,3

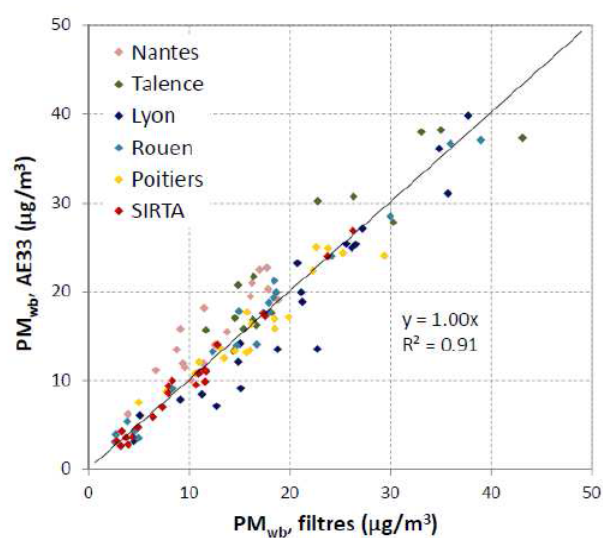


Figure 2 : Comparaison de mesure de PM_{wb} issues de la mesure AE33 et de la mesure sur filtres prélevés pendant l'épisode de pollution de décembre 2016

Lors de l'épisode de pollution de décembre 2016, les mesures de PM_{wb} obtenues par AE33 ont pu être comparées aux mesures de PM_{wb} (filtre). Les comparaisons des mesures, reportées sur la Figure 2 montre une très bonne corrélation entre les deux approches.

Le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air est un groupement d'intérêt scientifique créé en 2005 et constitué des laboratoires de l'IMT Nord Europe, de l'Ineris et du LNE. Depuis 1991, ses équipes d'experts mènent des études et des recherches sur la qualité de l'air, en appui au ministère chargé de l'environnement, et en étroite collaboration avec les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA). Le LCSQA est désigné par le ministère pour assurer la coordination technique nationale du dispositif de surveillance de la qualité de l'air en France. Il est également l'organisme de référence requis par les directives européennes et ses missions sont définies par l'arrêté du 16 avril 2021 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant.

L'objectif principal du LCSQA est ainsi de contribuer à l'amélioration continue du dispositif de surveillance en apportant un appui scientifique et technique au ministère et aux AASQA.

Ses travaux portent, d'une part, sur l'ensemble de la chaîne de surveillance : la qualité des mesures en air ambiant (du prélèvement à l'analyse), les inventaires d'émissions, la modélisation des concentrations et leur cartographie, la centralisation ainsi que le traitement et la mise à disposition des données, et d'autre part, sur les méthodes d'évaluation des plans d'actions. Cette action s'inscrit à la fois dans le cadre des réglementations nationales et européennes, et dans une démarche prospective visant à anticiper les besoins de la surveillance de demain.

Direction du LCSQA

Ineris - Parc technologique Alata 2 -
BP2 - F60550 Verneuil-en-Halatte
Tél : 03 44 55 69 16

www.lcsqa.org