



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



Traitements numériques

**Analyse statistique des données de  $PM_{2.5}$  en milieux  
urbain et périurbain**

Décembre 2006

Version finale

Cécile Honoré - Laure Malherbe







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

## Analyse statistique des données de PM<sub>2.5</sub> en milieux urbain et périurbain

Laboratoire Central de Surveillance  
de la Qualité de l'Air

### Thème : Traitements numériques

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

Décembre 2006

Cécile Honoré, Laure Malherbe

Ce document comporte 50 pages (hors couverture et annexes).

	Rédaction	Vérification	Approbation
<b>NOM</b>	Cécile Honoré Laure Malherbe	Laurence Rouïl	M.RAMEL
<b>Qualité</b>	Ingénieurs Etude Recherche Développement Unité Modélisation et Analyse Economique pour la Gestion des Risques Direction des Risques Chroniques	Responsable de l'Unité Modélisation et Analyse Economique pour la gestion des risques  Direction des Risques Chroniques	Responsable LCSQA/INERIS Direction des Risques Chroniques
<b>Visa</b>			

## TABLE DES MATIERES

<b>1. RESUMÉ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. CONTEXTE ET OBJECTIFS.....</b>	<b>3</b>
<b>3. ANALYSE EXPLORATOIRE DES CONCENTRATIONS DE PM<sub>2.5</sub>.....</b>	<b>5</b>
3.1 RECENSEMENT DES SITES DE MESURE.....	5
3.2 STATISTIQUES ÉLÉMENTAIRES.....	6
3.2.1 <i>Statistiques par stations pour chaque région.....</i>	6
3.2.2 <i>Statistiques par région et par type de station.....</i>	12
3.3 PROFILS TEMPORELS.....	14
3.3.1 <i>Profils annuels pour les années 2003, 2004 et 2005.....</i>	16
3.3.2 <i>Profils hebdomadaires.....</i>	19
<b>4. SIGNAL URBAIN SUR LES CONCENTRATIONS DE PM<sub>2.5</sub>.....</b>	<b>19</b>
4.1 MESURES DE PM <sub>2.5</sub> DISPONIBLES SUR DES SITES JUMEAUX.....	19
4.2 INDICATEURS STATISTIQUES.....	21
4.3 SÉRIES TEMPORELLES.....	24
<b>5. CORRELATIONS ET RATIOS ENTRE CONCENTRATIONS DE PM<sub>2.5</sub> ET DE PM<sub>10</sub>.....</b>	<b>28</b>
5.1 RECENSEMENT DES SITES DE MESURE DE PM <sub>10</sub> .....	28
5.2 STATISTIQUES ÉLÉMENTAIRES RELATIVES AUX PM <sub>10</sub> .....	29
5.2.1 <i>Statistiques annuelles par station.....</i>	30
5.2.2 <i>Statistiques annuelles par région et par type de station.....</i>	32
5.3 ETUDE DES LIENS ENTRE PM <sub>2.5</sub> ET PM <sub>10</sub> .....	35
5.3.1 <i>Sites de mesures communs aux espèces PM<sub>2.5</sub> et PM<sub>10</sub>.....</i>	35
5.3.2 <i>Histogrammes des concentrations moyennes journalières de PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub>.....</i>	35
5.3.3 <i>Indicateurs statistiques.....</i>	40
5.3.3.1 <i>Rapports PM<sub>2.5</sub> sur PM<sub>10</sub> :.....</i>	40
5.3.3.2 <i>Corrélations entre concentrations de PM<sub>2.5</sub> et de PM<sub>10</sub>.....</i>	43
5.3.3.3 <i>Variabilité des concentrations journalières de PM<sub>10</sub> et de PM<sub>2.5</sub> ...</i>	44
<b>6. LIENS ENTRE CONCENTRATIONS JOURNALIÈRES DE PM<sub>2.5</sub> ET DE NO<sub>2</sub>.....</b>	<b>45</b>
6.1 SITES DE MESURES COMMUNS AUX ESPÈCES PM <sub>2.5</sub> ET NO <sub>2</sub> .....	45
6.2 INDICATEURS STATISTIQUES.....	46
6.2.1 <i>Corrélations des concentrations journalières de PM<sub>2.5</sub> et de NO<sub>2</sub>.....</i>	46
6.2.2 <i>Variabilité des concentrations journalières de NO<sub>2</sub> vs. PM<sub>2.5</sub>.....</i>	47
<b>7. CONCLUSION.....</b>	<b>48</b>
<b>8. LISTE DES ANNEXES.....</b>	<b>51</b>



## 1. RESUME

Cette étude a pour objet de fournir aux acteurs français de la qualité de l'air un bilan préliminaire des concentrations atmosphériques de particules fines en France, à l'aide d'une analyse exploratoire de données de PM<sub>2.5</sub>. Elle repose sur l'ensemble des données de mesure de PM<sub>2.5</sub> disponibles en France (issues de la BDQA) sur les trois dernières années (de 2003 à 2005), et cela, quel que soit le type de station : urbaine, péri-urbaine, trafic. L'analyse temporelle est effectuée pour les séries de mesures journalières qui présentent plus de 900 données valides sur les années 2003, 2004 et 2005.

Des statistiques élémentaires (moyennes, percentiles, écart-type, diagrammes en fréquence) ont permis d'établir des typologies de régions et de dégager de grandes tendances nationales vis à vis des concentrations en PM<sub>2.5</sub> :

- Les concentrations de fond de PM<sub>2.5</sub> en agglomération se situent le plus souvent entre 5 et 10 µg/m<sup>3</sup>, des concentrations plus élevées étant mesurées à Marseille (entre 10 et 20 µg/m<sup>3</sup>).
- Les régions PACA, Rhône-Alpes, Nord-Pas-de-Calais, Alsace et Aquitaine connaissent des niveaux de PM<sub>2.5</sub> relativement élevés, à l'inverse des régions Centre, Basse-Normandie et Pays de la Loire.
- Certaines agglomérations sont marquées par un cycle annuel des concentrations (Grenoble, Strasbourg) : valeurs hivernales plus élevées, valeurs estivales plus faibles. En dehors des stations trafic, on n'observe pas de cycle hebdomadaire.
- En ce qui concerne l'évolution inter annuelle des concentrations de PM<sub>2.5</sub>, on observe une baisse des niveaux entre 2003 et 2004-2005 ; aucune évolution particulière n'étant détectée entre 2004 et 2005.

L'un des buts de cette étude était l'identification du « signal urbain » distinguant, dans les concentrations des PM<sub>2.5</sub> en milieu urbain, la partie relevant de la contribution propre de la ville de celle provenant du fond régional. A cette fin, des sites de mesure « jumeaux », i.e. un site périurbain à proximité d'un site urbain ont été identifiés. Etant donné le nombre encore limité de sites de mesure des PM<sub>2.5</sub> disponibles, seules deux régions sont concernées : le Nord-Pas-de-Calais et l'Île-de-France.

Les concentrations de PM<sub>2.5</sub> mesurées sur les sites jumeaux sont bien corrélées, voire très bien en été (corrélations supérieures à 0.80). On note en hiver une baisse des corrélations sur les sites jumeaux de la région Nord-Pas-de-Calais, qui n'est pas observée sur la région Île-de-France.

En ce qui concerne la caractérisation d'un incrément urbain, les résultats obtenus diffèrent d'une région à l'autre : il varie en fonction des saisons et des sites choisis de 4 à plus de 30% sur le Nord-Pas-de-Calais ; de 1 à 11% sur l'Île-de-France. Les variations saisonnières sont contraires sur les deux régions étudiées : incrément plus élevé en hiver pour le Nord-Pas-de-Calais, plus élevé en été pour l'Île-de-France. Les concentrations de PM<sub>2.5</sub> mesurées sur les sites périurbains ont souvent une variabilité plus faible que celles mesurées sur les sites urbains correspondants. L'écart de variabilité des concentrations de PM<sub>2.5</sub> est plus élevé en hiver qu'en été (cela rejoint la remarque faite plus haut pour les corrélations). Il y a un « découplage » entre les sites jumeaux pendant l'hiver.

Cela démontre que les facteurs explicatifs des niveaux de concentration observés n'ont pas la même origine (émissions, météorologie, resuspension, activité photochimique..). Et à ce stade de l'étude, il est difficile d'attribuer cette différence de comportement à tel ou tel facteur (météorologie, géométrie des agglomérations, ...). Les tendances moyennes annuelles observées sont relativement cohérentes par rapport aux résultats de l'étude City-Delta de la Commission Européenne, mais la variabilité temporelle du signal urbain, extrêmement forte et erratique ne peut être bien représentée.

Enfin, les données de PM<sub>10</sub> et de NO<sub>2</sub> ont été utilisées pour explorer les liens entre les concentrations de PM<sub>2.5</sub> et celles de ces différentes espèces, vues comme de possibles facteurs explicatifs des concentrations urbaines de PM<sub>2.5</sub>. C'est une première étape vers l'exploration systématique des liens entre concentrations de PM<sub>2.5</sub> et données d'émissions.

- On a mis en évidence un comportement similaire des concentrations de PM<sub>10</sub> et de PM<sub>2.5</sub> : les deux espèces sont très bien corrélées (corrélations supérieures à 0.75) sur la majorité des sites de mesure, et mieux corrélées l'hiver que l'été. On observe les mêmes tendances pour les corrélations entre NO<sub>2</sub> – PM<sub>2.5</sub>.
- La variabilité temporelle des PM<sub>10</sub> est généralement plus faible que celle des PM<sub>2.5</sub> ; l'écart de variabilité en hiver est moindre qu'en été (en cohérence avec la tendance observée pour les corrélations).
- Le ratio PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> varie de 55% à 85% dans les différentes régions françaises. Il est le plus élevé en Lorraine, Bourgogne, et dans les Vosges. En Ile de France le ratio varie de 64 à 71%. Il est relativement homogène dans la moitié sud du pays : de 63 à 69%. Les ratios les moins élevés sont constatés sur la côte ouest (53% à Nantes) et les cotes de la mer du Nord (58\_59% à Calais, Dunkerque).
- Le ratio PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> est presque partout nettement plus élevé en hiver qu'en été, avec une augmentation de 5 à 10% par rapport à la moyenne annuelle.
- La variabilité des concentrations de PM<sub>2.5</sub> est en moyenne sur l'année moins élevée que celle des concentrations de NO<sub>2</sub>. Cette tendance est nettement inversée l'hiver. Il n'empêche que les concentrations de NO<sub>2</sub> permettent d'expliquer dans une proportion raisonnable les concentrations de PM<sub>2.5</sub> observées, ce qui met en évidence la part « secondaire » de ce polluant.



## **2. CONTEXTE ET OBJECTIFS**

Cette étude a pour objet de fournir aux acteurs français de la qualité de l'air un bilan préliminaire des concentrations atmosphériques de particules fines en France, à l'aide d'une analyse exploratoire de données de PM<sub>2.5</sub>. Elle repose sur l'ensemble des données de mesure de PM<sub>2.5</sub> disponibles en France (issues de la BDQA) sur les trois dernières années (de 2003 à 2005), et cela, quel que soit le type de station : urbaine, péri-urbaine, trafic.

Ce polluant atmosphérique constituera un enjeu majeur dans les années à venir, à cause de son impact sur la santé désormais reconnu, qui s'avère plus déterminant que celui des PM<sub>10</sub>. C'est pourquoi, à la suite des travaux réalisés dans le cadre du programme CAFE (Clean Air For Europe) et de l'adoption de la nouvelle stratégie thématique sur la pollution atmosphérique, les PM<sub>2.5</sub> seront amenées à prendre une part prépondérante dans les futures réglementations européennes et nationales.

Ainsi, la future Directive Unifiée de qualité de l'air prévoit la mise en place de la surveillance réglementaire de ce polluant au niveau communautaire, alors qu'actuellement le déploiement du dispositif de mesure de PM<sub>2.5</sub> se fait de manière totalement hétérogène en fonction des choix propres à chaque pays. La France est plutôt bien placée en terme de nombre de stations de mesures implantées, avec une large préférence accordée aux sites urbains (cf. §3.1). Il s'agit de pouvoir évaluer l'exposition potentielle des populations, d'où la nécessité de se focaliser sur les zones géographiques les plus peuplées.

Les PM<sub>2.5</sub> devraient également être considérées dans la révision de la Directive sur les plafonds nationaux d'émissions. Cette directive fixe actuellement pour chaque pays, des niveaux d'émissions annuels à ne pas dépasser pour le dioxyde de soufre, les oxydes d'azotes, les composés organiques volatils, et l'ammoniac. Un compromis entre les faisabilités technique et économique de telles réductions et leurs effets sur la santé humaine et les écosystèmes (acidification, eutrophication et ozone) est calculé par des modèles dédiés (dits modèles « intégrés »). La Directive actuelle préconise des projections de plafonds d'émission à l'horizon 2010. Sa révision (à venir en 2007-2008) devrait fixer de nouveaux plafonds jusqu'en 2020, et intégrer les particules. Pour ce dernier polluant, le facteur déterminant pris en compte est l'impact sur la santé humaine, et les concentrations de particules sont simulées dans le modèle intégré. Ce dernier a une résolution spatiale de 50km\*50km, ce qui est insuffisant pour rendre compte précisément de la situation dans les villes, zones les plus exposées. Une relation statistique établie à partir de modélisations à haute résolution (5km\*5km) réalisées sur 7 villes européennes lors du projet City-Delta permet de procéder à la correction du « signal urbain » associé aux concentrations de particules.

Une meilleure connaissance des sources et du comportement des PM<sub>2.5</sub> reste donc nécessaire afin de définir des politiques efficaces et pertinentes de maîtrise de la pollution particulaire. Cette démarche devra être menée dans chaque état membre dans les années à venir.

Dans la présente étude, une comparaison préliminaire des différents niveaux de concentrations observés permet de dégager de grandes tendances nationales, en terme de niveaux moyens, d'évolution temporelle, de saisonnalité...(chapitre 3). On s'intéresse également à identifier, dans les concentrations des PM<sub>2.5</sub> en milieu urbain, la partie relevant de la contribution propre de la ville et celle provenant du fond régional – le « signal urbain ». Pour se faire, la recherche de sites « jumeaux » permettant pour une même zone géographique d'identifier les différences entre sites périurbains relativement isolés de toute source de pollution et sites urbains, a été effectuée (chapitre 4).

Les concentrations de PM<sub>2.5</sub> sont ensuite mises en perspective avec les concentrations de PM<sub>10</sub>, afin d'identifier d'éventuelles pistes pour le déploiement du dispositif de mesure de PM<sub>2.5</sub> en fonction de celui établi pour les PM<sub>10</sub> (chapitre 5).

Enfin, une analyse similaire est conduite avec les concentrations de NO<sub>2</sub> mesurées en France pour affiner ce diagnostic (chapitre 6). Une large part des composants de PM<sub>2.5</sub> sont des polluants secondaires issues de transformations chimiques. Les corrélations éventuellement établies avec les concentrations d'oxydes d'azote permettront de mieux appréhender cette contribution.

De manière générale, il sera recherché des typologies de villes françaises (en fonction de la densité de population, des conditions météorologiques types....), caractérisées par exemple par les niveaux de concentrations de PM<sub>2.5</sub> attendus dans ces villes et les méthodes qu'il est possible de mettre en œuvre pour les diminuer.

**Avertissement** : *l'ensemble de cette étude est réalisé sur la base des mesures de PM<sub>2.5</sub> effectuées à l'aide de systèmes TEOM, et rapportées à la BDQA sans correction numérique ou métrologique. La fraction volatile des particules n'est donc pas prise en compte dans l'analyse qui suit.*

### 3. ANALYSE EXPLORATOIRE DES CONCENTRATIONS DE PM<sub>2.5</sub>

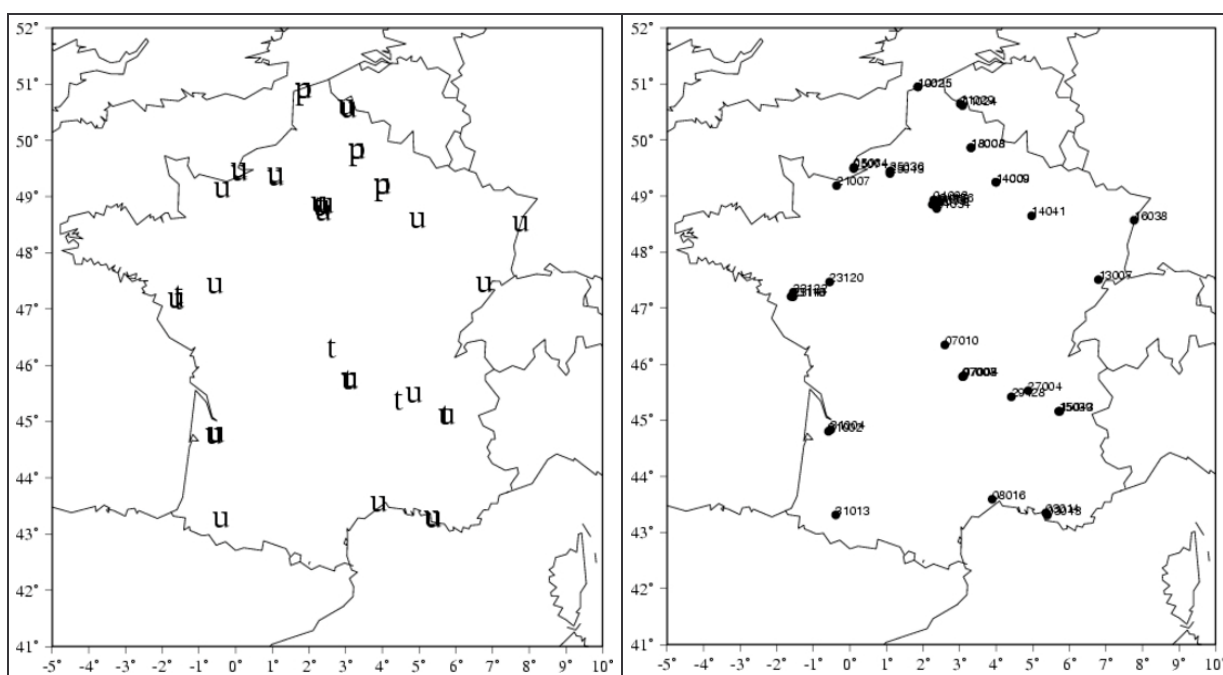
#### 3.1 RECENSEMENT DES SITES DE MESURE

La présente étude s'appuie sur les données de mesure des PM<sub>2.5</sub> disponibles de 2003 à 2005 dans la Base de Données de Qualité de l'Air (BDQA). Le tableau 1 fait état de la nette progression du nombre de station en milieux périurbain et urbain (54 au total en 2005). On notera qu'aucun site rural n'est recensé, ce qui s'explique par la priorité accordée à la surveillance dans une optique d'évaluation de l'exposition. Par rapport aux autres pays d'Europe, la France est considérée comme étant pourvue d'un réseau relativement dense de mesure de PM<sub>2.5</sub>.

La figure 1 indique le placement des stations pour les 3 années d'étude. Les stations de mesure de PM<sub>2.5</sub> sont majoritairement implantées en situation de fond urbain.

Type de station	2003	2004	2005
Rural	0	0	0
Périurbain	3	6	7
Urbain	26	35	37
Trafic	7	8	10
Tous types	36	49	54

Tableau 1 Nombre de stations de mesure des PM<sub>2.5</sub> par typologie (France métropolitaine)



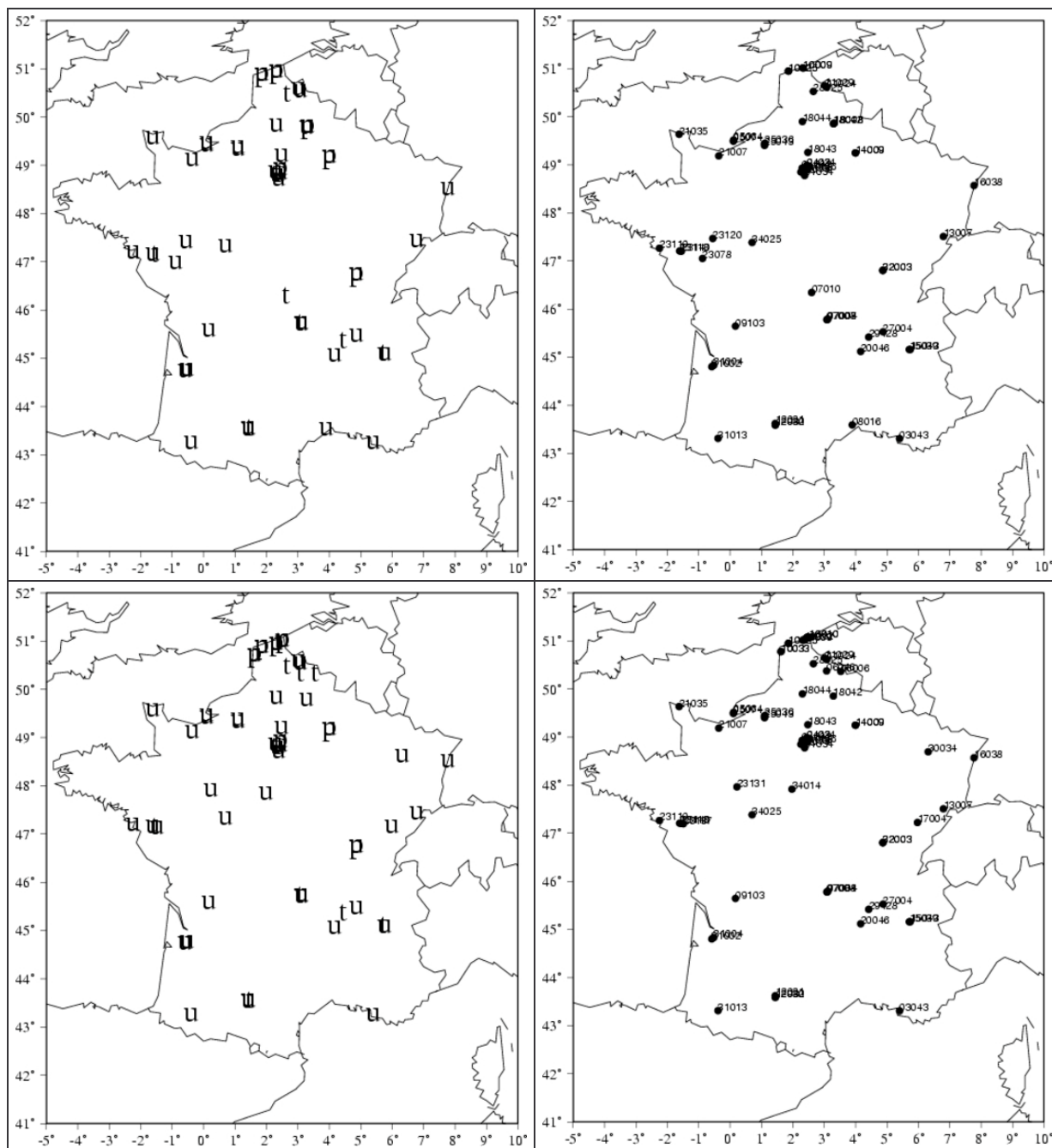


Figure 1 - Stations fixes de mesure des concentrations de  $PM_{2.5}$  en 2003, 2004 et 2005. Les stations périurbaines sont repérées par la lettre P ; Les stations urbaines par la lettre U ; les stations trafic par la lettre T.

## 3.2 STATISTIQUES ELEMENTAIRES

### 3.2.1 STATISTIQUES PAR STATIONS POUR CHAQUE REGION

Les histogrammes en fréquence des concentrations moyennes journalières de  $PM_{2.5}$  mesurées entre 2003 et 2005 dans une sélection de régions françaises ont été établis (en vert : stations périurbaines ; en bleu : stations urbaines ; en rouge : stations trafic). Chaque histogramme est établi à partir d'au moins 5 mois de mesure. Ils sont présentés en annexe 1 et commentés ci-après. Les statistiques annuelles relatives aux stations considérées (moyenne, écart-type, minimum,

maximum et percentiles) sont également indiquées dans les tableaux qui suivent, en distinguant chaque année.

De manière générale, la moyenne des concentrations journalières enregistrées le plus fréquemment chaque année par les sites urbains de fond appartient à l'intervalle 5-10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ou 10-15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (10-20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  à Marseille). Pour les sites trafic, les situations les plus fréquentes concernent des concentrations de 10-15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (10-20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  à Grenoble).

Les statistiques annuelles reportées dans les tableaux montrent une baisse globale des concentrations moyennes journalières entre 2003 et 2004/2005. En revanche, de 2004 à 2005, aucune évolution d'ensemble n'est détectée. Pour la plupart des stations, les données collectées durant ces deux années sont comparables en moyenne et en variance.

### Nord-Pas-de-Calais :

Station	type	Année	données journalières valides (%)	Moy ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Min ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	P50 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	P75 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	P95 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Max ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Ecart-type ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
10009	PU	2004	38.52	12.33	5.38	10.29	14.92	24.88	37.58	6.32
10009	PU	2005	77.81	14.07	4.75	11.88	16.65	29.26	51.96	7.33
10010	PU	2005	42.74	12.21	4.38	10.06	15.70	25.31	37.21	6.54
10025	PU	2003	95.07	14.71	4.67	12.22	17.39	30.25	47.38	7.73
10025	PU	2004	96.17	12.10	3.62	10.34	13.84	22.08	32.96	5.17
10025	PU	2005	90.69	12.53	4.74	11.38	14.27	24.15	49.79	5.92
10033	PU	2005	41.37	11.56	4.46	9.88	13.96	22.56	35.62	5.86
11024	U	2003	99.45	15.95	3.83	13.88	19.82	33.74	58.50	8.82
11024	U	2004	97.81	12.58	4.08	10.98	15.17	26.67	37.96	6.33
11024	U	2005	90.14	14.28	3.95	12.46	17.30	27.76	60.00	7.93
11029	U	2003	98.36	17.90	5.79	15.42	21.92	38.90	77.38	10.37
11029	U	2004	95.36	15.47	4.38	13.62	19.38	30.58	48.71	7.32
6006	T	2005	46.58	15.76	6.04	13.55	20.05	30.33	55.33	7.64

Dans le Nord Pas de Calais, globalement, les niveaux de concentrations et la variabilité des mesures sont moins élevées pour les stations périurbaines que pour les stations urbaines. En zone périurbaine, les concentrations varient majoritairement entre 5 et 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . En zone urbaine, les maxima de l'histogramme se déplacent vers l'intervalle 10-15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Il en est de même pour la station trafic, avec des fréquences d'apparition de concentrations supérieures à 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  plus importantes que dans les autres cas. Le comportement de la station 11029 est notable avec des concentrations particulièrement élevées, notamment par rapport à la station trafic n° 6006 (bien que les années de comparaison ne soient pas les mêmes).

**Picardie :**

Station	type	Année	données journalières valides (%)	Moy ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Min ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	P50 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	P75 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	P95 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Max ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Ecart-type ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
18008	PU	2003	93.97	13.81	4.42	12.21	17.07	27.19	42.50	6.72
18042	U	2004	86.89	12.81	4.33	11.52	16.23	24.10	31.33	5.60
18042	U	2005	97.81	13.04	3.39	11.88	15.79	23.83	37.65	5.71
18043	U	2004	42.35	13.88	3.52	12.71	17.06	23.84	41.04	6.24
18043	U	2005	86.58	13.48	3.17	11.83	16.84	25.12	44.04	6.37
18044	U	2004	24.32	14.88	6.25	13.42	17.75	25.80	39.92	6.13
18044	U	2005	90.41	14.51	5.83	12.88	17.17	26.73	44.39	6.36

En Picardie, les caractéristiques observées montrent une certaine homogénéité des valeurs obtenues, y compris pour la station périurbaine par rapport aux trois autres stations urbaines, réparties sur les principales agglomérations de la région.

**Ile-de-France :**

Station	type	Année	données journalières valides (%)	Moy ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Min ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	P50 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	P75 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	P95 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Max ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Ecart-type ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
4024	PU	2004	41.53	13.15	4.29	11.48	16.58	22.81	43.50	6.67
4024	PU	2005	46.03	13.33	4.29	11.60	16.46	26.24	42.25	6.33
4002	U	2003	94.25	15.14	2.70	13.04	27.69	31.16	47.54	8.32
4002	U	2004	94.26	13.09	2.50	11.62	21.65	25.24	59.12	6.99
4002	U	2005	93.42	13.19	3.54	11.62	21.88	25.25	42.54	6.54
4034	U	2003	75.07	15.61	3.87	14.38	25.69	30.06	47.46	7.42
4034	U	2004	94.81	12.41	2.91	11.25	20.06	22.47	36.73	5.55
4034	U	2005	94.52	13.22	2.75	11.75	22.01	24.61	41.17	6.20
4055	U	2003	88.22	15.56	5.00	14.06	25.81	29.78	42.75	7.15
4055	U	2004	87.70	13.64	4.36	12.50	21.41	23.62	54.70	6.26
4055	U	2005	83.84	14.33	3.60	12.58	23.04	27.97	38.25	6.54
4156	U	2003	97.53	14.92	3.96	13.06	19.02	28.29	46.83	7.34
4156	U	2004	94.26	13.15	3.00	12.04	16.04	23.31	46.42	6.09
4156	U	2005	91.23	13.38	3.50	11.79	16.65	24.89	36.04	6.03
4053	T	2003	90.41	27.96	9.17	26.48	33.00	45.46	61.17	9.02
4053	T	2004	92.08	26.23	7.21	25.50	31.30	40.82	60.83	8.31
4053	T	2005	93.42	26.29	10.71	25.09	31.25	41.67	54.17	8.48

L'historique dont on peut disposer sur ces stations montre que les concentrations étaient assez nettement plus élevées en 2003 qu'en 2004 et 2005. Pour ces deux dernières années les niveaux sont assez équivalents. Cette tendance s'observe également sur les écarts-types.

**Centre :**

Station	type	Année	données journalières valides (%)	Moy ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Min ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	P50 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	P75 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	P95 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Max ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Ecart-type ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
34014	U	2005	76.44	10.95	3.70	9.67	13.58	19.96	34.50	5.00
34025	U	2005	69.59	11.21	3.12	10.03	14.29	19.54	36.50	4.89

**Haute-Normandie :**

Station	Type	Année	données journalières valides (%)	Moy ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Min ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	P50 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	P75 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	P95 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Max ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Ecart-type ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
5064	U	2003	98.90	15.12	4.50	11.29	20.58	32.50	53.96	8.93
5064	U	2004	98.91	12.42	3.76	10.00	16.03	25.57	46.58	7.03
5064	U	2005	99.45	12.38	3.17	9.64	15.71	28.17	43.88	7.42
5074	U	2003	41.37	15.84	5.46	12.04	22.67	33.42	41.79	9.16
5074	U	2004	55.19	12.66	3.88	9.69	14.61	28.32	58.33	8.62
5074	U	2005	97.53	12.86	2.96	10.30	15.66	27.02	47.12	7.39
25036	U	2004	100.00	13.68	4.17	11.94	16.95	25.45	59.62	6.33
25036	U	2005	95.07	14.08	4.70	12.25	17.27	26.15	58.83	6.58
25043	U	2003	98.63	14.26	2.52	11.94	17.47	28.97	55.46	7.53
25043	U	2004	99.18	12.85	3.76	11.12	15.73	25.04	52.04	6.11
25043	U	2005	94.52	13.52	4.88	11.50	17.25	25.99	61.79	6.87

Des tendances similaires à celles observées en Ile-de-France sont constatées en Haute-Normandie, par rapport aux niveaux de concentrations plus élevés observés en 2003. On notera également deux comportements assez différents de stations urbaines: les stations 5064 et 5074 (Le Havre) d'une part qui mesurent le plus fréquemment des niveaux compris en 5 et 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  et les stations 25036 et 25043 (Rouen) qui mesurent plus fréquemment des concentrations supérieures à 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Les deux premières montrent aussi une plus grande variabilité dans leurs mesures.

**Basse-Normandie :**

Station	type	Année	données journalières valides (%)	Moy ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Min ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	P50 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	P75 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	P95 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Max ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Ecart-type ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
21007	U	2003	97.26	13.00	3.62	10.71	16.48	27.18	39.88	7.04
21007	U	2004	95.08	11.14	3.14	9.71	14.13	21.70	33.38	5.17
21007	U	2005	64.11	11.16	2.88	9.54	13.62	21.93	37.00	5.19
21035	U	2004	51.91	9.59	4.17	8.22	10.20	19.84	28.12	4.65
21035	U	2005	95.89	10.73	2.26	9.46	12.58	20.08	33.67	4.81

Avec la région Centre et les Pays de Loire, les niveaux de concentrations observés en Basse-Normandie sont parmi les plus faibles mesurés en France.

### Pays – de - Loire :

Station	type	Année	données journalières valides (%)	Moy ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Min ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	P50 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	P75 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	P95 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Max ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Ecart-type ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
23078	U	2004	56.83	9.36	2.33	8.17	11.57	17.22	30.50	4.26
23110	U	2004	71.31	9.35	2.50	8.25	11.27	16.46	24.96	3.96
23113	U	2003	95.34	12.16	3.06	10.40	14.84	25.00	37.54	6.18
23113	U	2004	94.54	10.54	3.90	9.19	13.09	19.61	35.62	4.72
23113	U	2005	86.30	9.84	2.83	8.83	12.15	18.04	29.61	4.61
23120	U	2003	69.59	12.30	4.24	10.64	15.55	23.93	30.75	5.63
23131	U	2005	38.90	9.34	3.14	7.77	11.88	19.10	29.08	4.76
23137	U	2005	41.37	10.84	4.50	9.54	13.74	20.55	26.46	4.95

Comme la Basse-Normandie et le Centre, la région des Pays de Loire se distingue par des niveaux de concentration moins élevés que ceux relevés plus à l'est du pays. La fréquence d'apparition la plus élevée concerne des concentrations variant de 5 à 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . L'année 2003, est cependant toujours marquée par des pics.

### Aquitaine :

Station	type	Année	données journalières valides (%)	Moy ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Min ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	P50 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	P75 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	P95 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Max ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Ecart-type ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
31002	U	2003	97.53	15.47	4.46	13.75	19.14	28.53	59.95	8.33
31002	U	2004	52.73	13.02	2.12	9.88	15.04	29.16	79.50	9.36
31002	U	2005	73.42	14.74	4.00	12.06	18.10	30.27	51.83	8.48
31004	U	2003	66.30	13.39	3.35	12.06	16.56	25.79	40.54	6.11
31004	U	2004	64.21	12.37	3.96	11.21	14.98	23.90	43.36	6.17
31004	U	2005	64.66	14.80	2.67	12.67	19.05	27.63	44.58	6.95
31013	U	2003	95.07	13.25	2.90	13.04	17.02	20.95	24.00	4.55
31013	U	2004	79.24	16.78	4.04	15.62	20.27	33.24	52.04	8.08
31013	U	2005	62.19	15.54	4.38	14.21	18.84	28.07	43.58	6.93

Curieusement, la tendance à la hausse observée pour les autres régions en 2003, ne se vérifie pas en Aquitaine. Les maxima de concentrations ont été constatés en 2004, année également caractérisée par une variabilité plus grande des mesures.



**Midi-Pyrénées :**

Station	type	Année	données journalières valides (%)	Moy ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Min ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	P50 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	P75 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	P95 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Max ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Ecart-type ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
12021	U	2004	85.52	12.75	3.00	11.70	15.67	22.44	39.88	5.37
12021	U	2005	75.89	12.79	3.62	11.50	16.04	23.06	40.12	5.85
12030	U	2004	31.69	12.56	3.43	11.54	15.82	23.56	28.71	5.40
12030	U	2005	93.70	13.42	3.29	11.71	17.19	25.27	58.83	7.20
12032	T	2005	73.97	14.66	3.45	13.23	18.65	26.41	49.92	6.77

**Provence – Alpes Côte d'Azur :**

Station	type	Année	données journalières valides (%)	Moy ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Min ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	P50 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	P75 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	P95 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Max ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Ecart-type ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
3043	U	2003	97.53	18.86	4.05	18.17	24.61	31.46	63.42	7.94
3043	U	2004	93.17	17.17	4.83	15.54	21.38	33.04	44.79	8.22
3043	U	2005	78.90	17.30	3.62	16.27	22.18	30.65	43.50	7.66

Une typologie assez différente du diagramme en fréquence est constatée en région PACA par rapport aux autres régions. Il y a nettement plus de concentrations variant de 15 à 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Les niveaux de concentrations observés sont également plus élevés (par rapport aux autres stations urbaines et périurbaines).

**Rhône-Alpes :**

Station	type	Année	données journalières valides (%)	Moy ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Min ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	P50 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	P75 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	P95 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Max ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Ecart-type ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
15043	U	2003	93.42	17.23	3.35	14.92	22.42	35.67	51.29	9.50
15043	U	2004	98.09	15.03	3.09	12.67	18.38	33.52	61.91	9.17
15043	U	2005	83.84	16.29	3.38	15.57	21.32	32.31	48.62	8.47
15039	T	2003	97.81	22.18	4.96	20.46	27.00	40.14	59.00	9.07
15039	T	2004	94.81	20.58	5.74	18.54	24.59	37.14	62.54	8.91
15039	T	2005	87.95	20.61	3.96	19.67	25.96	35.54	52.08	8.29
20046	U	2004	62.02	13.54	3.75	12.29	16.02	26.22	58.83	7.33
20046	U	2005	92.88	14.83	2.42	12.50	18.62	31.68	53.71	8.17
27004	U	2004	98.63	14.82	4.17	13.08	18.88	28.75	61.04	7.61
27004	U	2005	91.78	15.41	3.05	13.58	18.94	33.19	53.29	8.11
29428	T	2004	92.35	12.13	2.95	11.31	15.27	23.21	32.46	5.70
29428	T	2005	91.23	13.99	3.04	13.38	17.17	22.73	32.13	5.01

La station trafic 15039 fait état de concentrations particulièrement élevées (concentrations de 15 à 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  les plus fréquentes). Une assez grande

variabilité des concentrations moyennes et des écarts-types peut être notée d'une station à une autre.

### Alsace :

Station	type	Année	données journalières valides (%)	Moy (µg/m <sup>3</sup> )	Min (µg/m <sup>3</sup> )	P50 (µg/m <sup>3</sup> )	P75 (µg/m <sup>3</sup> )	P95 (µg/m <sup>3</sup> )	Max (µg/m <sup>3</sup> )	Ecart-type (µg/m <sup>3</sup> )
16038	U	2003	97.53	16.92	3.33	14.60	20.68	34.19	67.29	9.53
16038	U	2004	90.71	13.83	2.75	13.17	17.28	25.01	44.29	6.15
16038	U	2005	89.86	15.11	3.58	13.31	18.52	29.29	49.33	7.48

### 3.2.2 STATISTIQUES PAR REGION ET PAR TYPE DE STATION

Les moyennes des concentrations journalières par région et par années indiquées dans le tableau 2 sont calculées en pondérant chaque station par son taux de fonctionnement :

$$m_k = \frac{\sum_{i \in \text{type } k} n_i \cdot m_i}{\sum_{i \in \text{type } k} n_i} \text{ où } k \text{ est le type de site (PU, U, T)}$$

$n_i$  : nombre de mesures valides aux stations de type k

$m_i$  : moyennes aux stations de type k

Le nombre de stations pour une région et une typologie données peut varier d'une année à l'autre.

	Nord-P. de C.	Picardie	Ile-de-France	Centre	Hte-Norm.	Basse-Norm.	Pays de Loire	Aquitaine	Midi-Pyrénées	PACA	Rhône-Alpes	Alsace
2003-PU	14.7	13.8										
2003-U	16.9		15.3		15.1	13.0	12.2	14.1		18.9	17.2	16.9
2003-T			28.0				14.2				21.2	
2004-PU	12.2	11.2	13.2									
2004-U	14.0	13.4	13.1		12.9	10.6	9.90	14.3	12.7	17.2	14.6	13.8
2004-T	13.9		26.2				12.9		13.7		16.4	
2005-PU	14.3		13.3									
2005-U	12.8	13.7	13.5	11.1	13.2	10.9	10.0	15.0	13.1	17.3	15.5	15.1
2005-T	15.1		26.3				13.2		14.7		17.2	

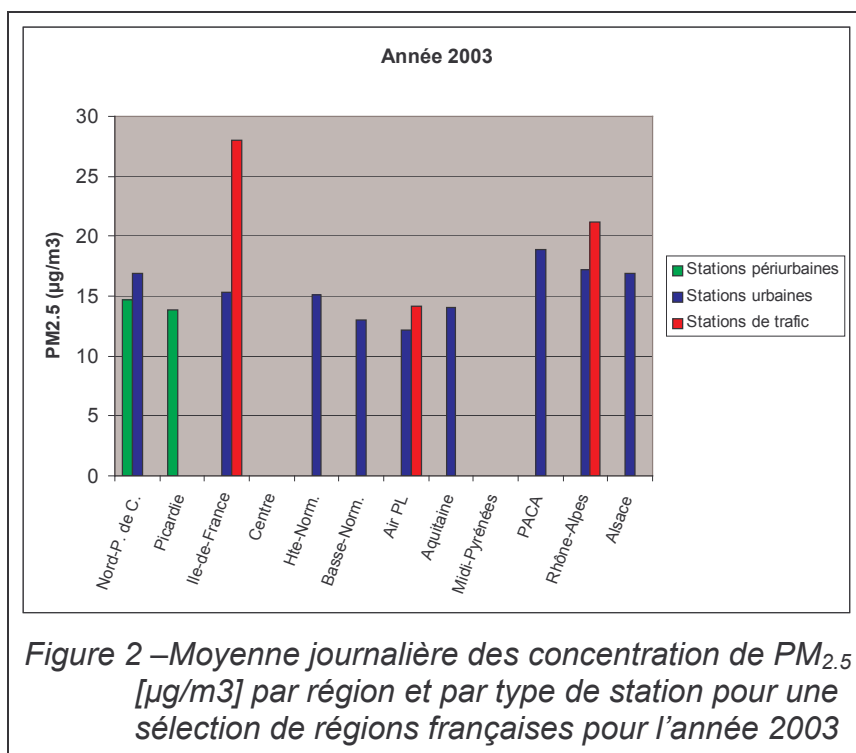
Tableau 2 - Concentrations moyennes de  $PM_{2.5}$  dans quelques régions françaises

D'une année sur l'autre, en ce qui concerne la concentration moyenne journalière de PM<sub>2.5</sub>, les régions se classent de la même manière les unes par rapport aux autres (Tableau 2). PACA, Rhône-Alpes et Aquitaine, Nord-Pas-de-Calais et l'Alsace se distinguent par des niveaux relativement élevés tandis que Centre, Basse-Normandie et Pays de Loire présentent les valeurs les plus faibles. L'Ouest de la France est ainsi nettement moins exposé, avec en Basse-Normandie et en Pays – de - Loire, des concentrations inférieures de 5 à 7 µg/m<sup>3</sup> par rapport aux régions de l'Est. Les régions du Nord et du Centre ont des niveaux de concentration médians (de 12 à 14 µg/m<sup>3</sup>). La situation de l'Aquitaine se distingue par les niveaux les plus élevés à l'Ouest du pays, comparables à ceux de l'Alsace.

La figure 2 permet de procéder facilement à une comparaison des situations dans les différentes régions françaises pour les années 2003 à 2005.

La spécificité de l'année 2003, avec des concentrations de PM<sub>2.5</sub> plus élevées apparaît partout sauf en Aquitaine. Ce constat est d'autant plus étonnant que cette région avait été touchée de la même façon que les autres par les effets de la canicule, avec une production photochimique particulièrement importante.

Les concentrations les plus élevées sont mesurées aux stations trafic. A noter qu'en Ile de France les mesures disponibles dépassent toujours, en moyenne, le niveau de 25 µg/m<sup>3</sup>.



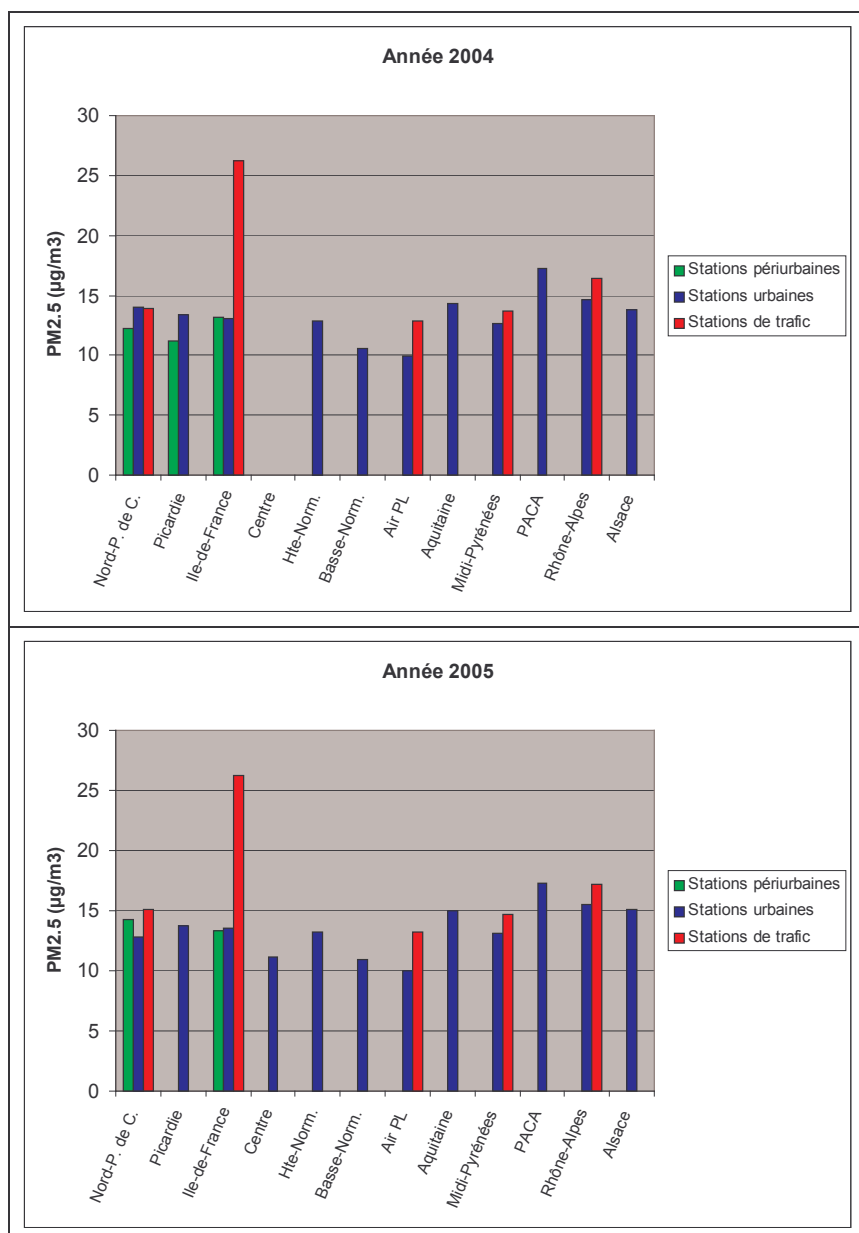


Figure 3 – Moyenne journalière des concentrations de  $PM_{2.5}$  [ $\mu g/m^3$ ] par région et par type de station pour une sélection de régions françaises pour les années 2004 et 2005

### 3.3 PROFILS TEMPORELS

L'analyse temporelle est effectuée pour les séries de mesures journalières qui présentent plus de 900 données valides sur les années 2003, 2004 et 2005. Le Tableau 3 ci-dessous recense les stations respectant cette contrainte :

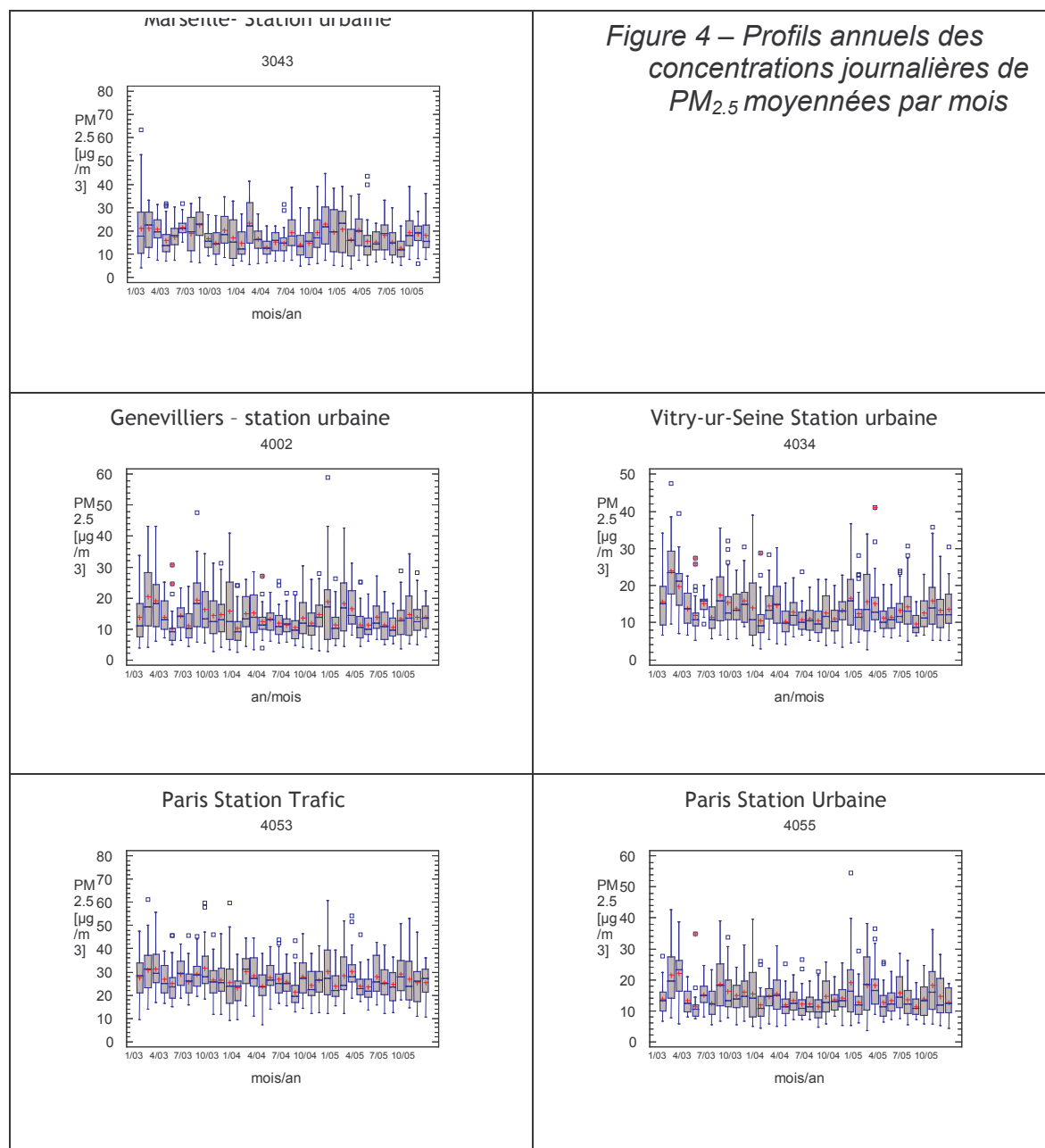
Numéro de la station	Désignation	Ville	Région	Typologie
3043	Cinq_Avenues	Marseille	PACA	urbaine
4002	Gennevilliers	Gennevilliers	Ile-de-France	urbaine
4034	Vitry-sur-Seine	Vitry-sur-Seine	Ile-de-France	urbaine
4053	Boulevard_peripherique_Auteuil	Paris	Ile-de-France	trafic
4055	Paris_1er_Les_Halles	Paris	Ile-de-France	urbaine
4156	Bobigny	Bobigny	Ile-de-France	urbaine
5064	BLEV_Maison_Jardins	Le Havre	Haute-Normandie	urbaine
7004	Clermont- Ferrand	Clermont-Ferrand	Auvergne	urbaine
7008	Dellile_Visitation	Clermont-Ferrand	Auvergne	urbaine
10025	Sangatte	Sangatte	Nord - Pas de Calais	périurbaine
11024	Faidherbe	Lille	Nord - Pas de Calais	urbaine
15039	Le_Rondeau	Grenoble	Rhône-Alpes	trafic
15043	Grenoble_Les_Frenes	Grenoble	Rhône-Alpes	urbaine
16038	STG_Est	Strasbourg	Alsace	urbaine
21007	Caen_Tour_Leroy	Caen	Basse-Normandie	urbaine
23113	Square_de_la_Gironde	Nantes	Pays de la Loire	urbaine
25036	Espace_du_Palais	Rouen	Haute-Normandie	urbaine
25043	Centre_Hospitalier	Rouen	Haute-Normandie	urbaine

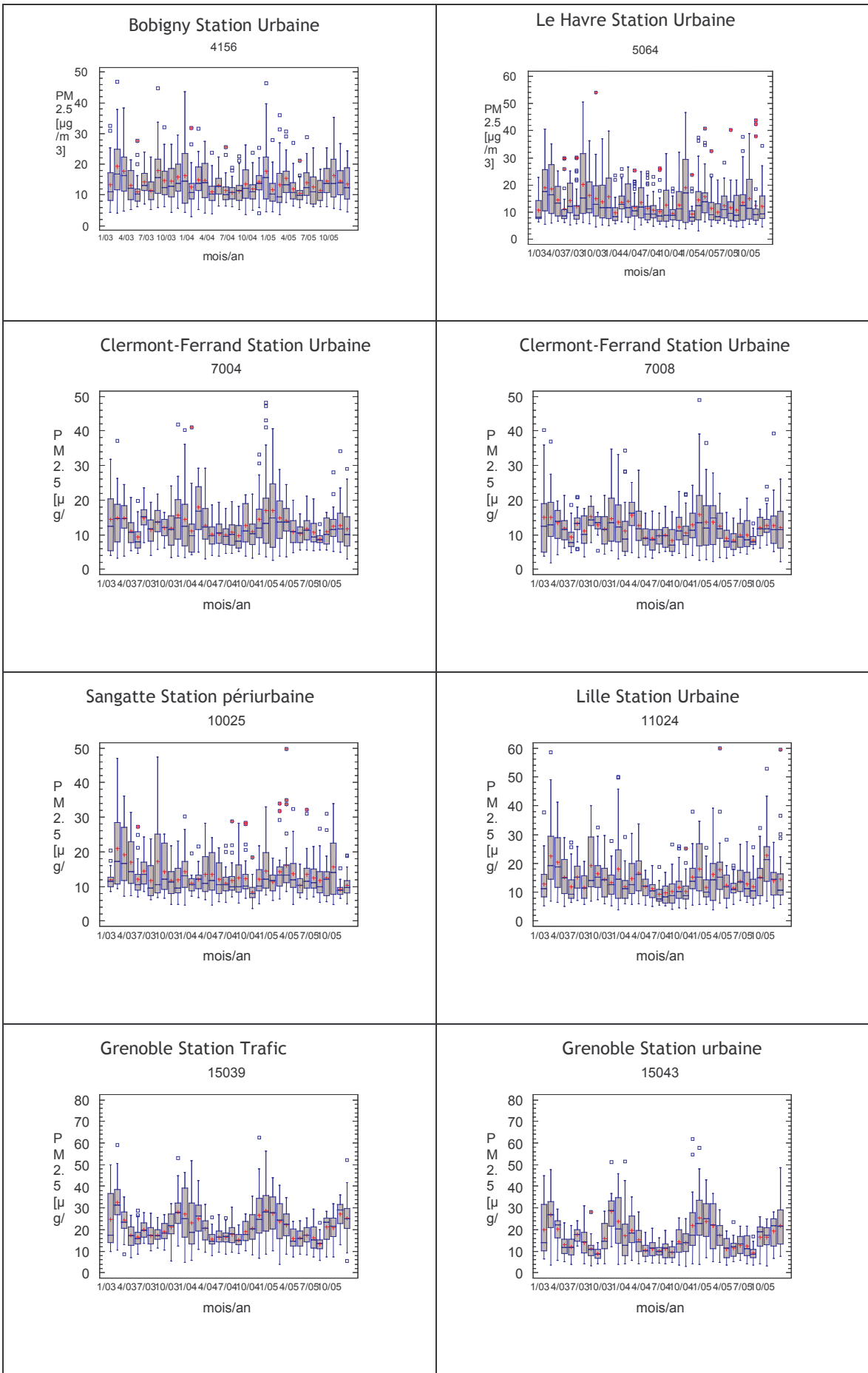
Tableau 3 – Liste des stations considérées dans l'étude temporelle

### 3.3.1 PROFILS ANNUELS POUR LES ANNEES 2003, 2004 ET 2005

Chaque « boîte à moustaches » représente, pour le mois indiqué en abscisse, le minimum, le centile 25, la médiane, le centile 75, le maximum (hors valeurs extrêmes) et la moyenne (croix rouge) des concentrations journalières mesurées durant ce mois (Figure 5).

Les valeurs les plus éloignées des distributions statistiques sont indiquées par des carrés.





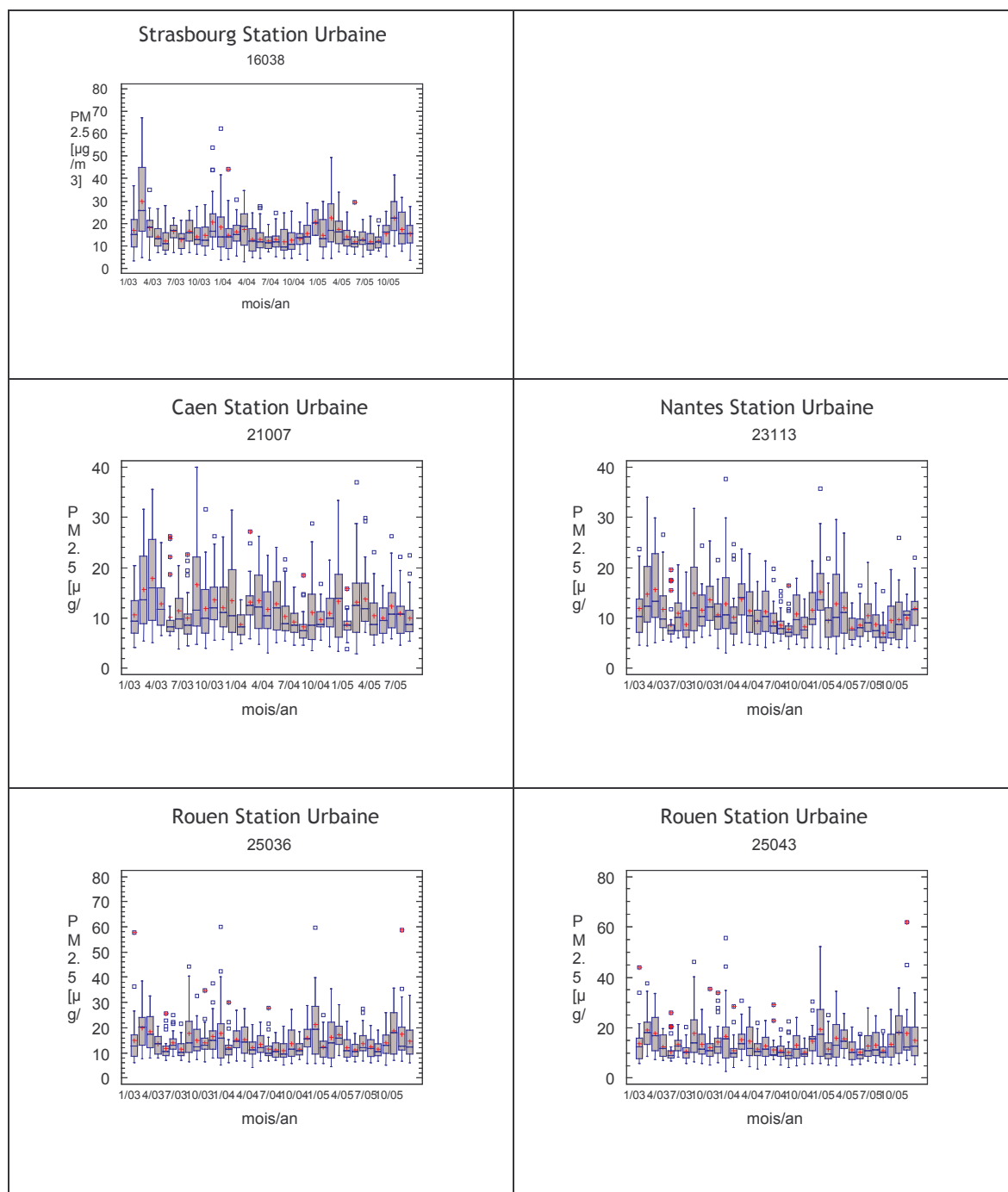


Figure 5 – Profils annuels des concentrations journalières de  $PM_{2.5}$  moyennées par mois

On retient de cette analyse les enseignements suivants :

- Les séries issues de stations proches géographiquement se ressemblent.
- Les stations trafic ne se différencient pas des autres sites par l'allure générale de leur profil annuel mais les niveaux moyens mensuels de concentration sont plus élevés (comparer 4053 à 4055 ; 15039 à 15043). On peut cependant noter que la station du périphérique parisien a une variabilité temporelle moins marquée.



- Le cycle annuel des concentrations comprend deux périodes avec de plus forts niveaux : en mars-avril et novembre-décembre. Les concentrations les plus faibles apparaissent en janvier (excepté à Clermont-Ferrand) et pendant les mois d'été (juin à août). La situation au mois de septembre est généralement variable d'une station à l'autre. On notera aussi les niveaux exceptionnellement élevés d'août 2003, certainement dus à la canicule. Cette situation se répète pour quasiment toutes les stations. Cependant le cycle annuel des concentrations est particulièrement net à Grenoble et à Strasbourg. Pour les autres stations, il semble en partie masqué par la variabilité des concentrations ou n'est pas discernable.

### **3.3.2 PROFILS HEBDOMADAIRES**

Afin de s'affranchir de l'effet saisonnier, les profils hebdomadaires sont représentés et étudiés trimestre par trimestre. On trouvera en annexe 3 les représentations graphiques réalisées.

D'une façon générale, la variabilité des concentrations moyennes journalières en fonction des jours de la semaine est assez marquée, particulièrement pendant les mois d'hiver et parfois d'automne, alors que les profils sont relativement plats pendant l'été. Les modalités observées varient significativement d'un site à l'autre. Cependant des points communs peuvent être enregistrés pour des stations localisées dans une même zone géographique. Excepté à la station du Havre, les concentrations moyennes en hiver sont toujours nettement plus importantes que durant les autres saisons.

Pour les stations influencées par le trafic, les concentrations diminuent en moyenne le week-end. Pour les autres sites, cet effet n'est pas visible ou il est moins prononcé ; les profils sont relativement plats pendant l'été.

## **4. SIGNAL URBAIN SUR LES CONCENTRATIONS DE PM<sub>2.5</sub>**

### **4.1 MESURES DE PM<sub>2.5</sub> DISPONIBLES SUR DES SITES JUMENTAUX**

Afin de mettre en évidence un signal urbain sur les concentrations de PM<sub>2.5</sub> (i.e. une augmentation systématique de concentration par rapport aux situations périurbaines et rurales), on compare les niveaux de ce polluant sur des sites « jumeaux » de mesure; c'est-à-dire un site urbain et un site périurbain – à défaut de rural - à proximité. Ces sites doivent se situer dans une même zone géographique reliée à une agglomération, l'un en centre ville et l'autre en périphérie lointaine. Sur la période étudiée, les régions suivantes disposent de plusieurs points de mesures de PM<sub>2.5</sub>, dont au moins un périurbain. Les années de mesure ne sont pas nécessairement complètes.

## Ile-de-France :

04002	48.93	2.29	28	GENNEVILLIERS	urbaine	2003, 2004, 2005
04024	48.99	2.44	65	GONESSE	periurbaine	2004, 2005
04034	48.78	2.38	95	VITRY-SUR-SEINE	urbaine	2003, 2004, 2005
04055	48.86	2.35	35	PARIS_1er_Les_Halles	urbaine	2003, 2004, 2005
04156	48.90	2.45	51	BOBIGNY	urbaine	2003, 2004, 2005

## Nord :

10009	51.01	2.33		Petite_Synthe	periurbaine	2004, 2005
10010	51.07	2.53		Bray-Dunes	periurbaine	2005
10025	50.95	1.86		Sangatte	periurbaine	2003, 2004, 2005
10033	50.78	1.62		Wimereux	periurbaine	2005
11024	50.62	3.08		FAIDHERBE (Lille)	urbaine	2003, 2004, 2005
11029	50.64	3.02		Lomme/Victor_Hugo (Lille)	urbaine	2003, 2004, (2005)

## Champagne-Ardenne :

Il existe des sites jumeaux, mais ils n'ont pas fait l'objet de mesures de PM25 concomitantes.

14009	49.25	3.99	70	Tinqueux	periurbaine	2003, 2004, 2005
14041	48.65	4.97	150	Saint_Dizier	urbaine	2003

## Picardie :

Il existe des sites jumeaux, mais ils n'ont pas fait l'objet de mesures de PM25 concomitantes.

18008	49.86	3.31	87	Paul_Bert_ST_QUENTIN	periurbaine	2003, (2004)
18042	49.85	3.28	102	ROTH_Saint_Q uentin	urbaine	2004, 2005
18043	49.26	2.47	28	CREIL_FAIENCERIE	urbaine	2004, 2005
18044	49.90	2.30	24	Amiens_Saint_L eu	urbaine	2004, 2005

## 4.2 INDICATEURS STATISTIQUES

On compare les concentrations journalières de PM2.5, à l'aide des indicateurs suivants :

$$Nbias = \frac{1}{N} \sum_i \left( \frac{y_i - x_i}{x_i} \right)$$

$$Var\ ratio = \frac{\frac{1}{N} \sum_i \left( \frac{x_i - \bar{x}}{x_i} \right)^2}{\frac{1}{N} \sum_i \left( \frac{y_i - \bar{y}}{y_i} \right)^2}$$

où la série x correspond aux concentrations périurbaines de PM2.5, la série y aux concentrations urbaines de PM2.5.

L'indicateur appelé « Nbias » mesure « l'incrément » urbain relativement aux concentrations périurbaines.

L'indicateur appelé « var ratio » permet de comparer les variabilités temporelles des deux séries :

- un *var ratio* inférieur à 1 indique que la série urbaine présente une variabilité plus grande que la série périurbaine.
- A l'inverse, un *var ratio* supérieur à 1 indique que la série périurbaine est plus variable que la série urbaine.

Les tableaux suivants présentent les statistiques obtenues pour les sites jumeaux – couples stations urbaines/stations périurbaines - identifiés ci-dessus (ceux pour lesquels des mesures concomitantes sont bien disponibles).

Remarque : la moyenne indiquée pour un même site et une même période globale peut différer selon la ligne du tableau parce qu'elle est calculée sur la période commune site urbain/site périurbain.

Nord :

Site 1 périurbain		Site2 urbain		Moy1 µg/m <sup>3</sup>	Moy2 µg/m <sup>3</sup>	Nbiais * %	Var ratio	Corr	Nobs
				2003-2005					
10025	Sangatte	11024	FAIDHERBE	13.1	14.3	12.1*	0.76	0.76	1011
10025	Sangatte	11029	Lomme/Victor_Hugo	13.5	16.7	29.2	0.87	0.74	681
10009	Petite-Synthe	11024	FAIDHERBE	13.4	13.7	4.3	0.82	0.80	414
10009	Petite-Synthe	11029	Lomme/Victor_Hugo	12.1	16.1	36.2	0.89	0.79	142
				Été 2003-2005					
10025	Sangatte	11024	FAIDHERBE	12.6	12.3	-0.4	0.85	0.83	355
10025	Sangatte	11029	Lomme/Victor_Hugo	13.0	14.4	15.5	1.10	0.88	229
10009	Petite-Synthe	11024	FAIDHERBE	12.5	11.4	-6.6	0.85	0.81	116
10009	Petite-Synthe	11029	Lomme/Victor_Hugo	11.0	11.8	11.1	1.16	0.95	22
				Hiver 2003-2005					
10025	Sangatte	11024	FAIDHERBE	12.9	15.5	22.0	<b>0.60</b>	0.74	321
10025	Sangatte	11029	Lomme/Victor_Hugo	13.7	19.6	46.0	<b>0.64</b>	0.72	215
10009	Petite-Synthe	11024	FAIDHERBE	13.7	14.8	10.3	<b>0.77</b>	0.75	142
10009	Petite-Synthe	11029	Lomme/Victor_Hugo	14.2	20.3	53.1	0.99	0.91	59

*Tableau 4 - Statistiques élémentaires calculées sur les années 2003-2004-2005 pour les sites jumeaux identifiés dans les zones de Lille et de Calais. Les statistiques élémentaires ont été également calculées en distinguant périodes estivale et hivernale.*

\*On donne en réalité la différence entre Nbiais et 100% : une valeur positive de +12,1 correspond à un incrément urbain moyen de 12,1%.

On note une bonne corrélation des concentrations moyennes journalières de PM<sub>2.5</sub> entre les sites jumeaux étudiés, et ce, même si le site périurbain est relativement distant des deux sites urbains. Les corrélations sont plus élevées en été qu'en hiver. Les concentrations moyennes journalières de PM<sub>2.5</sub> sont sensiblement moins variables en hiver sur le site périurbain de Sangatte que sur les sites urbains associés (var ratio de l'ordre de 60%).

Les sites urbains sont peu distants l'un de l'autre mais les statistiques élémentaires sont différentes : le site de Lomme/Victor\_Hugo est plus éloigné en comportement des sites de Sangatte ou Petite-Synthe que FAIDHERBE. Les concentrations mesurées y sont plus élevées en hiver (on dispose néanmoins d'un nombre réduit de mesures).

Le signal urbain est très variable en fonction des stations considérées. Il est toujours plus marqué pour Lomme/Victor\_Hugo. Les concentrations en PM<sub>2.5</sub> peuvent être plus élevées aux stations urbaines de 4 à 36% en moyenne annuelle, ce signal variant de 10 à 53% en hiver. Il faut noter le comportement surprenant de la station Faidherbe en été qui voit ses concentrations diminuer sensiblement par rapport aux stations périurbaines.

### Ile de France :

Site 1 périurbain		Site2 urbain		Moy1	Moy2	Nbiais (%)	Var ratio	Corr	Nobs
				2003-2005					
04024	Gonesse	04002	GENNEVILLIERS	13.4	14.0	3.7	0.74	0.93	305
04024	Gonesse	04034	VITRY-SUR-SEINE	13.3	13.3	1.5	0.93	0.93	308
04024	Gonesse	04055	PARIS_1er_Les Halles	13.7	15.1	11.4	0.99	0.93	268
04024	Gonesse	04156	BOBIGNY	13.2	13.5	4.0	0.89	0.95	294
				Eté 2003-2005					
04024	Gonesse	04002	GENNEVILLIERS	10.8	11.9	11.1	0.95	0.97	100
04024	Gonesse	04034	VITRY-SUR-SEINE	10.9	12.0	11.1	1.01	0.94	96
04024	Gonesse	04055	PARIS_1er_Les Halles	11.1	13.4	22.3	1.01	0.95	88
04024	Gonesse	04156	BOBIGNY	10.7	12.1	14.1	1.05	0.95	94
				Hiver 2003-2005					
04024	Gonesse	04002	GENNEVILLIERS	16.2	16.3	-3.8	<b>0.54</b>	0.93	104
04024	Gonesse	04034	VITRY-SUR-SEINE	15.6	14.9	-4.6	<b>0.79</b>	0.95	107
04024	Gonesse	04055	PARIS_1er_Les Halles	16.1	16.5	2.3	<b>0.87</b>	0.94	102
04024	Gonesse	04156	BOBIGNY	15.6	14.9	-5.6	<b>0.71</b>	0.97	101

*Tableau 5 - Même statistiques que dans le Tableau 4 pour les sites jumeaux urbains/périurbains identifiés en région parisienne.*

Quelle que soit la saison, on note une excellente corrélation – toujours supérieure à 0.90 - des concentrations moyennes journalières de PM<sub>2.5</sub> entre les sites jumeaux étudiés. Cette corrélation est confirmée par la visualisation des séries temporelles (Figure à Figure 7). Ceci indique que les niveaux de fond en PM<sub>2.5</sub> varient de la même manière pour les deux sites jumeaux.

En revanche, l'écart entre les mesures urbaines et périurbaines diffère nettement selon la saison :

- L'été, les concentrations journalières de  $PM_{2.5}$  mesurées aux sites urbains sont supérieures en moyenne aux valeurs observées sur le site périurbain de référence (de 11% à 15% pour les sites urbains de banlieue, de 22% pour le site de centre-ville Paris 1<sup>er</sup> Les Halles) mais elles sont légèrement moins variables dans le temps (sauf Gennevilliers).
- L'hiver, le comportement est inverse : les concentrations journalières de  $PM_{2.5}$  mesurées aux sites urbains sont peu différentes en moyenne des valeurs observées sur le site périurbain de référence (inférieures de 3% à 6% pour les sites urbains de banlieue, supérieures de 2,3% pour le site de centre-ville Paris 1<sup>er</sup> Les Halles) mais elles sont plus variables dans le temps (var ratio de l'ordre de 70 à 90% ; de 50% pour Gennevilliers).
- En moyenne annuelle, le signal urbain se traduit par des concentrations journalières plus élevées de 11,4% environ dans Paris Centre (station des Halles) et de 1,5 à 4% pour les stations de banlieue.

### 4.3 SERIES TEMPORELLES

Les statistiques du paragraphe précédent peuvent être illustrées par des séries temporelles comme présentées aux figures 4 et 5 pour les sites de la région Nord et les années 2003 et 2005 respectivement. Les sites parisiens pour les années 2004 et 2005 sont représentés aux figures 6 et 7.

Dans ce qui suit, les pastilles représentent les concentrations aux sites périurbains et les traits pleins les concentrations aux sites urbains. L'excellente corrélation entre les concentrations de  $PM_{2.5}$  apparaît nettement sur tous les graphiques.

#### Nord

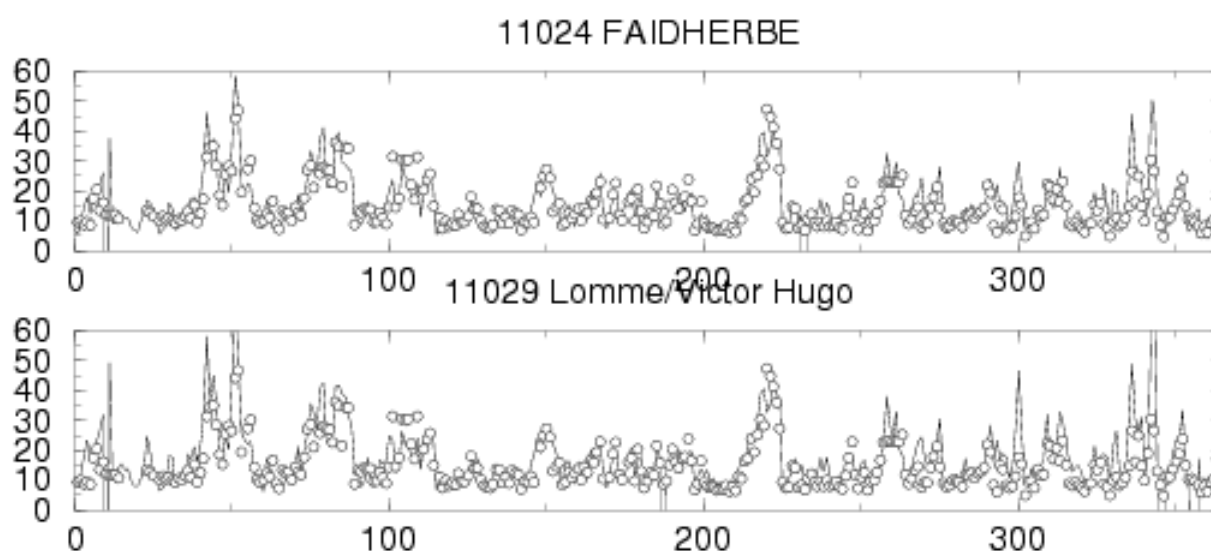


Figure 4 - Séries temporelles des concentrations moyennes journalières de  $PM_{2.5}$ , pour l'année 2003, pour les sites jumeaux FAIDHERBE/Sangatte et Lomme/Victor\_Hugo/Sangatte. Les observations sur le site périurbain de Sangatte sont représentées par les pastilles ; celles sur les sites urbains sont en traits pleins.

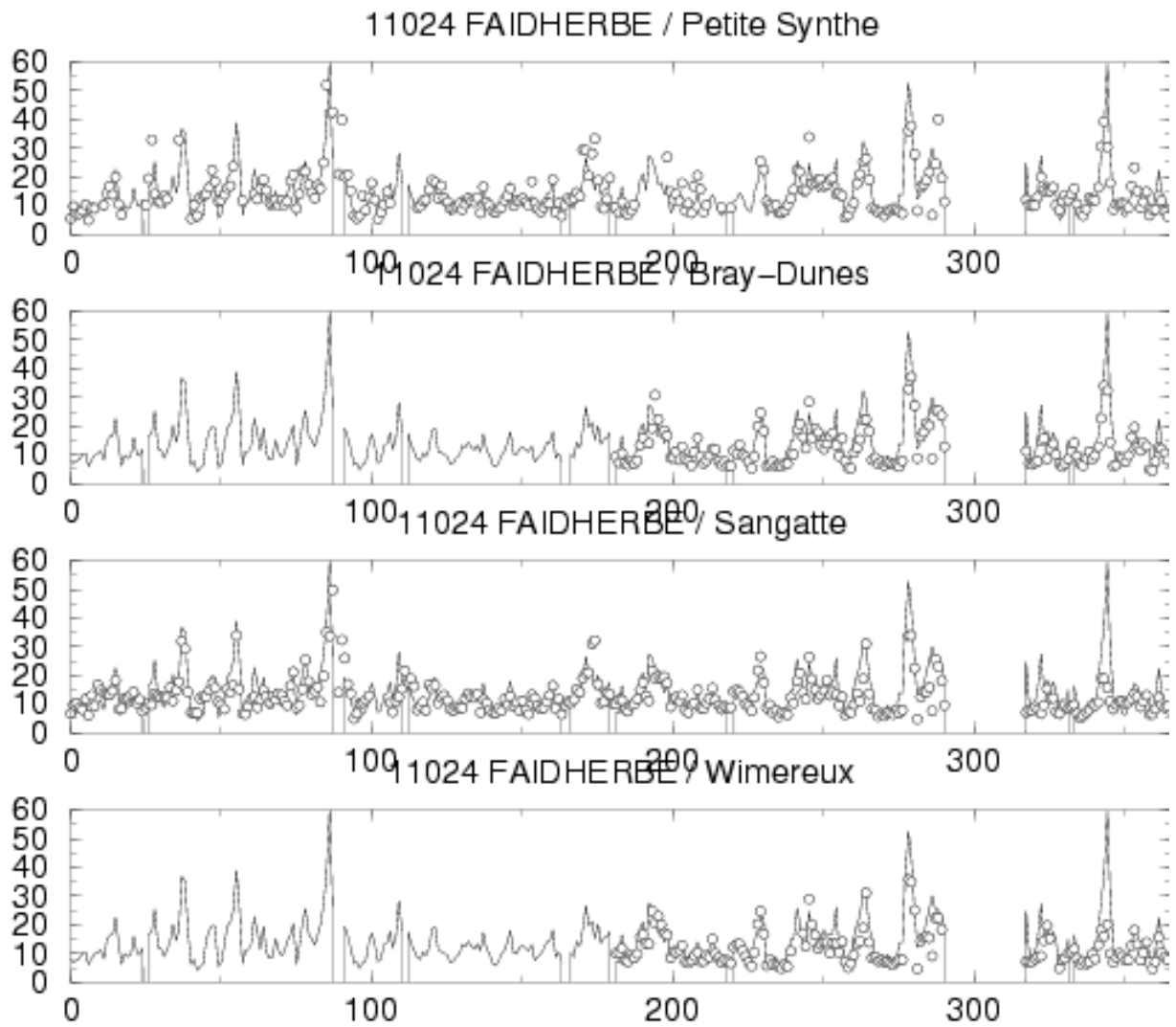


Figure 5 - Même chose qu'en Figure , pour l'année 2005, pour les sites jumeaux FAIDHERBE/Petite\_Synthe, FAIDHERBE/Bray-Dunes, FAIDHERBE/Sangatte et FAIDHERBE/Wimereux.

Ile-de-France :

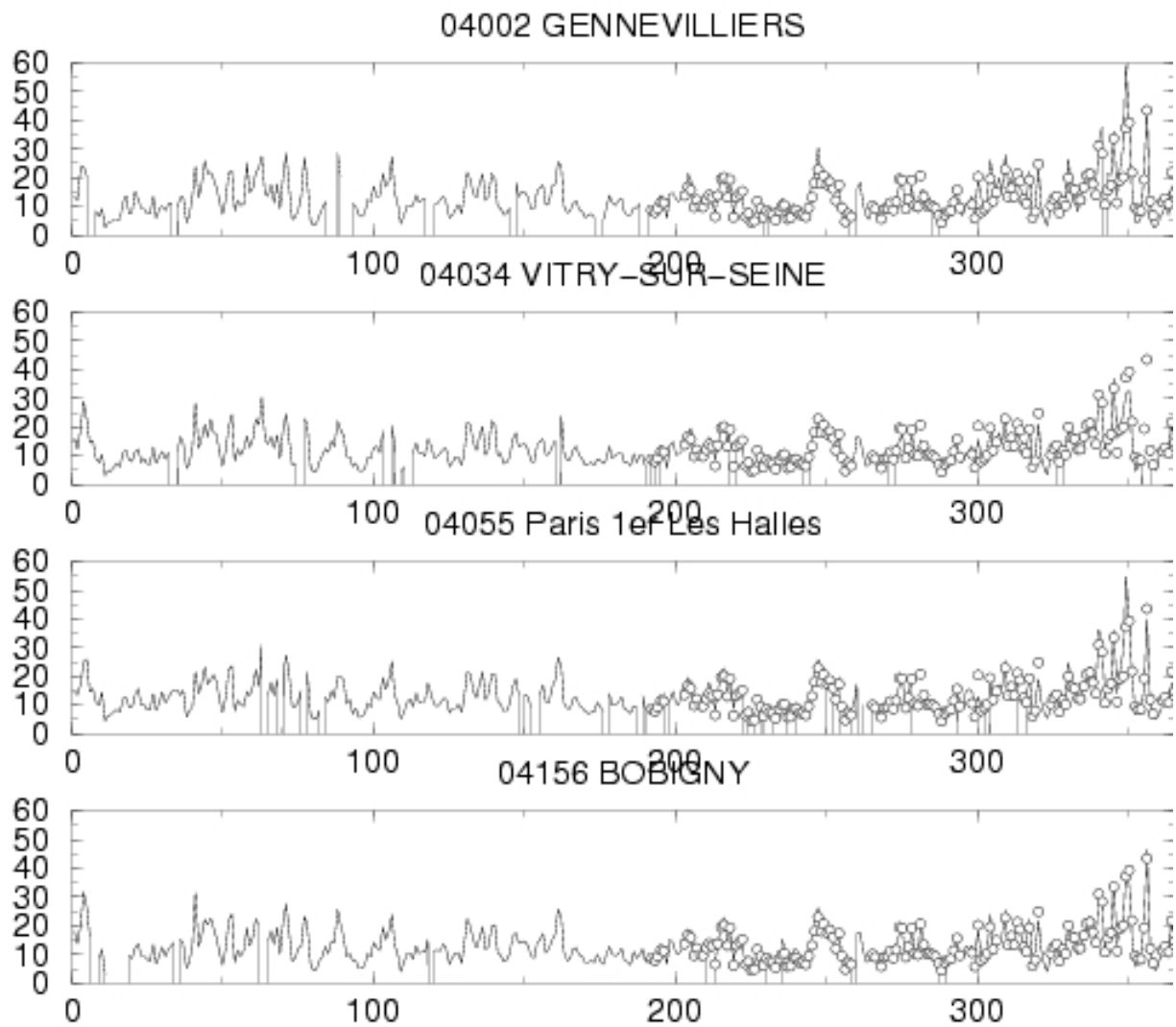


Figure 6 – Séries temporelles des concentrations moyennes de PM<sub>2.5</sub>, pour l'année 2004, pour les sites jumeaux GENNEVILLIERS/GONESSE, VITRY-SUR-SEINE/GONESSE, Paris\_1<sup>er</sup>\_Les\_Halles/GONESSE et BOBIGNY/GONESSE.



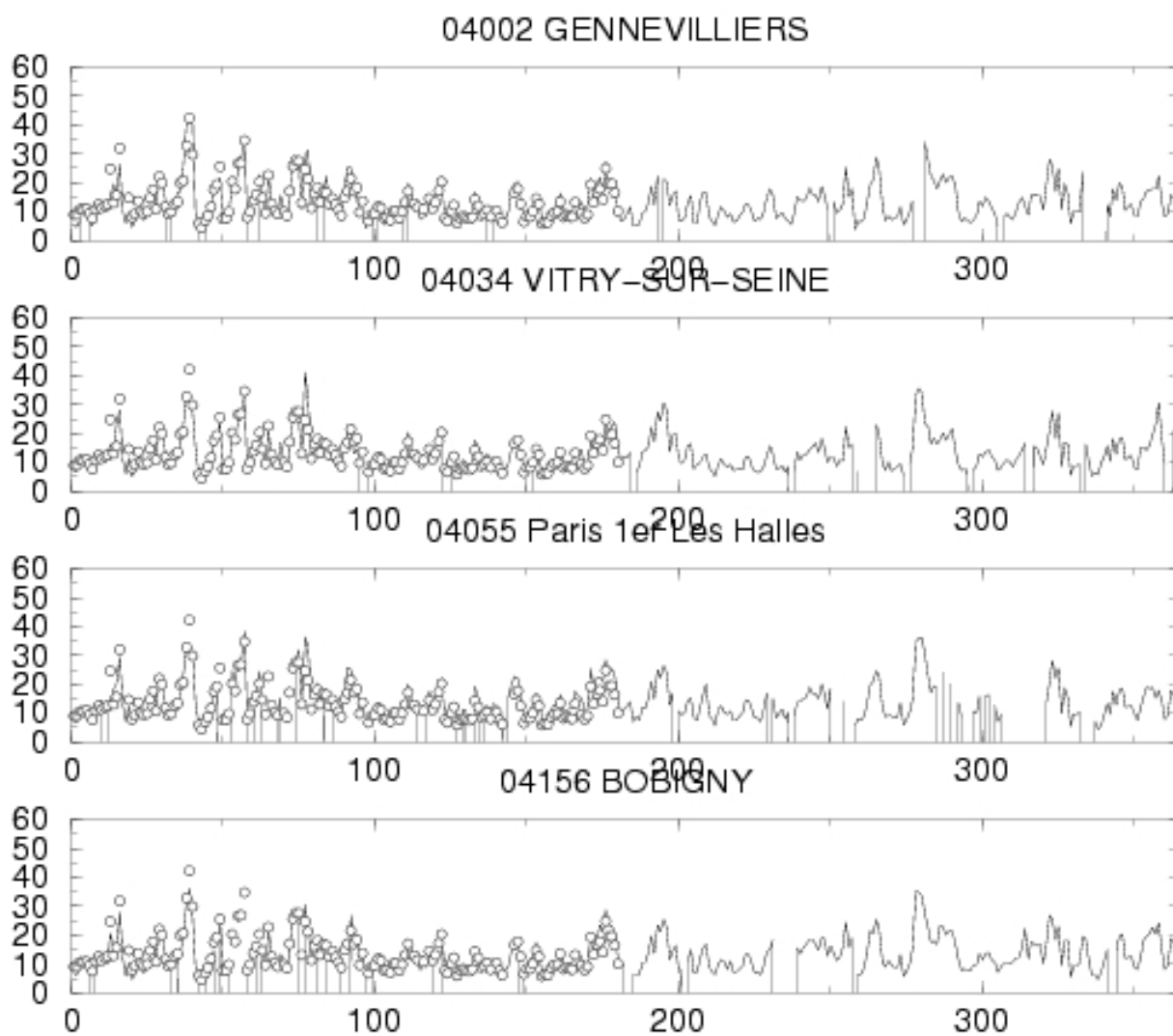


Figure 7 - Séries temporelles des concentrations moyennes de PM2.5, pour l'année 2005, pour les sites jumeaux GENNEVILLIERS/GONESSE, VITRY-SUR-SEINE/GONESSE, Paris\_1<sup>er</sup>\_Les\_Halles/GONESSE et BOBIGNY/GONESSE.

## 5. CORRELATIONS ET RATIOS ENTRE CONCENTRATIONS DE PM<sub>2.5</sub> ET DE PM<sub>10</sub>

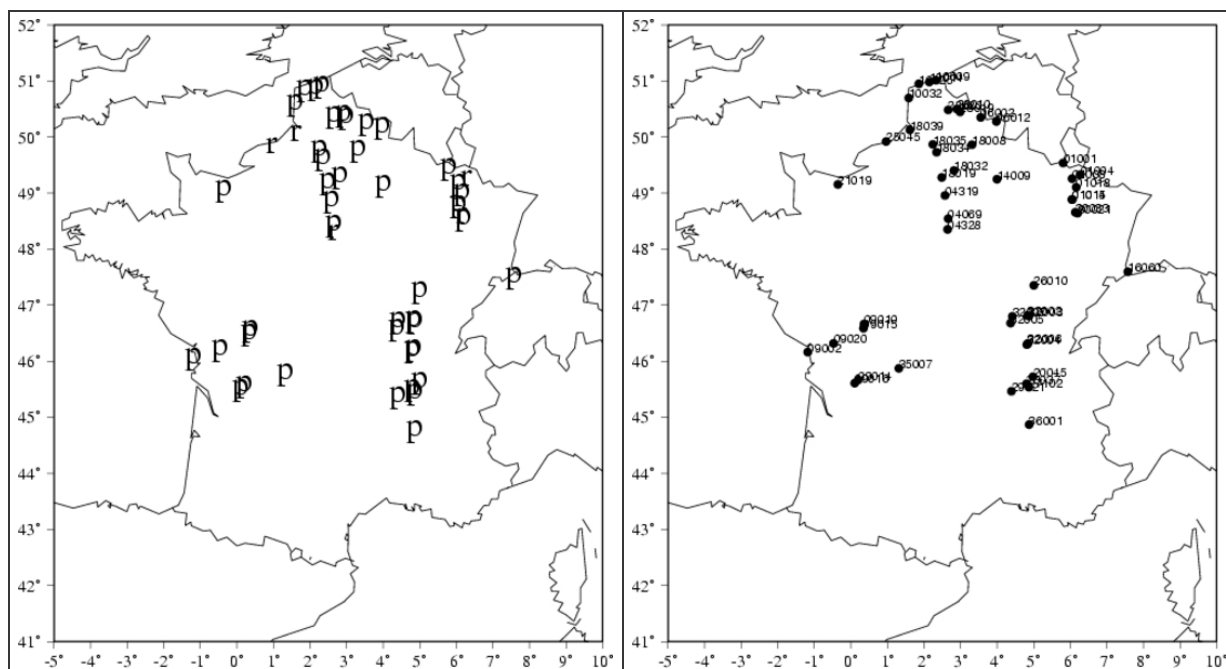
Les données de PM<sub>10</sub> sont exploitées. On commence par effectuer un recensement des sites de mesures communs aux espèces PM<sub>2.5</sub> et PM<sub>10</sub>. On présente ensuite des statistiques élémentaires calculées sur les concentrations de PM<sub>10</sub>. Enfin, les liens possibles (corrélations entre concentrations, ratios) entre les concentrations de PM<sub>2.5</sub> et celles de PM<sub>10</sub> sont explorés.

### 5.1 RECENSEMENT DES SITES DE MESURE DE PM<sub>10</sub>

Les sites de mesure de PM<sub>10</sub> sont nettement plus nombreux que pour les PM<sub>2.5</sub>, comme en témoigne le tableau 6 ci-dessous. Quelques stations rurales ont même été implantées et le dispositif atteint près de 340 stations en 2005.

Type de station	2003	2004	2005
Rural	5	7	8
Périurbain	44	45	48
Urbain	161	183	185
Tous types	297	327	336

Tableau 6 : dispositif de mesure des PM<sub>10</sub> de 2003 à 2005



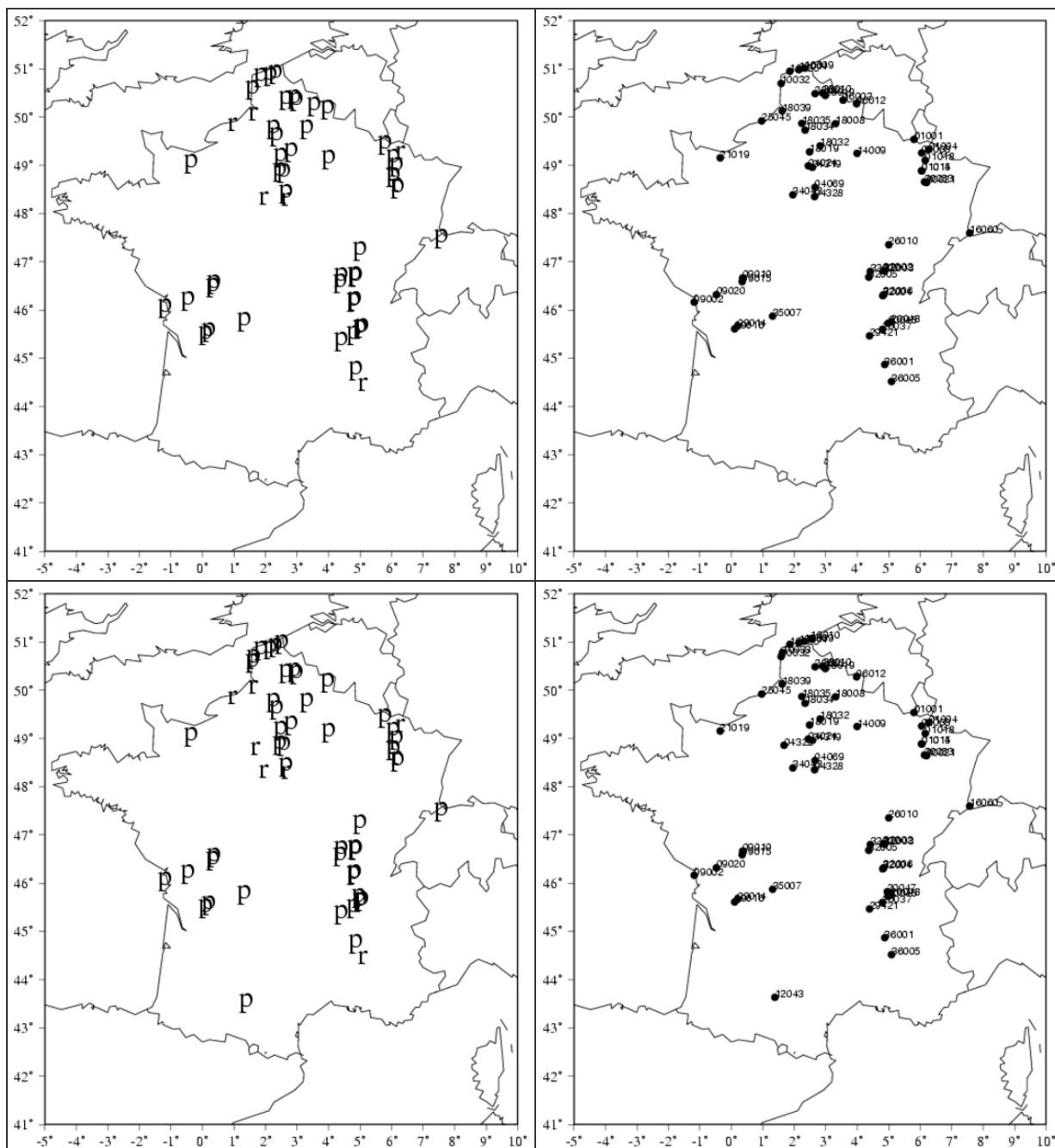


Figure 8 - Stations fixes de mesure des concentrations de  $PM_{10}$  en 2003, 2004 et 2005. Les stations périurbaines sont repérées par la lettre P ; les stations rurales par la lettre R. Pour une meilleure lisibilité, les stations urbaines ne sont pas représentées.

## 5.2 STATISTIQUES ELEMENTAIRES RELATIVES AUX $PM_{10}$

Les tableaux et graphiques suivants présentent les statistiques annuelles et saisonnières des concentrations moyennes journalières de  $PM_{10}$  mesurées entre 2003 et 2005 dans une sélection de régions françaises.

## 5.2.1 STATISTIQUES ANNUELLES PAR STATION

En raison du nombre important de stations, on se limite aux sites périurbains et ruraux.

Région	Station	type	Année	données journalières valides (%)	Moy ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Min ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	P50 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	P75 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	P95 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Max ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Ecart-type ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
NPdC	10009	PU	2003	78.63	25.24	6.04	21.83	29.69	49.71	74.46	12.12	
			2004	96.17	22.35	5.83	20.15	26.83	38.34	58.79	8.45	
			2005	84.93	24.02	6.33	21.75	29.06	44.85	65.67	9.73	
	10014	PU	2003	92.06	28.20	2.92	23.69	35.08	61.27	109.75	17.02	
			2004	95.63	24.20	6.12	20.11	29.57	48.40	71.54	11.95	
			2005	90.96	23.15	6.25	20.25	26.86	47.44	73.50	11.45	
	10025	PU	2003	95.07	24.61	8.33	22.79	29.55	42.98	67.17	9.61	
			2004	94.81	20.76	6.42	19.71	25.04	33.37	44.00	6.85	
			2005	88.49	22.15	7.08	21.43	25.51	35.26	64.50	7.33	
	10032	PU	2003	93.70	20.88	8.52	18.69	24.52	39.59	66.71	9.12	
			2004	99.18	18.57	6.55	17.46	22.00	31.04	45.12	6.56	
			2005	83.01	18.26	5.38	17.17	21.92	29.29	41.88	6.66	
	6002	PU	2003	98.36	25.82	5.42	23.21	31.86	48.86	85.58	12.94	
			2004	76.50	18.94	5.04	17.23	23.02	32.89	52.75	7.49	
	6012	PU	2003	96.99	20.25	3.05	17.63	25.49	40.88	65.67	10.77	
			2004	97.00	17.49	5.09	16.00	21.46	31.84	42.17	7.35	
			2005	93.97	16.75	4.38	15.46	21.10	30.79	40.21	7.09	
	Pic.	18039	R	2003	83.01	19.53	5.29	17.12	24.63	38.02	61.62	9.38
				2004	99.18	16.19	4.83	15.00	18.90	26.85	39.79	5.67
				2005	98.36	16.61	3.17	15.38	19.83	27.57	46.58	6.49
		18008	PU	2003	98.90	20.98	6.54	19.21	25.29	37.77	64.83	9.42
				2004	98.63	18.14	5.46	16.79	22.00	31.54	45.71	6.65
				2005	98.36	18.30	4.61	17.17	21.92	30.07	42.33	6.62
		18019	PU	2003	95.34	26.17	7.09	23.60	30.86	54.69	77.29	12.91
2004				89.34	21.05	5.50	19.38	25.79	37.59	59.75	8.44	
2005				98.36	22.10	7.25	20.12	27.33	37.48	76.04	9.14	
18032		PU	2003	98.08	20.31	6.12	18.58	24.61	36.31	62.83	8.73	
			2004	98.91	17.33	5.12	15.92	20.93	29.79	42.67	6.43	
			2005	97.81	17.99	6.12	16.88	21.46	30.35	41.21	6.49	
18034		PU	2003	98.63	22.03	6.21	20.23	26.89	41.00	57.88	9.53	
			2004	96.45	18.61	2.71	16.58	23.12	31.76	55.00	7.38	
			2005	99.73	18.70	5.36	17.48	22.97	31.32	52.96	7.47	
18035		PU	2003	98.08	20.97	6.04	18.69	26.38	39.03	57.54	9.55	
			2004	95.36	17.71	4.33	15.83	21.67	30.04	50.71	6.98	
			2005	98.08	17.90	3.86	16.58	21.16	29.98	50.96	7.10	

Région	Station	type	Année	données journalières valides (%)	Moy (µg/m <sup>3</sup> )	Min (µg/m <sup>3</sup> )	P50 (µg/m <sup>3</sup> )	P75 (µg/m <sup>3</sup> )	P95 (µg/m <sup>3</sup> )	Max (µg/m <sup>3</sup> )	Ecart-type (µg/m <sup>3</sup> )		
IdF	4024	PU	2005	90.41	19.89	6.67	18.69	23.76	33.73	58.62	7.47		
			4069	PU	2003	89.32	20.04	3.67	18.42	24.56	35.60	51.78	8.68
					2004	93.17	18.05	3.59	16.87	21.96	30.83	50.79	7.09
	4319	PU	2005	94.25	17.20	6.29	16.00	20.48	29.89	43.25	6.52		
			2003	93.43	22.72	5.13	20.88	27.92	42.75	64.54	10.20		
			2004	92.62	19.14	4.61	17.29	23.27	33.16	61.61	7.88		
	4322	R	2005	92.05	19.47	6.04	18.17	23.93	34.46	54.08	7.58		
			4328	R	2005	81.92	15.30	2.59	14.04	18.96	26.26	41.29	6.12
					2003	94.79	16.83	4.71	15.50	20.52	30.26	48.29	7.31
	4328	R	2004	90.71	14.34	4.79	13.69	17.02	24.68	36.70	5.46		
2005			94.25	14.78	3.32	13.26	18.21	24.82	34.54	5.62			
Centre			34043	R	2005	97.53	15.64	3.58	14.17	18.96	28.90	42.42	6.96
Hte Norm.	25045	R	2003	100.00	18.35	6.00	16.92	21.75	33.24	49.71	7.25		
			2004	100.00	16.93	4.96	16.17	19.89	27.52	44.88	5.72		
			2005	94.52	16.55	2.96	15.79	19.54	26.64	38.29	5.60		
Basse Norm.	21019	PU	2003	92.60	23.00	5.91	19.30	29.53	49.45	72.88	12.66		
			2004	92.62	16.76	4.95	15.04	20.12	29.77	55.50	7.39		
			2005	85.21	15.98	5.71	14.35	19.15	28.50	47.46	6.86		
Midi Pyr.	12043	PU	2005	71.51	19.90	4.91	18.43	24.67	35.88	83.38	10.25		
Rh.-Alpes	20037	PU	2003	97.26	22.34	6.62	20.29	27.44	41.18	69.33	10.44		
			2004	99.18	21.54	5.71	19.58	26.06	40.75	78.04	10.10		
			2005	89.59	22.01	5.13	20.21	26.81	43.41	59.33	9.99		
	20045	PU	2003	96.99	24.76	4.78	23.54	30.15	45.07	82.54	11.48		
			2004	98.63	21.04	3.59	18.75	25.29	38.50	106.83	10.93		
			2005	93.43	20.66	4.39	18.54	25.00	40.62	70.17	10.24		
	20048	PU	2004	62.84	18.15	4.67	16.98	22.07	33.51	52.71	7.68		
			2005	92.88	19.46	4.81	17.71	24.98	34.66	50.12	8.50		
	27102	PU	2003	97.26	20.59	4.74	19.29	25.98	38.30	62.86	9.93		
	29421	PU	2003	86.03	20.59	4.56	19.17	25.00	37.03	57.54	9.23		
			2004	79.78	19.34	3.29	16.33	23.61	42.82	88.62	12.64		
			2005	91.51	18.76	2.38	16.36	24.04	40.60	69.88	10.96		
	36001	PU	2003	96.44	22.02	5.61	21.23	27.35	37.88	55.33	8.94		
2004			93.44	20.03	3.74	17.90	24.75	38.71	56.38	9.00			
2005			92.33	18.63	5.39	17.29	23.62	31.89	40.29	7.26			
36005	R	2004	53.28	15.79	3.26	13.79	20.15	31.31	44.70	8.34			
		2005	77.53	14.40	3.52	12.75	18.59	28.08	38.67	7.00			

Région	Station	type	Année	données journalières valides (%)	Moy (µg/m <sup>3</sup> )	Min (µg/m <sup>3</sup> )	P50 (µg/m <sup>3</sup> )	P75 (µg/m <sup>3</sup> )	P95 (µg/m <sup>3</sup> )	Max (µg/m <sup>3</sup> )	Ecart-type (µg/m <sup>3</sup> )
Lorraine	30021	PU	2003	99.73	21.62	6.21	20.17	26.22	39.35	60.54	9.58
			2004	97.54	19.58	4.68	18.25	24.58	34.84	59.67	8.60
			2005	90.96	18.66	2.47	17.15	24.00	33.53	52.17	8.12
	30033	R	2003	99.45	21.30	4.83	19.46	26.88	39.24	75.33	9.72
			2004	98.36	19.04	4.64	17.44	23.20	34.43	73.79	8.74
			2005	90.41	18.15	3.30	17.08	21.69	30.91	52.96	7.45

*Tableau 7 – Statistiques élémentaires des concentrations journalières de PM<sub>10</sub> mesurées par les stations périurbaines ou rurales de quelques régions françaises*

Les concentrations moyennes journalières sont plus élevées en 2003 qu'en 2004 et 2005. De façon générale, pour les stations considérées, les concentrations des années 2004 et 2005 sont comparables en moyenne et en variance. Les stations rurales mesurent la plupart du temps des concentrations moins élevées qu'en milieu périurbain, mais ce n'est pas systématique. On notera ainsi les concentrations particulièrement élevées en Rhone-Alpes, Aquitaine et PACA alors que des niveaux plus faibles sont enregistrés en régions Centre, Basse-Normandie et Pays de Loire (figure 9). Les raisons que l'on peut invoquer sont différentes selon les régions : resuspension, particules naturelles, effet météorologique local...

### 5.2.2 STATISTIQUES ANNUELLES PAR REGION ET PAR TYPE DE STATION

Comme pour les PM<sub>2.5</sub>, les moyennes journalières par région indiquées dans ce tableau sont calculées de la manière suivante :

$$m_k = \frac{\sum_i n_i \cdot m_i}{\sum_{i \in \text{type } k} n_i} \text{ où } k \text{ est le type de site (R, PU, U, T)}$$

$n_i$  : nombre de mesures valides aux stations de type k

$m_i$  : moyennes aux stations de type k

Le nombre de stations pour une région et une typologie données peut varier d'une année à l'autre.

	Nord-P. de C.	Picardie	Ile-de- France	Centre	Hte- Norm.	Basse- Norm.	Pays de Loire	Aquitaine	Midi- Pyrénées	PACA	Rhône -Alpes	Alsace
2003-R		19.5	16.8		18.3							
2003-PU	23.2	22.1	21.4			23					22.1	22.8
2003-U	24.6		24.5	19.3	21.9	19.7	18.4	24.6	20.9	30.3	22.7	23.8
2003-T	27.6	25.8	43.9	24.9	28.4		15.4	28.6	24	31.4	30.1	27
2004-R		16.2	14.3		16.9						15.8	
2004-PU	19.6	18.5	18.6			16.8					20.2	17.5
2004-U	20.4	20.7	20.5	16.5	19.1	16.9	16.4	22.9	19.7	27.7	19.7	20
2004-T	23.7	22.3	39.8	21.4	26		20.2	24.8	22.4	33.2	27.7	22.7
2005-R		16.6	15		16.5						14.4	
2005-PU	19.7	19	18.8			16			19.9		19.9	17.8
2005-U	20.6	20.5	20.2	16.4	19.7	16.7	15.9	22.5	19.7	26.8	19.8	20.9
2005-T	24.9		40	20.1	28.2		22.6	24.2	22.7	34.5	28.1	23.2

*Tableau 8 – Concentrations moyennes journalières de PM<sub>10</sub> dans quelques régions françaises pour les années 2003, 2004 et 2005*

Le gradient de concentration d'est en ouest mis en évidence pour les PM<sub>2.5</sub> est encore présent pour les PM<sub>10</sub>, même s'il est moins marqué : la région PACA est toujours la plus exposée, et le Pays de Loire la région la moins exposée. L'Ile de France et le Nord subissent des concentrations relativement élevées, généralement plus importantes qu'en Alsace ou Rhône - Alpes (situation différente des PM<sub>2.5</sub>). La situation très particulière des stations trafic, avec des niveaux de concentrations particulièrement élevés, est clairement mise en évidence dans ce tableau.

Comme pour les PM<sub>2.5</sub>, en 2003, 2004 et 2005, les régions se classent les unes par rapport aux autres (Figure 9).

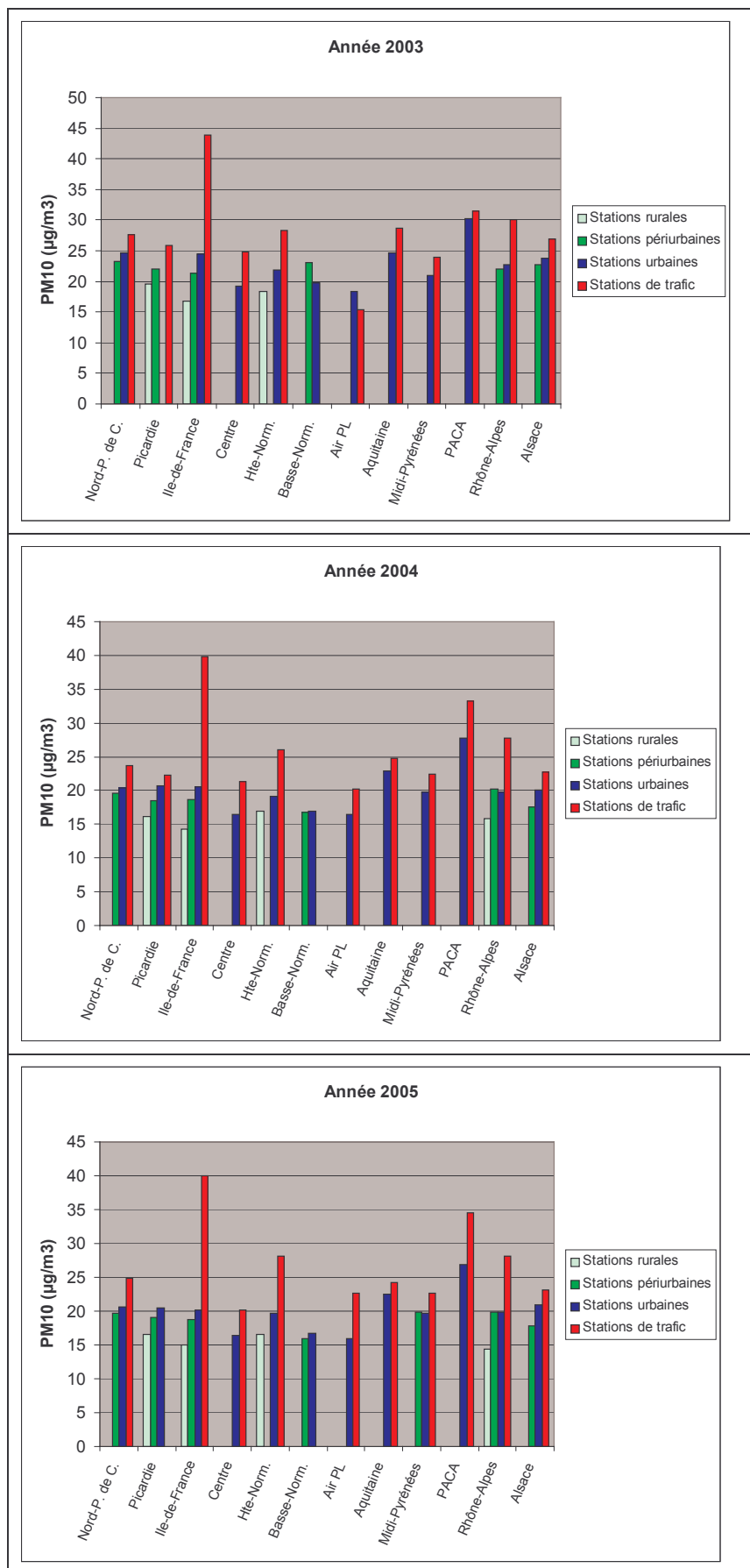


Figure 9 – Valeurs moyennes annuelles de concentration de  $PM_{10}$  [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] par région et par type de station pour une sélection de régions françaises.



En complément d'information les statistiques saisonnières pour les concentrations journalières de PM<sub>10</sub> sont également fournies en annexe 4. Elles n'ont pas un intérêt direct avec le thème de la présente étude, mais constituent une analyse supplémentaire potentiellement intéressante.

### 5.3 ETUDE DES LIENS ENTRE PM<sub>2.5</sub> ET PM<sub>10</sub>

#### 5.3.1 SITES DE MESURES COMMUNS AUX ESPECES PM<sub>2.5</sub> ET PM<sub>10</sub>

Plusieurs sites urbains et périurbains font l'objet de mesures concomitantes des concentrations de PM<sub>2.5</sub> et PM<sub>10</sub>.

Pour les périodes mentionnées dans le tableau, les sites périurbains suivants sont concernés :

2004, 2005	04024	48.99	2.44	65	GONESSE (Ile de France)
(2003,) 2004, 2005	10009	51.01	2.33	2	Petite_Synthe
2005	10010	51.07	2.53	52	Bray-Dunes
2003, 2004, 2005	10025	50.95	1.86	20	Sangatte
2005	10033	50.78	1.62	25	Wimereux
2003, 2004, 2005	14009	49.25	3.99	70	Tingueux
2003, 2004(, 2005)	18008	49.86	3.31	87	Paul_Bert_ST_QUENTIN
(2003, )2004, 2005	32003	46.80	4.87	182	Hilaire_Chardonnet

Tableau 9 - Sites périurbains de mesures concomitantes PM<sub>2.5</sub> et PM<sub>10</sub>

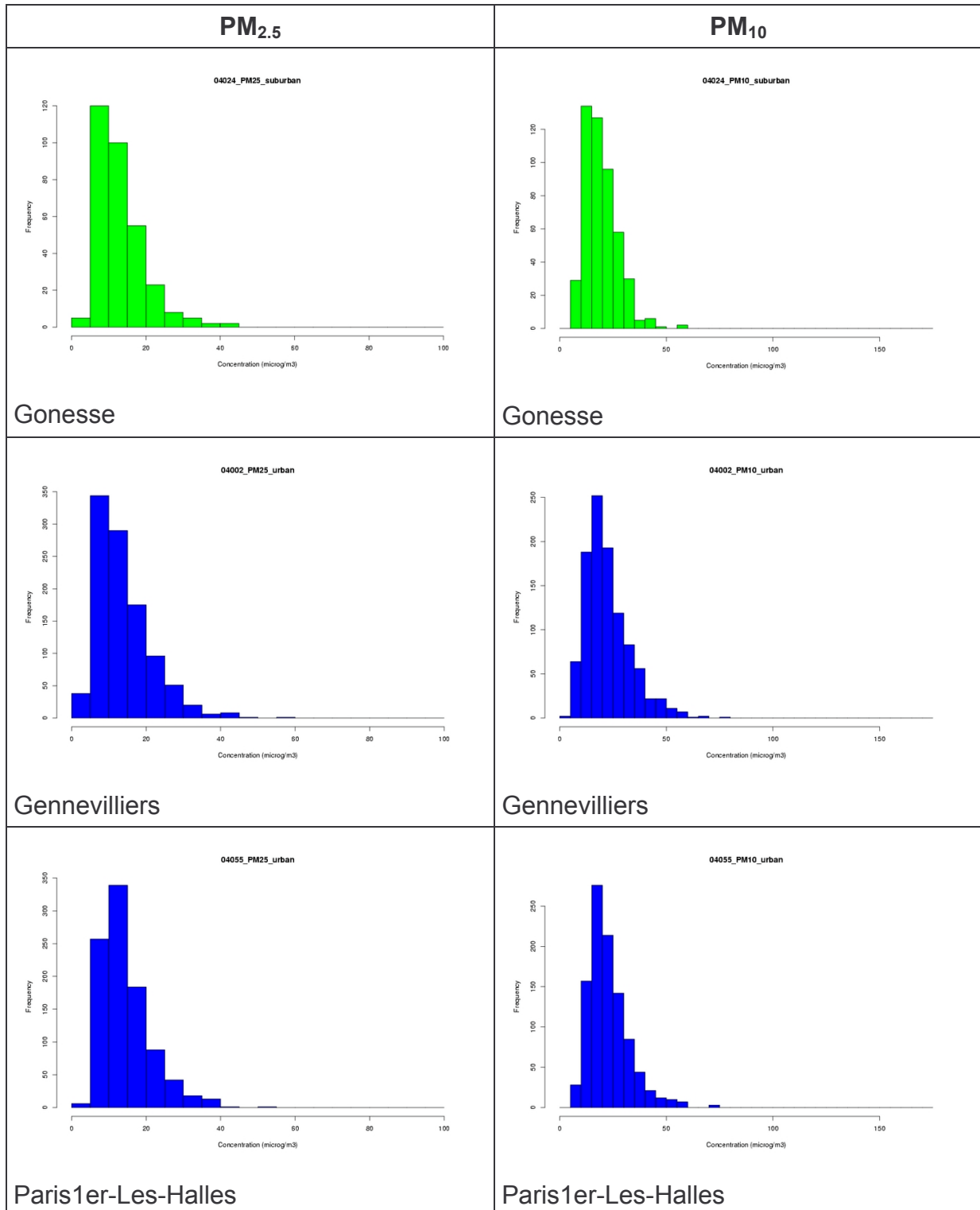
(mesures de PM<sub>10</sub> sur des périodes supplémentaires indiquées entre parenthèses).

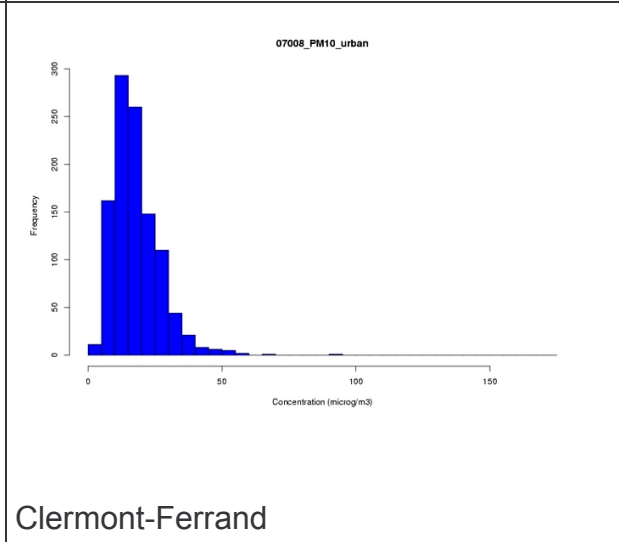
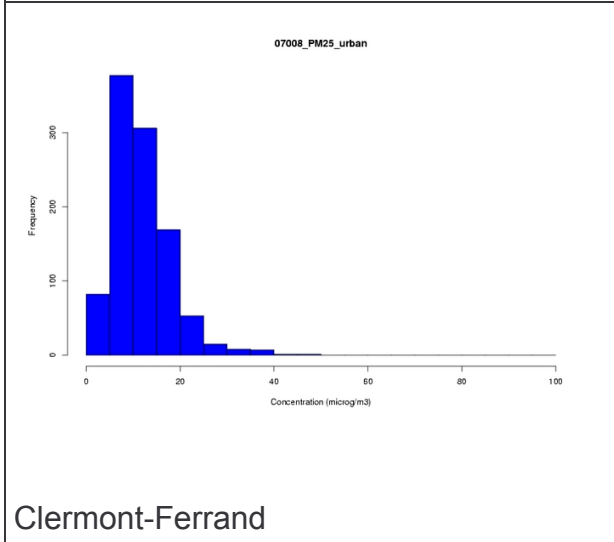
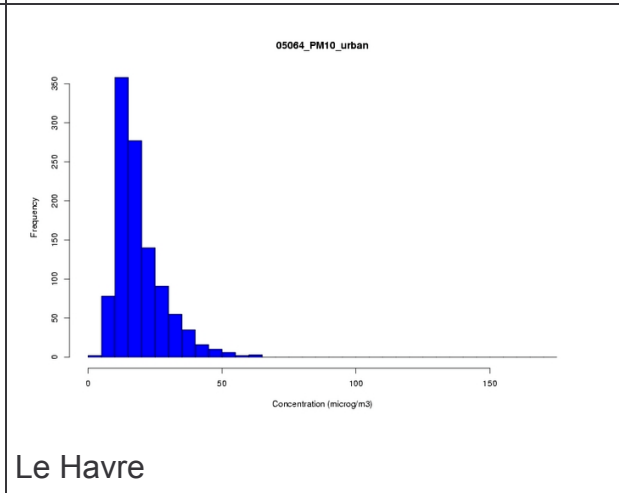
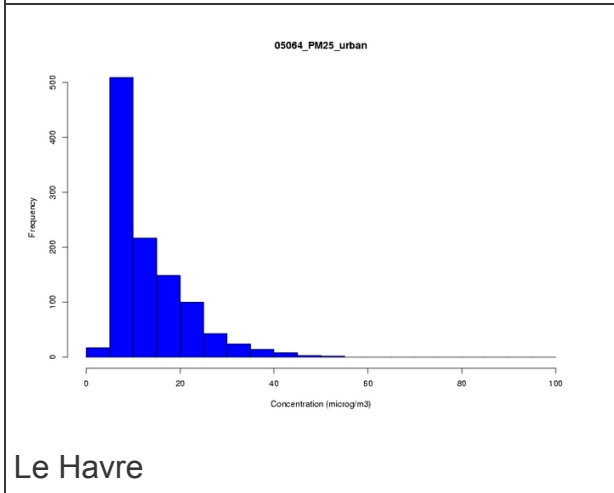
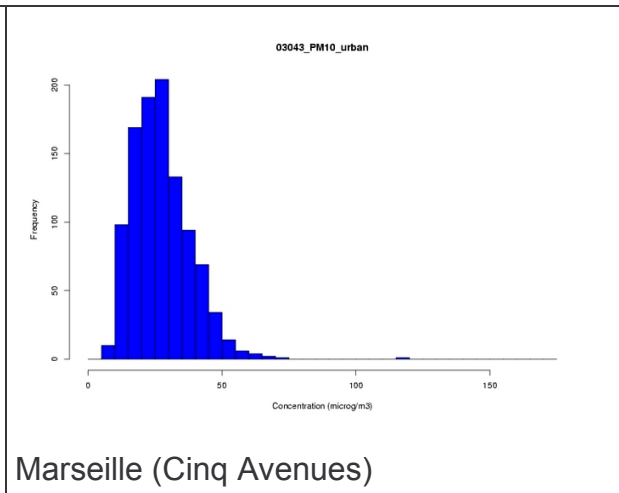
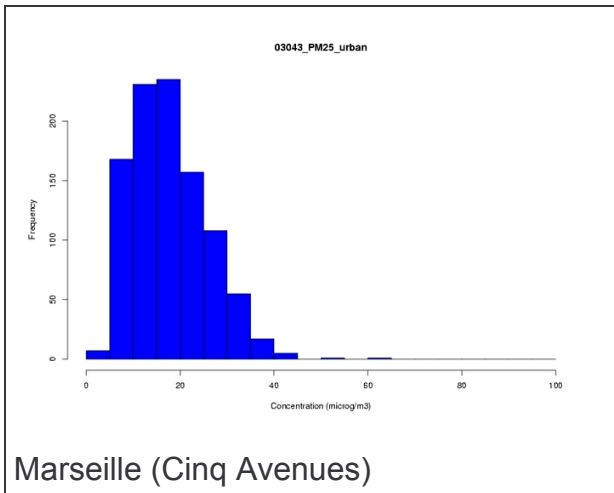
De plus, 36 sites urbains ont fait l'objet de mesures concomitantes de PM<sub>2.5</sub> et PM<sub>10</sub>.

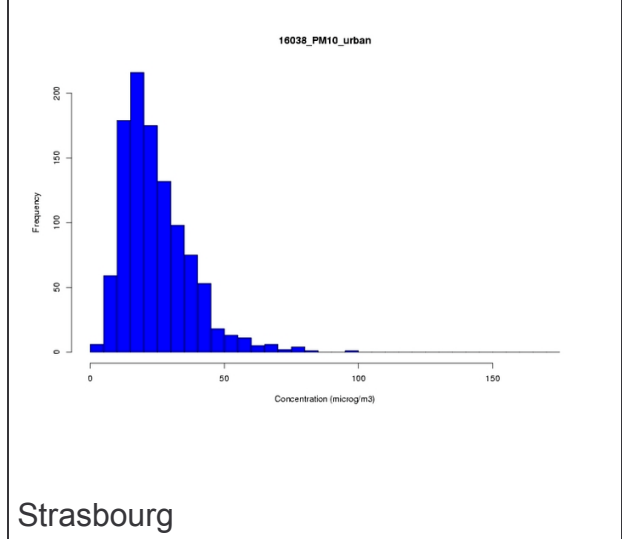
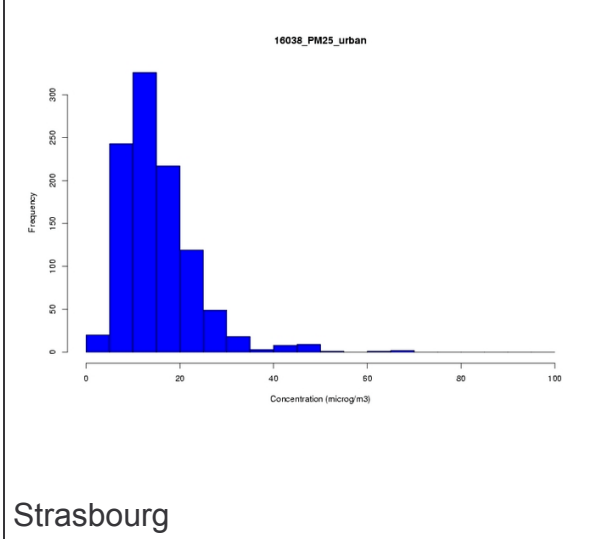
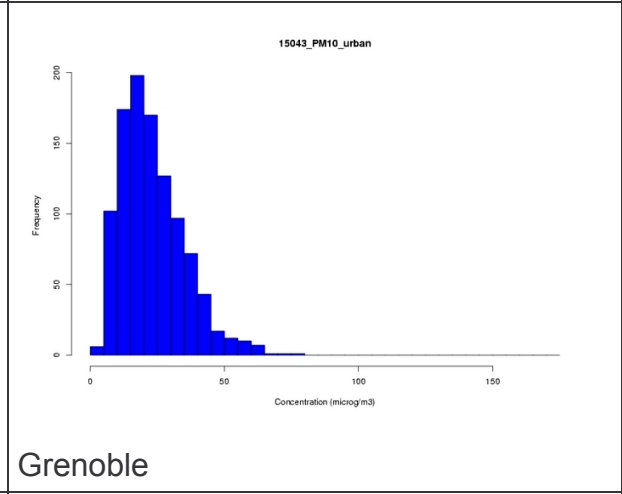
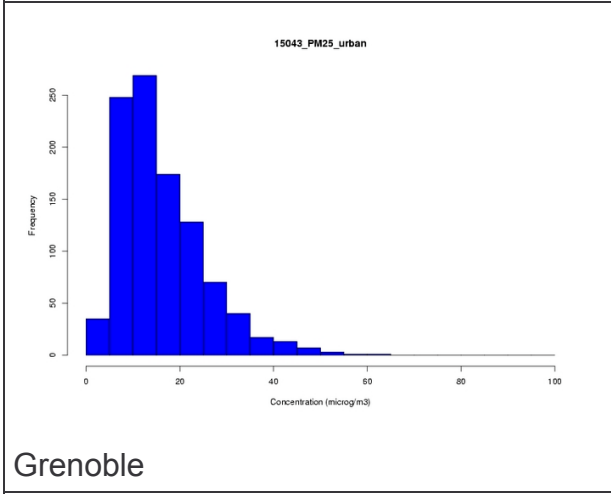
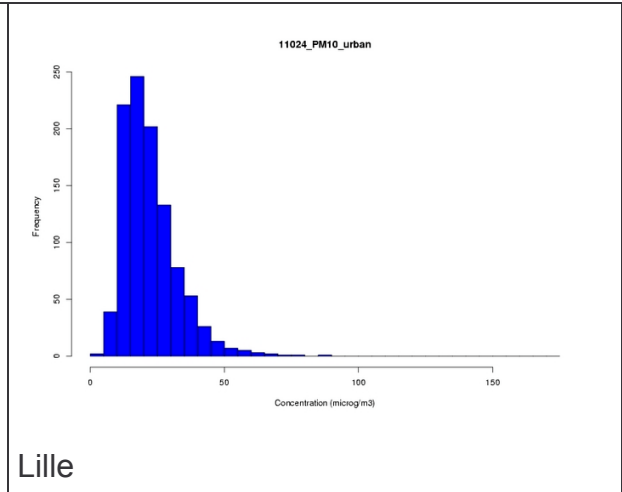
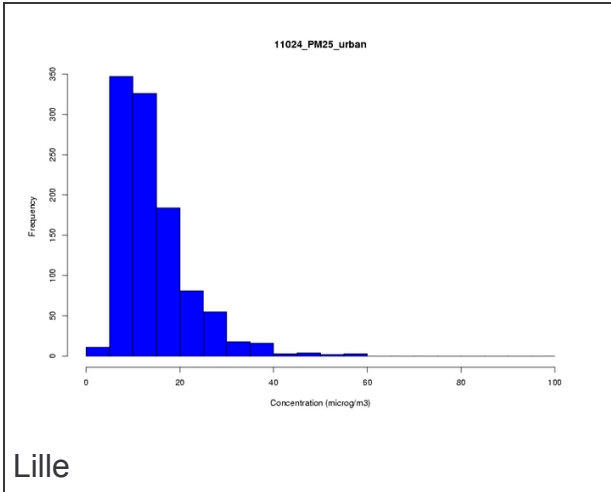
#### 5.3.2 HISTOGRAMMES DES CONCENTRATIONS MOYENNES JOURNALIERES DE PM<sub>10</sub> ET PM<sub>2.5</sub>

Aux sites périurbains et urbains considérés, les histogrammes des concentrations moyennes journalières de PM<sub>2.5</sub> et de PM<sub>10</sub> ont des allures assez similaires. La classe de fréquence maximale pour les PM<sub>10</sub> est décalée positivement de 5 ou 10 µg/m<sup>3</sup> par rapport aux PM<sub>2.5</sub> (figure 10).

(Attention : échelles des abscisses différentes entre PM<sub>2.5</sub> et PM<sub>10</sub>)







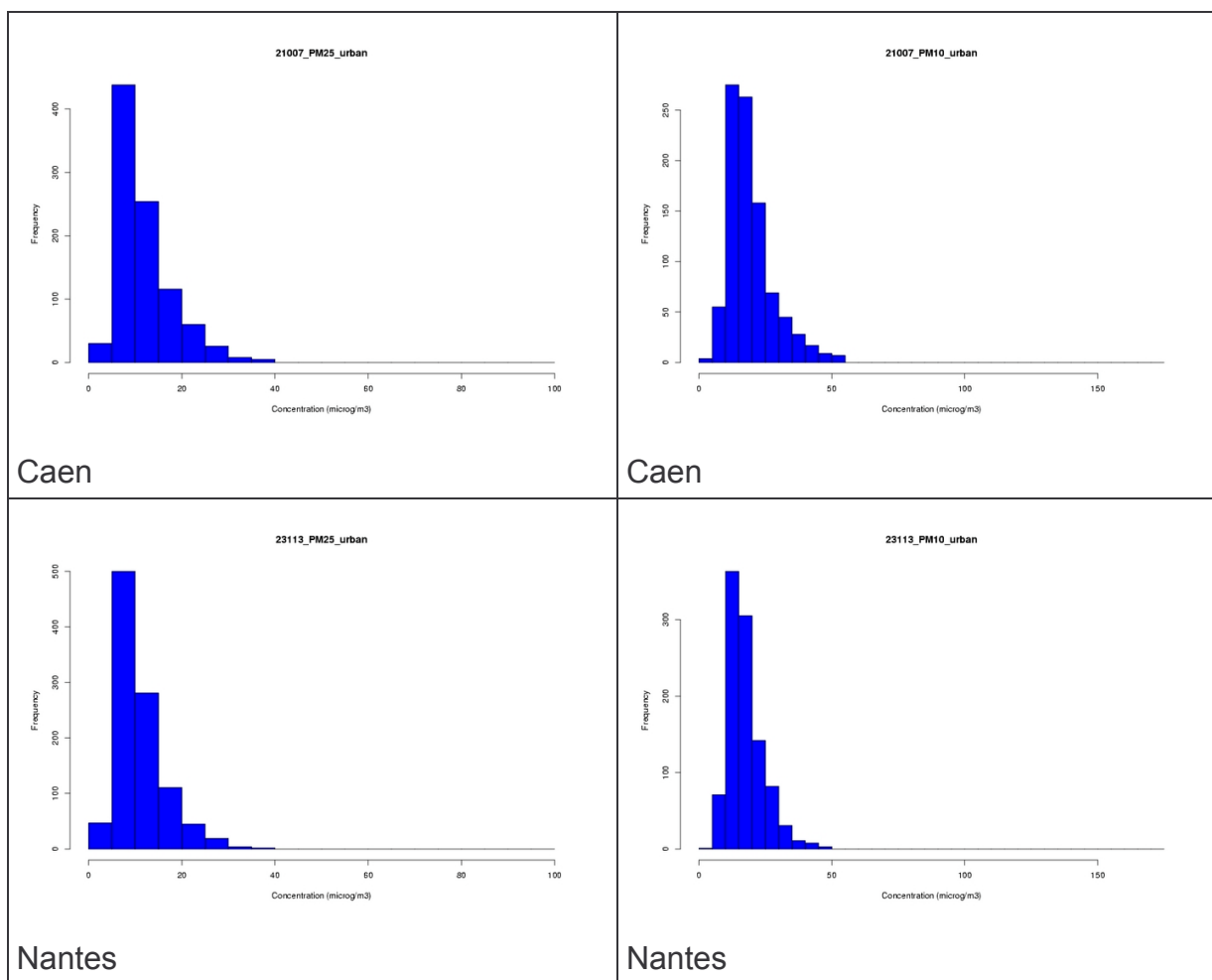


Figure 10 – Comparaison entre les histogrammes des concentrations moyennes journalières de  $PM_{10}$  et de  $PM_{2.5}$  mesurées aux mêmes sites, pour une sélection de sites urbaines et périurbains.

Les histogrammes des concentrations journalières de  $PM_{10}$  et de  $PM_{2.5}$  ont généralement des formes similaires, avec un décalage logique sur le niveau de concentration le plus fréquent. La station urbaine étudiée (Gonesse – Ile de France) mesure le plus souvent des concentrations de  $PM_{2.5}$  comprises entre 5 et  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , alors que les concentrations de  $PM_{10}$  varient de 10 à  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ce comportement est également représentatif de la plupart des stations urbaines du Nord, du Centre et de l'Ile de France, avec pour les  $PM_{10}$ , des niveaux plus fréquents dans l'intervalle 15-20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Marseille fait exception par l'élévation de ses niveaux de concentrations : valeurs de  $PM_{2.5}$  et de  $PM_{10}$  comprises le plus souvent entre 10 et 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  et 15-30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivement.

Grenoble et Strasbourg ont une typologie un peu différente des autres villes, avec des diagrammes en fréquence plus « étalés » (aussi bien pour les  $PM_{10}$  que pour les  $PM_{2.5}$ ) et des niveaux de concentration plus élevés : Pour les  $PM_{2.5}$  les concentrations les plus fréquemment mesurées s'étalent entre 5 et 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , et 10 à 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les  $PM_{10}$ .

A l'inverse, Nantes et Caen ont des diagrammes plus effilés et des concentrations moins importantes : 5-10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les  $PM_{2.5}$  et 10-20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les  $PM_{10}$  le plus souvent mesurés.

### 5.3.3 INDICATEURS STATISTIQUES

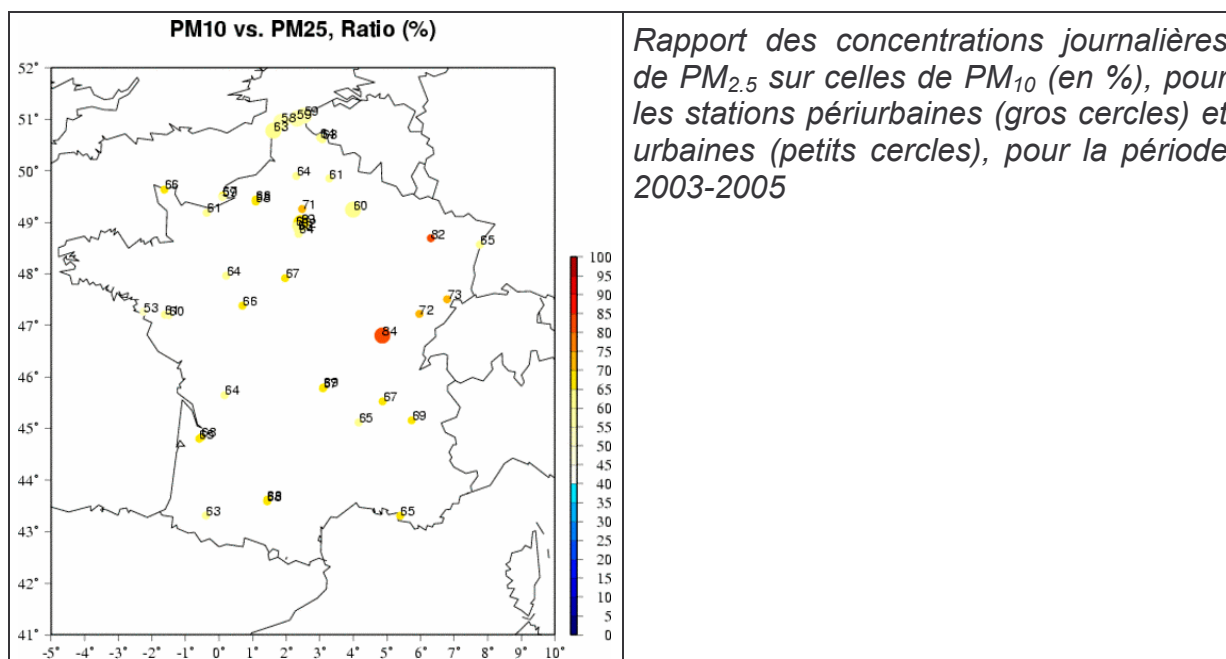
La comparaison entre concentrations moyennes journalières de  $PM_{2.5}$  et  $PM_{10}$  s'effectue ici sur la base des indicateurs suivants :

- rapport  $PM_{2.5}/PM_{10}$  ;
- la corrélation entre  $PM_{2.5}$  et  $PM_{10}$  ;
- rapport « variabilité des concentrations de  $PM_{2.5}$  / variabilité des concentrations de  $PM_{10}$  ».

#### 5.3.3.1 RAPPORTS $PM_{2.5}$ SUR $PM_{10}$ :

La figure 11 montre les ratios de concentrations moyennes journalières  $PM_{2.5}/PM_{10}$  moyennés pour toute la période 2003-2005, sur l'année, les hivers et les étés. Une assez grande disparité des situations est constatée dans le pays. Les ratios les plus élevés (72 à 84%) sont constatés dans l'est du pays (Lorraine, Vosges, Bourgogne). L'Alsace semble faire exception (65%). En Ile de France le ratio varie de 64 à 71%. Il est relativement homogène dans la moitié sud du pays : de 63 à 69%. Les ratios les moins élevés sont constatés sur la côte ouest (53% à Nantes) et les cotes de la mer du Nord (58\_59% à Calais, Dunkerque).

Le ratio  $PM_{2.5}/PM_{10}$  est presque partout nettement plus élevé en hiver qu'en été, avec une augmentation de 5 à 10% par rapport à la situation annuelle.



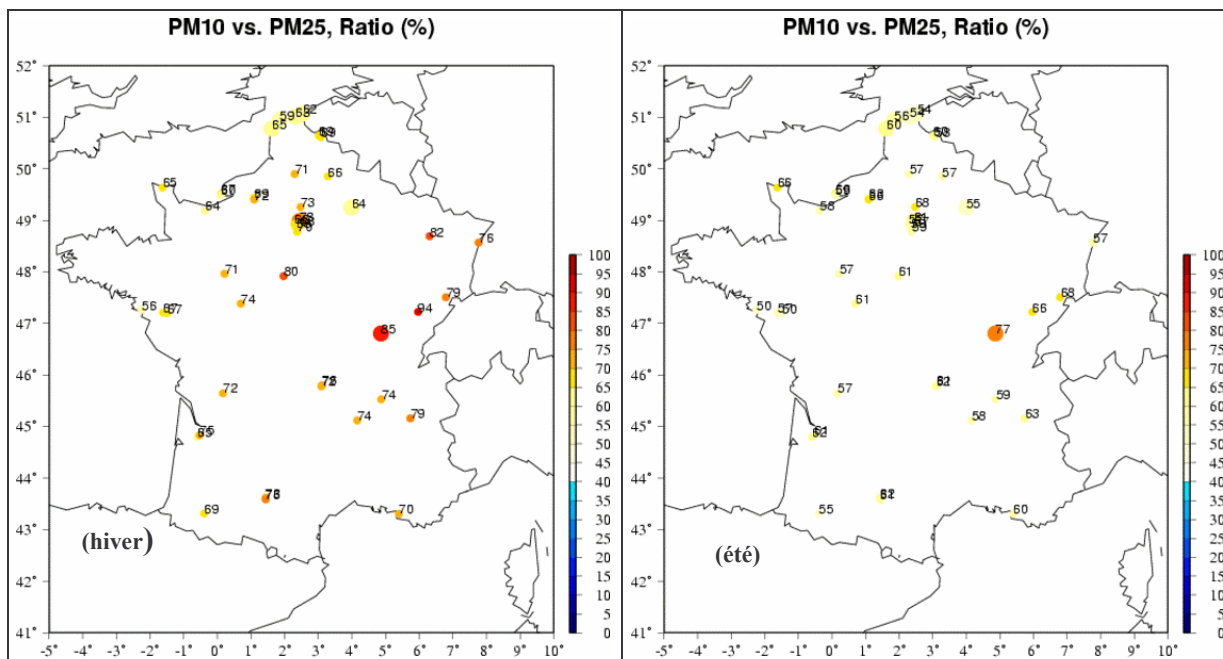


Figure 11 : Rapport des concentrations journalières de  $PM_{2.5}$  sur celles de  $PM_{10}$  (en %), pour les stations périurbaines (gros cercles) et urbaines (petits cercles), pour la période 2003-2005 (en haut à gauche) ; les étés 2003 à 2005 (en bas à droite) et les hivers 2003 à 2005 (en bas à gauche).

Le rapport entre concentrations de  $PM_{10}$  et de  $PM_{2.5}$  fluctue également dans le temps : la fraction massique de  $PM_{2.5}$  dans les  $PM_{10}$  est plus élevée l'hiver que l'été. Les figures suivantes (Figures 12 et 13) présentent les séries temporelles des ratios  $PM_{2.5}/PM_{10}$  pour une sélection de stations. Elles mettent en évidence la grande variabilité temporelle de cette quantité.

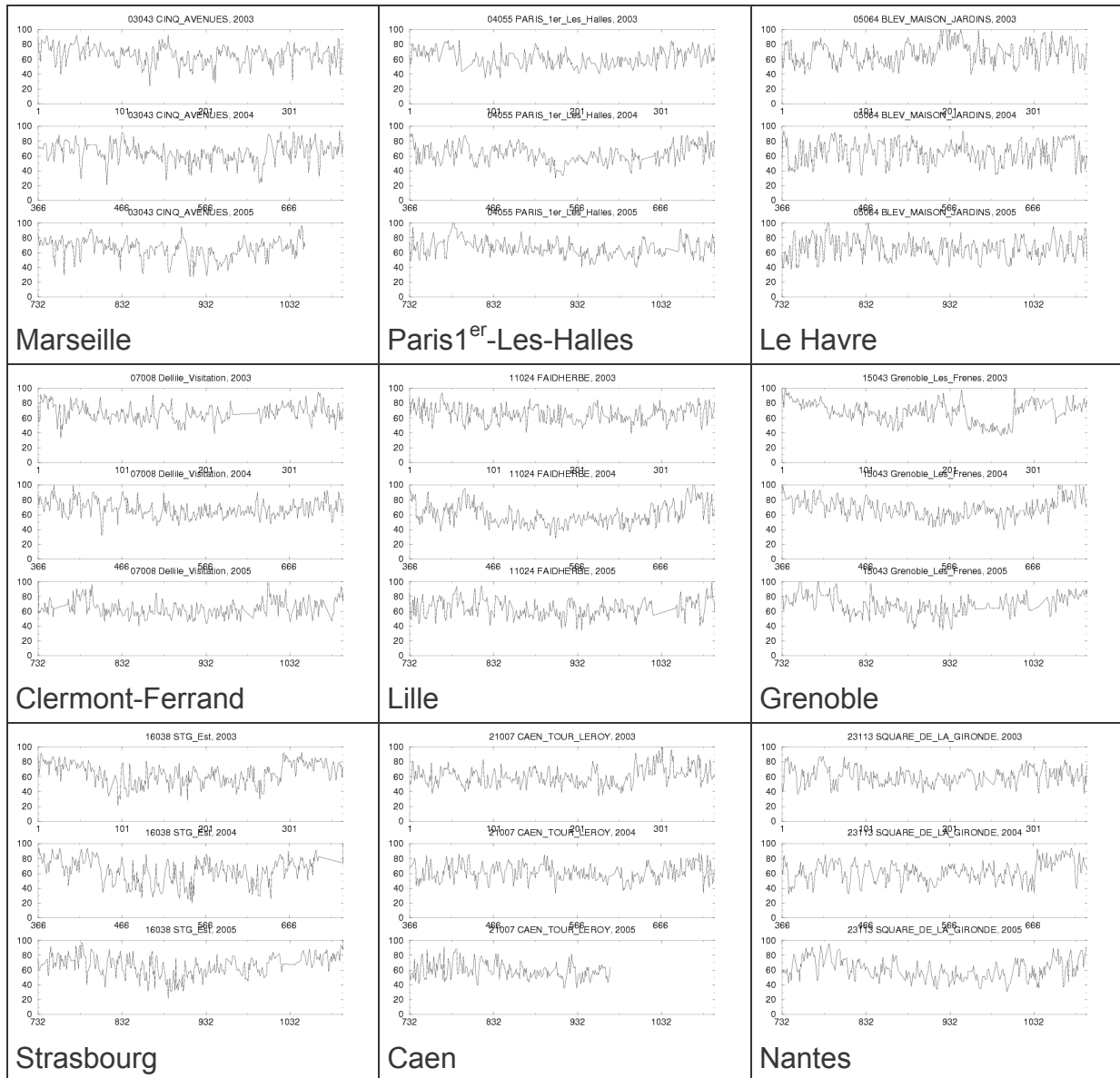


Figure 12 Séries temporelles des concentrations journalières  $PM_{2.5}$  /  $PM_{10}$  aux stations urbaines (sélection)

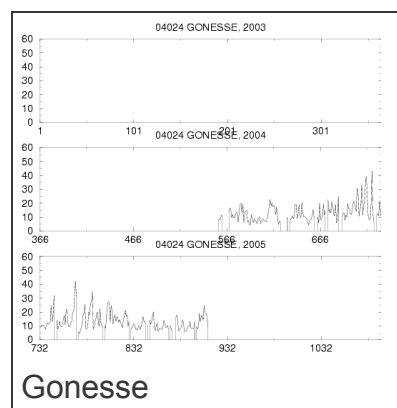


Figure 13 Séries temporelles des concentrations journalières  $PM_{2.5}$  /  $PM_{10}$  à Gonesse, station périurbaine



5.3.3.2 CORRELATIONS ENTRE CONCENTRATIONS DE  $PM_{2.5}$  ET DE  $PM_{10}$ 

La corrélation entre concentrations de  $PM_{10}$  et de  $PM_{2.5}$  est partout excellente, supérieure à 75% (minimum dans le Sud-ouest). Elle dépasse généralement 85%, avec de meilleurs scores en été ou en hiver en fonction des régions ; il semble cependant que les corrélations les plus élevées soient atteintes en hiver dans la région parisienne, le Nord et en Rhone-Alpes. Cependant, on ne peut à ce stade distinguer l'impact des conditions météorologiques de celui des émissions.

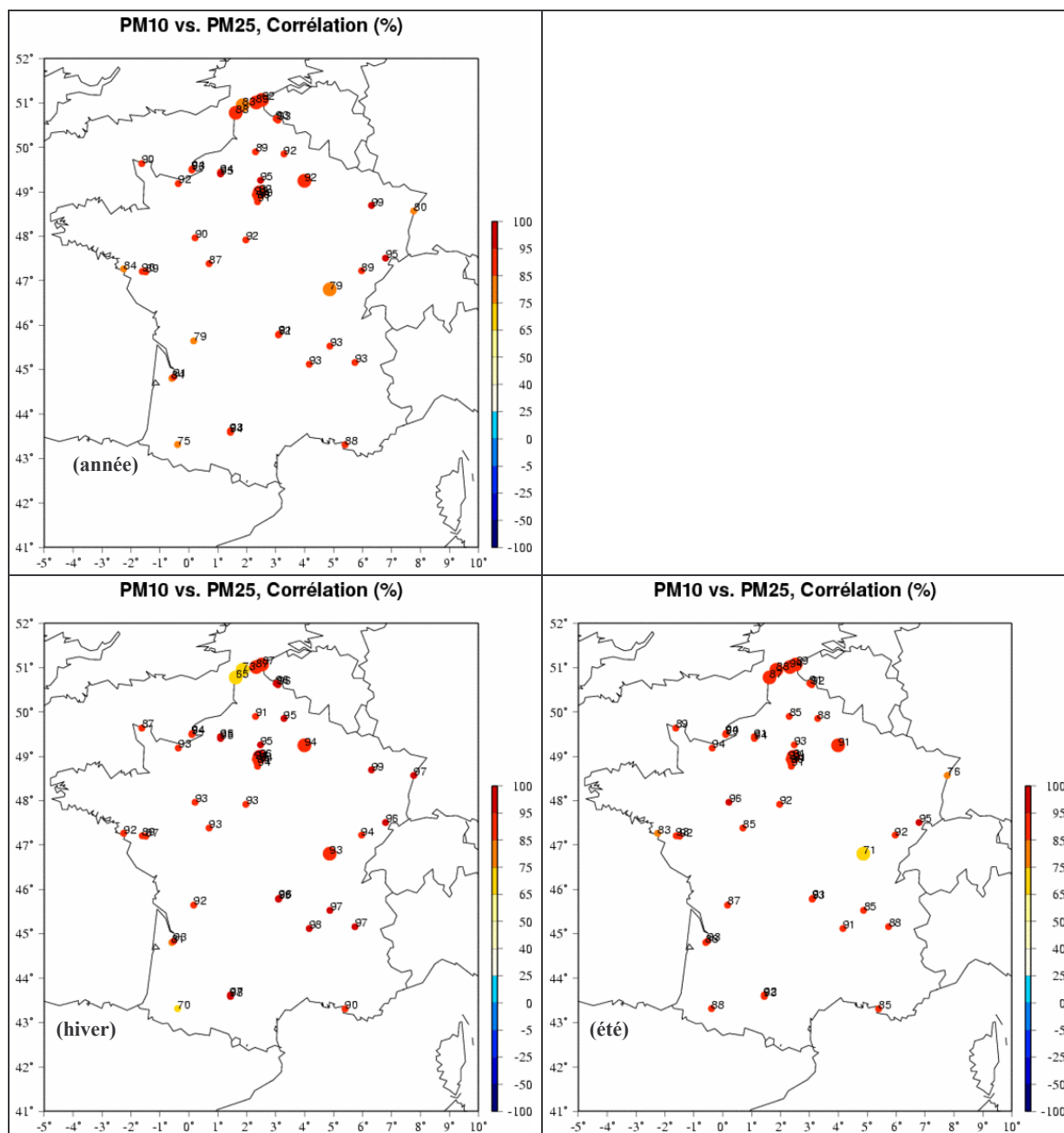


Figure 14 Corrélations des concentrations journalières de  $PM_{2.5}$  et de  $PM_{10}$ , pour les stations périurbaines (gros cercles) et urbaines (petits cercles), pour la période 2003-2005 (en haut à gauche) ; les étés 2003 à 2005 (en bas à droite) et les hivers 2003 à 2005 (en bas à gauche).

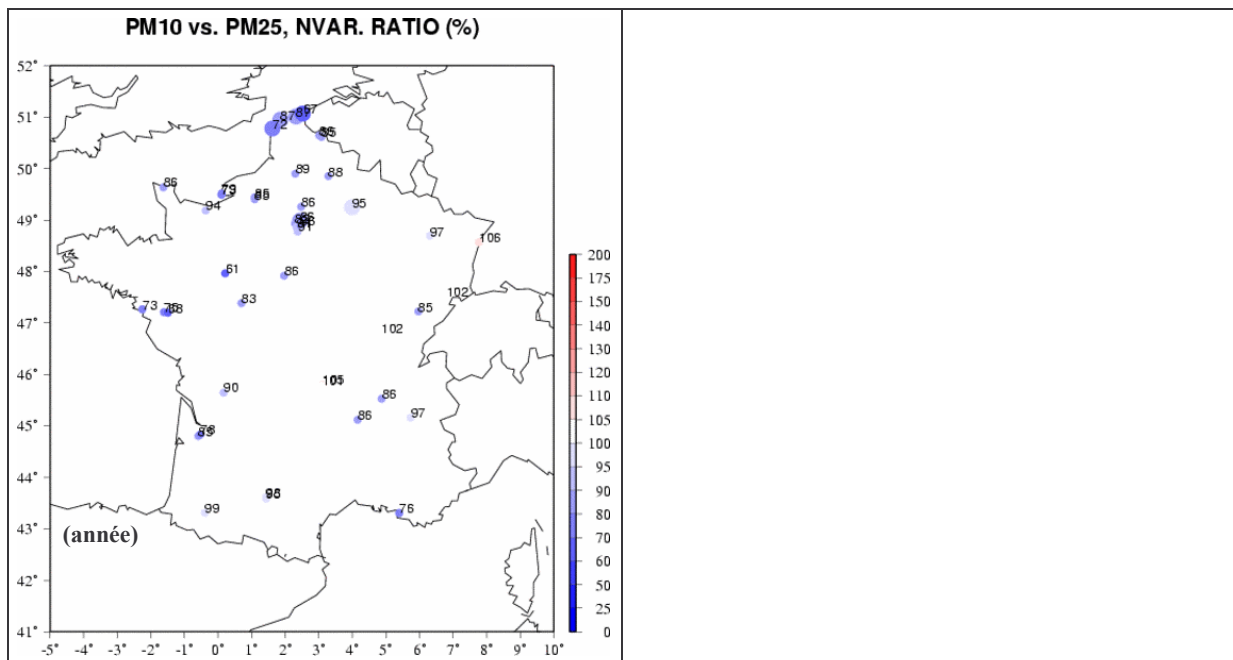
### 5.3.3.3 VARIABILITE DES CONCETRATIONS JOURNALIERES DE PM<sub>10</sub> ET DE PM<sub>2.5</sub>

Les figures suivantes représentent le rapport de la variabilité des concentrations journalières de PM<sub>10</sub> ramenée à celle des concentrations journalières de PM<sub>2.5</sub>, selon la formule :

$$Var\ ratio = \frac{\frac{1}{N} \sum_i \left( \frac{x_i - \bar{x}}{x_i} \right)^2}{\frac{1}{N} \sum_i \left( \frac{y_i - \bar{y}}{y_i} \right)^2} \cdot 100$$

où la série x correspond aux concentrations journalières de PM<sub>10</sub>, la série y aux concentrations journalières de PM<sub>2.5</sub>.

Les rapports sont assez cohérents. Globalement la variabilité des concentrations de PM<sub>10</sub> est plus grande que celle des concentrations de PM<sub>2.5</sub> (rapport inférieur à 100%) excepté dans l'est et en certains points de l'Ouest en été. L'écart de variabilité en hiver est généralement plus faible qu'en été.



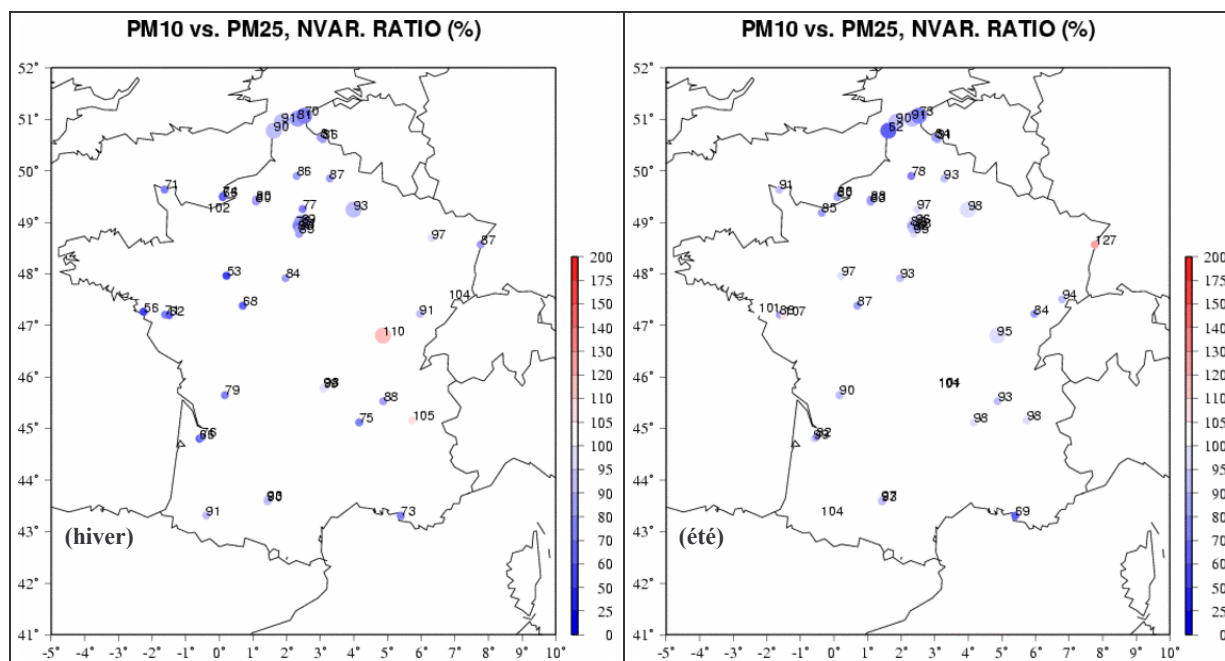


Figure 15 Rapport des variabilités de concentrations journalières de  $PM_{10}$  sur celles de  $PM_{2.5}$ , pour les stations rurales, périurbaines (gros cercles) et urbaines (petits cercles), pour la période 2003-2005 (en haut à gauche) ; les étés 2003 à 2005 (en bas à droite) et les hivers 2003 à 2005 (en bas à gauche).

## 6. LIENS ENTRE CONCENTRATIONS JOURNALIERES DE $PM_{2.5}$ ET DE $NO_2$

### 6.1 SITES DE MESURES COMMUNS AUX ESPECES $PM_{2.5}$ ET $NO_2$

Le tableau suivant mentionne les sites périurbains et les périodes qui ont fait l'objet de mesures concomitantes des concentrations de  $PM_{2.5}$  et  $NO_2$  :

2004, 2005	04024	48.99	2.44	65	GONESSE
(2003,) 2004, 2005	10009	51.01	2.33	2	Petite_Synthe
2003, 2004, 2005	10025	50.95	1.86	20	Sangatte
2003, 2004, 2005	14009	49.25	3.99	70	Tingueux
2003, 2004(, 2005)	18008	49.86	3.31	87	Paul_Bert_ST_QUENTIN
(2003,) 2004(, 2005)	23078	47.06	-0.88	90	SAINT_EXUPERY
(2003, )2004, 2005	32003	46.80	4.87	182	Hilaire_Chardonnet

Tableau 10 - Sites périurbains de mesures concomitantes  $PM_{2.5}$  et  $NO_2$

(mesures de  $NO_2$  sur des périodes supplémentaires indiquées entre parenthèses).

De plus, 45 sites urbains ont fait l'objet de mesures concomitantes de  $PM_{2.5}$  et  $NO_2$ .

## 6.2 INDICATEURS STATISTIQUES

La comparaison entre niveaux de  $PM_{2.5}$  et de  $NO_2$  s'effectue ici sur la base des indicateurs suivants :

- la corrélation entre concentrations journalières de  $PM_{2.5}$  et  $NO_2$  ;
- rapport « variabilité des concentrations journalières de  $PM_{2.5}$  / variabilité des concentrations journalières de  $NO_2$  ».

### 6.2.1 CORRELATIONS DES CONCENTRATIONS JOURNALIERES DE $PM_{2.5}$ ET DE $NO_2$

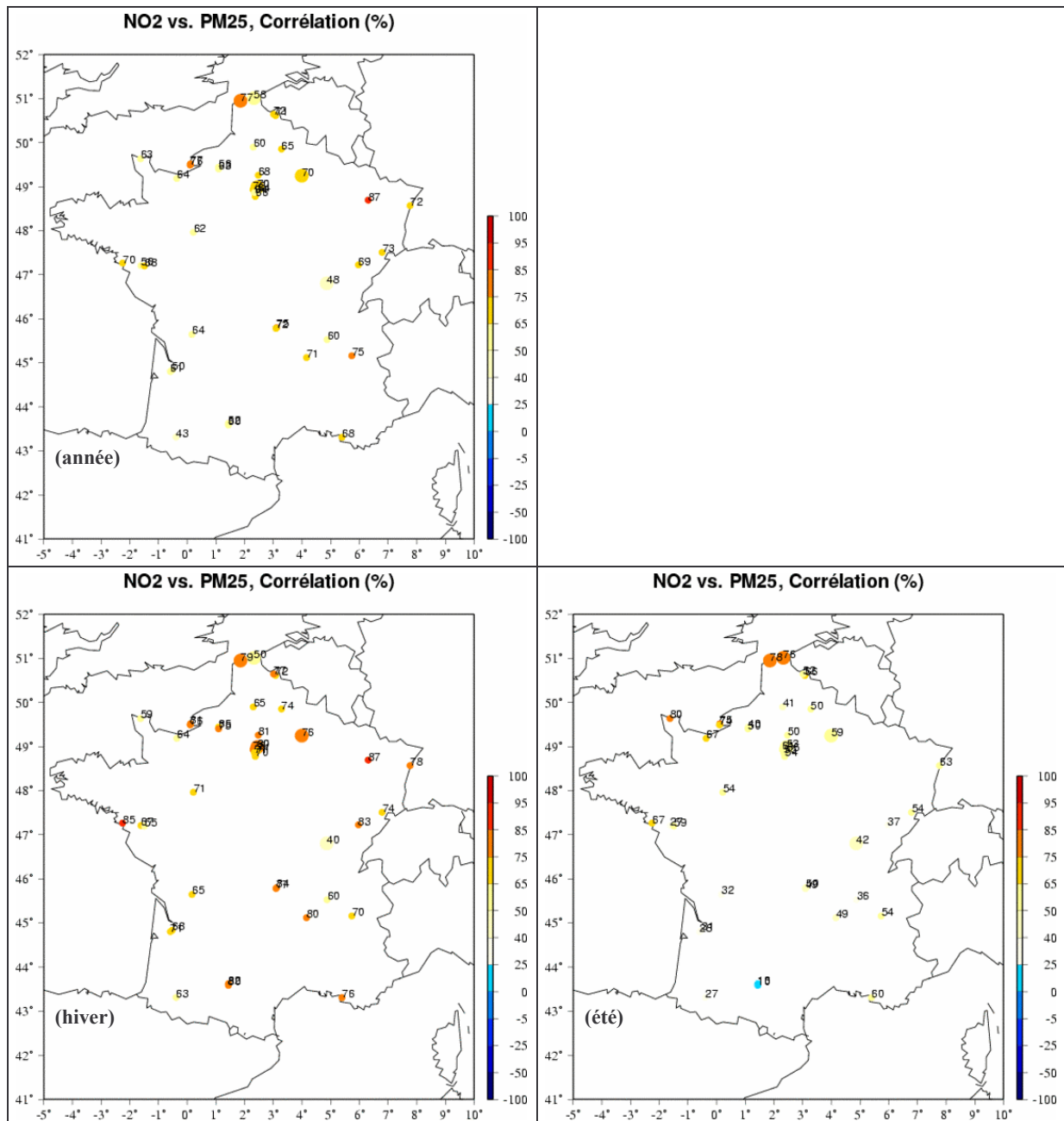


Figure 16 Corrélations des concentrations journalières de  $PM_{2.5}$  et de  $NO_2$ , pour les stations périurbaines (gros cercles) et urbaines (petits cercles), pour la période 2003-2005 (en haut à gauche) ; les étés 2003 à 2005 (en bas à droite) et les hivers 2003 à 2005 (en bas à gauche).

Les corrélations temporelles entre concentrations de  $PM_{2.5}$  et de  $NO_2$  sont généralement assez élevées ; elles sont plus élevées l'hiver que l'été : la valeur médiane égale 50% l'été et 70% l'hiver. Le minimum est obtenu à l'Ouest du pays et les maxima dans le Nord, en Lorraine ou en Picardie.

## 6.2.2 VARIABILITE DES CONCENTRATIONS JOURNALIERES DE $NO_2$ VS. $PM_{2.5}$

Les figures suivantes représentent le rapport de la variabilité des concentrations de  $NO_2$  ramenée à celle des concentrations de  $PM_{2.5}$ , selon la formule donnée plus haut, où la série x correspond aux concentrations de  $NO_2$ , la série y aux concentrations de  $PM_{2.5}$ .

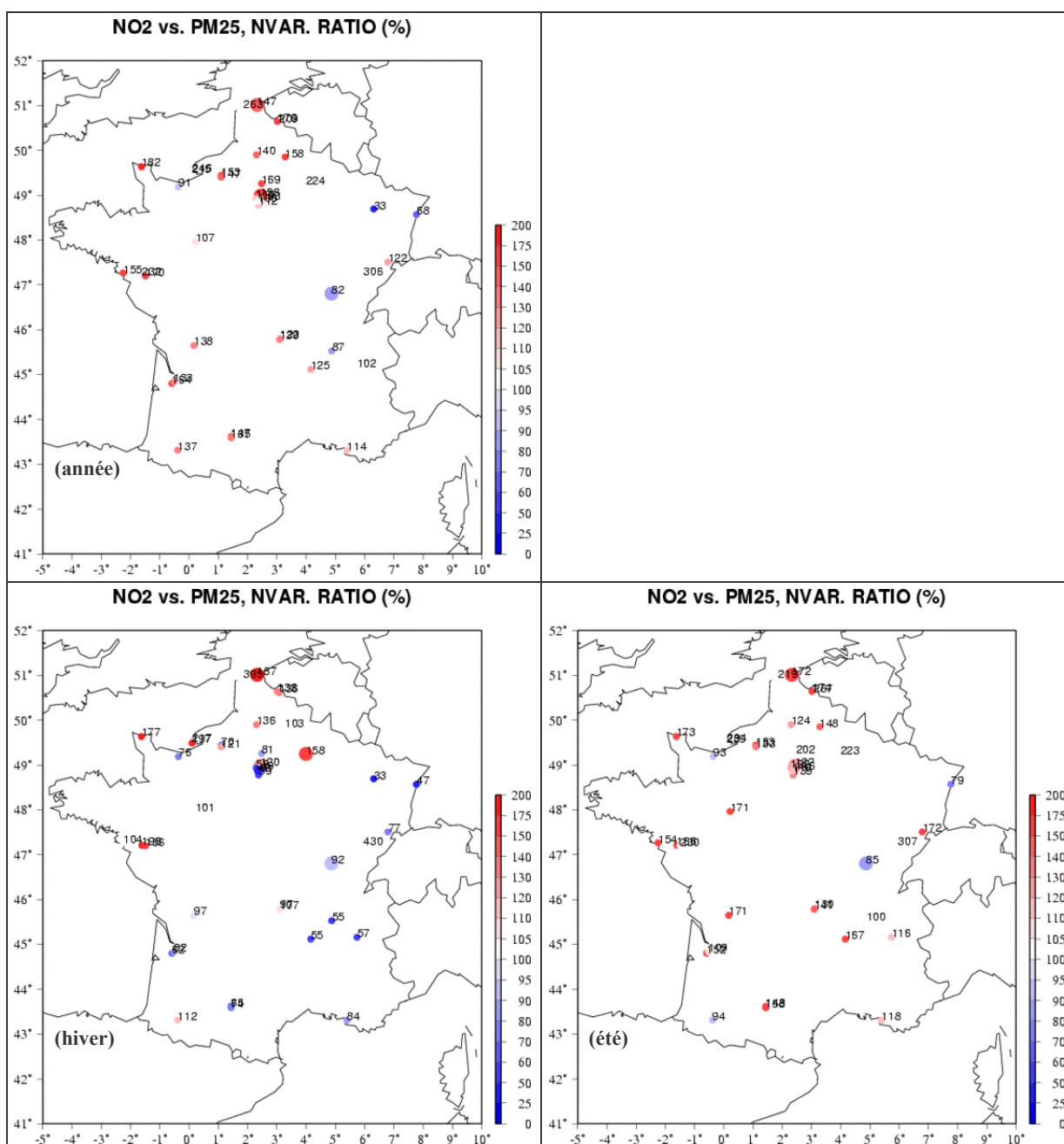


Figure 17 Rapport des variabilités des concentrations journalières de  $NO_2$  sur celles de  $PM_{2.5}$ , pour les stations périurbaines (gros cercles) et urbaines (petits cercles), pour la période 2003-2005 (en haut à gauche) ; les étés 2003 à 2005 (en bas à droite) et les hivers 2003 à 2005 (en bas à gauche).

En été, la variabilité temporelle des concentrations de NO<sub>2</sub> (rapportée aux niveaux mesurés) est généralement supérieure à celle des PM<sub>2.5</sub> ; en hiver, il n'y a pas de tendance nette.

## **7. CONCLUSION**

La présente étude a pour objet d'établir un bilan préliminaire du comportement des concentrations journalières de PM<sub>2.5</sub> à l'échelle nationale. Une analyse exploratoire de données de PM<sub>2.5</sub> a été conduite à l'échelle de la France, sur la base des données de mesure de concentrations PM<sub>2.5</sub> disponibles en France sur les trois dernières années (de 2003 à 2005), sur les sites de mesure urbains et périurbains (aucun site de mesure rural n'étant disponible sur ces périodes). Les données considérées sont issues de la BDQA.

Des statistiques élémentaires (moyennes, percentiles, écart-type, diagramme en fréquence) ont permis d'établir des typologies de régions et de dégager de grandes tendances nationales vis à vis des concentrations en PM<sub>2.5</sub> :

- Les concentrations journalières de fond de PM<sub>2.5</sub> en agglomération se situent le plus souvent entre 5 et 10 µg/m<sup>3</sup>, des concentrations plus élevées étant mesurées à Marseille (entre 10 et 20 µg/m<sup>3</sup>). Des niveaux variant de 10 à 15 µg/m<sup>3</sup> sont enregistrés pour les sites trafic.
- Les régions PACA, Rhône-Alpes, Nord-Pas-de-Calais, Alsace et Aquitaine connaissent des niveaux de PM<sub>2.5</sub> relativement élevés, à l'inverse des régions Centre, Basse-Normandie et Pays de la Loire.
- Certaines agglomérations sont marquées par un cycle annuel des concentrations journalières (Grenoble, Strasbourg) : valeurs hivernales plus élevées, valeurs estivales plus faibles. En dehors des stations trafic, on n'observe pas de cycle hebdomadaire.
- En ce qui concerne l'évolution inter annuelle des concentrations journalières de PM<sub>2.5</sub>, on observe une baisse des niveaux entre 2003 et 2004-2005 ; aucune évolution particulière n'étant détectée entre 2004 et 2005.

Nous nous sommes ensuite attachés à identifier un « signal urbain » caractérisant, dans les concentrations des PM<sub>2.5</sub> en milieu urbain, la partie relevant de la contribution propre de la ville et celle provenant du fond régional. A cette fin, des sites de mesure « jumeaux », i.e. un site périurbain à proximité d'un site urbain ont été identifiés. Etant donné le nombre encore limité de sites de mesure des PM<sub>2.5</sub> disponibles, seules deux régions sont concernées : le Nord-Pas-de-Calais et l'Île-de-France.

Les concentrations moyennes journalières de PM<sub>2.5</sub> mesurées sur les sites jumeaux sont bien corrélées, voire très bien en été (corrélations supérieures à 0.80). On note en hiver une baisse des corrélations sur les sites jumeaux de la région Nord-Pas-de-Calais, qui n'est pas observée sur la région Île-de-France.

En ce qui concerne la caractérisation d'un « incrément » urbain, les résultats obtenus diffèrent d'une région à l'autre : il varie en fonction des saisons et des sites choisis de 4 à plus de 30% sur le Nord-Pas-de-Calais ; de 1 à 11% sur l'Île-de-France. Les variations saisonnières sont contraires sur les deux régions étudiées : incrément plus élevé en hiver pour le Nord-Pas-de-Calais, plus élevé en été pour l'Île-de-France. Les concentrations de PM<sub>2.5</sub> mesurées sur les sites périurbains ont souvent une variabilité plus faible que celles mesurées sur les sites urbains correspondants. L'écart de variabilité des concentrations de PM<sub>2.5</sub> est plus élevé en hiver qu'en été (cela rejoint la remarque faite plus haut pour les corrélations). Il y a un « découplage » entre les sites jumeaux pendant l'hiver.

Cela démontre que les facteurs explicatifs des niveaux de concentration observés n'ont pas la même origine (émissions, météorologie, resuspension, activité photochimique...). Et à ce stade de l'étude, il est difficile d'attribuer cette différence de comportement à tel ou tel facteur (météorologie, géométrie des agglomérations, ...). Les tendances moyennes annuelles observées sont relativement cohérentes par rapport aux résultats de l'étude City-Delta de la Commission Européenne, mais la variabilité temporelle du signal urbain, extrêmement forte et erratique ne peut être bien représentée.

Enfin, les données de PM<sub>10</sub> et de NO<sub>2</sub> ont été utilisées pour explorer les liens entre les concentrations de PM<sub>2.5</sub> et celles de ces différentes espèces, vues comme de possibles facteurs explicatifs des concentrations urbaines de PM<sub>2.5</sub>. C'est une première étape vers l'exploration systématique des liens entre concentrations de PM<sub>2.5</sub> et données d'émissions.

- On a mis en évidence un comportement similaire des concentrations journalières de PM<sub>10</sub> et de PM<sub>2.5</sub> : les deux espèces sont très bien corrélées (corrélations supérieures à 0.75) sur la majorité des sites de mesure, et mieux corrélées l'hiver que l'été. On observe les mêmes tendances pour les corrélations entre NO<sub>2</sub> – PM<sub>2.5</sub>.
- La variabilité temporelle des PM<sub>10</sub> est généralement plus faible que celle des PM<sub>2.5</sub> ; l'écart de variabilité en hiver est moindre qu'en été (en cohérence avec la tendance observée pour les corrélations).
- Le ratio PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> varie de 55% à 85% dans les différentes régions françaises. Il est le plus élevé en Lorraine, Bourgogne, et dans les Vosges. En Île de France le ratio varie de 64 à 71%. Il est relativement homogène dans la moitié sud du pays : de 63 à 69%. Les ratios les moins élevés sont constatés sur la côte ouest (53% à Nantes) et les côtes de la mer du Nord (58\_59% à Calais, Dunkerque).
- Le ratio PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> est presque partout nettement plus élevé en hiver qu'en été, avec une augmentation de 5 à 10% par rapport à la moyenne annuelle.
- La variabilité des concentrations de PM<sub>2.5</sub> est en moyenne sur l'année moins élevée que celle des concentrations de NO<sub>2</sub>. Cette tendance est nettement inversée l'hiver. Il n'empêche que les concentrations de NO<sub>2</sub> permettent d'expliquer dans une proportion raisonnable les concentrations de PM<sub>2.5</sub> observées, ce qui met en évidence la part « secondaire » de ce polluant.

Comme précédemment, il est difficile à ce stade de distinguer l'impact des conditions météorologiques de celui des émissions.

Ces premiers éléments descriptifs montrent l'intérêt de telles analyses pour mieux visualiser, en particulier, les variabilités spatiales et temporelles des concentrations en particules fines et ainsi mieux appréhender les phénomènes de formation (sources, transformations chimiques...). Ces analyses statistiques seront exploitées en 2007 afin d'apporter des éléments pour optimiser le déploiement des stations de mesure des PM<sub>2.5</sub> sur l'ensemble du territoire. De plus, dans le futur, les résultats de cette étude préliminaire pourront être enrichis : les liens entre concentrations de PM<sub>2.5</sub> et des données complémentaires, telles que les inventaires d'émission, les données de ventilation de la ville, la densité de population, des mesures de Composés Organiques Volatils ... devront être explorés, afin de mettre en évidence les déterminants des concentrations urbaines de fond de PM<sub>2.5</sub>. On pourra alors construire des modèles de régression multi variés permettant de définir un « signal urbain » par type de ville, chaque type de ville étant lui-même associé à des paramètres à définir.



**8. LISTE DES ANNEXES**

<b>Repère</b>	<b>Désignation</b>	<b>Nombre de pages</b>
Annexe 1	Fiche programme	2
Annexe 2	Histogrammes en fréquence des concentrations de PM2.5	9
Annexe 3	Profils hebdomadaires de concentrations de PM2.5	13
Annexe 4	Statistiques saisonnières des concentrations de PM10	2

## ANNEXE 1 :

### FICHE PROGRAMME

#### TRAITEMENTS NUMERIQUES

#### **Etude 27 : Analyse statistique des données de PM2.5 en milieux urbain et périurbain**

#### **CONTEXTE et OBJECTIFS**

Suite aux travaux réalisés dans le cadre du programme CAFE (Clean Air For Europe) et à l'adoption de la nouvelle stratégie thématique sur la qualité de l'air, les PM2.5 sont amenées à prendre une part prépondérante dans les futures réglementations européennes et nationales. Ainsi des valeurs limites et des objectifs de qualité à long terme vont être définis, pour ce polluant que l'on considère maintenant comme incontournable en regard de ses effets sur la santé humaine.

Le problème posé aux organismes en charge de la gestion de la qualité de l'air, est le constat et la prévision de dépassements récurrents des valeurs limites, dans les villes notamment, y compris à l'horizon 2020. Une meilleure appréhension des sources et du comportement des PM2.5 reste nécessaire afin de définir des politiques efficaces et pertinentes de maîtrise de la pollution particulaire. Cette démarche devra être menée dans chaque état membre dans les années à venir.

L'objectif de ce programme est de fournir aux acteurs français de la qualité de l'air un bilan de la situation à l'aide d'une analyse statistique, menée à l'échelle de la France, sur des données de PM2.5. L'idée est également d'évaluer pour différents types de villes, un « signal urbain » caractérisant dans la mesure des concentrations des PM2.5 en milieu urbain, la partie relevant de la contribution propre de la ville et celle provenant du fond régional.

#### **PROGRAMME PROPOSE pour 2006**

L'analyse statistique proposée reposera donc sur l'ensemble des données de mesure PM2.5 disponibles en France sur les dernières années, et ce quel que soit le type de station : urbaine, péri-urbaine, rurale. Les données de la BDQA seront exploitées à cette fin.

Une comparaison préliminaire des différents niveaux de concentrations observés permettra de dégager les grandes tendances nationales.

Dans un second temps, des corrélations avec de possibles facteurs explicatifs seront établies. On s'attachera en particulier à explorer les liens entre les concentrations de PM2.5 et les concentrations de NO2, les données issues des inventaires d'émission, les données de ventilation de la ville, la densité de population ... Il est ensuite envisagé d'utiliser les relations établies à l'aide de ces régressions pour définir un « signal urbain » caractéristique des villes, que l'on pourra assimiler à la contribution locale de la ville à la pollution en PM2.5. Ce signal pourra être considéré comme une correction locale à ajouter aux concentrations de fond représentées par des stations rurales ou périurbaines.

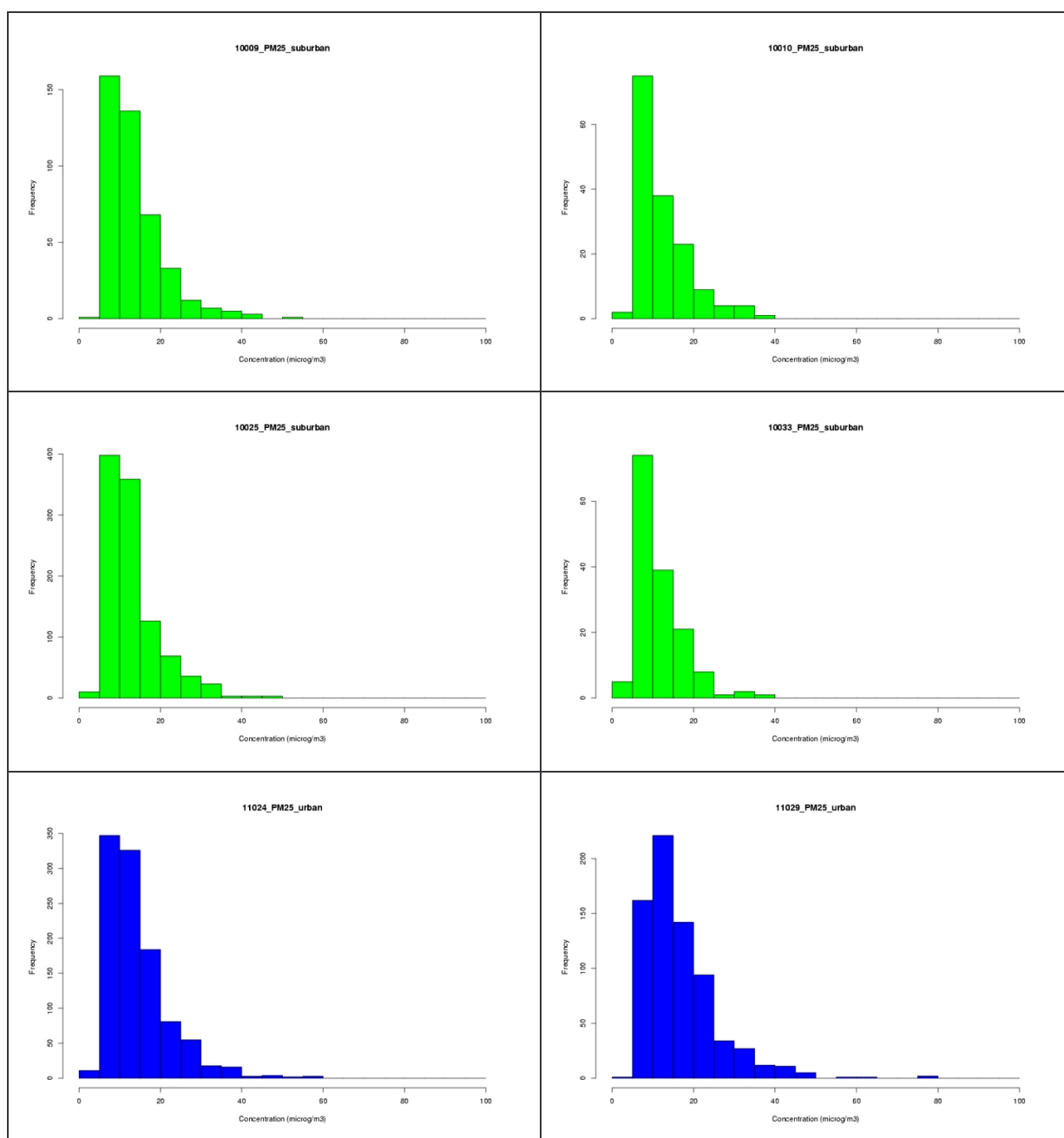
Cette démarche est précisément celle adoptée dans le cadre du programme CAFE et de la future révision de la Directive sur les plafonds nationaux d'émission, pour accéder à une meilleure représentation de la situation dans les villes. Il est donc important de développer une expertise nationale sur ce sujet afin de s'assurer de la bonne interprétation des données françaises de PM2.5. Nous nous attacherons à définir, si possible, des typologies de villes françaises (en fonction de la densité de population, des conditions météorologiques types....), caractérisées par exemple par les niveaux de concentrations de PM2.5 attendus dans ces villes et les méthodes qu'il est possible de mettre en œuvre pour les diminuer.

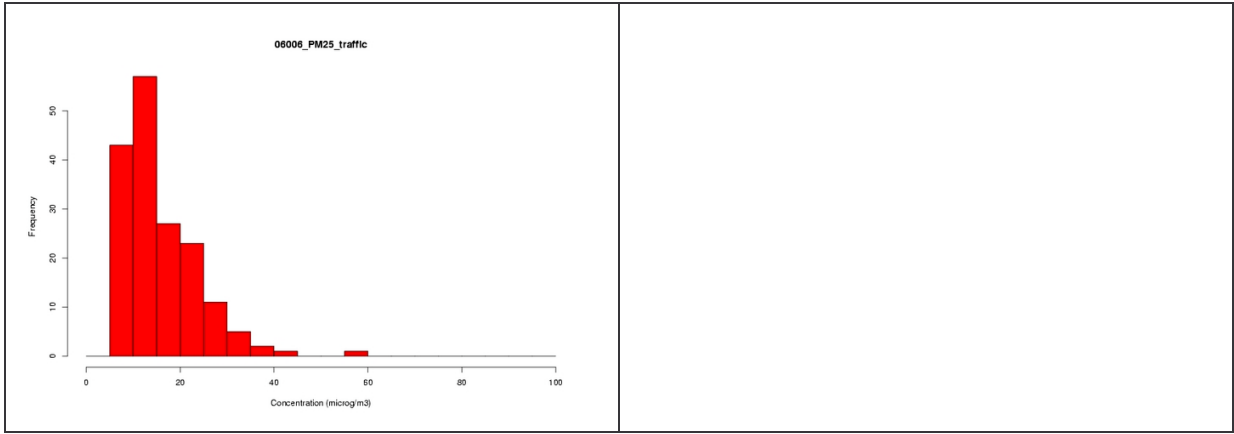
## ANNEXE 2 :

HISTOGRAMMES EN FREQUENCE  
DES CONCENTRATIONS DE PM2.5

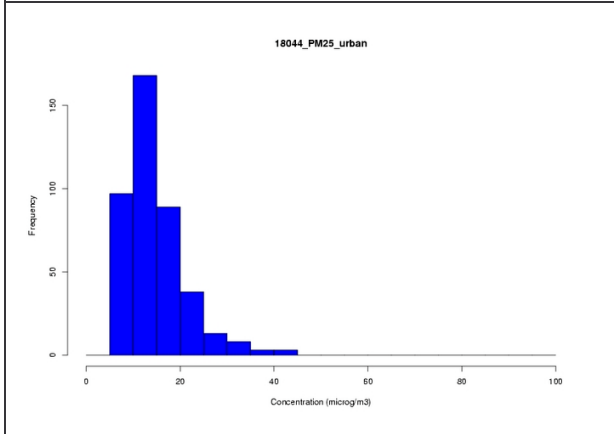
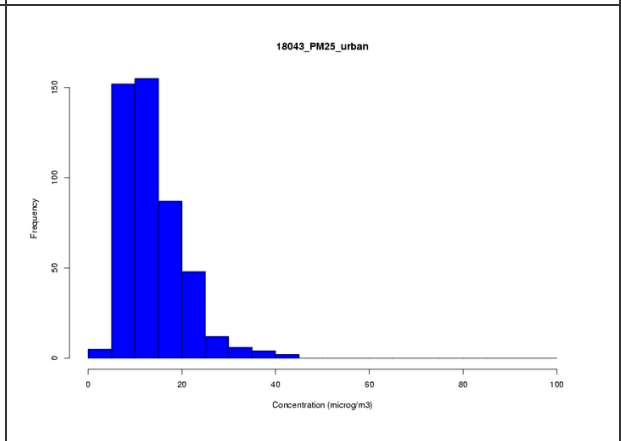
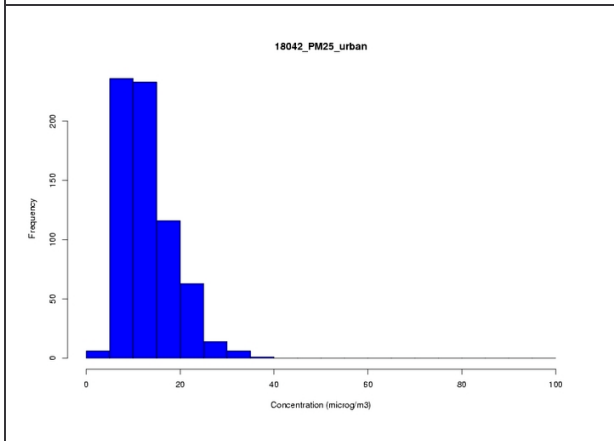
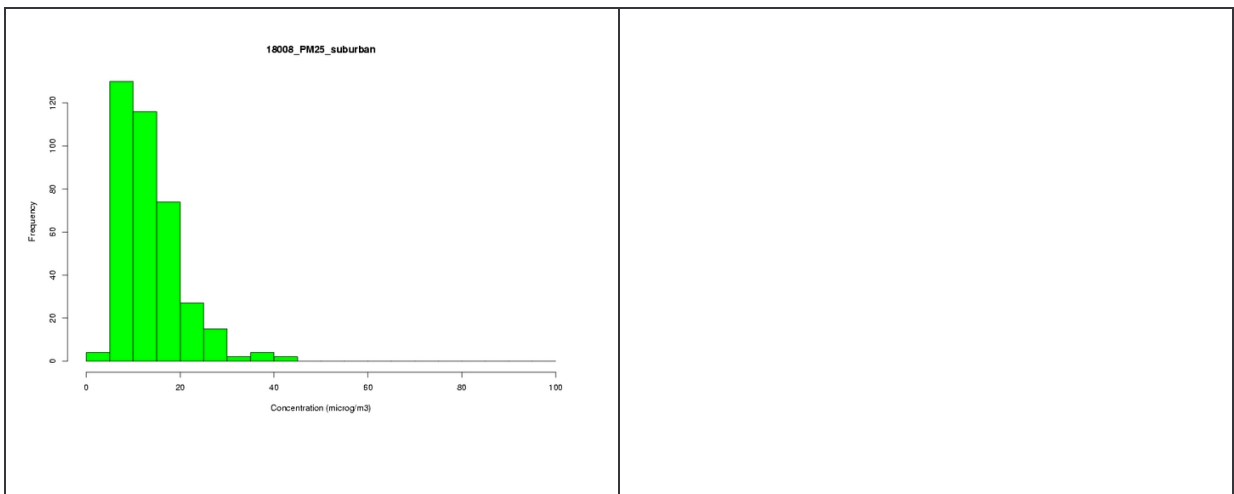
Les figures ci-après représentent les histogrammes des concentrations de PM2.5 mesurées entre 2003 et 2005 dans une sélection de régions françaises (en vert : stations périurbaines ; en bleu : stations urbaines ; en rouge : stations trafic). Chaque histogramme est établi sur les trois années confondues à partir d'au moins 5 mois de mesure disponibles. Les concentrations sont données en abscisse et la fréquence d'apparition en ordonnée.

## Nord-Pas-de-Calais :

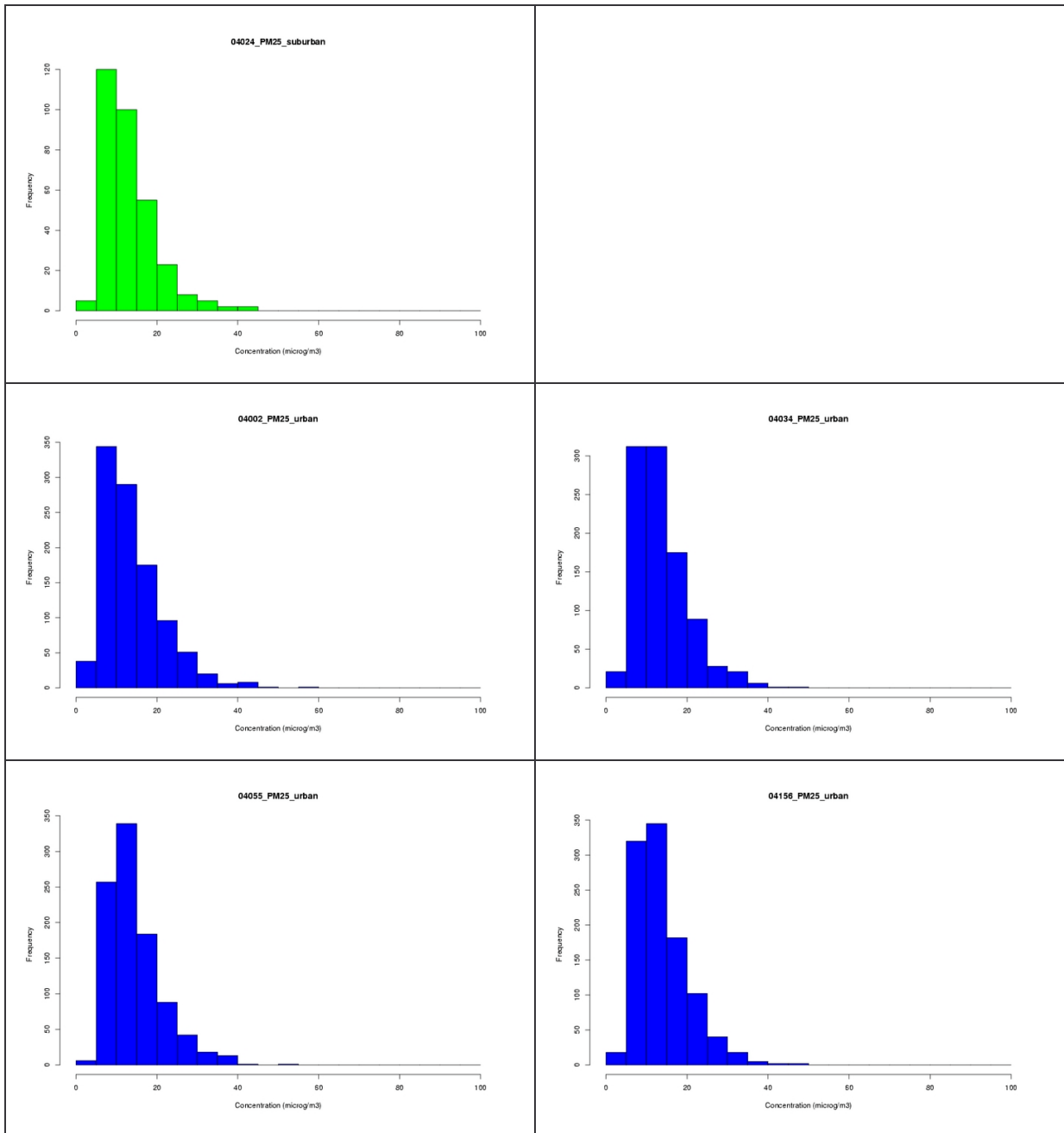




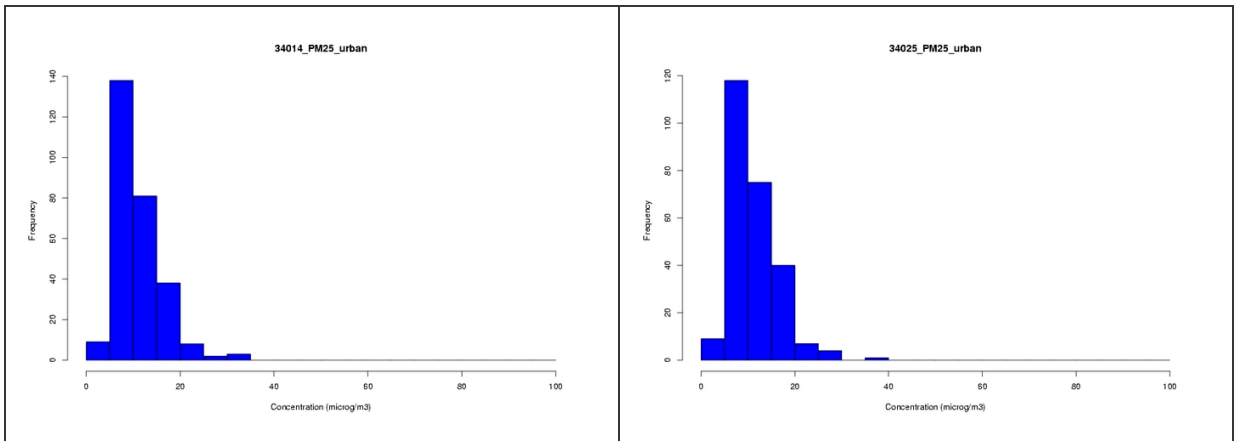
**Picardie :**



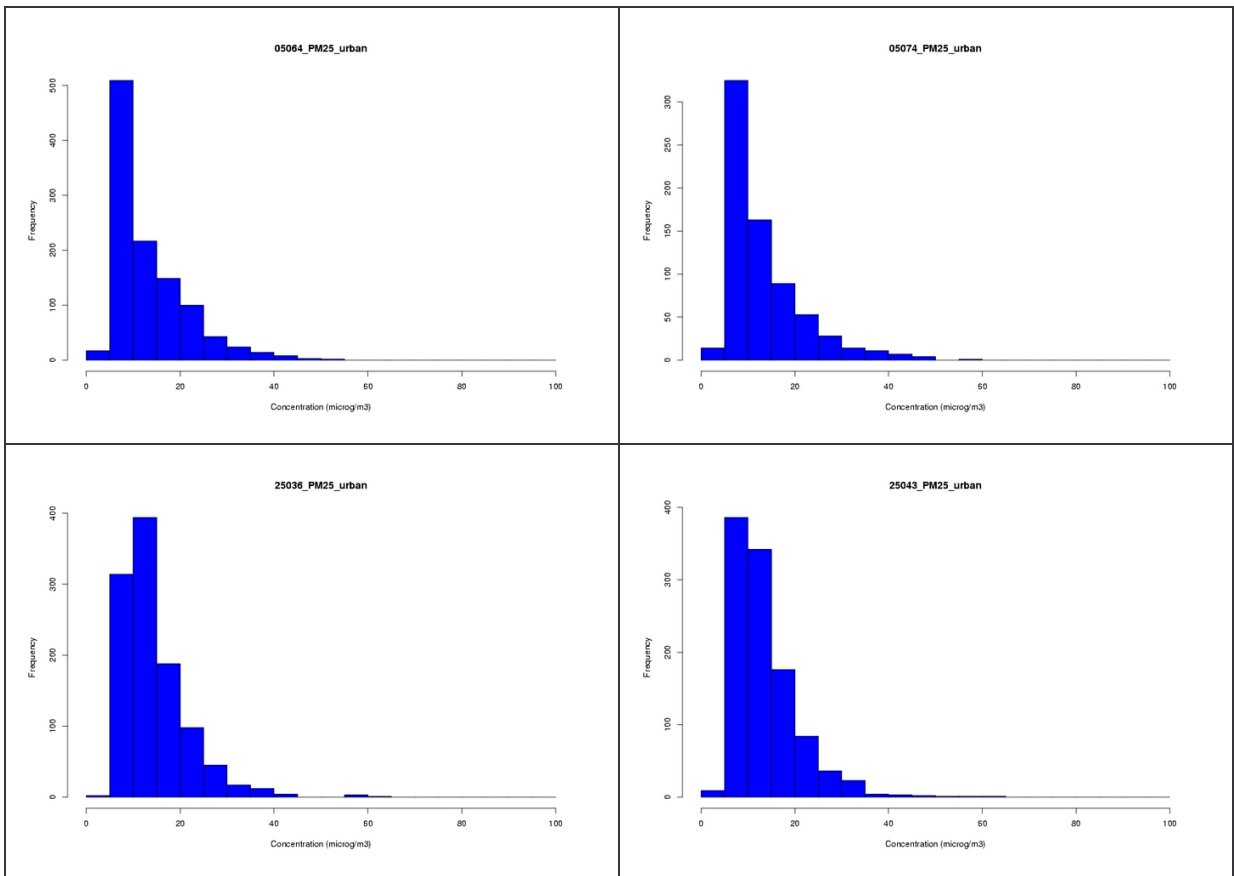
Ile-de-France :



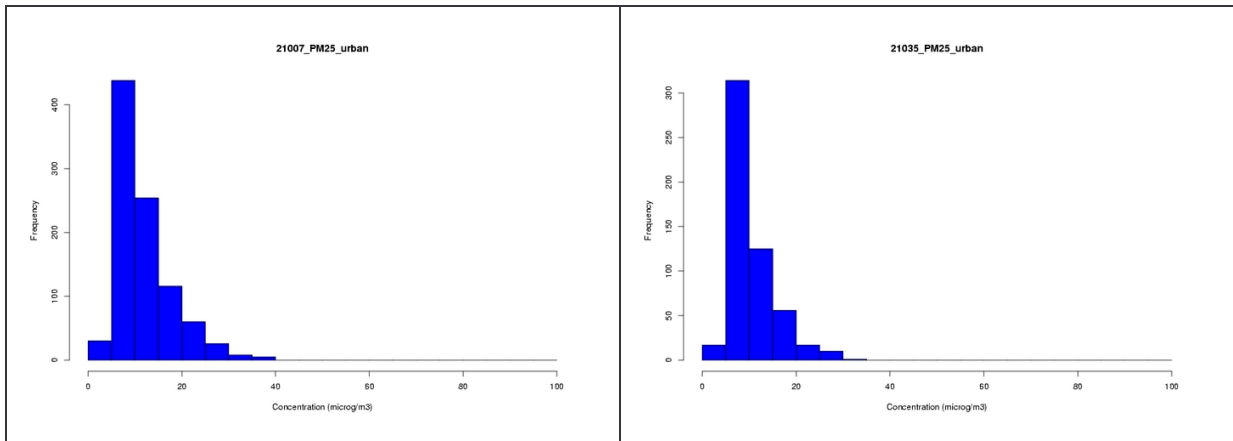
### Centre



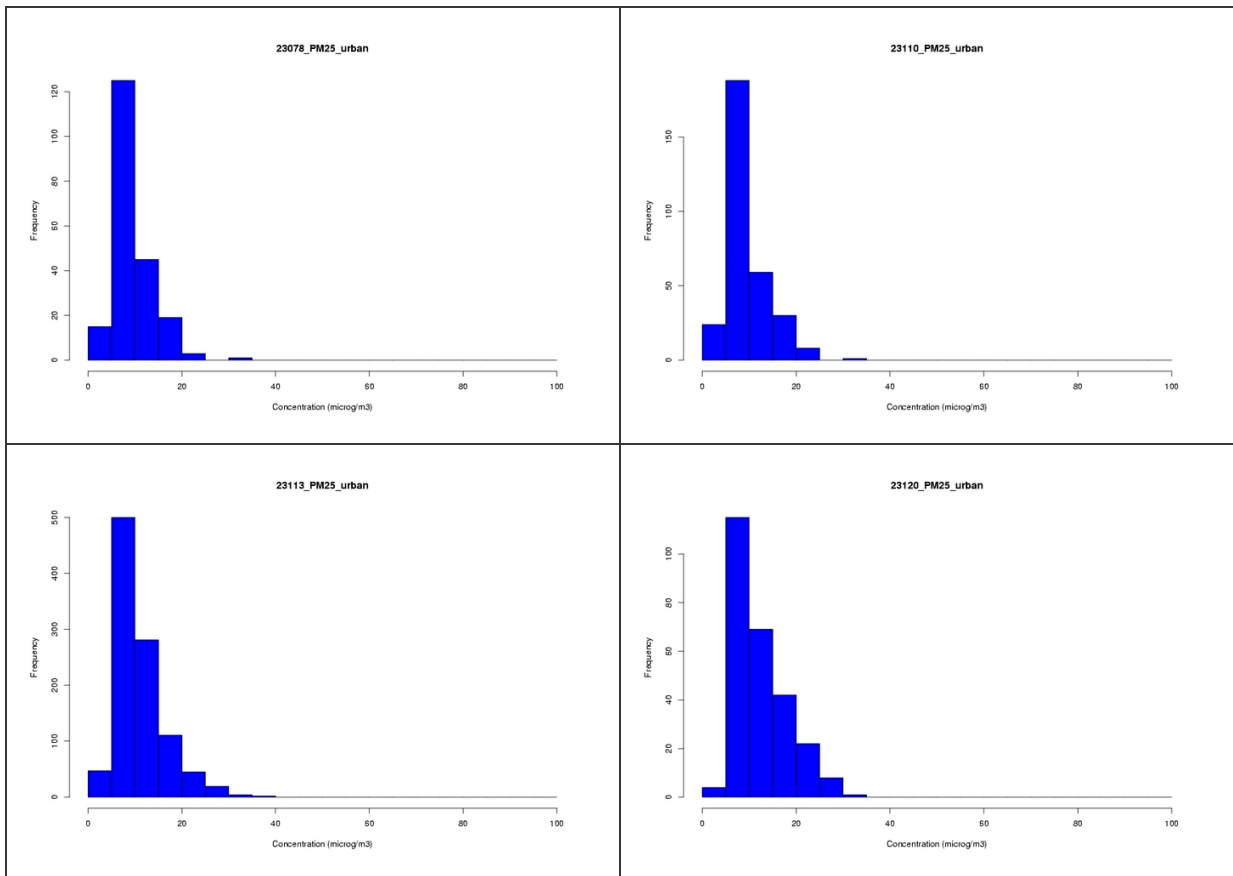
### Haute-Normandie :



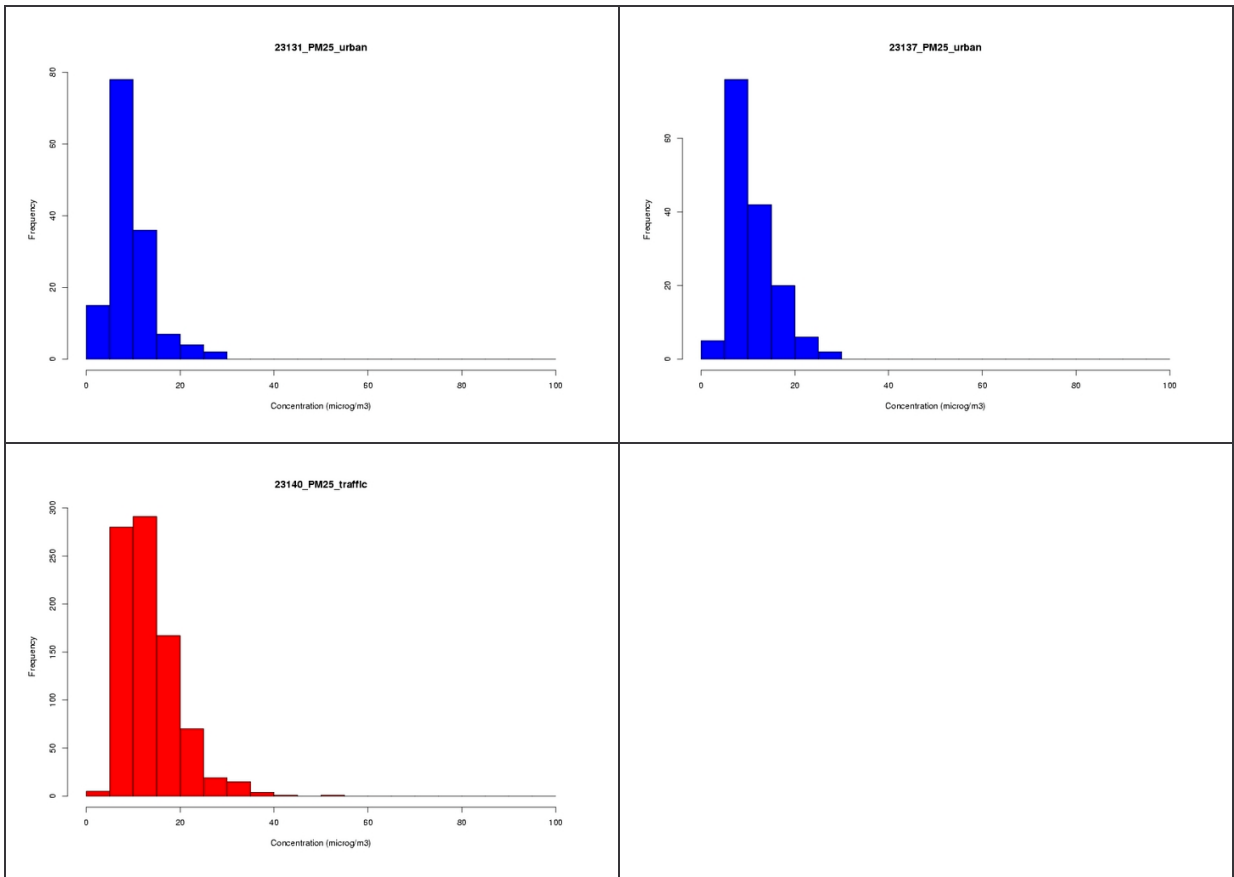
### Basse-Normandie



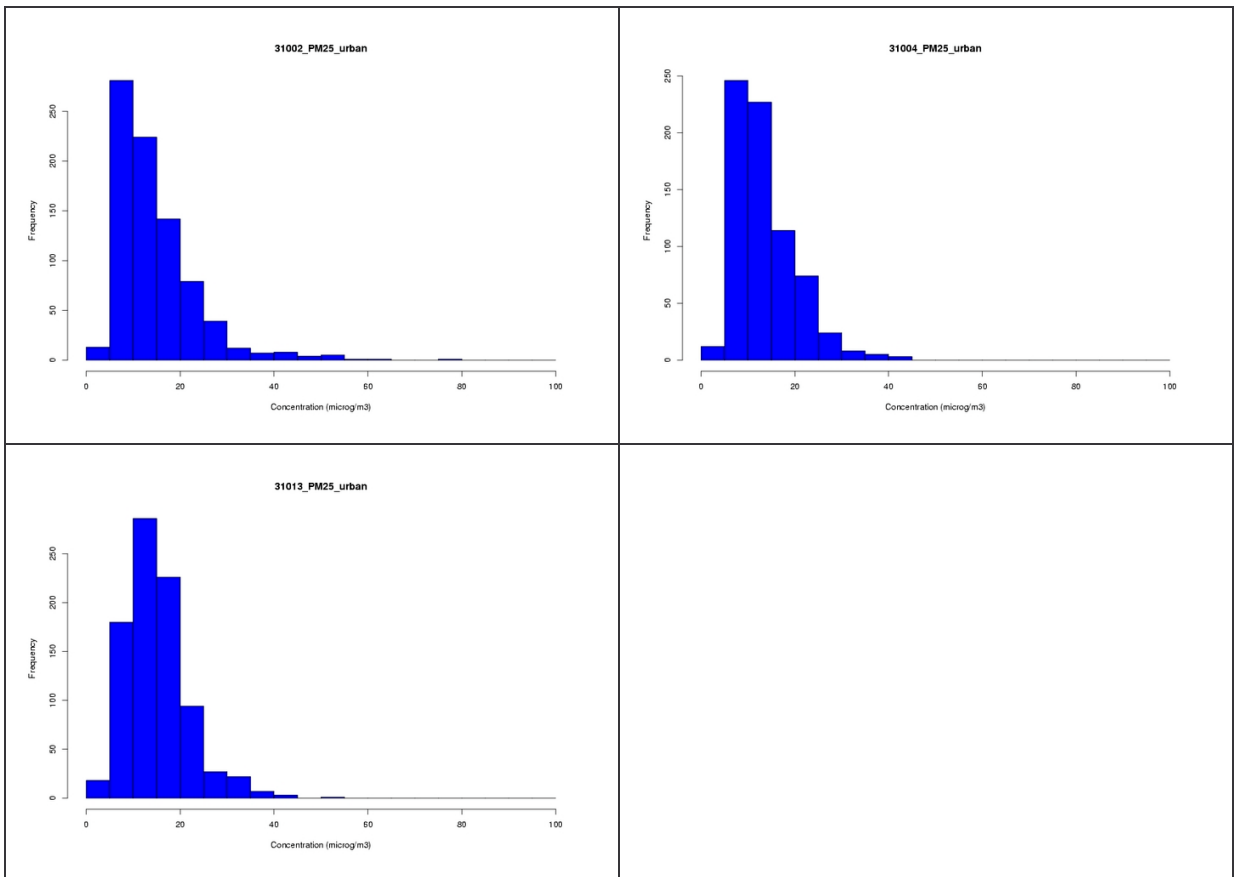
### Pays-de-Loire :



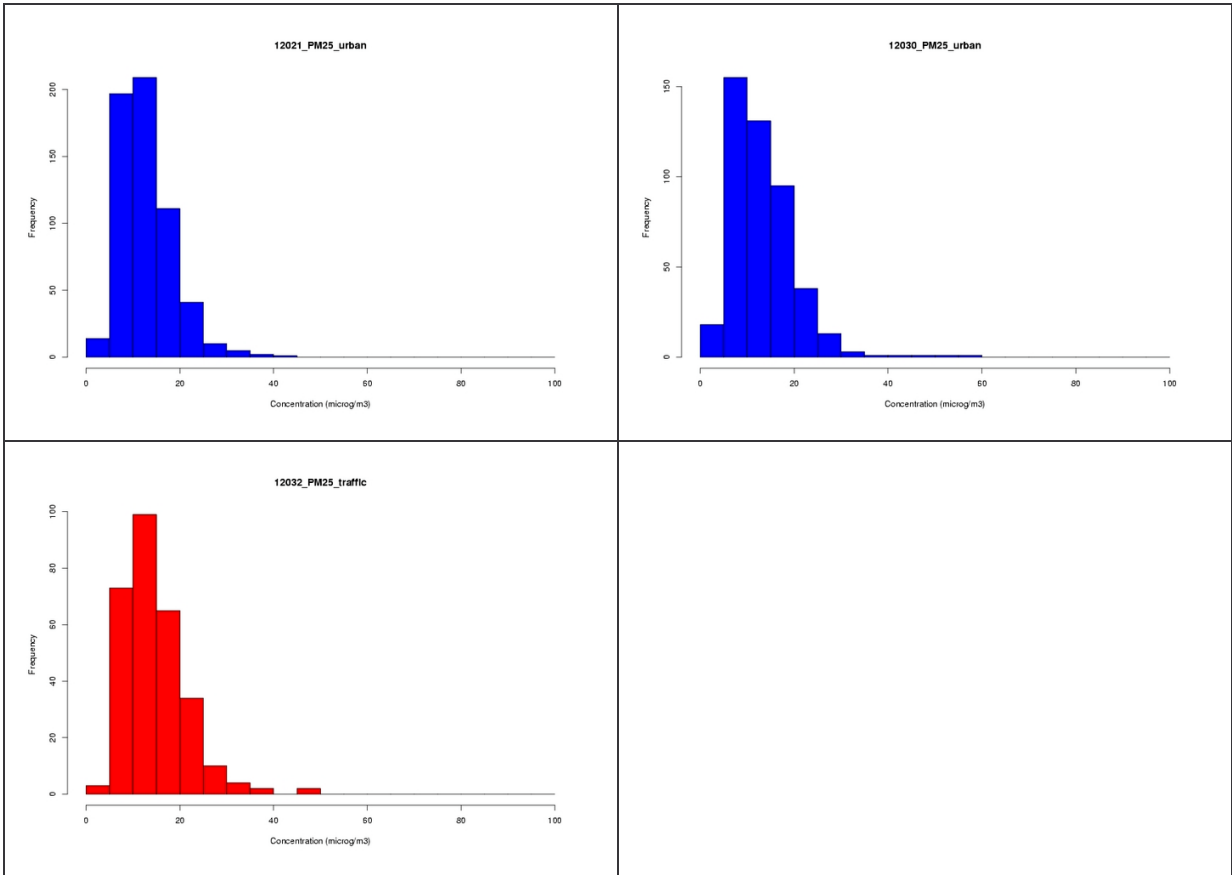




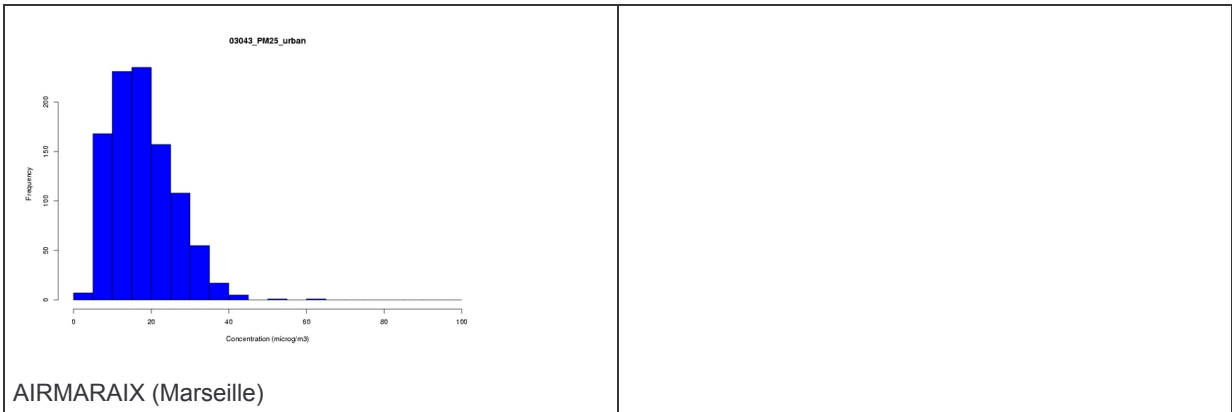
Aquitaine :



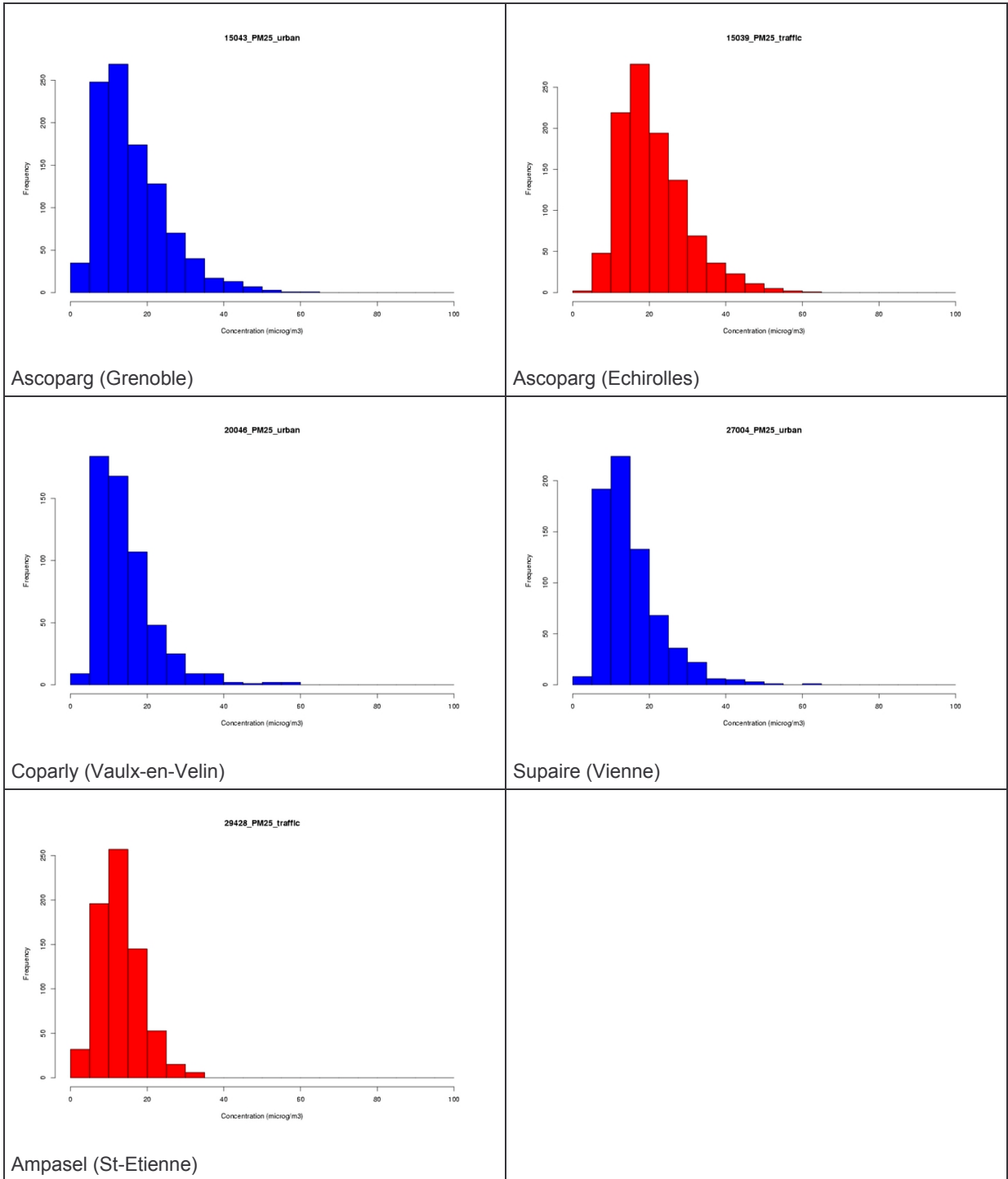
Midi-Pyrénées :



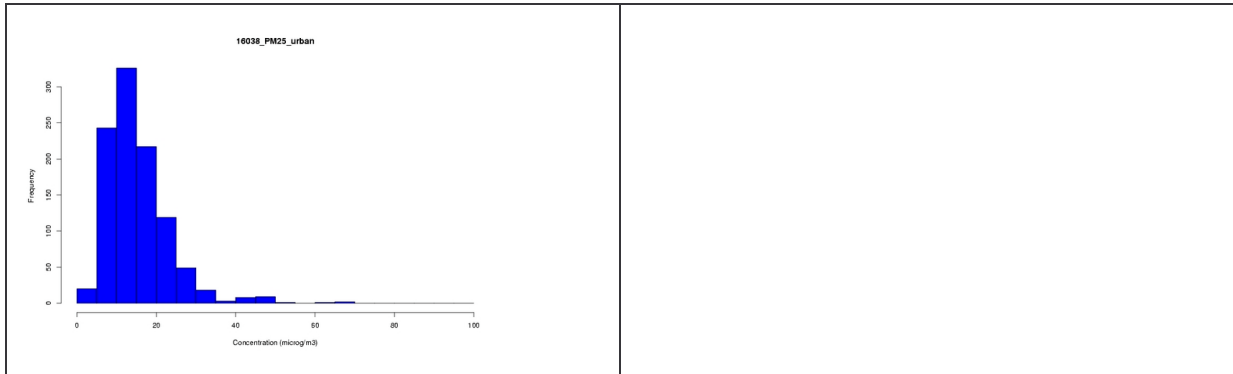
Provence – Alpes - Côte d’Azur :



Rhône-Alpes :



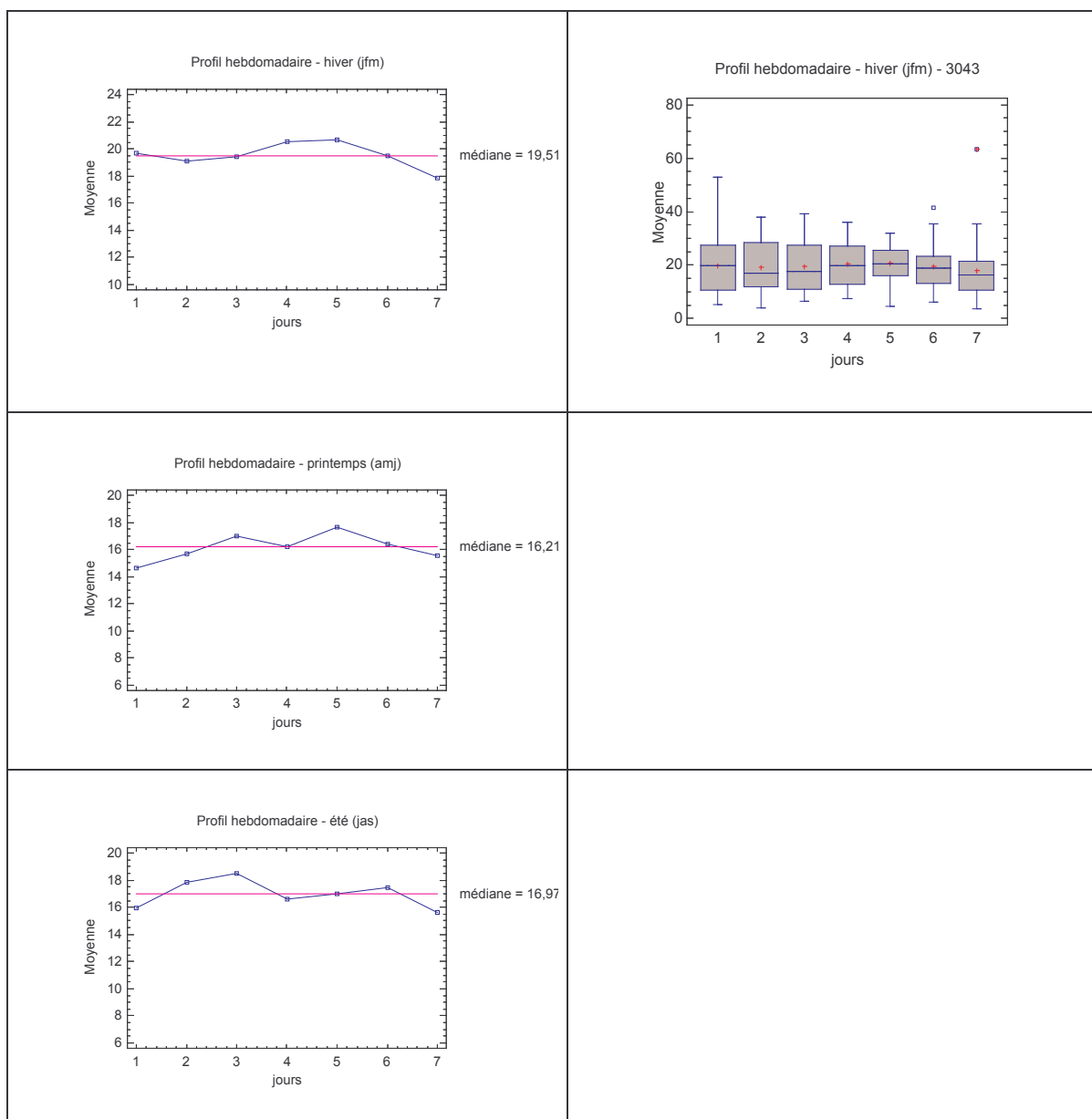
Alsace :

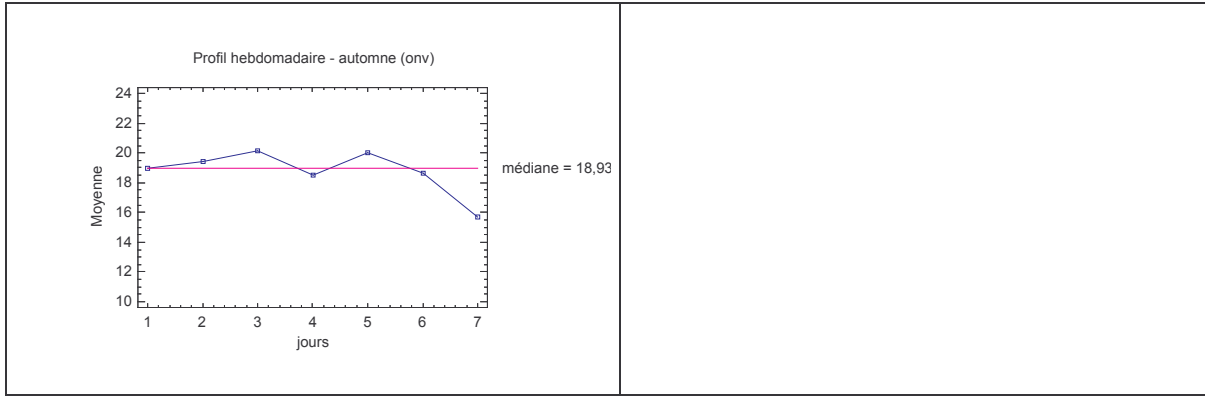


## ANNEXE 3 :

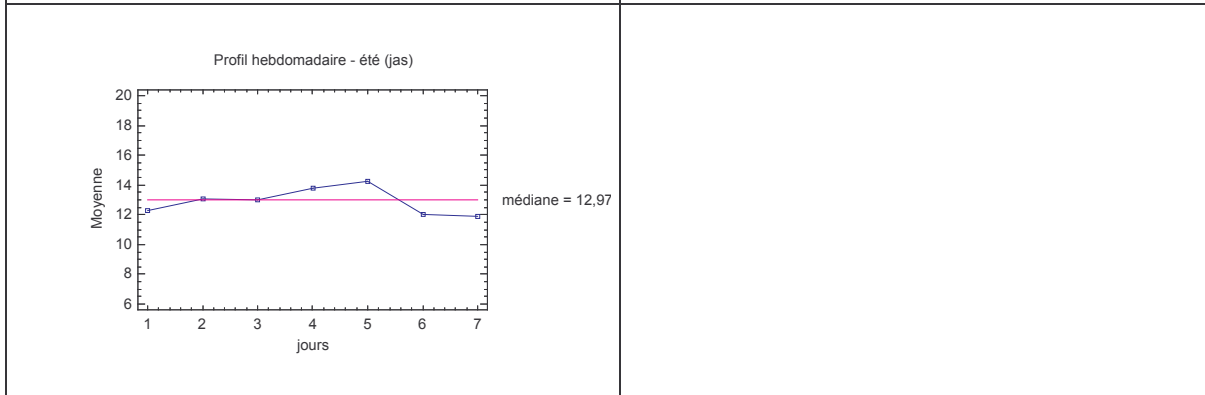
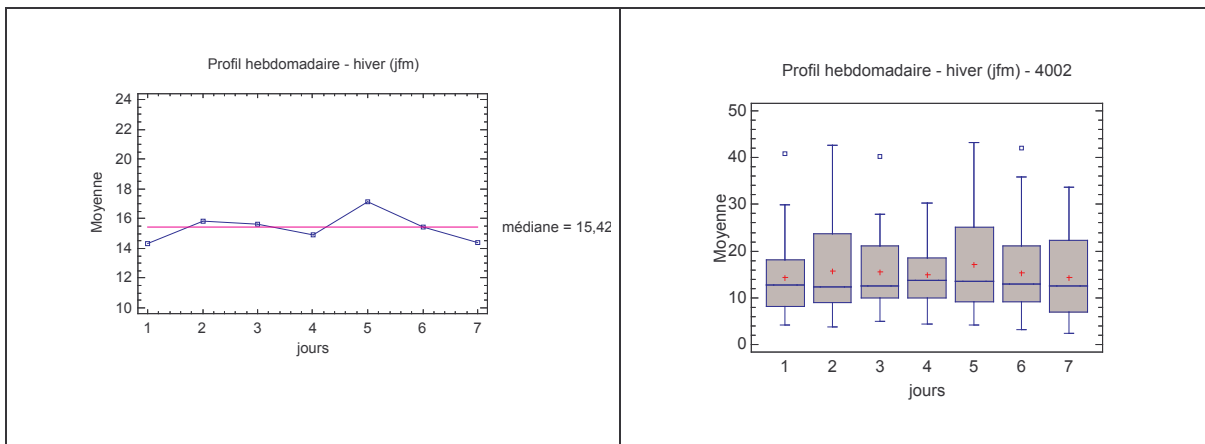
## PROFILS HEBDOMADAIRES DE CONCENTRATIONS DE PM2.5

Les graphiques de la colonne de gauche représentent les profils moyens hebdomadaires calculés trimestre par trimestre (afin de s'affranchir de l'effet saisonnier). La variabilité des concentrations autour des points moyens est illustrée pour quelques séries par les boîtes à moustaches (colonne de droite).

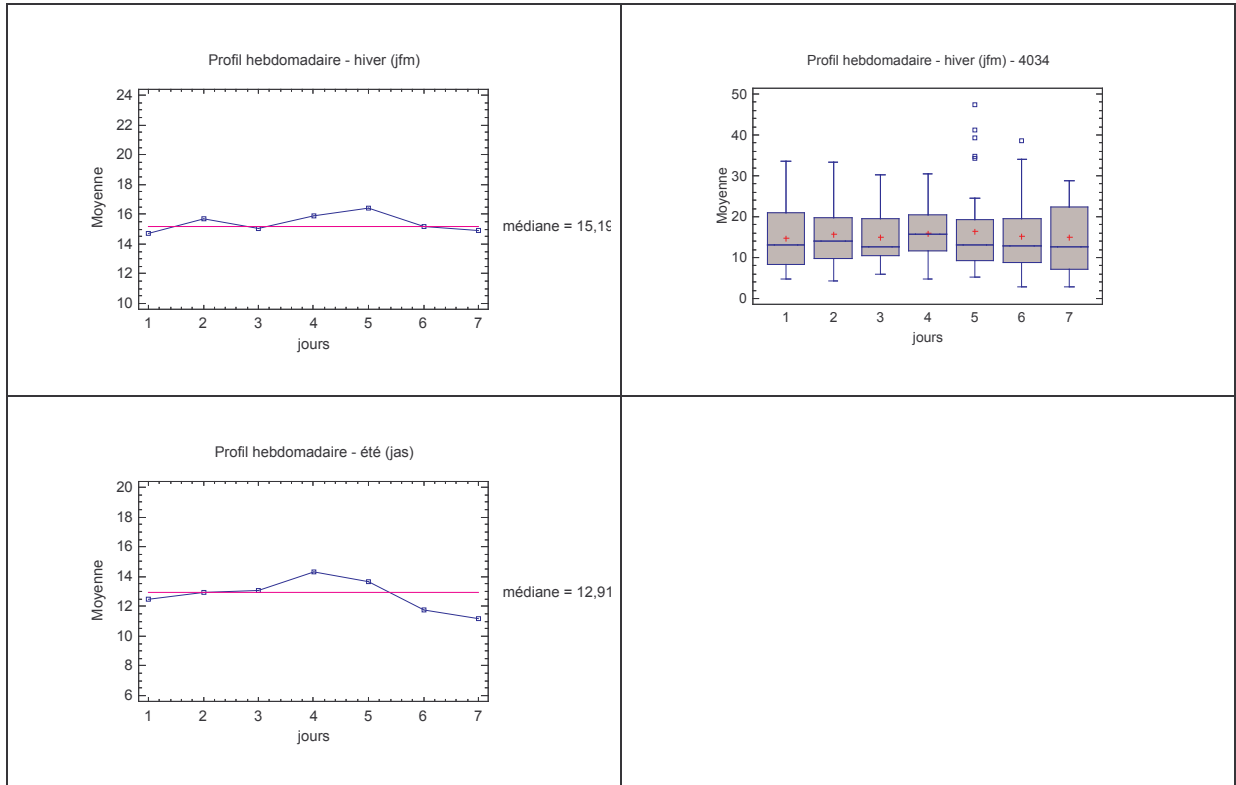




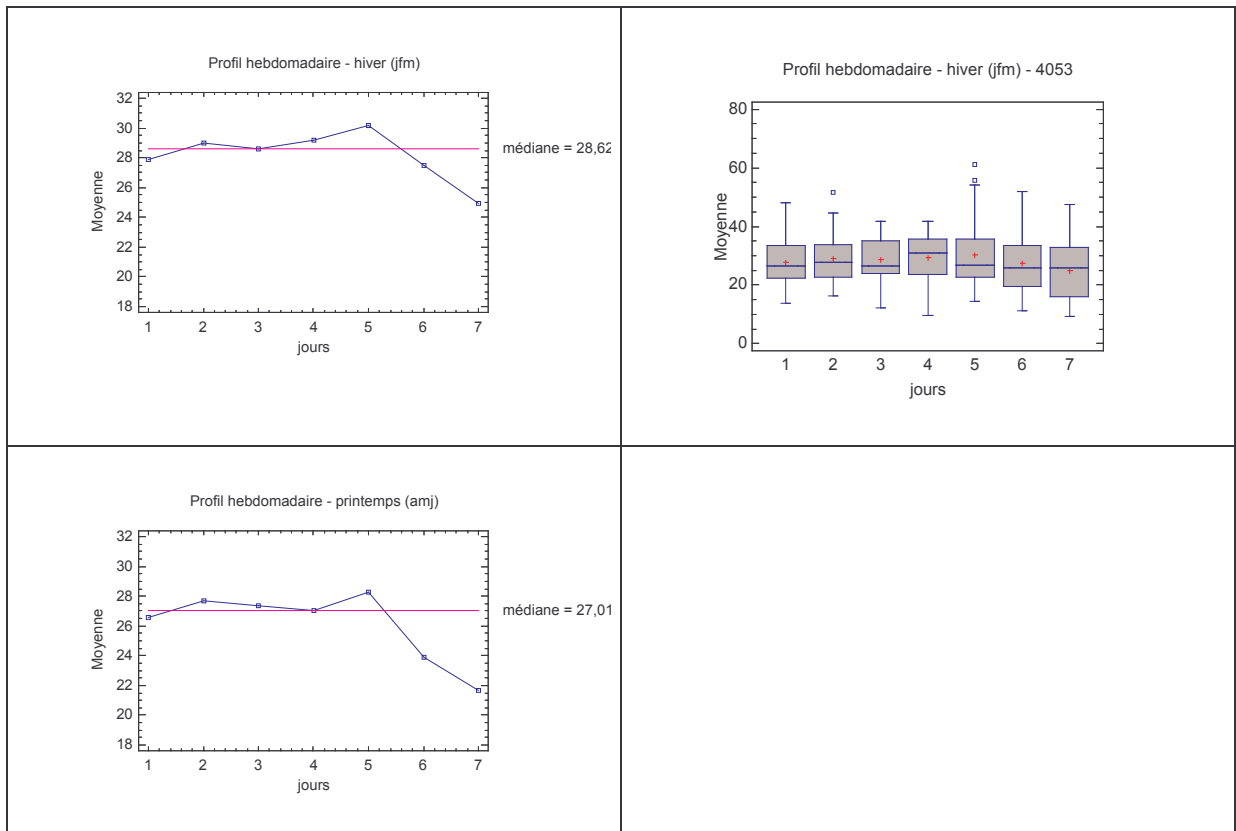
3043 : Station urbaine, Marseille, PACA

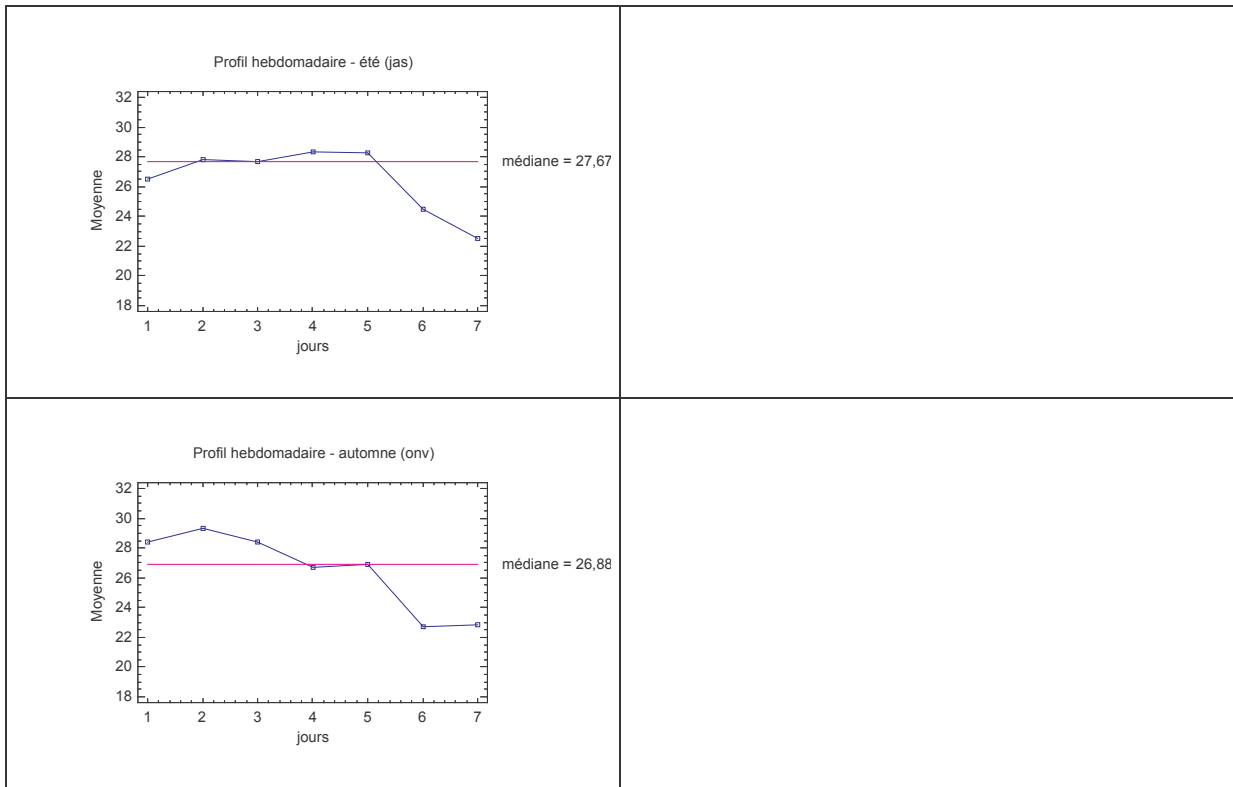


4002 : Station urbaine, Gennevilliers, Ile-de-France

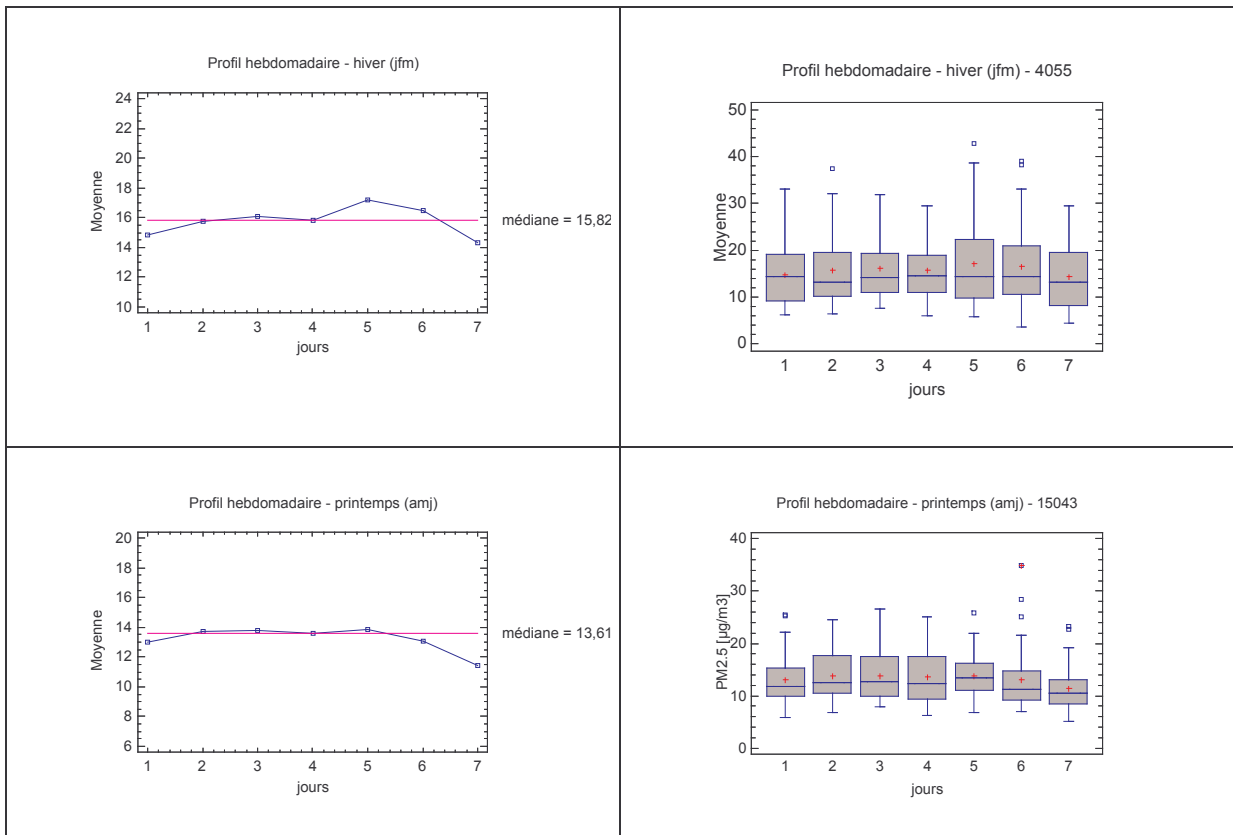


4034 : Station urbaine, Vitry-sur-Seine, Ile-de-France

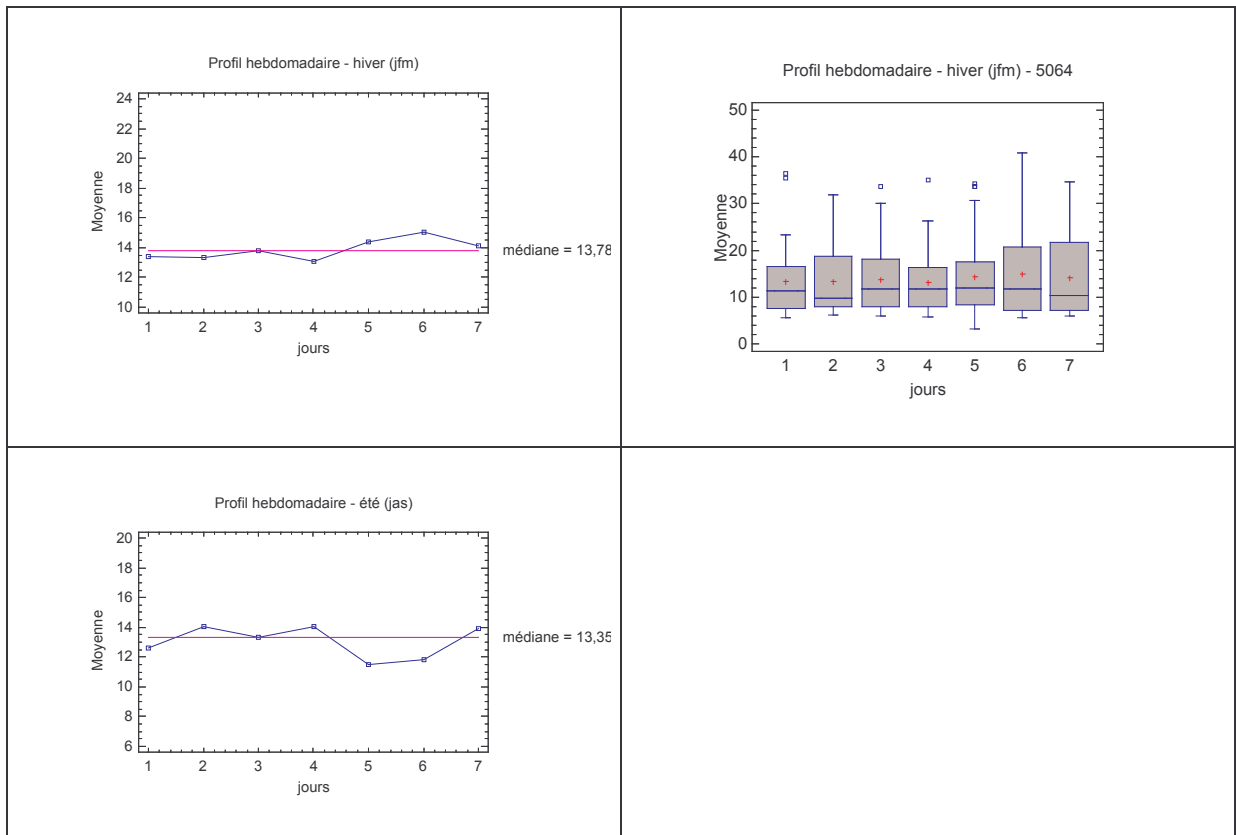
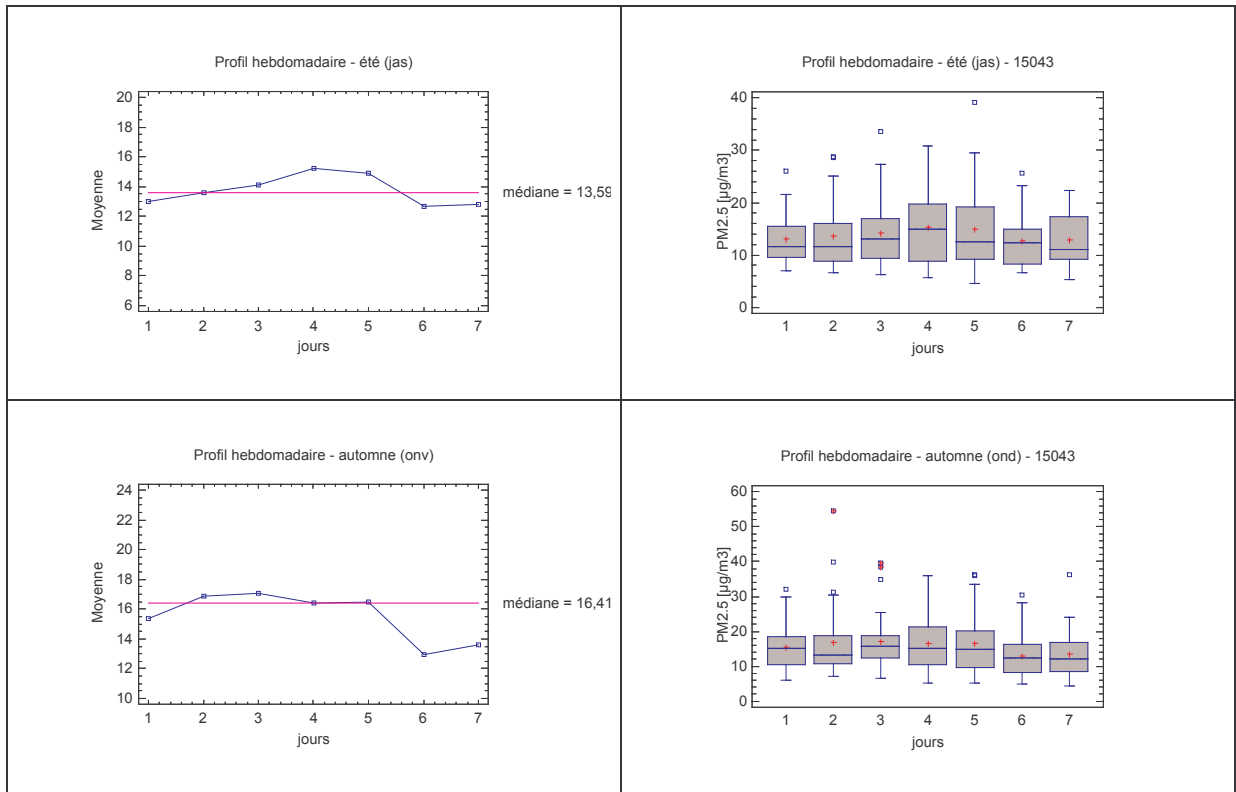


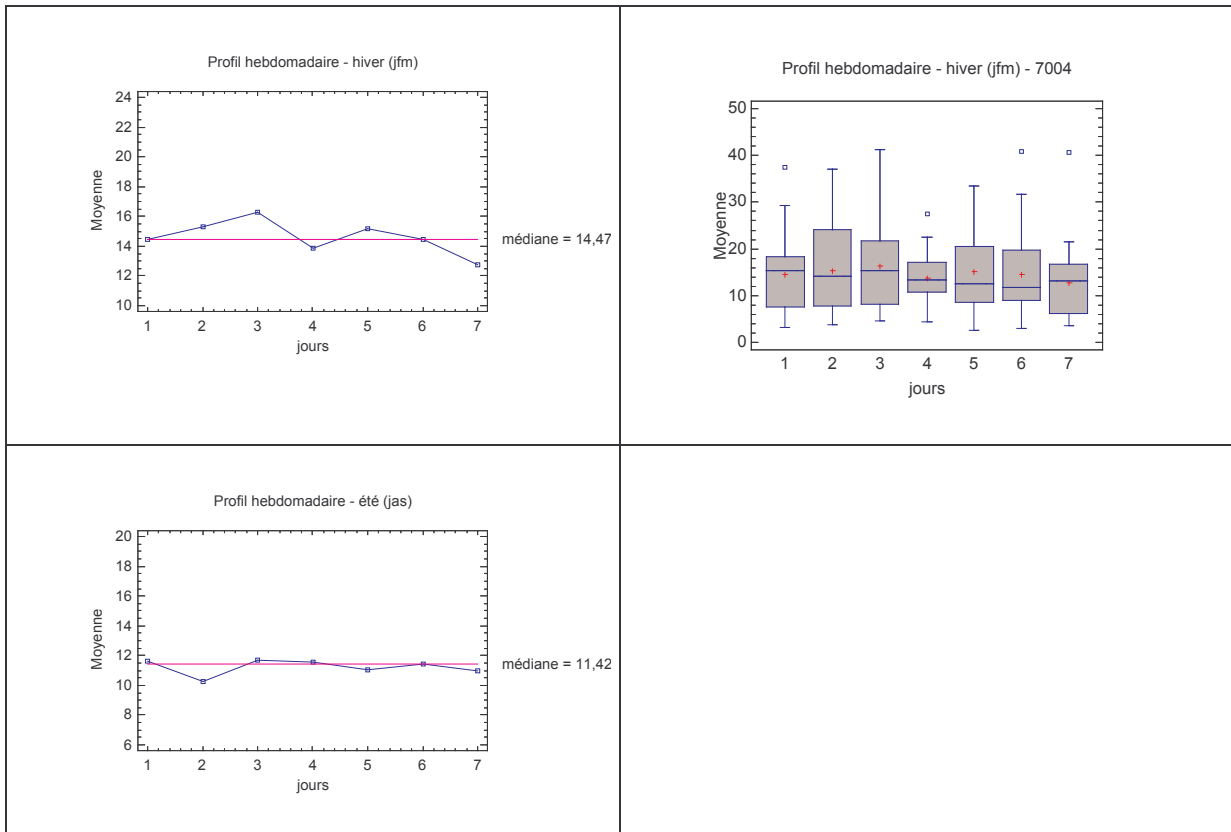


4053 : Station **trafic**, Bd périphérique Auteuil, Paris

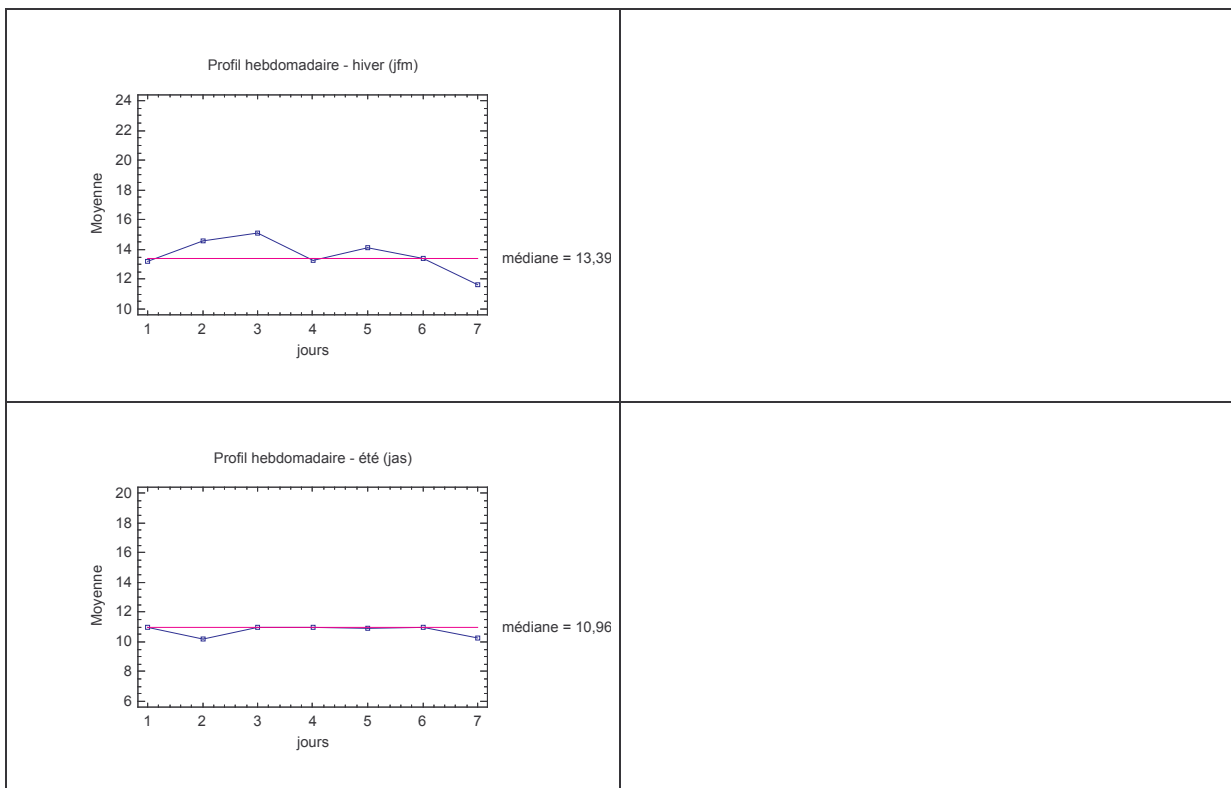




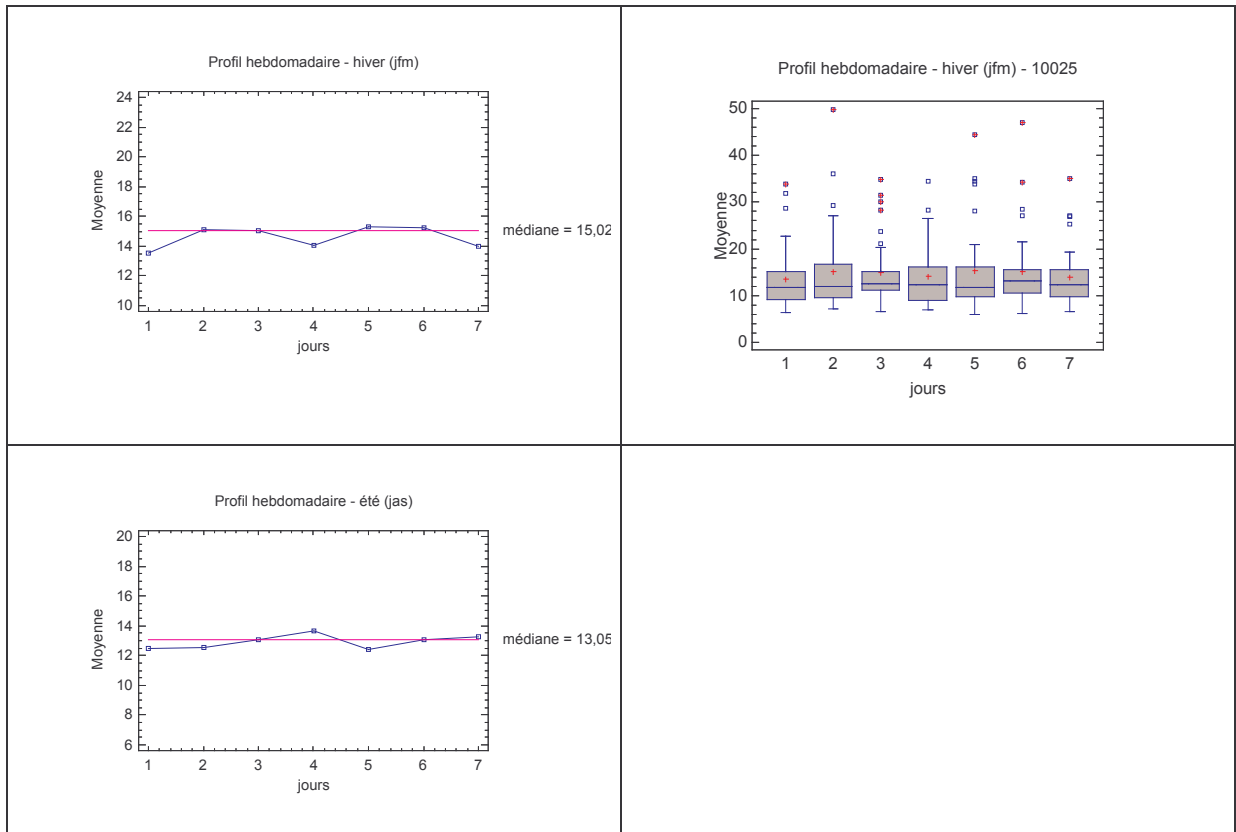




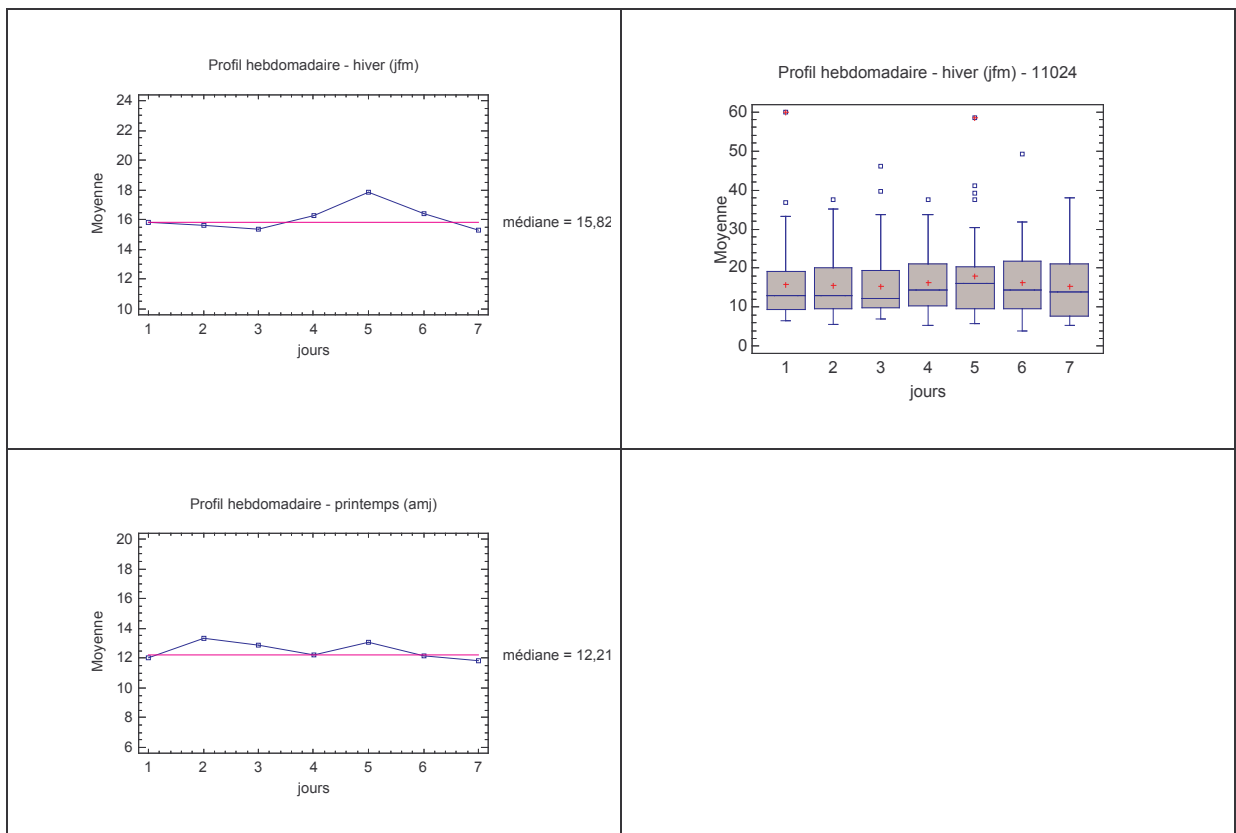
7004 : Station urbaine, Montferrand, Auvergne

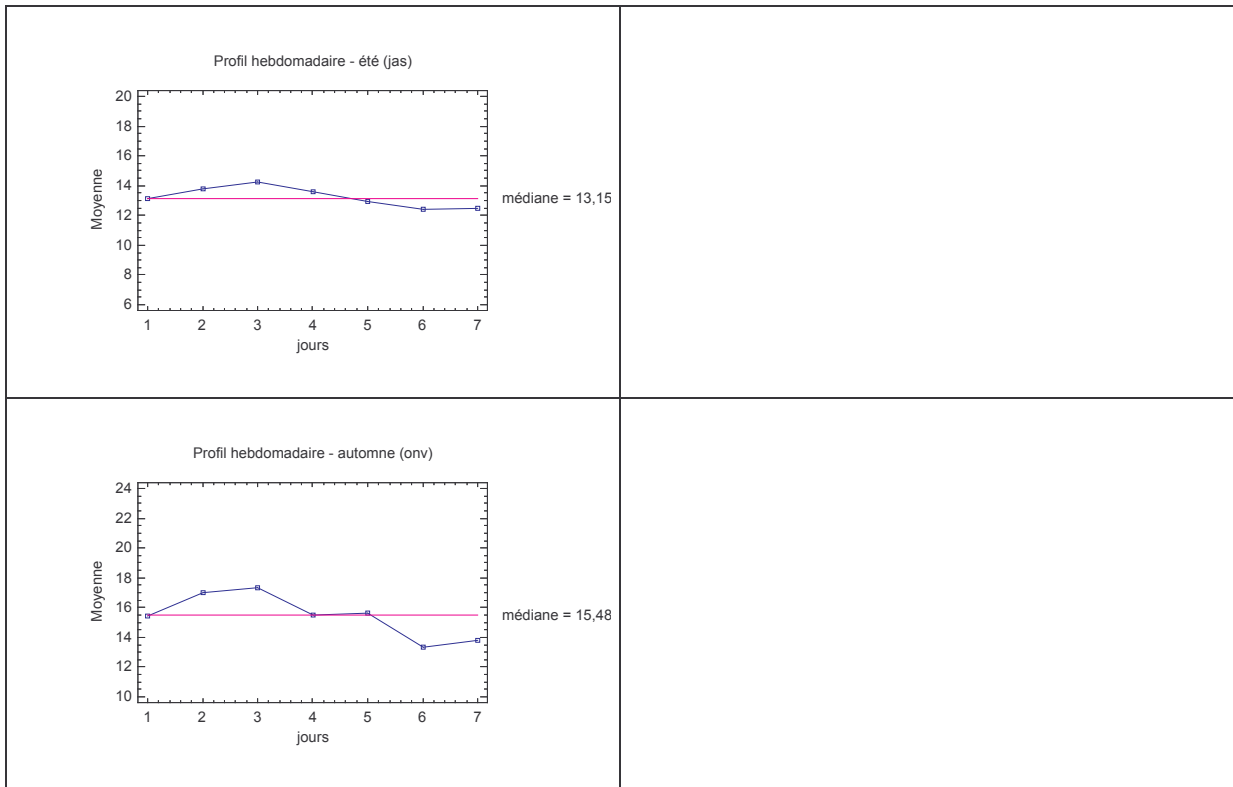


7008 : Station urbaine, Clermont-Ferrand, Auvergne

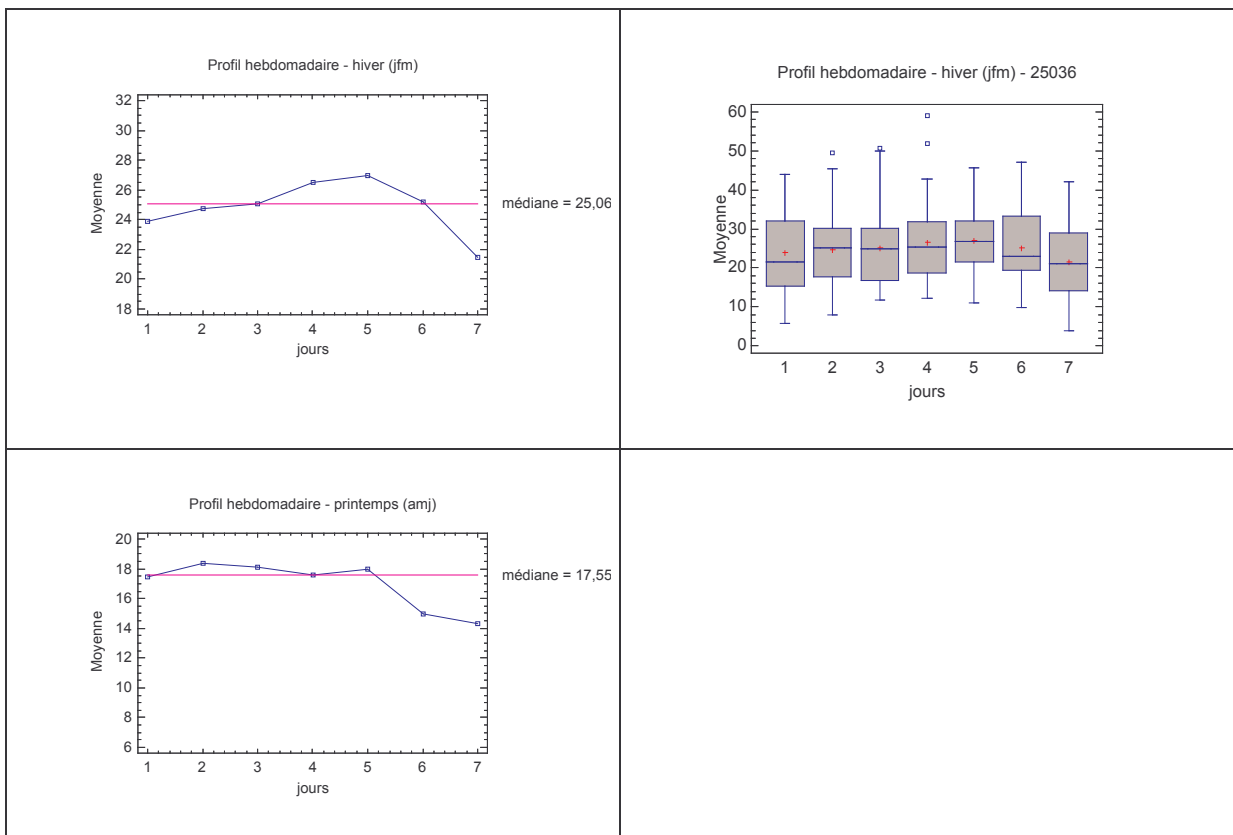


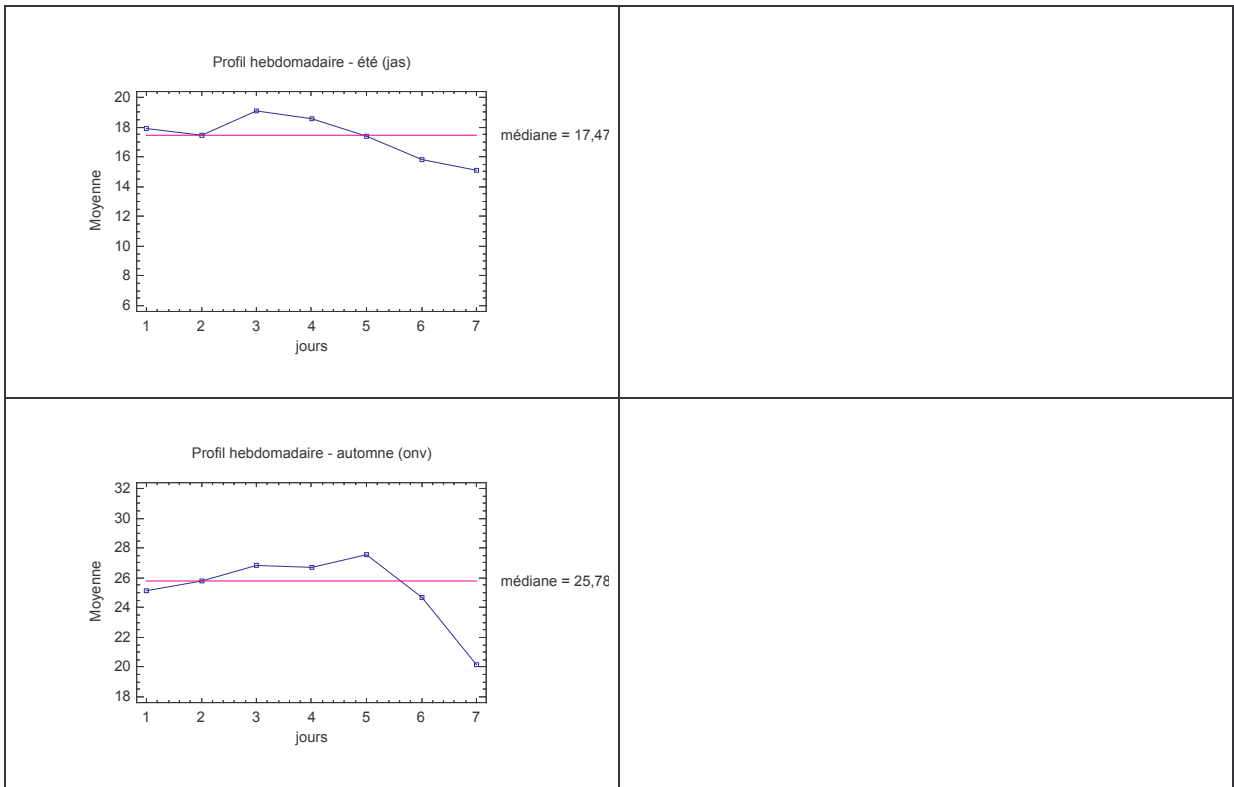
10025 : Station **périurbaine**, Sangatte, Nord-Pas-de-Calais



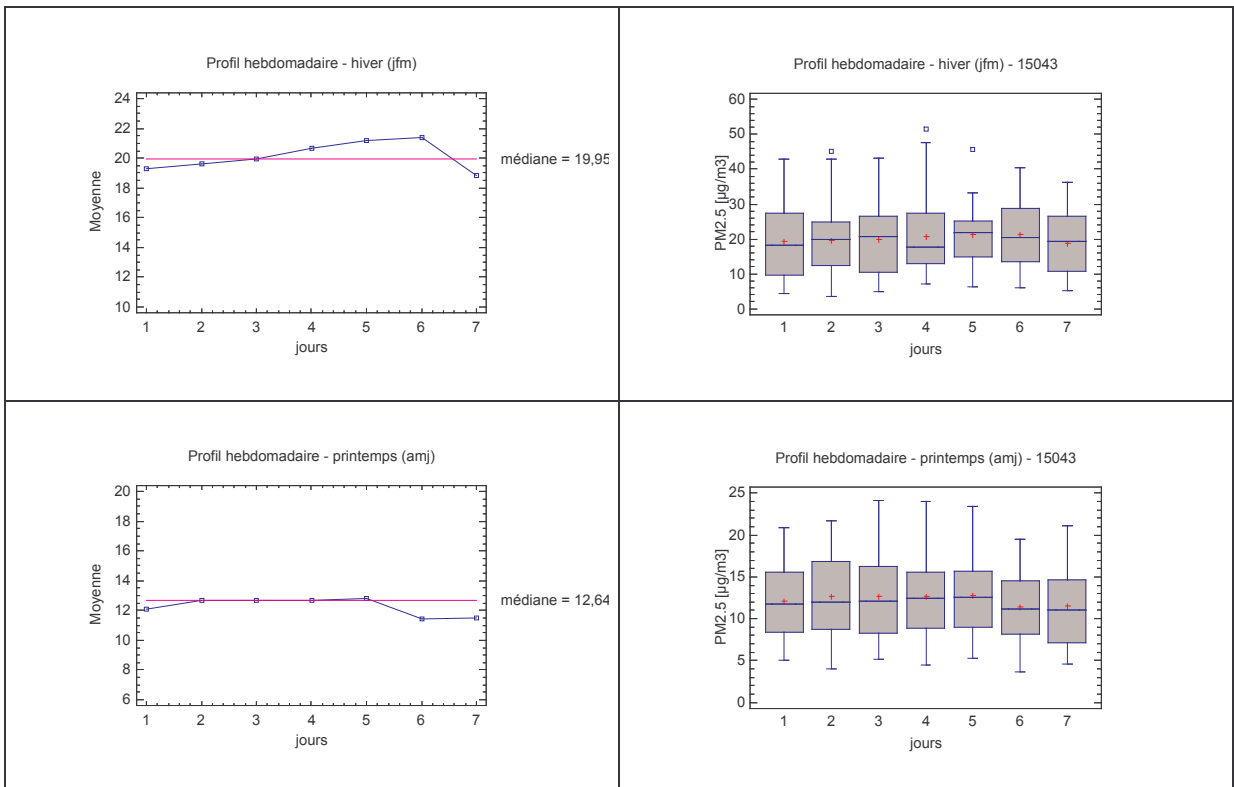


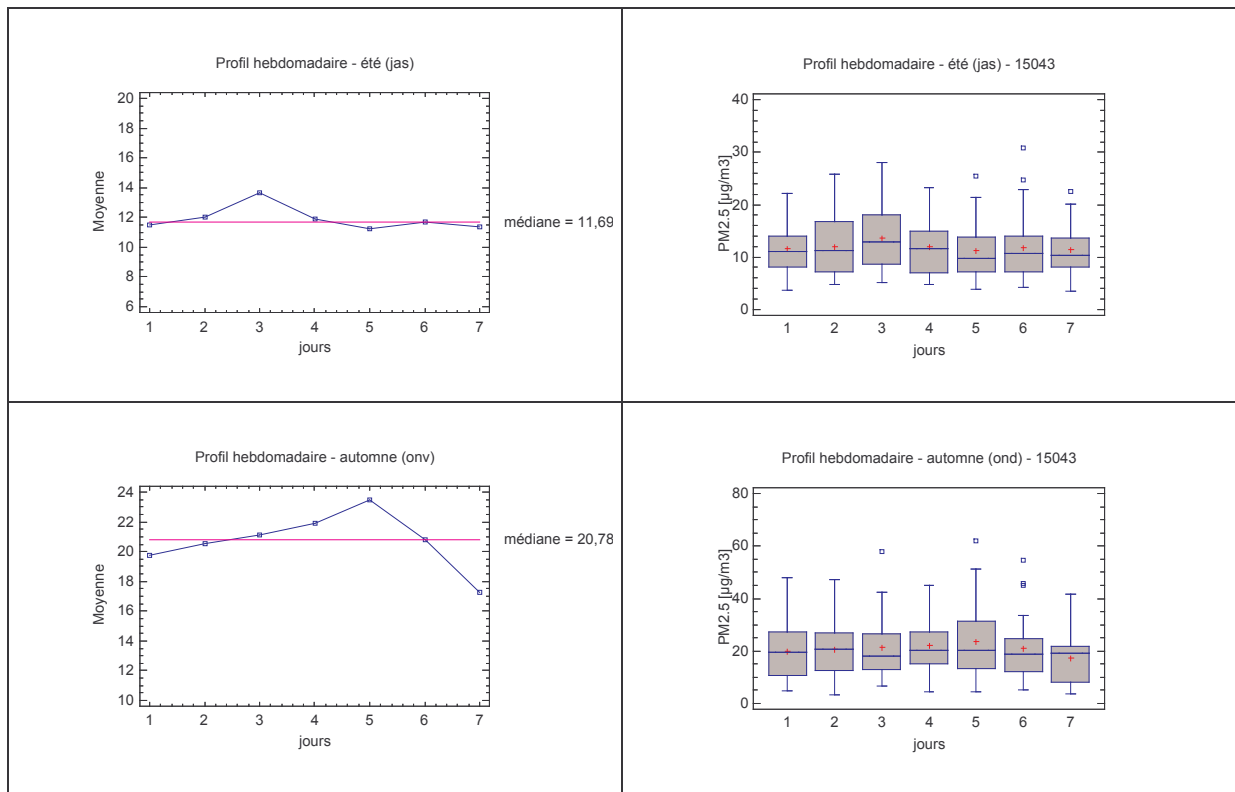
11024 : Station urbaine, Lille, Nord-Pas-de-Calais



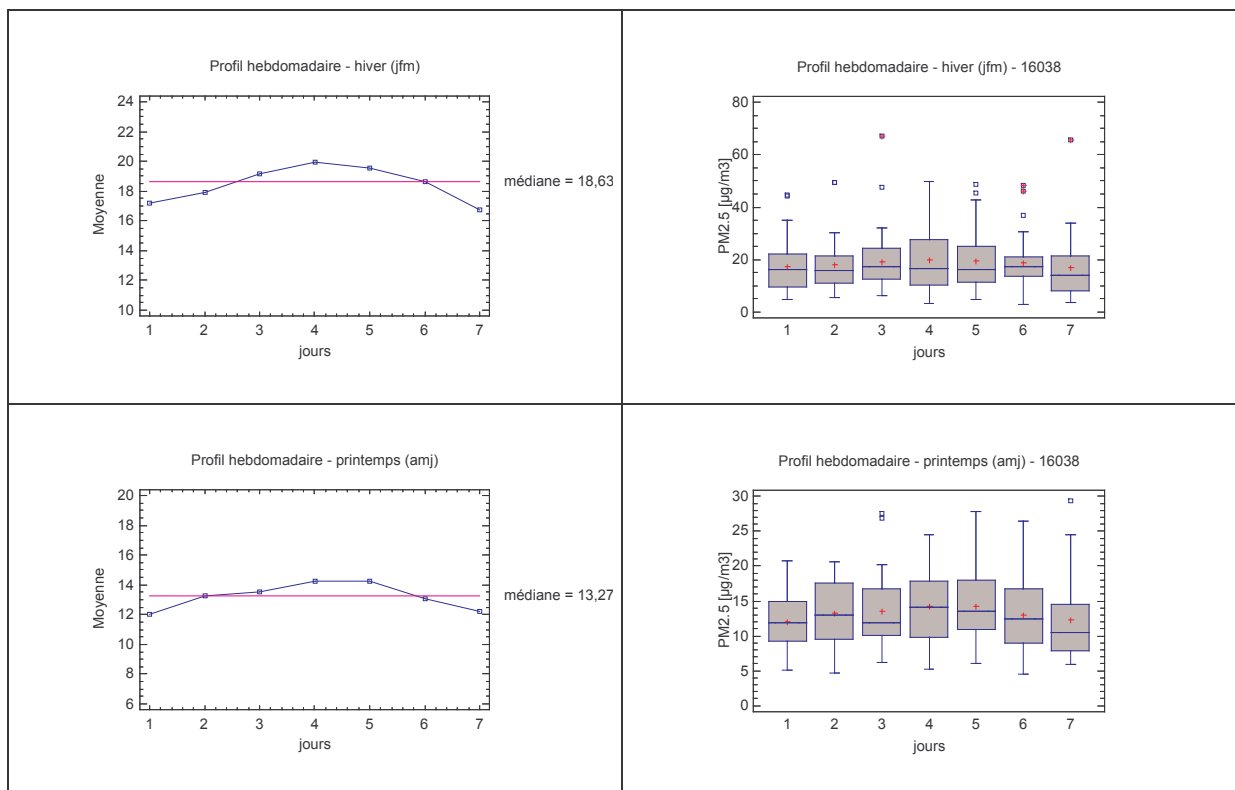


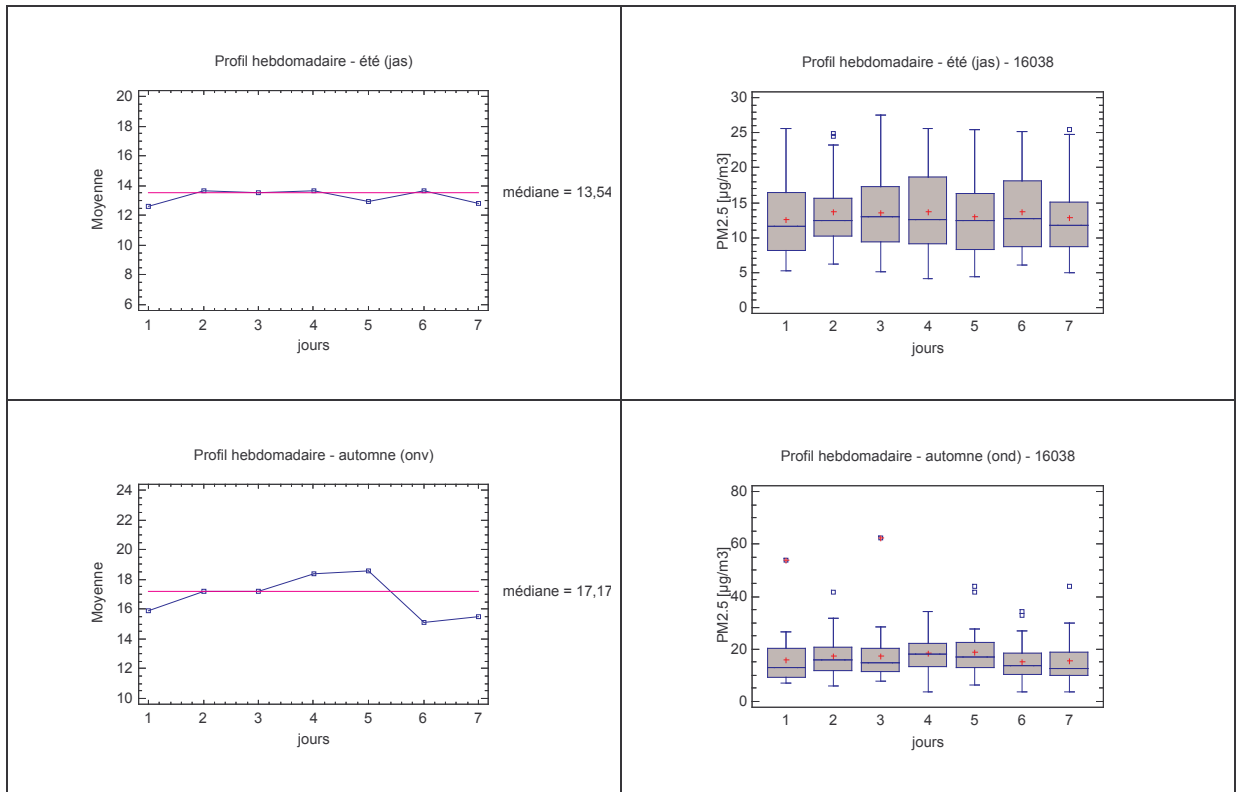
15039 : Station *trafic*, Grenoble, Rhône-Alpes



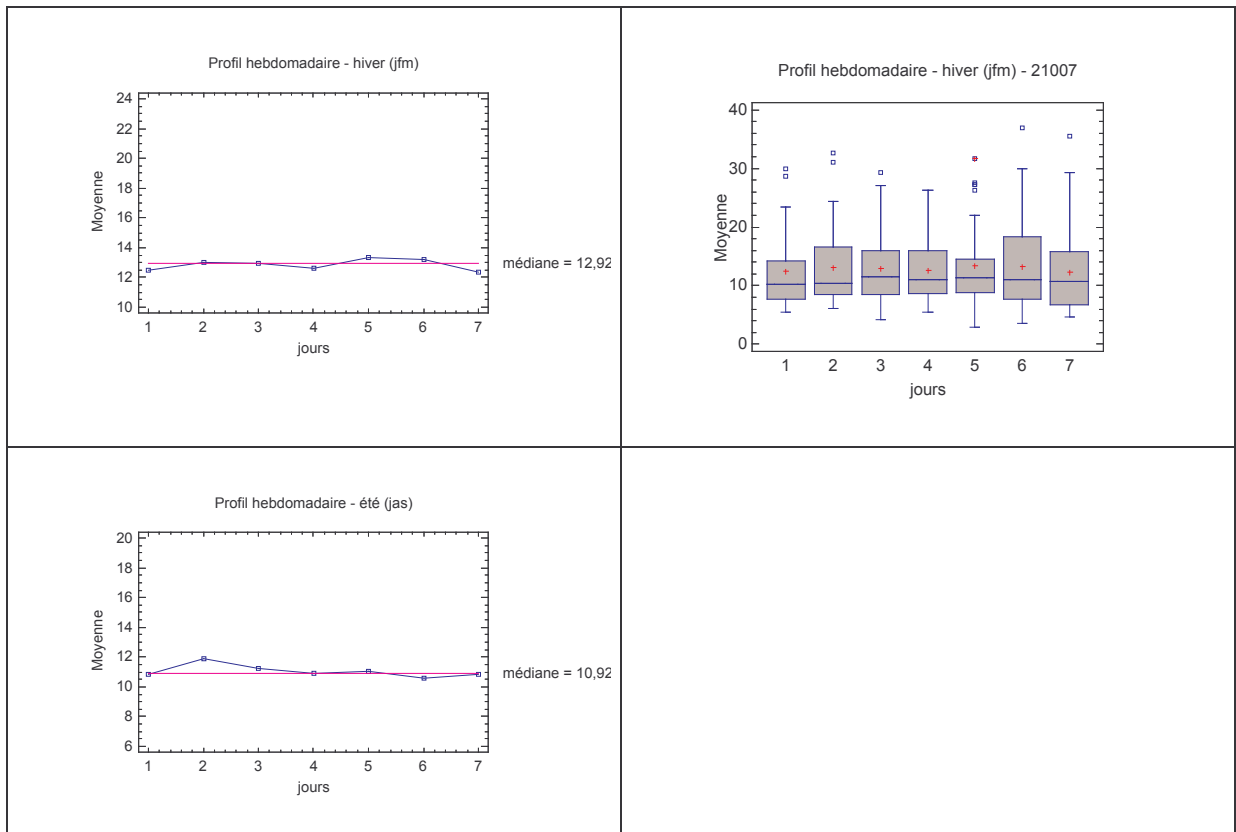


15043 : Station urbaine, Grenoble, Rhône-Alpes

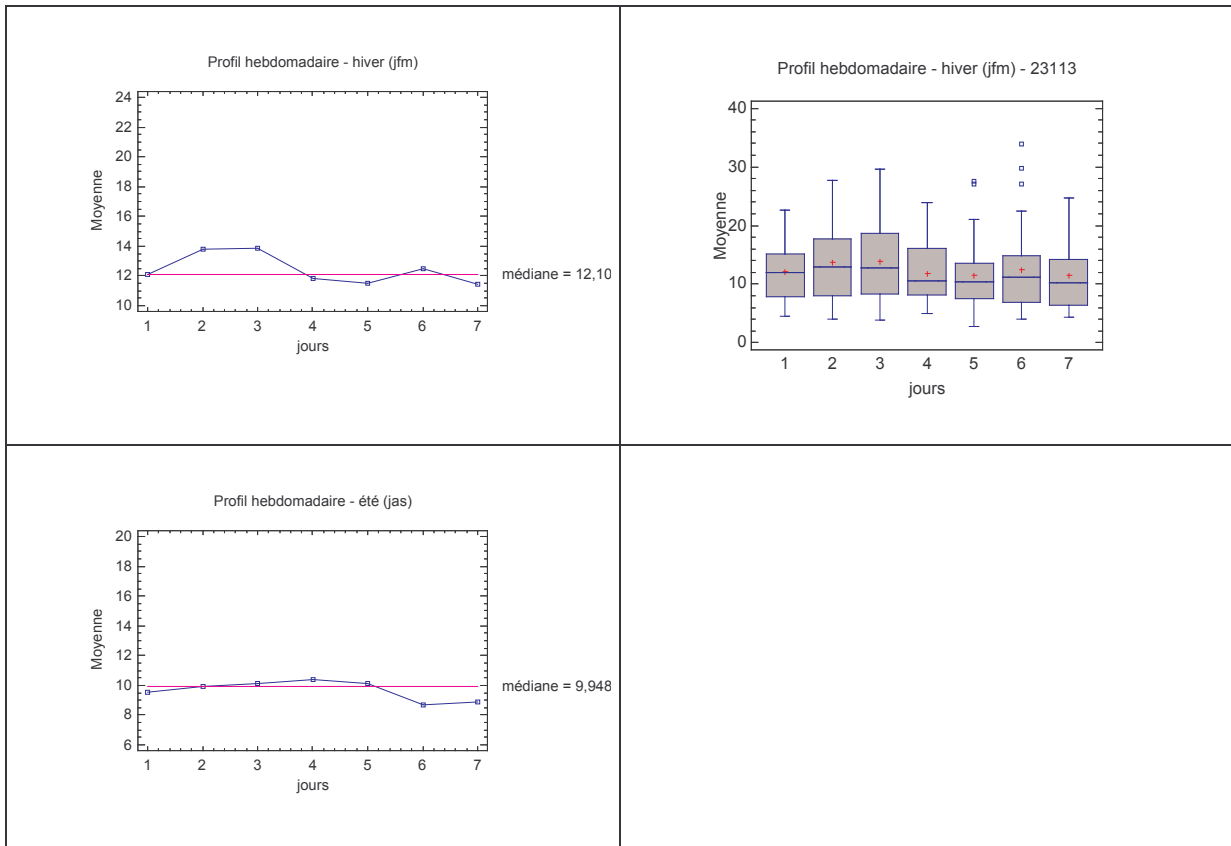




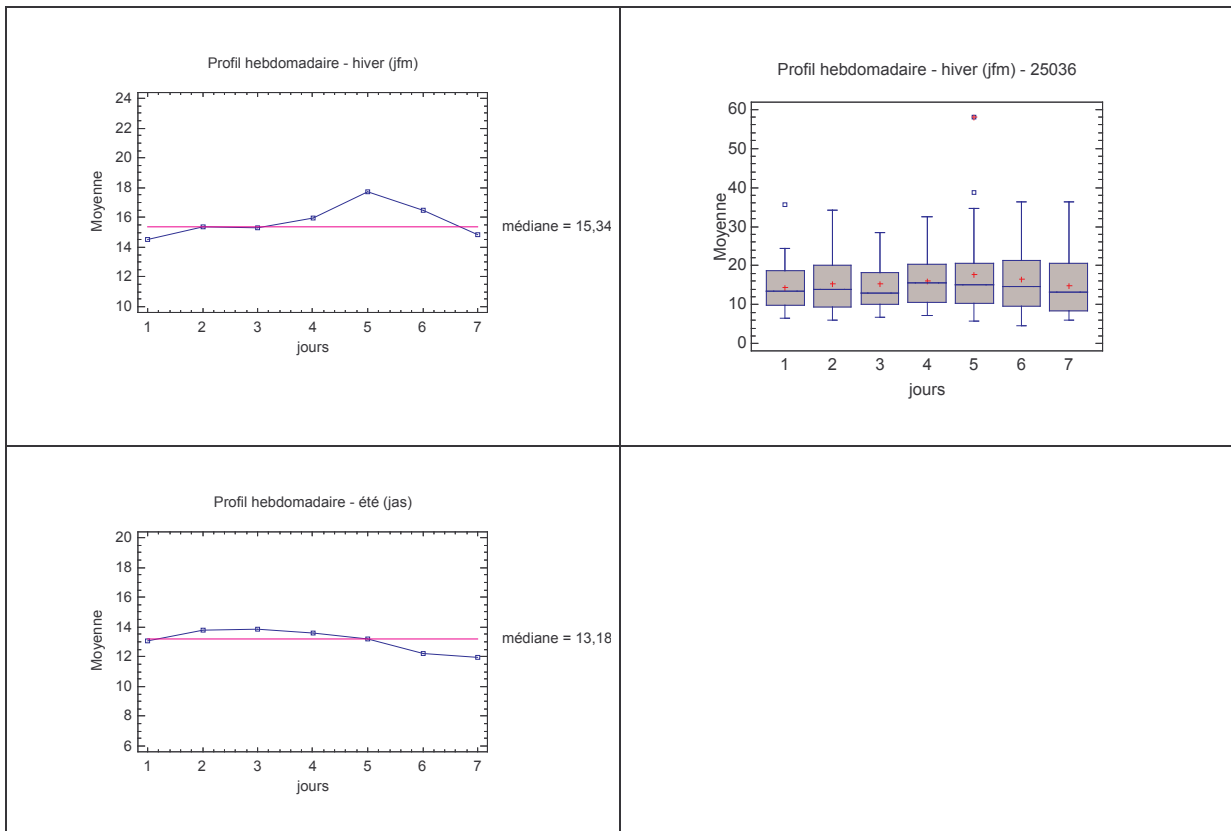
16038 : Station urbaine, Strasbourg, Alsace



21007 : Station urbaine, Caen, Basse-Normandie

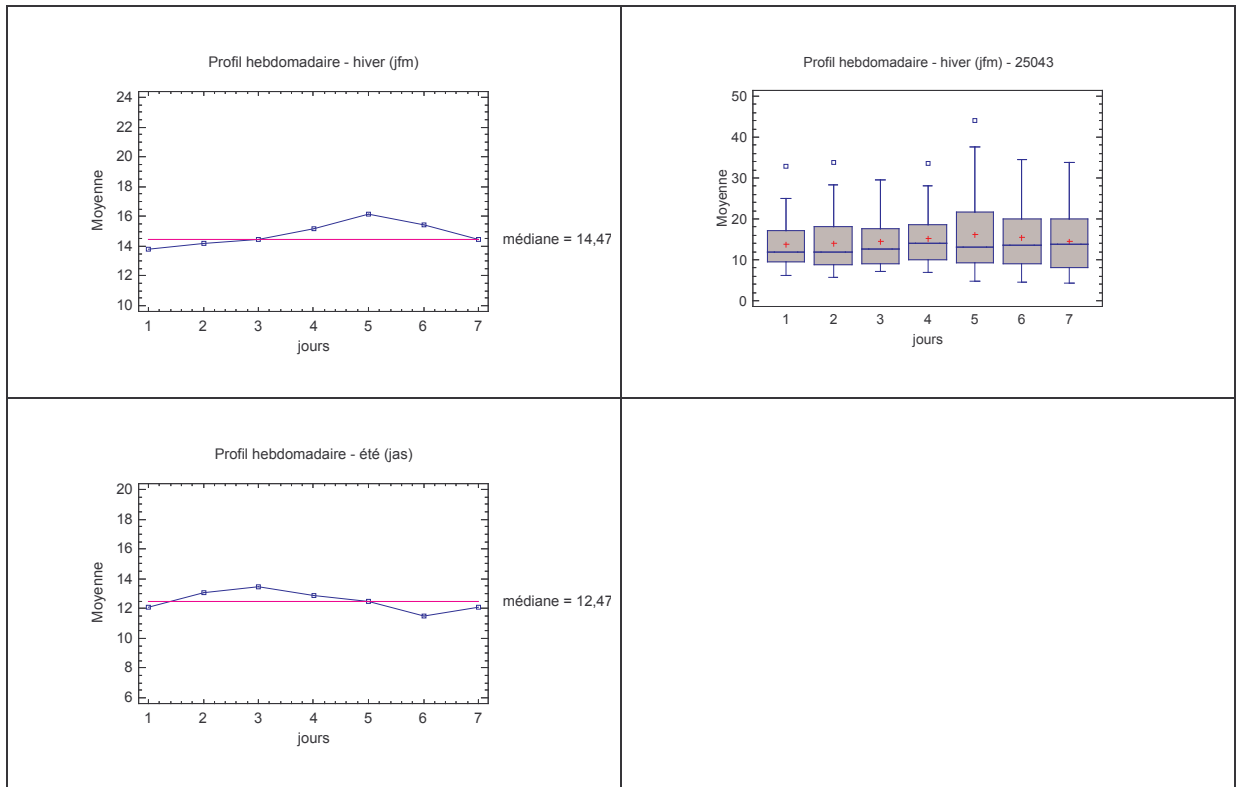


23113 : Station urbaine, Nantes, Pays-de-la-Loire



25036 : Station urbaine, Rouen, Haute-Normandie





25043 : Station urbaine, Rouen, Haute-Normandie

## ANNEXE 4 :

### STATISTIQUES SAISONNIERES DES CONCENTRATIONS DE PM10

Les périodes considérées sont :

Eté 2003 : 1<sup>er</sup> mai 2003 – 31 août 2003

Hiver 2004 : 1<sup>er</sup> novembre 2003 – 29 février 2004

Eté 2004 : 1<sup>er</sup> mai 2004 – 31 août 2004

Hiver 2005 : 1<sup>er</sup> novembre 2004 – 28 février 2005

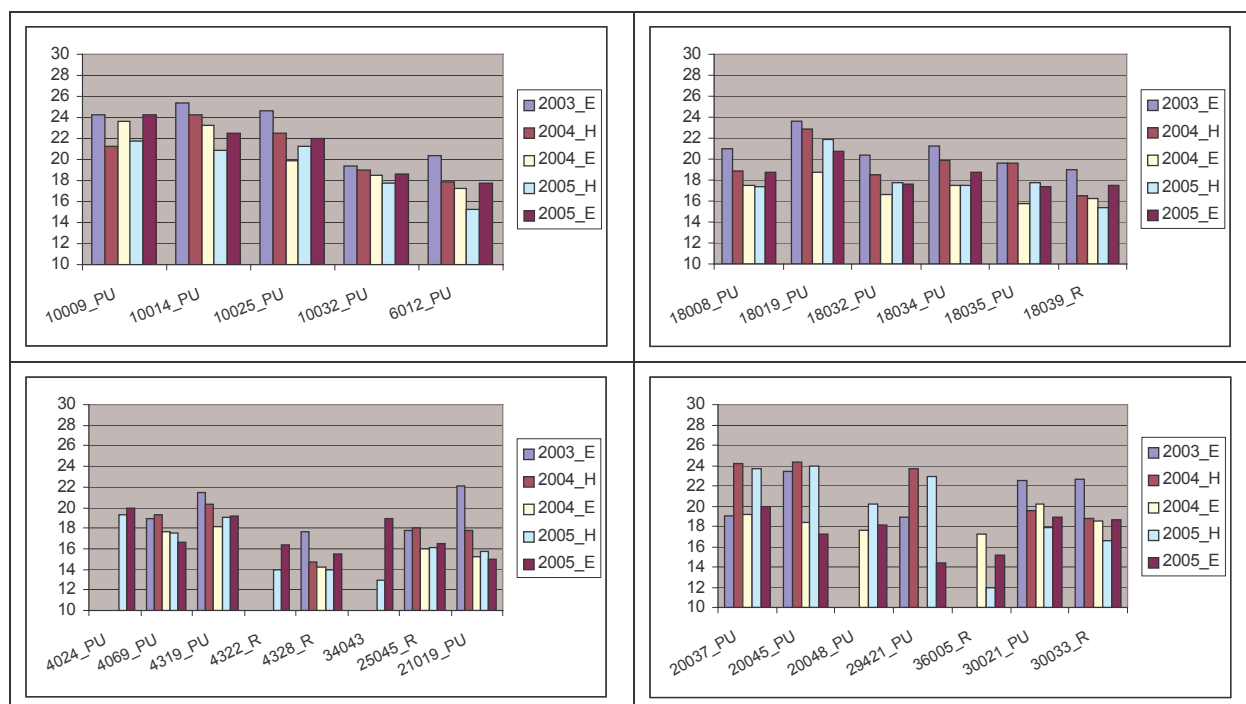
Eté 2005 : 1<sup>er</sup> mai 2005 – 31 août 2005

Les résultats sont présentés dans le tableau et par les histogrammes de la figure suivants.

	station	type	2003_E	2004_H	2004_E	2005_H	2005_E	2003_E _et	2004_H _et	2004_E _et	2005_H _et	2005_E _et
N P de C	10009	PU	24.20	21.23	23.61	21.75	24.22	12.61	7.44	8.61	8.04	9.98
	10014	PU	25.36	24.27	23.29	20.83	22.52	14.25	11.40	10.30	10.38	9.83
	10025	PU	24.68	22.50	19.89	21.24	22.00	10.75	6.65	6.49	5.98	6.60
	10032	PU	19.32	19.06	18.56	17.78	18.61	8.07	6.22	6.04	6.28	6.15
	6012	PU	20.37	17.82	17.24	15.24	17.79	10.71	7.64	7.01	6.88	6.74
Pic.	18008	PU	21.03	18.93	17.49	17.37	18.73	9.93	6.79	6.60	7.11	6.05
	18019	PU	23.61	22.87	18.81	21.89	20.80	10.29	9.53	6.01	10.81	6.43
	18032	PU	20.36	18.45	16.66	17.79	17.68	8.71	6.81	5.89	6.93	5.47
	18034	PU	21.20	19.86	17.50	17.56	18.74	8.86	8.06	6.53	8.00	5.63
	18035	PU	19.56	19.62	15.70	17.70	17.33	8.68	7.83	5.06	7.83	5.17
	18039	R	19.01	16.50	16.21	15.38	17.49	9.10	5.32	5.86	6.08	5.56
IdF	4024	PU				19.30	19.94				8.41	6.53
	4069	PU	18.87	19.29	17.59	17.51	16.67	7.43	7.91	6.43	7.40	5.48
	4319	PU	21.51	20.29	18.09	18.99	19.18	8.14	9.70	5.87	8.58	6.22
	4322	R				13.94	16.33				6.14	5.37
	4328	R	17.61	14.70	14.23	13.90	15.49	7.28	5.95	5.16	5.49	5.43

	station	type	2003_E	2004_H	2004_E	2005_H	2005_E	2003_E _et	2004_H _et	2004_E _et	2005_H _et	2005_E _et
Centre	34043	R				12.89	18.88				5.67	7.46
Hte Norm.	25045	R	17.73	18.01	15.93	16.17	16.46	7.59	5.59	4.85	6.08	4.55
Basse Norm.	21019	PU	22.07	17.76	15.27	15.74	15.03	11.53	8.01	6.13	7.37	5.16
Rh.-A.	20037	PU	19.03	24.20	19.22	23.67	19.92	6.26	12.66	6.46	12.41	6.68
	20045	PU	23.44	24.28	18.45	23.98	17.24	7.92	14.92	6.15	13.63	5.50
	20048	PU			17.62	20.24	18.15			6.18	10.57	6.47
	29421	PU	18.85	23.73		22.90	14.41	6.47	15.67		13.61	5.79
	36005	R			17.18	11.89	15.17			8.13	5.46	6.56
Lorraine	30021	PU	22.57	19.54	20.26	17.93	18.93	9.22	7.92	8.81	9.72	7.13
	30033	R	22.69	18.83	18.54	16.59	18.70	10.14	7.65	8.23	8.69	6.55

– Concentrations moyennes saisonnières de  $PM_{10}$  enregistrées par les stations périurbaines ou rurales de quelques régions françaises. Dans les colonnes grisées : écarts-types des valeurs journalières



– Concentrations moyennes saisonnières de  $PM_{10}$  enregistrées par les stations périurbaines ou rurales de quelques régions françaises. PU : site périurbain ; R : site rural. H : hiver ; E : été.

La moyenne de l'été 2003 est généralement supérieure aux moyennes saisonnières des années suivantes. Quelques sites font exception, notamment des stations périurbaines en Rhône-Alpes (réseaux lyonnais et stéphanois), qui en moyenne sur l'hiver 2003-2004 ou sur l'hiver 2004-2005 présentent des concentrations plus élevées.

Selon les stations et les années, la moyenne estivale est inférieure, supérieure ou approximativement égale à la moyenne hivernale. Aucune tendance claire ne se dégage, cela dépend de la station et de la période considérée.