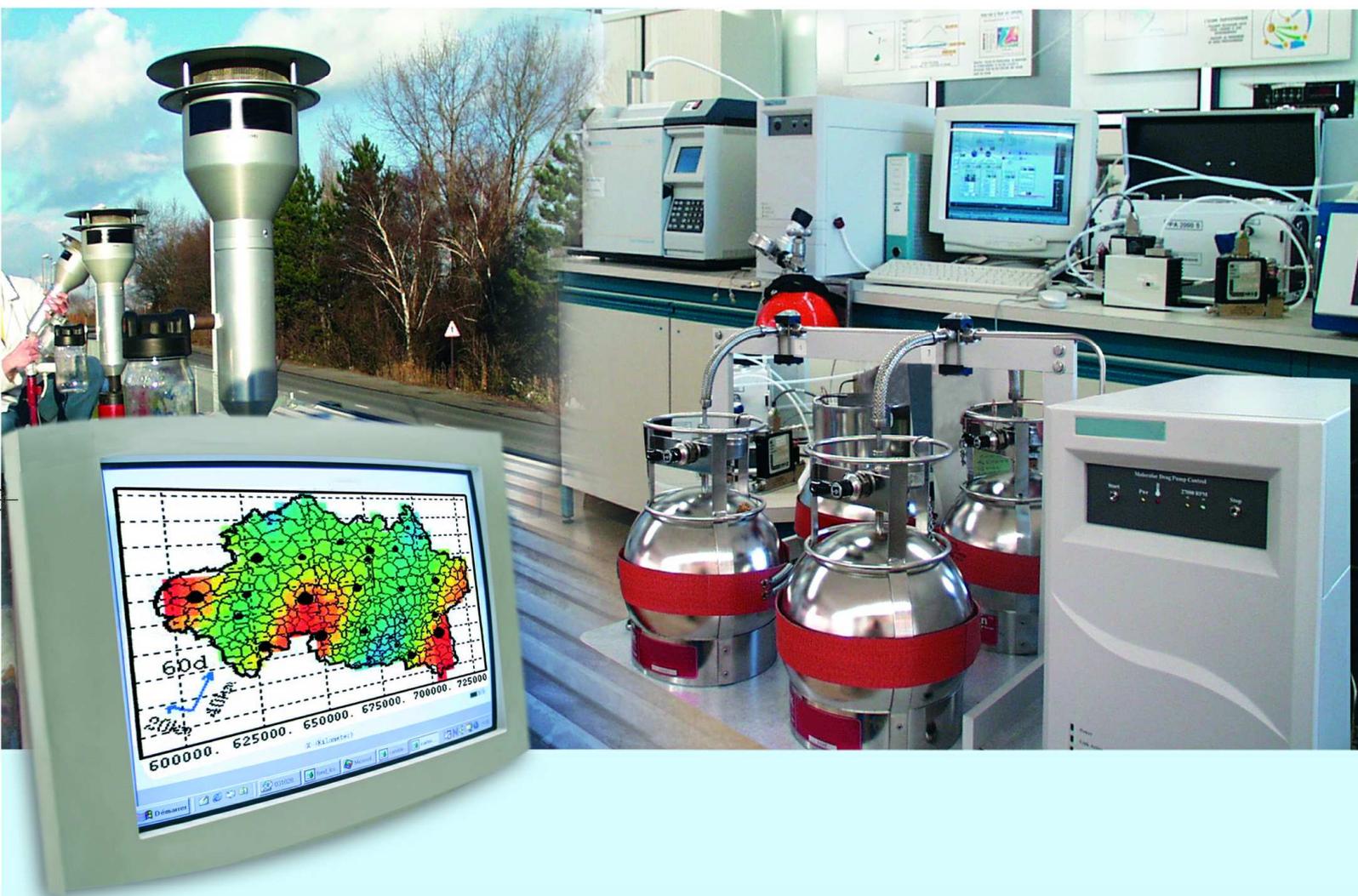




Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air



Modélisation - Traitements numériques

Bilan des deux premières années de mesure des PM_{10} ajustées
en France et évaluation des outils de modélisation

Décembre 2009

Programme 2009

L. MALHERBE, B. BESSAGNET





PREAMBULE

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

Le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air est constitué de laboratoires de l'École des Mines de Douai, de l'INERIS et du LNE. Il mène depuis 1991 des études et des recherches finalisées à la demande du Ministère chargé de l'environnement. Ces travaux en matière de pollution atmosphérique supportés financièrement par la Direction Générale de l'Énergie et du Climat du Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer sont réalisés avec le souci constant d'améliorer le dispositif de surveillance de la qualité de l'air en France, coordonné au plan technique par l'ADEME, en apportant un appui scientifique et technique aux AASQA.

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



Bilan des deux premières années de mesure des PM₁₀ ajustées en France et évaluation des outils de modélisation

Laboratoire Central de Surveillance
de la Qualité de l'Air

Thème : Modélisation - Traitements numériques

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

2009

L. MALHERBE, B. BESSAGNET

Ce document comporte 31 pages (hors couverture et annexes)

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	Bertrand Bessagnet Laure Malherbe	Laurence Rouïl	Martine Ramel
Qualité	Responsable de l'unité MOCA Ingénieur de l'unité MOCA Direction des Risques Chroniques	Responsable du pôle DECI Direction des Risques Chroniques	Responsable LCSQA/INERIS Direction des Risques Chroniques
Visa			

TABLE DES MATIÈRES

RESUME	7
1. INTRODUCTION	9
2. NOMENCLATURE	11
3. IMPACT DE LA PRISE EN COMPTE DE LA FRACTION VOLATILE DES PM₁₀ SUR LES DEPASSEMENTS DE SEUILS EN 2007 ET 2008.....	11
3.1 Stations de mesure et données utilisées.....	11
3.2 Comparaison fraction volatile / fraction non volatile	12
3.3 Bilan des dépassements a l'échelle de la France	15
3.4 Bilan des dépassements par typologie.....	16
3.5 Relation entre nombre de dépassements du seuil journalier de 50 µg.m ⁻³ et moyenne annuelle.....	18
4. ETUDE DES DELTAS (PM₁₀/PM₁₀ NON VOLATILES) SUR LES STATIONS DE REFERENCE.....	21
4.1 Distribution spatiale annuelle et saisonnière des deltas	21
4.2 Etude de corrélation des deltas entre les stations de référence.....	23
4.2.1 Méthode.....	23
4.2.2 Résultats.....	24
5. UTILISATION DU MODELE CHIMERE SUR LES ANNEES 2007 ET 2008..	26
6. CONCLUSION	27
7. REFERENCES	29
8. LISTE DES ANNEXES	31

RESUME

Jusqu'au 1^{er} Janvier 2007, la surveillance opérationnelle des PM₁₀ était réalisée en France par des systèmes de mesure automatique de type TEOM ou jauge Bêta. Cependant la sous-estimation des niveaux de PM₁₀ mesurés par ces méthodes par rapport à la méthode de référence EN 12341 est un artefact très connu. Cette sous-estimation est liée à la perte de composés volatils par les TEOM et les jauges Bêta.

La Commission Européenne a réclamé, pour l'ensemble de l'Europe, la mise à niveau des mesures de PM₁₀, afin de respecter les prescriptions de la directive, avec une date butoir au 1^{er} janvier 2007. L'application d'un facteur correctif aux données des TEOM ou des jauges Bêta n'est pas apparue pertinente, étant donné la complexité de la relation entre ces types de mesures et la méthode de référence. Dans le même temps, des solutions techniques ont fait leur apparition, et une démonstration d'équivalence a pu être réalisée pour deux outils :

- le TEOM-FDMS de Thermo R&P, pour la mesure des PM₁₀ et des PM_{2.5},
- la jauge radiométrique MP101M-RST d'Environnement SA pour la mesure des PM₁₀.

La problématique a alors évolué vers la question de leurs modalités d'intégration au sein du système de surveillance français. Les réflexions et divers travaux du LCSQA ont permis d'élaborer une stratégie nationale d'intégration et de déploiement de ces nouveaux outils, tout en répondant à un impératif de mise en œuvre à partir du 1^{er} janvier 2007.

Depuis cette date, les associations agréées de surveillance de la qualité de l'air ont équipé une partie de leurs sites de TEOM-FDMS et de jauges Bêta RST en plus des TEOM ou jauge Bêta déjà installés. Ces sites dits "de référence" fournissent la mesure de deux variables :

- la concentration en PM₁₀ (concentration mesurée par TEOM-FDMS ou jauge Bêta RST),
- la concentration de PM₁₀ non volatiles (concentration mesurée par TEOM ou jauge Bêta).

L'écart entre ces deux concentrations est appelé "delta". Sur les autres sites, qui ne mesurent que la concentration de PM₁₀ non volatiles, la concentration de PM₁₀ est estimée en ajoutant le delta d'un site de référence adéquatement choisi. On parle de concentration "ajustée". Pour les années antérieures à 2007, il n'existe pas de mesures pour réaliser un tel ajustement. Une méthode d'ajustement qui utilise la fraction volatile modélisée par le modèle CHIMERE a donc été proposée.

La présente étude dresse un bilan des deux premières années de fonctionnement de l'ajustement opérationnel de PM₁₀.

La première partie est consacrée à l'impact quantitatif de l'ajustement sur les niveaux de PM₁₀ mesurés. Le bilan exhaustif des dépassements des valeurs limites annuelle et journalière est établi pour les années 2007 et 2008 et comparé à celui qui aurait été obtenu sans ajustement. Cet ajustement a pour effet d'augmenter significativement le nombre de dépassements, qu'il s'agisse du dépassement de la valeur limite annuelle (de 2 à 11 sites sur un total de 291 en 2007 ; de 1 à 7 sites sur un total de 283 sites en 2008*) ou de la valeur limite journalière qui se révèle la plus contraignante (de 7 à 75 sites sur 291 en 2007 ; de 4 à 24 sites sur 283 en 2008*).

* chiffres non réglementaires établis sur les périodes pour lesquelles les données de PM₁₀ non volatiles et de PM₁₀ sont simultanément disponibles.

La cohérence spatiale des deltas utilisés pour l'ajustement des mesures de PM₁₀ non volatiles est examinée dans la seconde partie. Cette étude met en évidence :

- des zones relativement homogènes : Normandie, Picardie, Île de France, Centre, Pays de Loire
- une zone très hétérogène : le pourtour méditerranéen
- des hétérogénéités dans les autres régions, plus ou moins prononcées selon les périodes.

Elle montre également des disparités, dont il serait intéressant d'analyser l'origine, entre les sites de référence équipés de couples Bêta-Bêta-RST et les sites de référence équipés de couples TEOM-TEOM-FDMS.

La troisième partie a eu pour objet d'étudier le positionnement de la modélisation déterministe par rapport aux mesures de PM₁₀ non volatiles et de PM₁₀ réalisées sur les sites de référence. Les niveaux de PM₁₀ des années 2007 et 2008 sont resimulés avec le modèle CHIMERE et des données météorologiques analysées. Les concentrations en PM₁₀ issues du modèle CHIMERE ont été validées sur leur composante volatile ce qui a permis de déduire une méthode de correction des PM₁₀ par modélisation pour les années 2005 et 2006. Cette méthode de correction a été améliorée en prenant en compte la composante nitrate d'ammonium modèle mais également un coefficient supplémentaire permettant d'annuler le biais sur le jeu de données disponible en 2007 et 2008. Ainsi, la méthode de correction par le modèle CHIMERE calculée sur la période 2007-2008 appliquée aux données 2005 et 2006 donne un nombre de stations en dépassement de 63 en 2005 et 94 en 2006.

Les fichiers d'ajustement par le modèle des concentrations de PM₁₀ non volatiles issues des TEOM et jauges Bêta pour les années 2005, 2006 sont disponibles sur le site www.lcsqa.org.

1. INTRODUCTION

Dans le cadre de l'évaluation de la qualité de l'air ambiant définie par la directive 2008/50/CE, la méthode de référence pour la mesure fixe des PM₁₀ est celle qui est décrite dans la norme NF EN 12341. La directive précise qu'un Etat membre peut utiliser toute autre méthode dont il est capable de démontrer qu'elle est équivalente à la méthode de référence. La méthode de référence, dite "gravimétrique", n'est pas adaptée à la surveillance opérationnelle en continu de ce polluant. Les associations de surveillance françaises (AASQA), tout comme un grand nombre de réseaux européens, se sont donc équipées de systèmes de mesurage automatique de type TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance, noté par la suite TEOM), qui est la méthode de référence aux Etats-Unis, ou de jauges Bêta.

A partir de l'année 2000, des études scientifiques ont mis en évidence une sous-estimation, dans certaines conditions, des résultats fournis par les appareils automatiques par rapport à la méthode de référence. De nombreux travaux, notamment au sein du LCSQA, ont montré que ces systèmes automatiques ne produisaient pas une mesure équivalente à la méthode de référence. En effet, ces systèmes de mesure de PM₁₀ qui chauffent l'échantillon prélevé évaporent une partie des PM₁₀ : cette fraction perdue est désignée par le terme de fraction volatile. Cet artefact entraîne la sous-estimation de la masse qui aurait été mesurée par la méthode de référence EN12341 d'un facteur moyen compris entre 1.1 et 1.5 en moyenne annuelle, mais pouvant atteindre 2.5 sur des valeurs journalières.

Depuis le 1^{er} Janvier 2007, les réseaux de surveillance de la qualité de l'air fournissent des données de PM₁₀ qui tiennent compte de la fraction volatile des aérosols. Un module complémentaire permet de réaliser une mesure de PM₁₀ équivalente à la méthode de référence. Il s'agit du module FDMS pour les TEOM, qui représentent 90% des instruments installés en France, et du module RST pour les jauges Bêta, pour les 10 % restants du parc instrumental français.

Un équipement complet et massif en FDMS et RST sur l'ensemble du territoire étant impossible à très court terme, le concept de site de référence a été développé. Un site de référence est équipé d'un couple d'appareils, l'un mesurant les PM₁₀ (TEOM-FDMS), l'autre les PM₁₀ non volatiles (TEOM). Cela permet d'obtenir une valeur d'ajustement appelée *delta* (calculée comme l'écart entre les résultats de mesure des deux appareils), qui est ajoutée aux résultats des autres sites de mesure de PM₁₀ non volatiles présents sur une même zone géographique. Cette méthode d'ajustement est fondée sur l'hypothèse que la fraction volatile est relativement homogène dans l'espace.

En pratique, 45 sites de référence sont répartis sur le territoire national, ce qui permet de produire des mesures ajustées partout en France, et d'étaler l'investissement en modules FDMS et RST sur plusieurs années. En 2007 et 2008, 3 de ces sites étaient équipés de jauges Beta et Beta-RST. Les DOM-TOM,

équipés soit de TEOM soit de TEOM-FDMS, ne comprenaient pas de site de référence.

Un premier rapport partiel et préliminaire émis en cours d'année 2007 (Aymoz et Bessagnet, 2007) a confirmé sur quelques exemples que la méthode d'ajustement choisie par la France permettait une approche beaucoup plus riche et réaliste des phénomènes de pollution dus aux particules que la correction par un facteur constant.

L'objectif de cette étude (annexe I) est de réaliser un bilan complet des deux premières années de fonctionnement du mode d'ajustement (2007 et 2008). Ce bilan actualise et complète, avec les données de la BDQA mises à jour (données reçues de l'ADEME en août 2009), le bilan établi en 2008 (Bessagnet et al., 2008). Il s'organise en trois parties :

- La première partie examine l'impact de la fraction volatile sur les dépassements de valeurs limites observés en 2007 et 2008. Les statistiques de dépassement sont calculées à partir des mesures de PM_{10} non volatiles et des données de PM_{10} mesurées ou ajustées avec un site de référence. A titre indicatif, elles sont comparées aux statistiques obtenues en ajustant les concentrations de PM_{10} non volatiles par un facteur constant.
- La deuxième partie examine la répartition spatiale des valeurs de *delta*. L'idée est de hiérarchiser de manière relative des zones géographiques selon l'homogénéité spatiale de l'ajustement. A cette fin, une étude est réalisée sur la relation entre les valeurs d'ajustement mesurées sur les sites de référence en fonction de la distance qui sépare ces sites.
- Enfin, le positionnement de la modélisation déterministe par rapport aux mesures sans et avec ajustement est exposé dans la troisième partie. Les niveaux de PM_{10} des années 2007 et 2008 sont resimulés avec la nouvelle version du modèle CHIMERE et des données météorologiques analysées. Ces sorties de modèle sont comparées aux mesures de PM_{10} et PM_{10} non volatiles en 2007 et 2008. Une méthode de correction par modèle a permis de corriger les données PM_{10} des années 2005 et 2006.

2. NOMENCLATURE

Dans ce document, la nomenclature utilisée pour les PM est celle qui a été adoptée le 11 mars 2008 par la Commission de Suivi "Surveillance des particules en suspension", à savoir :

- Pour les PM mesurées par TEOM ou jauge Bêta, il s'agit de "PM₁₀ non volatiles" ou de "PM_{2,5} non volatiles",
- Pour les PM mesurées par TEOM FDMS, jauge Bêta RST ou ajustées par application de deltas, il s'agit de "PM₁₀" ou de "PM_{2,5}".

Pour les sites de référence, l'écart journalier entre les PM₁₀ et les PM₁₀ non volatiles est appelé "delta" :

$$\text{pour un couple TEOM-FDMS/TEOM : } \mathit{delta}_j = C_j^{TEOM-FDMS} - C_j^{TEOM}$$

$$\text{pour un couple Bêta-RST/Bêta : } \mathit{delta}_j = C_j^{Beta-RST} - C_j^{Beta}$$

3. IMPACT DE LA PRISE EN COMPTE DE LA FRACTION VOLATILE DES PM₁₀ SUR LES DEPASSEMENTS DE SEUILS EN 2007 ET 2008

3.1 STATIONS DE MESURE ET DONNEES UTILISEES

L'ensemble des calculs a été réalisé à partir des valeurs journalières de PM₁₀ et de PM₁₀ non volatiles disponibles dans la BDQA.

Le calcul des statistiques annuelles a pour objet de quantifier l'impact de la prise en compte de la fraction volatile des particules sur les dépassements de valeurs limites. Il convient de dissocier cet effet de celui des données manquantes : **pour chaque station, les séries de données ont été restreintes aux jours pour lesquels les mesures de PM₁₀ et de PM₁₀ non volatiles étaient simultanément disponibles.**

En outre, seules les stations pour lesquelles ce nombre de jours représente plus de 75% de l'année (Tableau 1) ont été considérées.

Du fait de la suppression de certains jours de mesure (ceux pour lesquels soit la valeur de concentration de PM₁₀ non volatiles, soit la valeur de concentration de PM₁₀ était absente), **les moyennes et nombres de dépassements calculés sont susceptibles de différer des statistiques rapportées au niveau réglementaire.**

Tableau 1 : Nombre de sites de mesure pour lesquels le pourcentage de données concomitantes PM_{10} / PM_{10} non volatiles est supérieur à 75% de l'année

Typologie	2007		2008	
	Sites de référence	Tous sites confondus	Sites de référence	Tous sites confondus
<i>rurale</i>	1	8	1	10
<i>périurbaine</i>	3	45	3	43
<i>urbaine</i>	32	161	35	157
<i>trafic</i>	1	39	1	40
<i>industrielle</i>	2	37	1	30
<i>observation spécifique</i>		2		2

Rem. : trois des sites urbains sont équipés de couples Bêta/Bêta-RST. La prise en compte ou non de ces trois sites n'a pas d'impact significatif sur les statistiques présentées dans les paragraphes suivants. Celles-ci seront données pour l'ensemble des sites de référence.

3.2 COMPARAISON FRACTION VOLATILE / FRACTION NON VOLATILE

La fraction volatile contribue significativement à la concentration totale.

En moyenne sur les sites de référence considérés (stations du Tableau 1), le rapport moyen annuel *fraction volatile/fraction non volatile* est de 31% en 2007 et de 36% en 2008. Ce rapport est dans l'ensemble plus faible pendant la saison estivale et plus élevé durant la saison hivernale (Tableau 2).

Tableau 2 – Moyenne sur les sites de référence des rapports moyens annuels ou saisonniers calculés par station entre fraction volatile et fraction non volatile. En italique, entre parenthèses : le rapport moyen PM_{10} / PM_{10} non volatiles correspondant.

	Année	Jan.-fév.-mars	Avr.-mai-juin	Juil.-août-sept.	Oct.-nov.déc.
2007	0,31 (1,31)	0,31 (1,31)	0,25 (1,25)	0,17 (1,17)	0,45 (1,45)
2008	0,36 (1,36)	0,42 (1,42)	0,30 (1,30)	0,27 (1,27)	0,44 (1,44)

D'autre part, les fractions volatiles et non volatiles des PM_{10} ne sont pas liées entre elles de façon linéaire. La Figure 1 (année 2007) et la Figure 2 (année 2008) représentent le diagramme des fréquences de *delta* pour différentes gammes de concentrations de PM_{10} non volatiles. Dans la gamme 0-40 $\mu\text{g.m}^{-3}$, le nombre d'occurrences d'une valeur donnée de *delta* décroît exponentiellement avec cette valeur. Au-delà de 40 $\mu\text{g.m}^{-3}$, ce nombre se révèle peu dépendant de *delta*, oscillant entre des valeurs faibles.

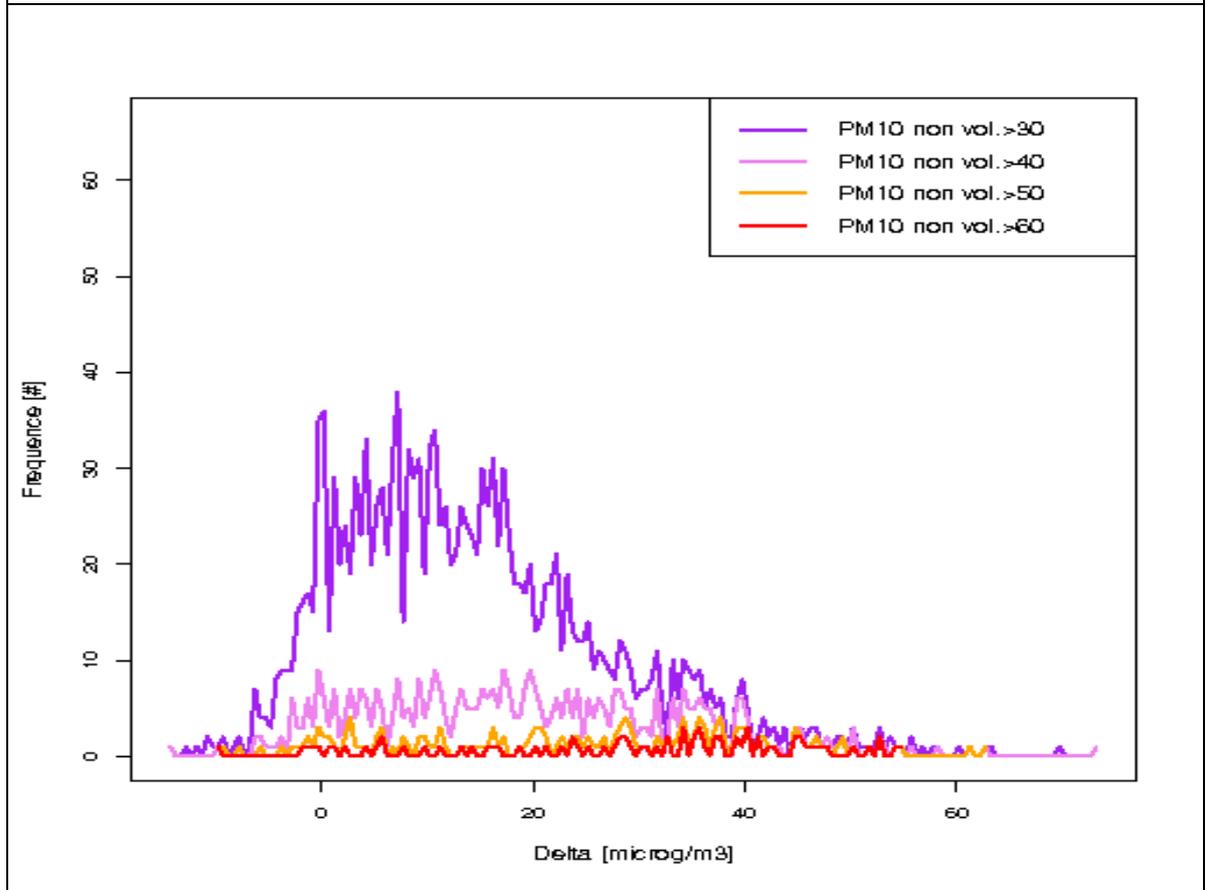
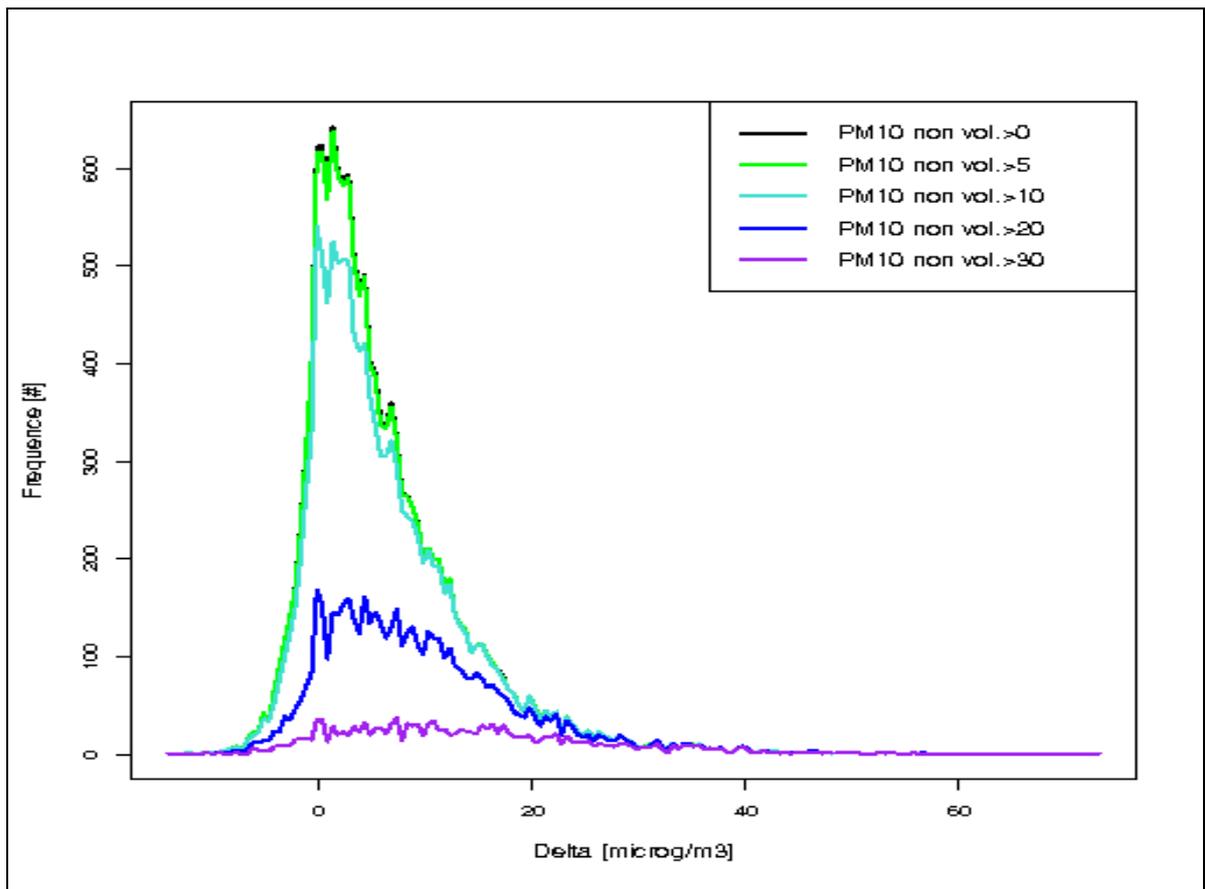


Figure 1 : Répartition des deltas pour différentes gammes de concentration de PM_{10} non volatiles. Année 2007

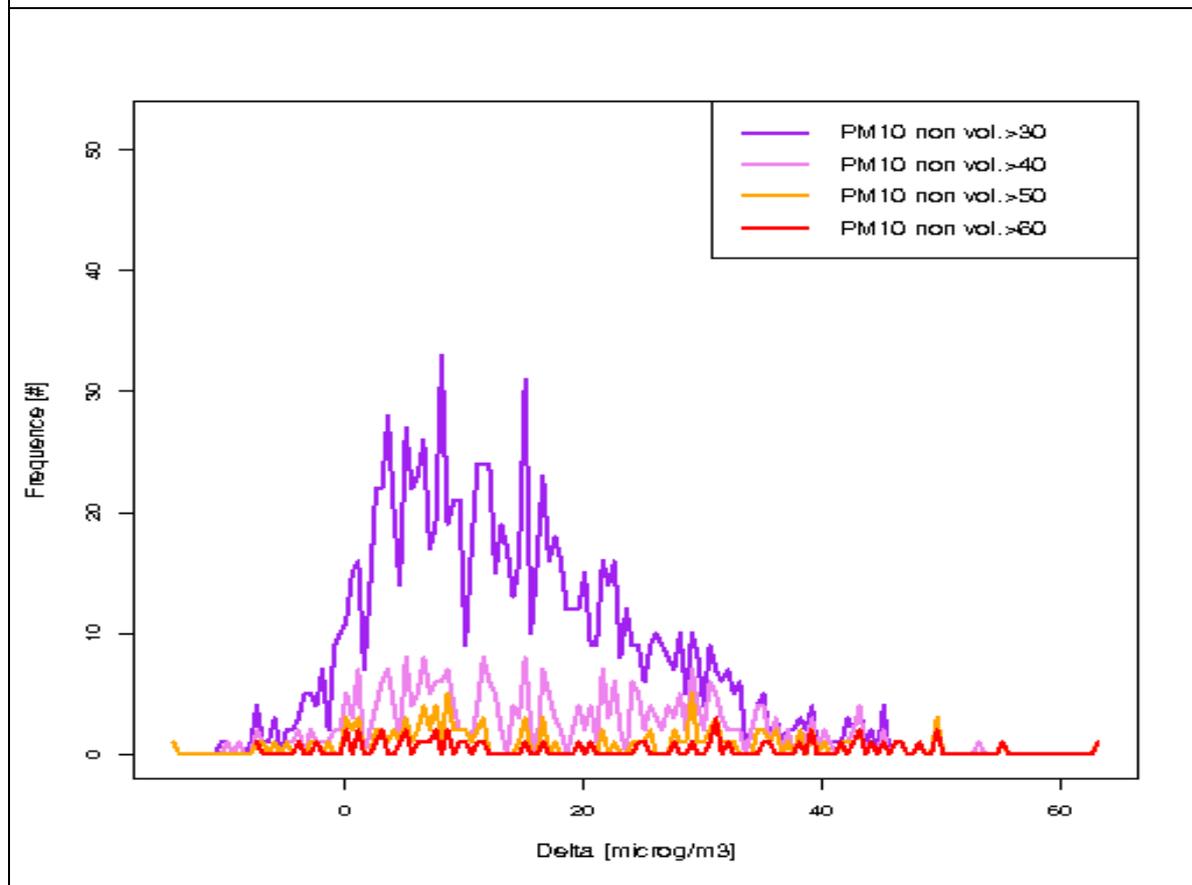
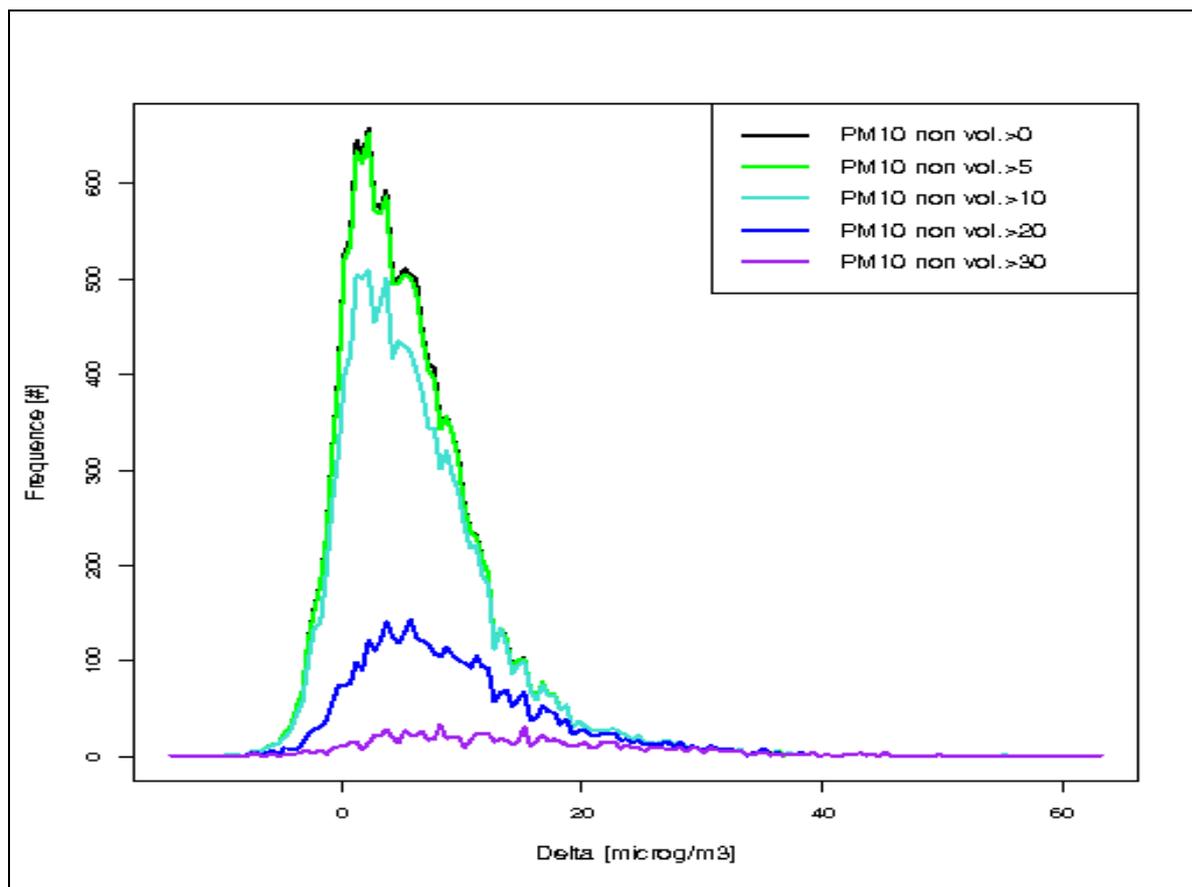


Figure 2 : Répartition des deltas pour différentes gammes de concentration de PM_{10} non volatiles. Année 2008

On observe des deltas négatifs en nombre décroissant de 0 à $-10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Plusieurs facteurs pourraient en être la cause :

- le biais du TEOM,
- l'incertitude de mesure. Celle-ci est très mal connue pour les PM_{10} et ne fait actuellement l'objet d'aucun consensus en France. Dans l'attente de règles de validation harmonisées, chaque association fixe actuellement sa propre règle, en acceptant des mesures de PM_{10} négatives jusqu'à environ $-5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, ce qui peut entraîner des deltas de l'ordre de $-10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

La mise en place de règles communes de validation pour les valeurs négatives passe par une meilleure connaissance de l'incertitude de mesure. Toutefois, les résultats présentés à plusieurs reprises en Commission de Suivi "Mesure des particules en suspension" en 2007 et en 2008 montrent que l'impact des différentes méthodes de validation des données n'a qu'une influence très limitée sur les niveaux moyens de PM_{10} (généralement de l'ordre du dixième de $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ sur les moyennes annuelles).

3.3 BILAN DES DEPASSEMENTS A L'ECHELLE DE LA FRANCE

Les statistiques relatives aux moyennes annuelles et aux dépassements de valeurs limites sont indiquées dans le Tableau 3 (sites de référence) et le Tableau 4 (ensemble des sites).

En moyenne sur les sites de référence, le fait de prendre en compte la fraction volatile des particules augmente la concentration moyenne annuelle d'environ $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Le nombre de dépassements du seuil journalier croît lui aussi sensiblement, même s'il reste inférieur à 35 pour la plupart des sites de référence.

L'ajustement des mesures journalières de PM_{10} non volatiles par un facteur multiplicatif de 1,3 a approximativement le même effet sur la moyenne annuelle. En revanche, il a tendance à sous-estimer les nombres de dépassements du seuil journalier.

Ces conclusions restent valables pour l'ensemble des sites. Les statistiques du Tableau 4 montrent la grande sensibilité des nombres de dépassements au mode d'ajustement. L'ajustement par ajout d'un delta multiplie par 11 en 2007 et par 6 en 2008 le nombre de stations présentant plus de 35 dépassements du seuil journalier.

Outre l'impact de l'ajustement, les indicateurs des tableaux ci-après mettent en évidence de nettes différences entre les années 2007 et 2008. Quel que soit l'ensemble de stations considéré, les niveaux moyens de concentration et les nombres de dépassements sont plus faibles en 2008.

Tableau 3 : Statistiques relatives aux moyennes annuelles et aux dépassements de valeurs limites pour les PM_{10} en France, pour les années 2007 et 2008. Valeurs calculées sur 39 stations de référence en 2007 et 41 stations de référence en 2008.

	2007	PM₁₀ non volatiles	PM₁₀	PM₁₀ non volatiles * 1.3
	2008			
Moyenne des concentrations moyennes annuelles ($\mu\text{g.m}^{-3}$)		19.6	25.7	25.5
		17.6	23.5	22.8
Nombre de stations dont la moyenne annuelle est supérieure à $40 \mu\text{g.m}^{-3}$		0	0	0
		0	0	0
Médiane des nombres de dépassements du seuil journalier de $50 \mu\text{g.m}^{-3}$		3	17	11
		2	10	8
Maximum des nombres de dépassements du seuil journalier de $50 \mu\text{g.m}^{-3}$		15	67	43
		9	35	24
Nombre de stations avec plus de 35 dépassements du seuil journalier de $50 \mu\text{g.m}^{-3}$		0	6	2
		0	0	0

Tableau 4 : Statistiques relatives aux moyennes annuelles et aux dépassements de valeurs limites pour les PM₁₀ en France, pour les années 2007 et 2008. Valeurs calculées sur 291 stations en 2007 et 283 stations en 2008.

	2007	PM₁₀ non volatiles	PM₁₀	PM₁₀ non volatiles * 1.3
	2008			
Moyenne des concentrations moyennes annuelles ($\mu\text{g.m}^{-3}$)		20.2	27.1	26.3
		18.1	24.8	23.6
Nombre de stations dont la moyenne annuelle est supérieure à $40 \mu\text{g.m}^{-3}$		2	11	11
		1	7(5)*	9
Médiane des nombres de dépassements du seuil journalier ($50 \mu\text{g.m}^{-3}$)		3	20	11
		2	14	8
Maximum des nombres de dépassements du seuil journalier ($50 \mu\text{g.m}^{-3}$)**		143	211	268
		127	183	256
Nombre de stations avec plus de 35 dépassements du seuil journalier ($50 \mu\text{g.m}^{-3}$)		7	75	34
		4	24	19

*entre parenthèses : nombre de dépassements lorsque la moyenne annuelle est arrondie à l'entier le plus proche

** site de trafic AIRPARIF (A1 – Saint-Denis)

3.4 BILAN DES DEPASSEMENTS PAR TYPOLOGIE

Le Tableau 5 présente les statistiques de dépassement pour les catégories de sites suivantes :

- Stations rurales : rurales régionales et nationales
- Stations urbaines : urbaines et périurbaines
- Stations de trafic
- Stations industrielles : industrielles et observations spécifiques

Afin de disposer d'un effectif de données suffisant dans chaque catégorie, ce bilan est établi avec l'ensemble des stations, soient les 291 stations retenues pour l'année 2007 et les 283 stations sélectionnées pour 2008.

L'ajustement fait augmenter la concentration moyenne annuelle de manière comparable entre les différentes typologies (augmentation de 6 à 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Un même site de référence (généralement de fond urbain) peut en effet servir à l'ajustement des concentrations de PM_{10} non volatiles mesurées par divers types de sites. Sur les sites de fond - à l'exception d'une station urbaine -, la concentration moyenne annuelle reste inférieure à la valeur limite. Dans les zones de proximité routière ou industrielle, elle devient supérieure à cette valeur limite en un plus grand nombre de sites.

En ce qui concerne la valeur limite journalière, l'ajustement est sans conséquence pour les stations rurales. Pour les autres typologies, le nombre de stations qui présentent plus de 35 dépassements du seuil 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ augmente sensiblement, notamment en 2007.

Tableau 5 : Détail par typologie des statistiques relatives aux moyennes annuelles et aux dépassements de valeurs limites pour les PM_{10} en France. Valeurs calculées sur 291 stations en 2007 et 283 stations en 2008.

	2007 2008	PM_{10} non volatiles	PM_{10}	PM_{10} non volatiles * 1.3
Moyenne des concentrations moyennes annuelles ($\mu\text{g}.\text{m}^{-3}$)				
Stations rurales	16,3 14,3	23,7 20,4	21,2 18,7	
Stations urbaines	19,1 17,0	25,9 23,6	24,9 22,1	
Stations de trafic	25,6 23,9	33,1 30,7	33,3 31,0	
Stations de proximité industrielle	21,3 19,0	27,9 25,6	27,7 24,7	
Nombre de stations dont la moyenne annuelle est supérieure à 40 $\mu\text{g}.\text{m}^{-3}$				
Stations rurales	0 0	0 0	0 0	

2007 2008	PM ₁₀ non volatiles	PM ₁₀	PM ₁₀ non volatiles * 1.3
Stations urbaines	0 0	1 0	0 0
Stations de trafic	2 1	7 6(4)*	7 7
Stations de proximité industrielle	0 0	3 1	3 2
Nombre de stations avec plus de 35 dépassements du seuil journalier (50 µg.m ⁻³)			
Stations rurales	0 0	0 0	0 0
Stations urbaines	0 0	42 6	12 3
Stations de trafic	5 4	21 15	16 12
Stations de proximité industrielle	2 0	12 3	6 4

*entre parenthèses : nombre de dépassements lorsque la moyenne annuelle est arrondie à l'entier le plus proche

3.5 RELATION ENTRE NOMBRE DE DEPASSEMENTS DU SEUIL JOURNALIER DE 50 µg.m⁻³ ET MOYENNE ANNUELLE

Les graphiques suivants (Figure 3, Figure 4) représentent le nombre de dépassements du seuil journalier en fonction de la concentration moyenne annuelle pour les sites de référence d'une part et l'ensemble des sites d'autre part. Les points sont assez dispersés. Ils suivent une relation croissante mais non linéaire.

Tous les sites pour lesquels la concentration moyenne annuelle dépasse la valeur limite de 40 µg/m³ présentent également plus de 35 dépassements (de 70 à 210 environ) du seuil journalier de 50 µg/m³. Il s'agit en très grande majorité de sites de proximité routière ou industrielle. La réciproque est fautive : la moyenne annuelle sur les sites qui présentent plus de 35 dépassements du seuil journalier est comprise approximativement entre 25 et 60 µg/m³.

Ce résultat montre que la valeur limite la plus contraignante est celle qui porte sur les valeurs journalières.

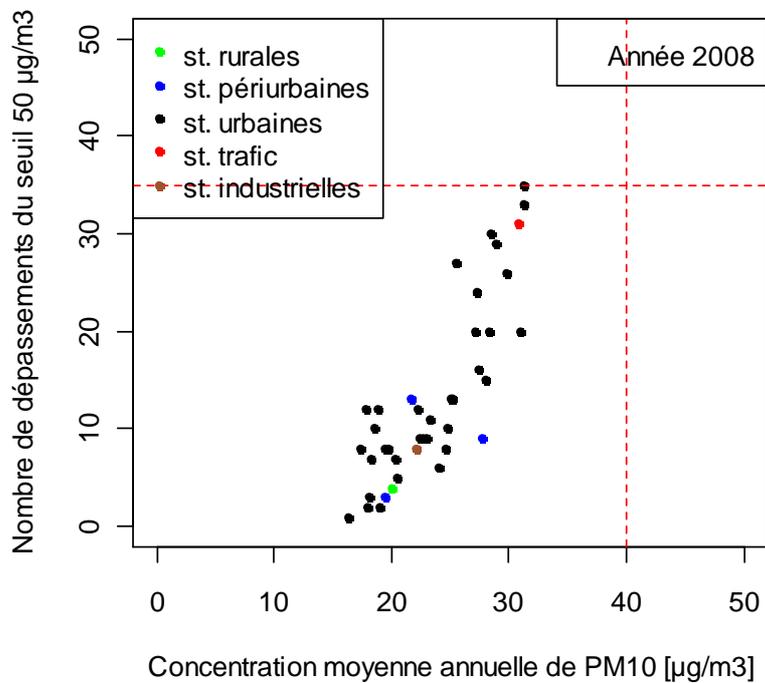
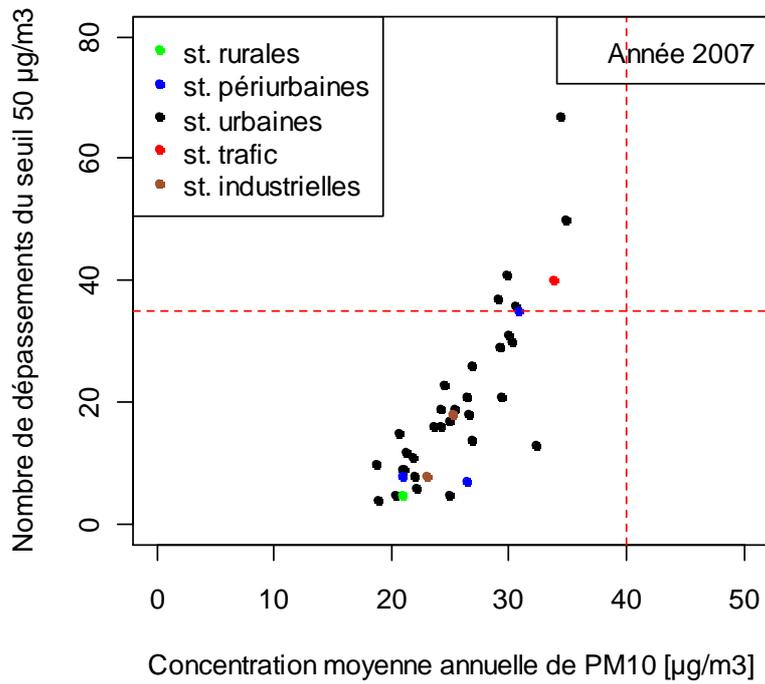


Figure 3 - Nombre de dépassements du seuil de 50 µg.m-3 en fonction de la moyenne annuelle sur les sites de référence (39 sites en 2007 et 41 sites en 2008)

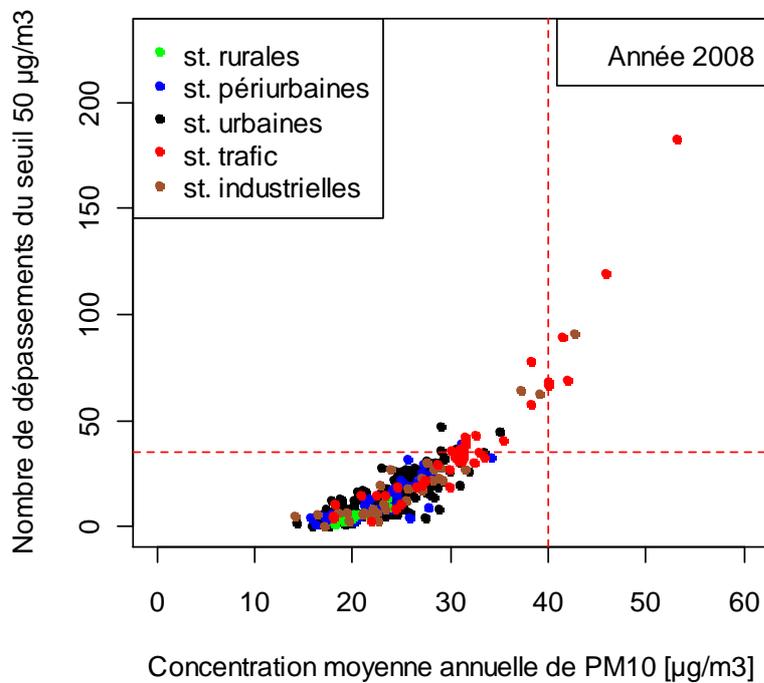
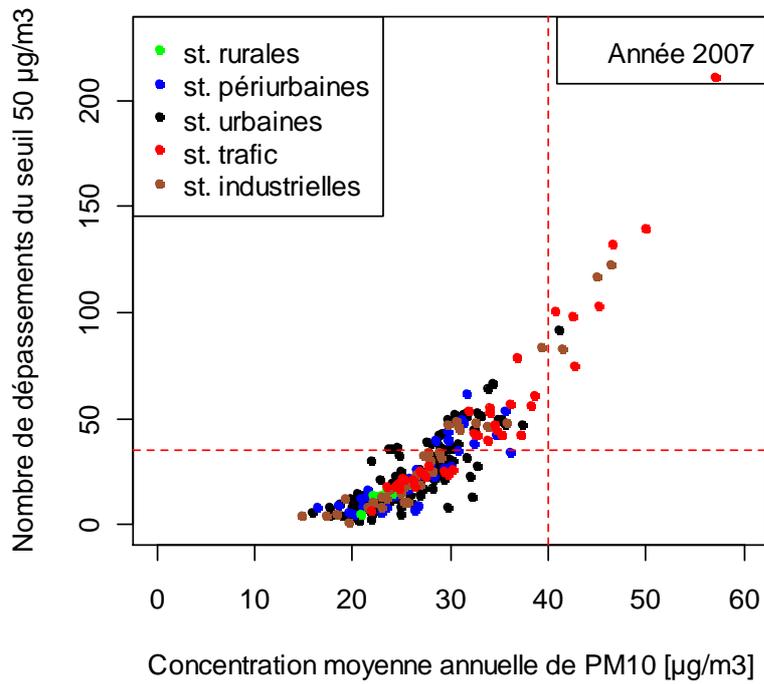


Figure 4 - Nombre de dépassements du seuil de 50 µg.m-3 en fonction de la moyenne annuelle sur l'ensemble des sites (291 sites en 2007 et 283 sites en 2008)

4. ETUDE DES DELTAS (PM₁₀/PM₁₀ NON VOLATILES) SUR LES STATIONS DE REFERENCE

En complément du Tableau 1, le tableau de l'annexe 2 fournit la liste détaillée des sites de référence recensés pour les années 2007 et 2008.

4.1 DISTRIBUTION SPATIALE ANNUELLE ET SAISONNIERE DES DELTAS

Ce premier paragraphe est descriptif et permet de faire quelques observations générales sur les valeurs de delta observées en 2007 et 2008. L'étude plus précise des corrélations entre les deltas mesurés sur l'ensemble sites de référence est réalisée dans le paragraphe suivant.

Les figures ci-après représentent les deltas moyens annuels pour 2007 (Figure 5) et 2008 (Figure 6). Les cartes par trimestre sont jointes en annexe III. **Les sites pour lesquels le taux de fonctionnement est inférieur à 75% ne sont pas pris en compte dans les statistiques.**

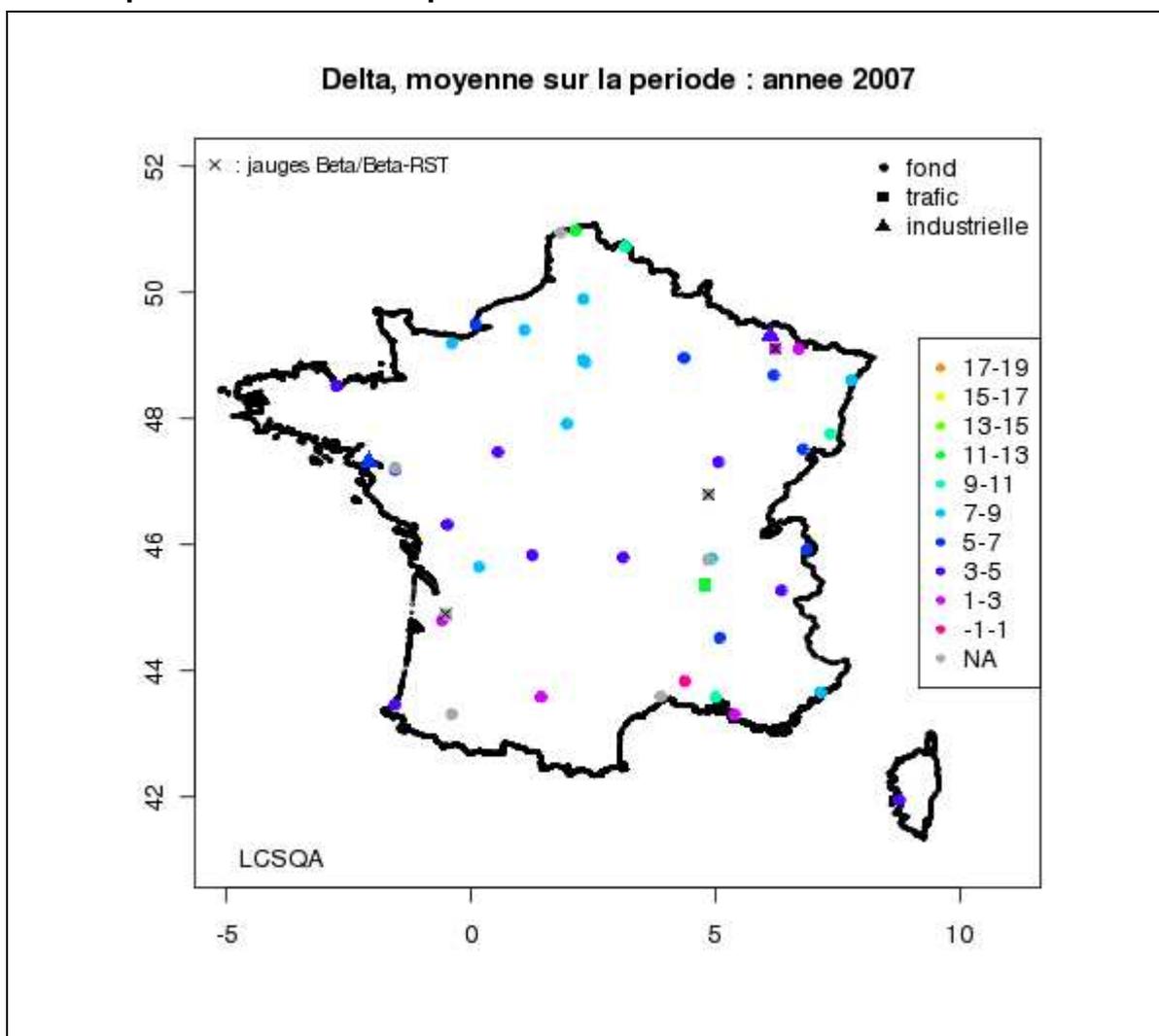


Figure 5: Deltas moyens annuels sur les sites de référence. Année 2007.

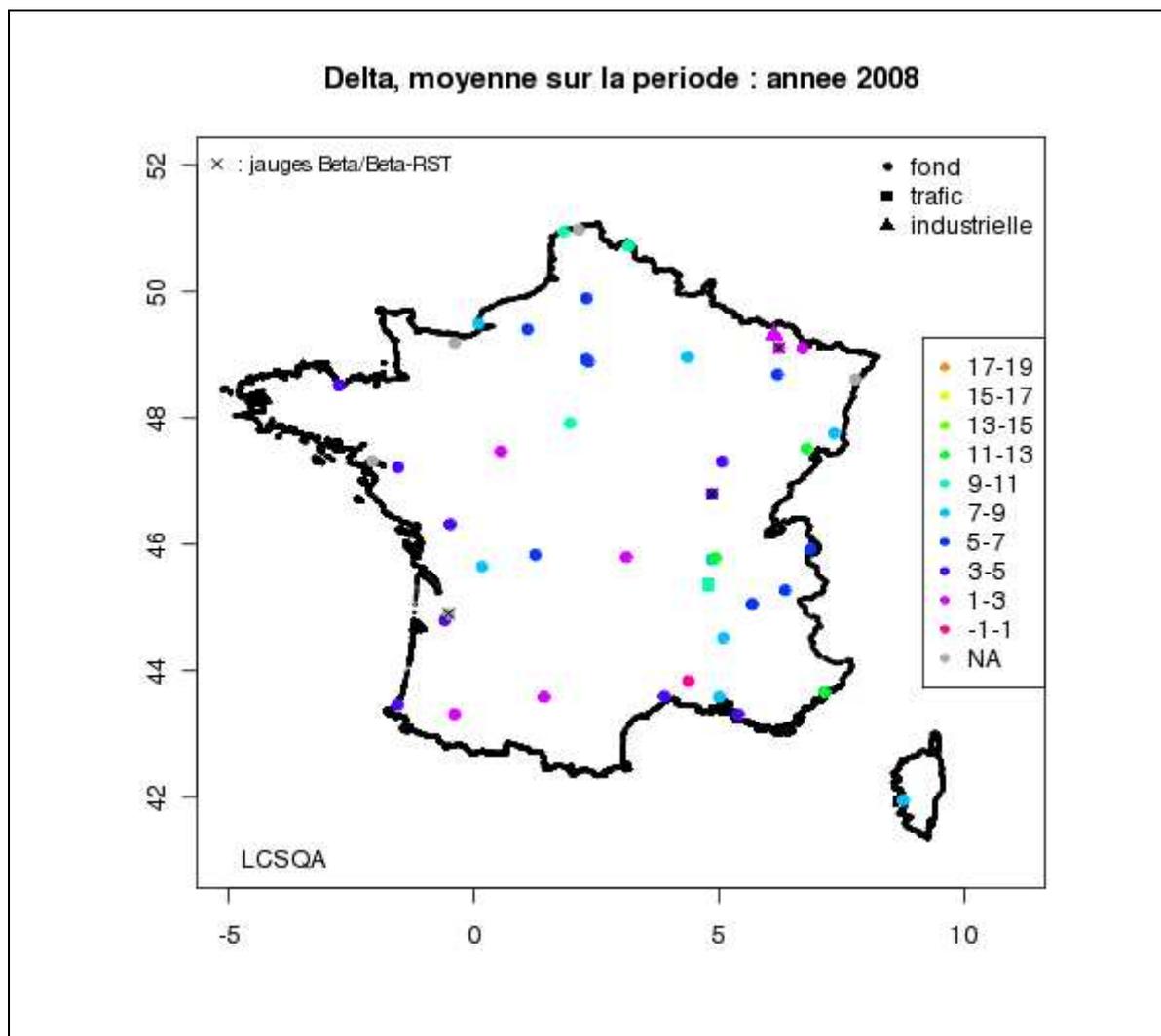


Figure 6: Deltas moyens annuels sur les sites de référence. Année 2008.

Les cartes moyennes par année et par saison montrent une relative homogénéité du delta dans le quart nord-nord-ouest de la France. Il en va de même dans le sud-ouest, avec des valeurs plus faibles. L'est de la France, de la Lorraine à la région PACA, se distingue par une plus grande variabilité du delta moyen. Celle-ci pourrait notamment s'expliquer par l'influence du relief à laquelle s'ajoutent, en région PACA, les effets côtiers.

D'un point de vue spatial, les valeurs les plus élevées du delta moyen annuel sont mesurées dans le nord, l'est ou le sud-est de la France, à des endroits différents selon l'année considérée (Tableau 6).

D'un point de vue temporel, la plupart des deltas moyens saisonniers atteignent leur maximum en automne et leur minimum en été. Cette observation doit être toutefois nuancée en fonction du lieu et de l'année. Par exemple, à Miramas, le maximum est atteint en hiver alors qu'à Paris, il l'est en automne ; à Mulhouse, il l'est soit en automne (2007) soit en hiver (2008).

Ces différences saisonnières entre régions ou entre années indiquent que les deltas mesurés ont des origines diverses et résultent de contributions variables dans le temps ; elles ne permettent pas de tirer de règle générale sur l'impact de l'ajustement selon les saisons. Néanmoins, le plus faible écart l'été est probablement dû à une plus faible formation d'espèces secondaires l'été, confirmant le rôle important de la formation de nitrate d'ammonium en dehors de la saison estivale sur la composante volatile des particules.

Tableau 6 : Les cinq deltas moyens annuels les plus élevés. Année 2007.

Code	AASQA	Typologie	Moyenne annuelle
27008	ATMO Rhône-Alpes	trafic	11,9
10015	ATMO Nord - Pas de Calais	périurbaine	11,7
16057	ASPA	urbaine	10,8
11027	ATMO Nord - Pas de Calais	urbaine	10,5
02026	AIRFOBEP	urbaine	10,0

Tableau 7 : Les cinq deltas moyens annuels les plus élevés. Année 2008.

Code	AASQA	Typologie	Moyenne annuelle
13007	ATMO Franche-Comté	urbaine	12,8
20046	ATMO Rhône-Alpes	urbaine	11,7
24020	ATMO PACA	urbaine	11,0
11027	ATMO Nord - Pas de Calais	urbaine	10,8
27008	ATMO Rhône-Alpes	trafic	9,8

Rem. : les différences entre les deux tableaux ne peuvent être imputées à la fermeture ou à l'ouverture de sites entre 2007 et 2008. En effet, toutes les stations mentionnées dans ces tableaux étaient actives au cours des deux années, avec un taux de fonctionnement supérieur à 75%. Seule fait exception la station 10015 (taux de fonctionnement inférieur à 75% en 2008).

4.2 ETUDE DE CORRELATION DES DELTAS ENTRE LES STATIONS DE REFERENCE

Cette partie a pour objet de hiérarchiser la cohérence spatiale du delta selon des zones géographiques.

4.2.1 METHODE

L'objectif n'est pas d'analyser précisément la variabilité spatiale du delta mais de la caractériser de manière relative.

Deux critères, choisis pour leur efficacité et leur facilité d'interprétation, sont considérés à cette fin : la corrélation et l'écart moyen* entre les valeurs

journalières de delta mesurées par les différents sites de référence. Le premier critère sert à évaluer si deux séries de deltas varient de façon concordante ; le second, si ces séries sont proches en valeur.

Pour chaque station de référence, corrélation et écart moyen sont calculés avec chacun des autres sites et représentés en fonction de la distance.

$$* \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\Delta_i^{Site1} - \Delta_i^{Site2}| \text{ avec } i=1 \dots 365 \text{ ou } 366.$$

La hiérarchisation repose également sur l'examen des séries temporelles de deltas.

4.2.2 RESULTATS

Fond urbain et périurbain

Cette étude confirme et précise les résultats préliminaires établis en 2008 (Bessagnet et al., 2008).

Elle met en évidence plusieurs zones homogènes du point de vue du delta :

- un ensemble comprenant la Normandie, la Picardie et l'Ile-de-France et dont l'homogénéité se vérifie particulièrement en 2007 et au début de l'année 2008 (Figure 11 à Figure 14, annexe IV). En 2007, cet ensemble peut être étendu à la région Centre.
- la région Pays-de-Loire (Figure 15 à Figure 18, annexe IV).

Cette concordance s'opère aussi bien sur l'amplitude du delta que sur sa variabilité temporelle (exemple de la Figure 7 ci-dessous).

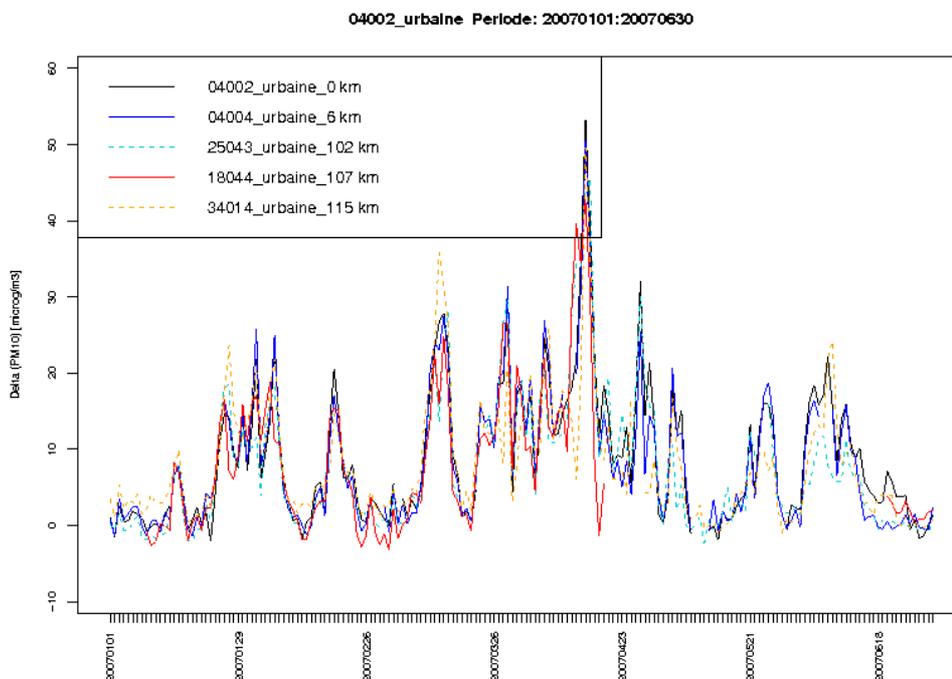


Figure 7 : Delta mesuré par la station urbaine 04002 (Ile-de-France) et par les quatre stations les plus proches. Exemple du 1er semestre 2007.

A l'inverse, elle montre la grande hétérogénéité du sud de la France : l'Aquitaine (Figure 19 et Figure 20) et plus particulièrement la zone sud-est (Languedoc-Roussillon, PACA) (Figure 8 ci-dessous et Figure 21 à Figure 24, annexe IV).

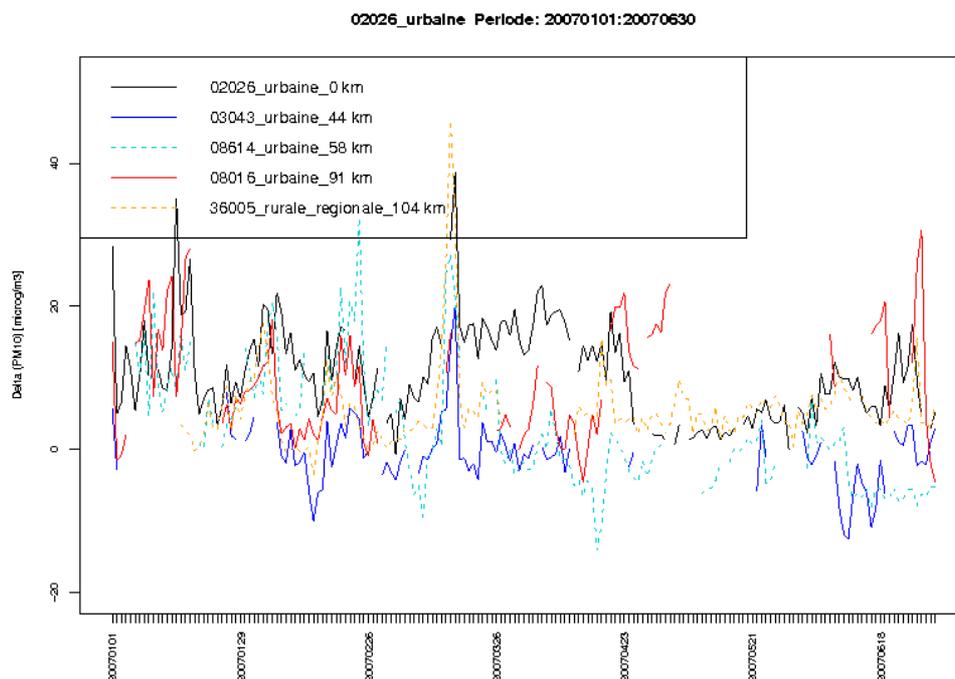


Figure 8 : Delta mesuré par la station urbaine 02026 (PACA) et par les quatre stations les plus proches. Exemple du 1er semestre 2007.

Les autres régions s'ordonnent moins aisément. Toutes révèlent des hétérogénéités, avec des similarités plus ou moins prononcées entre certaines stations voisines, et des différences sensibles entre d'autres. Par exemple, le delta mesuré par la station de Montbéliard (13007) est bien corrélé ($>0,85$) au delta de la station de Strasbourg (16057) mais présente avec ce dernier un écart systématique. Durant le premier trimestre de 2007, le delta de la station de Strasbourg s'accorde avec celui de la station de Mulhouse (16029) mais s'en écarte par la suite (Figure 25 et Figure 26, annexe IV). Pour certaines zones, la faible densité de stations ne permet pas de conclure (c'est le cas de la région Midi-Pyrénées qui ne possède qu'une station de référence, 12030 ; les stations les plus proches en sont distantes d'environ 200 km).

Remarque : on note des disparités, notamment du point de vue de la variabilité temporelle du delta, entre les sites équipés de jauges Bêta (01012 en Lorraine, 31007 en Aquitaine, 32014 en Bourgogne) et les stations équipées de FDMS (Figure 27, Figure 28, annexe IV). L'origine de ces différences et le rôle joué ou non par le type d'équipement mériteraient d'être analysés.

Autres typologies de sites :

Le petit nombre de stations de typologie autre qu'urbaine ou périurbaine ne permet pas de tirer de conclusion définitive. L'étude des deltas ne montre pas de comportement spécifique de ces stations.

Proximité industrielle

On constate :

- pour la station industrielle des Pays de Loire (23178, FDMS), une cohérence avec les stations voisines (FDMS) (Figure 15 et Figure 16).
- pour la station industrielle de Lorraine (01006, FDMS), des écarts sensibles avec la station urbaine la plus proche (01012, Bêta-RST) mais des différences plus modérées (d'environ $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle) et une corrélation variable (0,87 en 2007 ; 0,48 en 2007) avec la station urbaine 22016 (équipée de FDMS et située à une cinquantaine de kilomètres) (Figure 30 et Figure 31).

Trafic

La région Rhône-Alpes compte une station de référence de trafic, située sur l'autoroute A7 dans le nord de l'Isère, (27008, FDMS).

Sur quelques périodes de plus fortes valeurs, le delta mesuré concorde assez bien avec celui de la station urbaine la plus proche (20062, FDMS); le reste du temps, il lui est généralement supérieur (Figure 32 et Figure 33).

Les différences de delta entre cette station de trafic et les stations de référence environnantes (situées à quelques dizaines de kilomètres) restent cependant analogues aux écarts que l'on observe par ailleurs entre sites de fond (autour de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle jusqu'à une centaine de kilomètres de distance).

Fond rural

La région Rhône-Alpes compte une station rurale de référence dans la Drôme (36005, FDMS).

Le delta mesuré par cette station diffère de celui de la station périurbaine la plus proche (15045, située à environ 75 km) dans des proportions comparables aux écarts constatés entre sites urbains (Figure 29). La plupart du temps, il est supérieur au delta périurbain.

5. UTILISATION DU MODELE CHIMERE SUR LES ANNEES 2007 ET 2008

Les niveaux de PM_{10} des années 2007 et 2008 sont resimulés avec le modèle CHIMERE et des données météorologiques analysées.

Dans l'étude réalisée en 2008 dans le cadre du LCSQA (Bessagnet et al., 2008), les PM_{10} simulées par CHIMERE ont été directement comparées aux mesures de TEOM-FDMS aux stations de référence. Sur l'année 2007, le modèle présente un biais négatif de 5 à $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que l'on peut expliquer par diverses composantes (espèces primaires mal prises en compte, sous-estimation de la production d'espèces organiques secondaires, biais météorologiques). La corrélation avec les mesures de PM_{10} ($r=0,57$) est meilleure qu'avec celles de PM_{10} non volatiles ($r=0,45$) du fait de la prise en compte des épisodes de nitrate d'ammonium. En été, la corrélation entre CHIMERE et les mesures de PM_{10} non volatiles est toutefois accrue, ce qui indique la meilleure aptitude du modèle à simuler l'évolution estivale de la couche limite, paramètre météorologique essentiel gouvernant l'évolution des concentrations d'espèces non volatiles.

En 2009, nous proposons de valider sur 2007 et 2008 les PM_{10} « modèle » sur leur composante volatile, ce qui permet de déduire une méthode de correction des PM_{10} par modélisation appliquée de manière rétroactive aux années 2005 et 2006. Cette méthode de correction a été améliorée en prenant en compte la composante nitrate d'ammonium « modèle » mais également un coefficient supplémentaire permettant d'annuler le biais sur le jeu de données disponibles en 2007 et 2008. Cette correction complémentaire est censée représenter les autres composés volatilés lors de la mesure.

Ainsi, la méthode de correction par le modèle CHIMERE calculée sur la période 2007-2008 appliquée aux données 2005 et 2006 produit un nombre de stations en dépassement de 63 en 2005 et 94 en 2006.

L'étude complète qui est présentée en annexe V a fait l'objet d'une note technique publiée sur le site du LCSQA (www.lcsqa.org) en août 2009 (Annexe V). Des fichiers de corrections des données aux stations de mesure sont également disponibles à cette même adresse.

6. CONCLUSION

Cette étude repose sur l'exploitation des données de PM_{10} mesurées par les AASQA, ajustées selon la procédure adoptée par la France et compilées dans la BDQA.

Rappelons que la terminologie suivante, définie par la Commission de Suivi "Mesure des particules en suspension", est employée :

- PM_{10} ou $PM_{2,5}$: concentration mesurée par la méthode de référence (TEOM-FDMS et jauge Bêta RST pour les PM_{10} ou TEOM-FDMS pour les $PM_{2,5}$) ou ajustée,
- PM_{10} non volatiles ou $PM_{2,5}$ non volatiles : concentration mesurée par TEOM 50°C ou jauge Bêta,
- Delta : ajustement calculé par différence entre les mesures par TEOM-FDMS et TEOM 50°C ou entre les mesures par jauge Bêta RST et jauge Bêta, sur les sites de référence.

La première partie examine l'effet de l'ajustement sur les statistiques de dépassement.

Afin de dissocier cet effet de celui des données manquantes, seules les périodes pour lesquelles les mesures de PM_{10} et de PM_{10} non volatiles sont simultanément disponibles ont été prises en compte dans le calcul des statistiques.

Sur les 283 (2007) et 291 (2008) sites considérés, la moyenne des PM_{10} non volatiles est de $19,6 \mu\text{g.m}^{-3}$ en 2007 et de $17,6 \mu\text{g.m}^{-3}$ en 2008 ; celle des PM_{10} est de $25,7 \mu\text{g.m}^{-3}$ en 2007 et de $23,5 \mu\text{g.m}^{-3}$ en 2008. Le delta moyen est donc d'environ $6 \mu\text{g.m}^{-3}$. On ne peut établir de loi de comportement simple de l'ajustement qui n'est pas une fonction linéaire de la concentration. L'impact de l'ajustement sur les nombres de dépassements de valeurs limites est très significatif. Le nombre de sites qui présentent un dépassement de la valeur limite annuelle de $40 \mu\text{g.m}^{-3}$ passe de 2 à 11 en 2007 et de 1 à 7 en 2008. Le nombre de sites montrant plus de 35 jours de dépassement du seuil journalier de $50 \mu\text{g.m}^{-3}$

passé de 7 à 75 en 2007 et de 4 à 24 en 2008. La distribution par typologie de cette augmentation est la suivante :

- aucun site rural affecté ;
- de 0 à 42 sites urbains et périurbains en 2007 (soit de 0 à 16% des sites urbains et périurbains); de 0 à 6 sites urbains et périurbains en 2008 (soit de 0 à 2%) ;
- de 2 à 12 sites industriels en 2007 (soit de 5 à 34% des sites industriels) ; de 0 à 3 sites industriels en 2008 (0 à 6%) ;
- de 5 à 21 sites de trafic en 2007 (soit de 9 à 40% des sites de trafic) ; de 4 à 15 sites de trafic en 2008 (8 à 29%).

L'application de la nouvelle directive européenne nécessite un rééquilibrage des nombres de sites de mesure de PM entre sites de trafic et sites urbains, au profit des sites de trafic. Il est important de noter que cela produira une augmentation certainement significative du nombre de sites en situation de dépassement de valeur limite.

Dans la deuxième partie de l'étude, on a comparé les séries des deltas journaliers entre les 45 sites de référence recensés, afin de hiérarchiser la cohérence spatiale de l'ajustement selon des zones géographiques. Sur la Normandie, la Picardie, l'Île-de-France, le Centre, les Pays de Loire, l'homogénéité du delta est mise en évidence. A l'opposé, le pourtour méditerranéen constitue une zone particulièrement hétérogène, ce qui peut s'expliquer par le relief complexe et la proximité de la mer. Des hétérogénéités plus ou moins marquées selon la période sont également observées en Aquitaine, en Rhône-Alpes, en Bourgogne, dans l'Est et le Nord de la France ; certaines pourraient être dues aux différences d'équipement (TEOM/jauges Bêta). En Midi-Pyrénées, l'homogénéité de l'ajustement est peu aisée à qualifier à cause de la faible densité de sites de référence.

La troisième partie a pour objet d'étudier les performances de la modélisation déterministe par rapport aux mesures de PM₁₀ non volatiles et de PM₁₀ réalisées sur les sites de référence. Les niveaux de PM₁₀ des années 2007 et 2008 sont resimulés avec le modèle CHIMERE et des données météorologiques analysées. Les concentrations en PM₁₀ issues du modèle CHIMERE ont été validées sur leur composante volatile ce qui a permis de déduire une méthode de correction des PM₁₀ par modélisation pour les années 2005 et 2006. Cette méthode de correction a été améliorée en prenant en compte la composante nitrate d'ammonium modèle mais également un coefficient supplémentaire permettant d'annuler le biais sur le jeu de données disponible en 2007 et 2008. Ainsi, la méthode de correction par le modèle CHIMERE calculée sur la période 2007-2008 appliquée aux données 2005 et 2006 donne un nombre de stations en dépassement de 63 en 2005 et 94 en 2006.

Les fichiers d'ajustement par le modèle des concentrations de PM₁₀ non volatiles issues des TEOM et jauges Bêta pour les années 2005, 2006 sont disponibles sur le site www.lcsqa.org.

7. REFERENCES

Bessagnet B., Malherbe L., Aymoz G., 2008. Bilan de la première année de mesure des PM₁₀ ajustées en France et évaluation des outils de modélisation. Rapport LCSQA n°DRC-08_94306_15151A, www.lcsqa.org.

Directive 2008/50/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe.

Putaud, J., Raesa, F., Van Dingenen, R., Brüggemann, E., Facchini, M., Decesari, S., Fuzzi, S., Gehrig, R., Hueglin, C., Laj, P., Lorbeer, G., Maenhaut, W., Mihalopoulos, N., Müller, K., Querol, X., Rodriguez, S., Schneider, J., Spindler, G., ten Brink, H., Tørseth, K., Wiedensohler, A., 2004. A European aerosol phenomenology—2: chemical characteristics of particulate matter at kerbside, urban, rural and background sites in Europe, *Atmospheric Environment*, 38, 2579–2595

8. LISTE DES ANNEXES

Référence	Désignation	Nombre de pages
Annexe I	Fiche LCSQA de l'étude	2
Annexe II	Liste des sites de référence	2
Annexe III	Carte des deltas moyens saisonniers	2
Annexe IV	Etude de l'homogénéité du delta	21
Annexe V	Méthode de correction des données passées par utilisation du modèle CHIMERE	13

Annexe I

THEME 6 : Modélisation – traitements numériques

BILAN DES MESURES DE PM10 AJUSTEES EN FRANCE ET EVALUATION DES OUTILS DE MODELISATION

Responsable de l'étude : INERIS

Contexte et objectif

Depuis le 1er Janvier 2007, les réseaux de surveillance de la qualité de l'air fournissent des données PM_{10} tenant compte de la fraction volatile des aérosols. Les données de PM_{10} et $PM_{2.5}$ sont désormais produites soit directement par méthode de référence, soit ajustées pour tenir compte de la fraction volatile des aérosols. Dans ce cas, la fraction volatile est mesurée sur un site de référence et utilisée pour ajuster les mesures des sites alentours.

Cette stratégie a été développée afin d'étaler dans le temps l'équipement nécessaire pour transformer le parc de mesure PM selon les besoins de la directive européenne.

En 2008, Le LCSQA a réalisé un bilan de la première année de ce mode de mesure, en terme de :

- étude de la cohérence régionale de l'ajustement : évaluation de zones prioritaires pour un équipement en FDMS
- étude de l'impact de la prise en compte de la fraction volatile sur les niveaux observés et sur les dépassements de seuil
- positionnement par rapport à la modélisation déterministe.

Il est proposé en 2009 d'assurer la continuité de ce travail.

Travaux proposés pour 2009

Etude de la cohérence régionale de l'ajustement

L'hypothèse principale sur laquelle réside la validité de l'ajustement est la cohérence régionale de la valeur d'ajustement.

Une étude de la relation entre les valeurs d'ajustement mesurées sur les sites de référence en fonction de la distance entre ces sites a permis de hiérarchiser, en première approche, les grandes zones géographiques sur lesquelles un **équipement en méthode de référence était prioritaire**.

Pour 2009, il est proposé d'améliorer la robustesse des résultats par la prise en compte des données 2008 sur les sites de référence.

Etude de l'impact de la prise en compte de la fraction volatile sur les dépassements de seuil

Un bilan de l'impact de la prise en compte de la fraction volatile sur les niveaux observés et sur les dépassements de seuil, a été réalisé pour l'année 2007. Il est proposé une mise à jour ce bilan pour l'année 2008.

Positionnement par rapport à la modélisation déterministe

Suite aux travaux de modélisation réalisés en 2008 à partir des données de l'année 2007, de nombreuses questions émergent quant à la composition de la fraction volatile des PM10, notamment sur la part d'organiques secondaires présente dans cette fraction.

Les données de l'année 2008 seront utilisées pour évaluer à nouveau le modèle par rapport aux observations TEOM-FDMS. A partir de la version actuelle du modèle CHIMERE remise récemment à jour pour une meilleure prise en compte de la fraction des organiques secondaires, nous effectuerons une analyse exploratoire de l'impact des composantes organiques primaire et secondaire sur la partie volatile des PM10. Au vu du grand nombre de mesures disponibles, les comparaisons et validations seront réalisées par région et par typologie de station.

Renseignements synthétiques

Titre de l'étude		Bilan des mesures de PM10 ajustées en France et évaluation des outils de modélisation	
Personne responsable de l'étude		B. Bessagnet, L. Malherbe, G. Aymoz	
Travaux	annuels		
Durée des travaux pluriannuels			
Collaboration AASQA	OUI		
Heures d'ingénieur	EMD :	INERIS : 550	LNE : -
Heures de technicien	EMD :	INERIS :	LNE : -
Document de sortie attendu	Rapport d'étude		
Lien avec le tableau de suivi CPT	CS Particules		
Matériel acquis pour l'étude			

Annexe II

Liste des sites de référence

Tableau 8 : Liste des sites de référence. Les sites pour lesquels le taux de fonctionnement est inférieur à 75% de l'année ne sont pas pris en compte dans le calcul des statistiques.

Code BDQA	AASQA	Typologie	Taux de fonctionnement en 2007	Taux de fonctionnement en 2008
01006	ATMOLOR	industrielle	88.2	93.7
01012	ATMOLOR	urbaine	86.0	98.9
02026	AIRFOBEP	urbaine	95.1	94.0
03043	ATMO_PACA	urbaine	77.3	88.8
04002	AIRPARIF	urbaine	94.0	90.2
04004	AIRPARIF	urbaine	91.0	89.3
05074	Air_Normand	urbaine	97.3	84.4
07004	ATMO_Auvergne	urbaine	87.7	99.5
08016	AIR_LR	urbaine	72.9	82.2
08614	AIR_LR	urbaine	88.8	95.1
09020	ATMO_PC	periurbaine	92.6	95.1
09103	ATMO_PC	urbaine	91.5	88.0
10015	ATMO_NPdeC	periurbaine	75.1	17.5
10016	ATMO_NPdeC	urbaine	9.6	82.0
11027	ATMO_NPdeC	urbaine	95.9	97.3
12030	ORAMIP	urbaine	95.1	97.3
13007	ATMO_FC	urbaine	96.2	96.4
14022	ATMO_CA	urbaine	97.3	93.7
15045	ATMO_Rh-A	urbaine	0.0	93.4
16029	ASPA	urbaine	87.4	70.2
16057	ASPA	urbaine	96.2	84.2
18044	ATMO_Picardie	urbaine	80.5	97.0
19061	AIR_BREIZH	urbaine	92.6	88.5
20046	ATMO_Rh-A	urbaine	94.8	89.3
20062	ATMO_Rh-A	urbaine	74.2	94.8
21001	AIR_C.O.M.	urbaine	93.4	23.8

Code BDQA	AASQA	Typologie	Taux de fonctionnement en 2007	Taux de fonctionnement en 2008
22016	ATMOLOR	urbaine	88.8	85.2
23120	AIR_PL	urbaine	88.8	95.4
23178	AIR_PL	industrielle	96.4	21.0
23179	AIR_PL	urbaine	94.2	0.0
23188	AIR_PL	urbaine	2.7	97.3
24020	ATMO_PACA	urbaine	96.2	98.4
25043	AIR_Normand	urbaine	99.2	94.3
26005	ATMOSF'Air_Bourg._CN	urbaine	80.0	81.7
27008	ATMO_Rh-A	trafic	87.4	97.0
30034	AIRLOR	urbaine	97.3	91.8
31002	AIRAQ	urbaine	94.8	96.4
31007	AIRAQ	urbaine	59.7	0.0
31013	AIRAQ	urbaine	0.0	84.2
31018	AIRAQ	urbaine	75.6	93.2
32014	ATMOSF'Air_Bourg._Sud	urbaine	59.2	93.2
33111	AIR_APS	urbaine	98.1	99.5
33120	AIR_APS	urbaine	90.1	99.7
34014	Lig'Air	urbaine	99.2	98.9
35003	LIMAIR	urbaine	91.2	98.1
36005	ATMO_Rh-A	rurale_regionale	87.1	90.7
41007	QUALIT'Air_Corse	periurbaine	78.4	83.3

Annexe III

Cartes des deltas moyens saisonniers

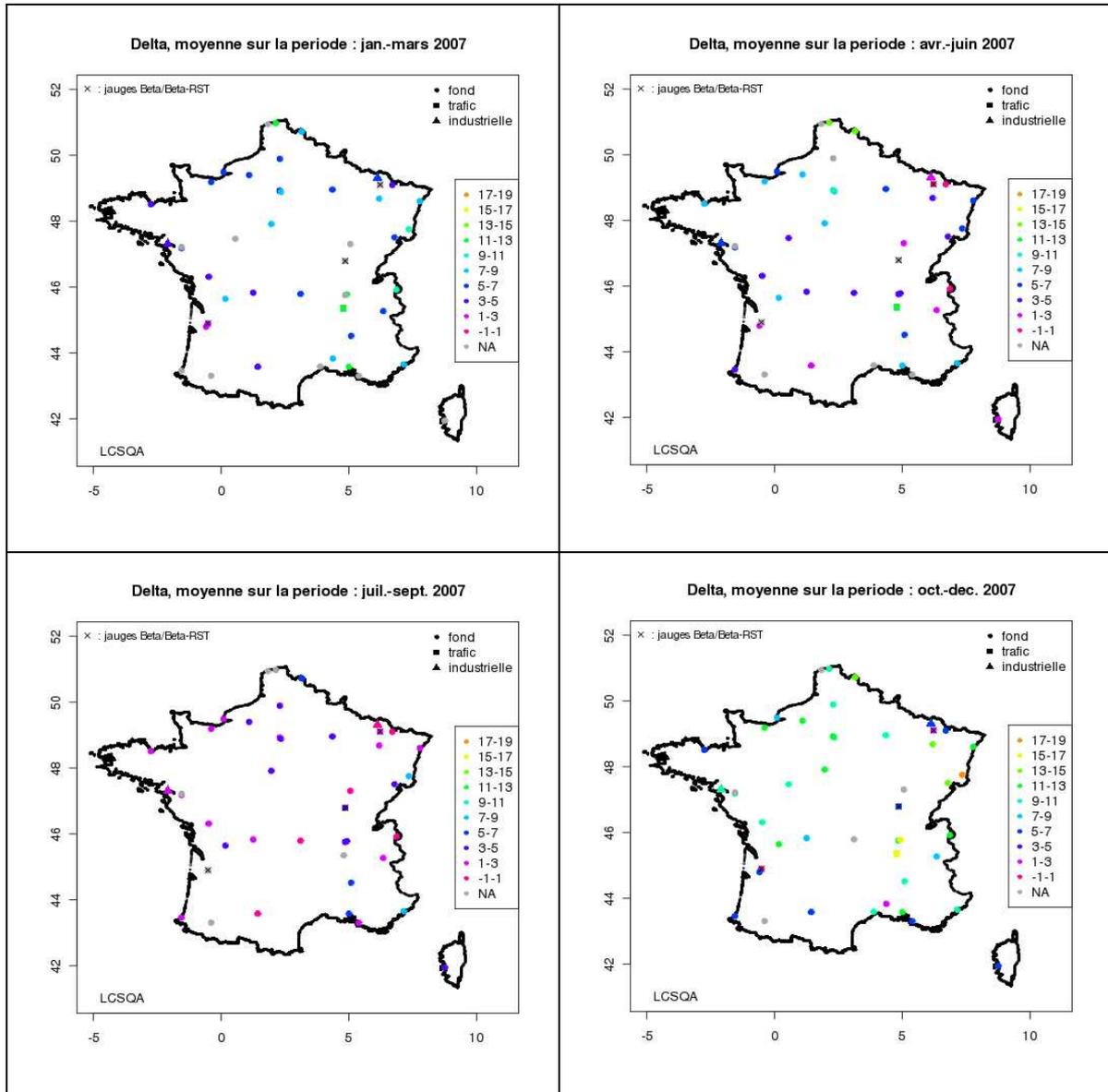


Figure 9 : Deltas moyens par trimestre sur les sites de référence – Année 2007.

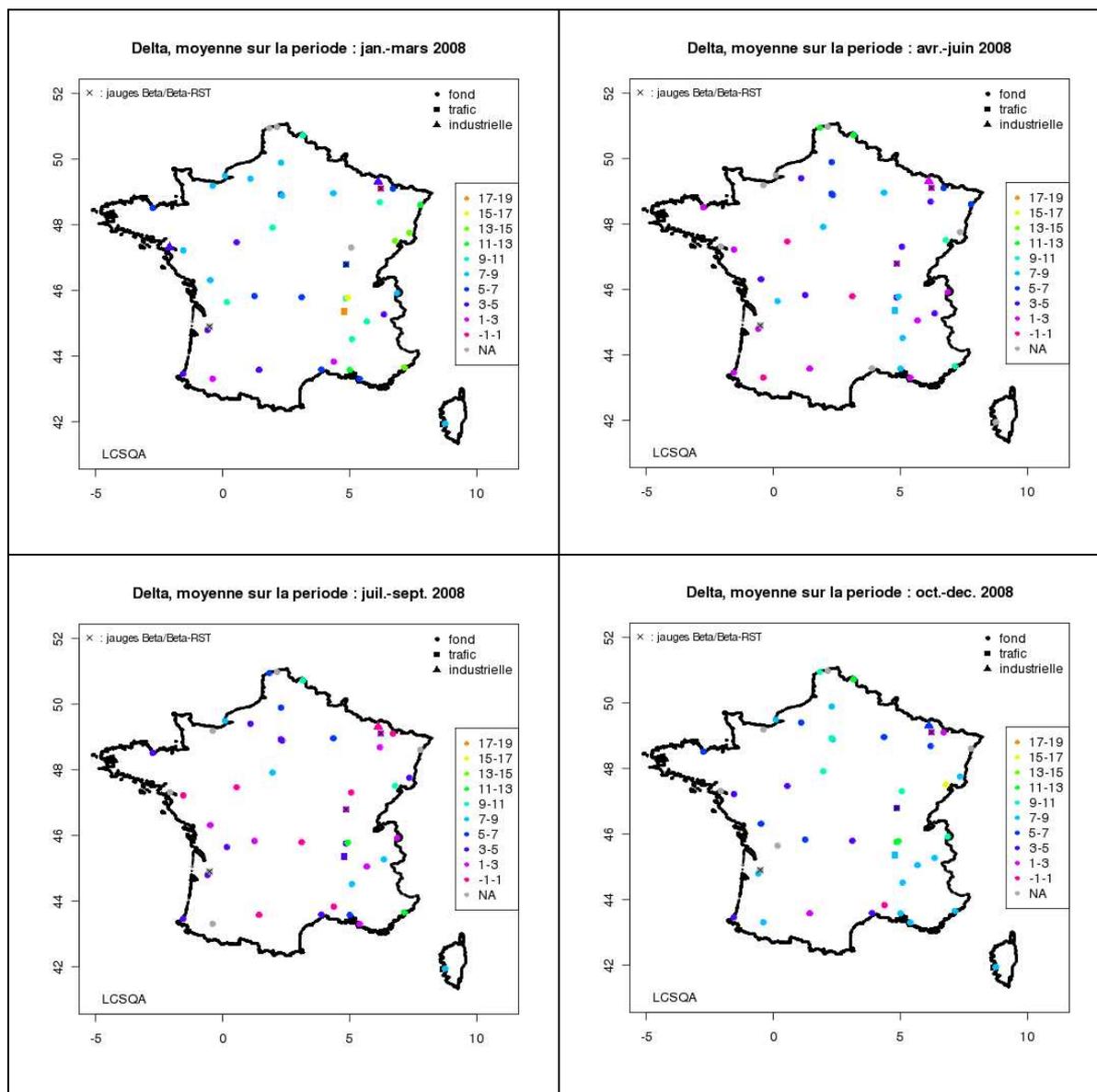
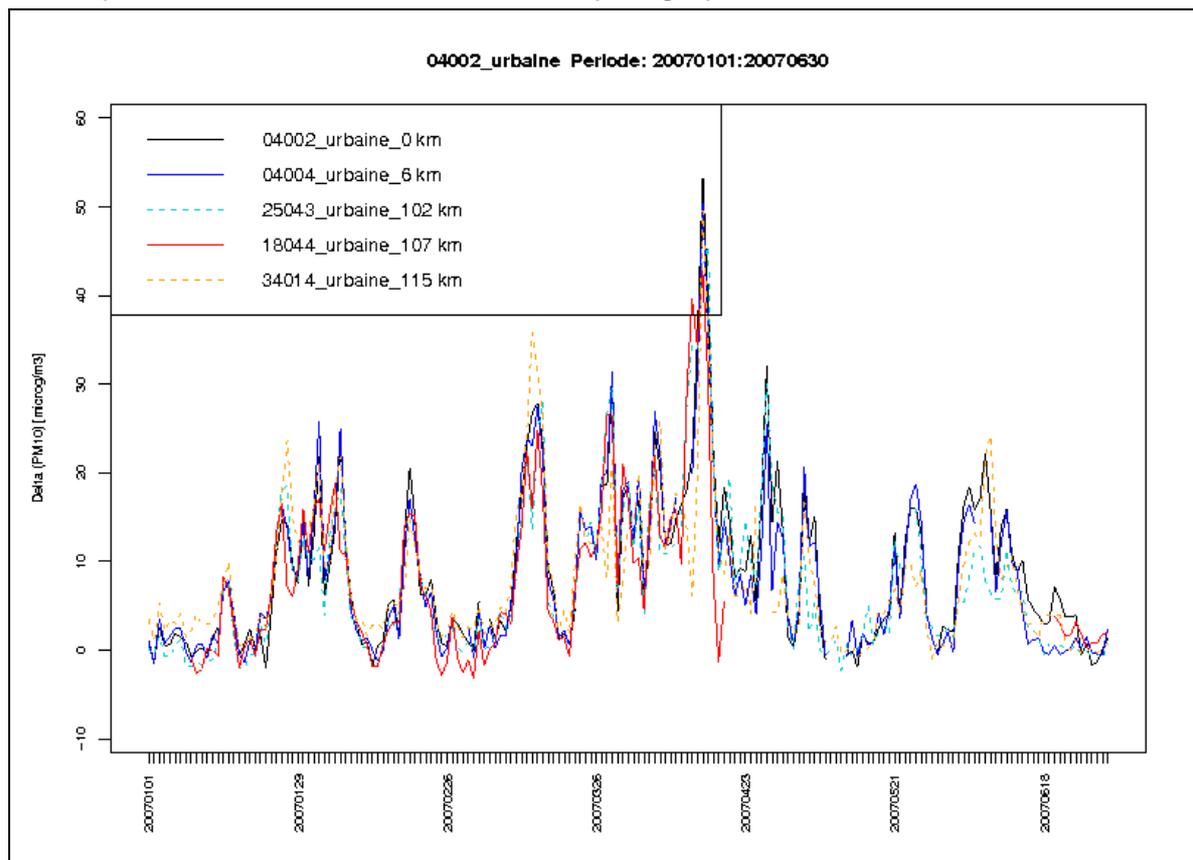


Figure 10 : Deltas moyens par trimestre sur les sites de référence – Année 2008.

Annexe IV

Etude de l'homogénéité du delta

Les graphiques suivants ont été réalisés pour l'ensemble des stations de référence et pour chaque année (2007 et 2008). Nous en présentons ici quelques exemples afin d'illustrer les résultats du paragraphe 4.2.2.



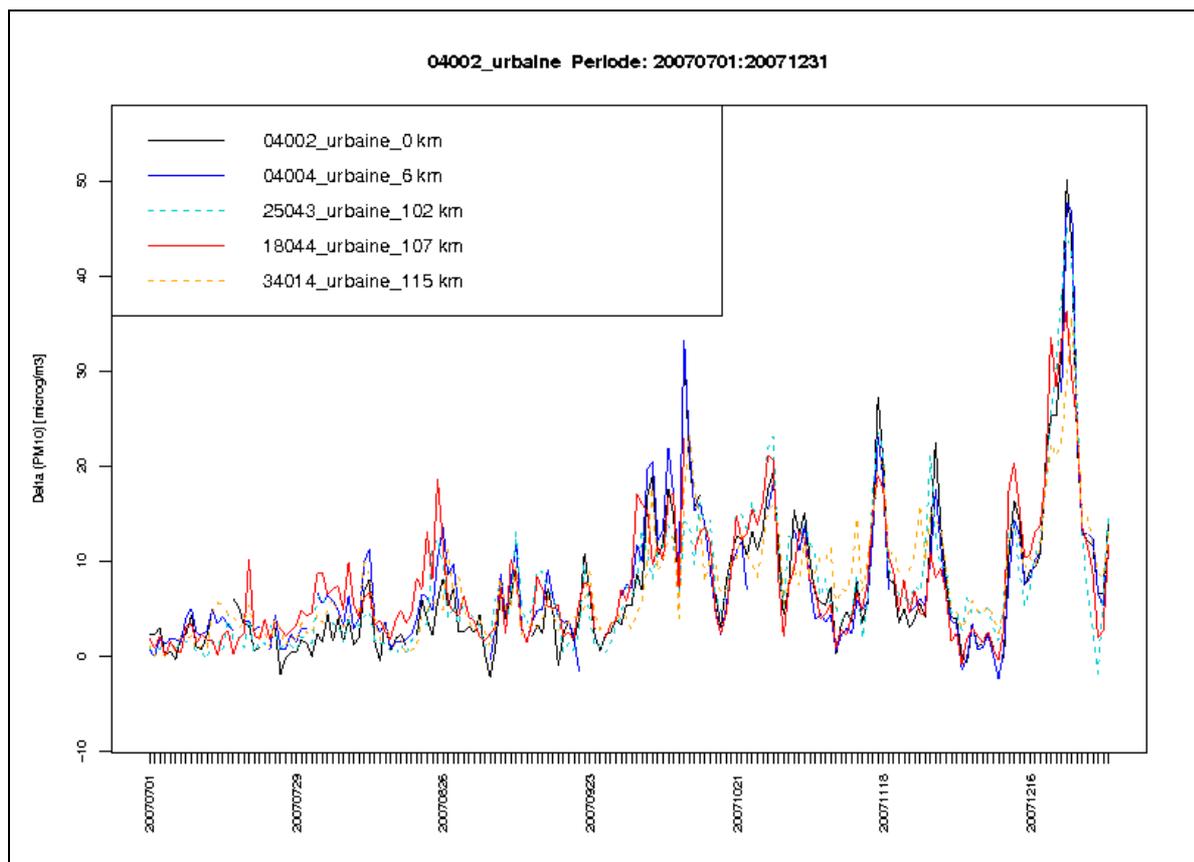
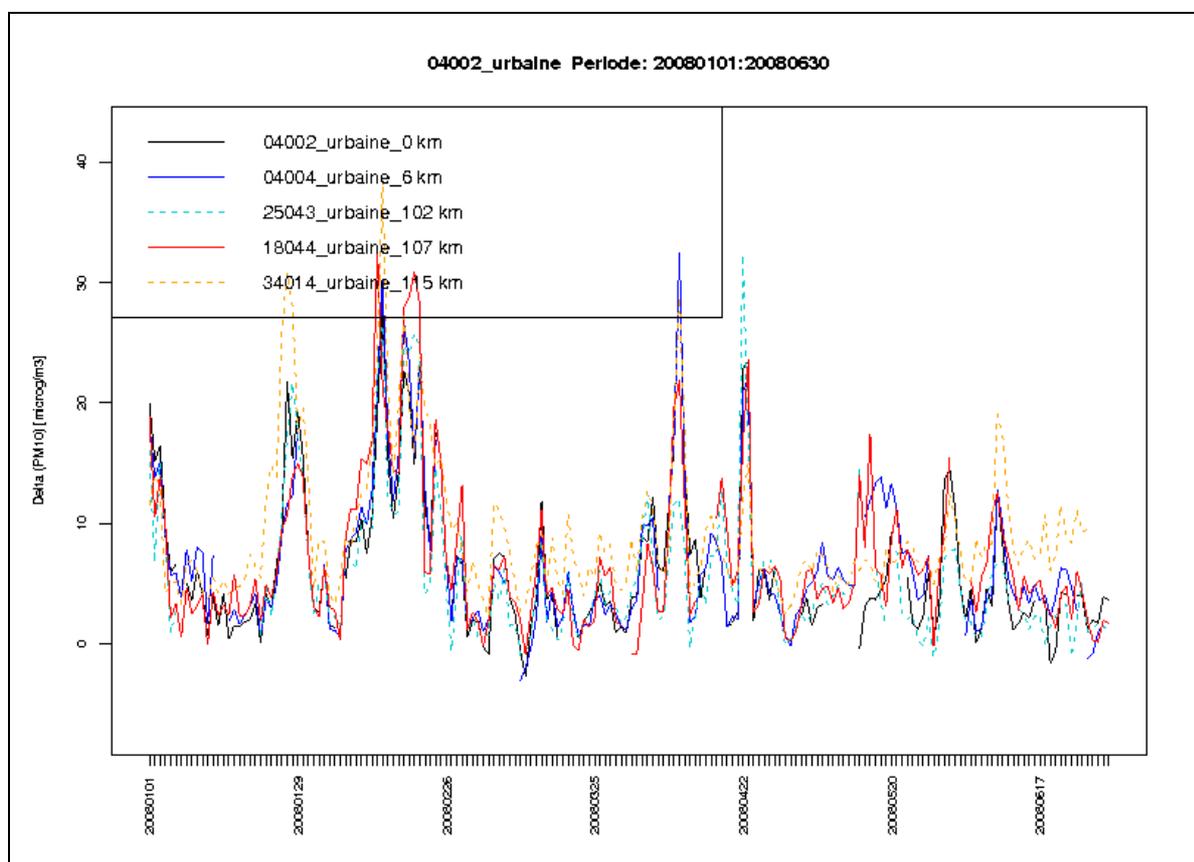


Figure 11 – Séries temporelles du delta mesuré par la station urbaine 04002 (Ile de France) et par les 4 stations les plus proches : 04004 (Ile-de-France), 25043 (Normandie), 18044 (Picardie), 34014 (Centre). Année 2007.



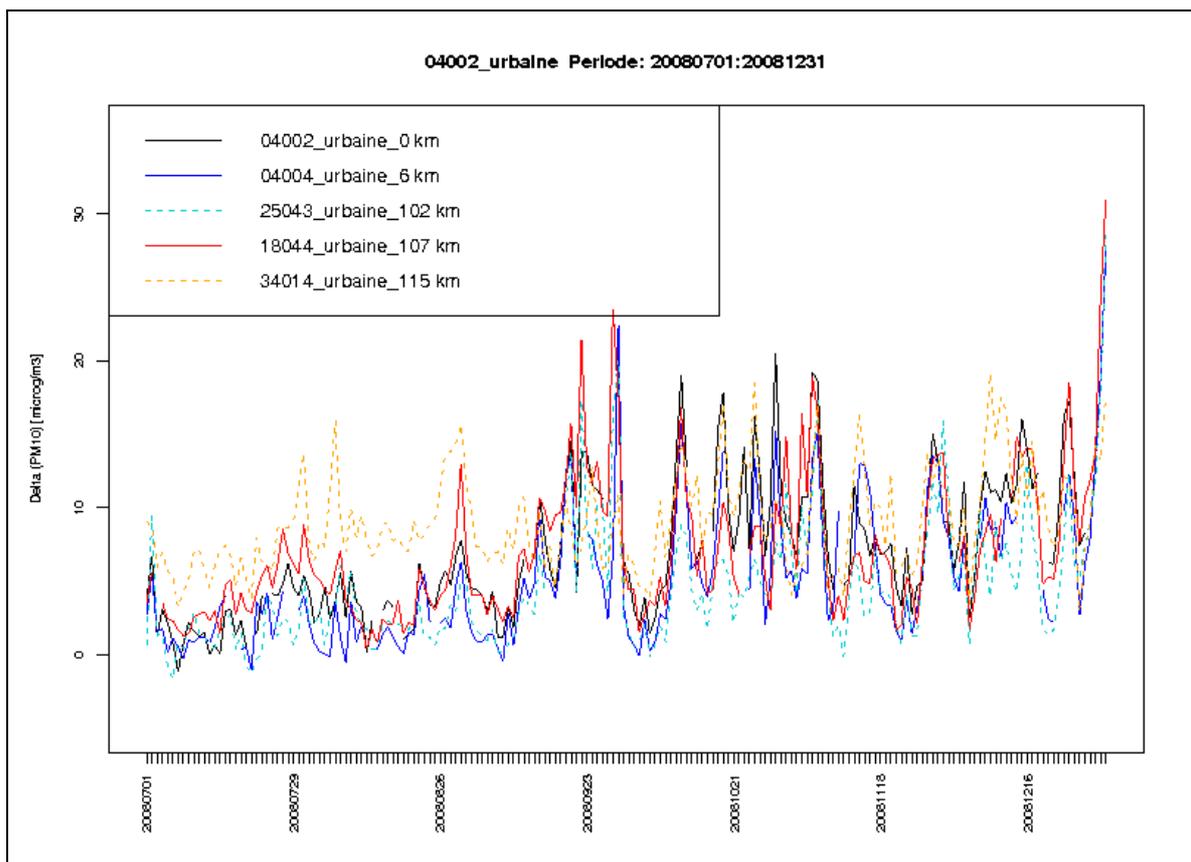


Figure 12 – Séries temporelles du delta mesuré par la station urbaine 04002 (Ile de France) et par les 4 stations les plus proches : 04004 (Ile-de-France), 25043 (Normandie), 18044 (Picardie), 34014 (Centre). Année 2008.

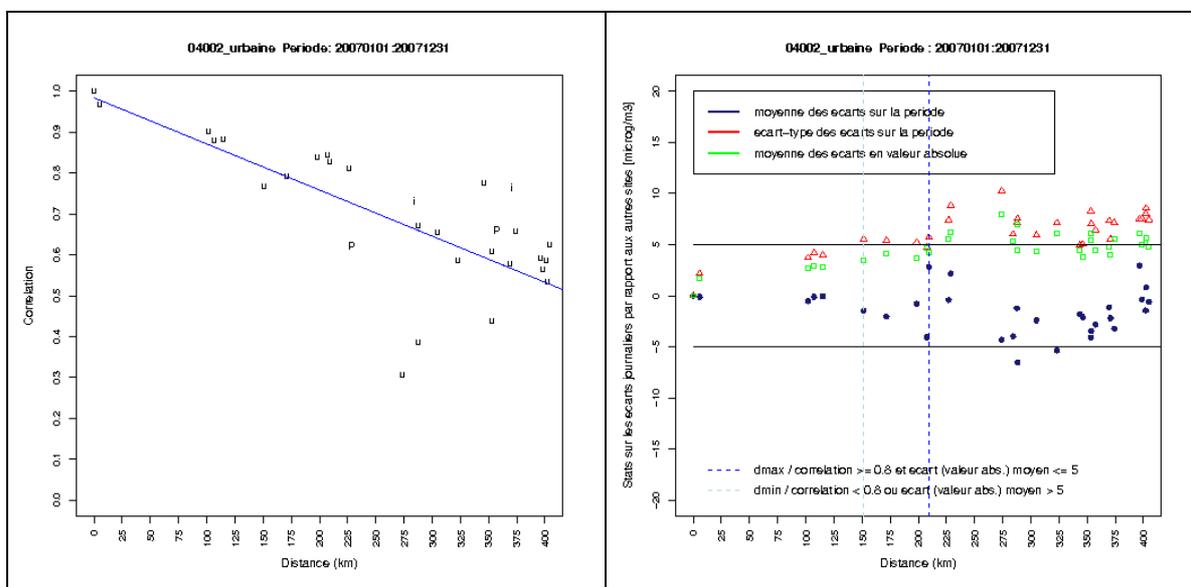


Figure 13 –Corrélation et statistiques sur les écarts journaliers entre le delta mesuré par la station urbaine 04002 (Ile-de-France) et le delta mesuré par les autres stations. En abscisse : la distance entre stations. Dans le graphe de gauche, les lettres correspondent à l'initiale de la typologie (u : urbaine ; p : périurbaine ; r : rurale ; t : trafic ; i : industrielle). Année 2007.

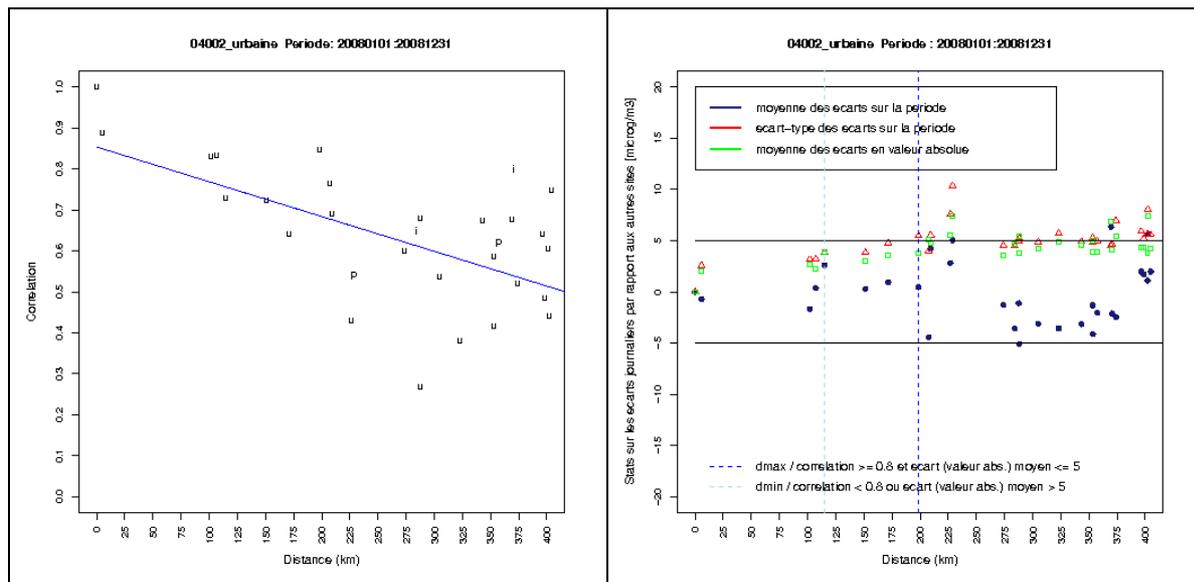
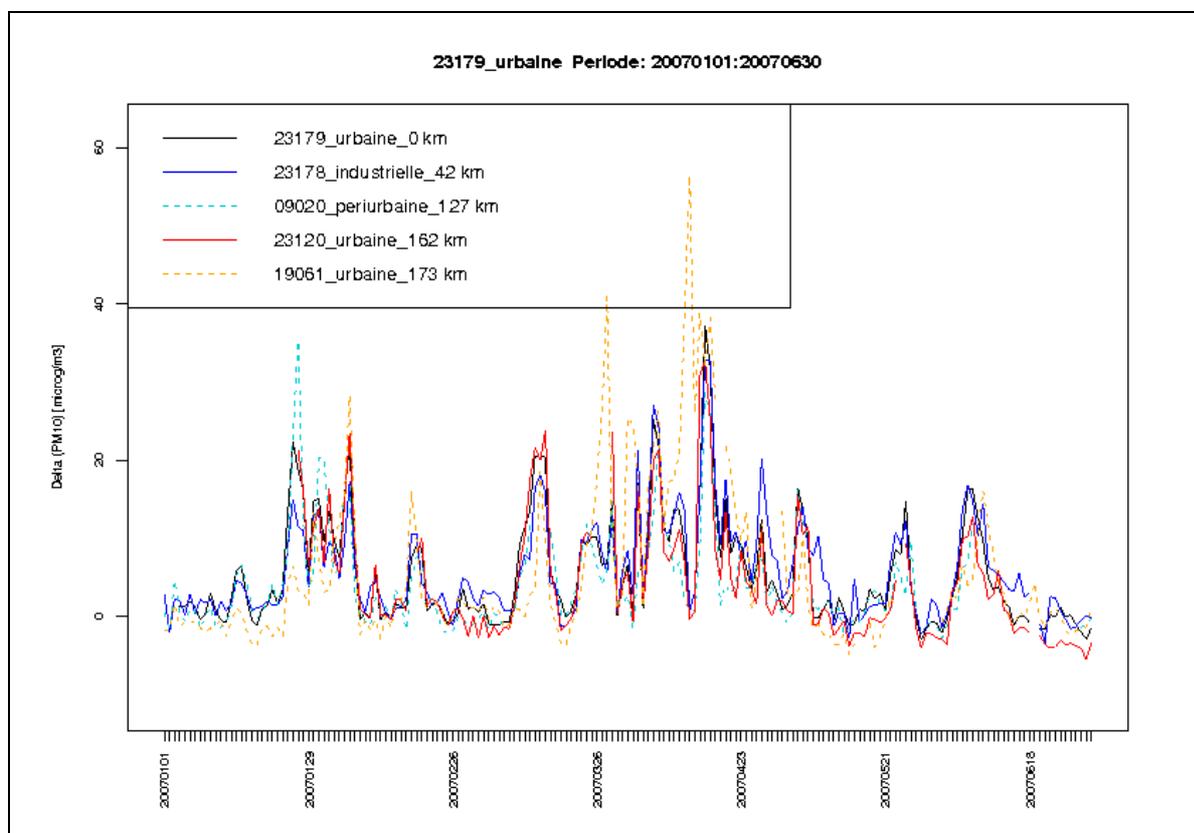


Figure 14 –Corrélation et statistiques sur les écarts journaliers entre le delta mesuré par la station urbaine 04002 (Ile-de-France) et le delta mesuré par les autres stations. En abscisse : la distance entre stations. Dans le graphe de gauche, les lettres correspondent à l'initiale de la typologie (u : urbaine ; p : périurbaine ; r : rurale ; t : trafic ; i : industrielle). Année 2008.



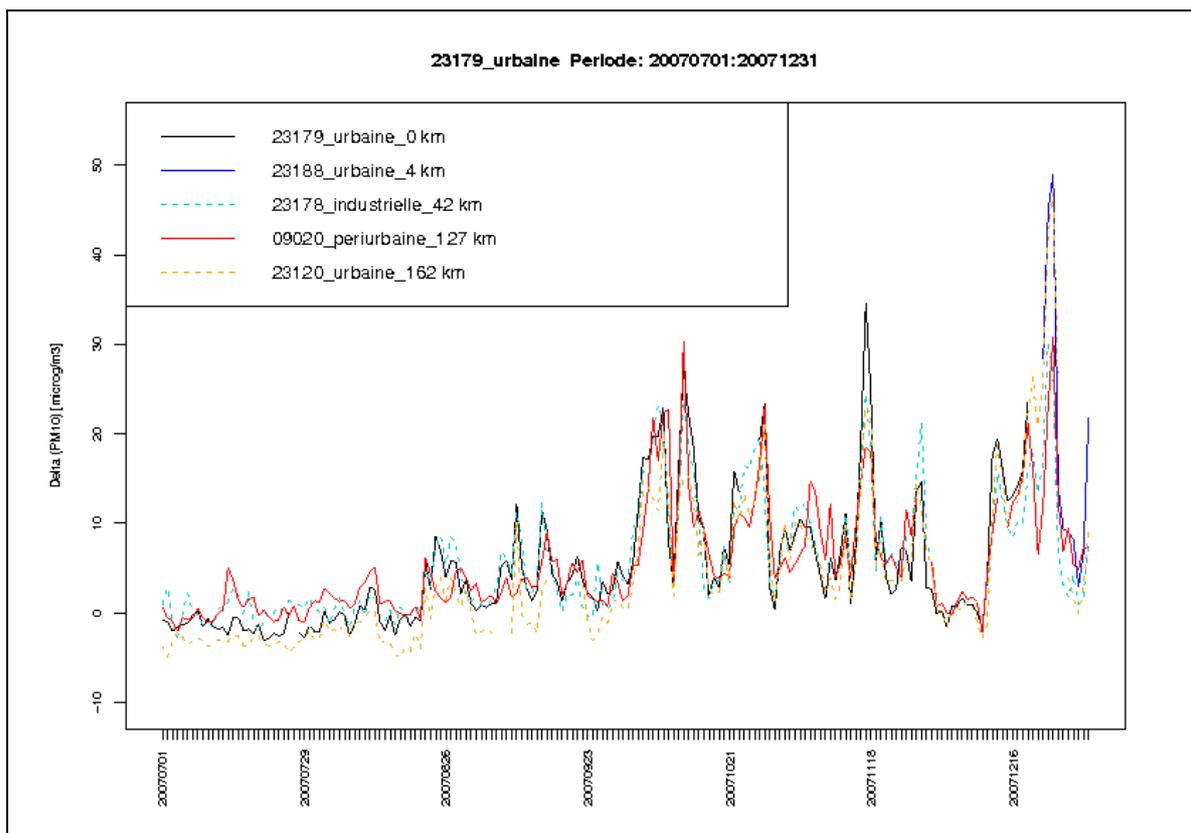


Figure 15 – Séries temporelles du delta mesuré par la station urbaine 23179 (Pays-de-Loire) et par les 4 stations les plus proches en fonctionnement sur la période : 23188 (Pays-de-Loire), 23178 (st. industrielle, Pays-de-Loire), 09020 (Poitou-Charentes), 23120 (Pays-de-Loire), 19061 (Bretagne). Année 2007.

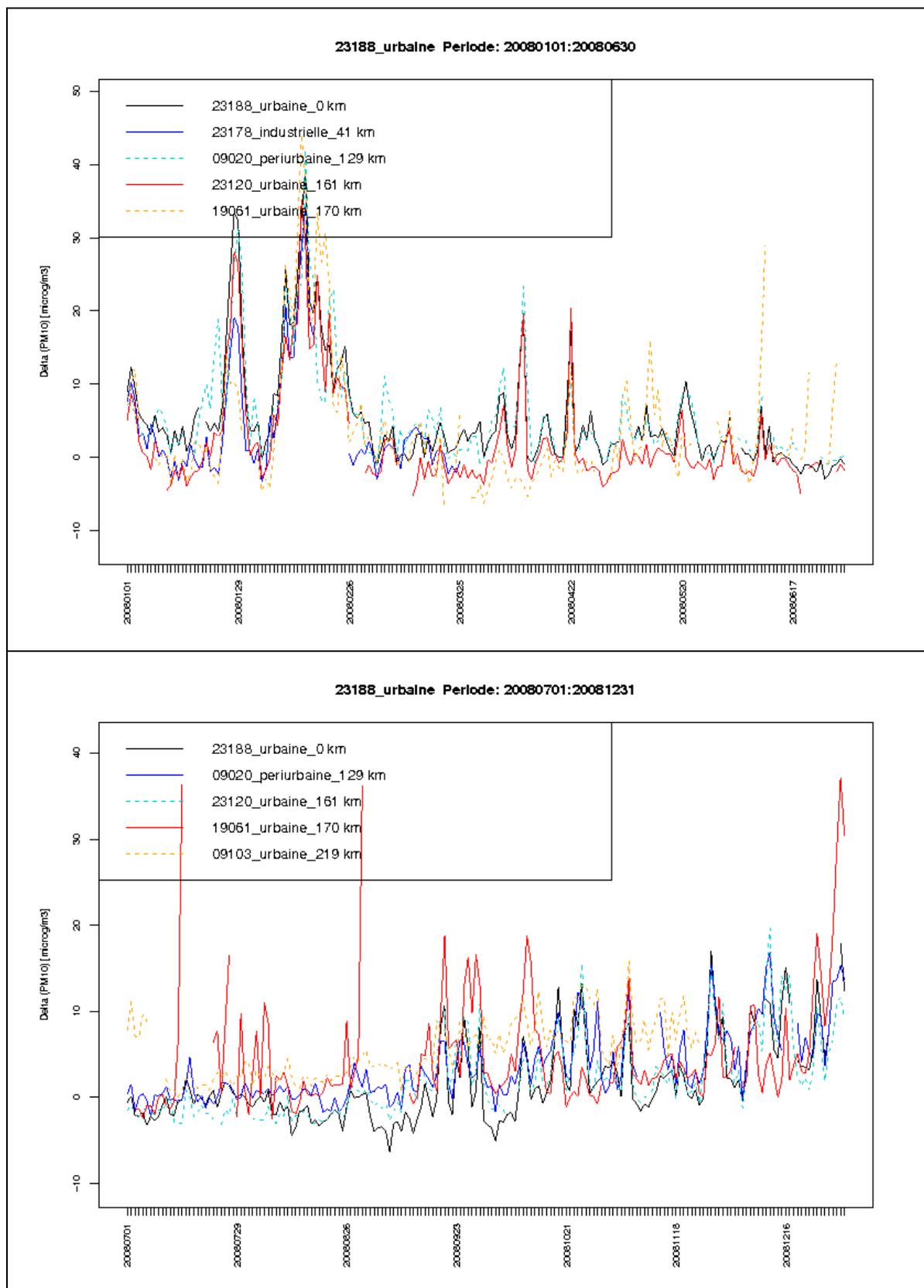


Figure 16 – Séries temporelles du delta mesuré par la station urbaine 23188 (Pays-de-Loire) et par les 4 stations les plus proches en fonctionnement sur la période : 23178 (st. Industrielle, Pays-de-Loire), 09020 (Poitou-Charentes), 23120 (Pas-de-Loire), 19061 (Bretagne), 09103 (Poitou-Charentes). Année 2008.

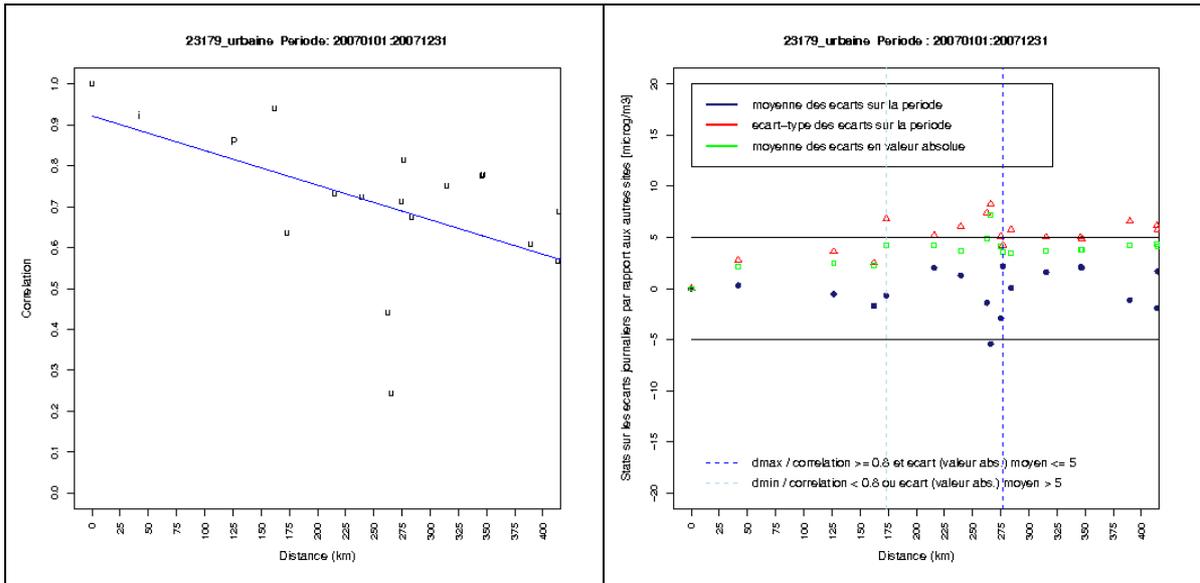


Figure 17 –Corrélation et statistiques sur les écarts journaliers entre la station urbaine 23179 (Pays-de-Loire) et les autres stations. En abscisse : la distance entre stations. Dans le graphe de gauche, les lettres correspondent à l'initiale de la typologie (u : urbaine ; p : périurbaine ; r : rurale ; t : trafic ; i : industrielle). Année 2007.

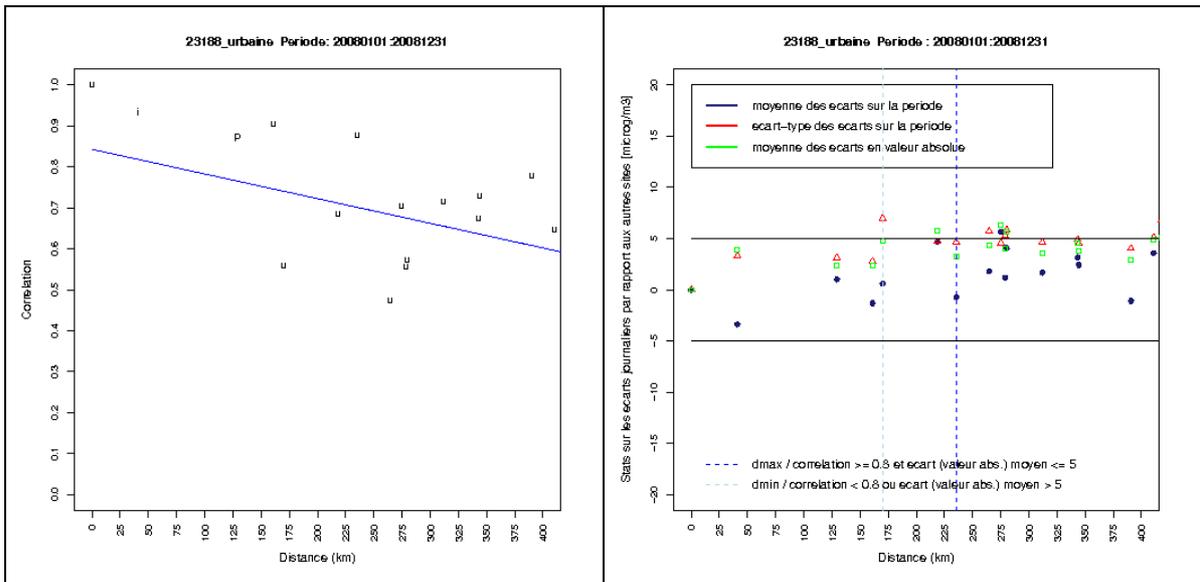


Figure 18 –Corrélation et statistiques sur les écarts journaliers entre la station urbaine 23188 (Pays-de-Loire) et les autres stations. En abscisse : la distance entre stations. Dans le graphe de gauche, les lettres correspondent à l'initiale de la typologie (u : urbaine ; p : périurbaine ; r : rurale ; t : trafic ; i : industrielle). Année 2008.

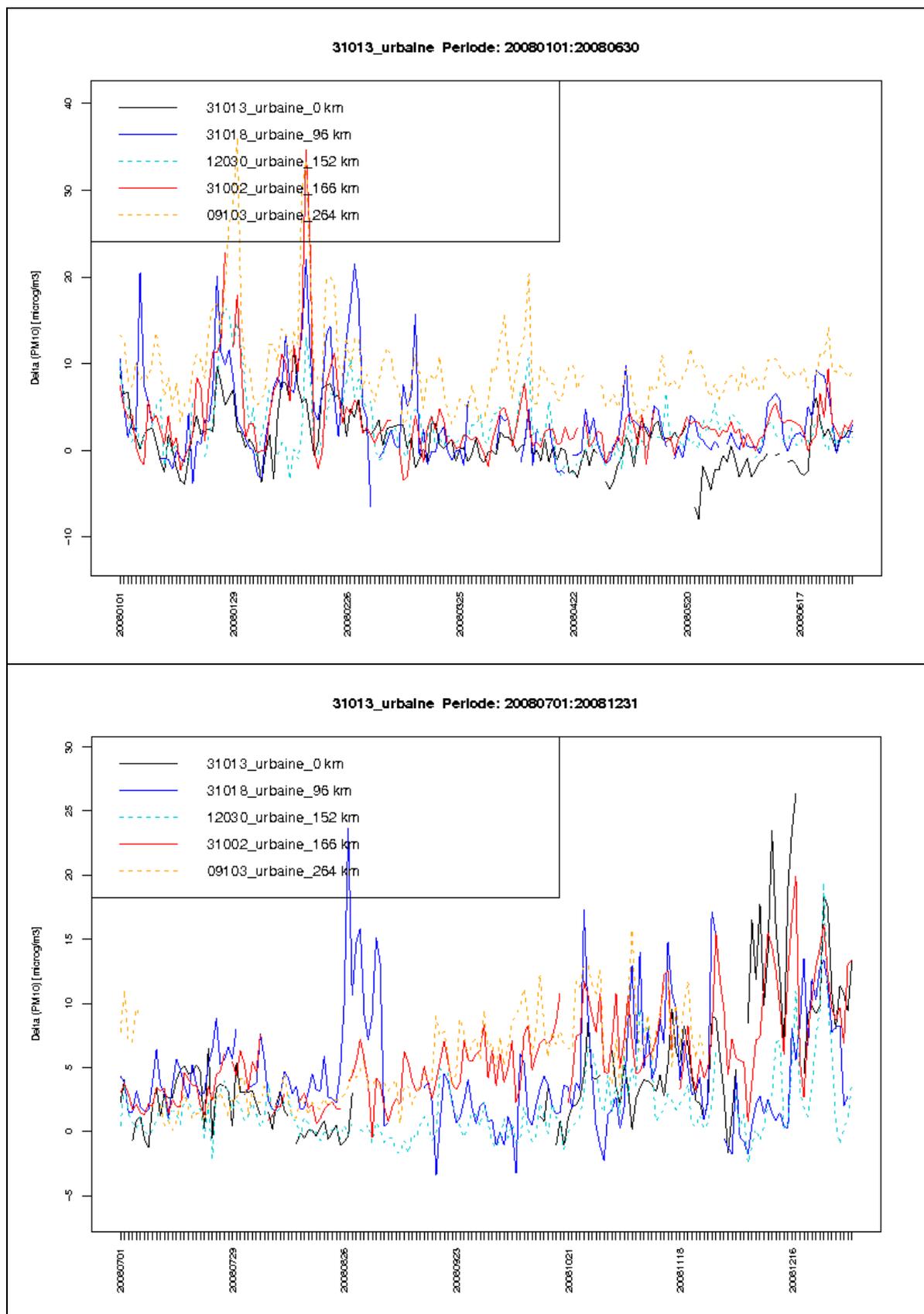


Figure 19 – Séries temporelles du delta mesuré par la station urbaine 31013 (Aquitaine) et par les 4 stations les plus proches : 31018 (Aquitaine), 12030 (Midi-Pyrénées), 31002 (Aquitaine), 09103 (Poitou-Charentes). Année 2008.

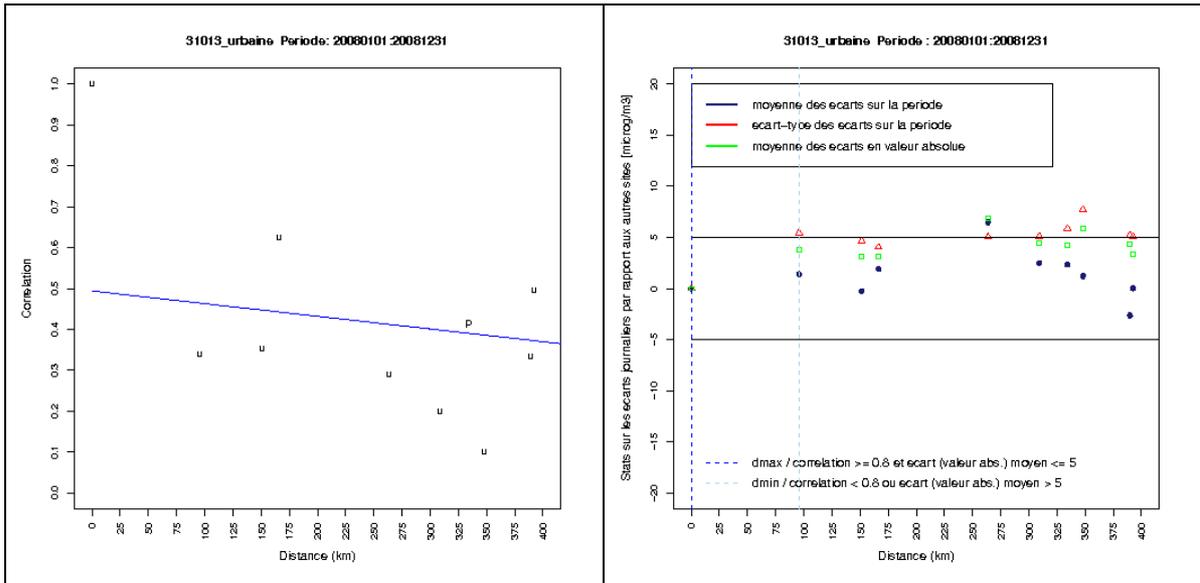
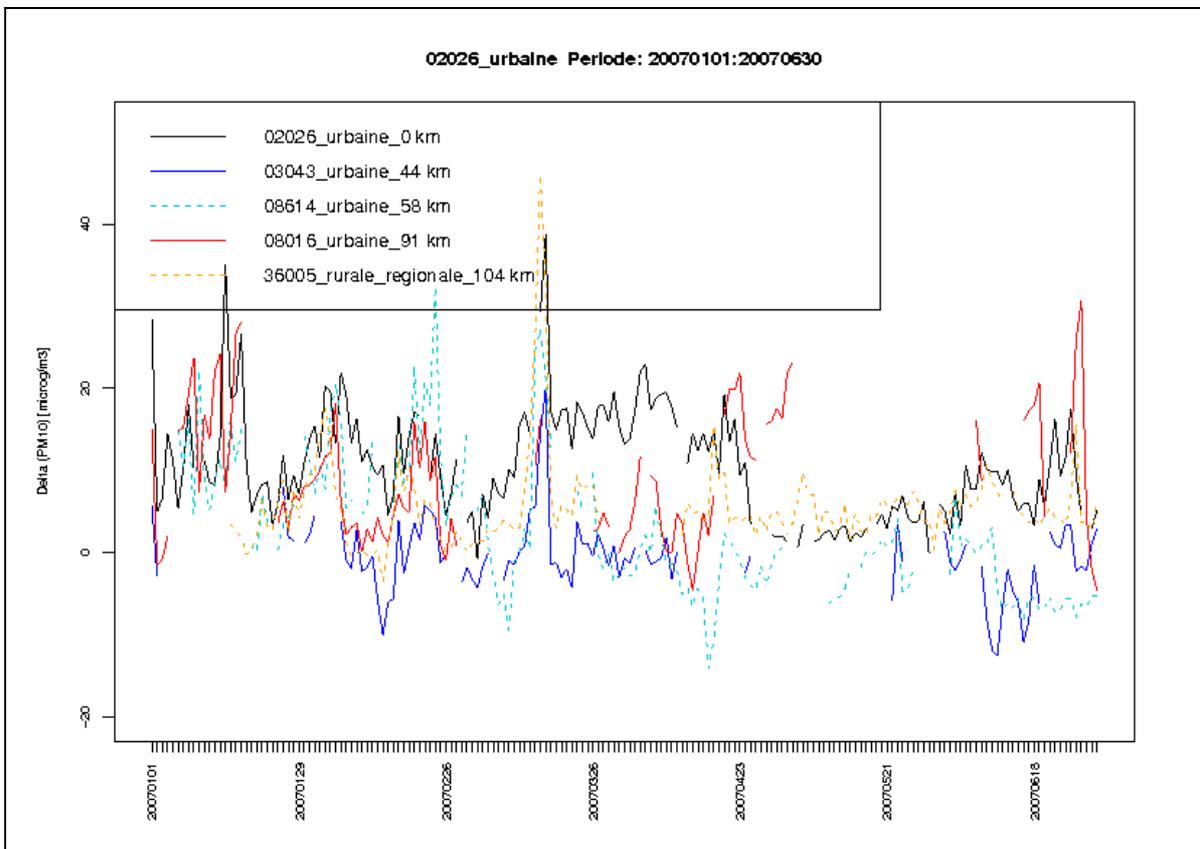


Figure 20 –Corrélation et statistiques sur les écarts journaliers entre la station urbaine 31013 (Aquitaine) et les autres stations. En abscisse : la distance entre stations. Dans le graphe de gauche, les lettres correspondent à l'initiale de la typologie (u : urbaine ; p : périurbaine ; r : rurale ; t : trafic ; i : industrielle). Année 2008.



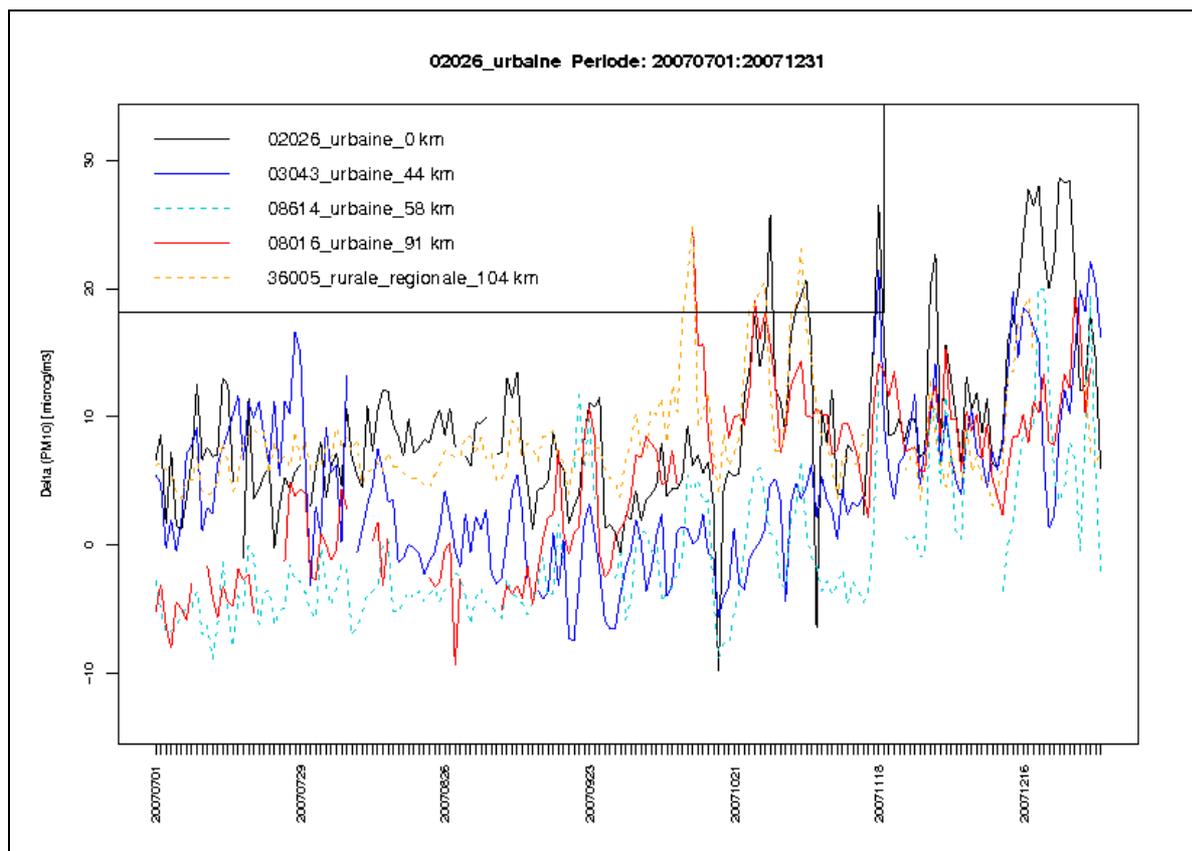


Figure 21 – Séries temporelles du delta mesuré par la station urbaine 02026 (PACA) et par les 4 stations les plus proches : 03043 (PACA), 08614 (Languedoc-Roussillon), 08616 (Languedoc-Roussillon), 36005 (Rhône-Alpes). Année 2007.

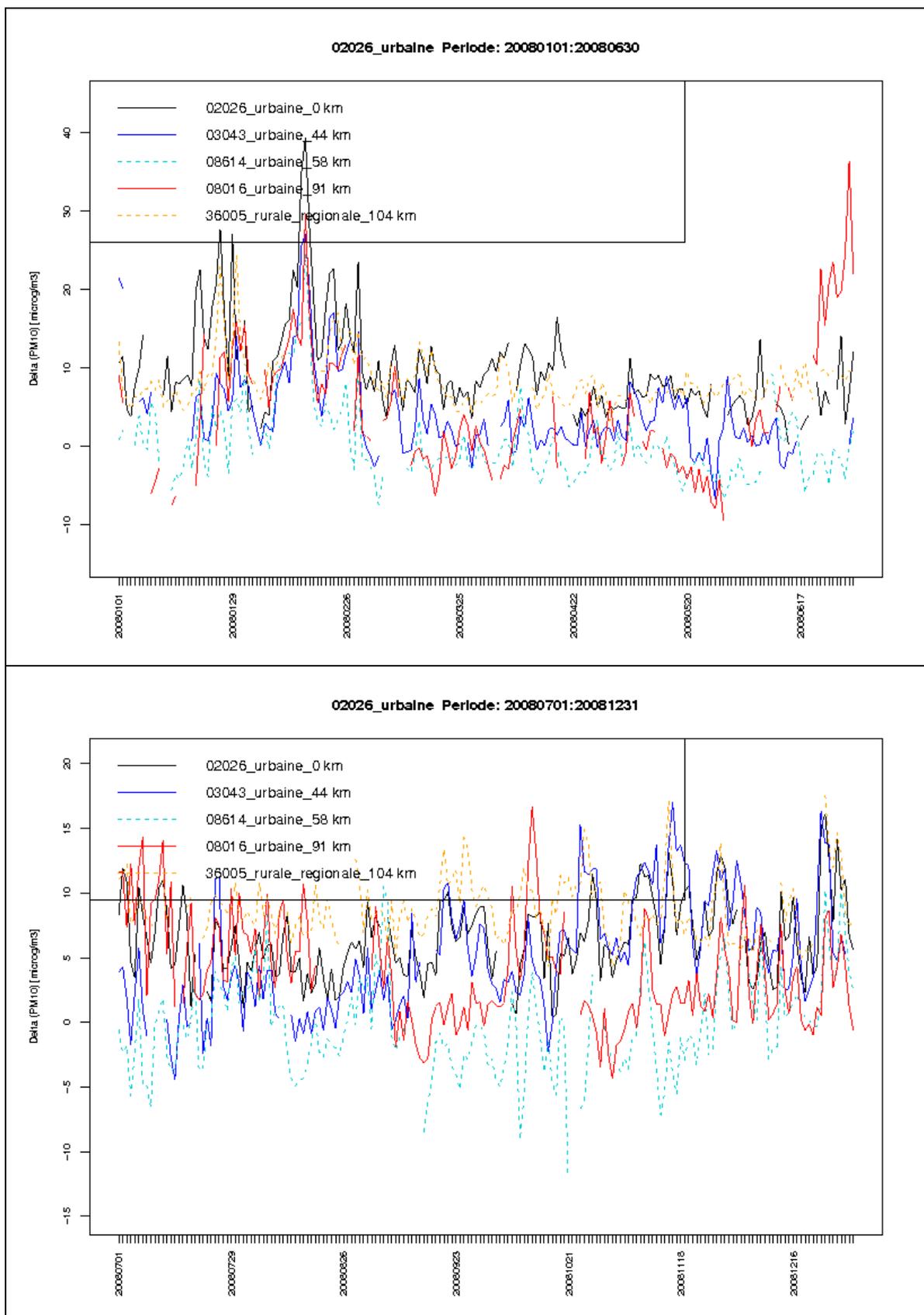


Figure 22 – Séries temporelles du delta mesuré par la station urbaine 02026 (PACA) et par les 4 stations les plus proches : 03043 (PACA), 08614 (Languedoc-Roussillon), 08616 (Languedoc-Roussillon), 36005 (Rhône-Alpes). Année 2008.

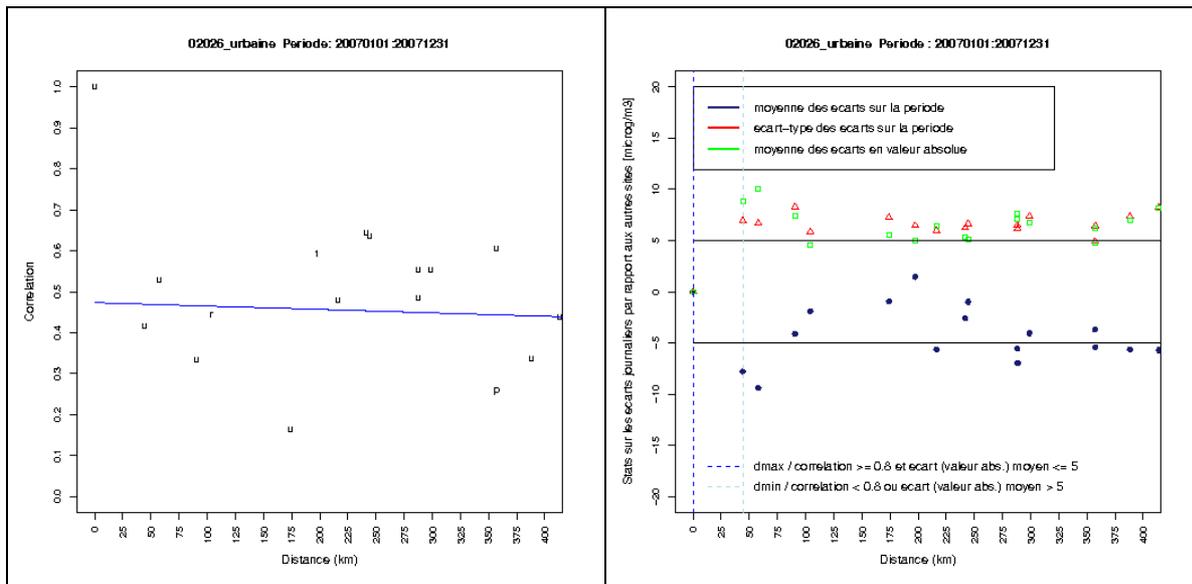


Figure 23 –Corrélation et statistiques sur les écarts journaliers entre la station urbaine 02026 (PACA) et les autres stations. Dans le graphe de gauche, les lettres correspondent à l’initiale de la typologie (u : urbaine ; p : périurbaine ; r : rurale ; t : trafic ; i : industrielle). Année 2007.

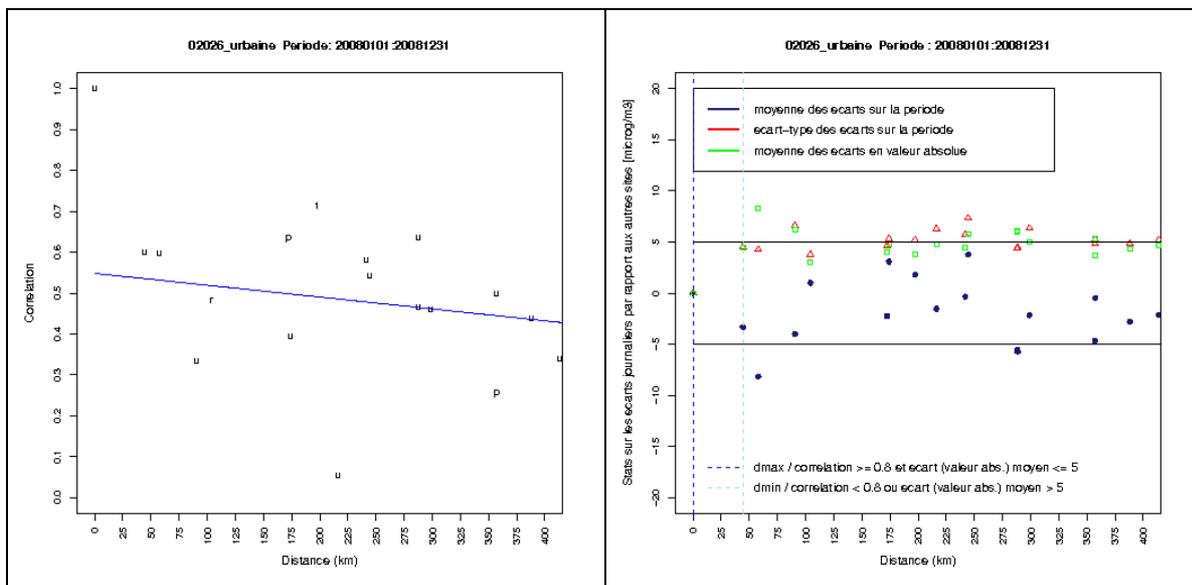


Figure 24 –Corrélation et statistiques sur les écarts journaliers entre la station urbaine 02026 (PACA) et les autres stations. En abscisse : la distance entre stations. Dans le graphe de gauche, les lettres correspondent à l’initiale de la typologie (u : urbaine ; p : périurbaine ; r : rurale ; t : trafic ; i : industrielle). Année 2008.

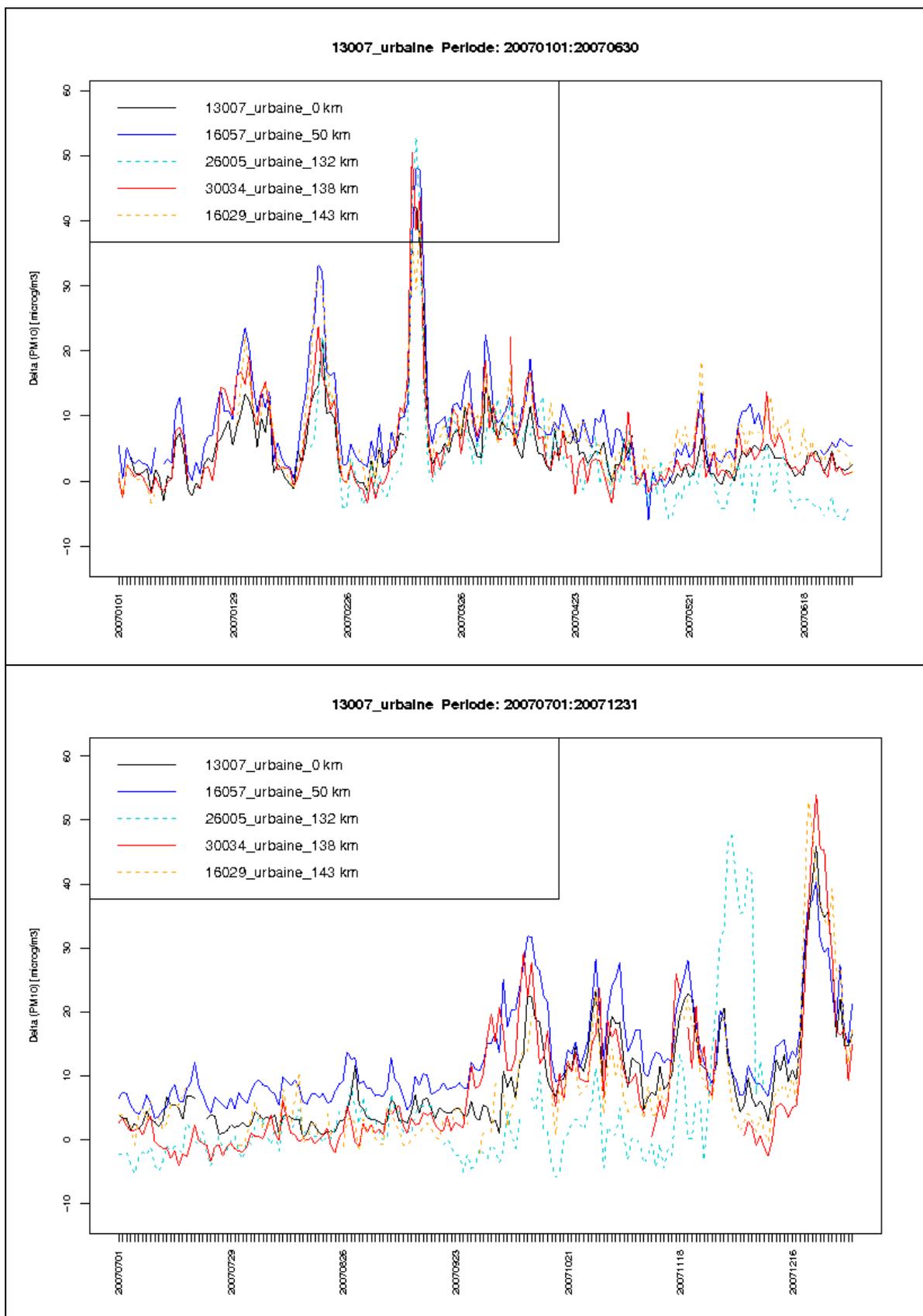


Figure 25 – Séries temporelles du delta mesuré par la station urbaine 13007 (Franche-Comté) et par les 4 stations les plus proches : 16057 (Alsace), 26005 (Bourgogne), 30034 (Lorraine), 16029 (Alsace). Année 2007.

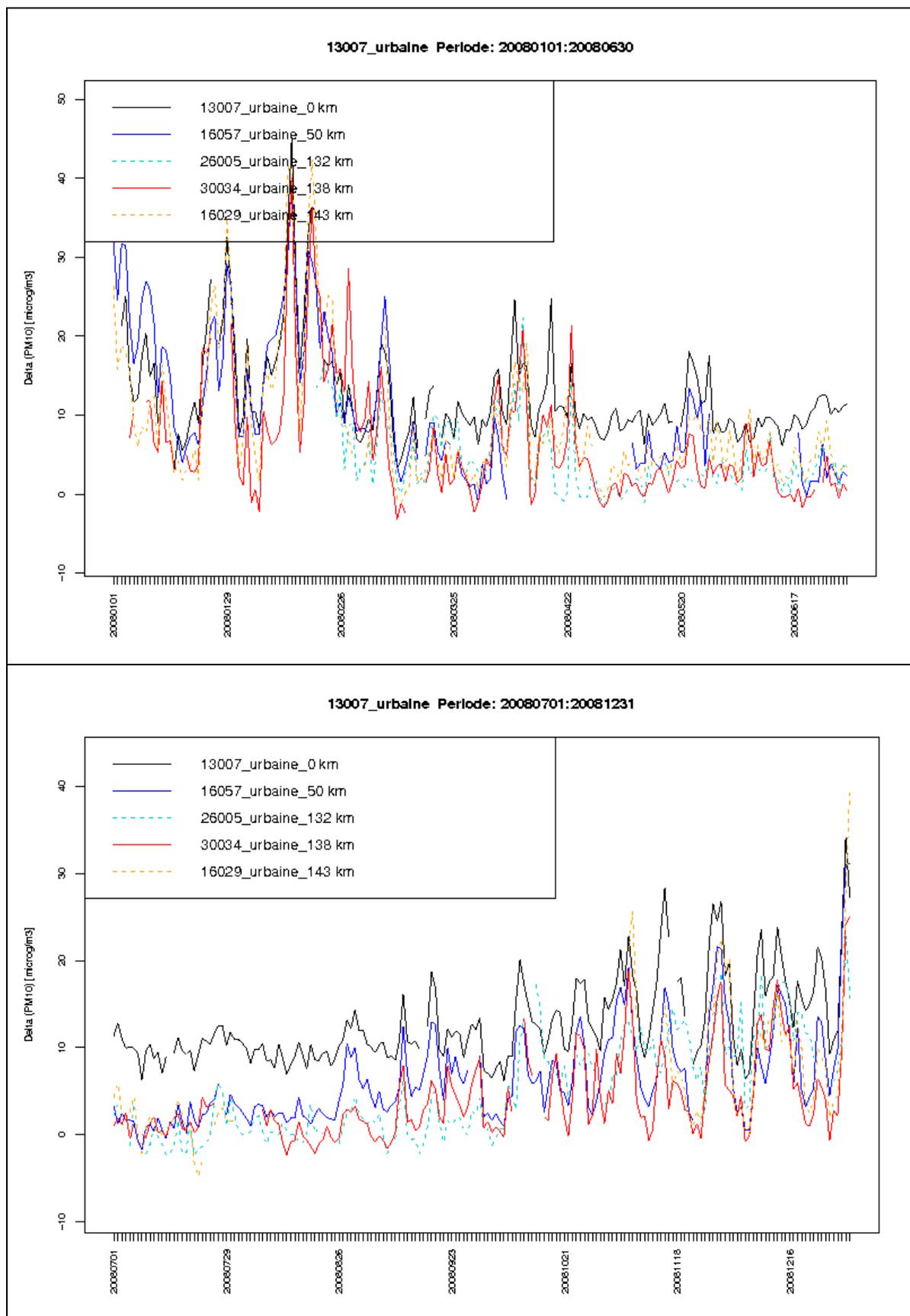


Figure 26 – Séries temporelles du delta mesuré par la station urbaine 13007 (Franche-Comté) et par les 4 stations les plus proches : 16057 (Alsace), 26005 (Bourgogne), 30034 (Lorraine), 16029 (Alsace). Année 2008.

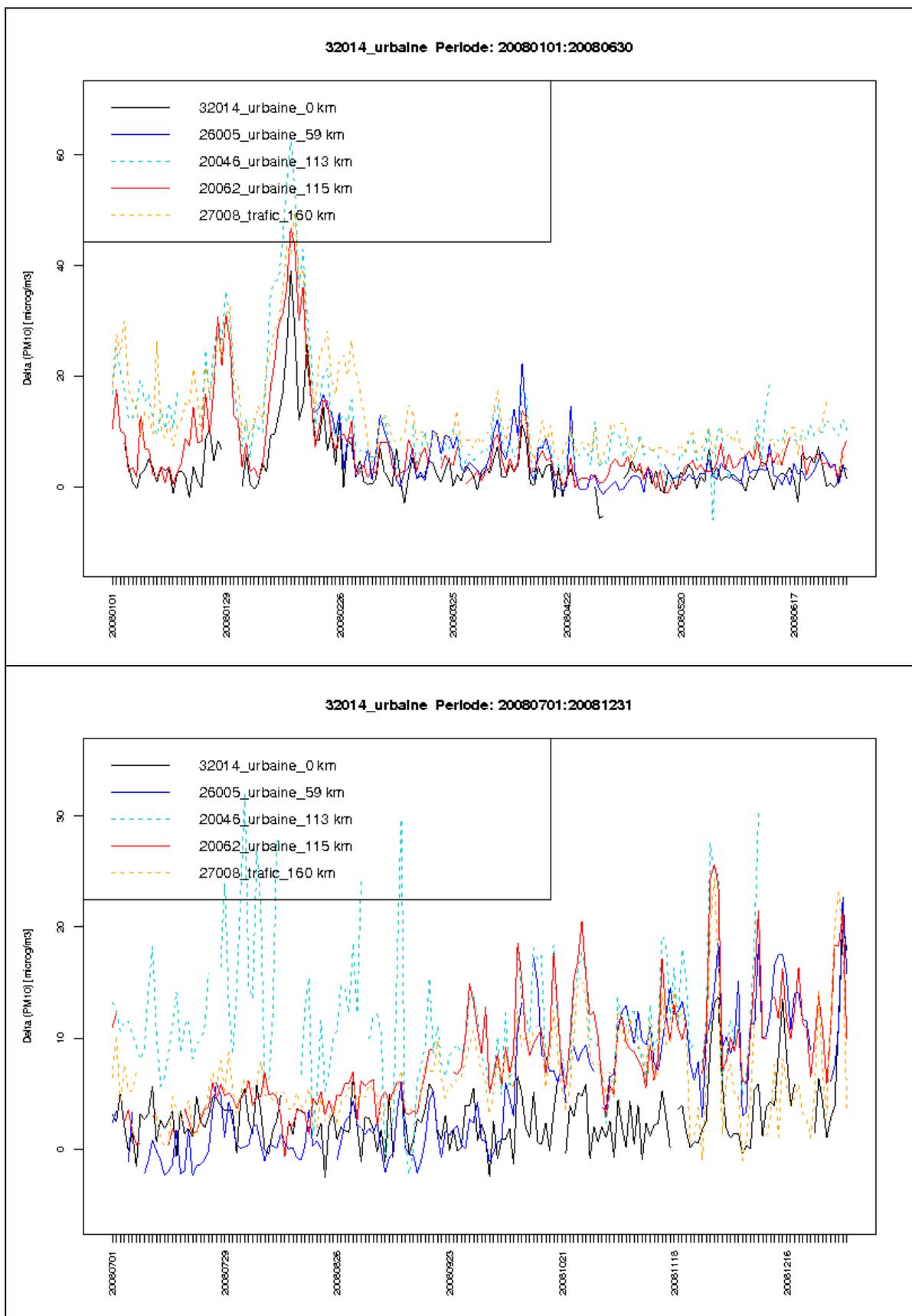


Figure 27 – Séries temporelles du delta mesuré par la station urbaine 32014 (Bourgogne, jauge-Bêta RST) et par les 4 stations les plus proches : 26005 (Bourgogne), 20046, 20062, 27008 (Rhône-Alpes). Année 2008.

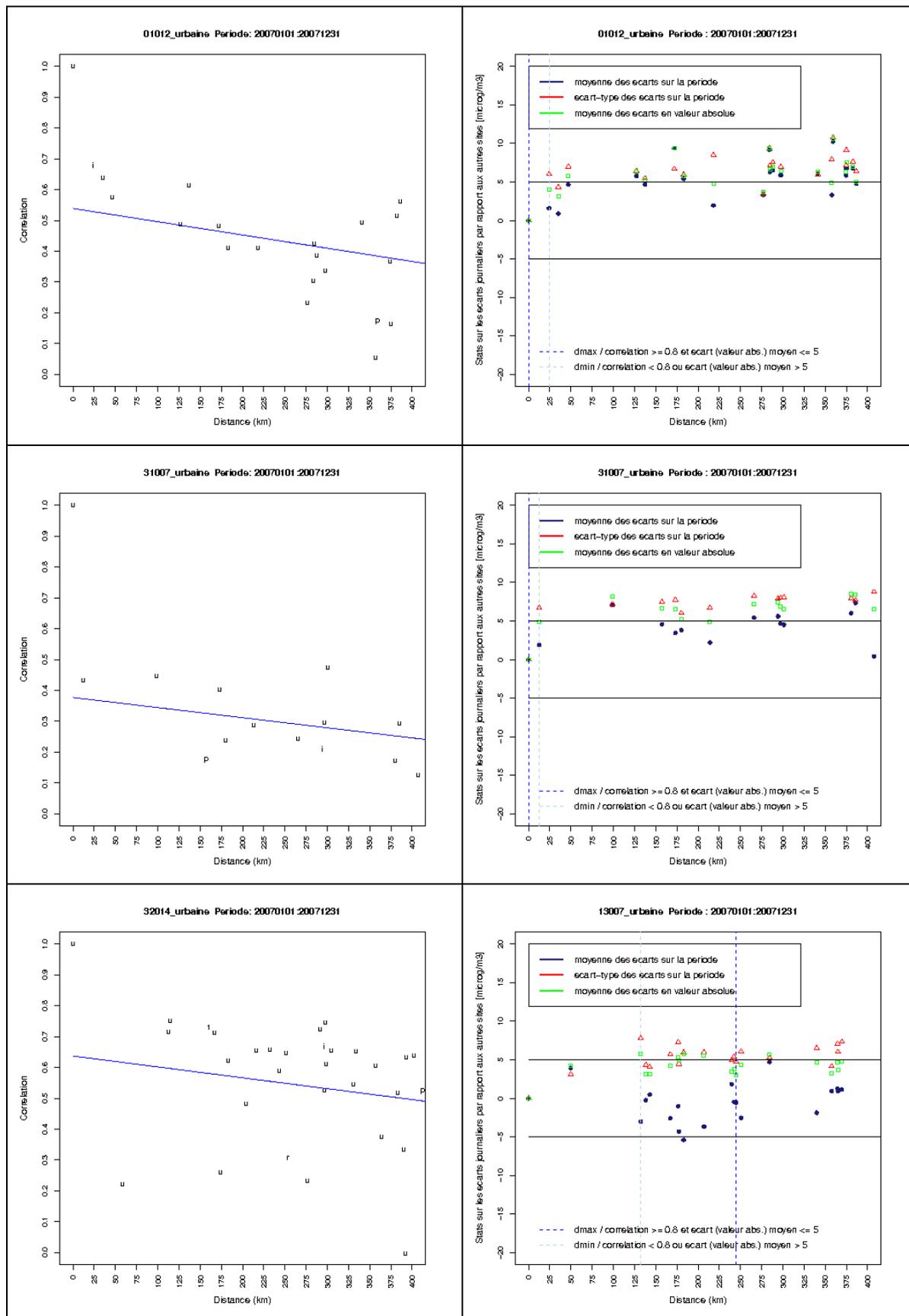


Figure 28 – De haut en bas : corrélation et statistiques sur les écarts journaliers entre les stations 01012, 31007 et 32014 équipées de jauges Bêta-RST et les autres stations. Année 2007.

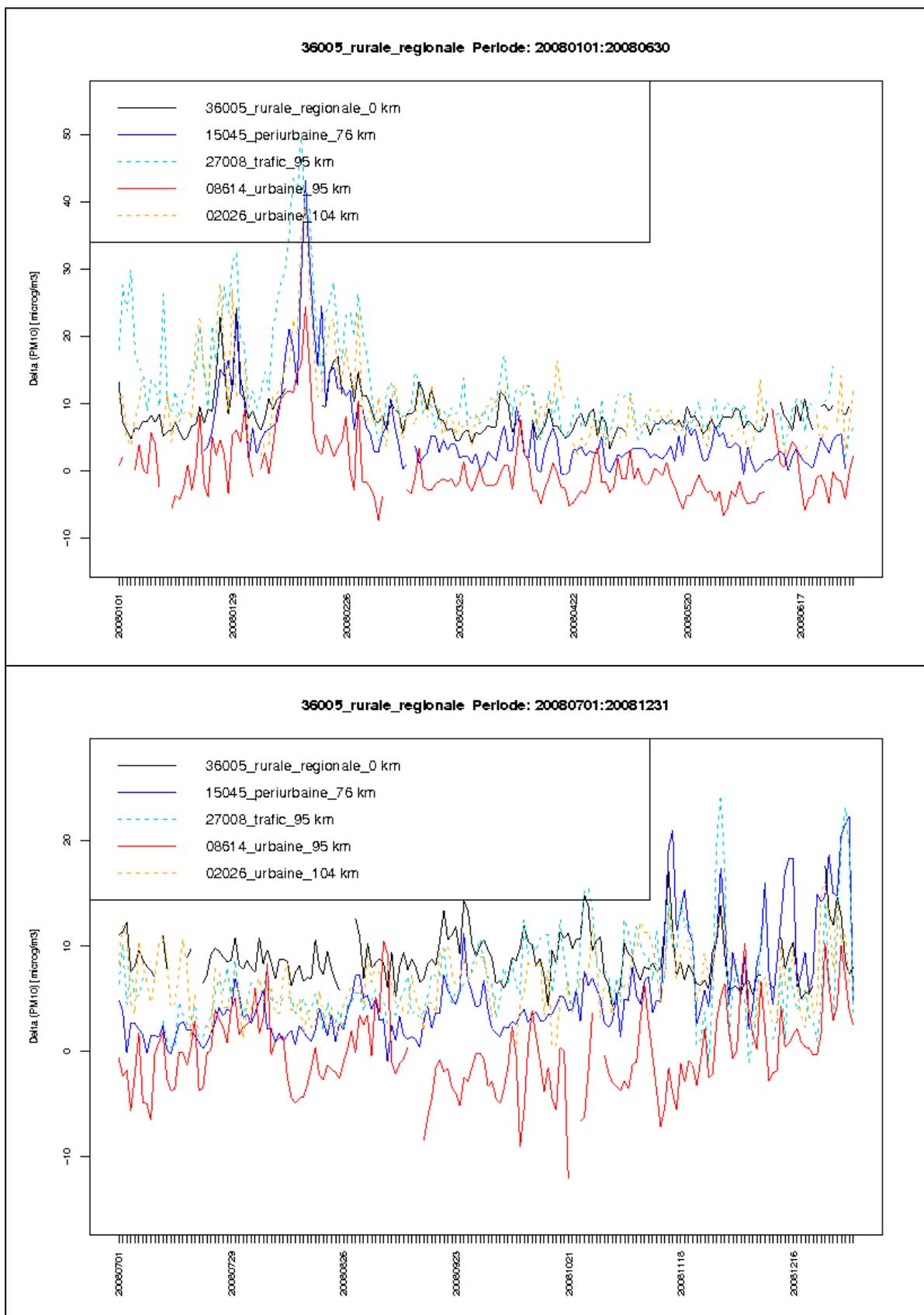


Figure 29 – Séries temporelles du delta mesuré par la station rurale 36005 (Rhône-Alpes) et par les 4 stations les plus proches : 15045 (Rhône-Alpes), 27008 (Rhône-Alpes), 27008 (trafic, Rhône-Alpes), 08614 (Languedoc-Roussillon). Année 2008.

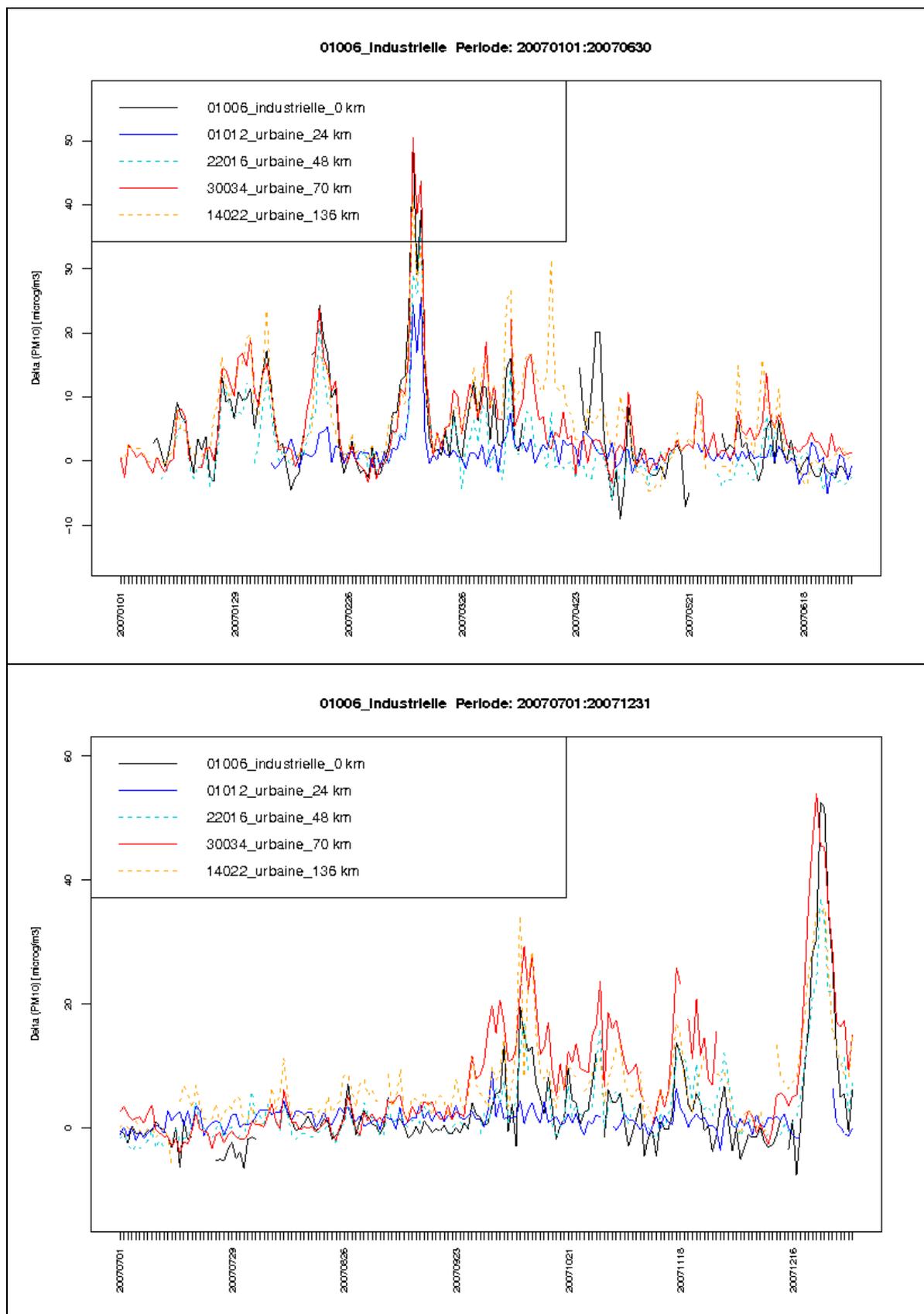


Figure 30 – Séries temporelles du delta mesuré par la station industrielle 01006 (Lorraine) et par les 4 stations les plus proches : 01012 (Lorraine), 22016 (Lorraine), 30034 (Lorraine), 14022 (Champagne-Ardenne). Année 2007.

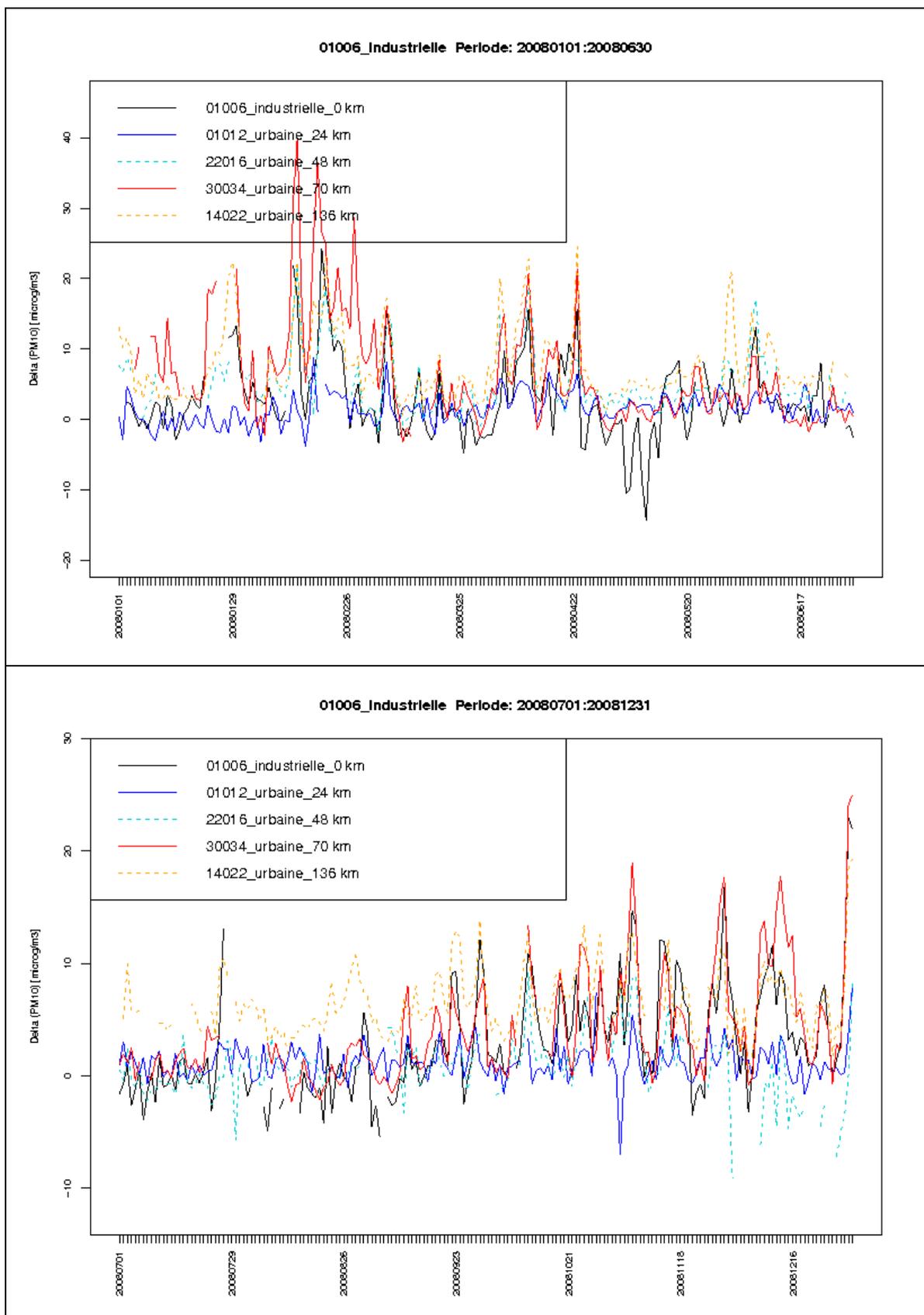


Figure 31 – Séries temporelles du delta mesuré par la station industrielle 01006 (Lorraine) et par les 4 stations les plus proches : 01012 (Lorraine), 22016 (Lorraine), 30034 (Lorraine), 14022 (Champagne-Ardenne). Année 2008.

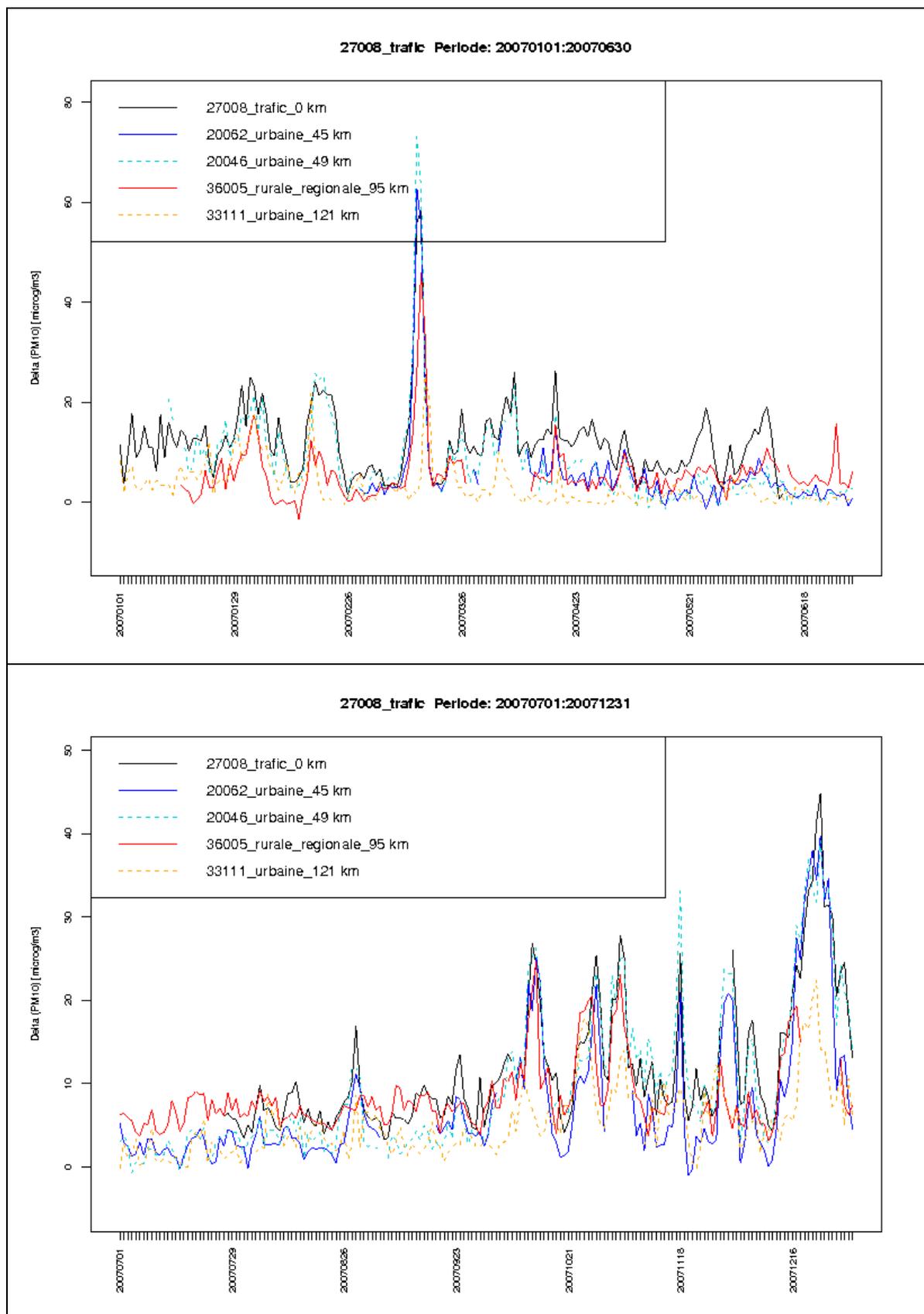


Figure 32 – Séries temporelles du delta mesuré par la station de trafic 27008 (Rhône-Alpes) et par les 4 stations les plus proches : 20062, 20046, 15045, 36005 (Rhône-Alpes). Année 2007.

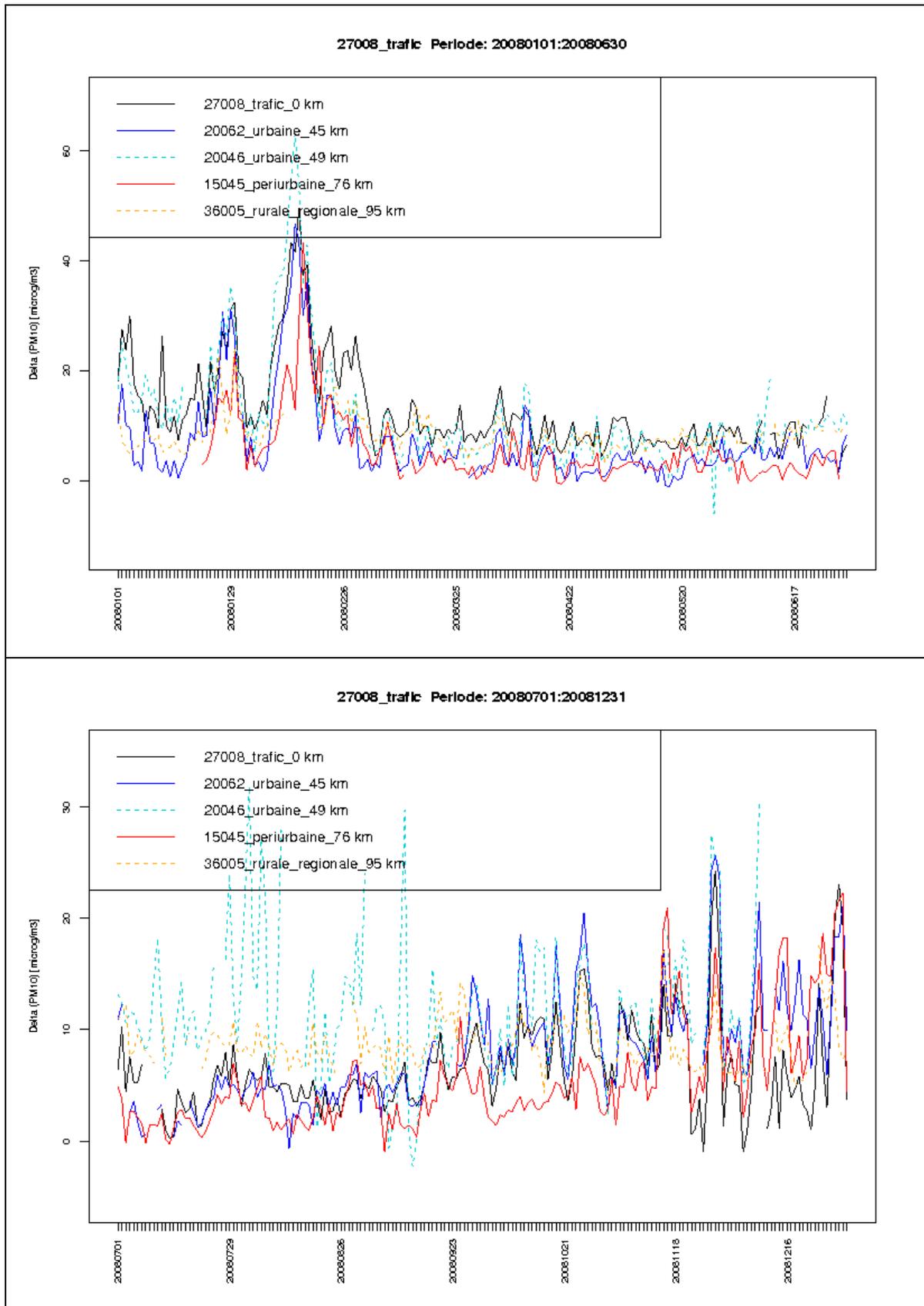


Figure 33 – Séries temporelles du delta mesuré par la station de trafic 27008 (Rhône-Alpes) et par les 4 stations les plus proches : 20062, 20046, 15045, 36005 (Rhône-Alpes). Année 2008.

Annexe V

Méthode de correction des données passées par utilisation du modèle CHIMERE

NOTE TECHNIQUE (DRC-09-103353-10256A- du 20 Août 2009)

OBJET : NOUVELLE METHODOLOGIE DE CORRECTION DES DONNEES PM₁₀ PASSEES

1. Description de la méthode

Suite aux dernières réunions du GT stratégie et de la CS particules et aux différents retours des AASQA concernant la correction par la modélisation, nous avons décidé d'améliorer la méthodologie.

Initialement, la méthode consistait à ajouter aux mesures TEOM ou jauge Beta la composante nitrate d'ammonium (NH₄NO₃) déterminée par le modèle CHIMERE. Or, des mesures sur filtres ont récemment montré que d'autres composés comme les espèces organiques (primaires et secondaires) étaient également susceptibles d'être évaporées lors de la mesure de PM₁₀. Par ailleurs, il existe déjà un biais dans les mesures TEOM qui n'avait pas été pris en compte dans la méthode.

En considérant ces nouveaux éléments, la nouvelle méthodologie contient deux types de correction par rapport à la concentration « non volatile » C_{nv} :

- Ajout de la composante nitrate d'ammonium « modèle »
- Correction complémentaire par rapport à la concentration « non volatile » censé représenter les autres composés volatilisés lors de la mesure.

A une station donnée, la concentration « non volatile » C_{nv} est définie comme :

- la concentration PM₁₀ TEOM – 3 µg m⁻³ : $C_{nv} = [C_{TEOM} - 3\mu g/m^3]$

ou

- la concentration PM₁₀ Jauge Beta : $C_{nv} = [C_{Jauge\ Beta}]$

La valeur de concentration en PM₁₀ corrigée $C_{corrigée}$ s'écrit donc :

$$[Eq. 1] : C_{corrigée} = C_{nv} + C_v$$

avec,

$$[Eq. 2] C_v = [NH_4NO_3]_{modèle} + [résidu]$$

C_v représentant la concentration en PM₁₀ volatile.

L'hypothèse est que le résidu volatil est une fonction linéaire de C_{nv} :

$$[\text{Eq. 3}] [\text{résidu}] = \beta \cdot C_{nv}$$

Finalement, il vient :

$$[\text{Eq. 4}] C_{\alpha \text{ ajustés}} = [NH_4NO_3]_{\text{modèles}} + \frac{\alpha}{(1 + \beta)} \cdot C_{nv}$$

Le coefficient α est déterminé sur une période de référence, par AASQA, de telle sorte qu'il annule le biais systématique résiduel sur la période, après application de la correction « nitrate d'ammonium modèle » à la concentration non volatile.

Par la suite, la méthode de correction uniquement due au nitrate d'ammonium modélisé sera notée MOD1 et la méthode de correction complet en ajoutant correction résiduel sera notée MOD2, soit en reprenant [Eq. 2] :

$$C_v = \overbrace{[NH_4NO_3]_{\text{modèles}} + [\text{résidu}]}^{\text{MOD1}} + [\text{résidu}]^{\text{MOD2}}$$

La méthode MOD2 sera la méthode retenue pour corriger les données de PM₁₀ de 2005 et 2006. Néanmoins, par la suite, les deux méthodes MOD1 et MOD2 seront souvent évaluées ensemble.

2. Calcul du coefficient α – Evaluation sur l'année 2007

Afin d'obtenir un coefficient plus adapté aux mesures PM₁₀ élevées, seules les données pour lesquelles la valeur PM₁₀ non volatile est supérieure à 15 $\mu\text{g m}^{-3}$ ont été conservées pour le calcul du coefficient α .

Lorsque qu'il n'y a pas de station de référence disponible pour une AASQA, le coefficient de l'AASQA la plus proche et la plus représentative est appliqué. Le Tableau 1 répertorie l'ensemble des coefficients α calculés pour les périodes 2007, 2008 et l'ensemble 2007-2008. Les AASQA 01 (AERFOM) et 22 (ESPOL) présentent un coefficient inférieur à 1, la correction avec le nitrate d'ammonium entrainerait des concentrations trop importantes dans ces régions du Nord-est de la France. Pour les autres AASQA, ce coefficient varie entre 1.1 et 1.6.

Le coefficient est généralement le plus élevé dans les Alpes, les AASQA n°15¹, 27 et 36 présentent les coefficients les plus élevés mais cependant cohérents entre les deux périodes 2007 et 2008.

En Franche-Comté et en Corse, les AASQA n°17, 31 et 41 ont un coefficient très différent entre 2007 et 2008.

¹ Il s'agit du numéro de code AASQA repris dans les deux premiers chiffres des codes de station

Code AASQA	2007	2008	2007-2008
01	0.866	0.867	0.866
02	1.394	1.414	1.402
03	1.125	1.262	1.190
04	1.172	1.168	1.170
05	1.129	1.259	1.183
06	1.144	1.185	1.165
07	1.288	1.220	1.256
08	1.228	1.216	1.223
09	1.350	1.409	1.374
10	1.332	1.371	1.352
11	1.232	1.298	1.260
12	1.159	1.121	1.145
13	1.260	1.602	1.413
14	1.159	1.239	1.190
15	1.291	1.463	1.463
16	1.290	1.353	1.316
17	1.123	1.262	1.177
18	1.144	1.185	1.165
19	1.222	1.231	1.226
20	1.291	1.390	1.339
21	1.241	1.266	1.246
22	0.934	0.958	0.945
23	1.215	1.136	1.184
24	1.451	1.675	1.546
25	1.187	1.140	1.167
26	1.123	1.262	1.177
27	1.501	1.448	1.474
28	1.144	1.185	1.165
29	1.291	1.390	1.339
30	1.182	1.263	1.209
31	1.083	1.240	1.151
32	1.013	0.977	0.992
33	1.321	1.370	1.342
34	1.286	1.390	1.329
35	1.317	1.410	1.345
36	1.466	1.527	1.485
37	-	-	-
38	-	-	-
39	-	-	-
40	-	-	-
41	1.274	1.479	1.367
42	-	-	-

Tableau 1 : Coefficients α calculés pour les périodes de référence 2007, 2008 et 2007-2008

AASQA	Obs. $\mu\text{g m}^{-3}$	Mod1 $\mu\text{g m}^{-3}$	Mod2 $\mu\text{g m}^{-3}$	Rmse1 $\mu\text{g m}^{-3}$	Rmse2 $\mu\text{g m}^{-3}$	Cor1 -	Cor2 -
01	5.4	8.7	5.4	7.9	7.3	0.59	0.54
02	13.4	2.4	13.4	12.7	7.5	0.53	0.37
03	5.4	2.1	5.4	6.9	6.2	0.34	0.32
04	14.2	9.9	14.2	8.6	6.8	0.62	0.71
05	11.7	8.7	11.7	7.1	6.0	0.77	0.80
07	10.9	4.5	10.9	9.6	7.0	0.78	0.78
08	7.9	2.5	7.9	9.5	7.9	0.38	0.37
09	12.5	5.3	12.5	9.0	4.8	0.75	0.81
10	20.8	12.4	20.8	12.8	9.2	0.67	0.72
11	17.8	11.6	17.8	8.7	6.0	0.81	0.82
12	7.7	4.2	7.7	5.3	4.0	0.73	0.73
13	12.9	6.9	12.9	9.4	6.2	0.58	0.72
14	12.5	8.8	12.5	6.7	5.3	0.76	0.79
16	15.8	8.9	15.8	10.3	7.0	0.64	0.73
18	12.9	9.5	12.9	6.8	5.7	0.75	0.79
19	13.8	9.4	13.8	8.4	7.0	0.79	0.79
20	13.8	6.4	13.8	9.8	5.8	0.81	0.83
21	15.7	10.5	15.7	9.5	7.4	0.76	0.79
22	8.3	9.9	8.3	6.5	6.4	0.68	0.65
23	13.3	8.9	13.3	8.2	6.3	0.66	0.72
24	12.6	2.0	12.6	11.6	5.1	0.16	0.25
25	15.3	10.9	15.3	8.5	6.4	0.65	0.75
26	9.2	6.7	9.2	7.8	7.4	0.70	0.70
27	18.1	5.6	18.1	13.9	5.2	0.70	0.82
30	13.9	9.4	13.9	9.4	7.2	0.72	0.80
31	6.0	4.1	6.0	6.5	6.2	0.49	0.50
32	6.8	6.5	6.8	5.0	5.0	0.72	0.72
33	10.0	1.8	10.0	11.7	7.7	0.06	0.37
34	15.7	9.6	15.7	8.7	5.2	0.68	0.78
35	11.3	4.9	11.3	8.9	6.0	0.80	0.79
36	12.6	2.6	12.6	11.1	5.6	0.78	0.60
41	7.0	0.6	7.0	7.0	3.5	0.26	0.12
00	11.7	6.5	11.7	9.1	6.4	0.62	0.74

Tableau 2 : Statistiques d'erreur de la concentration volatile modélisée pour l'année 2007 pour les sites de références. Les résultats sont agglomérés par AASQA. Le code « 00 » représente les statistiques globales sur la France. « Obs » est la valeur observée moyenne sur 2007, « Mod » représente la valeur moyenne du modèle (méthodes 1 et 2), « Rmse » est l'erreur quadratique moyenne (méthodes 1 et 2), et « Cor » est la corrélation temporelle (méthodes 1 et 2), elle est spatio-temporelle pour les statistiques globales sur la France. Ces indicateurs sont calculés à partir de données journalières.

Le calcul de la concentration volatile a été soumis à de nombreuses statistiques d'erreur (Tableau 2). Dans la plupart des cas, la méthode MOD1 ne suffit pas à estimer la concentration volatile. Globalement, on note une nette amélioration entre la méthode MOD1 et MOD2 avec une amélioration de l'ensemble des statistiques. La corrélation est nettement améliorée (0.74 vs. 0.62 sur la France). Notons le biais nul pour la méthode MOD2 pour chaque AASQA, c'est le principe même de la méthode.

3. Application du coefficient α calculé en 2007 sur les mesures de référence de l'année 2008

Les coefficients calculés en 2007 ont été appliqués aux stations de référence de l'année 2008, les statistiques d'erreur sur le calcul de la concentration volatile sont présentées dans le Tableau 3.

Généralement, les scores sont bons et nettement meilleurs en utilisant la méthode de correction complet MOD2. Il est à noter l'amélioration de la corrélation globale sur la France passant de 0.52 à 0.69 en utilisant la méthode MOD2.

Il est à noter un bon comportement de la méthode MOD2 en Rhône-Alpes (AASQA 15 et 27) où tous les indicateurs statistiques sont nettement améliorés, suggérant que l'hypothèse consistant à lier linéairement le résidu volatil à la concentration non volatile est particulièrement bon dans cette région, ainsi les espèces organiques primaires locales constitueraient une fraction importante de ce résidu.

Pour la Corse (AASQA n° 41) et l'AASQA de Rhône-Alpes 36, l'ajout du résidu dégrade la corrélation suggérant que l'hypothèse précédemment évoquée est moins vraie dans ces régions, les espèces secondaires transportées loin des sources d'émission pourraient constituer une fraction importante du résidu volatil dans ces régions.

Notons le biais non nul pour la méthode MOD2 pour chaque AASQA, le coefficient ayant été calé sur 2007, néanmoins, il est généralement faible égal à $-1.4 \mu\text{g m}^{-3}$ sur l'ensemble de la France.

Nous pouvons donc affirmer que, globalement sur la France, la méthode MOD2 calée sur les données des stations de référence en 2007 donne des résultats très satisfaisants sur les stations de référence sur l'année 2008.

AASQA	Obs. $\mu g m^{-3}$	Mod1 $\mu g m^{-3}$	Mod2 $\mu g m^{-3}$	Rmse1 $\mu g m^{-3}$	Rmse2 $\mu g m^{-3}$	Cor1 -	Cor2 -
01	4.5	7.5	4.5	7.2	6.5	0.31	0.29
02	11.9	1.9	11.4	11.3	5.4	0.52	0.52
03	7.9	1.5	4.6	7.8	5.5	0.61	0.56
04	11.5	7.8	11.6	6.9	5.9	0.65	0.68
05	13.2	7.0	10.1	8.3	6.3	0.69	0.72
07	8.7	3.5	10.2	7.4	6.0	0.79	0.67
08	7.0	2.0	7.2	7.7	6.1	0.37	0.38
09	13.2	4.5	11.9	10.1	4.9	0.71	0.76
10	17.2	8.3	16.2	11.9	8.1	0.68	0.71
11	17.5	10.4	15.9	10.0	7.2	0.64	0.68
12	6.2	3.6	7.0	4.5	3.7	0.63	0.67
13	19.5	6.0	11.8	14.7	9.2	0.58	0.70
14	12.1	7.2	10.5	7.1	5.3	0.58	0.60
15	13.0	2.4	9.1	12.6	7.4	0.49	0.57
16	15.8	7.5	14.3	10.4	5.9	0.73	0.79
18	11.4	7.3	10.5	6.5	5.2	0.71	0.73
19	13.9	8.9	13.7	11.0	9.8	0.60	0.61
20	15.3	5.5	12.8	11.7	6.3	0.75	0.81
21	17.2	10.9	16.6	10.0	7.1	0.80	0.83
22	6.4	7.3	5.9	6.7	6.5	0.29	0.29
23	9.6	6.9	11.2	6.0	5.3	0.79	0.82
24	15.6	0.9	10.7	15.3	6.9	0.26	0.34
25	11.2	8.3	12.2	6.5	5.7	0.63	0.68
26	9.6	4.5	6.9	7.2	5.7	0.48	0.53
27	14.4	3.9	15.6	12.0	5.9	0.72	0.78
30	13.2	7.7	11.5	8.6	6.5	0.68	0.72
31	8.3	2.9	4.7	7.2	5.8	0.54	0.55
32	5.4	5.9	6.2	5.3	5.3	0.58	0.59
33	10.4	1.2	9.2	11.6	7.0	0.13	0.34
34	16.0	8.0	13.8	10.0	6.3	0.59	0.66
35	12.4	4.2	10.5	9.5	5.0	0.58	0.62
36	12.7	1.1	11.4	12.1	7.0	0.45	-0.10
41	10.9	0.5	6.5	10.8	5.9	0.23	-0.08
00	11.4	5.1	10.0	9.5	6.2	0.52	0.69

Tableau 3 : Statistiques d'erreur de la concentration volatile modélisée pour l'année 2008 pour les sites de références avec le coefficient calé sur 2007. Les résultats sont agglomérés par AASQA. Le code « 00 » représente les statistiques globales sur la France. « Obs » est la valeur observée moyenne sur 2008, « Mod » représente la valeur moyenne du modèle (méthodes 1 et 2), « Rmse » est l'erreur quadratique moyenne (méthodes 1 et 2), et « Cor » est la corrélation temporelle (méthodes 1 et 2), elle est spatio-temporelle pour les statistiques globales sur la France. Ces indicateurs sont calculés à partir de données journalières.

4. Impact sur les dépassements aux stations références en 2007 et 2008

Les dépassements du seuil journalier de $50 \mu\text{g m}^{-3}$ plus de 35 fois dans l'année aux sites de références sont présentés Tableau 4 et Tableau 5, respectivement pour les années 2007 et 2008.

Code station	Nom	TEOM	FDMS	MOD1	MOD2
02026	MiramasCentreVille	0	1	0	1
04002	GENNEVILLIERS	0	0	0	1
10015	GravelinesDRIRE	0	1	0	1
11027	TourcoingCentre	0	1	1	1
16057	MulhouseNord	0	1	0	1
18044	SaintLeuAmiens	0	0	0	1
20046	VAULXENVELIN	0	1	0	1
20062	LYONCentre	0	0	0	1
27008	A7Nord-Isre	0	1	0	1
33120	CHAMONIX	0	1	0	0
Total		0	7	1	9

Tableau 4 : Tableau de contingences des dépassements du seuil de $50 \mu\text{g m}^{-3}$ plus de 35 fois durant l'année 2007, aux sites de référence, pour les mesures TEOM, FDMS et méthodes de correction MOD1 et MOD2. « 1 » correspond à « un dépassement », « 0 » à « pas de dépassement »

Code station	Nom	TEOM	FDMS	MOD1	MOD2
11027	TourcoingCentre	0	1	0	0
Total		0	1	0	0

Tableau 5 : Tableau de contingences des dépassements du seuil de $50 \mu\text{g m}^{-3}$ plus de 35 fois durant l'année 2008 (calage du coefficient α sur 2007), aux sites de référence, pour les mesures TEOM, FDMS et les méthodes de correction MOD1 et MOD2. « 1 » correspond à « un dépassement », « 0 » à « pas de dépassement »

Il apparaît clairement un nombre plus important de stations de référence en dépassements en 2007 par rapport à 2008, la méthode de correction permettant en 2007 d'en détecter 6 vrais contre 7 observés et d'en déclarer 3 faux.

En 2008, une seule station de référence a dépassé, ce dépassement n'a néanmoins pu être modélisé.

5. Impact sur les dépassements toutes stations (hors DOM/TOM) pour 2007 et 2008

Les dépassements du seuil journalier de $50 \mu\text{g m}^{-3}$ plus de 35 fois dans l'année pour tous les sites sont présentés Tableau 6 et Tableau 7, respectivement pour les années 2007 et 2008. Hors sites de références, les données d'observation de PM_{10} ajustées par la méthode de correction par doublets en vigueur depuis le 1^{er} Janvier 2007, ont été utilisées pour déterminer les stations en dépassements.

Les données d'observation pour l'ensemble des stations 2007 et 2008 ont été fournies par l'ADEME, le jeu de données utilisé dans ce paragraphe est celui du 25 Août 2009.

Seule la méthode de correction complète MOD2 est présentée dans les tableaux, le coefficient α étant calé ici sur la période 2007-2008.

Nous constatons que la méthode de correction par le modèle donne 9 dépassements de plus en 2007 (96 pour MOD2 *versus* 87 observés), mais 8 de moins en 2008 (24 pour MOD2 *versus* 32 observés). En proportion, Il est remarquable qu'en 2008, moins de stations urbaines et périurbaines étaient en dépassement.

Il est remarquable que la correction complète par le modèle donne:

- en 2008 : trop peu de dépassements sur les AASQA n°20 et 11,
- en 2007 : quelques dépassement supplémentaires pour les AASQA n° 20, 24 et 25 et 4 stations pour l'AASQA n°18.

Globalement, on peut estimer que la correction par le modèle (MOD2) est convenable, sur les deux années 2007 et 2008, le nombre de dépassement est relativement bien restitué. Nous rappelons qu'une validation sur un nombre de dépassement constitue une épreuve très difficile pour un résultat de modélisation.

Code station	Nom	Type	OBS	MOD2
01005	Hayange	industrielle	1	1
01009	Gandrange	industrielle	0	0
01015	Blenod-ls-PAM	periurbaine	0	0
01016	Atton	industrielle	0	0
02005	Martigues-l'Ile	urbaine	1	1
02008	Port-de-Bouc-Leque	urbaine	1	1
02009			1	0
02013	Fos-Les-Carabins	urbaine	1	1
02020	Rognac-les-Brets	industrielle	1	1
02022	Arles	urbaine	1	1
02026	Miramas-Centre-Ville	urbaine	1	1
02029	Chateauneuf-La-Mede	industrielle	1	1
02031	Marignane-Ville	urbaine	1	1
03002	MARSEILLE TIMONE	trafic	1	1
03014	MARSEILLE SAINTLOUIS	urbaine	1	1
03021	AIX ROY-RENE	trafic	1	1
03030	GARDANNE	industrielle	1	1
03036	AIX OUEST-BOUFFAN	urbaine	1	0
03043	MARSEILLE CINQAVENUE	urbaine	0	1
03068	TOULON FOCH	trafic	1	1
03084	LE-PONTET	periurbaine	1	1
04002	GENNEVILLIERS	urbaine	0	1
04012	Place-Victor-Basch	trafic	1	1
04031	Av-Champs-Elysees	trafic	1	1
04053	Bd-Periph-Auteuil	trafic	1	1
04055	PARIS-1er-Les-Halles	urbaine	0	1
04058	Auto-A1-Saint-Denis	trafic	1	1
04150	LA-DEFENSE	urbaine	1	1
05054	Le-Havre-Les-Neiges	industrielle	0	1
05077	LeHavre-Republique	trafic	1	1
06001	Valenciennes-Acacia	urbaine	1	1
06003	Douai-Theuriet	urbaine	1	1
06004	St-Amand-Bracke	urbaine	1	1
06006	Valenciennes-Wallon	trafic	1	1
06007	Maubeuge-Joyeuse	urbaine	1	0
06009	Cambrai-Gambetta	urbaine	1	1
06010	Waziers-Rolland	urbaine	1	1
06011	Denain-Villars	urbaine	1	1
06012	Haumont-Ronsard	periurbaine	1	1
06014	Boussois-Delcourt	industrielle	1	0
06016	Douai-Esquerchin	trafic	1	1
06019	Somain-Salengro	industrielle	1	1
10002	Dunkerque-Centre	trafic	1	1
10005	Fort-Mardyck	industrielle	1	0
10007	St-Pol/mer-Nord	urbaine	1	0
10009	Petite-Synthe	periurbaine	1	1
10015	Gravelines-DRIRE	periurbaine	1	1
10025	Sangatte	periurbaine	1	1
10031	Botlogne-Centre	trafic	1	1
10032	Outreau	periurbaine	1	1
10041	St-Omer-Ribot	urbaine	1	1
11016	Marcq-CTM	urbaine	1	1
11024	Lille-Faidherbe	urbaine	1	1
11025	Lille-Fives	urbaine	1	1
11027	Tourcoing-Centre	urbaine	1	1
11029	Lomme-Hugo	urbaine	1	1
11030	Salome-Ecoles	periurbaine	1	1
15038	St-Martin-d'Herès	urbaine	0	1
15039	Le-Rondeau	trafic	1	1
15043	Grenoble-Les-Frenes	urbaine	1	1
15046	Grenoble-Boulevards	trafic	1	1
16034	STG-Clemenceau	trafic	1	1
16038	STG-Est	urbaine	1	1
16054	Colmar-Centre	urbaine	1	0
16057	Mulhouse-Nord	urbaine	1	1
17008	CHATENOIS	industrielle	0	1
18008	P.-Bert-St-Quentin	periurbaine	0	1
18019	Nogent-sur-Oise	periurbaine	0	1
18042	P.-Roth-St-Quentin	urbaine	0	1
18044	Saint-Leu-Amiens	urbaine	0	1
20002	BERTHELOT	trafic	1	1
20003	GARBALDI	trafic	1	1
20013	A7-SUD-LYONNAIS	trafic	1	1
20019	GRANDCLEMENT	trafic	1	1
20029	FEYZIN-STADE	industrielle	1	1
20031	ST-FONS-CENTRE	industrielle	0	1
20046	VAULX-EN-VELIN	periurbaine	1	1
20062	LYON-Centre	periurbaine	0	1
20063	LYON-Periph Est	trafic	0	1
24007	ANTIBES-JEAN-MOULIN	periurbaine	0	1
24009	CANNES-BROUSSAILLES	urbaine	0	1
24020	Cagnes-Ladoumegue	urbaine	0	1
24021	Peillon	industrielle	1	1
24023	Contes2	industrielle	1	1
24030	aeroportNice	observationspecifique	0	1
25035	Gd-Couronne-Mairie	industrielle	0	1
25036	Espace-du-Palais	urbaine	0	1
25037	Rouen-Le-Conguerant	trafic	1	1
26014	Station-TREMUILLE	trafic	1	1
27002	ROUSSILLON	urbaine	0	1
27004	Vienne-Centre	urbaine	0	1
27008	A7-Nord-Isre	trafic	1	1
28002	Lens-Service-Tec	urbaine	1	0
28010	Harnes-Serres	periurbaine	1	1
28018	Arras-Jaures	urbaine	1	1
28020	Noeux-S.-Sports	periurbaine	1	0
28026	Mazingarbe-Dumas	industrielle	1	1
28027	Evin-Stade	industrielle	1	1
28029	Corbehem-Biblio	industrielle	1	1
28030	Henin-Cimetiere	urbaine	1	0
29429	RIVE-DE-GIER	trafic	0	1
30030	Neuves-Maisons	industrielle	1	1
31005	BORDEAUX-GAMBETTA	trafic	1	1
31015	SAMONZET	trafic	0	1
31017	ANGLET	trafic	1	1
33101	PASTEUR	urbaine	1	0
33102	CHAMBERY-LE-HAUT	urbaine	1	0
33112	St-Julien-Montdenis	trafic	0	1
33120	CHAMONIX	urbaine	1	0
33201	LOVERCHY	urbaine	1	1
33212	GAILLARD	urbaine	1	0
33220	PASSY	urbaine	1	1
36002	Valence-Urb.-Centre	urbaine	0	1
36003	Valence-Trafic	trafic	1	1
Total			87	96

Tableau 6 : Tableau de contingences des dépassements du seuil de $50 \mu\text{g m}^{-3}$ plus de 35 fois durant l'année 2007 pour tous les sites de la métropole. Les observations « OBS » correspondent à la meilleure mesure disponible (de référence ou corrigée) ; « 1 » correspond à « un dépassement », « 0 » à « pas de dépassement »

Code station	Nom	Type	OBS	MOD2
01005	Hayange	industrielle	0	0
02031	Marignane-Ville	urbaine	0	1
03002	MARSEILLE TIMONE	trafic	1	0
03030	GARDANNE	industrielle	1	1
03068	TOULON FOCH	trafic	1	1
03084	LE-PONTET	periurbaine	1	0
04012	Place-Victor-Basch	trafic	1	1
04031	Av-Champs-Elysees	trafic	1	1
04053	Bd-Periph-Auteuil	trafic	1	1
04058	Auto-A1-Saint-Denis	trafic	1	1
05077	LeHavre-Republique	trafic	0	1
06006	Valenciennes-Wallon	trafic	1	0
10002	Dunkerque-Centre	trafic	1	1
10005	Fort-Mardyck	industrielle	1	0
10007	St-Pol/mer-Nord	urbaine	1	0
10009	Petite-Synthe	periurbaine	1	1
10016	Calais-Berthelot	indefini	1	0
10031	Boulogne-Centre	trafic	1	1
11016	Marcq-CTM	urbaine	1	0
11024	Lille-Faidherbe	urbaine	1	0
11027	Tourcoing-Centre	urbaine	1	0
13005	AUDINCOURT-Place	trafic	1	1
15039	Le-Rondeau	trafic	1	1
15046	Grenoble-Boulevards	trafic	1	1
16034	STG-Clemenceau	trafic	1	1
20013	A7-SUD-LYONNAIS	trafic	1	1
20019	GRANDCLEMENT	trafic	1	1
20063	LYON Periph Est	trafic	0	1
24007	ANTIBES-JEAN-MOULIN	periurbaine	1	1
24009	CANNES-BROUSSAILLES	urbaine	1	1
24021	Peillon	industrielle	1	1
24023	Contes2	industrielle	1	1
29429	RIVE-DE-GIER	trafic	1	0
31005	BORDEAUX-GAMBETTA	trafic	1	1
31017	ANGLET	trafic	1	0
33220	PASSY	urbaine	1	1
Total			32	24

Tableau 7 : Tableau de contingences des dépassements du seuil de $50 \mu\text{g m}^{-3}$ plus de 35 fois durant l'année 2008 pour tous les sites de la métropole. Les observations « OBS » correspondent à la meilleure mesure disponible (de référence ou corrigée) ; « 1 » correspond à « un dépassement », « 0 » à « pas de dépassement »

6. Application de la correction calée sur la période 2007-2008 aux données PM_{10} de 2005 et 2006

Le coefficient α calculé sur la période 2007-2008 a été appliqué aux données 2005 et 2006, il en résulte les dépassements mentionnés Tableau 8 et Tableau 9 en utilisant la méthode de correction MOD2 (correction complète) respectivement pour les années 2005 et 2006. Le nombre de stations en dépassement est de 63 en 2005 et 94 en 2006.

Code station	Nom	Type	OBS	MOD2
01005	Hayange	industrielle	1	1
02005	Martigues-l'Ile	urbaine	0	1
02008	Port-de-Bouc-Leque	urbaine	0	1
02013	Fos-Les-Carabins	urbaine	0	1
02020	Rognac-les-Brets	industrielle	0	1
02022	Arles	urbaine	0	1
02029	Chateauneuf-La-Mede	industrielle	0	1
03002	MARSEILLE TIMONE	trafic	0	1
03014	MARSEILLE SAINTLOUIS	urbaine	0	1
03062	TOULON CHALUCET	urbaine	0	1
03068	TOULON FOCH	trafic	1	1
04012	Place-Victor-Basch	trafic	1	1
04031	Av-Champs-Elysees	trafic	1	1
04053	Bd-Periph-Auteuil	trafic	1	1
05077	LeHavre-Republique	trafic	0	1
06006	Valenciennes-Wallon	trafic	1	1
07021	Le-Puy-Fayolle	trafic	0	1
07028	Les-Ancizes	industrielle	1	1
10002	Dunkerque-Centre	trafic	0	1
10005	Fort-Mardyck	industrielle	0	1
10007	St-Pol/mer-Nord	urbaine	0	1
10009	Petite-Synthe	periurbaine	0	1
10011	Grande-Synthe	urbaine	0	1
10012	Mardyck	industrielle	0	1
10014	Gravelines-PC	periurbaine	0	1
10021	Calais-Chateaub	industrielle	0	1
10031	Boulogne-Centre	trafic	0	1
11016	Marcq-CTM	urbaine	0	1
11025	Lille-Fives	urbaine	0	1
11027	Tourcoing-Centre	urbaine	0	1
11029	Lomme-Hugo	urbaine	0	1
11031	LA-BASSEE/CENTRE	trafic	0	1
13005	AUDINCOURT-Place	trafic	0	1
15038	St-Martin-d'Herès	urbaine	0	1
15039	Le-Rondeau	trafic	1	1
15043	Grenoble-Les-Frenes	urbaine	0	1
16012	STG-Ilkirch	trafic	0	1
16027	STG-Centre	urbaine	0	1
16034	STG-Clemenceau	trafic	0	1
16038	STG-Est	urbaine	0	1
20002	BERTHELOT	trafic	0	1
20013	A7-SUD-LYONNAIS	trafic	1	1
20016	ETATS-UNIS	trafic	0	1
20019	GRANDCLEMENT	trafic	1	1
20029	FEYZIN-STADE	industrielle	0	1
20037	TERNAY	periurbaine	0	1
20045	GENAS	periurbaine	0	1
20046	VAULX-EN-VELIN	periurbaine	0	1
24021	Peillon	industrielle	1	1
24023	Contes2	industrielle	1	1
25037	Rouen-Le-Conquerant	trafic	0	1
26014	Station-TREMOUILLE	trafic	1	1
27002	ROUSSILLON	urbaine	0	1
27004	Vienne-Centre	urbaine	0	1
28002	Lens-Service-Tec	urbaine	0	1
29421	COUBERTIN	periurbaine	0	1
30030	Neuves-Maisons	industrielle	0	1
31013	BILLERE	urbaine	0	1
31017	ANGLET	trafic	0	1
31036	DAX	urbaine	0	1
33120	CHAMONIX	urbaine	0	1
34013	Gambeta	trafic	0	1
36003	Valence-Trafic	trafic	0	1
Total			13	63

Tableau 8: Tableau de contingence des dépassements du seuil de $50 \mu\text{g m}^{-3}$ plus de 35 fois durant l'année 2005 observés (OBS) et modélisés par la méthode MOD2. « 1 » correspond à « un dépassement », « 0 » à « pas de dépassement »

Code station	Nom	Type	OBS	MOD2
01005	Hayange	industrielle	1	1
01009	Gandrange	industrielle	0	0
02005	Martigues-l'Ile	urbaine	0	1
02008	Port-de-Bouc-Leque	urbaine	0	1
02013	Fos-Les-Carabins	urbaine	0	1
02020	Rognac-les-Brets	industrielle	0	1
02022	Arles	urbaine	0	1
02029	Chateauneuf-La-Mede	industrielle	0	1
02031	Marignane-Ville	urbaine	0	1
03002	MARSEILLE TIMONE	trafic	0	1
03014	MARSEILLE SAINTLOUIS	urbaine	0	1
03021	AIX ROY-RENE	trafic	0	1
03036	AIX OUEST-BOUFFAN	urbaine	0	1
03062	TOULON CHALUCET	urbaine	0	1
03080	AVIGNON MAIRIE	urbaine	0	1
03084	LE-PONTET	periurbaine	0	1
04012	Place-Victor-Basch	trafic	1	1
04031	Av-Champs-Elysees	trafic	0	1
04053	Bd-Periph-Auteuil	trafic	1	1
05054	Le-Havre-Les-Neiges	industrielle	0	1
05077	LeHavre-Republique	trafic	0	1
06006	Valenciennes-Wallon	trafic	0	1
06011	Denain-Villars	urbaine	0	1
06016	Douai-Esquerchin	trafic	0	1
07028	Les-Ancizes	industrielle	0	1
07034	Esplanade-Gare	trafic	0	1
10002	Dunkerque-Centre	trafic	0	1
10005	Fort-Mardyck	industrielle	0	1
10007	St-Pol/mer-Nord	urbaine	0	1
10009	Petite-Synthe	periurbaine	0	1
10011	Grande-Synthe	urbaine	0	1
10012	Mardyck	industrielle	0	1
10014	Gravelines-PC	periurbaine	0	1
10021	Calais-Chateaub	industrielle	0	1
10031	Boulogne-Centre	trafic	0	1
11016	Marcq-CTM	urbaine	0	1
11024	Lille-Faidherbe	urbaine	0	1
11025	Lille-Fives	urbaine	0	1
11027	Tourcoing-Centre	urbaine	0	1
11029	Lomme-Hugo	urbaine	0	1
11030	Salome-Ecoles	periurbaine	0	1
13004	SOCHAUX-Ateliers	urbaine	0	1
13005	AUDINCOURT-Place	trafic	0	1
13007	MONTBELIARD-Centre	urbaine	0	1
13009	BELFORT-Octroi	trafic	0	1
15017	Fontaine-Les-Balmes	urbaine	0	1
15038	St-Martin-d'Herès	urbaine	0	1
15039	Le-Rondeau	trafic	1	1
15043	Grenoble-Les-Frenes	urbaine	0	1
16027	STG-Centre	urbaine	0	1
16034	STG-Clemenceau	trafic	0	1
16038	STG-Est	urbaine	0	1
17002	PALENTE	urbaine	0	1
20002	BERTHELOT	trafic	0	1
20003	GARIBALDI	trafic	0	1
20013	A7-SUD-LYONNAIS	trafic	1	1
20016	ETATS-UNIS	trafic	1	1
20019	GRANDCLEMENT	trafic	1	1
20029	FEYZIN-STADE	industrielle	0	1
20031	ST-FONS-CENTRE	industrielle	0	1
20037	TERNAY	periurbaine	0	1
20045	GENAS	periurbaine	0	1
20046	VAULX-EN-VELIN	periurbaine	0	1
22001	Batiment-ELF-ATO(1)	industrielle	0	0
24007	ANTIBES-JEAN-MOULIN	periurbaine	0	1
24020	Cagnes-Ladoumegue	urbaine	0	1
24021	Peillon	industrielle	1	1
24023	Contes2	industrielle	1	1
24030	aeroport.Nice	observationspecifique	0	1
25037	Rouen-Le-Conquerant	trafic	0	1
26001	Station-PASTEUR	urbaine	0	1
26014	Station-TREMOUILLE	trafic	1	1
26018	Stat-A6-BLIGNY-Les-B	observationspecifique	0	1
27002	ROUSSILLON	urbaine	0	1
27004	Vienne-Centre	urbaine	0	1
27007	Bourgoin-Jallieu	urbaine	0	1
27008	A7-Nord-Isre	trafic	0	1
28002	Lens-Service-Tec	urbaine	0	1
28028	Bethune-Stade	urbaine	0	1
29421	COUBERTIN	periurbaine	0	1
29425	FIRMINY	urbaine	0	1
29426	SAINT-CHAMOND	urbaine	0	1
30030	Neuves-Maisons	industrielle	0	1
31005	BORDEAUX-GAMBETTA	trafic	0	1
31006	MERIGNAC	trafic	0	1
31015	SAMONZET	trafic	0	1
31036	DAX	urbaine	0	1
32001	Chalon-Centre-Ville	trafic	0	1
32006	Macon-Paul-Bert	urbaine	0	1
33101	PASTEUR	urbaine	0	1
33120	CHAMONIX	urbaine	0	1
33121	Albertville	urbaine	0	1
33201	LOVERCHY	urbaine	0	1
34013	Gambeta	trafic	0	1
36001	Valence-Periurb.-Sud	periurbaine	0	1
36003	Valence-Trafic	trafic	0	1
Total			9	94

Tableau 9: Tableau de contingence des dépassements du seuil de $50 \mu\text{g m}^{-3}$ plus de 35 fois durant l'année 2006 observés (OBS) et modélisés par la méthode MOD2. « 1 » correspond à « un dépassement », « 0 » à « pas de dépassement »

7. Fourniture des fichiers de correction

La méthode de correction complète MOD2 a été appliquée en utilisant le facteur α déterminé sur la période 2007-2008 (issu du Tableau 1).

Deux fichiers par année (YYYY=2005 et 2006) sont délivrés :

- 1 fichier de correction correspondant à la valeur de nitrate d'ammonium modèle

<YYYY>_NH4NO3.csv

- 1 fichier de correction complète, valeur qui doit être directement ajoutée à la valeur PM₁₀ envoyée à la Commission Européenne.

<YYYY>_CORRECTION_COMPLETE.csv

La correction complète peut être très légèrement négative, puisqu'elle a été calculée sur une base de mesures TEOM où le biais systématique de 3 $\mu\text{g m}^{-3}$ avait été retiré.

Bertrand Bessagnet
Responsable de l'unité MOCA