



Association Calédonienne de Surveillance de la Qualité de  
l'Air

# Détermination de la fraction PM10 de poussières en suspension

A) Bilan des mesures TEOM/TEOM-FDMS (2009-  
2011)

B) Etude comparative des analyseurs  
TEOM / TEOM-FDMS / SWAM



*Rapport d'étude - septembre 2012*



## Conditions de diffusion

SCAL-AIR est l'association de surveillance de la qualité de l'air en Nouvelle-Calédonie. Elle a pour missions principales la surveillance de la qualité de l'air et l'information du public et des autorités compétentes, par la publication de résultats sous forme de communiqués, bulletins, rapports et indices quotidiens.

A ce titre et compte tenu de son objet statutaire à but non lucratif, SCAL-AIR se veut garante de la transparence de l'information concernant ses données et rapports d'études.

Toute utilisation partielle ou totale de ce document est libre, et doit faire référence à l'association SCAL-AIR et au titre du présent rapport.

Les données contenues dans ce rapport restent la propriété de SCAL-AIR.

Les données corrigées ne seront pas systématiquement rediffusées en cas de modifications ultérieures.

SCAL-AIR ne peut en aucune façon être tenue responsable des interprétations, travaux intellectuels, publications diverses résultant de ses travaux pour lesquels l'association n'aurait pas donné d'accord préalable.

## Intervenants

- *Intervenants techniques :*
  - Supervision technique : Alexandre TCHIN
  - Assistance technique : Manuel MARQUIS, Sylvain GLEYE, Dominique BLANC, Jacques SANON
  
- *Intervenants études :*
  - Rédaction rapport / coordination : Sylvain GLEYE
  - Tiers examens du rapport : Alexandre TCHIN
  - Approbation finale : Eric LE PLOMB



# SOMMAIRE

<b>SOMMAIRE .....</b>	<b>5</b>
<b>LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES UTILISES .....</b>	<b>7</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX .....</b>	<b>7</b>
<b>LISTE DES GRAPHIQUES .....</b>	<b>7</b>
<b>LISTE DES FIGURES.....</b>	<b>8</b>
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>10</b>
<b>PARTIE A : BILAN DES MESURES EFFECTUEES PAR TEOM ET TEOM-FDMS SUR LA PERIODE 2009 – 2011. 11</b>	
<b>A.1. PRESENTATION DE L'ETUDE.....</b>	<b>12</b>
A.1.1. LES PARTICULES PM10 .....	12
A.1.2. LES ANALYSEURS OU APPAREILS DE MESURE DE PM10.....	13
A.1.3. CONTEXTE REGLEMENTAIRE EUROPEEN ET NORMES SUR LA MESURE DES PARTICULES PM10 .....	14
<b>A.2. RESULTATS ET COMMENTAIRES .....</b>	<b>15</b>
A.2.1. BILAN DE FONCTIONNEMENT DES ANALYSEURS TEOM ET TEOM-FDMS (2009-2011) .....	15
A.2.2. ANALYSE DES CONCENTRATIONS MESUREES PAR TEOM ET TEOM-FDMS (2009-2011).....	16
A.2.2.1. moyennes mensuelles .....	16
A.2.2.2. moyennes journalières .....	18
A.2.2.3. analyse des concentrations par gamme .....	20
A.2.2.4. études des coefficients d'ajustement entre TEOM et TEOM-FDMS.....	21
A.2.3. DISCUSSION ET INTERPRETATION DE LA DERIVE DU TEOM-FDMS ENTRE 2009 ET 2011. ....	23
<b>A.3. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES .....</b>	<b>25</b>
<b>PARTIE B : ETUDE COMPARATIVE DES ANALYSEURS TEOM, TEOM-FDMS ET SWAM .....</b>	<b>26</b>

<b>B.1 CONTEXTE DE L'ETUDE COMPARATIVE TEOM / TEOM-FDMS / SWAM .....</b>	<b>28</b>
<b>B.2. RESULTATS ET COMMENTAIRES .....</b>	<b>29</b>
B.2.1. BILAN DE FONCTIONNEMENT DES ANALYSEURS TEOM / TEOM-FDMS / SWAM DURANT LA PERIODE D'ETUDE.....	29
<i>NB : LE SWAM NE PERMET PAS D'OBTENIR DES VALEURS HORAIRES. ....</i>	<i>29</i>
B.2.2. ANALYSE DES CONCENTRATIONS MESUREES PAR TEOM / TEOM-FDMS / SWAM (JUILLET 2011) .....	30
<i>B.2.2.1. moyennes journalières .....</i>	<i>30</i>
<i>B.2.2.2. études des coefficients d'ajustement.....</i>	<i>31</i>
<b>B.3. DISCUSSIONS, CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES .....</b>	<b>33</b>

# Liste des sigles et acronymes utilisés

- AASQA : Association Agrée de Surveillance de la Qualité de l’Air
- FDMS : Filter Dynamics Measurement System
- INERIS : Institut National de l’Environnement Industriel et des Risques
- LCSQA : Laboratoire Centre de Surveillance de la Qualité de l’Air
- PM10 : particules fines en suspension dont le diamètre est inférieur à 10  $\mu\text{m}$
- TEOM : Tapered Element Oscillating Microbalance
- $\mu\text{g}/\text{m}^3$  : microgramme par mètre cube.

# Liste des tableaux

Tableau 1 : caractéristique des analyseurs de poussières PM10 utilisés à Nouméa .....	13
Tableau 2 : statistiques des mesures effectuées par TEOM et TEOM-FDMS sur la station du Faubourg Blanchot entre 2009 et 2011 .....	15
Tableau 3 : écarts des concentrations mesurées par TEOM et TEOM-FDMS par gamme .....	20
Tableau 4 : coefficients d’ajustement.....	22
Tableau 5 : statistiques des mesures effectuées par TEOM et TEOM-FDMS sur la station du Faubourg Blanchot entre 2009 et 2011 .....	29
Tableau 6 : coefficients d’ajustement et de corrélation .....	32

# Liste des graphiques

Graphique 1 : moyennes mensuelles des concentrations en particules PM10 par an - TEOM / FDMS .....	16
Graphique 2 : moyennes journalières des concentrations en particules PM10 par an - TEOM / FDMS et boîtes à moustache.....	18
Graphique 3 : Droites de régression linéaire - moyennes horaires - 2009, 2010 et 2011.....	21
Graphique 4 : moyennes journalières des concentrations en particules PM10 par an - TEOM / TEOM-FDMS / SWAM et boîtes à moustache (juillet 2011).....	30
Graphique 5 : Droites de régression linéaire sur les moyennes journalières SWAM/TEOM et SWAM/TEOM-FDMS - juillet 2011.....	31

# Liste des figures

Figure 1 : station du Faubourg Blanchot - analyseurs TEOM simple et TEOM-FDMS.....	14
Figure 2 : légende boîte à moustache.....	18
Figure 3 : légende boîte à moustache.....	30





# Introduction

SCAL-AIR, association de surveillance de la qualité de l'air en Nouvelle-Calédonie, assure le suivi de la qualité de l'air à Nouméa depuis 2007.

Le réseau est composé de quatre stations fixes qui mesurent en continu les niveaux des quatre principaux polluants règlementés au niveau européen, le dioxyde de soufre, le dioxyde d'azote, l'ozone et les particules fines en suspension PM10 (dont le diamètre est inférieur à 10 µm). A cela s'ajoutent des points de mesure complémentaires dans le cadre du déploiement du laboratoire mobile (depuis 2010).

La mesure des particules PM10 sur les stations de Nouméa se fait par trois types d'appareil, le TEOM de marque Thermo, le TEOM-FDMS de marque Thermo, et le SWAM de marque FAI.

Ces trois appareils sont équipés de tête de prélèvements conformes à la norme EN 12341.

Les quatre stations fixes de mesure sont équipées de TEOM depuis leur mise en service en 2007. L'acquisition et l'installation d'un TEOM-FDMS sur le site du Faubourg Blanchot ont été effectuées en 2009. Cet appareil est une évolution du TEOM, et remplace progressivement ces appareils en métropole depuis 2007 suite à l'évolution des réglementations européenne et française.

Un analyseur de type SWAM équipe le laboratoire mobile. Cet appareil permet, en sus de mesurer les particules PM10, de prélever ces mêmes poussières sur filtre dans l'optique d'analyser leurs compositions.

***L'objectif de cette étude est de comparer les valeurs mesurées par ces différents appareils au même endroit afin d'identifier les écarts attendus ou inattendus et d'apprécier les éventuelles équivalences entre ces appareils de manière expérimentale et dans des conditions réelles de mesure sur Nouméa.***

**Plan du rapport d'étude :**

- **PARTIE A : Bilan des mesures effectuées par TEOM et TEOM-FDMS sur la période 2009 – 2011**
- **PARTIE B : Etude comparative des analyseurs TEOM, TEOM-FDMS et SWAM**

# PARTIE A : Bilan des mesures effectuées par TEOM et TEOM-FDMS sur la période 2009 – 2011

# A.1. Présentation de l'étude

## A.1.1. Les particules PM10

Particules en suspension PM10 mesurées sont les poussières d'un diamètre inférieur à 10 micromètres. Leur nature est très hétérogène, selon les sources d'émission (naturelles ou humaines).

On y retrouve principalement des éléments minéraux liés à l'érosion de matériaux (sols, bâtiments), des particules liées à la combustion des matières fossiles, au transport automobile (gaz d'échappement, usure, frottements...) et aux activités industrielles diverses (sidérurgie, incinération...).

Sur l'ensemble des PM10, les PM2.5 sont les particules les plus dangereuses pour la santé, car du fait de leur diamètre très petit (inférieur à 2.5  $\mu\text{m}$ ), elles pénètrent plus profondément l'appareil respiratoire.

A Nouméa, les valeurs maximales horaires et journalières sont généralement liées à des conditions de vents favorisant l'accumulation ou la dispersion des émissions industrielles vers les points de mesure.

## A.1.2. Les analyseurs ou appareils de mesure de PM10

Tableau 1 : caractéristique des analyseurs de poussières PM10 utilisés à Nouméa

	<b>TEOM 1400</b>	<b>TEOM-FDMS 8500</b>	<b>SWAM</b>
<b>MARQUE</b>	• THERMO	• THERMO	• FAI
<b>PRINCIPE DE MESURE</b>	• Microbalance	• Microbalance + Filtre de purge refroidi à 4°C	• Jauge Bêta (3.7 10 <sup>6</sup> Beq) Mesure sur filtre (Whatman GF10 - fibre de verre)
<b>TETE DE PRELEVEMENT de poussières</b>	• US-EPA	• US-EPA	• LVS-PM10
<b>NORME DE REFERENCE</b>	• US-EPA	• US-EPA	• NF EN 12 341
<b>DEBIT</b>	• 1 m <sup>3</sup> /h	• 1 m <sup>3</sup> /h	• 2.3 m/h
<b>PAS de la mesure (fréquence)</b>	• Quart horaire	• Quart horaire	• Paramétrable : 8h ou 24h ou plus
<b>REPARTITION des analyseurs sur les sites de mesure de Nouméa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Logicoop depuis 2007</li> <li>• Montravel depuis 2007</li> <li>• Faubourg Blanchot depuis 2007</li> <li>• Anse Vata depuis 2007</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Faubourg Blanchot depuis aout 2009</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laboratoire mobile depuis 2010</li> </ul>

### A.1.3. Contexte réglementaire européen et normes sur la mesure des particules PM10

La directive 1999/30/CE définit la surveillance des particules ou poussières fines en suspension dans l'air de type PM10.

Elle précise que la méthode de mesure doit correspondre à la norme EN12341 relative à la détermination de la fraction PM10 de matière particulaire en suspension.

Le principe de la mesure est fondé sur la collecte de la fraction PM10 des particules ambiantes sur un filtre et la détermination de la masse gravimétrique.

Selon la directive, toute autre méthode dont l'Etat membre de l'Union Européenne peut prouver qu'elle donne des résultats équivalents à ceux de la méthode susvisée, ou toute autre méthode dont l'Etat membre concerné peut prouver qu'elle présente un rapport constant avec la méthode de référence peut être utilisé. Dans ce cas, la directive précise que les résultats obtenus par la nouvelle méthode doivent être corrigés par un facteur approprié pour produire des résultats équivalents à ceux qui auraient été obtenus en utilisant la méthode de référence.

Rapidement, des écarts de mesures entre les différents appareils utilisés en Europe ont été mis en évidence, ce qui a amené à l'évolution des appareils de mesure.

En France, le TEOM, appareil de marque *Thermo*, a été largement répandu dans les réseaux de surveillance de la qualité de l'air (AASQA) et a révélé une non-prise en compte de la fraction volatile des PM10 dans la mesure.

En parallèle, un module ajouté au Teom, le FDMS (Filter Dynamics Measurement System), permettant de mesurer cette fraction volatile, a été développé par la société *Thermo*.

Les travaux du Laboratoire Centre de Surveillance de la Qualité de l'Air (LCSQA) ont permis de démontrer l'équivalence du TEOM-FDMS à la méthode de référence décrite par la norme EN12341, si bien que dès 2007, le module FDMS a commencé à être intégré par les réseaux de surveillance français.

Les études comparatives entre le TEOM et le TEOM-FDMS montrent que la concentration en PM10 affichée par TEOM doit être multipliée d'un facteur 1.3 à 1.4 pour correspondre à la mesure du FDMS.

SCAL-AIR, de manière à s'adapter à l'évolution de la mesure des PM10, a acquis un TEOM-FDMS dès sa deuxième année de fonctionnement en 2009.

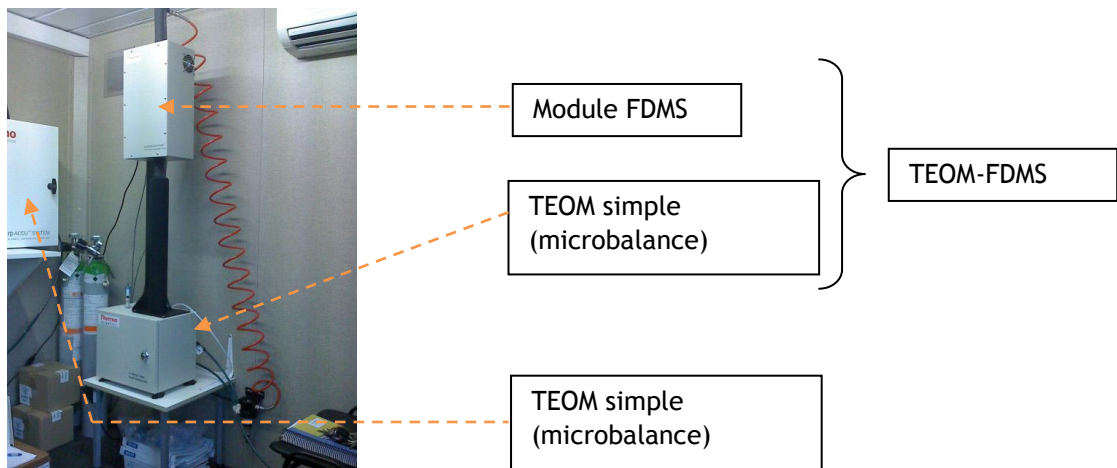


Figure 1 : station du Faubourg Blanchot - analyseurs TEOM simple et TEOM-FDMS

## A.2. Résultats et commentaires

### A.2.1. Bilan de fonctionnement des analyseurs TEOM et TEOM-FDMS (2009-2011)

Tableau 2 : statistiques des mesures effectuées par TEOM et TEOM-FDMS sur la station du Faubourg Blanchot entre 2009 et 2011

<b>2009 (08-&gt;12/2009)</b>	<b>TEOM</b>	<b>TEOM-FDMS</b>
Taux représentativité (%)	99.9	77.7
Moyenne globale - ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	16.7	19.0
Moyennes journalières maximales - ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	206	213
Moyennes horaires maximales - ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	536	560
<b>2010</b>	<b>TEOM</b>	<b>TEOM-FDMS</b>
Taux représentativité (%)	98.8	66.5
Moyenne globale - ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	15.6	22.6
Moyennes journalières maximales - ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	39	41
Moyennes horaires maximales - ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	134	142
<b>2011</b>	<b>TEOM</b>	<b>TEOM-FDMS</b>
Taux représentativité (%)	97.5	86.4
Moyenne globale - ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	14.7	28.3
Moyennes journalières maximales - ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	47	54
Moyennes horaires maximales - ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	209	227
<b>Août 2009 - 2011</b>	<b>TEOM</b>	<b>TEOM-FDMS</b>
Taux représentativité (%)	98.4	76.8
Moyenne globale - ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	15	25
Moyennes journalières maximales - ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	206	213
Moyennes horaires maximales - ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	536	560

*NB : en raison de problèmes techniques rencontrés sur la TEOM-FDMS, l'invalidation de valeurs et les valeurs en défaut ont conduit à des taux de représentativité inférieurs à 90 %.*

## A.2.2. Analyse des concentrations mesurées par TEOM et TEOM-FDMS (2009-2011)

### A.2.2.1. moyennes mensuelles

Graphique 1 : moyennes mensuelles des concentrations en particules PM10 par an - TEOM / FDMS (en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



*NB : en raison de problèmes techniques, aucune donnée n'est disponible pour le TEOM-FDMS en décembre 2009, de janvier à avril 2010, et en décembre 2011.*

Les concentrations mensuelles du TEOM-FDMS sont supérieures à celles du TEOM. La différence de concentrations entre TEOM-FDMS et TEOM correspond à la fraction volatile de particule PM10, qui n'est pas prise en compte par le TEOM.



On constate que l'écart des concentrations mensuelles entre TEOM et TEOM-FDMS s'accroît d'une année sur l'autre, avec des valeurs TEOM mensuelles stables.

Ce constat est a priori difficilement explicable : on peut émettre l'hypothèse d'une dérive du TEOM-FDMS au fil du temps.

La concentration en particules volatiles (différence entre valeurs TEOM-FDMS et valeurs TEOM) ne semble pas liée aux tendances saisonnières (saison fraîche et saison chaude).

### A.2.2.2. moyennes journalières

Graphique 2 : moyennes journalières des concentrations en particules PM10 par an - TEOM / FDMS (en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) et boîtes à moustache

2009 (aout – décembre)

2010

2011

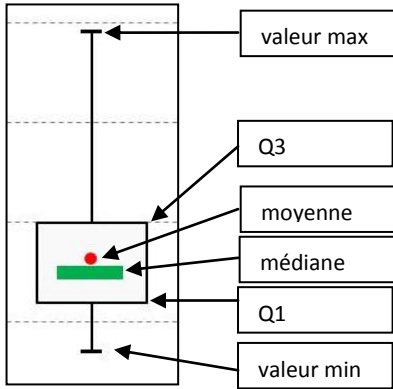
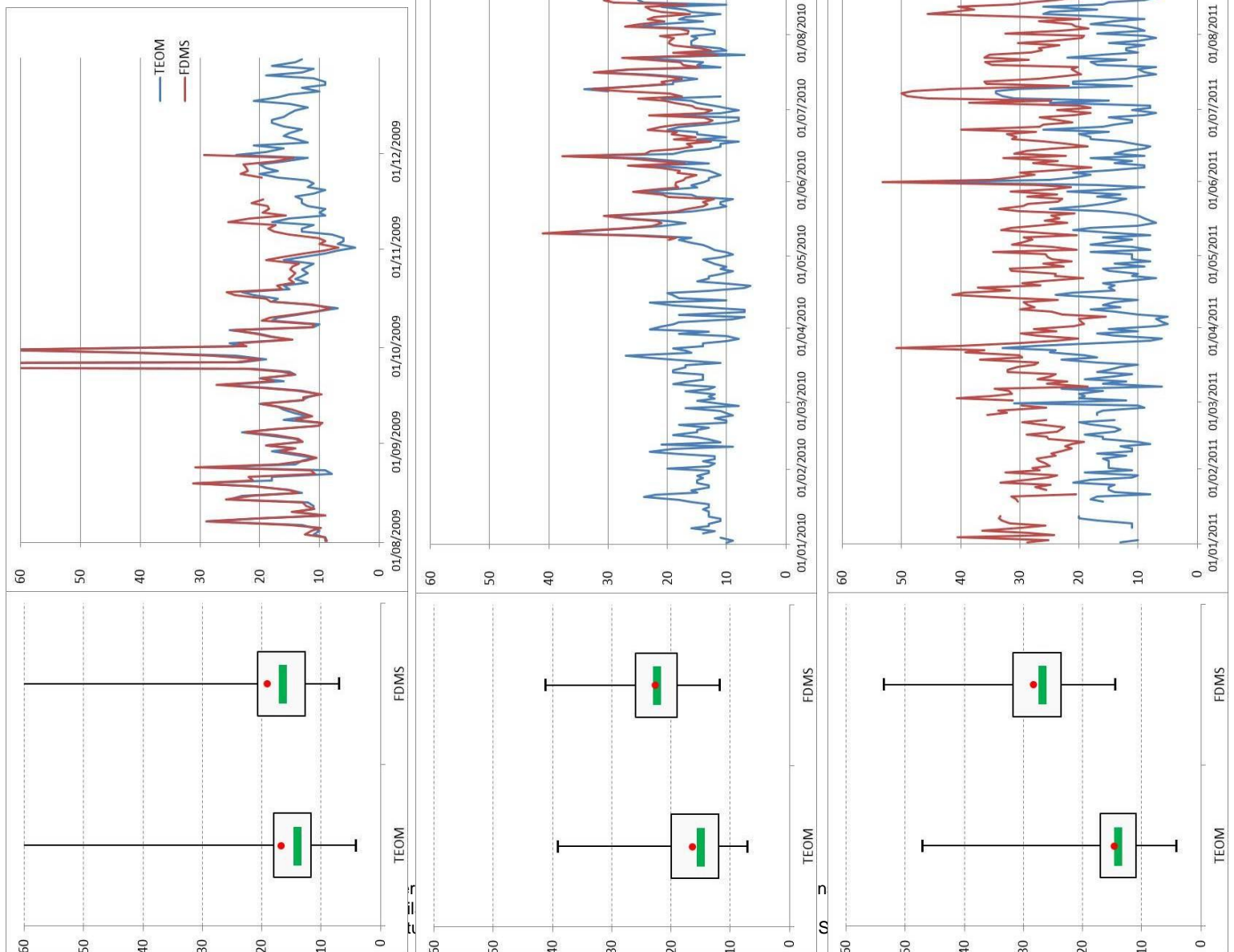


Figure 2 : légende boîte à moustache



Les écarts observés au niveau des moyennes mensuelles sont visibles au niveau des moyennes journalières.

Les graphiques boîtes à moustache permettent de visualiser :

- une distribution relativement stable des concentrations mesurées par TEOM sur 2009, 2010 et 2011 entre Q1 et Q3 (50 % des valeurs mesurées), qui sont comprises entre 10 et 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,
- une distribution irrégulière des concentrations mesurées par TEOM-FDMS sur 2009, 2010 et 2011 entre Q1 et Q3 (50 % des valeurs mesurées), qui sont comprises entre 10 et 21  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en 2009, 20 et 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en 2010 et 24 et 32  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en 2011,
- l'augmentation de l'écart globale entre les concentrations mesurées par TEOM et par TEOM-FDMS d'une année sur l'autre, à valeurs TEOM stable,
- l'influence significative des valeurs maximales observées en 2009 sur la moyenne globale : les moyennes TEOM et TEOM-FDMS sont nettement supérieures aux valeurs médianes, ce qui peut s'expliquer par les concentrations « record » mesurées en septembre 2009 à l'occasion de l'épisode des vents de sable australien.

### A.2.2.3. analyse des concentrations par gamme

L'analyse des écarts de concentrations entre TEOM et TEOM-FDMS permet de visualiser le comportement du TEOM-FDMS selon les concentrations en poussières PM10 affichées par TEOM.

Le tableau suivant présente les écarts moyens, par an et par gamme de concentration (en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) entre les valeurs du TEOM et du TEOM-FDMS :

Tableau 3 : écarts des concentrations mesurées par TEOM et TEOM-FDMS par gamme

		< 10	>= 10 et < 20	>= 20 et < 30	>= 30 et < 40	>= 40 et < 50	>= 50 et < 60	>= 60 et < 70	>= 70 et < 80	> 80
2009 (08 - 12)	moyenne écart ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	1.30	1.96	3.71	2.92	2.95	3.09	3.48	2.40	9.87
	écart type	1.56	2.45	3.85	4.90	6.38	3.26	7.36	3.52	11.75
2010	moyenne écart ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	8.21	7.05	6.24	4.69	4.14	4.41	3.39	4.90	5.58
	écart type	4.12	4.44	4.59	3.98	3.07	2.96	2.49	/	2.62
2011	moyenne écart ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	14.51	13.69	14.06	14.12	13.11	15.08	13.62	22.73	23.02
	écart type	7.52	7.68	8.07	7.83	6.63	9.09	8.12	13.38	17.41

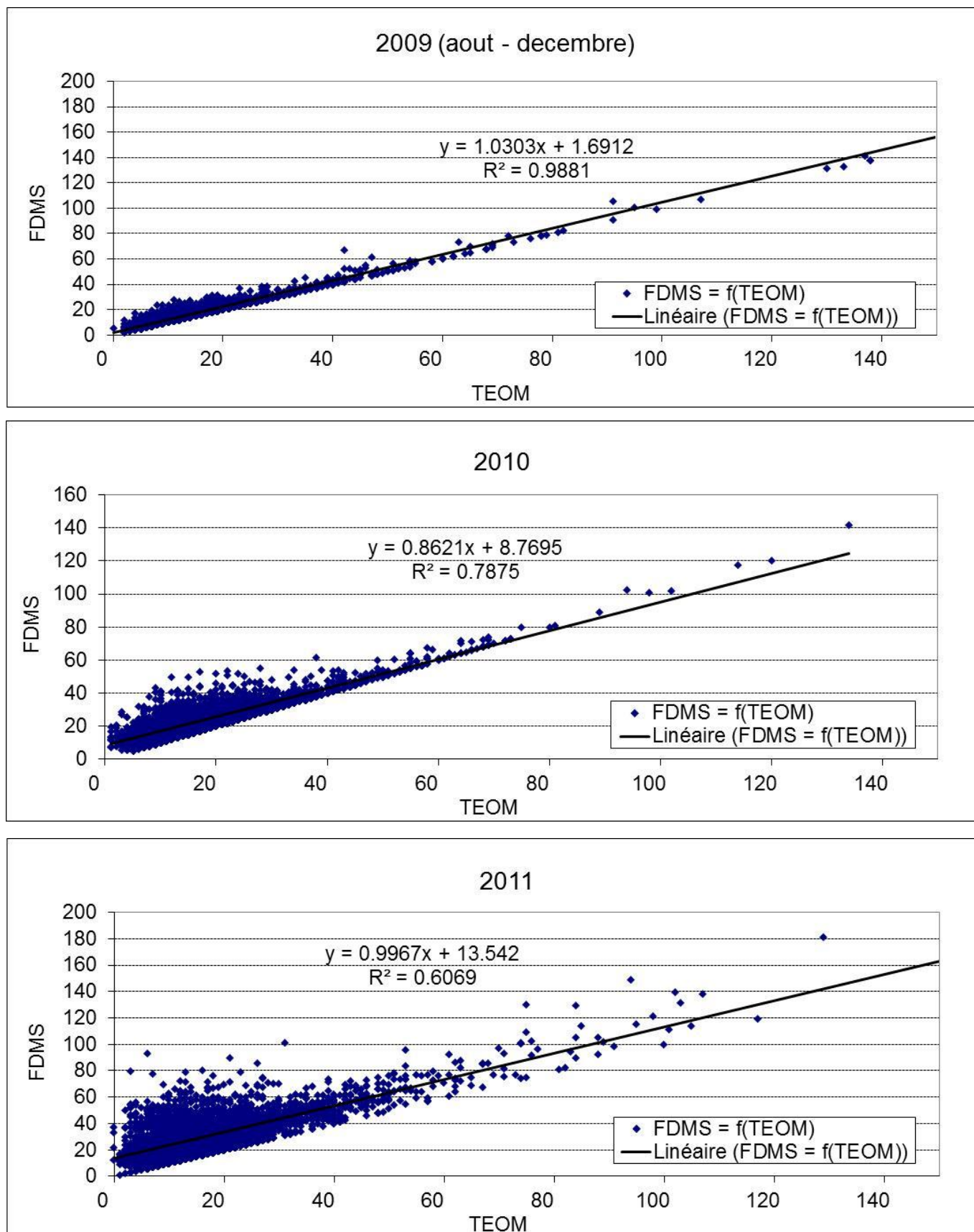
De manière générale, pour l'ensemble des gammes de mesure, les écarts entre valeurs TEOM et TEOM-FDMS augmentent d'une année sur l'autre, ce qui correspond à une dérive positive, lente et continue du module FDMS (voir détails des explications dans la partie A.2.3. *Discussion et interprétation des écarts mesurée entre TEOM et TEOM-FDMS* p.23).

Sur l'ensemble des années, les écarts entre les valeurs TEOM-FDMS et TEOM sont relativement stables en moyenne pour des gammes de concentrations de 10 à 60 - 70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ces écarts semblent s'accroître pour des concentrations supérieures à 60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Ce constat peut s'expliquer par une fraction volatile de particules plus importante pour les concentrations élevées, ce qui se traduit par une accentuation des écarts entre concentrations TEOM et TEOM-FDMS pour les valeurs supérieures à 70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

#### A.2.2.4. études des coefficients d'ajustement entre TEOM et TEOM-FDMS

Graphique 3 : Droites de régression linéaire - moyennes horaires - 2009, 2010 et 2011



La relation linéaire établie entre les concentrations horaires mesurées par TEOM-FDMS et celles mesurées par TEOM ( $[TEOM-FDMS] = a [TEOM] + b$ ) permet de visualiser les coefficients d'ajustement a et b. On observe que ces coefficients évoluent d'une année sur l'autre :

**Tableau 4 : coefficients d'ajustement**

	a	b
2009 (aout – dec.)	1.03	1.69
2010	0.86	8.78
2011	0.99	13.54

Le retour d'expérience des AASQA montrent des coefficients « a » proche de 1 et des coefficients « b » généralement proche ou supérieur à 3. Entre 2009 et 2011, l'augmentation du coefficient « b » traduit l'augmentation moyenne des écarts entre concentrations mesurées par TEOM-FDMS et par TEOM.

L'étude du coefficient de corrélation linéaire ( $R^2$ ) permet de visualiser la corrélation existant entre les variables de concentrations TEOM et TEOM-FDMS. La corrélation peut se représenter par l'intensité du lien reliant la variable des concentrations mesurées par TEOM et par TEOM-FDMS.

Plus le coefficient est proche de 1, plus la corrélation entre ces variables est forte. Un coefficient d'autant plus proche de 0 signifie que les concentrations sont d'autant moins corrélées.

Le coefficient de corrélation est très sensible à la présence de valeurs aberrantes ou extrêmes, ce qui dans notre cas peut correspondre à des écarts de concentrations entre TEOM et TEOM-FDMS très élevés ou très réduits (valeur éloignée de la majorité des autres).

Dans notre cas d'étude,  $R^2$  évolue de manière décroissante d'une année sur l'autre :

- 2009 (aout – déc.) : 0.99, proche de 1 ce qui marque une très bonne corrélation,
- 2010 : 0.79, ce qui reste proche de 1, et marque une bonne corrélation,
- 2011 : 0.61, ce qui signifie que les variables de concentrations sont moins corrélées que pour les années précédentes.

**En conclusion, l'augmentation du coefficient « b » et le constat de diminution de corrélation entre 2009 et 2011 peut s'expliquer par l'augmentation du nombre de valeurs extrêmes d'écart entre concentrations TEOM et TEOM-FDMS (valeur TEOM-FDMS très supérieures à celles affichées par le TEOM ou très proches de celles-ci).**

**Techniquement, ces écarts et leur fréquence croissante correspondent vraisemblablement à un dysfonctionnement du TEOM-FDMS.**

## A.2.3. Discussion et interprétation de la dérive du TEOM-FDMS entre 2009 et 2011.

Les publications récentes menées par le LCSQA et l'INERIS apportent des éléments de réponse à la dérive constatée des valeurs affichées par le TEOM-FDMS par rapport aux valeurs stables du TEOM simple. Les tests menés par MADININAIR (en Martinique) en collaboration avec l'INERIS et le LCSQA entre 2008 et 2010 ont notamment permis certaines avancées.

D'après l'étude de 2011<sup>1</sup> sur l'optimisation de l'utilisation des TEOM-FDMS et intégrant les tests de MADININAIR, plusieurs facteurs peuvent expliquer la dérive constatée :

- la baisse d'efficacité du sécheur du module FDMS, qui joue un rôle essentiel dans le bon fonctionnement de l'appareil.
- une perte de dépression dans le module FDMS
- l'influence de la température de la station (cabine contenant l'appareil)

Il a été observé que l'humidité de l'air favorise le vieillissement prématuré du sécheur. Entre autre, d'après le LCSQA, « l'efficacité du séchage est une grandeur importante puisqu'elle impacte directement la mesure de la masse, en particulier pour un aérosol humide »<sup>2</sup>.

En outre, « la légère surestimation de la concentration massique (du TEOM-FDMS) semble s'accroître à mesure de la dégradation des propriétés intrinsèques de séchage de la membrane *Nafion* »<sup>3</sup>.

De plus, il apparaît que « Les oscillations des températures de point de rosée échantillon sont corrélées aux oscillations constatées sur la température de la station. La température de fonctionnement des sécheurs FDMS a donc un impact direct sur l'efficacité de ces derniers et doit être surveillée/contrôlée attentivement, afin d'éviter un éventuel risque de surestimation de la concentration massique »<sup>4</sup>.

**Ces constats expliquent vraisemblablement la dérive constatée du TEOM-FDMS entre 2009 et 2011, au vu des conditions d'humidité de l'air importantes que connaît la Nouvelle-Calédonie, mais aussi du fait des écarts de températures liés à l'amplitude thermique jour/nuit notamment en été, et ceci, malgré la climatisation autorégulée de la station.**

A l'époque de l'acquisition du TEOM-FDMS, les chiffres concernant la durée de vie théorique du sécheur se situaient autour de 3 ans pour les métropoles et de 18 mois dans les AASQA des DOM-TOM.

Les études récentes recommandent aujourd'hui le changement du sécheur tous les 2 ans pour la métropole et tous les ans pour les DOM-TOM<sup>5</sup>.

Il faut préciser que de nombreux échanges techniques entre SCAL-AIR et le fournisseur du TEOM-FDMS (ECOMESURE) ont été opérés entre 2010 et 2011 : la constatation d'un défaut non bloquant du sécheur de l'appareil fin 2009 a conduit, sous consigne du fournisseur, à un nouveau paramétrage du TEOM-FDMS,

<sup>1</sup> LCSQA - INERIS. Métrologie des particules PM10 et PM2.5. Suivi et optimisation de l'utilisation des TEOM-FDMS : efficacité de séchage des modules FDMS. Programme 2011.

<sup>2</sup> Ibid. p. 15

<sup>3</sup> Ibid. p. 26

<sup>4</sup> Ibid. p. 29

<sup>5</sup> LCSQA - INERIS. Métrologie des particules. Suivi et optimisation de l'utilisation des TEOM-FDMS. Guide pour utilisation du TEOM-FDMS. Décembre 2010. P.16



ainsi qu'à l'installation d'une nouvelle pompe en mars 2010 pour assurer une dépression efficace du circuit fluide. L'influence de la dépression sur l'efficacité du sécheur a été confirmée par le LCSQA et l'INERIS : « une bonne dépression améliore le séchage, d'autant plus pour des valeurs d'humidité importantes »<sup>6</sup>.

En prévision, la commande d'un nouveau sécheur a été effectuée par SCAL-AIR en juillet 2010, avec une réception de la pièce fin décembre de la même année.

Dans un premier temps, il avait été décidé d'attendre l'évolution des valeurs du TEOM-FDMS en saison fraîche. Le changement du sécheur avait été planifié en août 2011.

Dans le même temps, des projets prioritaires ont dû mobiliser l'équipe en 2011<sup>7</sup>, ce qui a entraîné un report du changement du sécheur.

En parallèle, un nouveau défaut lié au refroidissement de l'échantillon d'air est apparu sur le TEOM-FDMS en décembre 2011. La pièce liée à cette panne a été reçue, après commande, en mai 2012.

**Une maintenance complète, intégrant le changement du sécheur et le changement de la pièce de refroidissement a pu être effectuée début juin 2012.**

**Suite au changement de pièces, il apparaît que la mesure du TEOM-FDMS ne présente plus de surestimation des valeurs par rapport au TEOM simple, mais une légère sous-estimation.**

**Fin 2012, une rencontre avec le fournisseur *ECOMESURE* est prévue pour tenter de solutionner les problèmes récurrents du TEOM-FDMS.**

---

<sup>6</sup> LCSQA - INERIS. Métrologie des particules PM10 et PM2.5. Suivi et optimisation de l'utilisation des TEOM-FDMS : efficacité de séchage des modules FDMS. Programme 2011. p. 15

<sup>7</sup> Premier raccordement métrologique avec l'ORA Réunion, formation du nouveau personnel technique recruté, intégration du réseau du Sud (VALE), déplacement d'une partie du personnel technique pour formation en métropole (ISEO et XR Alerte).



## A.3. Conclusions et perspectives

Cette étude dresse un premier bilan de l'exploitation du module TEOM-FDMS installé depuis mi-2009 sur la station de surveillance de la qualité de l'air du Faubourg Blanchot, en parallèle à un analyseur TEOM seul.

Des résultats satisfaisants ont été observés durant les premiers mois de mesure (2009) puis des dysfonctionnements plus ou moins fréquents sont apparus entre 2010 et 2011.

L'augmentation des écarts de valeurs entre les concentrations mesurées par TEOM et par TEOM-FDMS d'une année sur l'autre, à valeurs TEOM stables, et sur l'ensemble des gammes de concentrations, est liée à une dérive du module TEOM-FDMS au cours du temps, cette dernière s'expliquant, au regard des retours d'expériences (LCSQA, INERIS), par le vieillissement prématuré du sécheur du module FDMS en raison des forts taux d'humidité de l'air rencontré en Nouvelle-Calédonie.

**Pour l'heure, du fait de l'instabilité récurrente du TEOM-FDMS, il est impossible de définir des critères d'équivalence fixes entre le TEOM et le TEOM-FDMS sur le réseau de Nouméa.**

**Fin 2012, sera installé un second couple TEOM-FDMS sur la station de mesure de Montravel.**

**L'ajout de cet appareil permettra la mesure des particules PM10 par module TEOM-FDMS en deux points de la ville, au Faubourg Blanchot et à Montravel.**

**Il s'agira dans un premier temps de comparer les valeurs fournies par ces deux appareils, puis de corriger, dans la mesure du possible, les dysfonctionnements de l'appareil du Faubourg Blanchot.**

# PARTIE B : Etude comparative des analyseurs TEOM, TEOM-FDMS et SWAM



## B.1 Contexte de l'étude comparative TEOM / TEOM-FDMS / SWAM

Un analyseur de type SWAM 5a Dual Channel (appareil de marque FAI) équipe le laboratoire mobile mis en service depuis début 2010. Cet appareil permet de mesurer les particules PM10 tout comme le TEOM ou le TEOM-FDMS.

Le SWAM a fait l'objet de nombreux tests d'équivalence avec d'autres analyseurs de particules PM10, notamment en Europe (TÜV – Allemagne, ISSEEP – Belgique, GGD – Pays Bas...).

Il ressort de ces tests de longues discussions concernant le sujet de l'équivalence à la méthode de mesure de références pour les particules PM10 et PM 2.5 (norme NF EN 12341).

La comparaison du SWAM au MP101 par l'ISSEEP montre que les critères d'équivalence pour le SWAM sont remplis, avec l'application d'une règle corrective de type  $y=1.01*x-0.32$  et avec une incertitude aux valeurs limites de 6.53 %<sup>8</sup>.

L'étude comparative de différents analyseurs de particules PM10 menée par le GGD – Pays Bas conclue que le SWAM ne remplit pas totalement les critères d'équivalence<sup>9</sup>.

L'étude menée par le TÜV conclue à un avis favorable pour l'aptitude du SWAM à mesurer les fractions de particules PM10 et PM2.5 selon les normes de références<sup>10</sup>.

A noter que des tests concernant le SWAM sont en cours au niveau du LCSQA.

Selon le constructeur FAI, « une comparaison détaillée entre les exigences des normes EN 12341 et EN 14907 (et des correspondantes US-EPA), les méthodes de caractérisation du PMx dans l'atmosphère (concentration de masse, métaux lourds, IPA, etc.) et les caractéristiques du système d'échantillonnage porte à conclure que ces caractéristiques répondent totalement aux besoins normatifs et, en général, résultent nettement supérieures. En conséquence nous pouvons affirmer que le système d'échantillonnage FAI (HYDRA/SWAM DC Sampler) est pleinement conforme à être utilisé pour l'implémentation des méthodes de référence »<sup>11</sup>.

***L'objectif de la présente étude est de comparer les valeurs fournies par les trois appareils utilisés sur le réseau de Nouméa afin d'apprécier les éventuels écarts de mesure et le cas échéant, de proposer des règles expérimentales d'équivalence. Pour mener à bien ce projet, les trois appareils ont été placés au même endroit, sur le site du Faubourg Blanchot, durant le mois de juillet 2011.***

---

<sup>8</sup> ISSEEP. Test of Swam-5a dual channel sampler and analyser of FAI-instrument. Second progress report - rapport n° 08-397. Janvier 2008.

<sup>9</sup> GGD AMSTERDAM. Field experiment on 11 automated PM monitors - technical report. 27-02-2008.

<sup>10</sup> TÜV RHEINLAND IMMISSIONSSCHUTZ UND ENERGIESYSTEME GMBH. Report on suitability testing of the ambient air quality measurement system SWAM 5a Dual Channel Monitor with PM10 and PM2.5 [...].

<sup>11</sup> FAI.HYDRA/SWAM Dual Channel SAMPLERS. NOTE TECHNIQUE. Doc. n. BNC 01.09/12/2008.

## B.2. Résultats et commentaires

### B.2.1. Bilan de fonctionnement des analyseurs TEOM / TEOM-FDMS / SWAM durant la période d'étude

Tableau 5 : statistiques des mesures effectuées par TEOM et TEOM-FDMS sur la station du Faubourg Blanchot entre 2009 et 2011

juillet 2011	TEOM	TEOM-FDMS	SWAM
Taux représentativités (%)	100	98.5	86
Moyenne globale - ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	16	30	11
Moyennes journalières maximales - ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	34	50	24
Moyennes horaires maximales - ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	169	227	/

*NB : le SWAM ne permet pas d'obtenir des valeurs horaires.*

## B.2.2. Analyse des concentrations mesurées par TEOM / TEOM-FDMS / SWAM (juillet 2011)

### B.2.2.1. moyennes journalières

Graphique 4 : moyennes journalières des concentrations en particules PM10 par an - TEOM / TEOM-FDMS / SWAM et boîtes à moustache (juillet 2011)

Les concentrations systématiquement les plus faibles sont affichées par le SWAM, suivi du TEOM et du TEOM-FDMS qui affiche les valeurs les plus élevées.

Les concentrations journalières évoluent de la même manière pour les trois analyseurs, avec des écarts relativement stables entre les valeurs du TEOM, du TEOM-FDMS et du SWAM.

Pour les faibles concentrations (moins de 15 µg/m<sup>3</sup>), les écarts entre TEOM et SWAM sont relativement faibles, tandis que pour les valeurs élevées, les écarts s'amplifient.

Notons la dérive probable du TEOM-FDMS en 2011 (cf. partie A.3. *Discussions, conclusions et perspectives* p.21 et parties précédentes), ce qui a pour effet une surestimation probable des valeurs affichées par le TEOM-FDMS.

Les graphiques boîtes à moustache montrent que la distribution des valeurs affichées par le TEOM-FDMS se fait dans la plage de mesure la plus large, tant pour les valeurs courantes, comprises entre Q1 et Q3, que pour les valeurs extrêmes, min et max. Ce constat s'inverse pour le SWAM, pour lequel la plage de valeurs est la plus réduite.

En outre, on remarque l'influence significative des valeurs journalières maximales observées début juillet sur les moyennes du moins de juillet (points rouges) : les valeurs moyennes TEOM, TEOM-FDMS et SWAM sont nettement supérieures aux valeurs médianes (traits verts), ce qui s'explique par des concentrations élevées, notamment liées à la saison fraîche (présence de vents faibles de secteurs Nord-Ouest rabattant les émissions d'origine industrielle vers le Faubourg Blanchot).

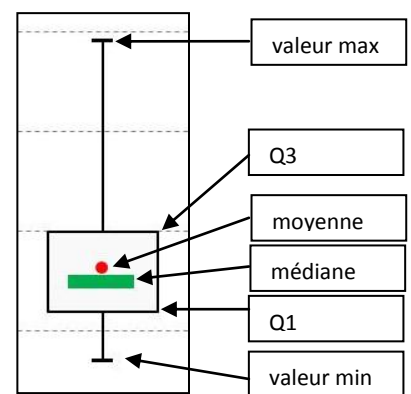
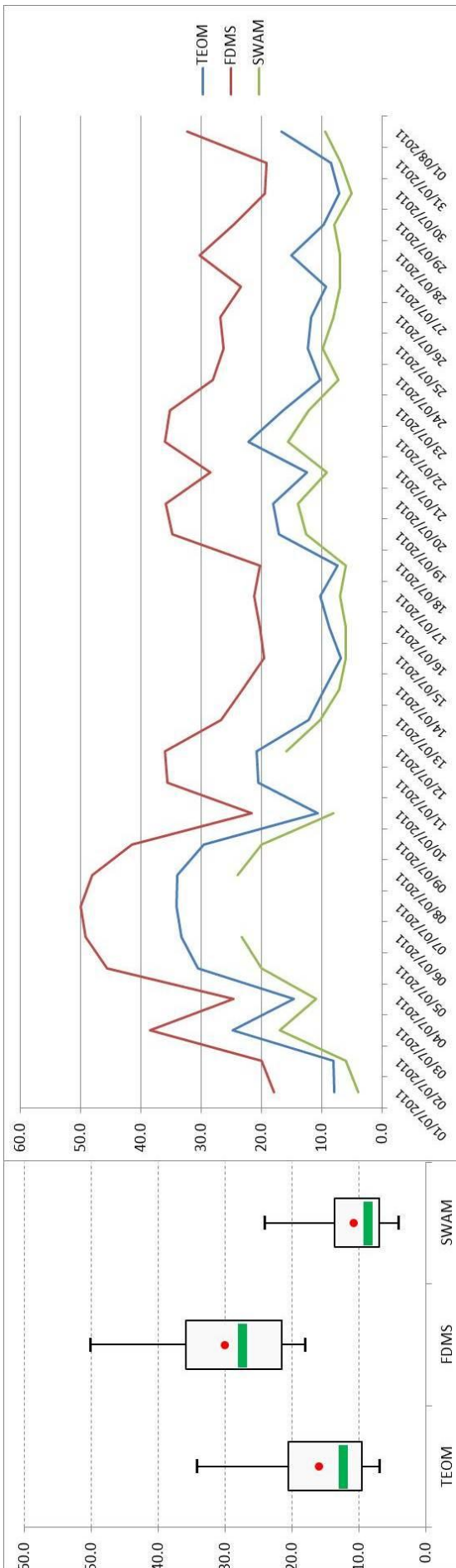
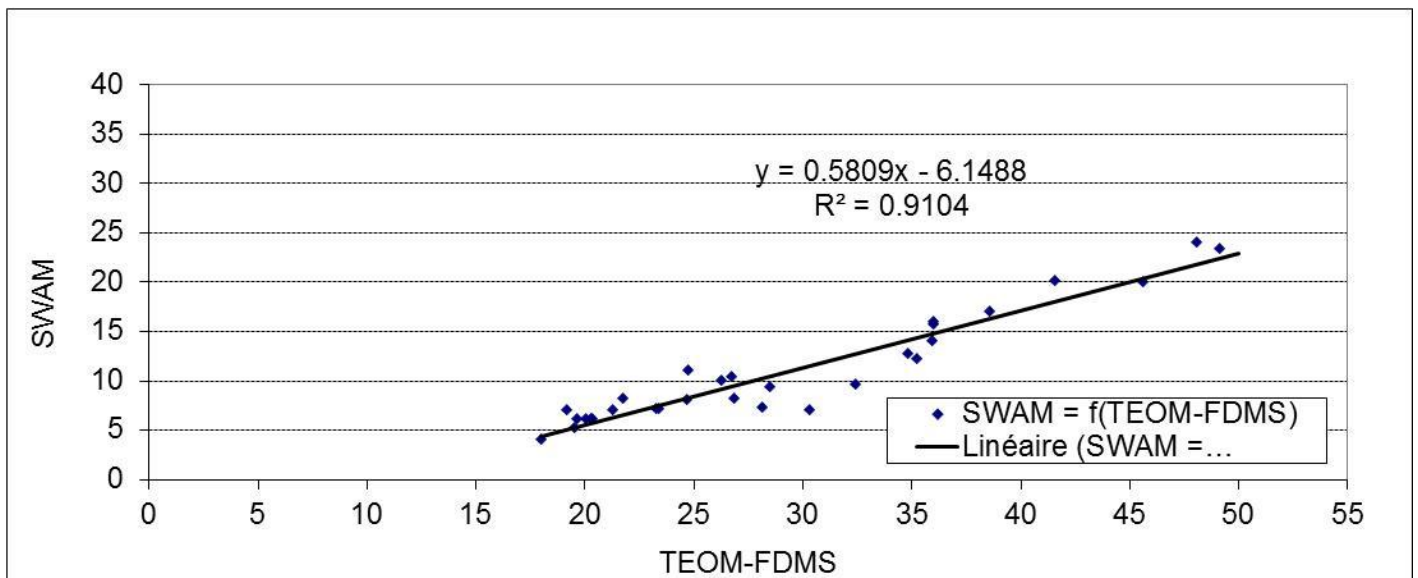
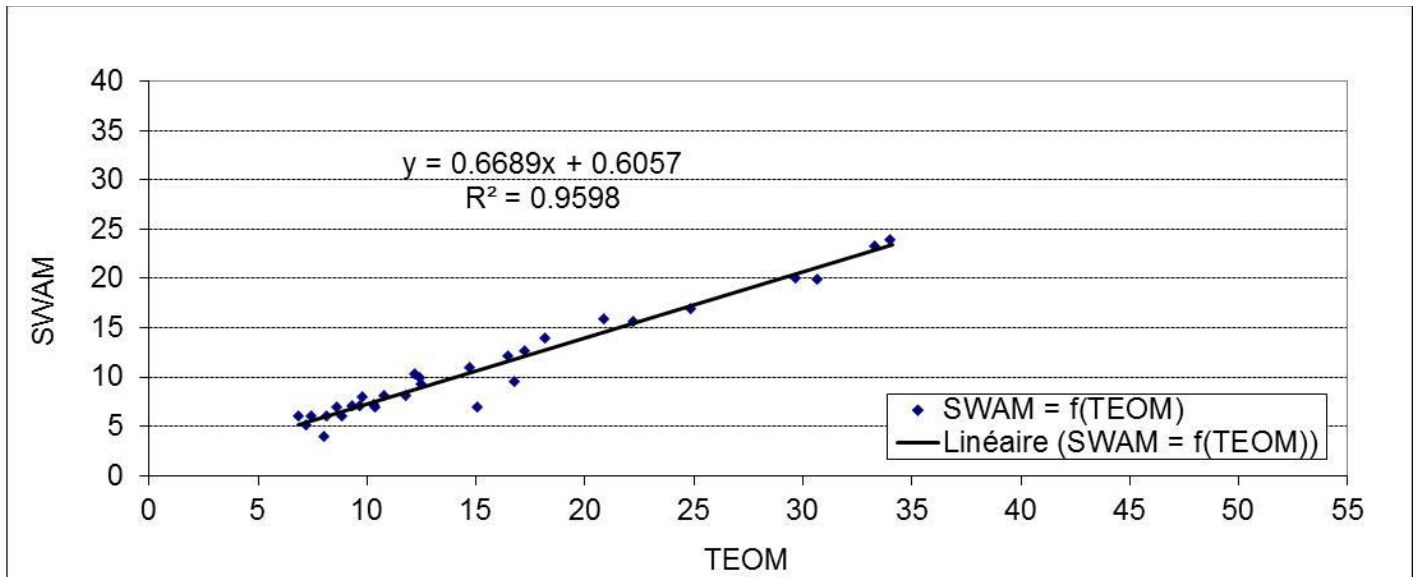


Figure 3 : légende boîte à moustache

**B.2.2.2. études des coefficients d'ajustement**

Graphique 5 : Droites de régression linéaire sur les moyennes journalières SWAM/TEOM et SWAM/TEOM-FDMS - juillet 2011



**Tableau 6 : coefficients d'ajustement et de corrélation**

	a	b	R <sup>2</sup>
SWAM=f(TEOM)	0.67	0.61	0.96
SWAM=f(TEOM-FDMS)	0.58	-6.15	0.91

Peu d'études comparatives entre SWAM et TEOM ou TEOM-FDMS ont été menées. Il est difficile de comparer les résultats à des retours d'expériences inexistantes ou non disponibles.

Les écarts importants entre SWAM et FDMS conduisent à un coefficient « b » négatif.  
Les coefficients « a » sont relativement proches.

Les coefficients de corrélation proches de 1 sur les deux séries graphiques montrent une très bonne corrélation entre les valeurs SWAM/TEOM et SWAM/TEOM-FDMS.

On peut interpréter ces résultats par un comportement similaires de l'évolution des concentrations SWAM/TEOM et SWAM/TEOM-FDMS, avec un écart moyen de concentrations qui évolue de la même manière, avec une amplitude différente.



## B.3. Discussions, conclusions et perspectives

Cette étude comparative entre SWAM, TEOM et TEOM-FDMS a permis d'évaluer les corrélations existant entre les trois appareils de mesure des particules PM10 utilisés sur le réseau de Nouméa.

On observe une sous-estimation des concentrations fournies par le SWAM, avec un comportement assez similaires des concentrations en comparaison à l'évolution de celles fournies par le TEOM et le TEOM-FDMS placés sur le même point de mesure.

L'apport principal de l'étude est l'identification expérimentale de coefficients d'ajustements des concentrations affichées par le SWAM vis-à-vis du TEOM, appareils équipant les 4 stations fixes du réseau de Nouméa.

**L'intérêt est une estimation, sur les sites de mesure « laboratoire mobile », des concentrations journalières en particules PM10 telles qu'elles auraient été mesurées par un TEOM, et d'obtenir ainsi des valeurs directement comparables aux valeurs mesurées sur les stations fixes durant les campagnes de mesure.**

**La formule d'ajustement est  $[PM10 (SWAM)] = 0.6689 [PM10 (TEOM)] + 0.6057$**

*[PM10 (SWAM)] : concentrations journalières mesurées par le SWAM*

*[PM10 (TEOM)] : concentrations journalières mesurées par le TEOM*

Notons que le TEOM fonctionne par défaut avec un programme utilisant une fonction d'ajustement de type  $Y = 1,03 X + 3$ , X étant la véritable mesure brute et Y la mesure fournie in fine par l'instrument (tentative de fonction de calibration pour satisfaire l'équivalence à la méthode de référence). La formule d'ajustement précitée s'ajoute donc à cette fonction de base.

L'application de cette règle d'ajustement trouve sa principale limite du fait de la taille réduite de la période d'étude (1 mois) et du manque d'information pour ce qui concerne la saison chaude.

Cette formule constitue néanmoins une première base qui pourra servir à l'ajustement des concentrations de particules PM10 pour les prochaines campagnes de mesure effectuées par laboratoire mobile.

Une autre campagne d'inter-comparaison SWAM / TEOM / TEOM-FDMS en saison chaude pourrait à l'avenir compléter les résultats de cette première étude.

## 5. Références bibliographiques

AIRFOBEP. Mesure ajustée des particules en suspension (PM10) dans la zone de l'Etang de Berre. Août 2010.

ASPA. ASPA 08031103-TD. Bilan de fonctionnement du système de mesure des particules après ajustement par module FDMS. Année 2007.

FAI. HYDRA/SWAM Dual Channel SAMPLERS. NOTE TECHNIQUE. Doc. n. BNC 01.09/12/2008.

GGD AMSTERDAM. Field experiment on 11 automated PM monitors – technical report. 27-02-2008.

ISSeP. Test of Swam-5a dual channel sampler and analyser of FAI-instrument. Second progress report – rapport n° 08-397. Janvier 2008.

LCSQA - Métrologie des particules. Intégration des modules FDMS et RST. Décembre 2007.

LCSQA - INERIS. Métrologie des particules. Suivi et optimisation de l'utilisation des TEOM-FDMS. Guide pour utilisation du TEOM-FDMS. Décembre 2010.

LCSQA - INERIS. Métrologie des particules PM10 et PM2.5. Suivi et optimisation de l'utilisation des TEOM-FDMS : efficacité de séchage des modules FDMS. Programme 2011.

LCSQA - INERIS. Suivi de l'équivalence des appareils de mesure automatique PM10 – INERIS-DRC-11-118196-13005A. Janvier 2012.

TÜV RHEINLAND IMMISSIONSSCHUTZ UND ENERGIESYSTEME GMBH. Report on suitability testing of the ambient air quality measurement system SWAM 5a Dual Channel Monitor with PM10 and PM2.5 pre-separators of the compended particulate matter PM10 and PM2.5. Report No.: 936/21207522/A. Koeln, March 23rd 2009.