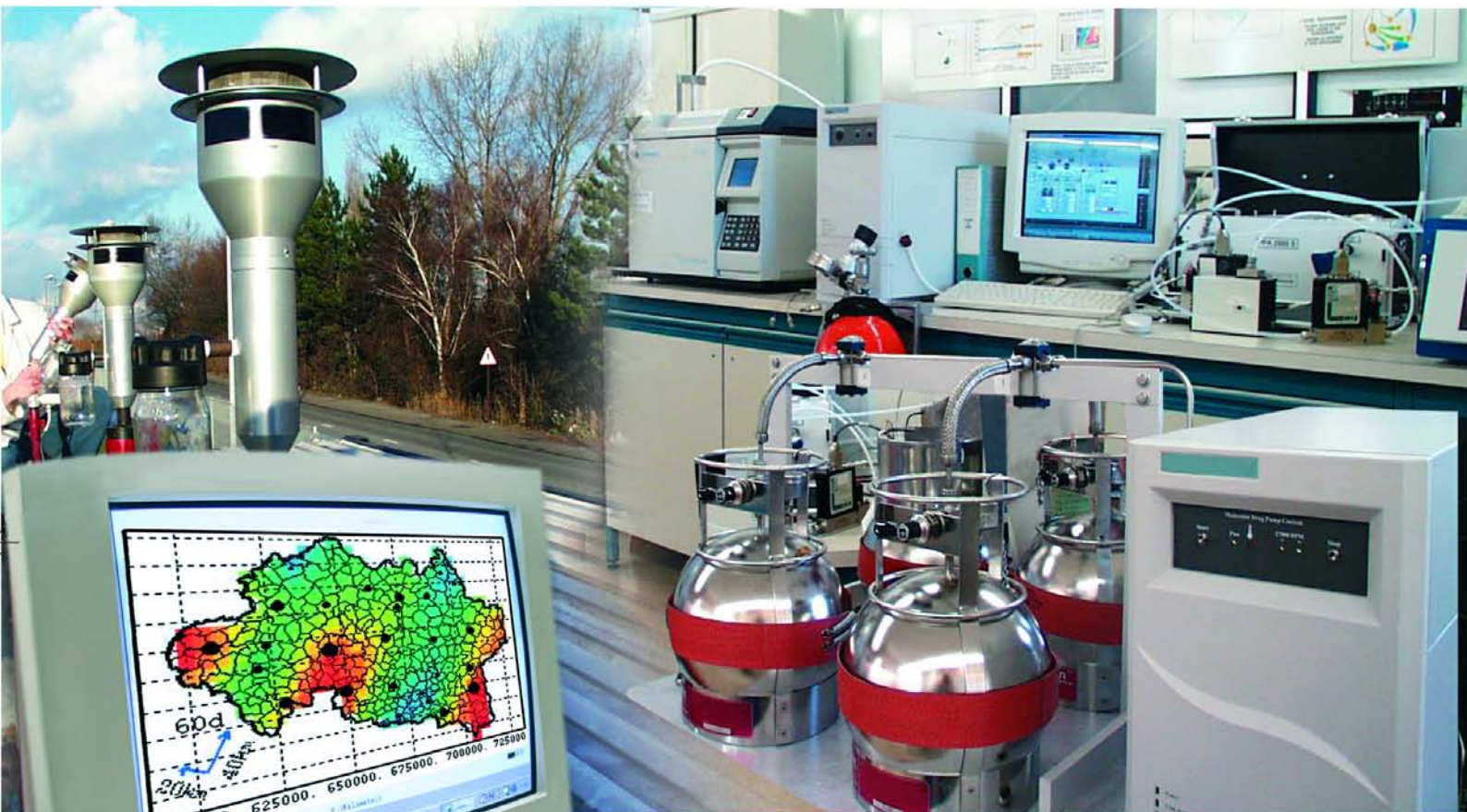




## Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air



Métrologie des particules  $PM_{10}$  et  $PM_{2.5}$

**Retour d'expérience sur l'utilisation d'un indicateur optique de type  
FIDAS 200 - Campagne 2012 à Douai-Dorignies**

**Etude 3/1**

Note du LCSQA

Programme 2012

R. AUJAY





## Retour d'expérience sur l'utilisation d'un indicateur optique FIDAS - Campagne 2012 à Douai-Dorignies

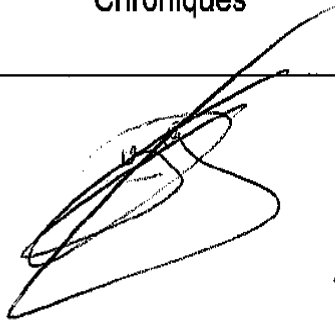
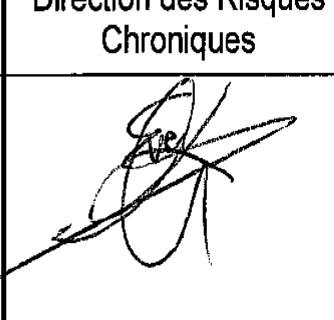
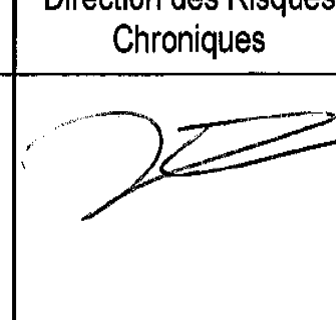
Laboratoire Central de Surveillance  
de la Qualité de l'Air

### Métrologie des particules PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub>

Programme financé par la  
Direction Générale de l'Énergie et du Climat (DGEC)

2012

R. AUJAY, S. VERLHAC, O. FAVEZ (LCSQA/INERIS)

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	Robin AUJAY	Eva LEOZ	Nicolas ALSAC
Qualité	Technicien Direction des Risques Chroniques	Responsable unité CIME Direction des Risques Chroniques	Responsable pôle CARA Direction des Risques Chroniques
Visa			



## SYNTHESE

Un analyseur en temps réel de poussières de type FIDAS 200 (constructeur *PALAS*<sup>®</sup>) pour la détermination granulométrique des poussières en suspension a été testé par le LCSQA d'abord à l'INERIS en 2011, puis en 2012, lors d'essais de comparaison multi-instruments de mesure PM à l'initiative d'ATMO-Nord-Pas de Calais dans la station de l'Ecole des Mines de Douai (EMD), sur le site d'observation de Dorignies, en parallèle d'un exercice de suivi de l'équivalence d'analyseurs automatiques homologués pour la mesure réglementaire.

La présente note synthétise les résultats obtenus lors de cette dernière campagne. Le FIDAS 200 présente des résultats globalement satisfaisants par rapport à la méthode de référence, avec des coefficients de corrélation de 0,98 et 0,95 respectivement en PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub>. Cependant, une sous-estimation globale de l'ordre de 20% sur les PM<sub>10</sub> et de 10% en PM<sub>2.5</sub> est observée. Cette sous-estimation semble notamment résulter d'une déviation de calibration se traduisant par un décalage granulométrique. Par retour d'expérience et après échange avec le fournisseur, il est ainsi recommandé de procéder à une calibration mensuelle ou, a minima, avant toute nouvelle campagne de mesures, plutôt qu'à une calibration annuelle comme initialement préconisé par le constructeur.

Il sera intéressant de compléter par d'autres essais ce retour d'expérience afin de statuer, à moyen terme, sur une éventuelle homologation par la Commission de suivi « particules » du dispositif national de surveillance pour la mesure automatique des PM, une fois la preuve faite par le constructeur de la démonstration d'équivalence par rapport à la méthode de référence (tests d'équivalence en cours au TÜV, en PM<sub>10</sub> & PM<sub>2.5</sub>). Les tests sur différentes typologies de site se déroulent en Allemagne et en Angleterre et l'ensemble des tests devraient se terminer fin juin 2013 pour approbation éventuelle en fin d'année 2013.

## CONTEXTE

Les méthodes de référence pour la mesure des concentrations de particules (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>) définies dans le cadre de la directive européenne 2008/50/CE concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe sont celles décrites dans les normes NF EN 12341 et NF EN 14907, actuellement en cours de révision et d'unification. Ces méthodes, manuelles, sont onéreuses, difficiles à mettre en œuvre, et ne sont pas adaptées aux besoins d'information rapide du public. Pour ces raisons, la France a décidé d'opter pour une solution instrumentale (mesures par TEOM-FDMS et Jauge Bêta MP101M-RST) permettant la mesure automatique et en temps réel des PM. Récemment, un autre analyseur par atténuation de rayonnement bêta a été homologué par la Commission de suivi « particules » du dispositif national de surveillance pour la mesure automatique et en temps réel des PM, le BAM 1020 (de marque *Met-One* et distribué en France par la société *Envicontrol*).

De manière prospective, le LCSQA teste par ailleurs d'autres appareils de mesure permettant la mesure automatique et en temps réel des PM. Ainsi, un analyseur en temps réel de poussières pour la détermination granulométrique des poussières en suspension de type FIDAS 200 (de marque *PALAS*<sup>®</sup> et distribué en France par la société *Ecomesure*) a été testé par le LCSQA parallèlement à la campagne de suivi de l'équivalence des appareils de mesure automatique homologués en PM<sub>10</sub> lors de la campagne 2012 à Douai-Dorignies<sup>1</sup>. Il est à noter qu'aucun appareil de type « indicateur optique » n'est à ce jour homologué par la Commission de suivi « particules » du dispositif national de surveillance pour la mesure réglementaire des PM. Ainsi, cette technique instrumentale ne peut être envisagée, à l'heure actuelle, que comme mesure indicative des PM sur l'ensemble du territoire national. Néanmoins, d'autres pays membres de l'Union Européenne utilisent des analyseurs optiques permettant la mesure des PM et leur classification en taille pour leurs mesures réglementaires (e.g. compteur optique GRIMM<sup>®</sup>), en prenant soin d'ajuster ces mesures à l'aide de « fonctions de calibrations » dérivées d'exercices de comparaison à la méthode de référence réalisés régulièrement sur différentes typologies de site et sous différentes conditions climatiques. Différents indicateurs optiques, dont ceux de marque GRIMM ayant déjà été testés précédemment<sup>2</sup>, le choix a porté ici sur un instrument non-encore évalué dans le cadre des travaux du LCSQA et pouvant présenter un potentiel intéressant de par l'innovation technique de sa méthode de détection (cf. Annexe 1).

---

<sup>1</sup> Résultats dans la note LCSQA de 2012 disponible à l'adresse suivante :

<http://www.lcsqa.org/rapport/2012/ineris-emd-atmo-nord-pas-calais/note-suivi-equivalence-appareils-mesure-automatique-hom>

<sup>2</sup> e.g. rapport LCSQA de 2011 disponible à l'adresse suivante :

<http://www.lcsqa.org/rapport/2011/ineris/variabilite-spatiale-concentrations-pm10-autour-sites-proximite-automobile-mise->



## METHODOLOGIE

Les résultats présentés ci-dessous ont été obtenus lors d'une campagne de mesures réalisée à Douai-Dorignies (station d'observation de l'Ecole des Mines de Douai) de février à avril 2012, à l'aide d'un analyseur de type FIDAS modèle 200 de chez PALAS® (appelé simplement FIDAS dans la suite de la présente note).

**FIDAS 200.** Le FIDAS 200 est un spectromètre optique permettant de compter l'aérosol atmosphérique par classes de tailles (de 0.19 à 105  $\mu\text{m}$ ). Son principe de fonctionnement est détaillé en Annexe 1. En routine, le FIDAS permet également une estimation en temps réel des fractions  $\text{PM}_{10}$  et  $\text{PM}_{2.5}$ .

Cet analyseur automatique a été installé dans un coffret extérieur spécifique (IP65) fourni par le constructeur sur le toit de la station de l'Ecole des Mines de Douai. Sa ligne d'échantillonnage comporte une régulation en temps réel de l'humidité relative par le biais d'une ligne chauffée asservie au taux d'humidité mesuré, de telle façon que celui-ci n'excède pas le taux de 65% dans l'échantillon.



Figure. 1 : photo de l'analyseur type FIDAS 200

**Méthode de référence.** Les prélèvements sur filtre et mesures gravimétriques ont été réalisés par l'INERIS selon les normes NF EN 12341 et 14907 en vigueur respectivement pour les  $\text{PM}_{10}$  et  $\text{PM}_{2.5}$ , ainsi que dans l'esprit du document normatif en préparation visant à réviser et unifier ces deux normes.

Ces prélèvements ont été effectués à un débit de  $2,3\text{m}^3/\text{h}$  sur filtres en PTFE (de type Teflo, porosité  $2\mu\text{m}$  et de marque PALL), à l'aide d'un préleveur séquentiel de marque FAI et de type *Hydra dual sampler* installé en extérieur au sein de son propre caisson climatisé, permettant le stockage des filtres échantillonnés à une température inférieure à  $20^\circ\text{C}$ . L'utilisation de cet instrument, homologué pour la mesure de référence des  $\text{PM}_{10}$  et  $\text{PM}_{2.5}$  et possédant deux lignes de prélèvements fonctionnant en parallèle, a permis la collecte de ces deux fractions granulométriques à l'aide d'un seul instrument entre le 9 février et le 21 mars. Seuls les prélèvements en  $\text{PM}_{10}$  ont ensuite été poursuivis jusqu'au 16 avril.

## COMPARAISON PAR RAPPORT A LA METHODE DE REFERENCE

Les mesures automatiques ont été comparées aux mesures de référence à l'aide de régressions linéaires orthogonales selon les recommandations du groupe de travail WG15 du CEN/TC 264 (cf. Spécification Technique sur les méthodes automatiques de mesure de PM, en cours d'élaboration) et en utilisant le protocole de traitement de données élaboré par le RIVM en complément du guide Européen de démonstration d'équivalence<sup>3</sup>.

Au total, 59 paires de données valides PM<sub>10</sub> et 42 paires de données valides PM<sub>2.5</sub> ont pu être obtenues pour comparaison par rapport à la méthode de référence.

Les figures 2 et 3 présentent les variations temporelles des concentrations journalières en PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub> mesurées lors de la campagne. Une vingtaine de dépassements du seuil journalier de 50µg/m<sup>3</sup> ont été enregistrés sur la période d'étude, en particulier aux alentours de la première quinzaine de février puis lors d'une série d'épisodes compris entre début mars et début avril. Les résultats de spéciation chimique réalisée sur des filtres prélevés simultanément sur un site de fond urbain à proximité (station de Lens) dans le cadre du programme CARA du LCSQA indiquent une influence majeure de la fraction organique provenant notamment du chauffage au bois lors des pics de PM du mois de février puis de la fraction inorganique secondaire (dont nitrate d'ammonium) lors des premiers pics printaniers.

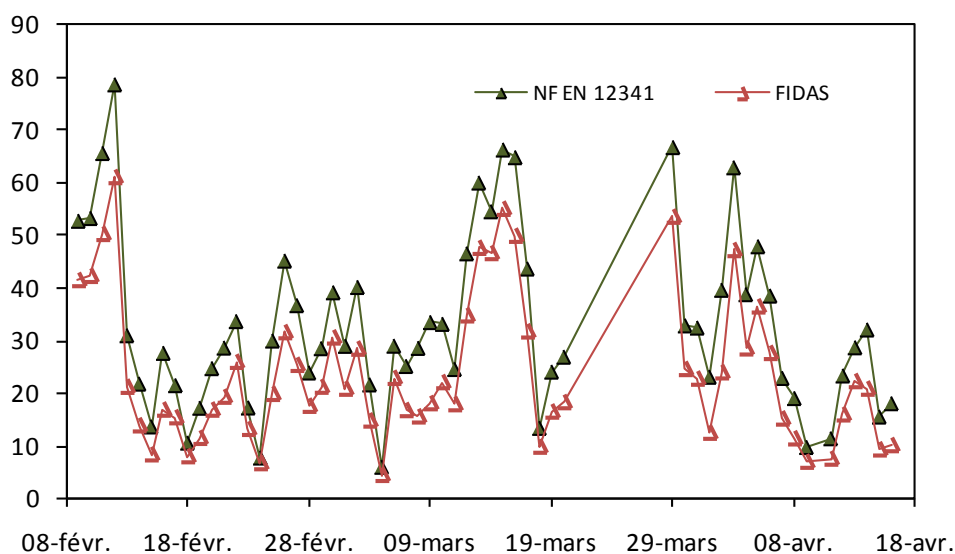


Figure. 2 : suivi temporel des concentrations journalières en PM<sub>10</sub>

<sup>3</sup> Disponibles sur le site: <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/legislation/assessment.htm>



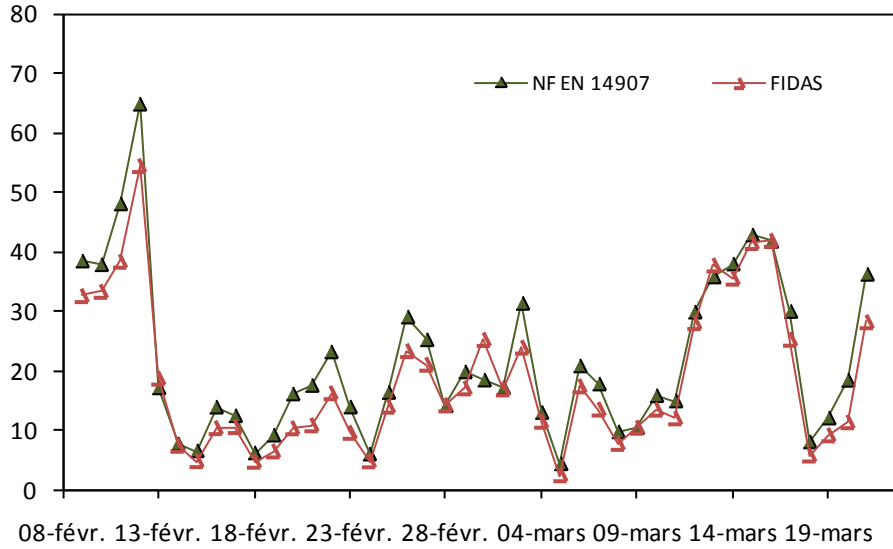


Figure. 3 : suivi temporel des concentrations journalières en  $PM_{2,5}$

Les régressions linéaires orthogonales obtenues par comparaison du FIDAS à la méthode de référence en  $PM_{10}$  et  $PM_{2,5}$  sont présentées sur les figures 4 et 5.

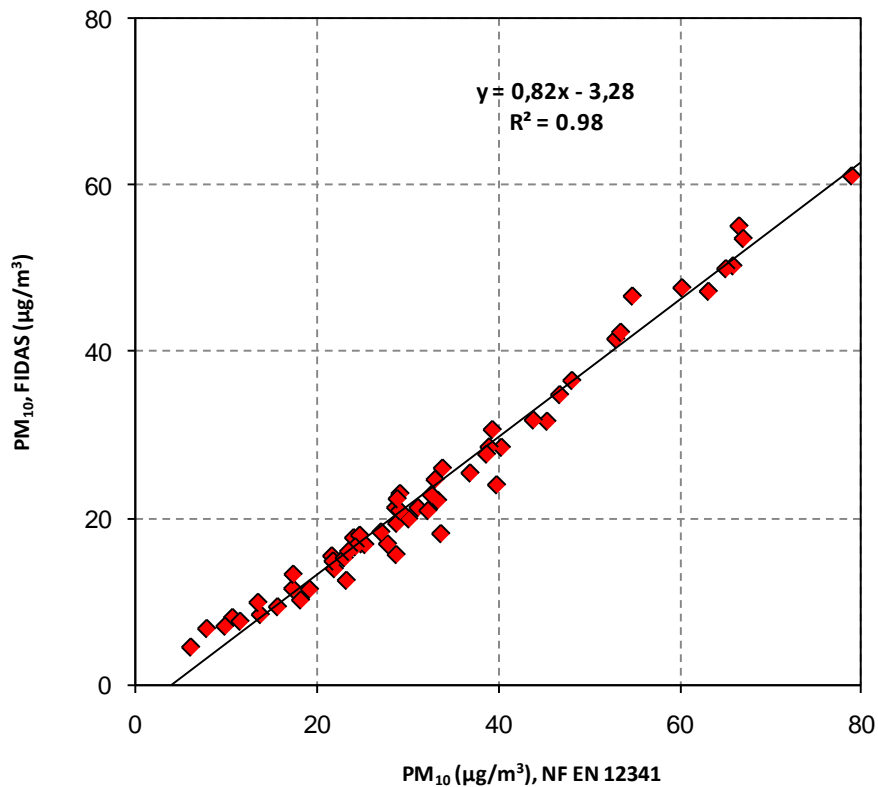


Figure 4 : Comparaison des mesures par FIDAS en  $PM_{10}$  à la méthode de référence.

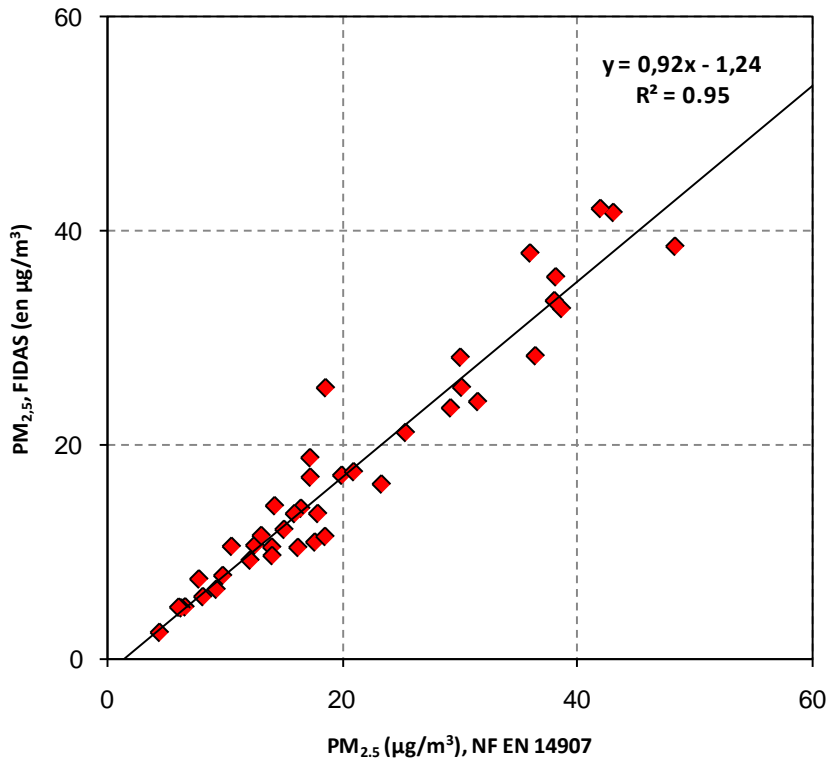


Figure 5 : Comparaison des mesures par FIDAS en PM<sub>2.5</sub> à la méthode de référence.

Le FIDAS présente des résultats globalement satisfaisants par rapport à la méthode de référence, avec des coefficients de corrélation de 0,98 et 0,95 respectivement en PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub>. Cependant, en tenant compte également de l'ordonnée à l'origine, une sous-estimation globale de l'ordre de 20% sur les PM<sub>10</sub> et de 10% en PM<sub>2.5</sub> est observée. Cette sous-estimation pourrait provenir du principe de mesure des appareils optiques (qui ne mesurent directement que le nombre de particules par classes de taille). En effet, pour estimer une concentration massique à l'aide de ce type d'instruments, il est nécessaire de réaliser des hypothèses, notamment concernant la masse volumique de l'aérosol, au sein d'un algorithme de calcul permettant de passer d'une concentration en nombre à une concentration massique. Ce dernier s'appuie généralement sur une densité moyenne (paramétrable) fixée à l'avance selon la nature de l'aérosol attendue et non pas actualisée en temps réel au cours des mesures. Cela peut engendrer des sous ou sur estimations de concentrations massiques dans le cas où la nature de l'aérosol est très variable (peu ou beaucoup d'espèces semi-volatiles, par exemple).

Ces résultats ont été communiqués au constructeur (PALAS®) qui a constaté, au vu des données brutes, une déviation de calibration se traduisant par un décalage granulométrique (environ -3 à -9 canaux au lieu de +/- 3.5 canaux requis) et pouvant expliquer les sous-estimations observées. En effet, une mauvaise classification des particules en nombre impacte directement l'estimation des concentrations massiques résultantes (particules plus grosses classées par exemple dans des niveaux de taille plus petits, les particules de petit diamètre pesant « peu » en masse contrairement aux particules de diamètre plus important).

Sur le même jeu de données brutes, le constructeur a, par solution de calcul intégrant cette dérive, obtenu un jeu de données corrigés, présentant un meilleur accord avec la méthode de référence (cf. Annexe 2). Une mauvaise compréhension du code d'erreur associé à la dérive de calibration a pu ainsi engendrer une sous-estimation des concentrations massiques des PM lors des tests présentés ci-dessus. Par retour d'expérience et échange avec le fournisseur, il est donc recommandé de procéder à une calibration mensuelle ou à minima avant toute nouvelle campagne de mesures, plutôt qu'à une calibration annuelle comme initialement préconisé par le constructeur, afin d'éviter une éventuelle dérive de calibration qui entrainerait de mauvaises estimations des concentrations massiques.

Par ailleurs, une synthèse des résultats obtenus lors d'essais réalisés par le LCSQA/INERIS lors de la réception technique du FIDAS est également présentée en Annexe 3. Lors de ces tests, le FIDAS a été comparé à un TEOM-FDMS, sur le site de l'INERIS (Verneuil en Halatte), dans un moyen mobile (remorque), avec des résultats globalement satisfaisants.

Enfin, il est à retenir que des campagnes de démonstration d'équivalence sont actuellement en cours (TüV). Dans l'attente de leurs résultats, le LCSQA/INERIS continuera dès que possible des essais avec le FIDAS afin de compléter ce retour d'expérience et voir s'il peut constituer une alternative technique aux méthodes automatiques actuellement homologuées.

## **LISTE DES ANNEXES**

	<b>Désignation</b>	<b>Nombre de pages</b>
Annexe 1	Principe de fonctionnement du FIDAS 200	1
Annexe 2	Résultats des mesures post-traitées par PALAS®	2
Annexe 3	Résultats des mesures 2011 à l'INERIS lors de la réception technique du FIDAS 200	1



# Annexe 1

## Principe de fonctionnement du FIDAS<sup>4</sup>

### Présentation

Le **FIDAS** est un spectromètre optique de très haute résolution permettant de classifier l'aérosol atmosphérique en plusieurs classes de tailles. En routine, le **FIDAS** mesure en temps réel les fractions conventionnelles PM-10, PM-4.0, PM-2.5 et PM-1.0.

[...]

### Principe de mesure

Le spectromètre **FIDAS** utilise la lumière diffusée par les poussières pour déterminer leur taille. Le principe du comptage de particules repose sur le fait que les particules traversent une à une le faisceau lumineux et que la densité lumineuse est homogène dans le volume de mesure. Ce principe est largement utilisé pour le comptage des particules, mais PALAS utilise plusieurs techniques pour affranchir le comptage des artefacts couramment rencontrés sur les compteurs de particules à diode laser :

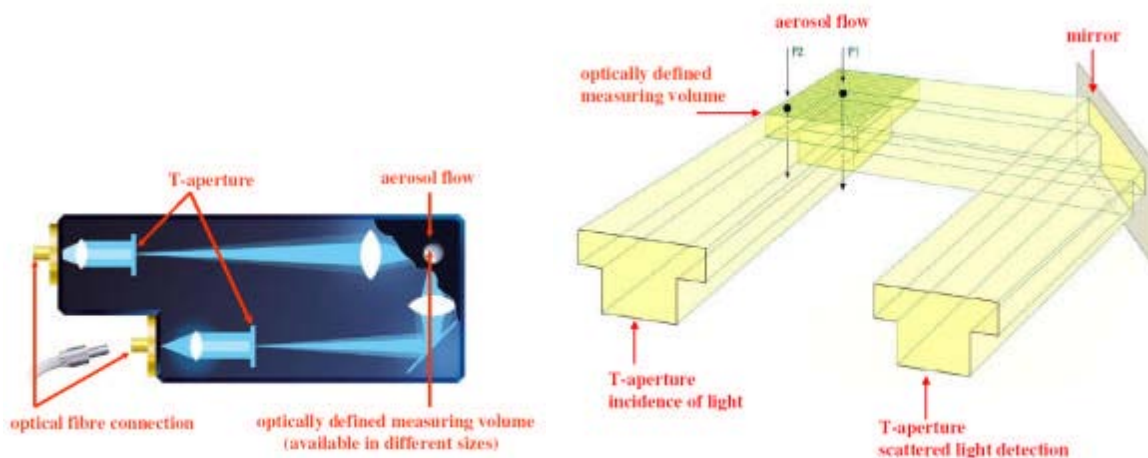
#### *Utilisation d'une source lumineuse en « lumière blanche » avec détection à 90°*

**FIDAS** utilise une LED émettant un rayonnement « blanc » de très haute puissance.

La lumière diffusée est détectée à 90° du faisceau incident. Cette technique offre une courbe de calibration claire pour des indices de réfraction différents, ce qui n'est pas le cas quand une diode laser est utilisée. La détection à 90° permet une mesure précise et sans ambiguïté dans la gamme 0.7 µm à 2 µm, ce qui n'est pas le cas pour des cellules détectant la lumière à 180°

#### *Illumination homogène du volume de mesure par diaphragme en T*

La mesure de la taille d'une particule traversant un faisceau lumineux ne peut être précise que si l'intensité du faisceau est homogène sur tout le volume de mesure que traverse la particule. La distribution gaussienne de puissance d'un faisceau laser ne permet pas d'obtenir une homogénéité suffisante sur tout le volume de mesure et induit donc des erreurs d'appréciation de la taille sur les bords du faisceau appelées « border zone error ». Pour éviter cette erreur le **FIDAS** utilise un diaphragme en T qui permet de s'affranchir de plusieurs artefacts (voir notes techniques **FIDAS**) en séparant géométriquement la zone homogène du faisceau de la zone inhomogène « border zone ».



[...]

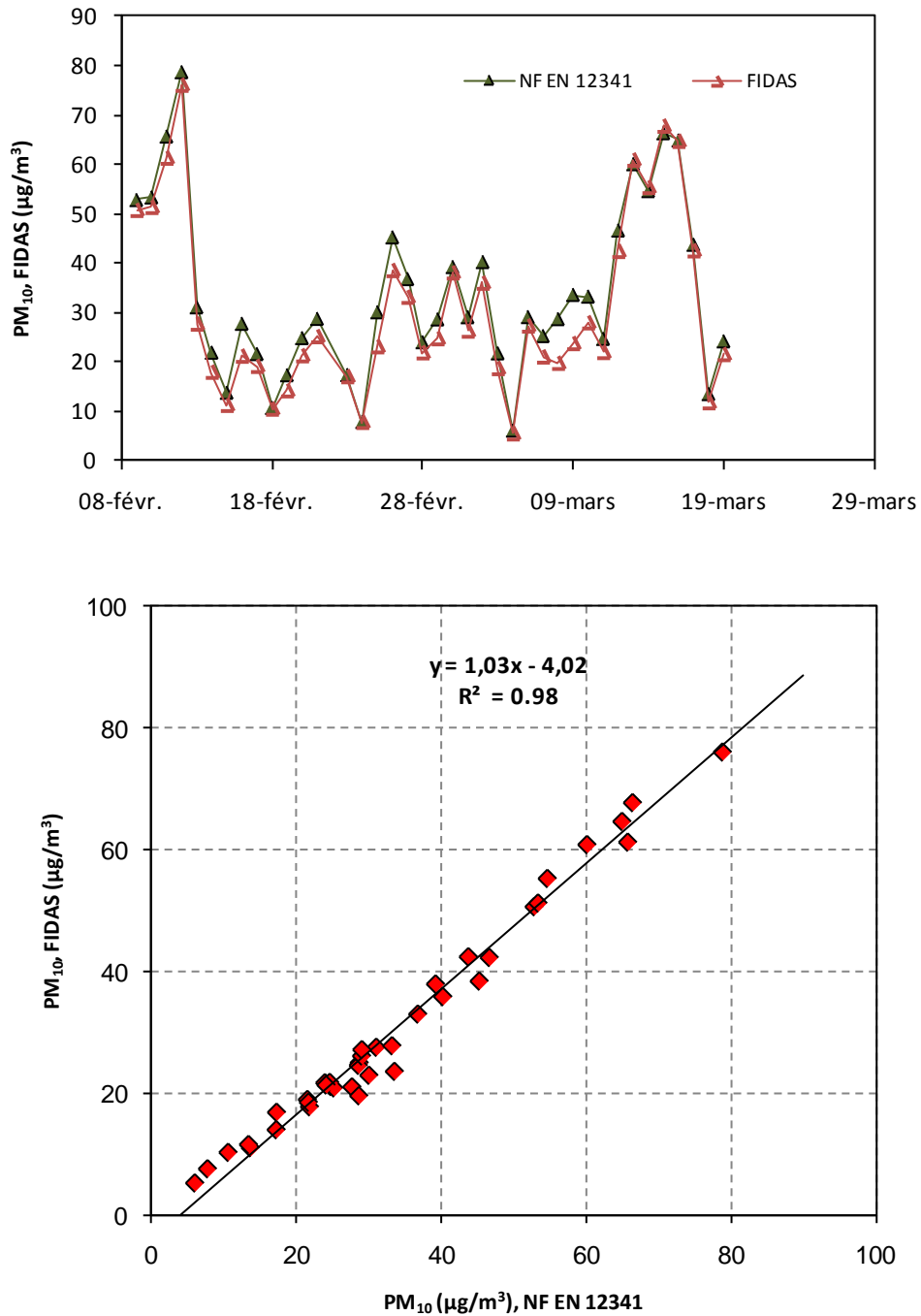
<sup>4</sup> Source : extraits de la plaquette de présentation *Ecomesure*



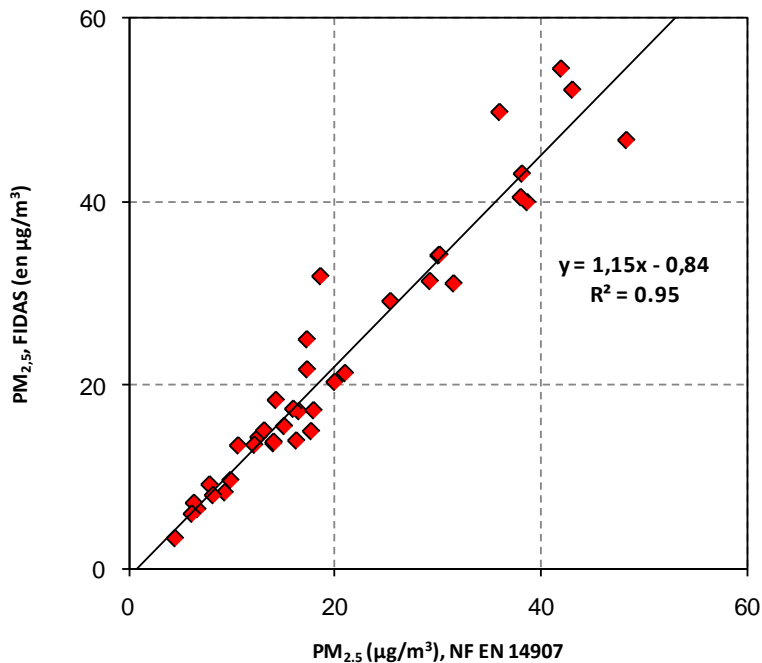
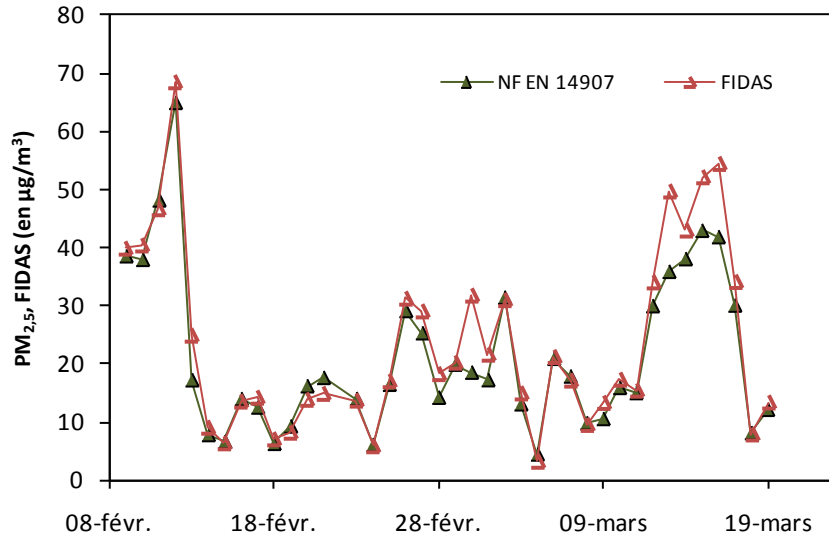


## Annexe 2

### Résultats des mesures post-traitées par PALAS®



**Figure 6 :** Comparaison des mesures FIDAS modifiées en PM<sub>10</sub> à la méthode de référence.



**Figure 7** : Comparaison des mesures FIDAS modifiées en  $PM_{2.5}$  à la méthode de référence

La correction apportée par le constructeur est satisfaisante en  $PM_{10}$  (figure 6) : légère surestimation de 3% au lieu d'une sous-estimation de 18%. Mais dégrade le résultat en  $PM_{2.5}$  (figure 7) : majoration de 15% des concentrations.

Ce constat pose la question quant à la pertinence d'un post-traitement de données, cause possible de mauvaise interprétation. Les solutions instrumentales permettant la mesure automatique et en temps réel des PM actuellement utilisées ne nécessitent pas de post-traitement des données. Par analogie et afin de ne pas cumuler les risques de sous ou surestimation des concentrations massiques (influence de la nature de l'aérosol prélevé), il faudra donc plutôt s'assurer du bon fonctionnement de l'analyseur (pas de déviation de la calibration), permettant ainsi de traiter directement ses résultats, plutôt que d'utiliser une solution mathématique.

### Annexe 3

#### Résultats des mesures 2011 à l'INERIS lors de la réception technique du FIDAS

