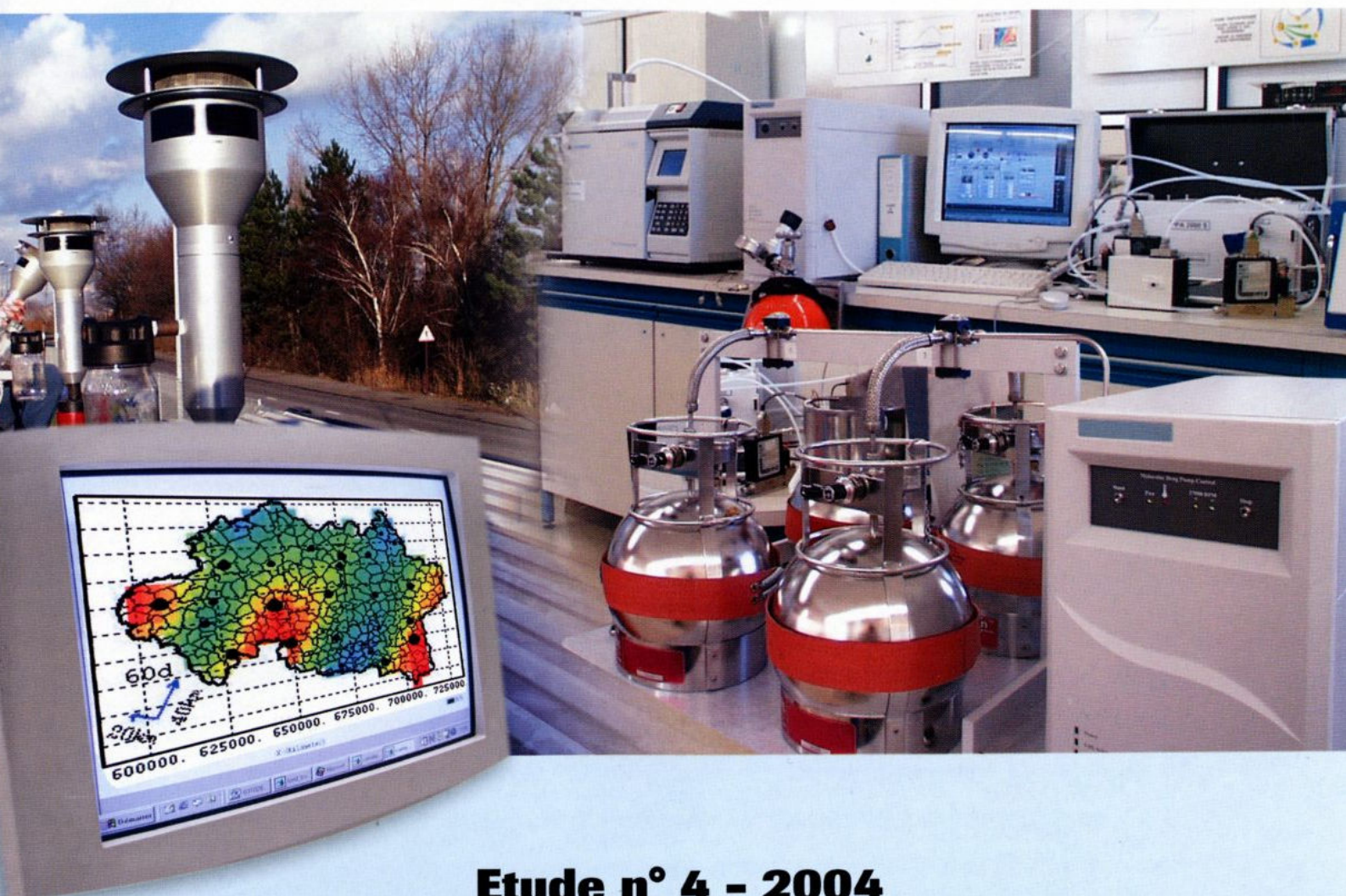




Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air



Etude n° 4 - 2004 **Programme pilote national** **de surveillance des particules**

Décembre 2004 - version définitive
Convention : CV 04 000 088

Jean-Luc HOUDRET



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 en liaison avec les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA), le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable et l'ADEME. Ces travaux 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'apporter l'appui scientifique et technique indispensable aux AASQA et d'assurer la liaison entre la recherche en matière de pollution atmosphérique et son application sur le terrain.

L'objectif principal du LCSQA est de participer à l'amélioration de la qualité des mesures effectuées en France, depuis le prélèvement des échantillons jusqu'au traitement des données issues des mesures. Cette action est menée dans le cadre notamment des Directives européennes mais aussi dans un cadre prospectif pour fournir aux AASQA de nouveaux outils permettant d'anticiper sur les évolutions futures.

ECOLE DES MINES DE DOUAI

DEPARTEMENT CHIMIE ET ENVIRONNEMENT

Etude n°4

**PROGRAMME PILOTE NATIONAL DE
SURVEILLANCE
DES PARTICULES**

Jean-Luc HOUDRET
Décembre 2004

SOMMAIRE

| | |
|--|-----------|
| RESUME DE L'ETUDE N°4 DU RAPPORT D'ACTIVITES 2004 DE L'EMD | 4 |
| PARTIE 1 - INCIDENCE DES SCENARIOS DE CORRECTIONS | 6 |
| 1. INTRODUCTION | 6 |
| 2. RAPPEL DES CAMPAGNES DE MESURE | 6 |
| 2.1 LES PARTICIPANTS | 6 |
| 2.2 LES RESULTATS GLOBAUX DES CAMPAGNES | 7 |
| 2.3 LES DEPASSEMENTS DE LA VALEUR LIMITE 50 $\mu\text{G.M}^{-3}$ | 7 |
| 2.4 PREMIERES CONCLUSIONS..... | 7 |
| 2.5 EQUATION DE CORRECTION DES DONNEES TEOM-PM10 | 8 |
| 3. APPLICATION DE SCENARIOS DE CORRECTION AUX DONNEES 2002 ET 2003 | 10 |
| 3.1 ANNEES PRISES SEPAREMENT | 10 |
| 3.2 COMPARAISONS ENTRE LES DEUX ANNEES 2002 ET 2003 HOMOGENEISEES | 11 |
| 4. AU DELA DE 35 DEPASSEMENTS DE LA VL50 | 18 |
| PARTIE 2 - CAMPAGNES DE MESURES COMPARATIVES DE JAUGES BETA ET DE PARTISOL | 22 |
| 1. INTRODUCTION | 22 |
| 2. RESULTATS DES COMPARAISONS A METZ | 23 |
| 3. RESULTATS DES COMPARAISONS A SAINT-ETIENNE | 24 |
| 4. RESULTATS DES COMPARAISONS A TOURS | 25 |
| 5. RESULTATS DES COMPARAISONS A BORDEAUX-MERIGNAC | 26 |
| PARTIE 3 - CAMPAGNES DE MESURES COMPARATIVES TEOM / FDMS / PARTISOL (LE HAVRE 2003 / 2004)..... | 27 |
| 1. INTRODUCTION | 27 |
| 2. COMPARAISONS CHRONOLOGIQUES | 27 |
| 3. COMPARAISONS DES 3 METHODOLOGIES | 28 |
| PARTIE 4 - ETUDE DU DEGRE D' HOMOGENEITE SPATIALE DES CONCENTRATIONS EN PM10..... | 30 |
| 1. INTRODUCTION | 30 |
| 2. PRINCIPE..... | 30 |
| 3. REPRESENTATION CARTOGRAPHIQUE DES INDICES D'HOMOGENEITE | 32 |
| 3.1 CARTE DES CORRELATIONS | 33 |
| 3.2 CARTE DES REGRESSIONS LINEAIRES | 34 |
| 3.3 CARTE DES REPRODUCTIBILITES | 35 |
| CONCLUSION..... | 36 |

RESUME DE L'ETUDE N°4 DU RAPPORT D'ACTIVITES 2004 DE L'EMD

Etude suivie par : Jean-Luc HOUDRET
Tél : 03 27 71 26 13

PROGRAMME PILOTE NATIONAL DE SURVEILLANCE DES PARTICULES

La directive européenne 1999/30/CE préconise d'effectuer des mesures des particules en suspension PM10 et PM2.5 à l'aide d'une méthode de référence gravimétrique. Si d'autres méthodes sont utilisées, il convient de vérifier leur équivalence à la référence et de déterminer un facteur (ou relation) entre les deux méthodes.

Des campagnes de mesure gravimétrique des PM10, une en été 2001, une en hiver 2001 / 2002, ainsi que des campagnes complémentaires en 2003 ont été réalisées dans 10 villes françaises pour permettre de comparer les mesures automatiques des PM10 réalisées à l'aide des appareils TEOM avec les appareils Partisol admis comme référence gravimétrique.

D'autres campagnes : à Douai (EMD), à Marseille (Airmaraix), puis chez Airparif et Air-Normand (Quillebeuf), ces deux dernières menées par l'INERIS, ont été réalisées indépendamment du programme pilote; une partie des résultats correspondants sont repris dans ce rapport

La partie 1 de cette étude rappelle les principaux enseignements des diverses campagnes de mesures comparatives entre les TEOM et le Partisol pris comme référence gravimétrique, et a cherché à montrer les incidences de plusieurs scénarios de correction des données sur les moyennes annuelles et les nombres de dépassement de la valeur limite. Les résultats suivants ont été obtenus :

On a constaté sur 1552 paires de données (nb de jours x nb de stations) que :

- dans 68 % des cas, les écarts (Partisol - Teom) en PM10 sont compris entre -5 et $+5 \mu\text{g.m}^{-3}$; les pointes hivernales ne font pas partie de ce groupe; seules quelques pointes estivales de la moitié sud de la France y sont incluses; sauf pour ces dernières, les valeurs constituant ces 68 % sont toutes inférieures à $25 \mu\text{g.m}^{-3}$;
- seulement 32% des écarts absolus (Partisol-Teom) sont $> 5 \mu\text{g.m}^{-3}$ et nécessiteraient d'être corrigés;
- les dépassements de la valeur limite journalière ne couvrent que 7% du temps, et sont en grande majorité inclus dans les 32% définis ci-dessus;
- la panoplie des facteurs de correction possibles s'étend de 1 à 2 selon le mode de calcul, la saison et le site.

Ces résultats ont montré que l'application d'un facteur correctif différent de 1 des données issues des TEOM et des jauges Bêta, ne pouvait être scientifiquement défendue. En conséquence, la France a décidé de s'en tenir au facteur 1.

Néanmoins, il est apparu intéressant de rechercher l'incidence de divers scénarios de correction des données des années 2002 et 2003, sur les nombres de dépassements de la valeur limite moyenne journalière de $50 \mu\text{g.m}^{-3}$ (VL50), et sur les valeurs moyennes journalières des mesures. Les nombres de dépassements non corrigés ne représentent que **2,4 et 3,5 %** des données des deux années. Les corrections des données entraînent selon le mode choisi, des nombres de dépassements de la VL50 de l'ordre de **1,9 à 2,5 fois** plus élevés que ceux observés sans correction. Les corrections des données entraînent selon les modes des augmentations des moyennes de l'ordre de **15 à 17 %** .

En 2003, les nombres de dépassements ont augmenté de 42 à 50% par rapport à 2002 selon le mode de correction utilisé ; ils ne représentent que 2,4 et 3,6 % des jours des années respectives s'ils ne sont pas corrigés, et jusqu'à 8,6 % des jours de l'année avec la correction polynomiale commune.

Selon le mode de correction utilisé, les moyennes ont augmenté de 9,3 à 10,5% en 2003 par rapport à 2002.

Par rapport à 2002, l'année 2003 a vu une augmentation de 44 % des dépassements de la VL50, mais plus en été (+66%) qu'en hiver (+36%). Les moyennes générales en 2003 ont augmenté globalement de 9,2% en 2003 par rapport à 2002, mais de manières diverses selon la typologie des stations.

Cela a montré l'intérêt de rechercher des solutions instrumentales et divers travaux sur ce type de solution ont été mis en œuvre par les études des appareils TEOM-SES, FDMS (Partie 2) et des jauges Bêta équipées du régulateur de température RST (Partie 3).

Des comparaisons des jauges Bêta PM10 - MP101M (Environnement S.A.) entre octobre 2003 et octobre 2004 avec les Partisol pris comme référence gravimétrique ont été réalisées. Quatre associations équipées d'un Partisol ont pu participer à ces campagnes qui se sont déroulées en 3 phases :

- avec les jauges en configuration standard en période chaude,
- avec les jauges en configuration standard, en période froide,
- avec une régulation du débit asservie aux conditions extérieures P et T .

Les résultats obtenus se sont révélés très encourageants.

Enfin, une ébauche d'étude d'homogénéité de bassins d'air a été entreprise à partir des données de presque 300 stations de mesure en 2002 et 2003, afin de délimiter les zones qui pourraient être assujetties à tel ou tel type de correction instrumentale. Les résultats prometteurs engagent à développer cette thématique.

PARTIE 1 - INCIDENCE DES SCENARIOS DE CORRECTIONS

Application aux dépassements de la valeur limite et aux moyennes annuelles en 2002 et 2003

1. INTRODUCTION

Cette étude est une application des facteurs potentiels de correction définis dans les études précédentes, aux données PM10 issues des TEOM-50 de l'ensemble du réseau national métropolitain pendant les deux années complètes 2002 et 2003. On se référera aux rapports précédents pour les détails des campagnes. On rappelle néanmoins les grandes lignes des conclusions apportées.

2. RAPPEL DES CAMPAGNES DE MESURE

2.1 Les participants

Des campagnes de mesure gravimétrique des PM10 , une en été 2001, une en hiver 2001 / 2002, ainsi que des campagnes complémentaires en 2003 ont été réalisées dans 10 villes françaises pour permettre de comparer les mesures automatiques des PM10 réalisées à l'aide des appareils TEOM avec les appareils Partisol admis comme référence gravimétrique.

D'autres campagnes : à Douai (EMD), à Marseille (Airmaraix), puis chez Airparif et Air-Normand (Quillebeuf), ces deux dernières menées par l'INERIS, ont été réalisées indépendamment du programme pilote; une partie des résultats correspondants sont repris dans ce rapport (cf tableau 1).

Tableau 1 : participants aux diverses campagnes

| Organismes participants | VILLES |
|-------------------------|----------------------------------|
| AREMALM | Lille |
| ASPA | Strasbourg Centre et Clémenceau |
| REMAPP | Rouen |
| ALPA | Le Havre |
| ORAMIP | Toulouse |
| AIRMARAIX | Marseille |
| ASCOPARG | Grenoble |
| ATMO RHONE-ALPES | Lyon |
| AIRAQ | Bordeaux |
| ATMO-AUVERGNE | Clermont-Ferrand |
| EMD | Douai |
| AIRPARIF | Paris, Vitry s/s , Gennevilliers |

2.2 Les résultats globaux des campagnes

On a constaté sur 1552 paires de données (nb de jours x nb de stations) que :

- dans 68 % des cas, les écarts (Partisol - Teom) en PM10 sont compris entre -5 et $+5 \mu\text{g.m}^{-3}$; les pointes hivernales ne font pas partie de ce groupe ; seules quelques pointes estivales de la moitié sud de la France y sont incluses ; sauf pour ces dernières, les valeurs constituant ces 68 % sont toutes inférieures à $25 \mu\text{g.m}^{-3}$;
 - ces 68% sont répartis temporellement sur 73% des jours surveillés en été et 62% des jours surveillés en hiver ;
 - ces 68% sont répartis spatialement sur 61% des jours surveillés dans la moitié sud de la France et 74% des jours surveillés dans la moitié nord ;
- Note** : la séparation entre le nord et le sud s'est faite arbitrairement à partir de la situation des villes participantes ; une ligne Nantes-Besançon schématise à peu près cette découpe.
- on a constaté sur les 32 % restant où les écarts absolus (Partisol – Teom) $> 5 \mu\text{g.m}^{-3}$, que ces mesures correspondaient à des pointes et se situaient plutôt au nord en hiver et au sud en été (cf tableau 2).

Tableau 2 : répartition des valeurs de pointe

| Situations | nb de jours où : (Partisol – Teom) $> 5 \mu\text{g/m}^3$ |
|------------|---|
| SUD-HIVER | 106 |
| SUD-ETE | 178 |
| NORD-HIVER | 158 |
| NORD-ETE | 55 |

2.3 Les dépassements de la valeur limite $50 \mu\text{g.m}^{-3}$

On a constaté sur 1552 groupes de données (nb de jours x nb de stations) que :

- le nombre de dépassements de la valeur limite de $50 \mu\text{g.m}^{-3}$ fixée par la directive observés avec les Partisols, est sur l'ensemble des campagnes de 109, soit seulement 7% des 1552 jours ;
- le nombre de dépassements de la valeur limite de $50 \mu\text{g.m}^{-3}$ fixée par la directive observés avec les TEOM (données brutes), est sur l'ensemble des campagnes seulement de 39 ;
- il apparaît donc pendant ces campagnes que les TEOM ont enregistré 2,8 fois moins de dépassements de la valeur limite que les Partisol ;
- il apparaît que les moyennes des mesures effectuées avec les TEOM sont inférieures de 14% à celles effectuées par les Partisol.

2.4 Premières conclusions

Il est apparu que les écarts entre les valeurs obtenues par les TEOM et les Partisol ne pouvaient aisément être corrigés ; un certain nombre de scénarios ont été avancés mais seulement 4 ont été retenus comme possibilités éventuelles :

- soit un facteur de correction constant « **1,15** » commun à tous les résultats, (à mi-chemin entre 1 et 1,3),
- soit un facteur de correction constant « **1,22** » commun à tous les résultats, provenant de la régression orthogonale appliquée aux 1552 paires de données,
- soit une équation polynomiale du second degré (fonction croissante de la concentration) appliquée à tous les résultats,
- soit le même type d'équation polynomiale du second degré, mais spécifique à chaque ville.

2.5 Equation de correction des données TEOM-PM10

La méthode qui avait déjà été proposée consistait à rendre croissant le facteur de correction avec la concentration mesurée par le TEOM. Selon que les écarts (Partisol – TEOM) étaient $<$ ou $>$ $5 \mu\text{g.m}^{-3}$, ils donnaient lieu à deux régressions linéaires différentes. On a calculé les pentes des régressions linéaires orthogonales forcées à zéro, dans les deux cas rappelés dans le tableau 3.

Tableau 3 : régressions linéaires RLO forcées à zéro

| VILLES | PENTE inférieure si (P-T) $<$ $5 \mu\text{g.m}^{-3}$ | PENTE supérieure si (P-T) $>$ $5 \mu\text{g.m}^{-3}$ | PENTE globale toutes les données |
|------------------|---|---|-------------------------------------|
| Marseille | 1,032 | 1,323 | 1,078 |
| Rouen | 0,958 | 1,369 | 1,107 |
| Toulouse | 1,070 | 1,306 | 1,140 |
| Grenoble | 1,088 | 1,244 | 1,167 |
| Clermont-Ferrand | 1,067 | 1,380 | 1,168 |
| Strasbourg-Ce | 1,058 | 1,330 | 1,168 |
| Le Havre | 1,036 | 1,330 | 1,177 |
| Strasbourg-Clé | 1,072 | 1,327 | 1,190 |
| Lyon | 1,088 | 1,418 | 1,216 |
| Bordeaux | 1,038 | 1,417 | 1,288 |
| Paris 18 | 1,099 | 1,505 | 1,298 |
| Vitry-sur-seine | 1,015 | 1,539 | 1,311 |
| Quillebeuf | 1.184 | 1.584 | 1.543 |
| Lille | 1,057 | 1,397 | 1,333 |
| Douai | 1,105 | 1,476 | 1,356 |
| Ensemble | 1,053 | 1,384 | 1,221 |

Si on prend comme exemple les pentes calculées sur l'ensemble des résultats, on voit que le facteur de correction serait au minimum de 1,053. Il augmente progressivement avec les valeurs mesurées de telle manière qu'il atteigne la valeur du facteur global **1,221** au niveau de la concentration mesurée par le Partisol à la valeur limite correspondant au seuil réglementaire de $50 \mu\text{g.m}^{-3}$ (noté dans le texte VL50), soit mesurée par le TEOM : $50 / 1,221 = 41 \mu\text{g.m}^{-3}$; ainsi toute valeur issue

d'un TEOM supérieure à $41 \mu\text{g.m}^{-3}$ étant un dépassement potentiel de la valeur limite $VL=50 \mu\text{g.m}^{-3}$ sera corrigée au-delà de VL.
Les valeurs inférieures à $41 \mu\text{g.m}^{-3}$ seront corrigées progressivement selon leurs niveaux respectifs. Le détail de la formule de correction appliquée à cet exemple est donnée ci-dessous.

$$F = \frac{\text{Teom.Corr}}{\text{Teom}} = 1.053 + a \cdot \text{Teom}$$

$$1.221 = 1.053 + a \cdot \frac{50}{1.221} \quad \text{et} \quad a = \frac{(1.221 - 1.053)}{50/1.221}$$

$$\text{Teom.Corr.} = 1.053 \cdot \text{Teom} + \frac{(1.221 - 1.053)}{50/1.221} \cdot \text{Teom}^2$$

On effectue les corrections des données des différentes stations à l'aide de la formule ci-dessus recalculée individuellement pour chaque station à partir des pentes inférieures et globales respectives (cf colonnes 2 et 4 du tableau 3).

Le tableau 4 rappelle pour comparaison les nouveaux nombres de dépassements et les nouvelles moyennes obtenues avec les valeurs TEOM corrigées qui se rapprochent de ceux obtenus avec la référence gravimétrique.

Tableau 4 : résultats chiffrés des corrections des données TEOM

| | nb dép. VL50 PARTISOL | nb dép. VL50 TEOM | nb dép. VL50 TEOM-CORR | moyennes PARTISOL ($\mu\text{g.m}^{-3}$) | moyennes TEOM ($\mu\text{g.m}^{-3}$) | moyennes TEOM-CORR ($\mu\text{g.m}^{-3}$) |
|-------------------|-----------------------------|-------------------------|------------------------------|--|--|---|
| Bordeaux | 8 | 2 | 9 | 27,6 | 22,4 | 27,3 |
| Clermont-Ferrand | 2 | 1 | 2 | 20,7 | 18,1 | 20,2 |
| Douai | 11 | 1 | 11 | 26,6 | 20,8 | 26,5 |
| Grenoble | 3 | 1 | 5 | 29,7 | 25,1 | 28,7 |
| Le Havre | 12 | 1 | 6 | 26,0 | 23,1 | 26,1 |
| Lille | 13 | 4 | 10 | 32,7 | 25,6 | 9,2 |
| Lyon | 0 | 0 | 1 | 24,7 | 22,8 | 26,6 |
| Marseille-1999 | 19 | 19 | 33 | 30,3 | 32,2 | 34,4 |
| Marseille-2002 | 0 | 0 | 0 | 24,7 | 22,9 | 24,2 |
| Paris 18 | 5 | 1 | 2 | 27,0 | 21,7 | 26,7 |
| Quillebeuf | 8 | 0 | 6 | 36,1 | 24,1 | 35,8 |
| Rouen | 5 | 2 | 2 | 21,3 | 20,5 | 21,3 |
| Strasbourg-Centre | 7 | 2 | 5 | 25,2 | 22,4 | 25,3 |
| Strasbourg-Clém | 10 | 4 | 12 | 28,6 | 24,9 | 28,9 |
| Toulouse | 2 | 0 | 2 | 23,3 | 20,5 | 22,7 |
| Vitry s/Seine | 4 | 1 | 3 | 25,5 | 20,8 | 25,0 |
| ENSEMBLE | 109 | 39 | 109 | 26,9 | 23,0 | 25,6 |

3. APPLICATION DE SCENARIOS DE CORRECTION AUX DONNEES 2002 ET 2003

Ce chapitre est consacré à l'incidence de divers scénarios de correction possible des données des années 2002 et 2003, sur les nombres de dépassements de la valeur limite moyenne journalière de $50 \mu\text{g.m}^{-3}$ (VL50), et sur les valeurs moyennes journalières des mesures.

3.1 Années prises séparément

Les tableaux suivants indiquent les résultats principaux de l'application des diverses corrections retenues aux données des TEOM-50 et des jauges Bêta MP101M validées pour chaque année complètes 2002 et 2003 individuellement. Les listes annuelles des stations de mesures présentent donc quelques différences entre ces deux années pour causes d'arrêts, de démarrages, d'invalidations d'appareils.

Le tableau 5 se rapporte aux nombres de dépassement totaux de la VL50.

Tableau 5 : incidence sur les nombres de dépassements

| | Année 2002 | Année 2003 |
|---|---|---|
| Nombres de stations validées (taux fonct. > 75 %) (Quelques stations entre 50 et 75 % ont été admises) | 274 | 290 |
| Taux moyens de fonctionnement en % | 95,5 | 97,0 |
| Nombres de données exploitées | 95500 | 102680 |
| Nombres de dépassement de la VL50 pour les données brutes (ou facteur 1) | <u>2272</u> 2,4 % de l'année 2002 | <u>3595</u> 3,5 % de l'année 2003 |
| Nombres de dépassement de la VL50 pour les données multipliées par le facteur 1,15 | 4360 1,9 fois plus | 6734 1,9 fois plus |
| Nombres de dépassement de la VL50 pour les données multipliées par le facteur 1,22 | 5630 2,5 fois plus | 8502 2,4 fois plus |
| Nombres de dépassement de la VL50 pour les données corrigées par le polynôme commun national | 5681 2,5 fois plus | 8582 2,4 fois plus |
| Nombres de dépassement de la VL50 pour les données corrigées par les polynômes régionaux | 5346 2,3 fois plus | 7927 2,2 fois plus |

Les nombres de dépassements non corrigés ne représentent que **2,4 et 3,5 %** des données des deux années. Les corrections des données entraînent selon le mode choisi, des nombres de dépassements de la VL50 de l'ordre de **1,9 à 2,5 fois plus** élevés que ceux observés sans correction.

Le tableau 6 se rapporte aux moyennes journalières.

Tableau 6 : incidence sur les moyennes (en $\mu\text{g.m}^{-3}$)

| | Année 2002 | Année 2003 |
|--|------------------|------------------|
| Moyennes des données non corrigées | <u>21,2</u> | <u>23,2</u> |
| Moyennes des données multipliées par le facteur 1,15 | 24,4 | 26,6 |
| Moyennes des données multipliées par le facteur 1,22 | 25,9 | 28,3 |
| Moyennes des données corrigées par le polynôme commun national. | 24,7 + 16,5 % | 27,2 + 17,2 % |
| Moyennes des données corrigées par le polynôme régional. | 24,5 + 15,6 % | 27,0 + 16,4 % |

Les corrections des données entraînent selon les modes des augmentations des moyennes de l'ordre de **15 à 17 %** .

Le tableau 7 présente l'incidence de la correction par le facteur 1,22 sur le nombre de stations ayant plus de 35 dépassements par an.

Tableau 7 : plus de 35 dépassements par an

| | Année 2002 | Année 2003 |
|---|------------|--------------------------|
| Nombres de stations validées | 274 | 290 |
| Nombres de stations ayant dépassé la VL50 plus de 35 fois pour les années complètes | 39 | 78 + 100 % en 2003 |
| Nombres de stations sans dépassement de la VL50 | 10 | 7 |

Deux fois plus de stations en 2003 ont dépassé plus de 35 fois la VL50 .

3.2 Comparaisons entre les deux années 2002 et 2003 homogénéisées

Afin d'approfondir ce complément d'étude, il est apparu important de répondre à plusieurs questions sur les différences entre les deux années :

- Quels nombres de dépassements ?
- Où se situent les différences ? Stations ? Villes ? Régions ?
- Quand se situent-elles ?
- Quelle a été l'incidence de la canicule de l'été 2003 ?

Pour cela, 251 stations dont le taux de fonctionnement a été supérieur à 75 % pour chacune des deux années, ont été retenues.

3.2.1 Différences entre les nombres de dépassements

Tableau 8 : nombre de dépassements 2002 / 2003

| | Année 2002 | Année 2003 |
|---|-----------------------|---------------------------------|
| Nombres de stations validées (taux fonct. > 75 %) | 251 | |
| Taux moyens de fonctionnement | 97,2 | 97,4 |
| Nombres de données exploitées | 89420 | 89590 |
| Nombres de dépassement de la VL50 pour les données non corrigées | 2139 2,4 % en 2002 | 3212 3,6 % en 2003 + 50 % |
| Nombres de dépassement de la VL50 pour les données multipliées par le facteur 1,15 | 4104 | 6024 + 47 % |
| Nombres de dépassement de la VL50 pour les données multipliées par le facteur 1,22 | 5289 | 7596 + 44 % |
| Nombres de dépassement de la VL50 pour les données corrigées par le polynôme commun national | 5339 | 7667 + 44 % |
| Nombres de dépassement de la VL50 pour les données corrigées par les polynômes régionaux | 5001 | 7111 + 42 % |

En 2003, les nombres de dépassements ont augmenté de 42 à 50% par rapport à 2002 selon le mode de correction utilisé ; ils ne représentent que 2,4 et 3,6 % des jours des années respectives s'ils ne sont pas corrigés, et jusqu'à 8,6 % des jours de l'année avec la correction polynomiale commune (7667 en 2003).

3.2.2 Modifications des moyennes

Selon le mode de correction utilisé, les moyennes ont augmenté de 9,3 à 10,5% en 2003 par rapport à 2002 comme le montre le tableau 9..

Tableau 9 : incidence sur les moyennes 2002 / 2003 (en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)

| | Année 2002 | Année 2003 |
|--|------------|-----------------|
| Moyennes des données non corrigées | 21,4 | 23,4 (+ 9,3 %) |
| Moyennes des données multipliées par le facteur 1,15 | 24,6 | 26,9 (+ 9,3 %) |
| Moyennes des données multipliées par le facteur 1,22 | 26,1 | 28,5 (+ 9,2 %) |
| Moyennes des données corrigées par le polynôme Nat. | 24,9 | 27,5 (+ 10,4 %) |
| Moyennes des données corrigées par le polynôme Rég. | 24,7 | 27,3 (+ 10,5 %) |

Le facteur 1,22 a tendance à sur-corriger la moyenne par rapport au polynôme national.

Les relations polynomiales ont corrigé la moyenne globale par des facteurs proches de 1,15 , soit en 2002 : $(24,9 / 21,4=1,163)$, et $(24,7 / 21,4=1,154)$,
et en 2003 : $(27,5 / 23,4=1,175)$, et $(27,3 / 23,4=1,167)$.

3.2.3 Quand se situent les différences des nombres de dépassements

Le tableau 10 montre les nombres de dépassement de la VL50 pour les données corrigées par le facteur 1,22 en 2002 et en 2003 afin de déceler une éventuelle influence saisonnière.

Tableau 10 : influence saisonnière

| | Année 2002 | Année 2003 |
|-------------------------|------------|---------------|
| ANNEES COMPLETES | 5289 | 7596 (+ 44 %) |
| EN ETE | 1828 | 3029 (+66%) |
| EN HIVER * | 3461 | 4719 (+36%) |

* la période d'hiver est composée des trimestres 1 et 4 de l'année considérée.

Par rapport à 2002, l'année 2003 a vu une augmentation de 44 % des dépassements de la VL50, mais plus en été (+66%) qu'en hiver (+36%).

Le graphique 1 et le tableau 11 ci-dessous montrent la chronologie des sommes quotidiennes des dépassements, puis les bilans mensuels des nombres de dépassements de la VL50 pour les deux années (toutes stations confondues).

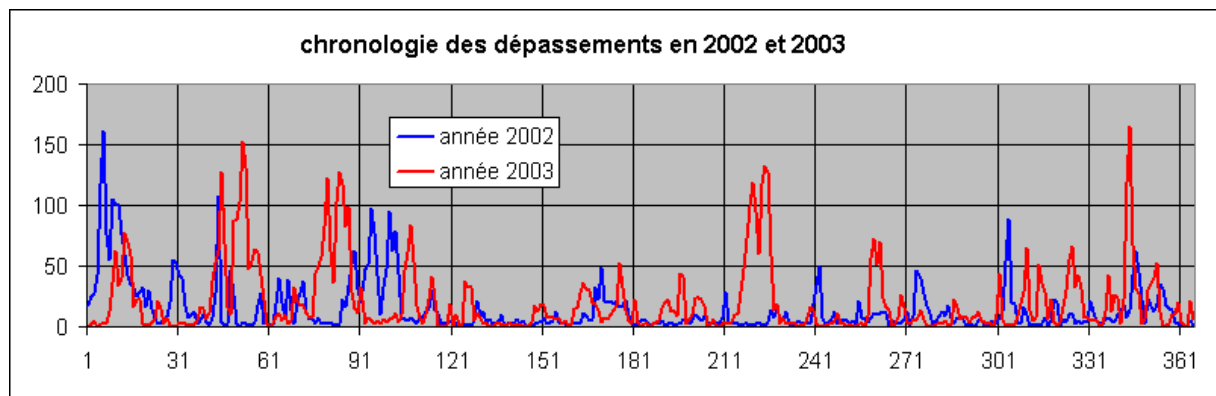


Figure 1 : chronologies 2002 / 2003 des nombres de dépassements par jour

Tableau 11 : bilans mensuels des dépassements de la VL50 sur 2 années

| | 2002 | 2003 | 2002 | 2003 |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| janvier | 1389 | 501 | 26% | 7% |
| février | 392 | 1292 | 7% | 17% |
| mars | 505 | 1201 | 10% | 16% |
| avril | 847 | 496 | 16% | 7% |
| mai | 129 | 230 | 2% | 3% |
| juin | 349 | 443 | 7% | 6% |
| juillet | 147 | 317 | <u>3%</u> | <u>4%</u> |
| août | 225 | 1080 | 4% | 14% |
| septembre | 202 | 409 | 4% | 5% |
| octobre | 418 | 211 | 8% | 3% |
| novembre | 224 | 608 | 4% | 8% |
| décembre | 462 | 808 | 9% | 11% |
| ANNEE | 5289 | 7596 | 100% | 100% |

On note que pendant le mois d'août 2003, il y a eu presque 4 fois plus de dépassements qu'en 2002, représentant 4% et 14% des totaux annuels respectifs. En rappelant que l'année 2003 dans son ensemble a eu 43% de dépassements de plus qu'en 2002, les pointes de température de juillet 2003 n'ont pas eu d'effet marquant en relatif (3 et 4% d'une année à l'autre).

3.2.4 Dans quels type de stations se situent ces différences

Le tableau 12 ci-après indique les nombres de dépassements selon les typologies des stations et la découpe Hiver / Eté, pour des données corrigées par le **facteur 1,22**.

L'année 2003 a vu un accroissement très net des nombres de dépassements, mais à peine plus en été qu'en hiver (3522 de juin à août et 3163 de janvier à avril 2003).

On peut noter que les augmentations des dépassements n'ont été plus importantes en été que dans les stations urbaines, alors que les augmentations pour les autres types de stations ont eu lieu en hiver.

Les nombres de stations en dépassement ont été à peu près les mêmes en 2002 et 2003.

Tableau 12 : différences entre les nombres de dépassements de la VL50

| | Nb de dépassements en 2002 en 2003 | | Ecart 2002 / 2003 | Nb de stations en dépassement en 2002 en 2003 | | Type de station | Nb de stations par type |
|--------------|------------------------------------|------|-------------------|---|------|-----------------|-------------------------|
| | 2002 | 2003 | | 2002 | 2003 | | |
| HIVER | 1554 | 2006 | 452 | 125 | 128 | U | 131 |
| | 965 | 1309 | 344 | 40 | 39 | T | 40 |
| | 628 | 905 | 277 | 35 | 36 | I | 36 |
| | 307 | 484 | 177 | 37 | 38 | PU | 40 |
| | 7 | 15 | 8 | 3 | 4 | R | 4 |
| ETE | 656 | 1194 | 538 | 103 | 112 | U | 131 |
| | 471 | 775 | 304 | 37 | 34 | T | 40 |
| | 520 | 683 | 163 | 29 | 33 | I | 36 |
| | 160 | 207 | 47 | 30 | 31 | PU | 40 |
| | 21 | 18 | -3 | 4 | 4 | R | 4 |

Les moyennes générales en 2003 ont augmenté globalement de 9,2% en 2003 par rapport à 2002 (voir 3.2.3) mais de manières diverses selon la typologie des stations comme le montre le tableau 13 ci-dessous:

- Par saison : nettement plus en été qu'en hiver pour les stations urbaines, de proximité automobile et rurales, presque identiques pour les stations industrielles, mais plus faibles pour les stations périurbaines.
- Par typologie : nettement plus pour les stations industrielles.

Tableau 13 : différences entre les moyennes

| | Moyennes en $\mu\text{g.m}^{-3}$ en 2002 en 2003 | | écart en % | Type des stations | Nb de stations par type |
|--------------|---|------|---------------|----------------------|-------------------------------|
| | | | | | |
| HIVER | 29,8 | 32,2 | 8,0 | U | 131 |
| | 27,3 | 29,4 | 7,7 | T | 40 |
| | 21,8 | 25,6 | 17,6 | I | 36 |
| | 27,6 | 31,2 | 13,1 | PU | 40 |
| | 26,2 | 27,9 | 6,7 | R | 4 |
| ETE | 27,9 | 21,0 | 14,8 | U | 131 |
| | 26,4 | 30,2 | 14,3 | T | 40 |
| | 21,4 | 25,3 | 18,2 | I | 36 |
| | 25,9 | 28,6 | 10,2 | PU | 40 |
| | 23,9 | 25,9 | 8,5 | R | 4 |

3.2.5 Dans quels réseaux se situent ces différences

Le tableau 14 indique par ordre décroissant et par association, les écarts entre les nombres de dépassement de la VL50 (24h) ramenés à la station unitaire, ainsi que les écarts en % entre les moyennes, enregistrés en 2003 par rapport à 2002 pour des données corrigées par 1,22.

Note 1 : les nombres de stations par réseau étant très variés, afin de pouvoir comparer, les différences entre les nombres de dépassements ont été ramenés à la station unitaire.

Note 2 : les stations de Airparif ont été réparties en 3 types, T, U et R.

Tableau 14 : différences par réseaux

| RESEAUX et/ou parties de réseaux | différences entre nombres de dépassement 2003 et 2002 ramenés à une station | RESEAUX et/ou parties de réseaux | écarts en % entre moyennes 2003 / 2002 |
|--|---|--|--|
| Airparif Trafic intense | 53 | aerfom-sud | 20,6 |
| qualitair-Indus. | 47 | aerfom-metz | 17,3 |
| aremaLM | 25 | asqab | 17,1 |
| airmaraix | 23 | aremasse | 16,9 |
| alpa | 22 | Airparif Trafic intense | 16,3 |
| ascoparg | 19 | opalair | 15,7 |
| aremasse | 19 | aremaLM | 15,1 |
| opalair | 18 | alpa | 13,1 |
| aremartois | 18 | ascoparg | 13,0 |
| aerfom-sud | 17 | atmp-PIC | 12,8 |
| airaq-S | 17 | aerfom-fench | 12,1 |
| airfobep | 15 | airlor | 11,7 |
| air COM | 14 | airmaraix | 11,7 |
| coparly | 11 | qualitair-Ind | 11,6 |
| airaq-N | 11 | aremartois | 11,2 |
| atmp-PIC | 11 | air-LR | 10,7 |
| atmo-CA | 10 | atmo-PC | 10,6 |
| air-LR | 9 | ligair | 10,6 |
| aerfom-fench | 8 | air COM | 10,1 |
| airlor | 7 | atmosfair-BCN | 9,5 |
| air-BZH | 6 | airaq-S | 9,1 |
| ligair | 5 | limair | 9,1 |
| atmo-PC | 5 | atmo-CA | 8,8 |
| air APS | 5 | ampasel | 8,5 |
| remappa | 4 | airfobep | 8,3 |
| asqab | 4 | aspa | 8,2 |
| air-PL | 4 | air APS | 7,4 |
| oramip | 3 | airparif-R | 7,1 |
| airparif-U | 3 | asquadra | 6,7 |
| aspa | 3 | air-PL | 6,7 |
| asquadra | 2 | supaire | 6,7 |
| airparif-R | 2 | oramip | 6,7 |
| arpam | 2 | airaq-N | 6,6 |
| atmosfair-BCN | 1 | arpam | 6,6 |
| limair | 1 | airparif-U | 4,9 |
| atmosfair-BS | 1 | remappa | 4,6 |
| supaire | -1 | coparly | 3,9 |
| aerfom-metz | -2 | air-BZH | 2,0 |
| ampasel | -2 | atmo-auv | 1,7 |
| atmo-auv | -3 | atmosfair-BS | -3,2 |
| espol | -13 | Espol | -5,9 |

3.2.6 Dans quelles régions se situent ces différences

Le tableau 15 indique par ordre décroissant par région, les écarts entre les nombres de dépassement de la VL50 (24h) ramenés à la station unitaire, ainsi que les écarts en % entre les moyennes, enregistrés en 2003 par rapport à 2002 pour des données corrigées par 1,22.

PACA et NPdC arrivent en tête pour les nombres de dépassement, et NPdC et Picardie pour les écarts de moyenne.

Note : les nombres de station par région étant très variés, afin de pouvoir comparer, les différences entre les nombres de dépassements ont été ramenés à la station unitaire.

Tableau 15 : différences par région

| REGIONS | différences entre nombres de dépassement 2003 / 2002 ramenés à une station | REGIONS | écarts en % entre moyennes 2003 / 2002 |
|----------------------|--|----------------------|--|
| PACA | 20 | NPdC | 14,8 |
| NPdC | 19 | PICARDIE | 12,8 |
| AQUITAINE | 14 | FRANCHE-COMTE | 11,3 |
| Basse-NORMANDIE | 14 | LANGUEDOC-ROUSSILLON | 10,7 |
| Haute-NORMANDIE | 13 | POITOU-CHARENTES | 10,6 |
| PICARDIE | 11 | CENTRE | 10,6 |
| CHAMPAGNE-ARDENNE | 10 | Basse-NORMANDIE | 10,1 |
| LANGUEDOC-ROUSSILLON | 9 | PACA | 10,0 |
| BRETAGNE | 7 | LORRAINE | 9,8 |
| RHONE-ALPES | 6 | LIMOUSIN | 9,1 |
| CENTRE | 5 | Haute-NORMANDIE | 9,0 |
| POITOU-CHARENTES | 5 | CHAMPAGNE-ARDENNE | 8,8 |
| PAYS-DE-LOIRE | 4 | ALSACE | 8,2 |
| LORRAINE | 4 | AQUITAINE | 7,9 |
| MIDI-PYRENEES | 3 | RHONE-ALPES | 7,7 |
| FRANCHE-COMTE | 3 | PAYS-DE-LOIRE | 6,7 |
| ALSACE | 3 | MIDI-PYRENEES | 6,7 |
| ILE-DE-France | 3 | ILE-DE-France | 5,9 |
| BOURGOGNE | 1 | BOURGOGNE | 3,1 |
| LIMOUSIN | 1 | BRETAGNE | 2,0 |
| AUVERGNE | -3 | AUVERGNE | 1,7 |

4. AU DELA DE 35 DEPASSEMENTS DE LA VL50

Les tableaux suivants indiquent sur le plan national métropolitain, dans chaque région puis dans les zones réglementaires, les nombres et types de stations qui ont enregistré plus que les 35 dépassements autorisés de la valeur limite VL50.

Ces résultats sont présentés pour les facteurs de correction 1 , 1,15 et 1,22 , pour les 251 stations validées pour les deux années 2002 et 2003.

On a vu dans le tableau 12 que les nombres totaux de dépassements ont beaucoup augmenté en 2003 par rapport à 2002 mais que les nombres de stations ayant eu au moins un dépassement, sont restés pratiquement inchangés; par contre, on voit ici que les stations ayant plus de 35 dépassements annuels ont doublé en 2003 pour les stations urbaines, de proximité trafic et industrielle.

Tableau 16 : plus de 35 dépassements – bilan national métropolitain

| | 2002 | | | 2003 | | |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 1 | 1,15 | 1,22 | 1 | 1,15 | 1,22 |
| 251 stations opérationnelles en 2002 et 2003 | | | | | | |
| U (131) | 2 | 8 | 12 | 1 | 21 | 29 |
| T (40) | 4 | 9 | 13 | 7 | 17 | 21 |
| I (36) | 3 | 11 | 12 | 8 | 17 | 20 |
| PU (40) | 1 | 1 | 1 | 0 | 2 | 4 |
| R (4) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| TOTAL (251) | 11 | 30 | 39 | 17 | 58 | 75 |

Le tableau 17 ci-dessous détaille par région ces résultats nationaux.

Tableau 17 : plus de 35 dépassements – bilan par région

| | | 2002 | | | 2003 | | |
|----------------------|---------------------|---------------|---------------------|----------------------|---------|----------------------|-----------------------|
| Région | Type de station | 1 | 1,15 | 1,22 | 1 | 1,15 | 1,22 |
| ALSACE | 2 T + 1 U | | 2T | 2T | | T + U | T + U |
| AQUITAINE | 2T + 4 U | 1U | 2U | 2T + 2U | 1U | 2T + 4U | 2T + 4U |
| AUVERGNE | | | | | | | |
| Basse-NORMANDIE | 1PU | | | | | | PU |
| BOURGOGNE | 1U | | | | | | 1U |
| BRETAGNE | | | | | | | |
| CENTRE | 1T | | | | | 1T | 1T |
| CHAMPAGNE-ARDENNE | | | | | | | |
| FRANCHE-COMTE | 1T | | | | | 1T | 1T |
| Haute-NORMANDIE | 2 I + 1 T + 1 U | | | 1T | | 2I + T | 2I + T + U |
| ILE-DE-France | 2 T + 3 U | 2T + U | 2T + U | 2T + U | 2T | 2T | 2T + 2U |
| LANGUEDOC-ROUSSILLON | 1I + 2T + 1PU | | | 1T | | 1T | 1I + 2T + 1PU |
| LIMOUSIN | | | | | | | |
| LORRAINE | 6I + 1U + 2PU + 1R | 3I+1R+1 PU | 6I+U+ 1R+ 1PU | 6I+1U+ 1R+ 1PU | 3I + 1R | 4I+U+ 1R+ 1PU | 3I+1U+1 R+ 1PU |
| MIDI-PYRENEES | | | | | | | |
| NPdC | 5T + 7U + 7I | | 1T + 3I | 1T + 3I | 1T + 2I | 4T+5U +6I | 5T+7U+ 7I |
| PACA | 1T + 10U + 7I + 1PU | | 1T+3U +2I | 1T+6U+ 3I | 1T+3I | 1T+8U +5I+1P U | 1T+10U +7I+1P U |
| PAYS-DE-LOIRE | | | | | | | |
| PICARDIE | | | | | | | |
| POITOU-CHARENTES | | | | | | | |
| RHONE-ALPES | 5T + 2U | 2T | 3T+1U | 3T+2U | 3T | 3T+2U | 5T+2U |

Pour l'ensemble des années 2002 et 2003, on voit que 8 régions sur 21 (surlignées) n'ont pas été concernées, que 4 régions ont eu seulement une station chacune concernée après correction, que 4 autres régions ont des stations concernées avec correction « 1 » .

Les tableaux suivants déclinent les mêmes résultats mais par zone réglementaire.

Tableau 18 : plus de 35 dépassements – bilan par zone « agglomération »

| Zones réglementaires | | "agglomération" | | | | | |
|----------------------------------|-----------|-----------------|--------|--------|------|--------|---------|
| | | 2002 | | | 2003 | | |
| Zones | Types | 1 | 1,15 | 1,22 | 1 | 1,15 | 1,22 |
| Metz | | | | | | | |
| Marseille - Aix en Provence | 1 T + 5 U | | T + U | T + 2U | T | T + 3U | T + 5U |
| Toulon | 2 U | | 2U | 3U | | 3U | 3U |
| Avignon | | | | | | | |
| Paris | 2 T + 3 U | 2T + U | 2T + U | 2T + U | 2T | 2T | 2T + 2U |
| Valenciennes | 1 T + 1 U | | T | T | T | T + U | T + U |
| Clermont-Ferrand | | | | | | | |
| Montpellier | | | | | | | |
| Nîmes | 1T | | | T | | T | T |
| Perpignan | 1T | | | | | | T |
| Dunkerque + PPA | 6 I + 1 T | | 3I | 3I | 2I | 5I | 6I + T |
| Lille | 3 U | | | | | 2U | 3U |
| Toulouse | | | | | | | |
| Reims - Troyes | | | | | | | |
| Grenoble | 2 T + 1 U | T | 2T | 2T + U | 2T | 2T + U | 2T + U |
| Strasbourg | 2 T + 1 U | | 2T | 2T | | T + U | T + U |
| Mulhouse + Chalampé | | | | | | | |
| Rennes | | | | | | | |
| Brest | | | | | | | |
| Lorient-Vannes | | | | | | | |
| Lyon | 3 T | T | T | T | T | T | 3T |
| Forbach | | | | | | | |
| Nantes + périmètre PPA | | | | | | | |
| Nice - Cannes - Grasse - Antibes | 3 I | | I | 2I | 2I | 3I | 3I |
| Rouen | | | | | | | |
| Dijon | | | | | | | |
| Béthune | 1 T + 1 U | | | | | T + U | T + U |
| Saint-Etienne | | | | | | | |
| Nancy | 1 I + 1 U | | I + U | I + U | I | I + U | I + U |
| Bordeaux | 2 T | | | 2T | | 2T | 2T |
| Tours | | | | | | | |
| Orléans | 1T | | | | | T | T |
| Limoges | | | | | | | |
| Fort-de-France | | | | | | | |

On voit que 18 zones « agglomération » sur 34 ne sont pas concernées, même après correction « >1 » des données.

Tableau 19 : plus de 35 dépassements – bilan par zone « non agglomération »

| Zones réglementaires | | « non agglomération » | | | | | |
|---|-----------------|-----------------------|--------|--------|------|------------|------------------|
| | | 2002 | | | 2003 | | |
| Zones | Types | 1 | 1,15 | 1,22 | 1 | 1,15 | 1,22 |
| Zone industrielle sidérurgique lorraine | 2 I | 2I | 2I | 2I | 2I | 2I | 2I |
| Zone Industrielle Fos-Berre | 4 I + 1 U | | I | I | I | 2I + U | 4I + U |
| Département des Bouches-du-Rhône | 1U | | | | | | U |
| Département du Var | | | | | | | |
| Département du Vaucluse | 1 PU + 1 U | | | U | PU | PU + U | PU + U |
| Région Ile-de-France hors Paris | | | | | | | |
| Le Havre | 2 I + 1 T + 1 U | | | T | | 2I + T | 2I + T + U |
| Port-Jérôme | | | | | | | |
| Région Auvergne | | | | | | | |
| Région Languedoc Roussillon | 1I | | | | | | I |
| Région Poitou-Charentes | | | | | | | |
| La Rochelle /Rochefort | | | | | | | |
| Poitiers/Châtelleraut | | | | | | | |
| Région Nord Pas-de-Calais | 1 I + 2 T + 2 U | | | | U | I + 2T + U | I + PU + 2T + 2U |
| Région Midi-Pyrénées | | | | | | | |
| Région Champagne Ardenne | | | | | | | |
| Région Alsace | | | | | | | |
| Montbéliard | | | | | | | |
| Région Franche-Comté | | | | | | | |
| Besançon | 1T | | | | | T | T |
| Amiens | | | | | | | |
| Saint Quentin | | | | | | | |
| Creil | | | | | | | |
| Compiègne | | | | | | | |
| Beauvais | | | | | | | |
| Chauny | | | | | | | |
| Soissons | | | | | | | |
| Abbeville | | | | | | | |
| Reste département de la Somme | | | | | | | |
| Reste département de l'Aisne | | | | | | | |
| Reste département de l'Oise | 1PU | | | | | | PU |
| Région BRETAGNE | | | | | | | |
| Région Rhône Alpes | 1U | | U | U | | U | U |
| Département du Calvados | 1PU | | | | | | PU |
| Département de la Manche | | | | | | | |
| Département de l'Orne | | | | | | | |
| ZI Carling - Saint-Avoid - L'Hôpital | 3 I | I | 3I | 3I | | I | I |
| Région LORRAINE | 1 R + 2 PU | R + PU | R + PU | R + PU | R | R + PU | R + PU |
| Région pays de Loire | | | | | | | |
| Département des Alpes Maritimes | | | | | | | |
| DéptS des Alpes de Haute Provence et Hautes Alpes | | | | | | | |
| Haute-Normandie + Honfleur et Trouville | | | | | | | |
| Dépts : Côte d'Or, de la Nièvre et de l'Yonne | | | | | | | |
| Zone industrielle de LACQ | | | | | | | |
| Région AQUITAINE | 4 U | U | 2U | 2U | U | 4U | 4U |
| Département de la Saône et Loire | 1U | | | | | | U |
| Région Centre | | | | | | | |
| Région Limousin | | | | | | | |
| Département de la réunion | | | | | | | |
| Département de la Martinique | | | | | | | |

On voit que 15 zones « non agglomération » sur 50 ne sont pas concernées, même après correction « >1 » des données en 2002 ou 2003.

L'ensemble des 33 zones non concernées sur 84 sont essentiellement concentrées dans le Nord-Pas-de-Calais (17 stations dont 7 Ind.), la Lorraine (10 stations dont 6 Ind.) et Marseille-Fos (12 stations dont 4 Ind.).

PARTIE 2 - CAMPAGNES DE MESURES COMPARATIVES DE JAUGES BETA ET DE PARTISOL (Avantages de la modification des Jauges)

1. INTRODUCTION

Les campagnes comparatives réalisées auparavant et rappelées dans le chapitre 2 de la partie 1 ne concernaient que les appareils automatiques TEOM-50 (R&P).

Des comparaisons du même type avec les Partisol pris comme référence gravimétrique ont été réalisées avec des jauges Bêta PM10 - MP101M (Environnement S.A.) entre octobre 2003 et octobre 2004.

Quatre associations équipées d'un Partisol ont pu participer à ces campagnes qui se sont déroulées en 3 phases :

- avec les jauges en configuration standard en période chaude,
- avec les jauges en configuration standard, en période froide,
- avec une régulation du débit asservie aux conditions ambiantes de pression et de température avec le système RST qui permet de chauffer la tête si sa température est sous la barre « $T_{amb} - 5^{\circ}C$ » et si l'humidité relative est $> 70\%$.

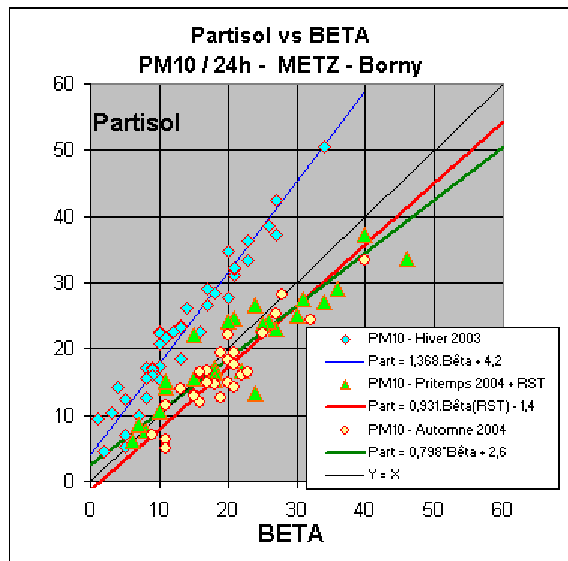
Le tableau 20 détaille ces campagnes.

Tableau 20 : détail des campagnes de comparaison des jauges Bêta

| | Ville - station | Typologie | période | Commentaire |
|----------------|----------------------------------|------------------|--|---------------------------------------|
| AERFOM | Metz <i>Borny</i> | Urbain | Oct-Nov 2003 Mar-Avr 2004 Sep-Oct 2004 | Jauge Std Jauge + RST Jauge Std |
| AMPASEL | St-Etienne <i>Coubertin</i> | Périurbain | Nov-Déc 2003 Avril 2004 Sep-Oct 2004 | Jauge Std Jauge + RST Jauge Std |
| LIG'AIR | Tours <i>Jardin botanique</i> | Urbain | Nov-Déc 2003 Mars 2004 Mars-Avril 2004 | Jauge Std Jauge Std Jauge + RST |
| AIRAQ | Mérignac | Trafic | Fév-Mars 2004 Non réalisé | Jauge Std Jauge + RST |

Les 4 jauges Bêta ont fonctionné en mode d'accumulation de particules, mesure et changement de bande filtrante sur des périodes de 2 heures.

2. RESULTATS DES COMPARAISONS A METZ



Il apparaît à Metz une différence de comportement nette des jauges par rapport au TEOM pour les valeurs faibles d'été (sept-oct 2004) qui sont bien distinctes de celles d'hiver (oct-nov 2003); les corrélations respectives en sont donc meilleures.

L'apport du dispositif RST rend les valeurs correspondantes comparables à la référence gravimétrique.

Les valeurs en saison chaude (sept-oct 2004) sont également très proches de la référence.

Figure 2 : comparaison Partisol vs Jauge Bêta (données 24h en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)

- La régression orthogonale obtenue en hiver 2003 était :
« **Partisol = 1,368*Bêta + 4,2** » .
- L'apport du RST sur la jauge Bêta au printemps 2004 donne la régression :
« **Partisol = 0,931*Bêta(RST) - 1,4** » comparable à celle de l'automne 2004.
- En automne 2004 , la régression était :
« **Partisol = 0,798*Bêta + 2,6** » .

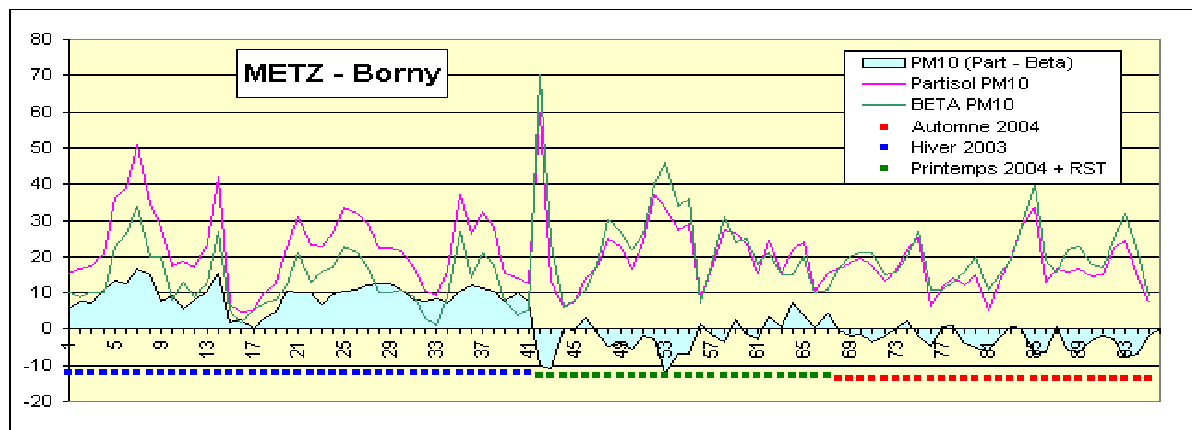
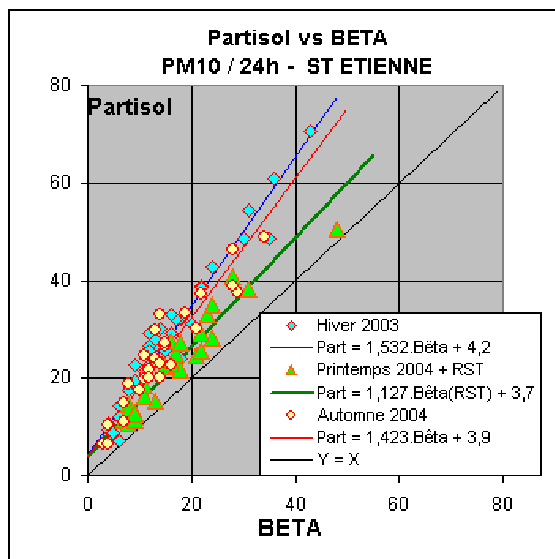


Figure 3 : séries chronologiques des données PM10 - 24h (en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)

On distingue sur la figure 3 les variations chronologiques journalières du Partisol, de la jauge Bêta et de leur différence (courbe pleine) pendant les 3 phases de la campagne : en hiver 2003, puis au printemps 2004 avec RST et enfin en automne 2004. Les écarts (Partisol – Bêta) en phase 1 sont proportionnels aux niveaux atteints en PM10. L'apport du RST en phase 2 au printemps donne des résultats identiques à ceux de l'automne 2004 où les écarts sont aléatoires autour de zéro. Les niveaux atteints ne semblent pas être tributaires de la saison.

3. RESULTATS DES COMPARAISONS A SAINT-ETIENNE



Comme à Metz, les résultats sont peu dispersés autour des droites de régression et donnent de bonnes corrélations.

Par contre, on note une superposition des valeurs d'hiver 2003 et d'automne 2004, c'est-à-dire peu de différence.

L'apport du RST ne corrige pas suffisamment les valeurs.

Figure 4 : comparaison Partisol vs Jauge Bêta (données 24h en $\mu\text{g.m}^{-3}$)

- La régression orthogonale obtenue en hiver 2003 était :
« **Partisol = 1,532*Bêta + 4,2** » .
- L'apport du RST sur la jauge Bêta au printemps 2004 :
« **Partisol = 1,127*Bêta(RST) - 3,7** » donne des résultats plus proches du Partisol, mais encore décalé de 12,7%.
- En automne 2004, la régression était proche de celle de l'hiver précédent :
« **Partisol = 1,423*Bêta + 3,9** » .

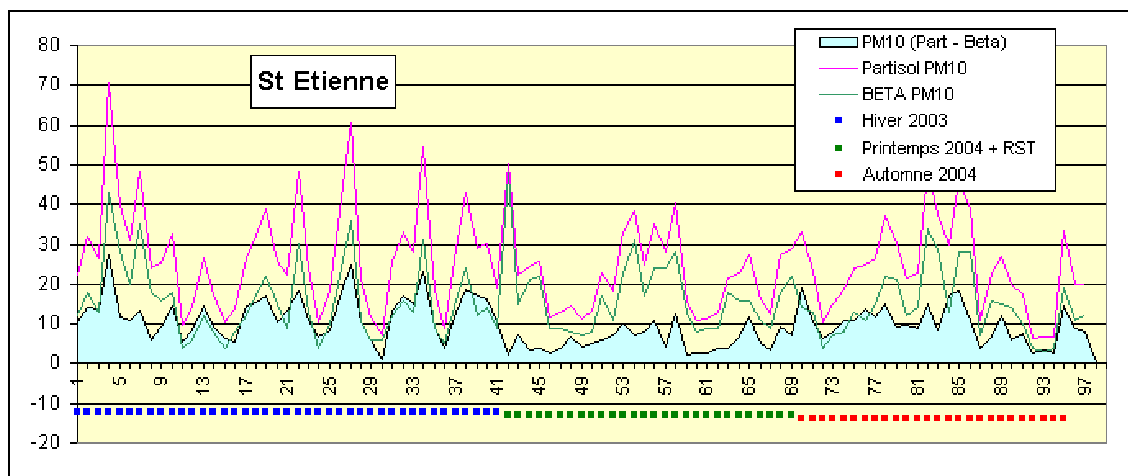
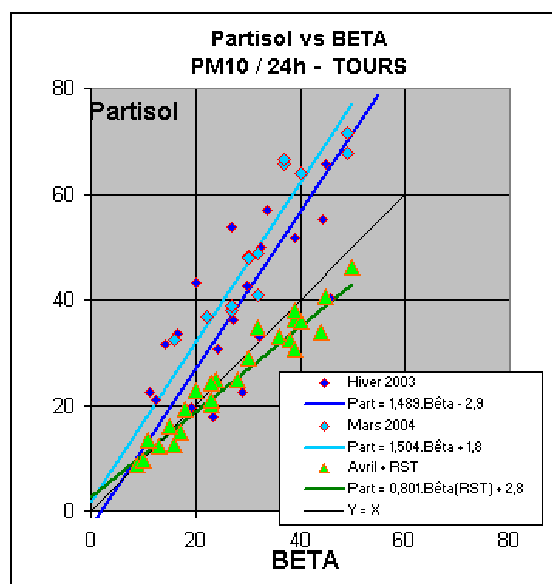


Figure 5 : séries chronologiques des données PM10 - 24h (en $\mu\text{g.m}^{-3}$)

On distingue sur la figure 5 les variations chronologiques du Partisol et de la jauge Bêta, et surtout de la différence entre les deux (courbe pleine) pendant les 3 phases de la campagne, en hiver 2003, puis au printemps 2004 avec RST et enfin en automne 2004 comme à Metz. La présence du RST en phase 2 a un effet correctif moins probant qu'à Metz ; il semblerait que les données de la jauge soient dans l'ensemble sous-estimées, les écarts avec le Partisol étant toujours positifs.

4. RESULTATS DES COMPARAISONS A TOURS



Les 2 campagnes d'hiver 2003 et de mars 2004 ont donné des résultats comparables, malgré une dispersion élevée en hiver.

L'apport du dispositif RST rend les valeurs correspondantes comparables à la référence gravimétrique avec une tendance à la sur-correction comme à Metz.

La campagne en saison chaude n'a pas pu être réalisée.

Figure 6 : comparaison Partisol vs Jauge Bêta (données 24h en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)

- La régression orthogonale obtenue en hiver 2003 était : « **Partisol = 1,489*Bêta - 2,9** », soit un résultat voisin de celui de Saint-Etienne.
- En mars 2004: « **Partisol = 1,504*Bêta + 1,8** » donne des résultats comparables à ceux de l'hiver 2003.
- L'apport du RST sur la jauge Bêta en avril 2004, la régression : « **Partisol = 0,801*Bêta(RST) + 2,8** » a trop corrigé les mesures.

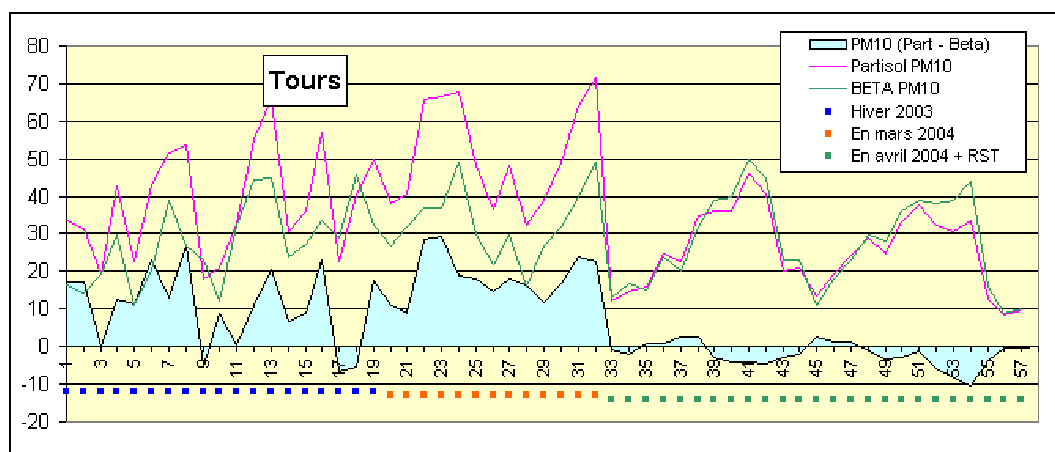


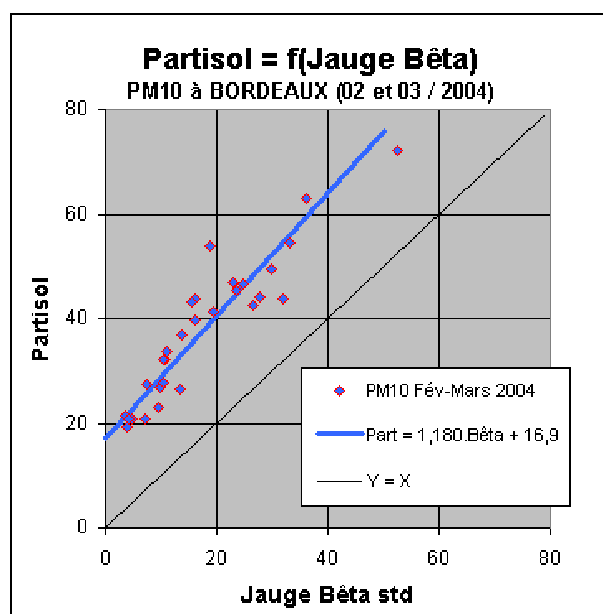
Figure 7 : séries chronologiques des données PM10 - 24h (en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)

On distingue sur la figure 6 les variations chronologiques du Partisol, de la jauge Bêta et de leur différence (courbe pleine) pendant les 3 phases de la campagne : en hiver 2003, en mars 2004, puis avec RST en avril 2004.

Les écarts (Partisol - Bêta) en phases 1 et 2 sont proportionnels aux niveaux atteints en PM10.

L'apport du RST en phase 3 donne des résultats très proches du Partisol, où on voit les écarts répartis aléatoirement autour de zéro.

5. RESULTATS DES COMPARAISONS A BORDEAUX-MERIGNAC



La régression orthogonale obtenue en février / mars 2004 était::

« **Partisol = 1,180*Bêta + 16,9** » .

L'ordonnée à l'origine (+ 16,9) montre un décalage systématique par défaut sur la jauge Bêta.

La pente (1,180) est par contre plus faible que dans les autres sites en hiver.

Les campagnes avec le RST et en période chaude n'ont pas pu être réalisées.

Figure 8 : comparaison Partisol vs Jauge Bêta (données 24h en $\mu\text{g.m}^{-3}$)

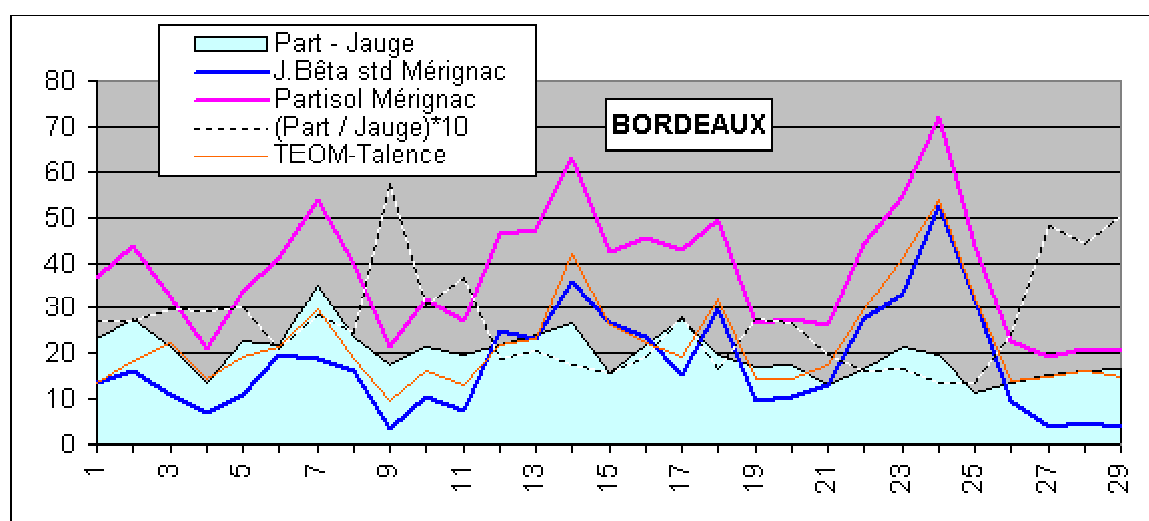


Figure 9 : séries chronologiques des données PM10 - 24h (en $\mu\text{g.m}^{-3}$)

La figure 9 montre les variations chronologiques du Partisol, de la jauge Bêta et de leur différence (courbe pleine) pendant la campagne hivernale.

Les écarts (Partisol – Bêta) sont proportionnels aux niveaux atteints en PM10.

Les évolutions d'un TEOM-50 situé à Talence, soit à l'opposé de la ville, sont très proches de la jauge Bêta ; d'autres comparaisons menées entre TEOM et jauge Bêta non reportées dans cette étude, montrent le même défaut entre les deux types d'appareils en hiver, soit des facteurs d'écart de l'ordre de 1,3 à 1,5 .

PARTIE 3 - CAMPAGNES DE MESURES COMPARATIVES TEOM / FDMS / PARTISOL (LE HAVRE 2003 / 2004)

1. INTRODUCTION

Deux campagnes ont été réalisées au Havre, une en juin 2003 et une en février 2004, à la station urbaine Herriot ; cette station équipée en routine d'un TEOM-50, avait été complétée en 2002 d'un Partisol pour les campagnes précédentes ; un FDMS a été installé temporairement afin de tester cette nouvelle technique.

Il est utile de repréciser les fonctions du FDMS. Tout d'abord, le TEOM-50 est équipé d'une tête chauffée à 50°C afin de limiter les effets néfastes de l'humidité sur les pesées ; cette température excessive entraîne une perte significative de composés semi-volatils. Une version améliorée du TEOM-50, le TEOM-SES permettait d'assécher le flux d'air et ainsi de ramener la température de la tête à 30°C et de limiter la perte des semi-volatils.

Le FDMS est un TEOM-SES équipé en plus d'un système d'estimation indirecte des semi-volatils perdus permettant de corriger les données PM10.

2. COMPARAISONS CHRONOLOGIQUES

La figure 10 montre les variations chronologiques en été, puis en hiver, des mesures réalisées avec le Partisol de référence, le TEOM-50 et le FDMS.

La figure 11 montre les écarts entre les appareils : (Partisol – Teom) et (Partisol – FDMS).

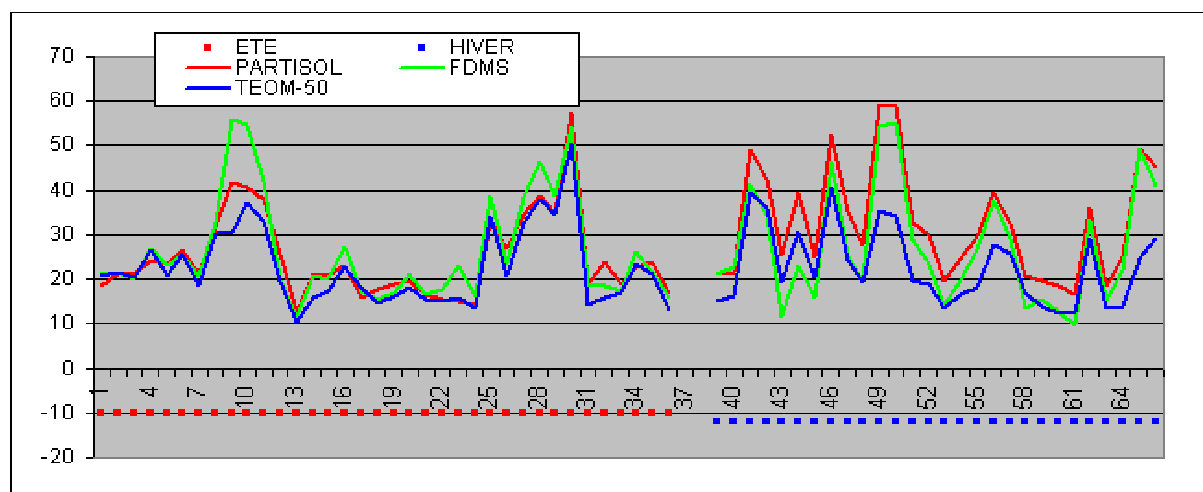


Figure 10 : séries chronologiques des données PM10 - 24h (en $\mu\text{g.m}^{-3}$)

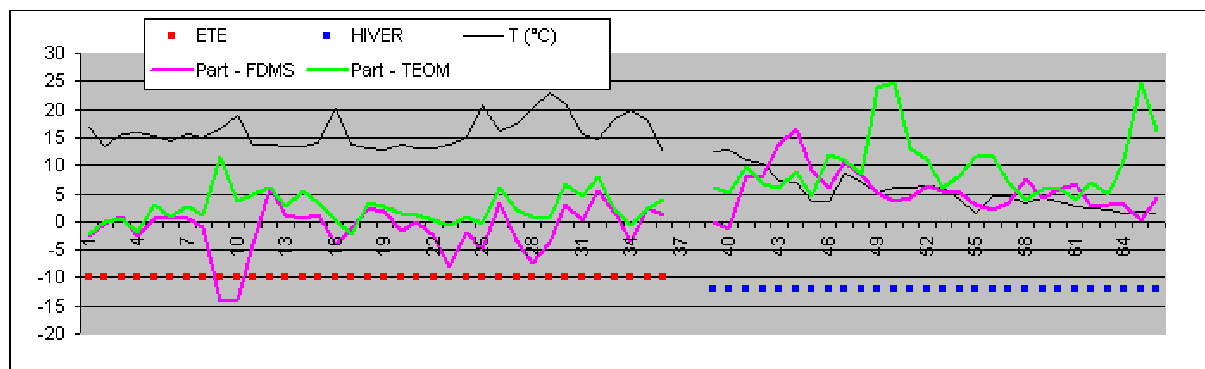


Figure 11: séries chronologiques des écarts entre les appareils (en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)

Le TEOM-50 donne toujours des résultats par défaut, surtout en hiver. En été, le FDMS est supérieur au Partisol, en hiver c'est l'inverse.

3. COMPARAISONS DES 3 METHODOLOGIES

L'appareil FDMS étant équipé du système SES, il fournit aussi les résultats des mesures corrigées par ce système ; il est possible donc de faire les comparaisons du TEOM-50, du TEOM-SES et du FDMS avec le Partisol pris comme référence gravimétrique. Les 3 graphiques de la figure 11 présentent ces comparaisons.

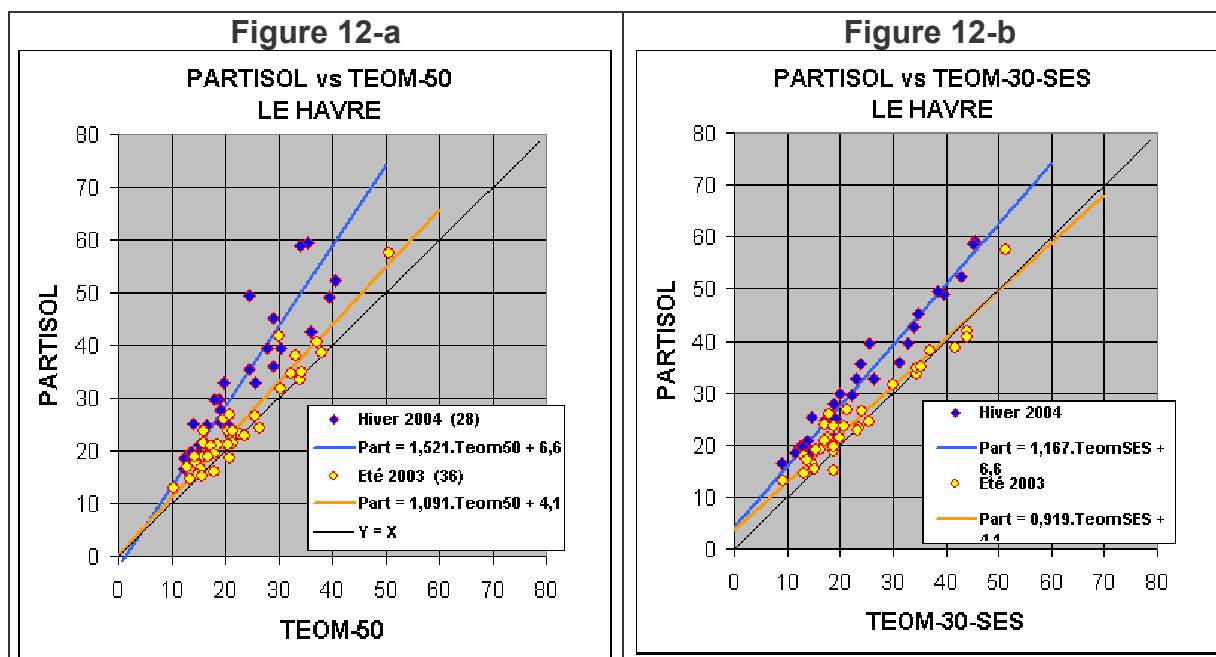


Figure 12-a et 12-b : comparaisons TEOM-50, TEOM-ses et FDMS avec le Partisol

La figure 12-a montre le fort déficit du TEOM-50 en hiver et sa concordance acceptable avec le Partisol en été.

La figure 12-b montre que l'apport du SES n'a pas de raison d'être en été, mais qu'il est encore insuffisant en hiver.

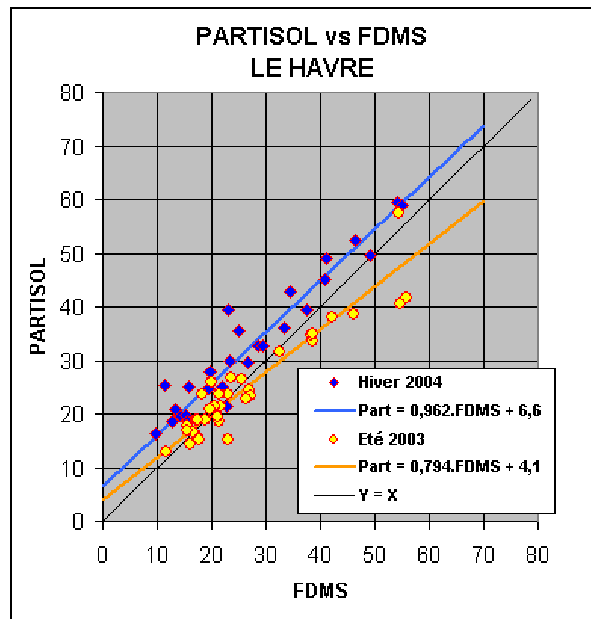


Figure 12-c : comparaisons TEOM-50, TEOM-ses et FDMS avec le Partisol

La figure 12-c montre la correction des mesures devenue acceptable en hiver, mais une tendance à sur-corriger en été.

PARTIE 4 - ETUDE DU DEGRE D' HOMOGENEITE SPATIALE DES CONCENTRATIONS EN PM10

1. INTRODUCTION

La première partie de ce rapport est consacrée à l'étude de scénarios de correction des données des TEOM à l'échelle nationale et par région. Il est apparu qu'une correction ne pouvait être envisagée qu'au niveau régional ou inférieur.

La seconde partie de ce rapport est consacrée à l'étude de solutions instrumentales permettant d'apporter des corrections à un ensemble d'appareils voisins à partir des mesures issues d'une station de référence permettant, soit d'obtenir des mesures gravimétriques, soit des mesures issues de TEOM améliorés (SES, FDMS, ...), ou enfin issues de jauges Bêta modifiées.

L'application de ces corrections de données issues d'un groupe de TEOM à partir du ratio obtenu dans une station de référence, n'est possible que sur des zones où les mesures présentent une homogénéité suffisante ; cette partie est dédiée à des essais d'évaluation d'homogénéité de zone.

2. PRINCIPE

A partir des données journalières disponibles issues des quelques 300 stations validées sur la période 2002-2003, une pré-étude de recherche d'homogénéité a été entamée.

Elle consiste à comparer chaque station de mesure des PM10 (indifféremment TEOM ou Jauges Bêta) à toutes les plus proches qui les entourent, en calculant les quelques paramètres statistiques de base suivants pour chaque couple de stations :

- la corrélation,
- la pente de la droite de régression orthogonale,
- l'ordonnée à l'origine de cette droite,
- la racine de la moyenne des carrés des écarts journaliers, assimilée à une forme de « reproductibilité ».

Ces résultats sont calculés à partir de bases de données journalières couvrant de quelques mois jusqu'à 730 jours au maximum, selon les taux communs de fonctionnement des couples de stations voisines. Les nombres de jours couverts rendent ces résultats significatifs.

En première approche, on pourrait considérer que :

- la corrélation est un indice d'homogénéité temporelle, si les variations sont simultanées,
- une pente proche de « 1 » est un indice d'homogénéité spatiale élargie à la zone correspondante,
- une ordonnée à l'origine significativement différente de « 0 » est un indice d'hétérogénéité spatiale locale,
- la « reproductibilité » est un indice regroupant les 3 précédents.

Le tableau 21 à double entrée montre les corrélations entre les stations de Paris Intra-muros, soit 0,931 entre PARIS-18 et PARIS-12 ; sauf la station PARIS-01 qui se distingue des autres, elles ont des corrélations > 0,90 .

Tableau 21 :corrélations entre stations intra-muros

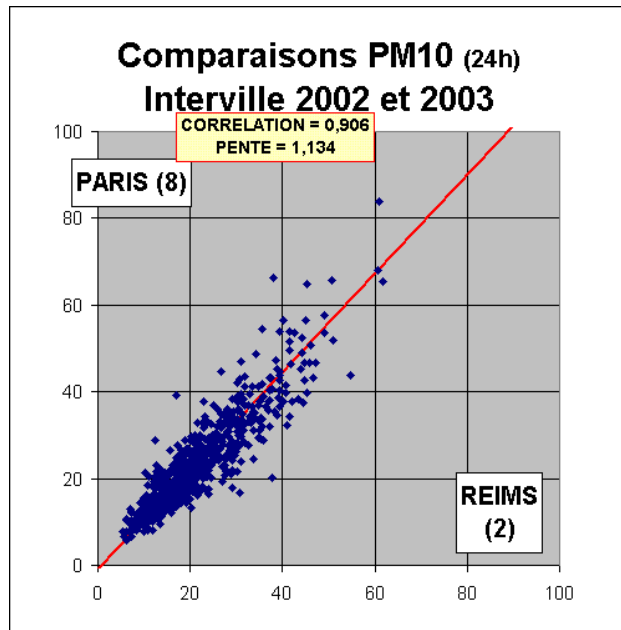
| PARIS Intra Muros | | | |
|-------------------|----------|----------|-----------|
| | PARIS-12 | PARIS-01 | PARIS-Def |
| PARIS-18 | 0.931 | 0.379 | 0.957 |
| PARIS-12 | | 0.370 | 0.906 |
| PARIS-01 | | | 0.350 |

Comme à priori, les 3 autres stations sont corrélées 2 par 2, on en a calculé les moyennes journalières sous l'appellation PARIS (3), que l'on a comparé ensuite à d'autres stations plus éloignées. Le tableau 22 montre que toutes les stations sont corrélées à mieux que 0,90 .

Tableau 22 : corrélations entre stations régionales

| ILE DE France | | | | | |
|---------------------|---------------------|---------------|----------------|---------------|---------|
| | Issy-les-Moulineaux | Gennevilliers | Cergy-pontoise | Vitry / Seine | Bobigny |
| PARIS (3) | 0.962 | 0.962 | 0.935 | 0.952 | 0.958 |
| Issy-les-Moulineaux | | 0.933 | 0.925 | 0.943 | 0.910 |
| Gennevilliers | | | 0.947 | 0.923 | 0.937 |
| Cergy-pontoise | | | | 0.904 | 0.903 |
| Vitry / Seine | | | | | 0.933 |

Comme à priori, les stations sont corrélées 2 par 2, on en a calculé les moyennes journalières sous l'appellation PARIS (8), que l'on a comparé ensuite à des stations d'autres régions et ainsi de suite.



La figure 13 représente la comparaison de PARIS-(8) avec REIMS-(2) correspondant respectivement à 8 et 2 stations.

Figure 13 : comparaison des données PM10 entre la région IdF et Reims

3. REPRESENTATION CARTOGRAPHIQUE DES INDICES D'HOMOGENEITE

L'extension du principe énoncé ci-dessus à tout le territoire national et aux pays limitrophes du nord et est, a permis de tracer des liens entre des stations voisines de mesure des PM10.

L'étude en cours n'est pas suffisamment affinée pour pouvoir interpréter totalement les indices présentés ci-dessus, à savoir quelles classes :

- de corrélation (> 0,90 ou autres valeurs),
- de pentes (comprises entre 0,95 et 1,05, ou autres intervalles),
- de « reproductibilité » (0 à 5 , 0 à 7 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, ou autres intervalles),

il faut choisir pour définir des degrés d'homogénéité.

Pour l'instant, des cartes de corrélations, de pentes et de « reproductibilités » ont été réalisées selon des choix pour l'instant arbitraires et indiqués ci-dessous.

3.1 Carte des corrélations

On retient les 3 classes suivantes :

- Classe 1 : corrélation $R > 0,90$ ++ **bien corrélées,**
- Classe 2 : $0,87 < R < 0,90$ + **moyennement corrélées**
- Classe 3 : $R < 0,87$ - **moins corrélées.**

Les corrélations fortes et moyennes entre 2 stations voisines sont représentées sur la carte de la figure 14 par des liens entre les points figuratifs des stations.

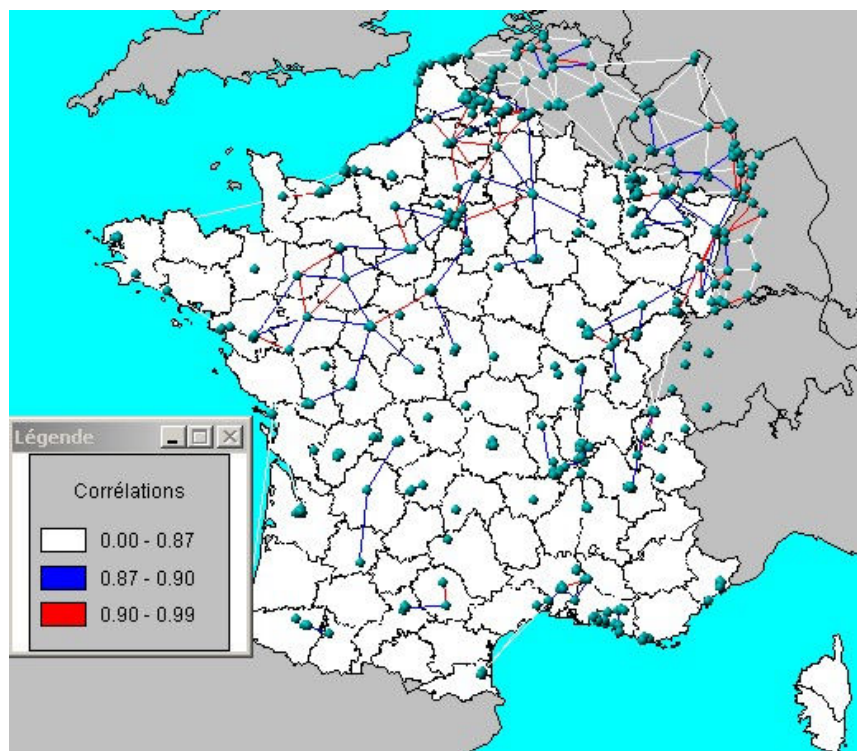


Figure 14 : carte des corrélations

A première vue , il apparaît selon les corrélations, plusieurs bassins bien établis :

- de Nantes à Lille englobant Paris, pouvant correspondre aux flux venant de l'atlantique,
- de l'Alsace à la Franche-Comté,
- l'ouest du Rhône jusqu'à Clermont-Ferrand,
- les Alpes du nord en vallées orientées nord-sud,
- et une partie du grand sud-ouest.

Des stations en groupes ou isolées ne sont pas corrélées entre-elles, entre autres en Limousin, en Bretagne et en PACA.

Des liens étroits apparaissent avec les pays voisins (valeurs non corrigées).

3.2 Carte des régressions linéaires

On retient les 3 classes suivantes :

- Classe 1 : pente comprise entre 0,97 et 1,03 ++
- Classe 2 : pente de 0,93 à 0,97 ou 1,03 à 1,07 +
- Classe 3 : pente < 0,93 ou > 1,07 -

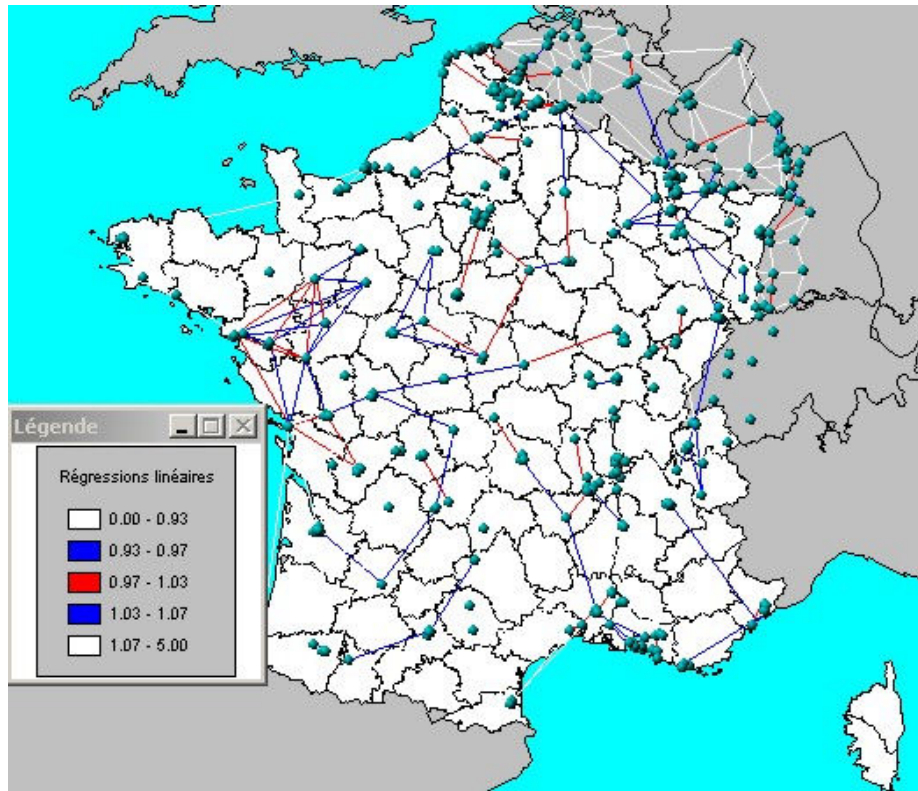


Figure 15 : carte des régressions linéaires

A première vue, il apparaît selon les pentes des droites de régressions, plus de bassins moins étendus qu'avec les corrélations, entre autres : IdF, NPdC, ouest, Alsace-Lorraine, Midi-Pyrénées, ...

Le nombre de stations non raccordées à d'autres est ici inférieur à celui obtenu avec les corrélations.

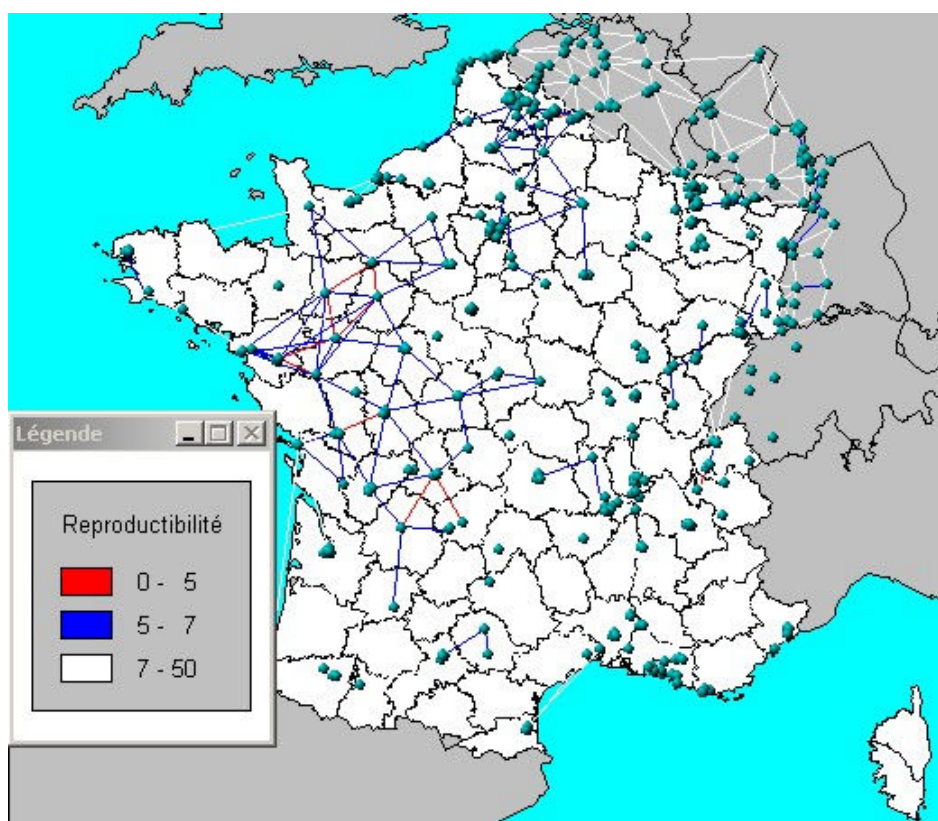
Des liens étroits apparaissent aussi avec les pays voisins (valeurs non corrigées).

3.3 Carte des reproductibilités

Il s'agit de la reproductibilité élargie (avec $k = 2$).

On retient les 3 classes suivantes :

- Classe 1 : 0 à 5 $\mu\text{g.m}^{-3}$ ++
- Classe 2 : 5 à 7 $\mu\text{g.m}^{-3}$ +
- Classe 3 : > 7 $\mu\text{g.m}^{-3}$ -



On retrouve ici avec les classes choisies, des résultats proches de ceux obtenus avec les corrélations, avec 2 grands bassins bien délimités, mais avec beaucoup de stations non raccordées à leurs voisines, PACA, Bretagne, Normandie.

Ces travaux en cours d'élaboration ne permettent pas pour l'instant de tirer des conclusions définitives, mais semblent assez prometteurs.

CONCLUSION

Bien que les résultats issus des campagnes de mesure et des études de divers scénarios aient montré une bonne cohérence par rapport aux mesures gravimétriques des nombres corrigés des dépassement de seuils, et une sur-correction des moyennes annuelles, ces dernières restent très largement dans les limites d'incertitude requises (25%).

En ce qui concerne l'estimation des nombres de dépassement de seuil journalier, la correction par un facteur « 1 » induit une sous-estimation non négligeable pour certaines stations de mesure. Cependant, un nombre assez élevé de stations n'enregistre pas ou peu de dépassements, qu'il y ait correction ou non.

La position française est actuellement la suivante :

« l'application d'un facteur correctif différent de 1 des données issues des TEOM-50 de R&P et des jauges Bêta MP101M de Environnement S.A. , ne pouvait être scientifiquement défendue. En conséquence, la France a décidé de s'en tenir au facteur 1 ».

Cette étude a ensuite montré les incidences de plusieurs scénarios de correction des données sur les moyennes annuelles et les nombres de dépassement de seuil pendant les années 2002 et 2003, et a montré l'intérêt de rechercher des solutions instrumentales.

Ces solutions seraient au nombre de deux pour tenir compte des deux types d'appareils de mesure des PM10 existant, environ 80% de TEOM-50 et 20% de jauges Bêta.

Une ébauche d'étude d'homogénéité de bassins d'air a été entreprise à partir des données de presque 300 stations de mesure en 2002 et 2003, afin de délimiter les zones qui pourraient être assujetties à tel ou tel type de correction instrumentale.

Des essais seront donc encore à réaliser sur les apports techniques des FDMS, des TEOM-SES, des Bêta-RST, à l'aide d'essais complémentaires dans les stations de mesure gérées par les AASQA, et par des essais d'estimation d'équivalence en station de référence.

L'étude de relations statistiques entre les données journalières des PM10 sur deux années, a permis d'ébaucher une délimitation de bassins d'air qui doit être plus développée et optimisée. Elle permettra une approche de la connaissance des zones d'homogénéité de valeurs où pourraient être appliqués les mêmes principes de traitement des données issues d'appareils automatiques.



**Mines
de Douai**

941, rue Charles Bourseul - BP 838 - 59508 DOUAI Cedex
Tél. 03 27 71 22 22 - Fax 03 27 71 25 25
mél : mines@ensm-douai.fr - <http://www.ensm-douai.fr>

Imprimé à l'Ecole des Mines de Douai - 59500 DOUAI