



Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air



Traitements numériques

**CORRECTION DES DONNEES TEOM EN FRANCE POUR
L'ANNEE 2004 : Validation de la méthode par la modélisation**

Décembre 2006
Version finale
Bertrand Bessagnet





Ministère de l'Ecologie
et du Développement Durable

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'Ecole 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, sous la coordination technique de l'ADEME et en concertation avec les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA). Ces travaux en matière de pollution atmosphérique supportés financièrement par la Direction des Préventions des Pollutions et des Risques du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable sont réalisés avec le souci constant d'améliorer le dispositif de surveillance de la qualité de l'air en France en apportant un appui scientifique et technique 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

.



Ministère de l'Ecologie
et du Développement Durable

CORRECTION DES DONNEES TEOM EN FRANCE POUR L'ANNEE 2004 : Validation de la méthode par la modélisation

Laboratoire Central de Surveillance
de la Qualité de l'Air

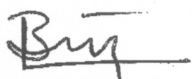
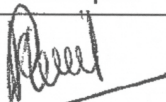

Traitements numériques

Programme Financé par
la Direction des Préventions des Pollutions et des Risques (DPPR)

Décembre 2006

Bertrand Bessagnet

Ce document comporte 16 pages (hors couverture et annexes).

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	Bertrand Bessagnet	Laurence Rouïl	M.RAMEL
Qualité	Ingénieur Etude Recherche Développement Direction des Risques Chroniques	Responsable de l'Unité Modélisation et analyse économique pour la gestion des risques Direction des Risques Chroniques	Déléguee Appui Technique - Responsable LCSQA/INERIS Direction des Risques Chroniques
Visa			



Ministère de l'Ecologie
et du Développement Durable

TABLE DES MATIERES

1. RESUMÉ.....	2
2. INTRODUCTION	3
3. DESCRIPTION DE LA MÉTHODE DE CORRECTION	5
3.1 Etape 1 : Evaluation des concentration de nitrate d'ammonium.....	5
3.2 Etape 2 : Calcul de la correction à partir du modèle.....	5
4. VALIDATION DE LA MÉTHODE DE CORRECTION PAR LE MODÈLE ET COMPARAISON AUX AUTRES MÉTHODES	6
4.1 Représentation graphique des méthodes de correction	6
4.2 Influence des méthodes sur les statistiques d'erreur	8
4.3 Influence des méthodes sur le nombre de dépassements	9
4.3.1 Résultats sur la campagne de mesure de 2004 (région parisienne).....	9
4.3.2 Résultats sur l'année 2004 (région parisienne)	10
5. COMPARAISON AVEC LA MÉTHODE DE CORRECTION MÉTROLOGIQUE	12
6. APPLICATION DE LA MÉTHODE DE CORRECTION PAR LE MODÈLE SUR L'ENSEMBLE DES STATIONS – COMPARAISON AVEC LES AUTRES MÉTHODES	14
7. CONCLUSION	15
8. RÉFÉRENCES	16
9. LISTE DES ANNEXES	17

1. RESUME

En France, le dispositif de surveillance des particules PM10 est basé sur un réseau de stations de mesures automatiques de type TEOM (majoritaires) et jauges béta. Ces systèmes permettent d'accéder à une haute résolution temporelle, au moins l'heure, et à un suivi précis de l'évolution des concentrations. Cependant, ces techniques ne sont pas classées comme « méthodes de référence » au sens de la réglementation européenne. Les méthodes de référence sont des méthodes de type « gravimétrique » qui permettent d'accéder à la composition des particules, mais avec une résolution temporelle moindre.

Les travaux réalisés par le LCSQA ces dernières années ont démontré que l'essentiel des différences entre la mesure TEOM et une méthode gravimétrique standard (ou équivalente) provient de l'évaporation de la fraction volatile des particules, et notamment du nitrate d'ammonium, lors de la mesure, celle-ci s'effectuant à 50°C.

Le présent document constitue une première analyse des performances d'une méthode de correction des mesures automatiques de PM10, basée sur la simulation des concentrations en nitrate d'ammonium effectuée par le modèle de Chimie - Transport CHIMERE, développé par l'INERIS et utilisé dans PREV'AIR. Le modèle permet de reconstituer des champs de concentrations de PM et de leur composés, heure par heure et avec une résolution spatiale de 10km*10km à l'échelle de toute la France.

Les investigations réalisées dans cette étude utilisent les données disponibles à l'issue d'une campagne de mesure d'envergure réalisée en 2004 sur la région parisienne.

La méthode de correction par le modèle offre des résultats prometteurs. Elle produit les meilleures performances lorsqu'on la compare à d'autres méthodes possibles (approche statistique basée sur la reconstitution de polynômes, facteur correctif constant). Les indicateurs de scores statistiques classiques sont nettement améliorés (biais, erreur, corrélation) et il devient possible de prédire un certain nombre de dépassements du seuil de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ignorés par les mesures automatiques non ajustées. Néanmoins les données de validation utilisées ne sont pas suffisantes en 2004 et pas nécessairement représentatives de l'ensemble du territoire pour en tirer une conclusion définitive. Il faut à l'avenir utiliser d'autres années où des données FDMS (notamment hors Ile-de-France) sont disponibles afin de poursuivre la validation de la méthode proposée.

Cette méthode offre cependant la seule alternative satisfaisante pour corriger les données du passé. Pour les données actuelles, il est aussi montré que la correction métrologique telle que préconisée par le LCSQA et la Commission de suivi particule (basée sur la mise en place de couples de stations TEOM/TEOM-FDMS ou jauges béta / jauges Beta - RST offre des résultats plus fiables et satisfaisants.

2. INTRODUCTION

En France, le dispositif de surveillance des particules PM10 est basé sur un réseau de stations de mesures automatiques de type TEOM (majoritaires) et jauges béta. Ces systèmes permettent d'accéder à une haute résolution temporelle, au moins l'heure, et à un suivi précis de l'évolution des concentrations. Cependant, ces techniques ne sont pas classées comme « méthodes de référence » au sens de la réglementation européenne. Les méthodes de référence sont des méthodes de type « gravimétrique » qui permettent d'accéder à la composition des particules, mais avec une résolution temporelle moindre. Les contraintes en terme d'analyse sont également plus lourdes.

Les travaux réalisés par le LCSQA ces dernières années ont démontré que l'essentiel des différences entre la mesure TEOM et une méthode gravimétrique standard (ou équivalente) provient de l'évaporation de la fraction volatile des particules, et notamment du nitrate d'ammonium, lors de la mesure, celle-ci s'effectuant à 50°C.

Sur cette base le LCSQA, en étroite collaboration avec la Commission de Suivi Particules, a défini une méthode de correction des mesures effectuées par les TEOM et les jauges béta, visant à rétablir la concentration en nitrate d'ammonium, dans la concentration massique mesurée. D'autres espèces comme certaines espèces organiques secondaires ou primaires sont susceptibles de s'évaporer, mais l'hypothèse a été faite de négliger ces processus. En effet, la plupart des différences observées (Bessagnet et al., 2005 ; Hodzic et al., 2005) a lieu en hiver lors d'épisodes dont les conditions météorologiques correspondant à un temps froid et anticyclonique (flux d'Est à Nord-Est en général), conditions qui ne favorisent pas la formation d'aérosols organiques secondaires.

Parallèlement, le module de simulation des aérosols développé par l'INERIS depuis 2001 dans le modèle CHIMERE permet d'estimer la composante de nitrate d'ammonium à une échelle de 10 km sur la France. Il s'agit du même domaine que celui utilisé pour la plate-forme PREV'AIR¹ pour la prévision opérationnelle à l'échelle nationale. Le principe de la correction **a posteriori** étudié dans le présent rapport, consiste à ajouter la concentration de nitrate d'ammonium « modèle » aux valeurs des concentrations déterminées par les systèmes de mesure automatique.

Afin de développer une analyse exhaustive de cette méthode, appelée « **correction par le modèle** » (**MOD** dans le document), elle sera systématiquement comparée à six autres approches potentiellement candidates pour la corrections des données de PM10 mesurées dans le passé:

¹ Le modèle d'aérosol ne fonctionne qu'à l'échelle continentale (résolution 50 Km) pour la prévision PREV'AIR. Le passage à 10 Km de résolution constitue un développement particulier à cette étude.

1. Correction par une fonction polynomiale – Polynôme 1,22 – Hiver

POL1

Cette méthode mise au point par l'Ecole des Mines de Douai consiste à corriger les données par une fonction polynomiale des concentrations TEOM :

$$TEOM_{\text{corrigé}} = 1,06 \times TEOM + 0,0039 \times TEOM^2$$

Cette formule est appliquée sur l'hiver tropique du 1^{er} Octobre au 31 Mars.

2. Correction par une fonction polynomiale – Polynôme 1,22 – Année

POL2

Même formule que la méthode précédente, mais application sur l'année complète.

3. Correction par une fonction polynomiale – Polynôme 1,3 – Hiver

POL3

Cette méthode mise au point par l'Ecole des Mines de Douai consiste à corriger les données par une fonction polynomiale des concentrations TEOM :

$$TEOM_{\text{corrigé}} = TEOM + 0,0078 \times TEOM^2$$

Cette formule est appliquée sur l'hiver tropique du 1^{er} Octobre au 31 Mars.

4. Correction par une fonction polynomiale – Polynôme 1,3 – Année

POL4

Même formule que la méthode précédente, mais application sur l'année complète.

5. Correction par une fonction polynomiale – Polynôme 1,22 – Hiver et le modèle)²**M&P**

Le polynôme 1,22 – Hiver est appliqué pour les jours où le modèle prévoit une correction à faire. La correction polynomiale est appliquée lorsque la correction proposée par le modèle est supérieure à 5 µg/m³.

6. Correction par un facteur constant

FCST

Un facteur multiplicatif constant de 1,3 est appliqué pour toutes les valeurs TEOM sur l'année complète (démarche adoptée dans de nombreux pays européens).

$$TEOM_{\text{corrigé}} = 1,3 \times TEOM$$

L'objet du présent rapport est donc de décrire la méthode de correction par modélisation, et de démontrer son adaptabilité au contexte de la correction a

² D'autres méthodes ont été testées en hybridant la méthode modèle aux autres méthodes polynomiales. Tous ces tests ont donné des résultats très proche de la correction par polynôme seul. Par ailleurs, le seuil d'application de la méthode polynomiale de 5 µg/m³ a été modifié, ce paramètre n'est pas sensible.

posteriori des données de mesure de PM10 réalisées par les TEOM et les jauges béta.

3. DESCRIPTION DE LA METHODE DE CORRECTION

3.1 ETAPE 1 : EVALUATION DES CONCENTRATION DE NITRATE D'AMMONIUM

Le modèle fournit en sortie les concentrations de nitrate et ammonium séparément. Sachant que l'ammonium peut être associé au sulfate comme au nitrate, la concentration de nitrate d'ammonium est évaluée à partir de la seule concentration de nitrate. On en déduit à partir des masse molaires de l'ammonium et du nitrate la concentration en nitrate d'ammonium :

$$C_{NH_4NO_3} = (1 + 18/62) \cdot C_{NO_3}$$

3.2 ETAPE 2 : CALCUL DE LA CORRECTION A PARTIR DU MODELE

La correction des observations s'effectue de la façon suivante pour chaque jour j à une station donnée :

1^{er} cas :

$$\left(C_{PM10}^j - C_{NH_4NO_3}^j \right)_{\text{modele}} \leq (C)_{TEOM} \Rightarrow TEOM_{\text{corrigé}} = TEOM + \left(C_{NH_4NO_3}^j \right)_{\text{modele}}$$

Dans ce cas, la correction à apporter est directement la concentration de nitrate d'ammonium calculée par le modèle (qui est évaporée par le modèle).

2^{ème} cas :

$$\left(C_{PM10}^j - C_{NH_4NO_3}^j \right)_{\text{modele}} > 2 \times (C)_{TEOM} \Rightarrow$$

$$TEOM_{\text{corrigé}} = TEOM + \left(C_{NH_4NO_3}^j \right)_{\text{modele}} \times \frac{(C)_{TEOM}}{\left(C_{PM10}^j - C_{NH_4NO_3}^j \right)_{\text{modele}}}$$

Le seuil $2x(C)_{TEOM}$ est choisi pour déterminer les points aberrants. En effet, il arrive parfois que le modèle sous-estime l'épaisseur de la couche limite, ce qui occasionne une forte surestimation des concentrations. Dans ce cas, la concentration de nitrate d'ammonium est corrigée par le facteur

$$\frac{(C)_{TEOM}}{\left(C_{PM10}^j - C_{NH_4NO_3}^j \right)_{\text{modele}}}$$

Pour la méthode proposée, aucun seuil n'est appliqué, aucune période n'est spécifiée pour appliquer la méthode. En effet, le modèle détermine la quantité de nitrate d'ammonium formée quelque soit la saison (l'été, cette composante sera beaucoup plus faible qu'en hiver).

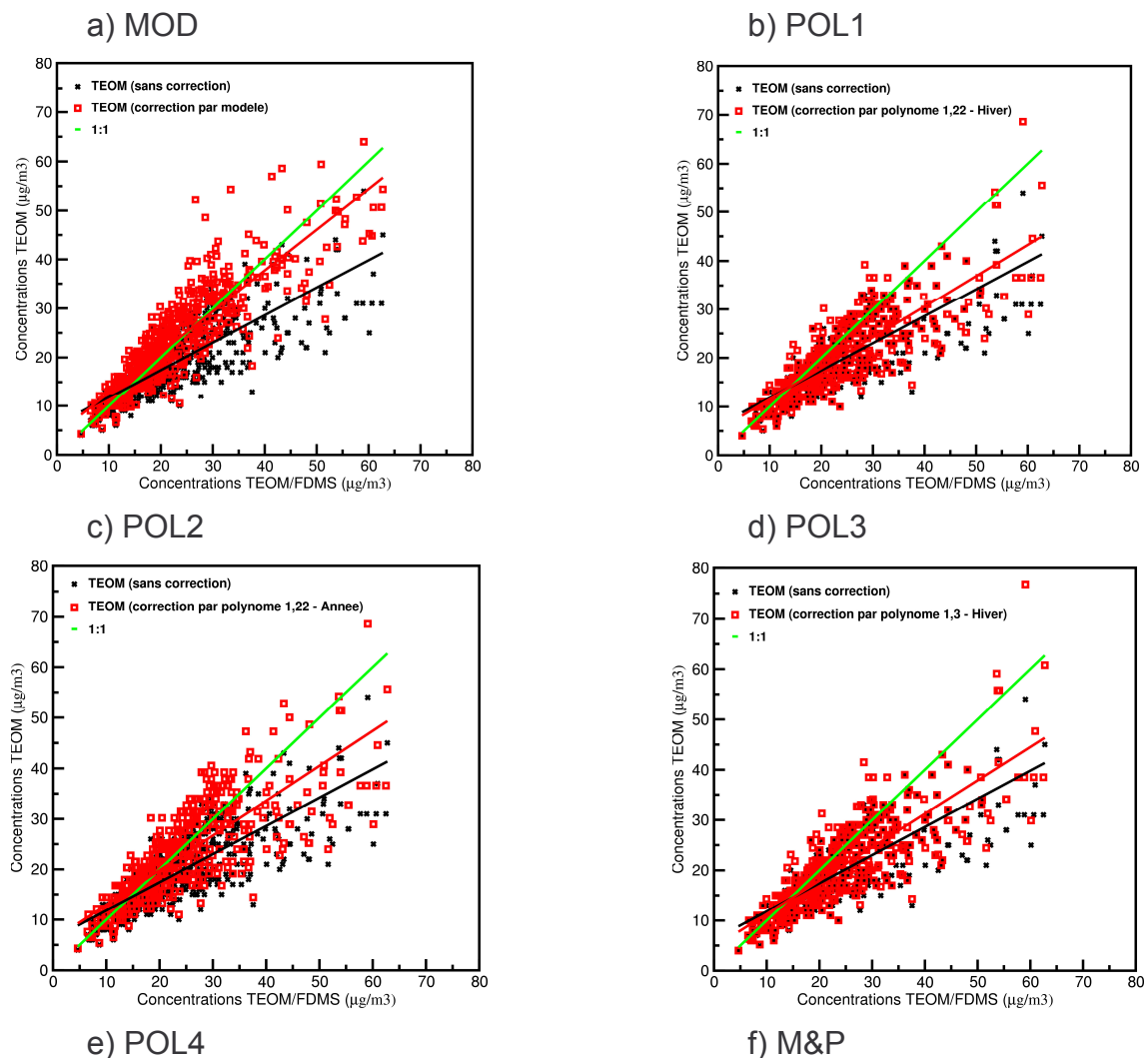
4. VALIDATION DE LA METHODE DE CORRECTION PAR LE MODELE ET COMPARAISON AUX AUTRES METHODES

4.1 REPRESENTATION GRAPHIQUE DES METHODES DE CORRECTION

En 2004, trois stations en région Parisienne étaient dotées d'une instrumentation TEOM et FDMS (+ 1 Partisol à Gennevilliers). Il s'agit des stations de Cergy, Gennevilliers et Nogent. Les mesures sont disponibles du 5 Mars au 26 Octobre 2004. En supposant que la méthode TEOM/FDMS ou Partisol est très proche de la méthode standard, il est donc possible d'appliquer la méthode précédente afin d'observer son effet sur la correction du jeu de données TEOM de ces trois stations. Notons que la donnée Partisol à Gennevilliers était plus souvent disponible que la donnée FDMS, c'est donc celle ci qui a été retenue pour ce site.

Lorsque l'on applique les méthodes de correction, les données TEOM corrigées doivent donc se rapprocher de la valeur fournie par le TEOM/FDMS (ou Partisol à Gennevilliers). Graphiquement, sur la Figure 1, la droite rouge doit se rapprocher de la droite verte sans que le nuage de point ne se disperse trop.

Sur la Figure 1, six méthodes sont représentées.



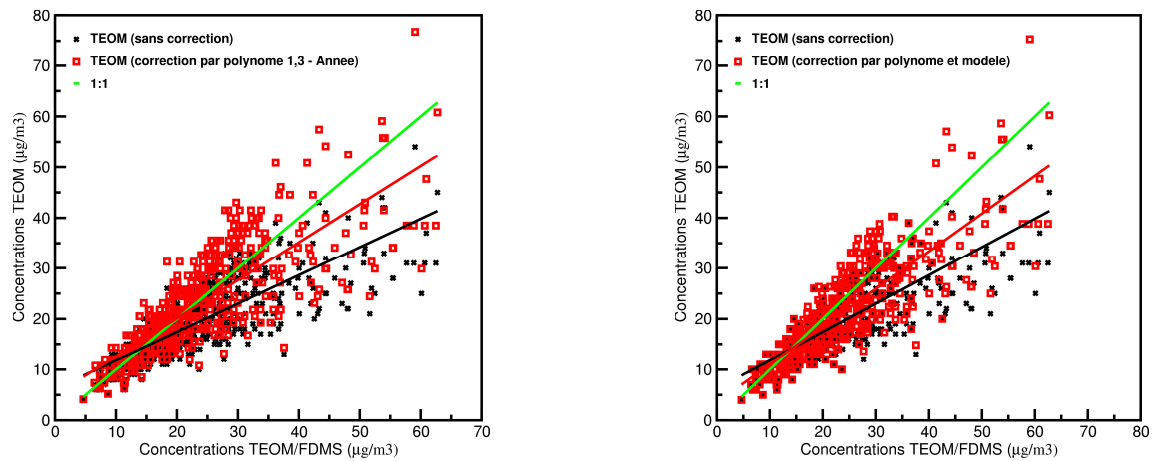


Figure 1 : Représentation graphique du jeu de données avant et après correction par chacune des méthodes (pour la campagne Parisienne en 2004)

Sur la Figure 1, on constate clairement que le jeu de données TEOM brut (en noir) sous estimait les concentrations de PM10 par rapport à la mesure TEOM/FDMS.

- Une fois la correction par le modèle effectuée, le jeu de donnée se rapproche plus nettement de la mesure FDMS, mais on constate que pour certaines fortes valeurs, la correction n'est pas suffisante.
- b), c), d), e) L'application des polynômes sur l'hiver tropique ou sur l'année complète ne comble pas complètement le biais négatif des observations TEOM. Le redressement des fortes valeurs n'est pas suffisant.
- f) L'utilisation de la méthode hybride modèle/polynôme améliore légèrement la méthode par polynôme seul.

En appliquant la correction par facteur constant 1,3 (Figure 2) les valeurs faibles semblent trop souvent corrigées, le jeu de données semble *in fine* et en global nettement dégradé.

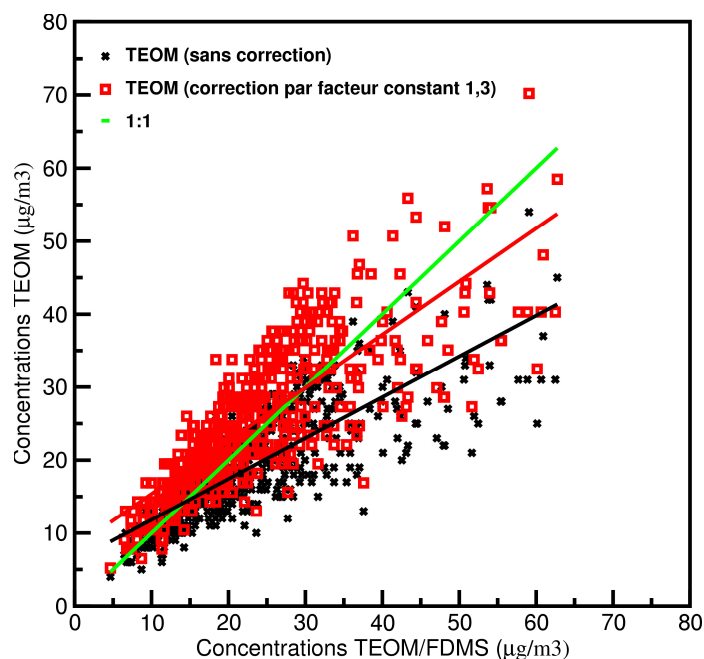


Figure 2 : Représentation graphique du jeu de données avant et après correction par le facteur constant 1,3 – FCST (pour la campagne Parisienne en 2004)

4.2 INFLUENCE DES METHODES SUR LES STATISTIQUES D'ERREUR

La représentation graphique du jeu de données avant et après correction ne permet pas de quantifier l'influence des méthodes sur la nature du jeu de données. Le Tableau 1 recense les principaux paramètres statistiques du jeu de données par rapport aux données FDMS/TEOM disponibles. Les calculs ont été effectués sur 560 points de mesure.

En supposant la méthode FDMS/TEOM comme la plus proche de la méthode de référence, la correction doit apporter une amélioration notable des paramètres statistiques du jeu de données.

Corrections proposées	TEOM ^a	FDMS ^b	Biais ^c	Erreur ^d	RMSE ^e	Cor. ^f
TEOM (sans correction)	19.0	22.8	-3.8	17.1	7.5	0.81
MOD	23.4	22.8	+0.6	16.7	5.3	0.88
POL1	19.7	22.8	-3.1	16.5	6.8	0.83
POL2	21.7	22.8	-1.1	17.3	6.5	0.81
POL3	19.8	22.8	-3.0	16.6	6.7	0.83
POL4	22.2	22.8	-0.6	18.1	6.5	0.81
M&P	20.6	22.8	-2.2	16.3	6.2	0.84
FCST	24.7	22.8	+1.9	23.6	6.7	0.81

a) Moyenne de la valeur TEOM en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, b) Moyenne de la valeur TEOM/FDMS en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, c) Biais en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, d) Erreur normalisée en %, e) Erreur quadratique moyenne en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, f) Corrélation

Tableau 1 : Influence des corrections sur les statistiques d'erreur du jeu de données par rapport aux données TEOM/FDMS

La méthode de correction par le modèle (MOD) améliore nettement toutes les statistiques d'erreur calculées par rapport à la mesure TEOM/FDMS (Tableau 1). Le biais devient très faiblement positif, la corrélation augmente nettement, la RMSE et l'erreur normalisée diminuent.

Les méthodes de correction par polynôme (POL1, POL2, POL3, POL4) procurent une légère amélioration des statistiques d'erreur.

La méthode hybride polynôme/modèle (M&P) produit la plus faible erreur normalisée, les améliorations sont un peu plus nettes que la méthode « polynôme seul » sans atteindre l'amélioration obtenue par la méthode modèle seul.

L'application d'un facteur constant (FCST) ne procure pas d'amélioration notable du jeu de données et a même tendance à dégrader le jeu de données puisque l'erreur normalisée augmente. Cette augmentation de l'erreur est due à une surestimation systématique des faibles concentrations.

En conclusion, pour le jeu de données proposé, la méthode de correction par le modèle procure les améliorations les plus notables, notamment sur les indicateurs les plus critiques à savoir la corrélation et la RMSE. Ces améliorations sont dues à la bonne simulation des épisodes de nitrate d'ammonium survenant en région Parisienne. L'application du polynôme ne produit pas d'amélioration aussi significative. En effet, la méthode consiste à augmenter essentiellement les fortes valeurs mesurées par le TEOM, et repose sur l'hypothèse implicite que toutes les fortes concentrations sont dues à des fortes concentrations d'espèces semi-volatiles. Ce n'est pas obligatoirement le cas, certains épisodes peuvent être dus au transport de poussières sahariennes, à la resuspension, aux sels marins....

4.3 INFLUENCE DES METHODES SUR LE NOMBRE DE DEPASSEMENTS

4.3.1 Résultats sur la campagne de mesure de 2004 (région parisienne)

Le Tableau 2 résume l'influence des corrections sur le nombre de journées de dépassement du seuil de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lors de la campagne de mesure en région Parisienne en 2004.

		Nombre de dépassements	Nombre de dépassements communs avec FDMS/TEOM
Données	TEOM/FDMS	20	--
	TEOM sans correction	1	1
Corrections proposées	MOD	14	9
	POL1	5	5
	POL2	7	5
	POL3	5	5
	POL4	10	5
	M&P	7	5
	FCST	10	5

Tableau 2 : Influence de la correction sur le nombre de dépassements du seuil de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ – Application aux mesures de la campagne Parisienne de 2004

La figure 3 fournit le même type d'information pour la correction par modélisation et par polynôme (POL3).

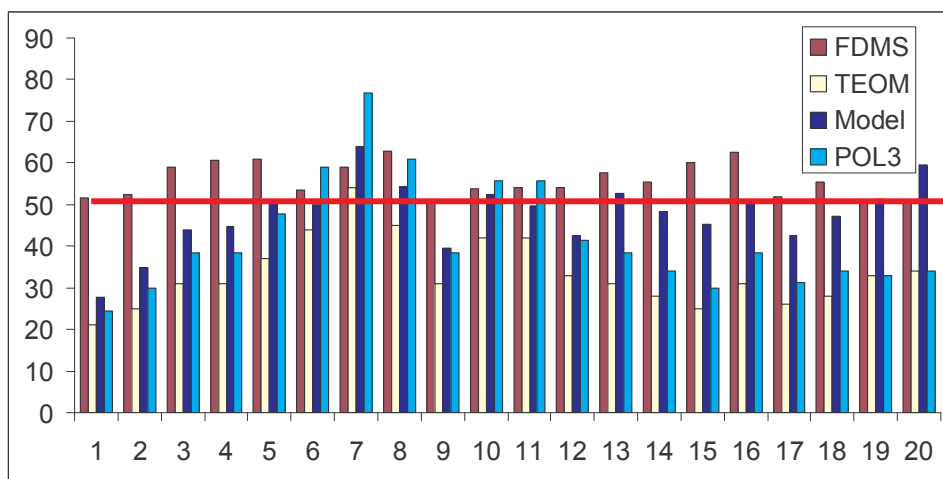


Figure 3 : représentation du nombre de dépassement du seuil de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2004 lors de la campagne parisienne

Il est à noter que l'utilisation des données TEOM sans correction ne permet de voir qu'un seul dépassement sur les 20 affichés par les données TEOM/FDMS.

- La méthode de correction par le modèle permet d'avoir 14 journées de dépassement. Cependant, parmi ces dépassements seul 9 sont réels. Ce qui signifie que 11 vrais dépassements ont été manqués et que 5 ont été inventés.
- Les méthodes par polynôme fournissent 5 à 10 dépassements sur 20, dont 5 dépassements seulement sont réels. Il manque donc 15 vrais dépassements.
- La méthode par facteur constant permet de voir 10 dépassements dont seulement 5 sont vrais. Il manque donc 15 vrais dépassements.
- La méthode hybride polynôme/modèle permet de voir 7 dépassements sur 20 dont 2 imaginaires, soit un manque de 13 vrais dépassements.

4.3.2 Résultats sur l'année 2004 (région parisienne)

Le Tableau 3 nous donne l'ensemble des évènements pour lesquels au moins une des trois stations de la région Parisienne en 2004 instrumentées avec un FDMS était en dépassement. D'une part, on voit que l'essentiel des dépassements FDMS a lieu en Mars mais on peut noter deux épisodes les 18 et 19 Mai. Pour ces deux dernières dates, le temps sur Paris était beau sans chaleur excessive (25°C) avec des nuits relativement fraîches ($10\text{-}15^\circ\text{C}$). Une production de nitrate d'ammonium est tout à fait possible dans ces conditions. Sur les 10 épisodes mentionnés, le modèle en simule bien 8. Le modèle rate les dépassements du 6/03 et 30/03.

Dates de dépassement FDMS/TEOM	MOD	POL1	POL2	POL3	POL4	M&P	FCST	TEOM seul
06/03	O	O	O	O	O	O	O	O
10/03	X	O	O	O	O	O	O	O
11/03	X	O	O	O	O	O	O	O
17/03	X	X	X	X	X	X	X	X
18/03	X	X	X	X	X	X	X	O
28/03	X	O	O	O	O	O	O	O
29/03	X	O	O	O	O	O	O	O
30/03	O	O	O	O	O	O	O	O
18/05	X	O	O	O	O	O	O	O
19/05	X	O	O	O	O	O	O	O

O : événement non prédit, X : événement prédit

Tableau 3 : Capacité de chaque méthode à simuler un dépassement sur au moins une des trois stations instrumentées lors des épisodes observés avec le FDMS en 2004

Nous constatons qu'à partir des données disponibles, aucune méthode de correction ne permet d'obtenir exactement le même nombre de dépassements que la mesure FDMS. Notons que pour l'ensemble des méthodes proposées, le critère de validation d'un nombre de dépassements d'un seuil est très sévère, le résultat binaire *Oui/Non* sur chaque dépassement peut rapidement conduire à des scores faibles. En effet il est possible d'obtenir une réponse fautive alors que le résultat calculé est très proche du seuil.

La méthode de correction procure les meilleurs résultats sur les nombres de dépassements mais produit de temps en temps des dépassements qui n'étaient pas avérés par la méthode TEOM/FDMS. Après analyse, il s'avère que les dépassements manqués ont lieu en période hivernale, le modèle a encore parfois tendance à sous-estimer la présence de nitrate d'ammonium. Les raisons doivent encore être investiguées : processus chimiques, émissions....

5. COMPARAISON AVEC LA METHODE DE CORRECTION METROLOGIQUE

La correction métrologique proposée par le LCSQA est de corriger la donnée d'une station avec le delta « Mesure gravimétrique - TEOM 50°C » trouvé une (ou des) station(s) voisine(s) et de même typologie, et équipée(s) de l'instrumentation adéquate.

Il est pertinent d'appliquer et d'évaluer cette méthode par rapport aux corrections modèles et polynomiales, sur les données de la campagne Parisienne 2004 à Gennevilliers, Nogent et Cergy toujours en admettant que la mesure FDMS est équivalente à la mesure gravimétrique. Par permutation, il est donc possible de vérifier les corrections générées pour les trois stations.

Techniquement, trois cas se présentent, prenons l'exemple de la correction d'une station A par les deltas calculés en B et C :

- Si les données en B et C n'existent pas, aucune correction ne peut être effectuée. La donnée A est exclue.
- Si seulement une des données en B ou C est disponible, la correction s'effectue avec le delta disponible en B ou C.
- Si les deux deltas sont disponibles la correction s'effectue en ajoutant la moyenne des deux deltas.

En appliquant cette méthode, sur les 560 points de mesures cette méthode ne permet de corriger que 535 valeurs du TEOM (le premier cas excluant 25 données). Ainsi, le jeu de données n'est pas tout à fait comparable à celui obtenu dans le paragraphe 4.2.

Le Tableau 4 montre une nette amélioration du jeu de données en appliquant cette correction. L'ensemble des statistiques d'erreur est amélioré. On note que le biais est nul, ce qui est normal puisqu'en effectuant une permutation circulaire sur les stations la moyenne de la mesure gravimétrique ou équivalente (FDMS) est conservée. Pour rappel, les performances obtenues avec la correction « modèle » et l'une des corrections polynomiales sont rappelées.

Corrections proposées	<i>TEOM</i> ^a	<i>FDMS</i> ^b	<i>Biais</i> ^c	<i>Erreur</i> ^d	<i>RMSE</i> ^e	<i>Cor.</i> ^f
<i>TEOM (sans correction)</i>	19.3	22.9	-3.5	16.9	7.4	0.81
<i>Correction par rotations des couples</i>	22.9	22.9	0.0	14.4	4.1	0.93
<i>MOD</i>	23.4	22.8	+0.6	16.7	5.3	0.88
<i>POL2</i>	21.7	22.8	-1.1	17.3	6.5	0.81

Tableau 4 : Influence de la correction par « couples » sur les statistiques d'erreur du jeu de données par rapport aux données TEOM/FDMS

L' amélioration apportée par la correction métrologique se démontre graphiquement sur la figure 4.

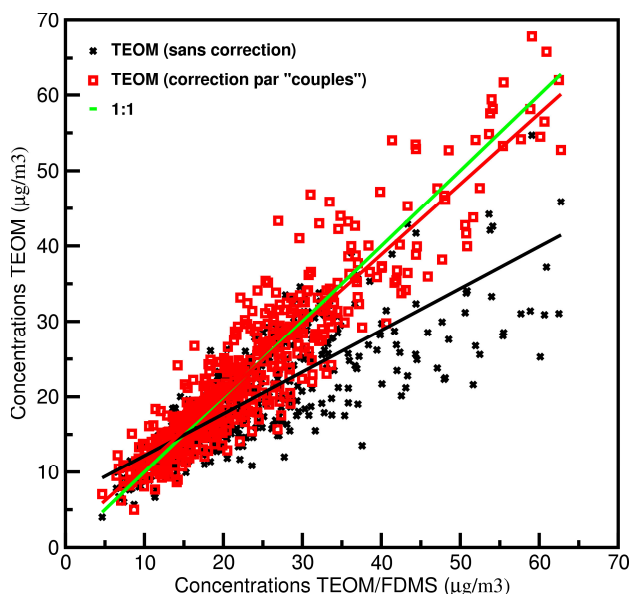


Figure 4 : Représentation graphique du jeu de données avant et après correction par la méthode des couples (pour la campagne Parisienne en 2004)

La correction par la méthode des « couples » (Tableau 5) permet de restituer 15 vrais dépassement sur 20, seuls 4 sont produit à tort par la méthode.

		Nombre de dépassements	Nombre de dépassements communs avec FDMS/TEOM
Données	TEOM/FDMS	20	--
	TEOM sans correction	1	1
Correction par couples		19	15
MOD		14	9
POL4		10	5

Tableau 5 : Influence de la correction par la méthode des couples sur le nombre de dépassements – Application aux mesures de la campagne Parisienne de 2004

Dans le cas où des données gravimétriques ou équivalentes sont disponibles dans une région donnée, cette méthode basée uniquement sur la mesure permet offre la meilleure correction possible. Elle conforte l'idée que, au moins pour les stations urbaines, la partie volatile évaporée par le TEOM correspond à une contribution régionale voire continentale.

6. APPLICATION DE LA METHODE DE CORRECTION PAR LE MODELE SUR L'ENSEMBLE DES STATIONS – COMPARAISON AVEC LES AUTRES METHODES

Toutes les méthodes ont été appliquées sur l'ensemble des stations de la métropole où les données PM10 étaient disponibles en 2004 (330 stations). On en déduit le nombre de stations en dépassement du seuil de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2004 après application de chaque méthode de correction :

TEOM sans correction	9
<i>Correction par modèle</i>	25
<i>Correction par polynôme 1,22 - Hiver</i>	26
<i>Correction par polynôme 1,22 - Année</i>	42
<i>Correction par polynôme 1,3 - Hiver</i>	35
<i>Correction par polynôme 1,3 - Année</i>	47
<i>Correction par polynôme 1,22 - Hiver et le modèle</i>	16
<i>Correction par facteur constant 1,3</i>	47

Les différentes stations en dépassements pour 2004 pour les différentes méthodes de correction utilisées sont mentionnées en annexe.

7. CONCLUSION

Le présent document constitue une première analyse des performances d'une méthode de correction des mesures automatiques de PM₁₀, basée sur le calcul des concentrations en nitrate d'ammonium effectué par le modèle de Chimie - Transport CHIMERE, utilisé dans PREV'AIR. Le modèle permet de reconstituer des champs de concentrations de PM et de leur composés, heure par heure et avec une résolution spatiale de 10km*10km à l'échelle de toute la France.

Les investigations réalisées utilisent les données disponibles à l'issue d'une campagne de mesure d'envergure réalisée en 2004 sur la région parisienne.

La méthode de correction par le modèle offre des résultats prometteurs. Cette méthode donne les meilleurs résultats lorsqu'on la compare à d'autres méthodes possibles (approche statistique basée sur la reconstitution de polynômes, facteur correctif constant). Les indicateurs de performance statistiques classiques sont nettement améliorés (biais, erreur, corrélation) et il devient possible de prédire un certain nombre de dépassements du seuil de 50 µg/m³, ignorés par les mesures automatiques non ajustées. Néanmoins les données de validation utilisées ne sont pas suffisantes en 2004 et pas nécessairement représentatives de l'ensemble du territoire pour en tirer une conclusion définitive. Il faut à l'avenir utiliser d'autres années où des données FDMS (notamment hors Ile-de-France) sont disponibles afin de poursuivre la validation de la méthode proposée.

Cette méthode offre cependant la seule alternative satisfaisante pour corriger les données du passé. Pour les données actuelles, il est aussi montré que la correction métrologique telle que préconisée par le LCSQA et la Commission de suivi particule (basée sur la mise en place de couples de stations TEOM/TEOM-FDMS ou jauges beta / jauges Beta - RST offre des résultats plus fiables et satisfaisants.

8. REFERENCES

Bessagnet B, Hodzic A, Blanchard O, et al. Origin of particulate matter pollution episodes in wintertime over the Paris Basin. *ATMOSPHERIC ENVIRONMENT* 39 (33): 6159-6174 OCT 2005

Hodzic A, Vautard R, Bessagnet B, et al. Long-term urban aerosol simulation versus routine particulate matter observations, *ATMOSPHERIC ENVIRONMENT* 39 (32): 5851-5864 OCT 2005

9. LISTE DES ANNEXES

Repère	Désignation	Nombre de pages
Annexe 1	Noms et typologie des stations en dépassements en 2004 pour chaque méthode.	8

ANNEXE 1: NOMS ET TYPOLOGIE DES STATIONS EN DÉPASSEMENTS EN 2004 POUR CHAQUE METHODE.

Stations en dépassements pour les données TEOM sans corrections

<i>Code</i>	<i>Dépassements</i>	<i>Stations</i>	<i>Type</i>
01005	52	HAYANGE	industrielle
01009	53	GANDRANGE	industrielle
03002	40	TIMONE	trafic
03068	69	TOULON_FOCH	trafic
04012	46	Place_Victor_Basch	trafic
04053	71	Boulevard_périphérique_Auteuil	trafic
20013	67	LA_MULATIERE	trafic
24021	40	Peillon	industrielle
31017	43	ANGLET	trafic

Stations en dépassements pour les données TEOM corrigées par le modèle

<i>Code</i>	<i>Dépassements</i>	<i>Stations</i>	<i>Type</i>
01005	78	HAYANGE	industrielle
01009	78	GANDRANGE	industrielle
03002	48	TIMONE	trafic
03014	41	SAINT_LOUIS	urbaine
03062	38	TOULON_CHALUCET	urbaine
03065	43	LA_SEYNE-SUR-MER	urbaine
03068	78	TOULON_FOCH	trafic
04012	114	Place_Victor_Basch	trafic
04053	133	Boulevard_périphérique_Auteuil	trafic
05077	44	LeHavre_Republique	trafic
06006	46	Lycee_a_Valenciennes	trafic
10005	44	FORT-MARDYCK	industrielle
10011	38	GRANDE_SYNTHE	urbaine
10012	48	MARDYCK	industrielle
10014	45	GRAVELINES_GS	périurbaine
11016	37	CTM	urbaine
15039	51	Le_Rondeau	trafic
19014	46	Brest_3_CDM	trafic
20013	96	LA_MULATIERE	trafic
20016	36	ETATS_UNIS	trafic
22001	39	Bâtiment_ELF-ATO	industrielle

24021	51	Peillon	industrielle
24023	39	Contes2	industrielle
30030	43	Neuves-Maisons	industrielle
31017	60	ANGLET	trafic

Stations en dépassements pour les données TEOM corrigées par le polynôme 1,22 – Hiver (POL1)

<i>Code</i>	<i>Dépassements</i>	<i>Stations</i>	<i>Type</i>
01005	64	HAYANGE	industrielle
01009	67	GANDRANGE	industrielle
02008	40	Port_de_Bouc_Leque	urbaine
02029	38	Chateauneuf_La_Mede	industrielle
03002	61	TIMONE	trafic
03014	51	SAINT_LOUIS	urbaine
03029	49	AIX_ECOLE_D'ART	urbaine
03036	39	AIX_JAS_DE_BOUFFAN	urbaine
03043	36	CINQ_AVENUES	urbaine
03047	37	MARSEILLE_THIERS_NOA	urbaine
03062	53	TOULON_CHALUCET	urbaine
03065	53	LA_SEYNE-SUR-MER	urbaine
03068	97	TOULON_FOCH	trafic
04012	99	Place_Victor_Basch	trafic
04053	118	Boulevard_périphérique_Auteuil	trafic
10005	37	FORT-MARDYCK	industrielle
15014	40	Vizille	industrielle
15039	72	Le_Rondeau	trafic
15639	41	Foch_chaussée	trafic
19014	58	Brest_3_CDM	trafic
20013	98	LA_MULATIERE	trafic
20016	41	ETATS_UNIS	trafic
24021	71	Peillon	industrielle
24023	69	Contes2	industrielle
31017	81	ANGLET	trafic
31018	36	BIARRITZ	urbaine

Stations en dépassements pour les données TEOM corrigées par le polynôme 1,22 – Année (POL2)

<i>Code</i>	<i>Dépassements</i>	<i>Stations</i>	<i>Type</i>
01005	91	HAYANGE	industrielle
01009	92	GANDRANGE	industrielle
02005	40	Martigues_l'Ile	urbaine
02008	65	Port_de_Bouc_Leque	urbaine
02013	37	Fos_Les_Carabins	urbaine
02020	40	Rognac_les_Brets	industrielle
02022	42	Arles	urbaine
02029	68	Chateauneuf_La_Mede	industrielle
03002	85	TIMONE	trafic
03014	73	SAINT_LOUIS	urbaine
03021	41	AIX_CENTRE	trafic
03029	66	AIX_ECOLE_D'ART	urbaine
03036	58	AIX_JAS_DE_BOUFFAN	urbaine
03043	46	CINQ_AVENUES	urbaine
03047	50	MARSEILLE_THIERS_NOA	urbaine
03062	66	TOULON_CHALUCET	urbaine
03065	74	LA_SEYNE-SUR-MER	urbaine
03068	130	TOULON_FOCH	trafic
03080	47	AVIGNON_MAIRIE	urbaine
03084	44	LE_PONTET	urbaine
04012	138	Place_Victor_Basch	trafic
04053	167	Boulevard_périphérique_Auteuil	trafic
05077	38	LeHavre_Republique	trafic
08616	41	Planas	trafic
10005	52	FORT-MARDYCK	industrielle
10012	46	MARDYCK	industrielle
10014	46	GRAVELINES_GS	périurbaine
15014	41	Vizille	industrielle
15038	37	St_Martin_d'Heres	urbaine
15039	80	Le_Rondeau	trafic
15639	44	Foch_chaussée	trafic
19014	64	Brest_3_CDM	trafic
20002	39	BERTHELOT	trafic
20013	133	LA_MULATIERE	trafic
20016	48	ETATS_UNIS	trafic

20019	47	GRAND_CLEMENT	trafic
22001	41	Bâtiment_ELF-ATO	industrielle
24021	91	Peillon	industrielle
24023	78	Contes2	industrielle
30030	44	Neuves-Maisons	industrielle
31017	105	ANGLET	trafic
31018	42	BIARRITZ	urbaine

Stations en dépassements pour les données TEOM corrigées par le polynôme 1,3 – Hiver (POL3)

<i>Code</i>	<i>Dépassements</i>	<i>Stations</i>	<i>Type</i>
01005	67	HAYANGE	industrielle
01009	73	GANDRANGE	industrielle
02008	44	Port_de_Bouc_Leque	urbaine
02022	37	Arles	urbaine
02029	39	Chateauneuf_La_Mede	industrielle
03002	66	TIMONE	trafic
03014	54	SAINT_LOUIS	urbaine
03029	53	AIX_ECOLE_D'ART	urbaine
03036	40	AIX_JAS_DE_BOUFFAN	urbaine
03043	41	CINQ_AVENUES	urbaine
03047	41	MARSEILLE_THIERS_NOA	urbaine
03062	61	TOULON_CHALUCET	urbaine
03065	57	LA_SEYNE-SUR-MER	urbaine
03068	99	TOULON_FOCH	trafic
04012	116	Place_Victor_Basch	trafic
04053	126	Boulevard_périphérique_Auteuil	trafic
10005	44	FORT-MARDYCK	industrielle
10012	38	MARDYCK	industrielle
10014	36	GRAVELINES_GS	périurbaine
15014	44	Vizille	industrielle
15038	41	St_Martin_d'Heres	urbaine
15039	76	Le_Rondeau	trafic
15639	45	Foch_chaussée	trafic
19014	63	Brest_3_CDM	trafic
20002	37	BERTHELOT	trafic
20013	104	LA_MULATIERE	trafic
20016	43	ETATS_UNIS	trafic
20019	37	GRAND_CLEMENT	trafic
22001	36	Bâtiment_ELF-ATO	industrielle

24021	80	Peillon	industrielle
24023	80	Contes2	industrielle
30030	39	Neuves-Maisons	industrielle
31003	36	BORDEAUX-BASTIDE	trafic
31017	89	ANGLET	trafic
31018	45	BIARRITZ	urbaine

Stations en dépassements pour les données TEOM corrigées par le polynôme 1,3 – Année (POL4)

<i>Code</i>	<i>Dépassements</i>	<i>Stations</i>	<i>Type</i>
01005	102	HAYANGE	industrielle
01009	102	GANDRANGE	industrielle
02005	52	Martigues_l'Ile	urbaine
02008	77	Port_de_Bouc_Leque	urbaine
02013	41	Fos_Les_Carabins	urbaine
02020	46	Rognac_les_Brets	industrielle
02022	48	Arles	urbaine
02029	77	Chateauneuf_La_Mede	industrielle
02035	40	Carry_le_Rouet	industrielle
03002	101	TIMONE	trafic
03014	79	SAINT_LOUIS	urbaine
03021	50	AIX_CENTRE	trafic
03029	73	AIX_ECOLE_D'ART	urbaine
03036	61	AIX_JAS_DE_BOUFFAN	urbaine
03043	54	CINQ_AVENUES	urbaine
03047	57	MARSEILLE_THIERS_NOA	urbaine
03062	85	TOULON_CHALUCET	urbaine
03065	84	LA_SEYNE-SUR-MER	urbaine
03068	143	TOULON_FOCH	trafic
03080	53	AVIGNON_MAIRIE	urbaine
03084	51	LE_PONTET	urbaine
04012	168	Place_Victor_Basch	trafic
04053	180	Boulevard_périphérique_Auteuil	trafic
05077	48	LeHavre_Republique	trafic
06006	40	Lycee_a_Valenciennes	trafic
07007	37	Gaillard	trafic
08616	51	Planas	trafic
10005	62	FORT-MARDYCK	industrielle
10012	53	MARDYCK	industrielle
10014	52	GRAVELINES_GS	périurbaine

15014	47	Vizille	industrielle
15038	47	St_Martin_d'Heres	urbaine
15039	90	Le_Rondeau	trafic
15639	51	Foch_chaussee	trafic
16038	37	STG_Est	urbaine
19014	70	Brest_3_CDM	trafic
20002	49	BERTHELOT	trafic
20013	147	LA_MULATIERE	trafic
20016	52	ETATS_UNIS	trafic
20019	53	GRAND_CLEMENT	trafic
22001	50	Bâtiment_ETF-ATO	industrielle
24021	111	Peillon	industrielle
24023	94	Contes2	industrielle
30030	56	Neuves-Maisons	industrielle
31003	39	BORDEAUX-BASTIDE	trafic
31017	123	ANGLET	trafic
31018	58	BIARRITZ	urbaine

Stations en dépassements pour les données TEOM corrigées par le polynôme 1,22 – Hiver et le modèle (M&P)

<i>Code</i>	<i>Dépassements</i>	<i>Stations</i>	<i>Type</i>
01005	77	HAYANGE	industrielle
01009	75	GANDRANGE	industrielle
03002	49	TIMONE	trafic
03014	36	SAINT_LOUIS	urbaine
03065	39	LA_SEYNE-SUR-MER	urbaine
03068	74	TOULON_FOCH	trafic
04012	99	Place_Victor_Basch	trafic
04053	125	Boulevard_périphérique_Auteuil	trafic
10005	39	FORT-MARDYCK	industrielle
10012	42	MARDYCK	industrielle
10014	42	GRAVELINES_GS	périurbaine
15039	44	Le_Rondeau	trafic
19014	42	Brest_3_CDM	trafic
20013	94	LA_MULATIERE	trafic
24021	44	Peillon	industrielle
31017	59	ANGLET	trafic

Stations en dépassements pour les données TEOM corrigées par le facteur constant 1.3 (FCST)

<i>Code</i>	<i>Dépassements</i>	<i>Stations</i>	<i>Type</i>
01005	102	HAYANGE	industrielle
01009	102	GANDRANGE	industrielle
02005	52	Martigues_l'Ille	urbaine
02008	77	Port_de_Bouc_Leque	urbaine
02013	41	Fos_Les_Carabins	urbaine
02020	46	Rognac_les_Brets	industrielle
02022	48	Arles	urbaine
02029	77	Chateauneuf_La_Mede	industrielle
02035	40	Carry_le_Rouet	industrielle
03002	101	TIMONE	trafic
03014	79	SAINT_LOUIS	urbaine
03021	50	AIX_CENTRE	trafic
03029	73	AIX_ECOLE_D'ART	urbaine
03036	61	AIX_JAS_DE_BOUFFAN	urbaine
03043	54	CINQ_AVENUES	urbaine
03047	57	MARSEILLE_THIERS_NOA	urbaine
03062	85	TOULON_CHALUCET	urbaine
03065	84	LA_SEYNE-SUR-MER	urbaine
03068	143	TOULON_FOCH	trafic
03080	53	AVIGNON_MAIRIE	urbaine
03084	51	LE_PONTET	urbaine
04012	168	Place_Victor_Basch	trafic
04053	180	Boulevard_périphérique_Auteuil	trafic
05077	48	LeHavre_Republique	trafic
06006	40	Lycee_a_Valenciennes	trafic
07007	37	Gaillard	trafic
08616	51	Planas	trafic
10005	62	FORT-MARDYCK	industrielle
10012	53	MARDYCK	industrielle
10014	52	GRAVELINES_GS	périurbaine
15014	47	Vizille	industrielle
15038	47	St_Martin_d'Heres	urbaine
15039	90	Le_Rondeau	trafic
15639	51	Foch_chaussee	trafic
16038	37	STG_Est	urbaine

19014	70	Brest_3_CDM	trafic
20002	49	BERTHELOT	trafic
20013	147	LA_MULATIERE	trafic
20016	52	ETATS_UNIS	trafic
20019	53	GRAND_CLEMENT	trafic
22001	50	Bâtiment_ELF-ATO	industrielle
24021	111	Peillon	industrielle
24023	94	Contes2	industrielle
30030	56	Neuves-Maisons	industrielle
31003	39	BORDEAUX-BASTIDE	trafic
31017	123	ANGLET	trafic
31018	58	BIARRITZ	urbaine