

# CAMPAGNE DE MESURE À LA STATION DE MÉTRO FAIDHERBE-CHALIGNY

Partenariat Airparif/RATP

Juin 2009





Surveillance de la Qualité de l'Air  
en Ile-de-France



## Partenariat Airparif – Ratp

# Campagne de mesure à la station de métro Faidherbe – Chaligny : impact de l'air extérieur sur les niveaux de pollution atmosphérique intérieurs

**Juin 2009**

---

Etude réalisée par :

Airparif, association de surveillance de la qualité de l'air en Ile-de-France – Pôle Etudes  
7, rue Crillon 75004 PARIS – Tél. : 01.44.59.47.64 - Fax : 01.44.59.47.67 - [www.airparif.asso.fr](http://www.airparif.asso.fr)

en collaboration avec

Ratp, Délégation Générale à l'Innovation et au Développement Durable  
54 quai de la Râpée 75599 PARIS Cedex 12 – [www.Ratp.fr](http://www.Ratp.fr)

« Le bon geste environnemental : N'imprimez ce document que si nécessaire et pensez au recto-verso ! »



# Sommaire

<b>Introduction</b>	<b>4</b>
<b>I Description de la campagne de mesure</b>	<b>5</b>
I.1 Station de métro choisie	5
I.2 Indicateurs de la pollution retenus	5
I.3 Moyens de mesure mis en oeuvre	6
I.3 a Analyseurs automatiques	6
I.3 b Qualité de la mesure	6
I.3 c Localisation des sites de mesure	7
I.4 Période de mesure	8
<b>II Conditions météorologiques lors de la campagne de mesure et dispersion des polluants</b>	<b>9</b>
II.1 Paramètres météorologiques	9
II.2 Evolution des concentrations extérieures au cours de la campagne de mesure	11
II.3 Conditions de circulation	12
<b>III Etat de la qualité de l'air en intérieur</b>	<b>13</b>
III.1 Qualification des niveaux moyens observés	13
III.2 Evolution temporelle des niveaux de pollution atmosphérique	17
III.3 Comparabilité des données aux deux sites temporaires et avec certaines stations du réseau permanent SQUALES de la Ratp	21
<b>IV Etat de la qualité de l'air en extérieur</b>	<b>22</b>
IV.1 Qualification des niveaux moyens observés	22
IV.2 Evolution temporelle des niveaux de pollution atmosphérique	24
IV.3 Comparabilité des données aux deux sites temporaires et avec certaines stations du réseau permanent d'Airparif	29
<b>V Transfert extérieur – intérieur de la pollution</b>	<b>30</b>
V.1 Qualification des niveaux moyens observés	30
V.2 Evolution temporelle des niveaux de pollution atmosphérique aux sites temporaires	33
V.2.1 Cas du NO	33
V.2.2 Cas du NO <sub>2</sub>	35
V.2.3 Cas des particules PM10	37
V.2.4 Cas des particules fines PM2.5	39
V.2.5 Ratio entre PM10 et PM2.5	41
<b>VI Situation vis-à-vis des normes en vigueur</b>	<b>43</b>
VI.1 Résultats des mesures en extérieur	43
VI.1.1 Cas du NO <sub>2</sub>	43
VI.1.2 Cas des particules PM10	44
VI.1.3 Cas des particules PM2.5	46
VI.2 Résultats des mesures en intérieur	46
<b>Conclusion</b>	<b>48</b>

## Glossaire

### Généralités :

**Emissions** : rejets de polluants dans l'atmosphère (exprimées en unité de masse).

**Modélisation** : calcul de la pollution à partir d'outils informatiques et de calculs numériques.

**T.U.** : Temps Universel. En été, l'heure locale à Paris correspond à T.U. + 2h, contre T.U. + 1h en hiver.

### Normes :

**Objectif de qualité** : il correspond à une qualité de l'air jugée acceptable que la réglementation fixe comme objectif à atteindre dans un délai de quelques années.

**Valeur limite** : valeur réglementaire contraignante que l'on doit respecter spécifiquement chaque année. Ces valeurs décroissent chaque année pour atteindre l'objectif de qualité dans le délai souhaité.

**O.M.S.** : Organisation Mondiale de la Santé.

**E.P.A.** : Agence de Protection de l'Environnement américaine.

**C.S.H.P.F.** : Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France

### Polluants :

**NOx** Oxydes d'azote

**NO** Monoxyde d'azote

**NO<sub>2</sub>** Dioxyde d'azote

**PM<sub>10</sub>** Particules de diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm

**PM<sub>2,5</sub>** Particules de diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 µm

**FDMS** Filter Dynamics Measurement System : méthode de mesure des particules.

**TEOM** Tapered Element Oscillating Microbalance : méthode de mesure des particules.

## Introduction

Un programme de collaboration entre la Ratp et Airparif a été signé en juillet 2008. C'est dans ce cadre qu'une première campagne de mesure a été réalisée à la station de métro Faidherbe - Chaligny en décembre 2008 et dont les résultats sont présentés dans ce rapport.

Cette campagne de mesure a été menée conjointement par la Ratp et Airparif. Elle ouvre ainsi le programme signé officiellement entre les deux organismes et constitue le premier signe de l'alliance de la politique volontariste de la Ratp en faveur de la qualité de l'air, et de la compétence technique d'Airparif, à la fois indépendante et reconnue, au bénéfice des voyageurs franciliens. Elle s'inscrit dans le cadre du renforcement de la surveillance de la qualité de l'air intérieur, prévu par le Grenelle de l'environnement. Plus précisément, la convention globale a pour objectif d'améliorer les connaissances actuelles sur la qualité de l'air dans les espaces ferroviaires exploités par la Ratp, ainsi que l'impact et les bénéfices des transports collectifs sur la qualité de l'air extérieur. Les résultats de travaux menés au cours de cette convention sont essentiels au regard de l'évaluation de l'exposition des Franciliens à la pollution atmosphérique au cours d'une journée. Les données recueillies alimenteront ainsi les connaissances d'Airparif sur les caractéristiques d'un espace clos ouvert au public.

Plus précisément, la campagne a consisté à effectuer des mesures à la fois par la Ratp et par Airparif en deux points de la station et deux points extérieurs, de façon à évaluer les variations de niveaux sur le quai d'une même station et en extérieur en milieu urbain. L'objectif est d'établir des corrélations entre les variations de la qualité de l'air dans les enceintes souterraines de la Ratp et celles de l'air extérieur.

# I Description de la campagne de mesure

## I.1 Station de métro choisie

La station de métro Faidherbe - Chaligny, sur la ligne 8 (Créteil Préfecture – Bobigny Pablo Picasso) a été choisie en commun accord entre la Ratp et Airparif .

Pour une première campagne de mesure, une station de métro de configuration simple, c'est-à-dire sans correspondance, a volontairement été sélectionnée, pour permettre plus facilement la compréhension des phénomènes observés par Airparif qui mesure la qualité de l'air en Ile-de-France depuis près de 30 ans, et par la Ratp dont le réseau fait l'objet de mesures de qualité de l'air depuis sa création en 1901 et qui effectue un suivi continu depuis plus de 10 ans dans plusieurs stations.

La station choisie, comme la grande majorité des stations souterraines, dispose d'un système de ventilation qui favorise les échanges entre air extérieur et air intérieur.



Figure 1 : Vue aérienne de l'environnement extérieur de la station de métro sélectionnée (Source Google Earth).

Deux points de mesure ont été installés en intérieur sur les quais (un site Airparif, un Ratp) et en extérieur (un site Airparif, un Ratp).

## I.2 Indicateurs de la pollution retenus

Les connaissances d'Airparif et de la Ratp en matière de pollution extérieure et intérieure, notamment au travers de la cinquantaine de stations de mesure permanentes composant le réseau d'Airparif et les études temporaires et mesures permanentes réalisées par la Ratp, permettent de définir les polluants atmosphériques à mesurer afin de répondre aux objectifs de l'étude.

Ainsi, les **oxydes d'azote** (NO<sub>x</sub>), traceurs du trafic routier et indicateur de la pollution urbaine, ont été mesurés pour caractériser la pollution extérieure. Le trafic routier est la source

émettant la part principale (54 %) des oxydes d'azote en Ile-de-France<sup>1</sup>. Sur le réseau fixe d'Airparif, les niveaux annuels de NO<sub>x</sub> peuvent atteindre près de 4 fois ceux observés en situation de fond. Il est à noter que parmi les oxydes d'azote, seul le **dioxyde d'azote** (NO<sub>2</sub>) est réglementé dans l'air ambiant du fait de ses effets reconnus sur la santé. Le dioxyde d'azote est d'une part, un bon indicateur du trafic routier et d'autre part, il reste problématique en situation de fond et plus encore à proximité du trafic routier.

L'air à l'intérieur du métro a été caractérisé par les **particules**. Elles proviennent à la fois de l'air intérieur du métro (systèmes de freinage, ballast ...) et de l'air extérieur. En Ile-de-France<sup>1</sup>, le trafic routier contribue à hauteur de 36 % aux émissions de particules de diamètre inférieur à 10 µm (PM10), présentant ainsi les caractéristiques d'un traceur du trafic routier tout comme les particules de diamètre inférieur à 2,5 µm (PM2.5), mais le chauffage résidentiel et les industries sont d'autres sources importantes. Des mesures de PM10 et PM2,5 ont été réalisées.

### **I.3 Moyens de mesure mis en oeuvre**

#### **I.3 a Analyseurs automatiques**

Dans le cadre de cette étude, dont l'objectif est d'étudier le transfert extérieur – intérieur de la pollution, des données fines de pollution sont nécessaires. La campagne de mesure a donc consisté à mettre en place des sites automatiques renseignant les concentrations de pollution au pas de temps horaire.

Un moyen mobile de mesure se présente sous forme d'analyseurs automatiques installés au sein d'une remorque ou d'une armoire (cf. Figure 2 et Figure 3). Le fonctionnement d'un laboratoire mobile est identique à celui de l'ensemble des stations permanentes du réseau fixe d'Airparif et implique des contraintes techniques lourdes : accès et connexion aux lignes électriques et si possible téléphoniques, ainsi que la maintenance régulière des analyseurs.

Les concentrations en monoxyde d'azote<sup>2</sup>, dioxyde d'azote<sup>3</sup>, en particules (PM10)<sup>4</sup> et particules fines (PM2.5) ont été mesurées.

#### **I.3 b Qualité de la mesure**

Toute méthode de mesure, comme les analyseurs automatiques ou les échantillonneurs passifs, est associée à une certaine précision. Dans le domaine de la qualité de l'air, des directives européennes fixent les seuils relatifs à l'incertitude maximale acceptable associée à la mesure des différents polluants réglementés pour ces deux techniques.

Pour les analyseurs automatiques, l'incertitude tolérée pour chaque mesure horaire est de 15 % pour les oxydes d'azote et de 25 % pour les particules<sup>5</sup>. Ce critère est intégré dans une démarche qualité pour laquelle Airparif a obtenu depuis 2001 l'accréditation « essai » du COFRAC pour l'ensemble des mesures horaires, et notamment celles du réseau fixe francilien.

Le laboratoire de la Ratp est accrédité par la section « essai » du COFRAC pour la mesure des oxydes d'azote depuis 2000.

---

<sup>1</sup> Source : Cadastre d'émissions d'Ile-de-France, Airparif, année de référence 2005.

<sup>2</sup> Mesure par chimiluminescence, conformément à la norme NF EN 14-211.

<sup>4</sup> Mesure par micro-balance à l'aide des analyseurs automatiques de type RP1400 (R&P) appelés aussi TEOM, en prenant en compte la norme NF EN 12341.

<sup>5</sup> Directive 2008/50/CE du 21 mai 2008 relative à la fixation de valeurs limites pour l'anhydride sulfureux, le dioxyde d'azote et les oxydes d'azote et le monoxyde de carbone dans l'air ambiant.

### I.3 c Localisation des sites de mesure

Dans la station de métro, deux points de mesure sont disposés de part et d'autre des voies, en vis-à-vis sur les quais, afin de caractériser la qualité de l'air respirée par les voyageurs. L'un est géré par Airparif, l'autre par la Ratp. Deux baies regroupant les analyseurs ont été installées.



**Figure 2 : Localisation de site en intérieur d'Airparif (station Faidherbe - Chaligny, ligne 8, sens Créteil - Bobigny).**

Deux points de mesure extérieurs ont été instrumentés en parallèle, situés pour l'un au niveau d'un accès de la station de métro (site Airparif), afin de mesurer l'air introduit dans la station, l'autre à proximité de la grille d'extraction d'air de la station (site Ratp). Sur le point de mesure Ratp, un laboratoire mobile a stationné, pendant qu'Airparif a positionné une armoire sur le trottoir.



(a) site Ratp



(b) site Airparif

**Figure 3 : Localisation des sites extérieurs (source Google Earth).**

#### **1.4 Période de mesure**

Les mesures de pollution atmosphérique par analyseurs automatiques ont été réalisées simultanément du **1<sup>er</sup> au 15 décembre 2008**.

Cette période de mesure a été choisie en hiver dans le but de mesurer les niveaux maxima de pollution en air extérieur. En effet, les conditions météorologiques observées durant cette saison peuvent être plus souvent favorables à l'accumulation de la pollution atmosphérique qu'en période estivale. Pour rappel, les conditions dispersives des polluants atmosphériques ne sont généralement pas favorables en période hivernale du fait d'inversions de température et de conditions atmosphériques plus stables durant cette période de l'année. Les paramètres météorologiques enregistrés lors de la campagne de mesure sont présentés ultérieurement.

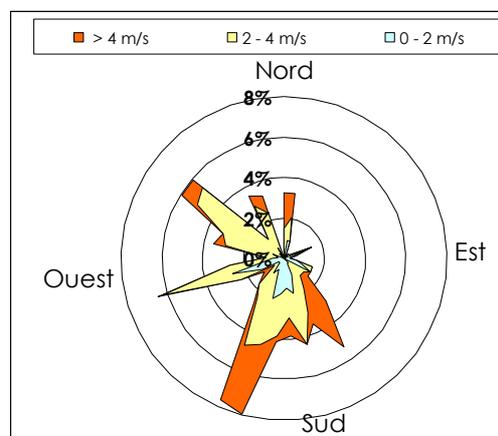
## II Conditions météorologiques lors de la campagne de mesure et dispersion des polluants

### II.1 Paramètres météorologiques

Les conditions météorologiques jouent un rôle d'accumulation et de dispersion très important sur les concentrations en polluants en extérieur. Plus les conditions sont dispersives, plus les niveaux observés sont faibles. Ces conditions de stabilité ou de dispersion peuvent être définies par un ou plusieurs paramètres météorologiques, comme notamment la hauteur de la couche de mélange, les inversions de température ou la vitesse de vent. Tandis que les deux premiers favorisent l'accumulation de la pollution et permettent d'appréhender la stabilité verticale de l'atmosphère, c'est la vitesse de vent qui peut être considérée comme représentative de la dispersion météorologique. Ainsi les conditions les plus défavorables à la dispersion de la pollution atmosphérique se rencontrent lorsque les vitesses de vent sont nulles ou très faibles (0 à 2 m/s) alors que la vitesse moyenne observée en agglomération parisienne est d'environ 3 m/s.

Les conditions météorologiques enregistrées durant la campagne de mesure ont été variables et dispersives. Si l'on s'intéresse à la vitesse du vent, la vitesse moyenne enregistrée sur la période de mesure est de 3 m/s à la station Météo-France de Montsouris (Paris 14<sup>ème</sup>), ce qui est équivalent à la moyenne historique enregistrée en agglomération parisienne.

La Figure 4 illustre pour l'ensemble de la campagne de mesure la fréquence des régimes de vent ainsi que les vitesses de vent sous la forme d'une rose de vent : les secteurs en bleu indiquent les vents les plus faibles (vitesses de vent comprises entre 0.1 et 2 m/s) et en orange les régimes de vents les plus dispersifs (vitesses de vent supérieures à 4 m/s). Elle met en avant des vents de vitesse comprise entre 2 et 4 m/s pendant la moitié du temps (53 %).



**Figure 4 : Fréquence (en %) des vents observés à la station Météo-France de Paris Montsouris (14<sup>ème</sup>) en fonction de leur secteur et leur vitesse lors de la campagne de mesure du 1<sup>er</sup> au 15 décembre 2008 (Source : Météo-France).**

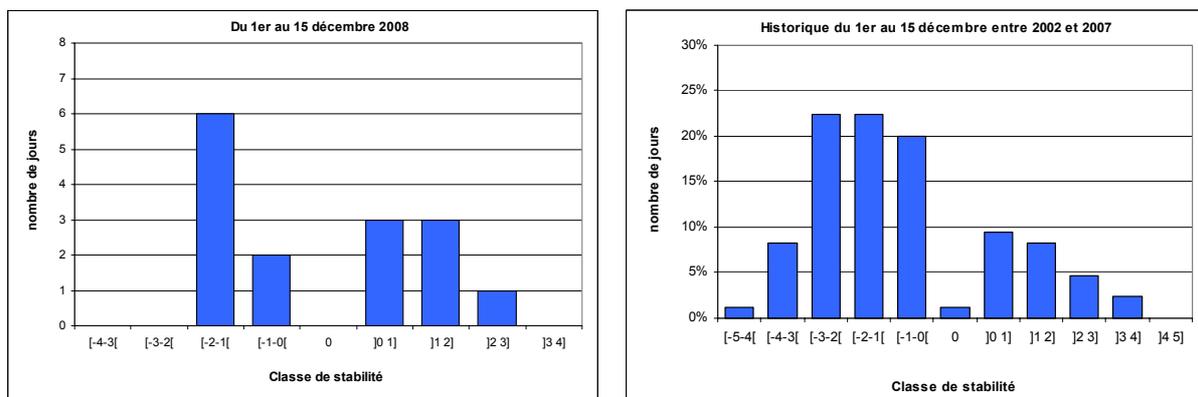
En terme de direction de vent, la campagne de mesure se caractérise par une prédominance de vents de secteur « sud » puisque celui-ci a été observé durant 37 % du temps, et plus précisément du secteur « sud-ouest ». Tous les régimes de vent ont été enregistrés pour ce secteur (24 % de vents de faible vitesse, 36 % avec une vitesse de vent supérieure à 4 m/s). Le secteur « ouest à nord » a concerné 40 % des vents totaux, majoritairement de force modérée (vitesse entre 2 et 4 m/s). A l'inverse, peu de vents étaient de secteur « est » (12 % des vents totaux). Avec de tels régimes de vent, les deux sites de mesure extérieurs ont été impactés par les émissions du trafic routier de la rue du Faubourg Saint Antoine et de la Rue de Montreuil.

Il est rappelé qu'en Île-de-France, à l'échelle d'une année, le secteur de vent dominant est de sud-ouest, suivi du secteur nord-est, d'où une sous-représentation des régimes d'« est » durant cette campagne au détriment des vents d'« ouest ».

**En conclusion, concernant les vents observés lors de la campagne, les conditions dispersives ont été plutôt favorables au brassage atmosphérique avec une vitesse moyenne de 3 m/s.** Les secteurs de vents majoritairement rencontrés en Ile-de-France l'ont également été pendant la campagne de mesure.

Les autres paramètres météorologiques montrent des températures moyennes fraîches pour la saison (3.4 °C en moyenne), variant à l'échelle horaire de - 2 °C à 10 °C. Le cumul des précipitations s'élève à 22.4 mm, ce qui est un peu inférieur aux normales de saison. D'une manière générale, le temps était souvent couvert, froid voire pluvieux. Seule la journée du 11 décembre a bénéficié de belles éclaircies. Cette couverture nuageuse réduit les risques d'inversions thermiques sur l'agglomération, qui favorisent une mauvaise dispersion des polluants.

Pour caractériser au mieux la dispersion des polluants atmosphériques, Météo-France a développé à l'aide des relations statistiques un indicateur régional journalier qui dépend non seulement des vitesses de vent mais également d'autres paramètres comme des variations thermiques suivant l'altitude ainsi que la température minimale de la journée. Cet indicateur de la stabilité atmosphérique varie généralement de -5 à 5. Plus il est fort, plus les phénomènes de stabilité et d'accumulation sont forts et donc la dispersion des polluants est faible. Les indicateurs de dispersion rencontrés lors de cette campagne et sur l'historique 2002-2007 (du 1<sup>er</sup> au 15 décembre) sont présentés en Figure 5. Les indices de stabilité ont varié de -2 à 3 pendant la campagne, synonymes de **conditions plutôt dispersives**. Ils sont proches de ceux enregistrés historiquement sur cette période de l'année.



**Figure 5 : Fréquence (en nombre de jours pour la campagne de mesure et en % pour l'historique) des indices de dispersion selon différentes classes.**

## II.2 Evolution des concentrations extérieures au cours de la campagne de mesure

La qualité de l'air extérieur rencontrée pendant la campagne de mesure peut être caractérisée par les stations permanentes du réseau fixe d'Airparif situées à proximité de la zone d'étude. En situation de fond (mesures par les stations suffisamment éloignées de toute source directe de pollution), les concentrations en NO<sub>2</sub> mesurées à la station de Paris 12<sup>ème</sup><sup>6</sup> sont de 50 µg/m<sup>3</sup> en moyenne sur la période de mesure et 52 µg/m<sup>3</sup> à la station de Paris 18<sup>ème</sup><sup>7</sup>. A proximité du trafic routier, les niveaux ont varié de 72 µg/m<sup>3</sup> Quai des Célestins<sup>8</sup> à 108 µg/m<sup>3</sup> sur le boulevard périphérique porte d'Auteuil, en passant par 92 µg/m<sup>3</sup> Place V. Basch (Paris 14<sup>ème</sup>). Pour information, les émissions de NO<sub>x</sub> sont, au cours de cette campagne, pour les journées ouvrées, comparables à celles d'un jour moyen<sup>9</sup>.

En terme de particules, les mesures réalisées par TEOM (analyseur utilisé dans le cadre de cette étude) montrent des teneurs en PM<sub>10</sub> de 17 µg/m<sup>3</sup> à la station de Paris 18<sup>ème</sup> en situation de fond, contre des niveaux de 32 à 48 µg/m<sup>3</sup> à proximité du trafic routier (respectivement avenue des Champs Elysées, Paris 8<sup>ème</sup> et A1 / 361 avenue du Président Wilson à Saint-Denis). Concernant les particules fines PM<sub>2.5</sub>, les concentrations en situation de fond mesurées par TEOM à la station de Gennevilliers<sup>10</sup> pendant la campagne de mesure sont de 12 µg/m<sup>3</sup>, contre 23 µg/m<sup>3</sup> à la porte d'Auteuil sur le boulevard périphérique. Des informations plus fines seront fournies lors de l'exploitation des résultats des sites temporaires de la station de métro Faidherbe - Chaligny.

La qualité de l'air globale de l'agglomération est reflétée par l'indice ATMO. Etant donné que la qualité de l'air est liée aux conditions météorologiques, cet indice nous renseigne sur l'état de l'atmosphère. Un indice de qualité de l'air « médiocre » est la conséquence de conditions météorologiques défavorables à une bonne dispersion des polluants. La Figure 6 illustre l'indice ATMO relevé lors de la campagne de mesure.

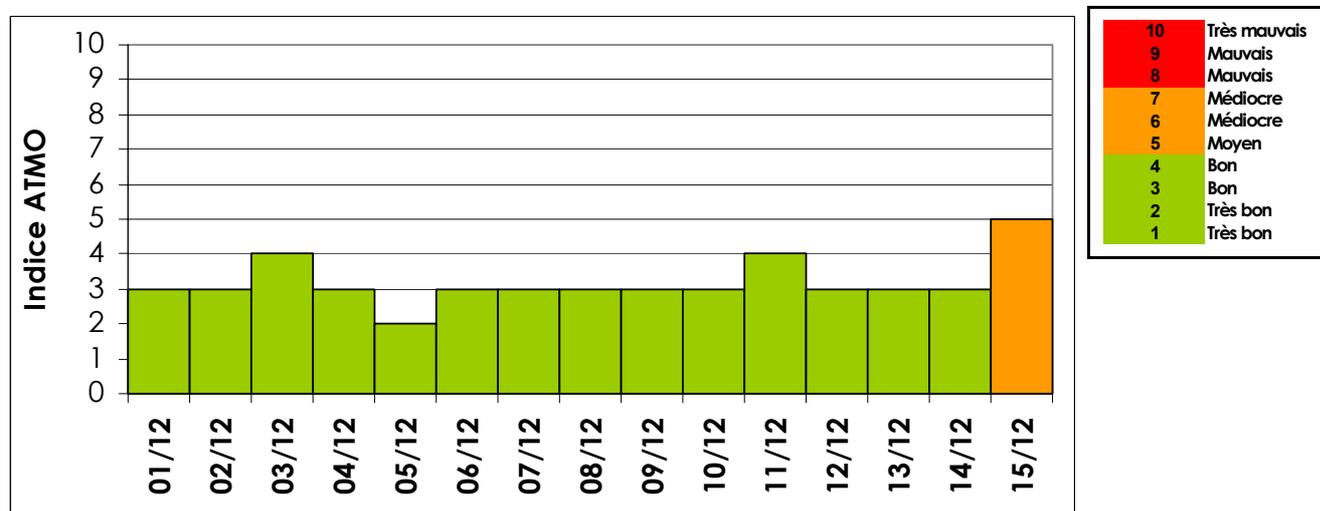


Figure 6 : Evolution de l'indice ATMO au cours de la campagne de mesure du 1<sup>er</sup> au 15 décembre 2008.

<sup>6</sup> Paris 12<sup>ème</sup> : 18 rue de la Brèche aux Loups.

<sup>7</sup> Paris 18<sup>ème</sup> : 7 rue Ferdinand Flocon.

<sup>8</sup> Quai des Célestins : 28 quai des Célestins, Paris 4<sup>ème</sup>.

<sup>9</sup> L'estimation des émissions du trafic routier sur l'Île-de-France est réalisée par le modèle de simulation du trafic en temps réel développé dans le cadre du projet européen HEAVEN (for a Healthier Environment through the Abatement of Vehicles Emissions and Noise).

<sup>10</sup> 60 rue Richelieu 92230 Gennevilliers.

Rappelons que l'indice de qualité de l'air ATMO est un chiffre allant de 1 à 10 associé à un qualificatif (de très bon 1 à très mauvais 10). Il qualifie la qualité de l'air globale, en prenant en compte quatre polluants atmosphériques : le dioxyde d'azote, le dioxyde de soufre, les particules (PM10) et l'ozone. Un sous-indice est calculé pour chacun des composés et l'indice ATMO résultant est égal au maximum des quatre sous-indices.

Mise à part une journée (le 15 décembre) pour laquelle l'indice était de 5, **l'indice fait apparaître une bonne qualité de l'air dans l'agglomération parisienne** (de 1 à 4), avec un indice de 3 pendant 11 journées. L'indice global est généralement dû aux niveaux simultanés en particules et en NO<sub>2</sub> (responsables de l'indice pour 9 journées), les niveaux en NO<sub>2</sub> seuls étant responsables de la qualité de l'air de 2 jours, contre 4 pour les particules seules.

### II.3 Conditions de circulation

En moyenne, dans Paris, le trafic routier pendant les mesures était inférieur de 7 % à la moyenne annuelle et les émissions inférieures à 4 %, d'où une **situation classique en terme de trafic routier, comparable à un jour moyen ouvré.**

Si on s'intéresse plus précisément à la situation à proximité du secteur d'étude, les données du comptage routier réalisé rue du Faubourg Saint Antoine montre un débit journalier moyen pendant la campagne de mesure de 16 000 véhicules, avec un minimum le dimanche (14 000). Le profil journalier met en évidence un trafic soutenu toute la journée de 9h à 20h en semaine (autour de 900 véhicules/heure en moyenne, 960 en semaine) contrairement au dimanche.

Le trafic sur la ligne de métro a été normal pendant la période mesure. Les horaires à la station **Faidherbe-Chaligny** sont précisés dans le tableau ci-dessous.

Tranches horaires	Horaires / Fréquences
<b>Direction : Creteil-Prefecture (Hotel de Ville)</b>	
<b>Premier métro</b> Jusqu'à Creteil-Prefecture (Hotel de Ville)	05H43
<b>Dernier métro</b> Jusqu'à Creteil-Prefecture (Hotel de Ville) Jusqu'à Maisons-Alfort-les Juilliottes	0H52 0H58
Premier / 7h30 7h30 / 9h30 9h30 / 16h30 16h30 / 20h30 20h30 / Dernier	5 à 7 min 2 min 4 min 3 min 6 à 8 min
<b>Direction : Balard</b>	
<b>Premier métro</b> Jusqu'à Balard	05H45
<b>Dernier métro</b> Jusqu'à Balard Jusqu'à République	0H45 1H07
Premier / 7h30 7h30 / 9h30 9h30 / 16h30 16h30 / 20h30 20h30 / Dernier	2 à 6 min 2 min 4 min 2 à 4 min 5 à 11 min

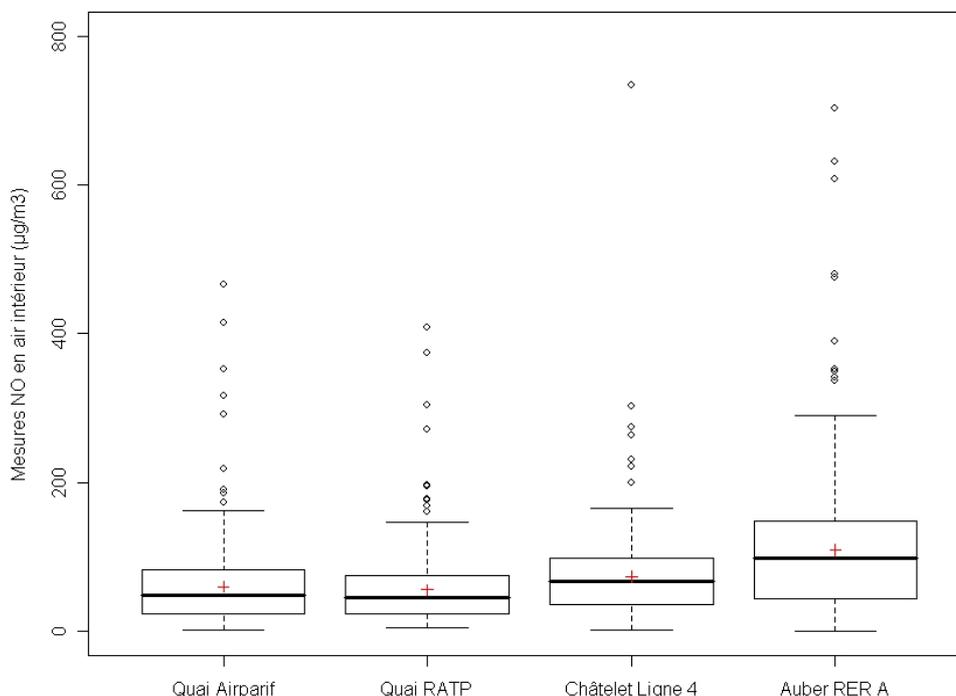
### III Etat de la qualité de l'air en intérieur

#### III.1 Qualification des niveaux moyens observés

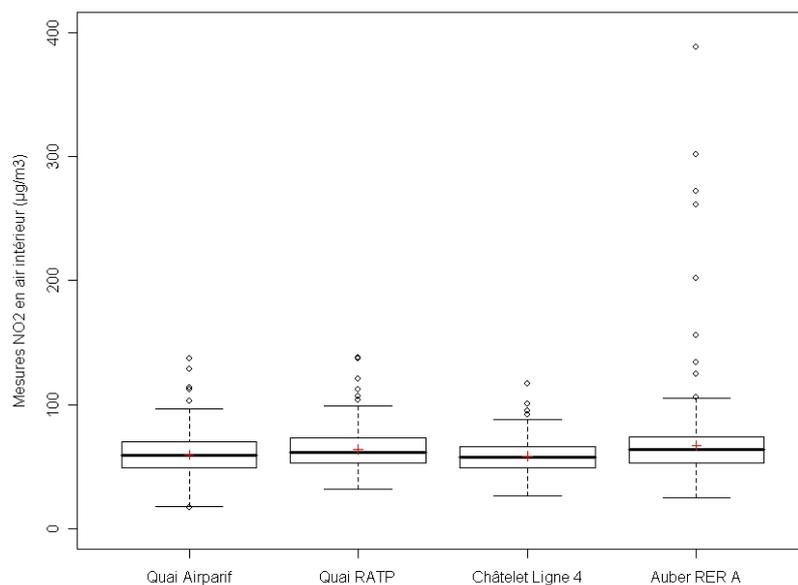
Les principaux résultats statistiques (minimum et maximum horaire, moyenne, médiane et percentiles 25 et 75) sont présentés dans les tableaux suivants pour chaque site de mesure temporaire en air intérieur, ainsi que pour deux stations permanentes du réseau SQUALES de la Ratp, ceci pour chacun des polluants suivis. Sur le site d'Auber, les mesures de PM2,5 effectuées par la Ratp n'étaient pas disponibles sur la période de mesure considérée (analyseur en cours d'installation). Les résultats de deux stations extérieures du réseau d'Airparif ont été mis à titre indicatif.

Un certain nombre de données manquantes sont dues à une coupure de courant liée à des travaux de maintenance de la voie réalisés de nuit. Les travaux de maintenance de nuit sont également à l'origine de valeurs extrêmes relevées à cette période.

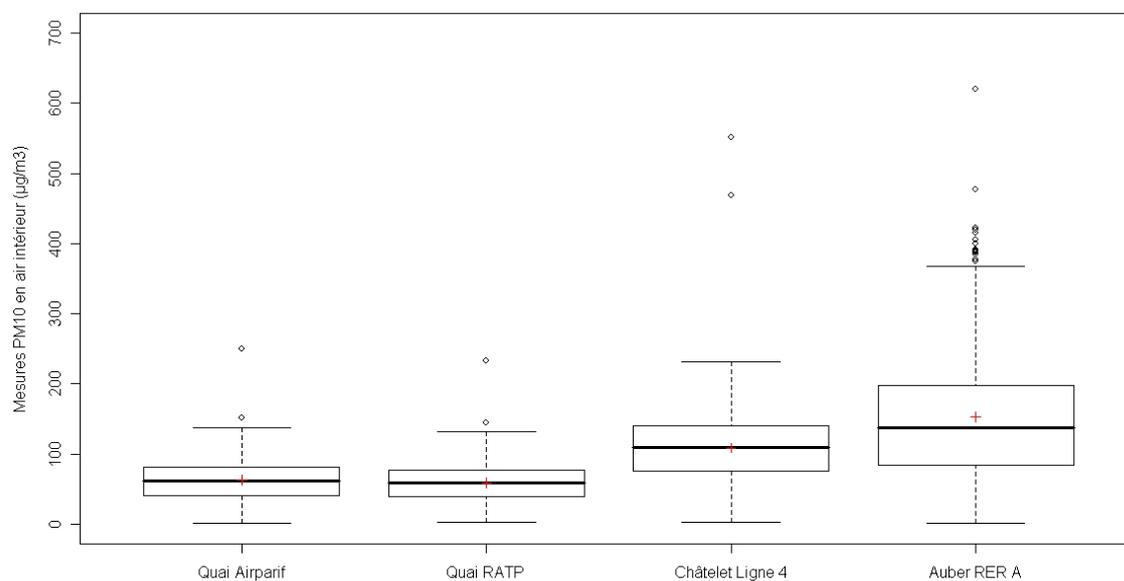
<b>Statistiques (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>) - NO - air intérieur</b>	Site Airparif	Site RATP	Station Châtelet - Ligne 4	Station Auber - RER A
Minimum (horaire)	2	5	2	0
P25 (percentile 25)	23	24	35	44
Médiane	49	46	67	99
Moyenne	60	56	74	110
P75	84	76	103	151
Maximum (horaire)	466	409	734	703
Nb de données manquantes (en heures)	3	30	1	12



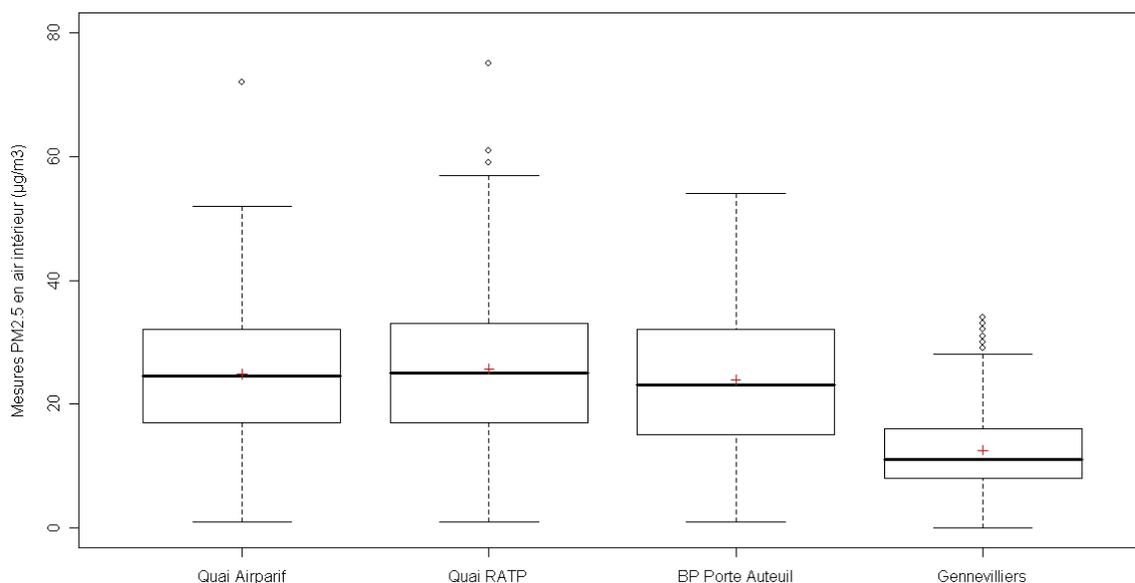
<b>Statistiques (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>) - NO2 - air intérieur</b>	Site Airparif	Site RATP	Station Châtelet - Ligne 4	Station Auber - RER A
Minimum (horaire)	17	32	27	25
P25 (percentile 25)	48	54	48	52
Médiane	57	62	57	64
Moyenne	59	64	57	66
P75	69	73	66	73
Maximum (horaire)	137	138	117	388
Nb de données manquantes (en heures)	3	30	1	12



<b>Statistiques (µg/m3) - PM10 - air intérieur</b>	Site Airparif	Site RATP	Station Châtelet - Ligne 4	Station Auber - RER A
Minimum (horaire)	1	2	0	0
P25 (percentile 25)	39	35	68	79
Médiane	61	57	106	138
Moyenne	61	58	107	154
P75	81	77	138	203
Maximum (horaire)	249	233	697	621
Nb de données manquantes (en heures)	3	28	0	22



<b>Statistiques (µg/m3) - PM2.5 - air intérieur</b>	Site Airparif	Site RATP	<i>Bd Périphérique Porte Auteuil (air extérieur)</i>	<i>Gennevilliers (air extérieur)</i>
Minimum (horaire)	1	1	1	0
P25 (percentile 25)	17	17	15	8
Médiane	25	25	23	11
Moyenne	25	26	23	12
P75	32	33	30	15
Maximum (horaire)	72	75	54	34
Nb de données manquantes (en heures)	1	28	30	3



**Tableau 1 : Statistiques (concentrations en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) et boîtes à moustaches des mesures de la campagne sur les deux sites temporaires d’Airparif et de la Ratp en air intérieur, ainsi que sur certaines stations permanentes du réseau d’Airparif.**

Ces résultats sont également présentés sous forme de « **boîtes à moustaches** », traitement statistique des données permettant de représenter plusieurs informations en un seul graphique :

- la moyenne et la médiane (valeur au-dessous de laquelle se trouve 50 % des données),
- les percentiles 25 et 75, qui correspondent aux extrémités de la boîte et qui caractérisent les valeurs en dessous desquelles se situent 25% ou 75% des données.
- les minimum et maximum (extrémités des moustaches). Il peut arriver que des points extrêmes se trouvent à l’extérieur des moustaches (cf. détails sur les boîtes à moustaches dans l’annexe 1).

Ces résultats statistiques montrent des différences selon le polluant considéré et les stations (influence de la typologie des stations permanentes notamment). Les tests statistiques sur la variabilité des données et l’égalité des moyennes réalisés (voir paragraphe III.3) permettent de conclure sur la comparabilité statistique des données, notamment celles des deux sites temporaires.

Les résultats des mesures en air intérieur sont proches sur les deux sites de mesure, ceci pour les différents polluants suivis, aussi bien en terme de distribution des données qu’en terme de paramètres statistiques.

Concernant le NO<sub>x</sub>, de nombreuses valeurs sur les quatre sites de mesure (deux sites temporaires de la station Faidherbe – Chaligny et deux stations du réseau permanent SQUALES) sont considérées comme atypiques. Elles correspondent aux pics enregistrés notamment la nuit lors des travaux. Les niveaux sont plus variables à la station permanente d’Auber (RER A). Ce dernier point se retrouve d’ailleurs logiquement sur les niveaux de NO<sub>2</sub>, qui présentent moins de valeurs atypiques.

Les boîtes à moustaches réalisées pour les particules PM10 mettent en avant une dispersion des données homogène sur les deux sites temporaires de la station de métro Faidherbe – Chaligny (50 % des données se trouvent dans une fourchette de 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), la dispersion entre les données étant plus importante à la station permanente de Châtelet (Ligne 4), elle-même étant inférieure à celle de la station d’Auber (RER A). Ces deux derniers résultats s’expliquent certainement par la fréquentation plus importante des deux stations de métro considérées, mais aussi par les rames circulant sur les lignes considérées (RER et métro).

Les résultats relatifs aux particules fines PM2.5 montrent une distribution des données proches entre les deux sites temporaires de Faidherbe – Chaligny, comparable à celle de la station extérieure en proximité du trafic routier du boulevard Périphérique Porte d'Auteuil, mais très différente de celle des concentrations enregistrées en extérieur à la station urbaine de Gennevilliers.

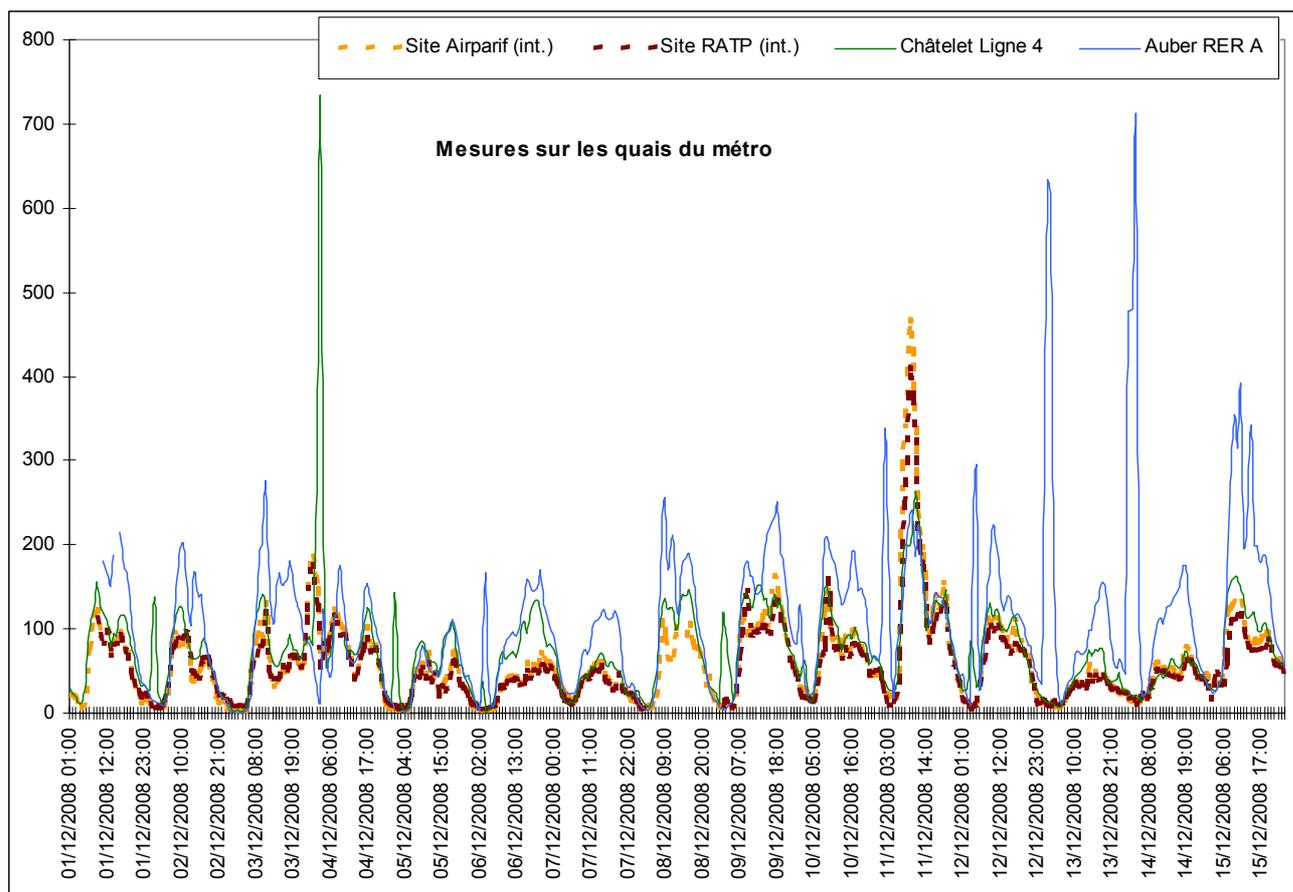
### III.2 Evolution temporelle des niveaux de pollution atmosphérique

D'une manière générale, les **résultats des deux sites de mesure sur les quais de la station de métro Faidherbe – Chaligny sont proches, avec une évolution temporelle similaire**. Les résultats des deux points de mesure intérieurs sont plus proches que ceux en extérieur, les sources immédiates de pollution étant à la même distance (rames de métro). Toutefois, les flux d'air dans la station de métro ainsi que la proximité aux entrées / sorties de la station peuvent influencer un peu les mesures, d'où des résultats non identiques entre les deux sites.

Pour le **monoxyde d'azote (NO)**, les concentrations mesurées au site de la Ratp sont à moins de 10 % près celles du point de mesure géré par Airparif. L'évolution temporelle met en évidence des niveaux variables suivant la fréquentation des quais, à savoir des concentrations faibles la nuit et des maxima aux heures de pointe (matin et soir). L'impact des niveaux extérieurs observé le 11 décembre, journée pour laquelle les maxima extérieurs ont été relevés en NOx.

Les résultats de la station de métro Faidherbe – Chaligny sont inférieurs à ceux de la station fixe de Châtelet, eux-mêmes inférieurs aux résultats de la station d'Auber. Ces deux stations fixes présentent des niveaux forts en journée, dus à la fréquentation importante du réseau souterrain, mais aussi en nuit à cause de travaux ou d'activités d'entretien). Les profils journaliers sont comparables sur ces quatre sites de mesure, même si les deux stations permanentes de Châtelet et Auber montrent une influence des pics nocturnes.

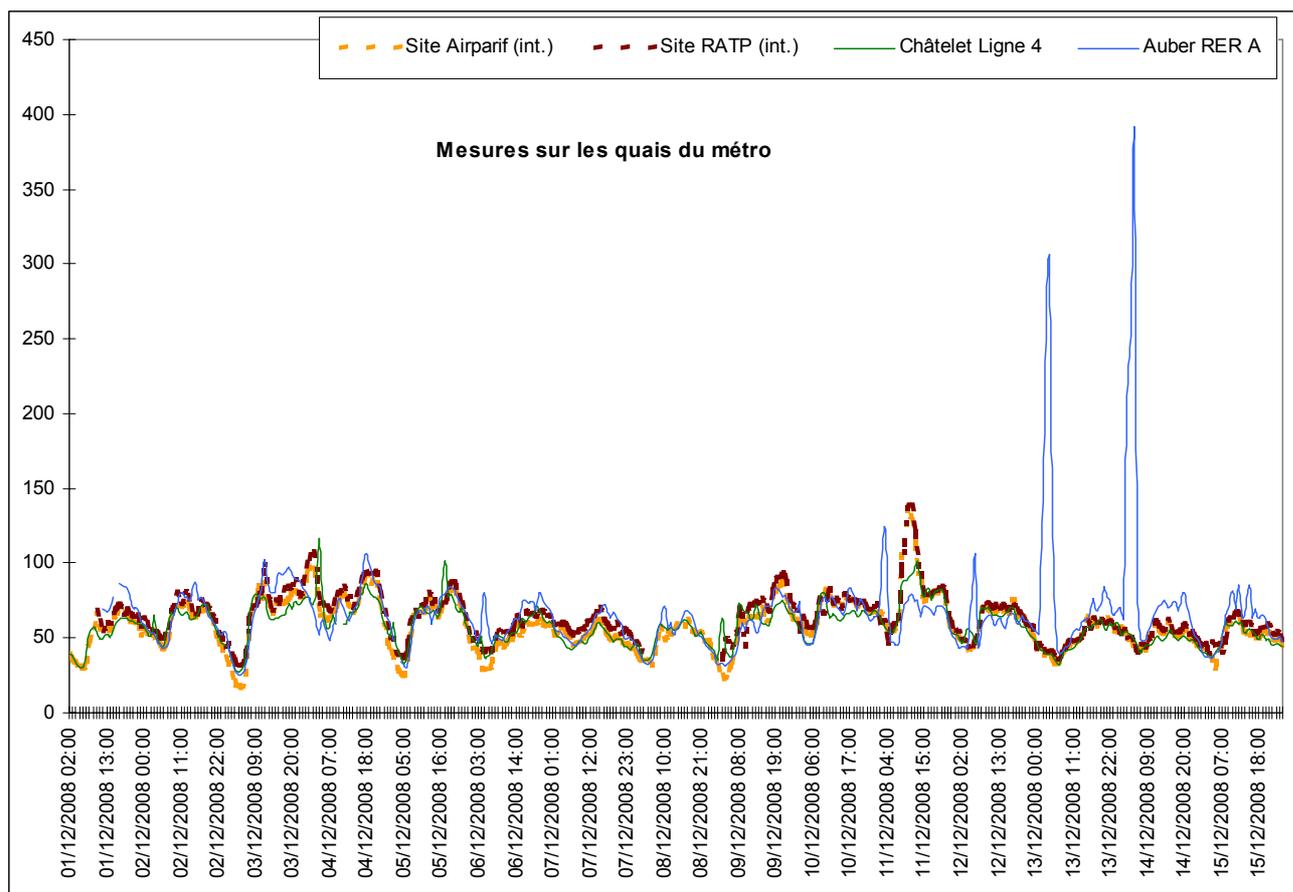
Les profils hebdomadaires montrent des niveaux plus forts aux stations Châtelet et Faidherbe – Chaligny le jeudi, mais cela s'explique par les importantes concentrations relevées le jeudi 11 décembre.



**Figure 7 : Evolution des niveaux horaires intérieurs de NO pendant la campagne de mesure sur les deux sites temporaires (Airparif et Ratp) ainsi que sur certaines stations permanentes du réseau fixe de la Ratp.**

Concernant le **NO<sub>2</sub>**, les résultats sont, comme pour le NO, très homogènes entre les deux sites intérieurs de la station de métro Faidherbe – Chaligny (différence de concentration inférieure à 10 %), mais également proches des résultats des stations fixes du réseau Ratp, Châtelet et Auber, même si cette dernière présente quelques pics nocturnes dus à des travaux (13 et 14 décembre notamment). L'influence des niveaux plus importants relevés en extérieur le 11 décembre se retrouve également sur les concentrations en intérieur. L'évolution temporelle et notamment les profils journaliers montre une différence de concentration en journée par rapport aux niveaux nocturnes.

Les résultats des profils hebdomadaires et journaliers présentés pour le NO sont, pour la plupart, valables pour le NO<sub>2</sub>.

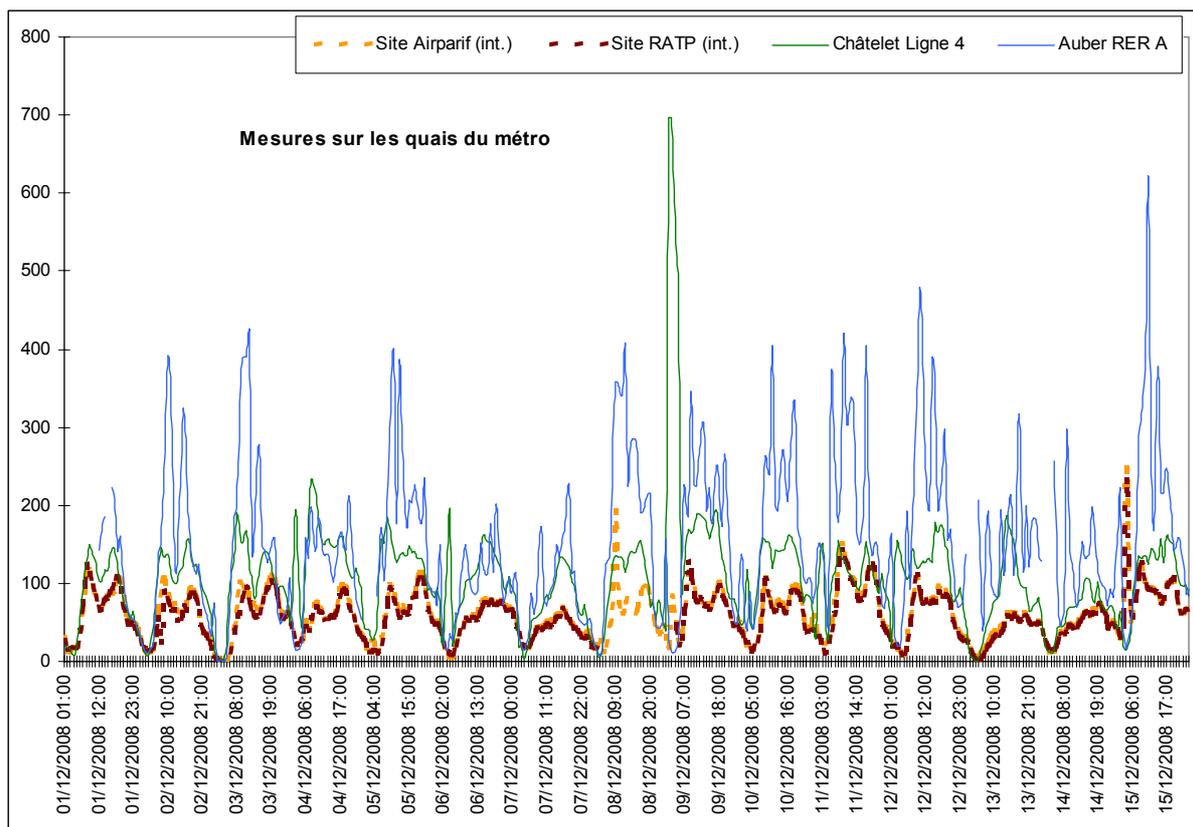


**Figure 8 : Evolution des niveaux horaires intérieurs de NO<sub>2</sub> pendant la campagne de mesure sur les deux sites temporaires (Airparif et Ratp) ainsi que sur certaines stations permanentes du réseau fixe de la Ratp.**

Les résultats des **particules PM10** montrent une évolution temporelle identique sur les deux points de mesure en intérieur, avec des minima la nuit, lorsque le réseau souterrain de la *Ratp* est fermé, et des maxima aux heures de pointe (matin vers 9 h et en soirée entre 17 et 20 h). Les concentrations entre les deux sites sont proches, la différence étant inférieure à 10 %. Les niveaux à la station Faidherbe – Chaligny sont légèrement inférieurs à ceux du site fixe de mesure de Châtelet (qui par ailleurs présente un pic nocturne important le 9 décembre dû à des travaux) et d'une façon encore plus marquée inférieurs à ceux de la station RER d'Auber. La présence plus importante de PM10 dans ces deux stations s'explique notamment par la fréquentation plus importante (station de métro plus grande, avec correspondances, trafic ferroviaire soutenu, d'où une émission et une remise en suspension plus importante des particules, notamment aux heures de pointe). La station RER d'Auber est également plus chargée en particules du fait de trains plus lourds, qui circulent plus vite d'où des frottements plus intenses lors du freinage en station, qui se traduisent par des émissions de particules plus importantes.

Le profil journalier enregistré à la station Faidherbe – Chaligny se retrouve sur celui de la station permanente de Châtelet (qui présente en plus des pics nocturnes de manière répétée), alors que celui associé à la station RER d'Auber est plus fluctuant.

Le profil hebdomadaire est par contre plus homogène sur la semaine, notamment à la station Faidherbe – Chaligny. Ceux des deux stations permanentes montrent des particularités certaines journées, principalement dues à l'intensité des pics nocturnes (travaux de maintenance et d'entretien).



**Figure 9 : Evolution des niveaux horaires intérieurs de PM10 pendant la campagne de mesure sur les deux sites temporaires (Airparif et Ratp) ainsi que sur certaines stations permanentes du réseau fixe de la Ratp.**

Pour les **particules fines PM2.5**, l'évolution temporelle des deux sites de mesure de la station Faidherbe – Chaligny est proche, présentant des minima nocturnes et des pointes bi-journalières correspondant à une fréquentation plus importante du réseau souterrain de transport en commun. En moyenne, les concentrations sont identiques sur les deux sites. Aucune comparaison avec des mesures en intérieur n'est possible, les données en PM2.5 sur le site SQUALES de la Ratp d'Auber n'étant pas disponibles sur cette période de mesures. On constate que les concentrations intérieures à cette station de métro sont supérieures à celles relevées en extérieur, de façon marquée vis-à-vis des teneurs en situation de fond (station de mesure de Gennevilliers). Par contre, elles sont du même ordre que celles enregistrées à la station trafic du boulevard périphérique (Porte d'Auteuil).

Le profil journalier de la station Faidherbe – Chaligny montre des pointes de particules fines aux heures de pointe, comme pour les PM10, mais de façon plus marquée que sur les teneurs extérieurs (ce qui met en évidence une source intérieure d'une partie des particules fines). Le profil hebdomadaire est plus fluctuant avec notamment de faibles valeurs le mercredi, alors que ceux des stations permanentes extérieures sont plus homogènes sur la semaine (la hausse des teneurs le dimanche s'expliquant par des conditions météorologiques extérieures).

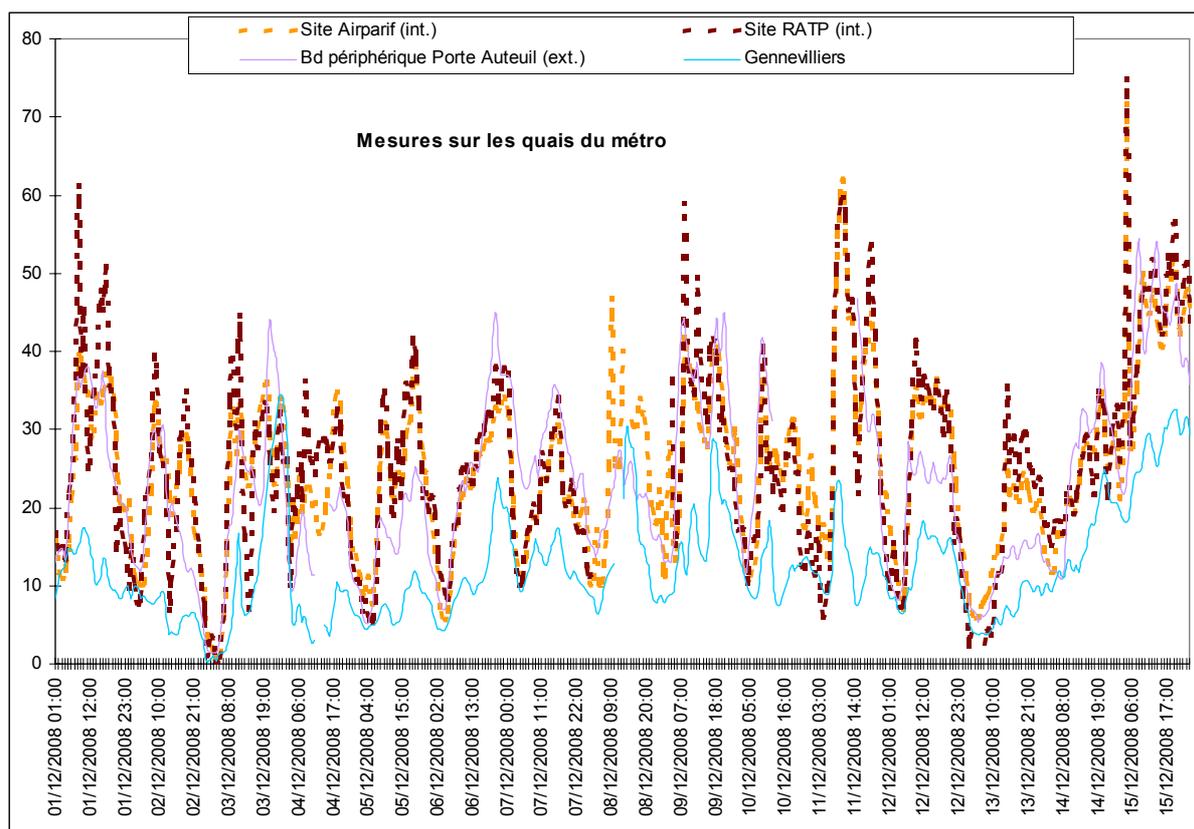


Figure 10 : Evolution des niveaux horaires intérieurs de PM2.5 pendant la campagne de mesure sur les deux sites temporaires (Airparif et Ratp) ainsi que sur certaines stations permanentes du réseau fixe d'Airparif (pas de données en air intérieur).

### III.3 Comparabilité des données aux deux sites temporaires et avec certaines stations du réseau permanent SQUALES de la Ratp

La comparabilité statistique des données obtenues pendant la campagne de mesure se fait via deux tests statistiques, d'une part celui de Fischer, permettant de valider l'équivalence des variances, c'est-à-dire la variabilité des données, et d'autre part celui de Student, qui permet de tester l'égalité des moyennes. Au préalable, des tests de normalité ont été effectués sur toutes les données, hypothèse requise pour l'application de ces tests. Il s'avère que les mesures de NO ne suivent pas une loi normale, les données étaient trop souvent proches de zéro. Ceci est également le cas pour les mesures en extérieur de particules, qui présentent un autre type de distribution des données. Dans ces cas, des tests non paramétriques ont été appliqués (test de Flinger pour l'égalité des variances, Wilcoxon pour l'égalité des moyennes). Des informations complémentaires sont présentées à l'annexe 5, les résultats de ces tests ne sont toutefois pas présentés dans le présent rapport.

Concernant le NO<sub>2</sub>, les tests statistiques montrent des **résultats différents entre les deux sites temporaires de la station de métro Faidherbe – Chaligny** et les stations permanentes du réseau Ratp Auber (RER A) et Châtelet (Ligne 4). Par contre, on peut dire que les données du site temporaire instrumenté par la Ratp sont significativement supérieures à celles du site d'Airparif. Plusieurs raisons peuvent expliquer cette différence : d'une part, météorologiquement, les appareils de mesure étant différents, un biais est possible. D'autre part, il est possible que les flux d'air à l'intérieur de la station de métro induisent ce résultat (quai instrumenté par Airparif plus ventilé par exemple). Des mesures complémentaires pourraient être réalisées afin d'expliquer ces écarts.

En terme de **particules PM10**, les résultats en terme de dispersion et de moyenne sont **équivalents** aux deux sites de mesure temporaires de la station Faidherbe – Chaligny, synonyme d'une homogénéité des particules sur les deux quais de cette station de métro. Par contre, les résultats sont significativement différents des stations permanentes Châtelet et Auber, où la dispersion des concentrations et les moyennes sont bien plus élevées.

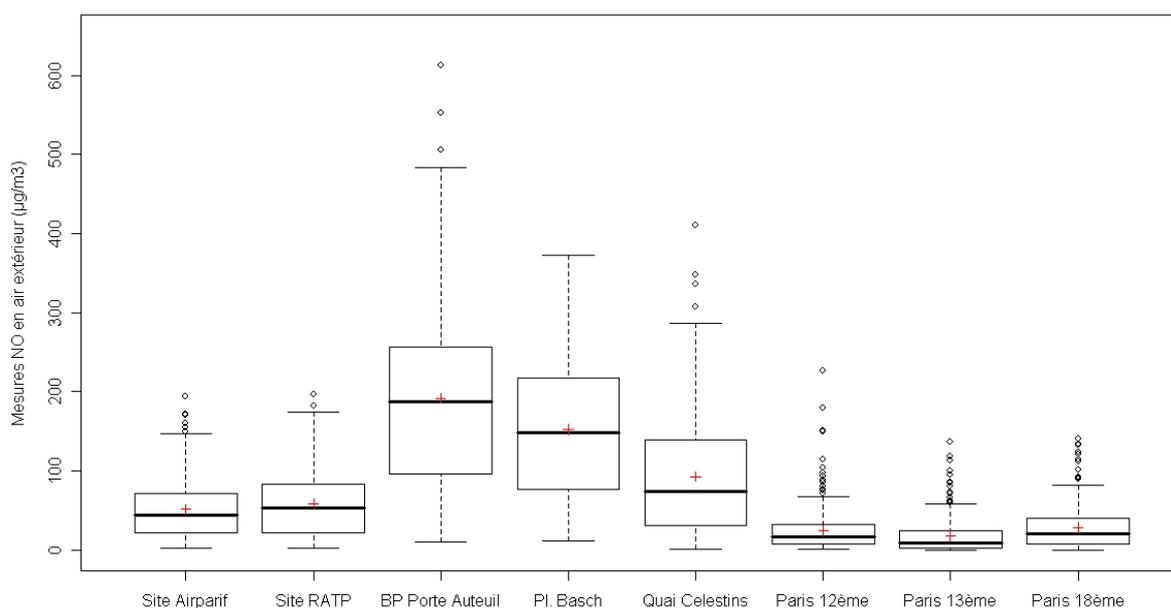
Ce résultat ne se retrouve pas entièrement sur les données en particules fines PM2.5, les tests statistiques montrant des différences de variabilité entre les deux sites temporaires de la station Faidherbe – Chaligny. Cela pourrait s'expliquer notamment par certaines valeurs atypiques élevées rencontrées sur seulement l'un des deux sites (site quai Ratp). Par contre, **les données du site temporaire d'Airparif sont significativement comparables en terme de dispersion et de moyenne à celles de la station du boulevard Périphérique**, caractérisant pourtant l'air extérieur.

## IV Etat de la qualité de l'air en extérieur

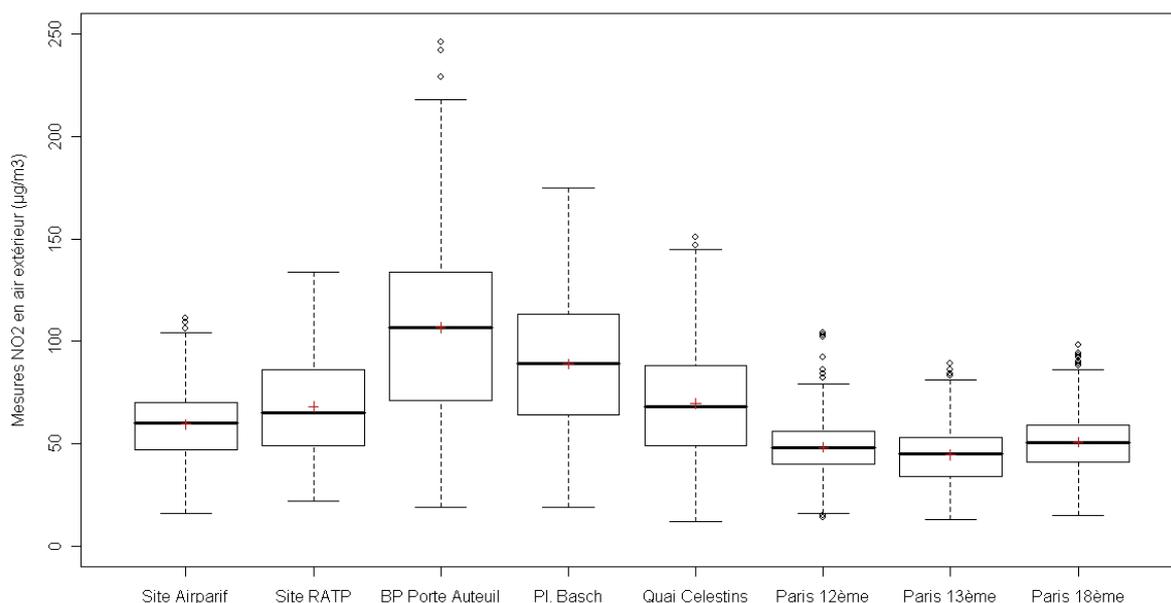
### IV.1 Qualification des niveaux moyens observés

Les principaux résultats **statistiques** (minimum et maximum horaire, moyenne, médiane et percentiles 25 et 75) sont présentés dans les tableaux suivants pour chaque site extérieur de mesure temporaire, ainsi que pour certaines stations permanentes du réseau d'Airparif, ceci pour chacun des polluants suivis.

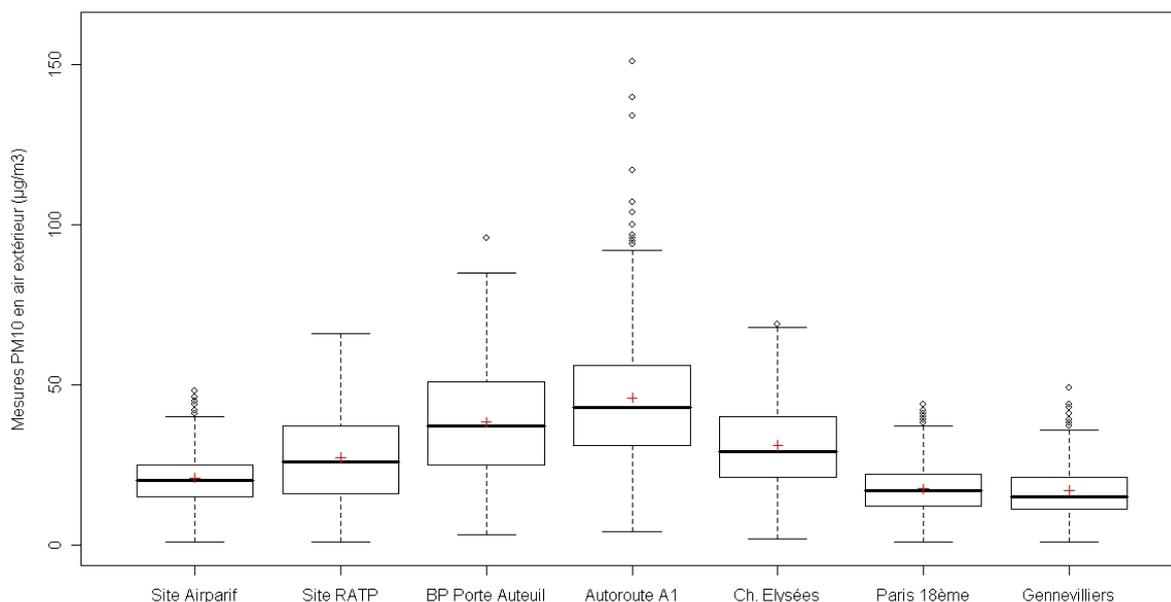
Statistiques (µg/m3) - NO - air extérieur	Site Airparif	Site RATP	Bd Périphérique Porte Auteuil	Pl. Basch	Quai des Célestins	Paris 12ème	Paris 13ème	Paris 18ème
Minimum (horaire)	2	2	10	11	1	1	0	0
P25 (percentile 25)	23	24	103	83	34	8	2	9
Médiane	47	56	189	155	80	18	12	24
Moyenne	58	64	195	160	100	30	22	30
P75	79	90	259	230	150	34	29	44
Maximum (horaire)	460	281	613	500	411	384	208	141
Nb de données manquantes (en heures)	2		26	2	3	4	2	8



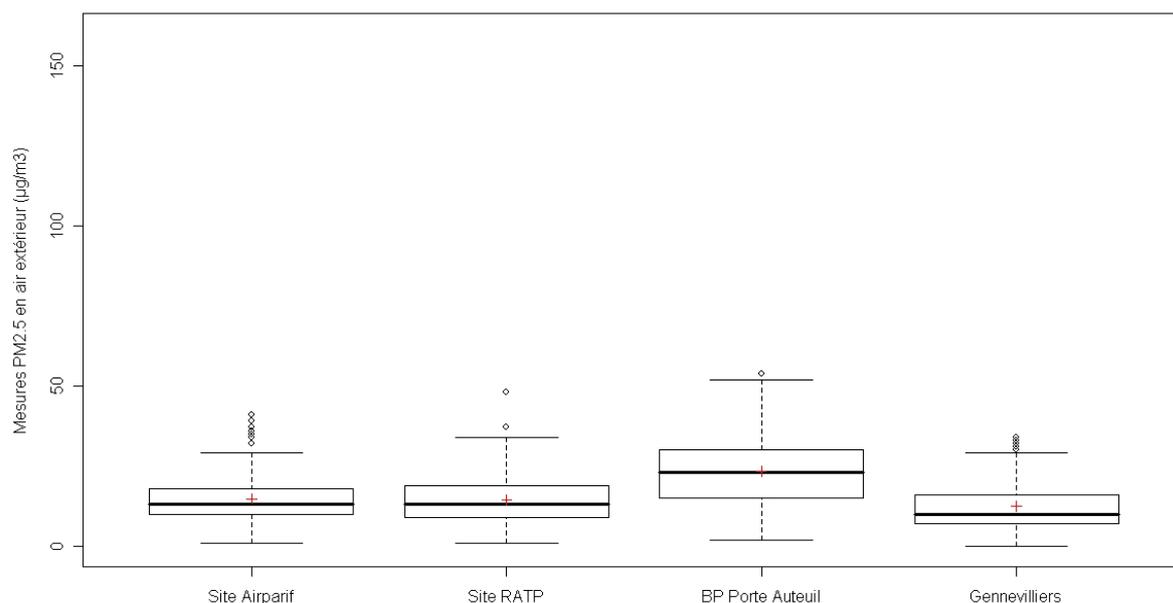
Statistiques (µg/m3) - NO2 - air extérieur	Site Airparif	Site RATP	Bd Périphérique Porte Auteuil	Pl. Basch	Quai des Célestins	Paris 12ème	Paris 13ème	Paris 18ème
Minimum (horaire)	16	22	19	19	12	14	13	15
P25 (percentile 25)	50	53	75	65	52	41	35	42
Médiane	62	68	109	94	71	49	46	52
Moyenne	62	71	108	92	73	50	46	52
P75	73	90	136	115	91	59	55	60
Maximum (horaire)	155	142	246	175	159	134	94	98
Nb de données manquantes (en heures)	2	0	26	3	4	4	2	8



Statistiques (µg/m3) - PM10 - air extérieur	Site Airparif	Site RATP	Bd Périphérique Porte Auteuil	Autoroute A1 (Saint-Denis)	Champs Elysées	Paris 18ème	Gennevilliers
Minimum (horaire)	1	1	3	4	1	1	1
P25 (percentile 25)	15	17	25	31	21	12	11
Médiane	21	28	38	44	31	17	15
Moyenne	22	29	39	48	32	18	17
P75	27	40	51	59	42	22	21
Maximum (horaire)	70	72	103	151	90	44	49
Nb de données manquantes (en heures)	3	1	29	3	6	16	4



Statistiques (µg/m3) - PM2.5 - air extérieur	Site Airparif	Site RATP	Bd Périphérique Porte Auteuil	Gennevilliers
Minimum (horaire)	1	1	1	0
P25 (percentile 25)	10	9	15	8
Médiane	13	13	23	11
Moyenne	15	14	23	12
P75	18	19	30	15
Maximum (horaire)	41	48	54	34
Nb de données manquantes (en heures)	47	21	30	3



**Tableau 2 : Statistiques (concentrations en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) et boîtes à moustaches des mesures de la campagne sur les deux sites temporaires d’Airparif et de la Ratp en air extérieur, ainsi que sur certaines stations permanentes du réseau d’Airparif.**

La comparaison des boîtes à moustaches montre, d’une manière générale, que les résultats en NO sont proches de ceux du NO<sub>2</sub> en terme de positionnement des sites entre eux : les stations de proximité au trafic routier présentent les concentrations les plus élevées, suivies des teneurs aux deux sites temporaires, et enfin celles des trois stations urbaines de fond choisies dans Paris. En terme de variabilité des résultats aux deux sites temporaires, les résultats en NO sont proches en terme de minimum et percentile 25. Une différence apparaît ensuite pour la moyenne, la médiane et les concentrations maximales, avec des concentrations généralement plus fortes au site instrumenté par la Ratp (le maximum étant enregistré au site Airparif). Concernant le NO<sub>2</sub>, tous les paramètres statistiques sont plus élevés au site Ratp (sauf le maximum). Cette différence s’explique par la localisation de ce site de mesure, plus proche des axes de circulation avoisinants et soumis directement à l’influence du trafic géré par des feux tricolores à proximité.

En terme de particules PM<sub>10</sub>, l’écart de niveau entre les stations fixes et temporaires est plus réduit, avec toujours des concentrations plus fortes aux sites trafics et des concentrations intermédiaires aux deux sites temporaires entre les niveaux de fond et ceux de proximité. Une nette différence est enregistrée sur tous les paramètres statistiques entre les deux sites temporaires, avec des niveaux plus élevés au site de la Ratp (excepté pour le minimum et le percentile 25, équivalents). Cela peut s’expliquer d’une part par la proximité immédiate des axes routiers, mais également par la présence de la bouche de ventilation de la station située à quelques mètres.

Les résultats sont beaucoup plus homogènes pour les particules fines PM<sub>2.5</sub>, notamment aux deux sites temporaires. Encore une fois, les relevés en proximité du trafic routier sont les plus élevés.

## IV.2 Evolution temporelle des niveaux de pollution atmosphérique

La comparaison des niveaux observés peut être réalisée au moyen de l’évolution temporelle enregistrée sur les différents sites. Ainsi les figures suivantes permettent de comparer, pour différents sites du réseau permanent d’Airparif en situation de fond ou à proximité du trafic routier, ainsi que pour les deux sites temporaires de mesure installés à proximité de la station de métro Faidherbe - Chaligny, les concentrations enregistrées pendant la campagne de mesure pour différents composés chimiques : le NO, le NO<sub>2</sub> les particules PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub>. Des

graphiques complémentaires, présentant les profils journaliers et hebdomadaires, sont présentés en annexe 2. A titre de comparaison, les profils journaliers de certaines stations permanentes du réseau d'Airparif, réalisés à partir d'un historique long, sont également présentés, pour les particules PM10 et pour le NO<sub>2</sub>.

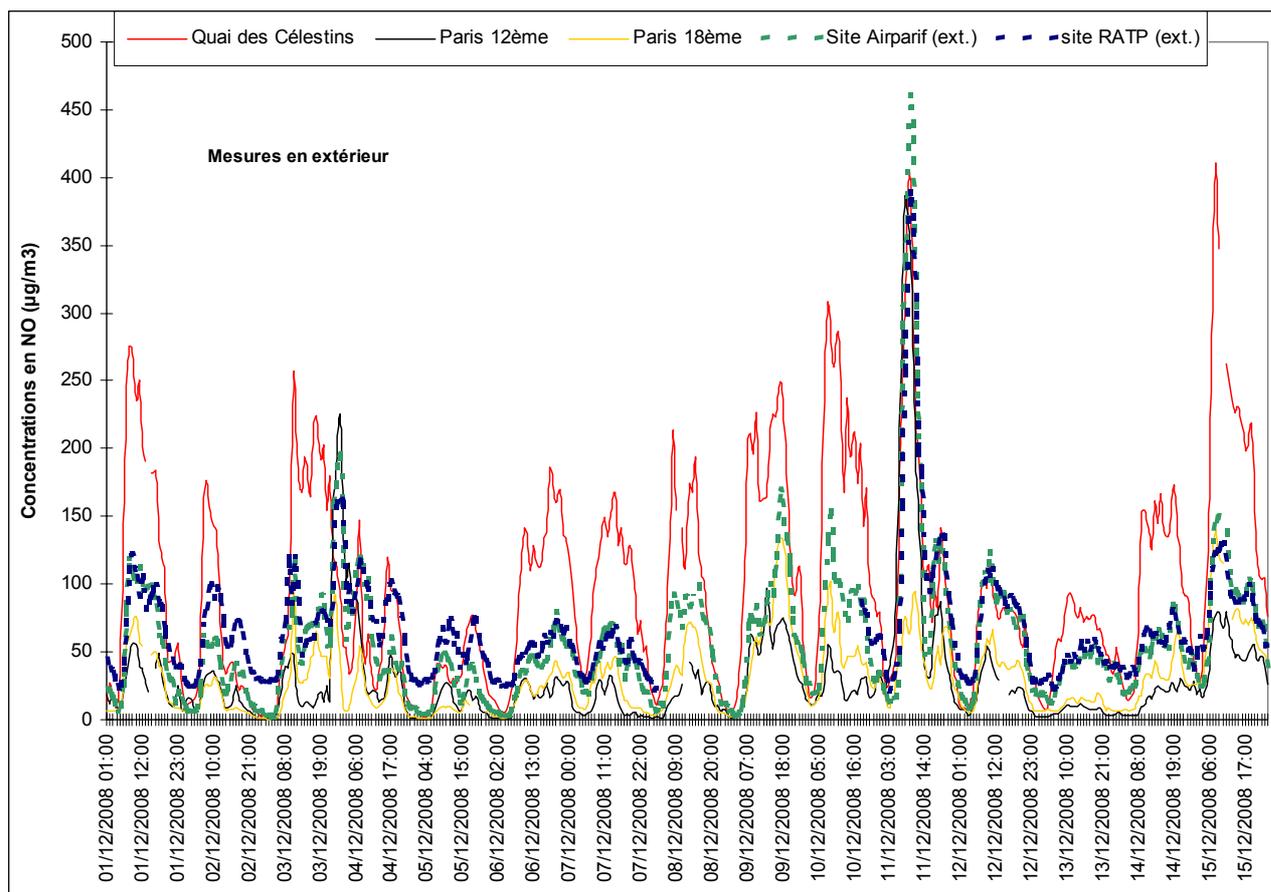
Pour ces quatre polluants, les variations temporelles sont proches entre le site extérieur instrumenté par Airparif et celui de la Ratp, même si des différences de niveaux, déjà mises en évidence par le chapitre précédent, existent.

Pour le **monoxyde d'azote** (NO), les concentrations suivent celles habituellement observées en Ile-de-France, à savoir des teneurs plus importantes en semaine que le week-end, et des pointes matin et soir correspondantes aux déplacements domicile-travail. En effet, ce polluant primaire est fortement influencé par les émissions du trafic routier. Les concentrations mesurées sur les deux sites temporaires sont nettement supérieures aux niveaux de fond parisiens (mesures des stations Paris 12<sup>ème</sup> et 18<sup>ème</sup>), mais inférieures à celles des stations de proximité du trafic routier comme celle du Quai des Célestins. Toutefois, la nuit, les niveaux sont comparables. Cela met en avant l'impact des axes routiers situés à proximité immédiate des deux sites temporaires, à savoir de rue du Faubourg Saint Antoine, la rue Chaligny ou encore la rue de Montreuil.

Des concentrations plus élevées que les autres jours de la campagne de mesure ont été enregistrées le 11 décembre, jour où les conditions météorologiques étaient les moins dispersives de la campagne (conditions anticycloniques).

Les mesures au site d'Airparif (entrée principale de la station de métro) sont généralement inférieures à celles du site de la Ratp car elle est plus en retrait des axes entourant la Place du docteur Béclère (le site de la Ratp est également à proximité immédiate de feux tricolores, d'où le redémarrage fréquent de véhicules à proximité immédiate du point de mesure, générant des émissions supplémentaires de NO). Toutefois, il apparaît ponctuellement des niveaux plus élevés sur le site géré par Airparif. Cela peut s'expliquer par des conditions de circulation ponctuelle dans le secteur immédiat ou par des véhicules stationnant moteur allumé sur les aires de spécificités à proximité (places de livraison, station de taxis).

En terme de profil journalier, l'évolution temporelle observée en extérieur Place du Docteur A. Béclère est intermédiaire entre celle de la station urbaine de fond de Paris 18<sup>ème</sup> et celle à proximité du trafic routier quai des Célestins. Le profil hebdomadaire est plus nuancé entre les deux sites temporaires, s'expliquant par un impact plus au moins marqué de la circulation automobile à proximité. Cela se traduit par un résultat similaire sur les stations trafics permanentes (exemple de Place V. Basch et Quai des Célestins). Des mesures sur une plus longue période permettraient de mettre en évidence un profil hebdomadaire plus stable en semaine, avec une baisse des teneurs les samedis et dimanches.



**Figure 11 : Evolution des niveaux horaires extérieurs de NO pendant la campagne de mesure sur les deux sites temporaires (Airparif et Ratp) ainsi que sur certaines stations permanentes du réseau fixe d'Airparif.**

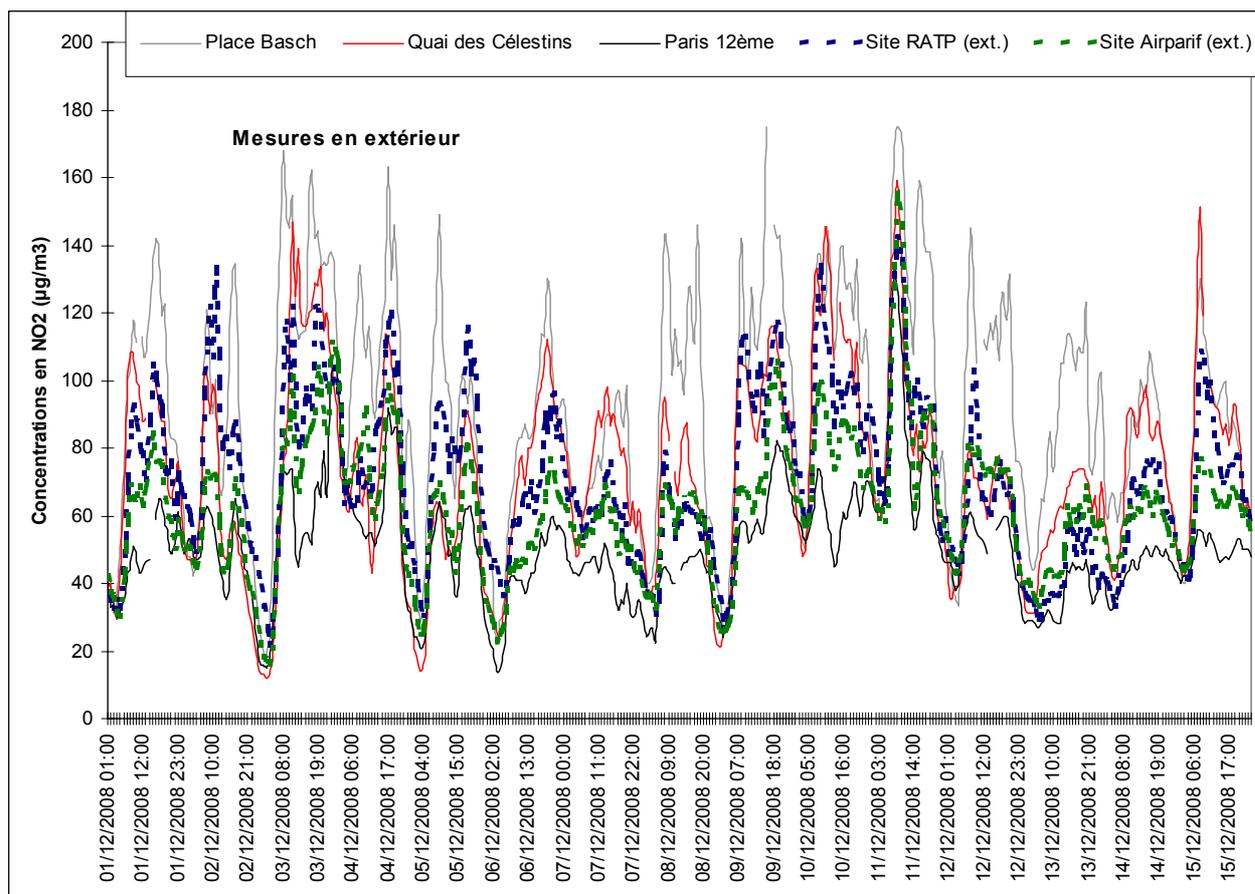
Les principales conclusions apportées pour le monoxyde d'azote (NO) sont également valables pour le **dioxyde d'azote** (NO<sub>2</sub>), à savoir :

- une évolution temporelle sur les deux sites temporaires comparable à celles habituellement observées en air extérieur, les concentrations suivent celles habituellement observées en Ile-de-France,

- des concentrations mesurées sur ces deux sites temporaires supérieures aux niveaux de fond parisiens (mesures des stations Paris 12<sup>ème</sup> et 18<sup>ème</sup>), mais généralement inférieures à celles des stations de proximité du trafic routier comme celles du Quai des Célestins ou Place V. Basch. Des concentrations plus fortes ont été relevées ponctuellement, s'expliquant par des conditions spécifiques de circulation sur les axes à proximité immédiate de la station de métro Faidherbe - Chaligny. La différence avec les relevés de NO<sub>2</sub> s'explique par le caractère secondaire du NO<sub>2</sub>, polluant non émis directement par des sources de pollution mais résultant de réactions chimiques,

- des mesures au site d'Airparif généralement inférieures (environ 15 %) à celles du site de la Ratp car plus en retrait des axes entourant la Place du docteur Bécclère. Cette différence est essentiellement visible en journée, lors de la fréquentation automobile des axes avoisinants.

Les résultats présentés pour le NO relatifs aux profils hebdomadaire et journalier sont en partie valables : les profils Place du Docteur A. Bécclère sont intermédiaires entre ceux de la station en situation de fond (Paris 18<sup>ème</sup>) et ceux des stations trafics, les concentrations étant proches de celles relevées quai des Célestins. Des particularités au niveau de la semaine existent entre les différentes stations trafics et les deux sites temporaires installés par la Ratp et Airparif.



**Figure 12 : Evolution des niveaux horaires extérieurs de NO<sub>2</sub> pendant la campagne de mesure sur les deux sites temporaires (Airparif et Ratp) ainsi que sur certaines stations permanentes du réseau fixe d'Airparif.**

Les relevés extérieurs en **particules PM10** montrent, comme pour les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>), une évolution temporelle similaire sur les deux sites temporaires Airparif - Ratp (hausse des niveaux en journée, minima la nuit, baisse les week-ends), proche de celles des autres stations fixes de mesure. Les niveaux aux deux sites temporaires à proximité de la station de métro Faidherbe - Chaligny sont intermédiaires entre les mesures en fond (station de Paris 18<sup>ème</sup>) et celles à proximité du trafic routier (stations avenue des Champs Elysées et au boulevard périphérique Porte d'Auteuil).

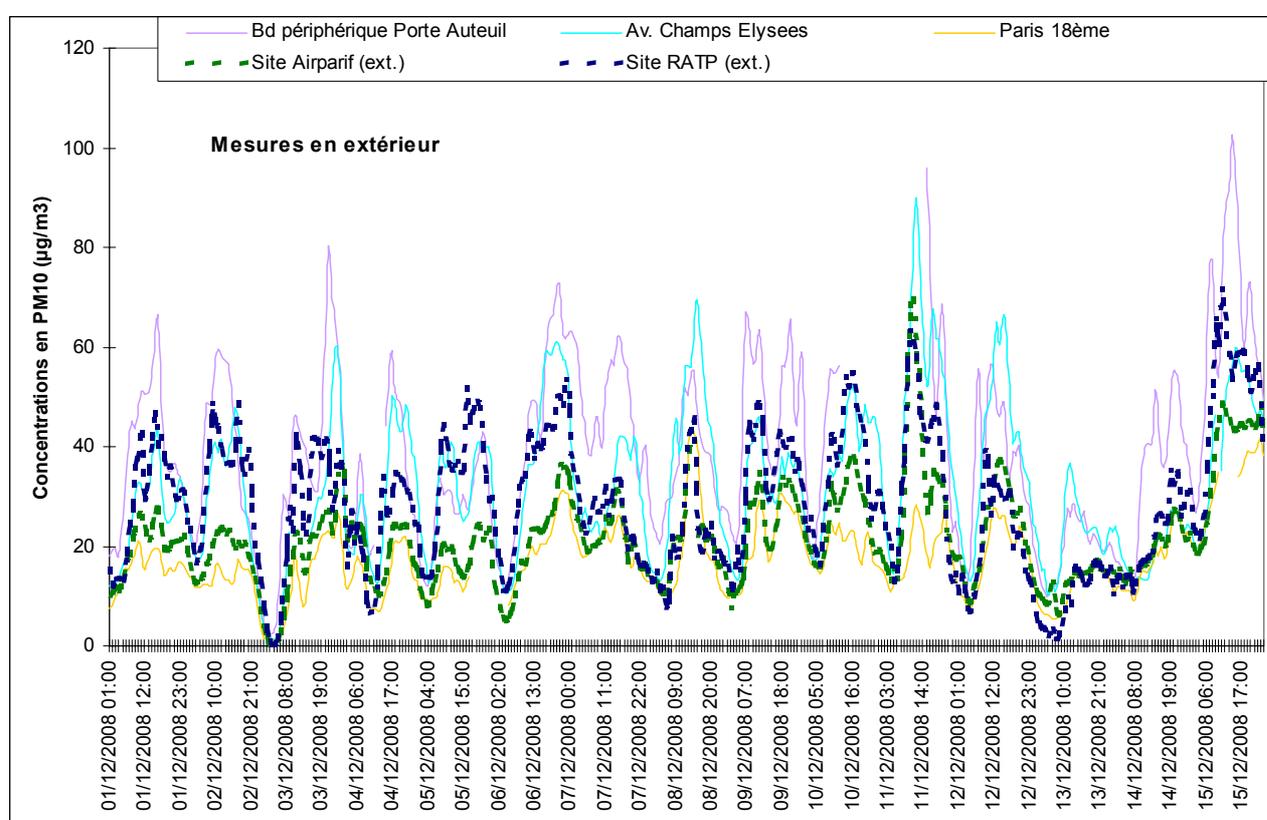
Une nette différence est également observée entre les deux sites temporaires, à savoir des concentrations beaucoup plus élevées (32 % en moyenne) au site instrumenté par la Ratp, notamment en journée (de 7h à minuit heure T.U.). Les niveaux sont par contre proches la nuit : la nuit, lors de l'arrêt de circulation des rames de métros (entre minuit et 4h30 T.U.) et par une circulation automobile moindre (50 % de trafic routier en moins en moyenne), la différence de niveaux se réduit à 20 %. Cette différence s'explique d'une part par la présence à proximité immédiate de ce site d'axes routiers (le site d'Airparif en est plus éloigné), et d'autre part de la grille de ventilation, d'où sort l'air intérieur. Or l'air intérieur du réseau souterrain de la Ratp est une source de particules PM10, due à l'exploitation des métros (systèmes de freinage, frottements, ...). Des détails sur le trafic routier rue du Faubourg Saint Antoine sont fournis précédemment.

En terme de profil journalier, les deux sites temporaires de la Ratp et d'Airparif présentent des évolutions journalières comparables à celles des stations permanentes du réseau d'Airparif. Les résultats à l'échelle de la semaine sont plus nuancés car plus influencés par des impacts locaux dus à la circulation routière à proximité et aux conditions météorologiques observées

pendant la période de mesure. Une durée plus longue de prélèvement permettrait d'observer des résultats plus homogènes entre les deux sites temporaires et les stations permanentes.

Pour rappel, les mesures n'ont pas pu être effectuées par FDMS, nouvelle technique de mesure des particules mise en place depuis 1<sup>er</sup> janvier 2007 sur le réseau d'Airparif, faute d'un nombre suffisant d'analyseur de ce type. Le module FDMS adaptable sur les analyseurs existants (TEOM) permet de mesurer les particules dans leur globalité en tenant compte de la fraction volatile (essentiellement le nitrate d'ammonium). Par conséquent, les données de particules disponibles dans ce rapport ne prennent pas en compte la partie volatile. Toutefois, sur le réseau permanent d'Airparif, compte-tenu de l'importance de l'investissement à réaliser, seules certaines stations de mesure ont été équipées du module FDMS. La différence avec la mesure par TEOM sur certaines stations de mesure réparties sur la région permet d'estimer la fraction volatile sur l'ensemble des sites fixes de mesure.

Notons par ailleurs que, compte-tenu des températures chaudes en souterrain, la partie volatile est quasi inexistante.



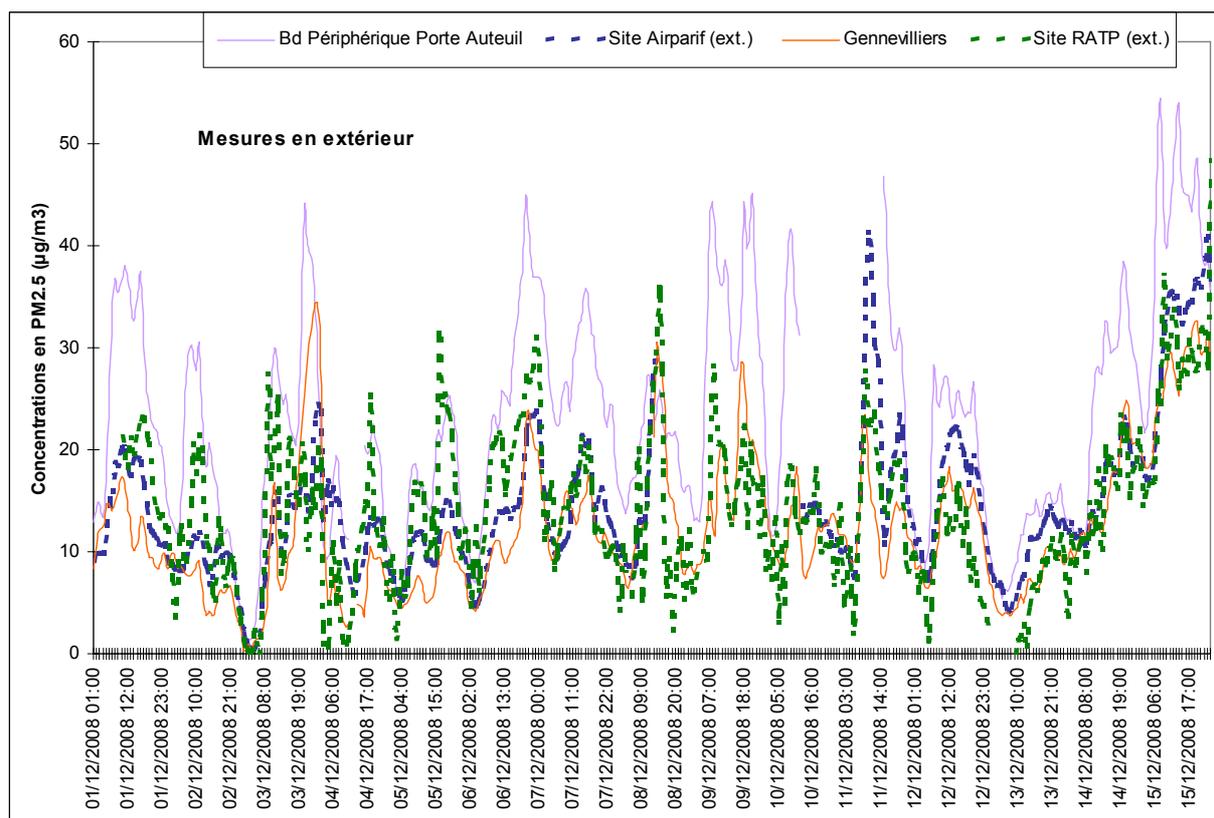
**Figure 13 : Evolution des niveaux horaires extérieurs de particules (PM10) pendant la campagne de mesure sur les deux sites temporaires (Airparif et Ratp) ainsi que sur certaines stations permanentes du réseau fixe d'Airparif.**

Les niveaux de **particules fines PM2.5** mesurés sur les deux sites sont plus proches que les relevés de PM10, du fait principalement d'une source moins importante de particules fines dans le réseau souterrain de la Ratp. En effet, les particules émises par la circulation des rames de métros sont essentiellement de grosses tailles.

Il n'y a toutefois pas de tendance entre les deux sites : en début de campagne (entre le 1<sup>er</sup> et le 6 décembre), les niveaux en journée ont tendance à être plus élevés sur le site extérieur installé par la Ratp, alors que lors de la deuxième semaine de mesure (11, 12, 13 et 15 décembre), les concentrations de pointe sont plus importantes au site d'Airparif.

Par ailleurs, comme pour les PM10, les niveaux en PM2.5 sont intermédiaires entre ceux relevés en situation de fond (mesures par TEOM à la station urbaine de Gennevilliers) et ceux à proximité du trafic routier relevés Porte d'Auteuil sur le boulevard périphérique.

En terme de profil journalier, des fluctuations sont observées entre les deux sites temporaires, malgré des niveaux proches. L'évolution moyenne est comparable à celle de la station permanente de fond Paris 18<sup>ème</sup> et au site trafic du boulevard périphérique Porte d'Auteuil. Des fluctuations entre les deux sites temporaires sont également observées en terme d'évolution hebdomadaire, tout comme sur les stations permanentes du réseau d'Airparif. Cela s'explique par l'influence des conditions météorologiques et de circulation observée pendant la campagne de mesure.



**Figure 14 : Evolution des niveaux horaires extérieurs de particules fines (PM2.5) pendant la campagne de mesure sur les deux sites temporaires (Airparif et Ratp) ainsi que sur certaines stations permanentes du réseau fixe d'Airparif.**

### **IV.3 Comparabilité des données aux deux sites temporaires et avec certaines stations du réseau permanent d'Airparif**

La comparabilité statistique des données obtenues pendant la campagne de mesure se fait de la même façon que pour les données en air intérieur, via les tests de Fischer et de Student, ou par des tests non paramétriques en cas de données ne suivant pas la loi Normale.

Les tests statistiques sur les données en NO<sub>2</sub> aux deux sites temporaires extérieurs montrent des résultats différents, s'expliquant par les emplacements différents influencés par les axes routiers à proximité. La comparaison avec différentes stations permanentes du réseau d'Airparif aboutit au même résultat : les mesures aux deux sites temporaires sont différentes des mesures en proximité du trafic routier (stations du boulevard périphérique Porte d'Auteuil, Place Basch, quai des Célestins) et celles en situation de fond (Paris XII<sup>ème</sup>, Paris XIII<sup>ème</sup> et Paris XVIII<sup>ème</sup>).

Concernant les particules PM10, les tests montrent des résultats significativement différents entre les deux sites automatiques temporaires, mais également avec les stations permanentes trafics (Autoroute A1 à Saint-Denis, Boulevard Périphérique Porte d'Auteuil, champs Elysées) et urbaines de fond (Paris XVIII<sup>ème</sup> et Gennevilliers). On peut par contre affirmer que les niveaux à la station trafic des Champs Elysées sont significativement supérieurs à ceux du site extérieur installé par la Ratp.

Les résultats concernant les particules fines PM2.5 sont plus concluants. **Les résultats des deux sites temporaires Ratp / Airparif sont équivalents**, aussi bien en terme de dispersion des données qu'en terme de niveau moyen. Ils sont différents des concentrations mesurées à la station trafic du boulevard périphérique, mais significativement supérieurs aux données de la station permanente urbaine de Gennevilliers.

Ainsi la présence de la grille de ventilation à proximité du site temporaire extérieur installé par la Ratp a une influence différente selon les particules PM10 et les PM2.5.

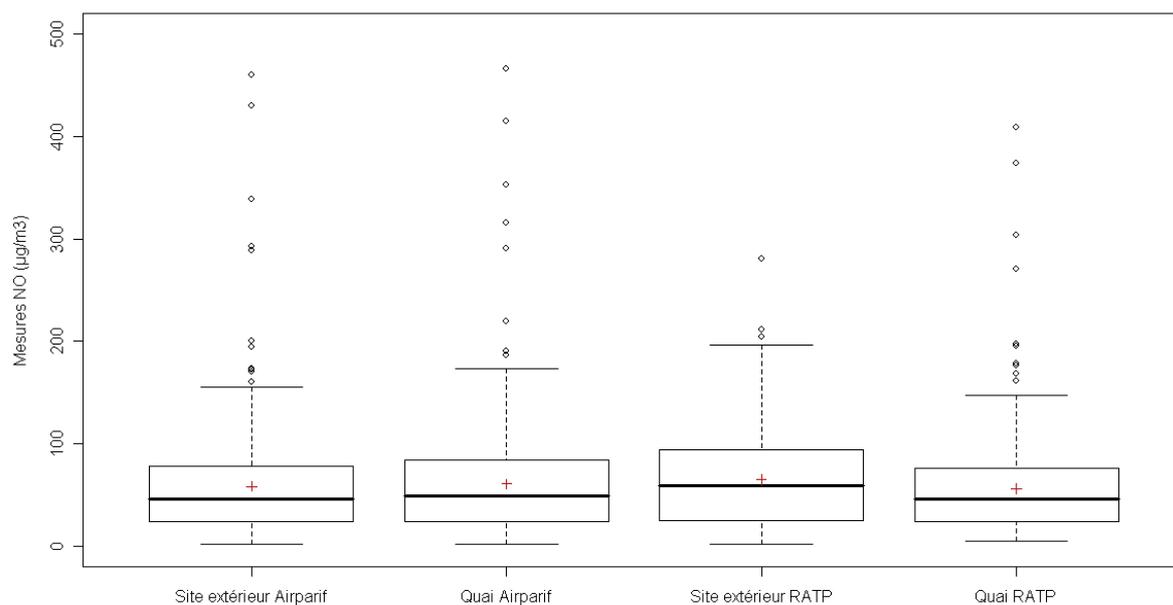
## V Transfert extérieur – intérieur de la pollution

Un traitement des données horaires peut également être réalisé en considérant d'une part les sites intérieur et extérieur instrumentés par Airparif, et d'autre part ceux gérés par la Ratp, ceci pour chaque polluant, afin de mettre en avant les transferts de pollution entre les deux environnements.

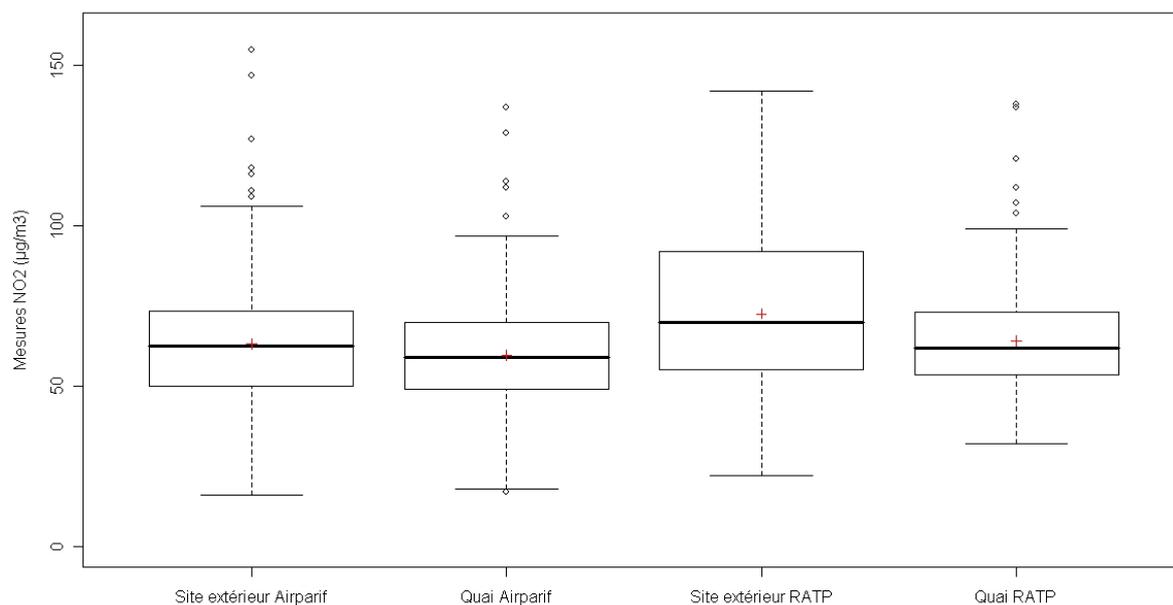
### V.1 Qualification des niveaux moyens observés

Les principaux résultats statistiques (minimum et maximum horaire, moyenne, médiane et percentiles 25 et 75) sont présentés dans les tableaux suivants pour chaque site de mesure temporaire en air intérieur et extérieur.

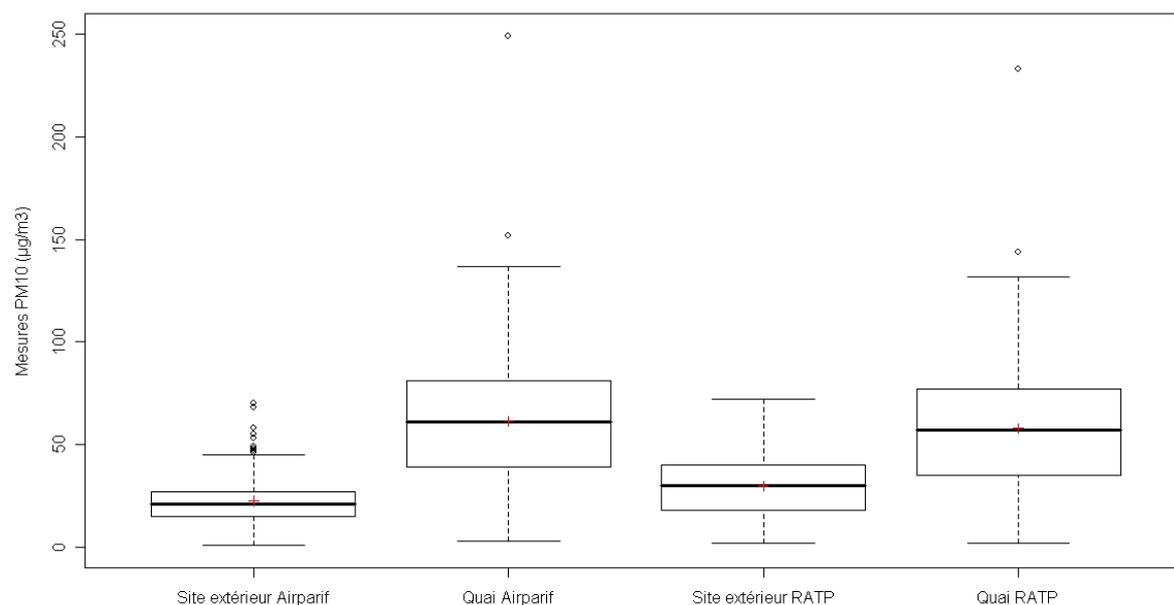
<b>Statistiques (µg/m3) - NO</b>	Site Airparif intérieur	Site Airparif extérieur	Site RATP intérieur	Site RATP extérieur
Minimum (horaire)	2	2	5	2
P25 (percentile 25)	23	23	24	24
Médiane	49	46.5	46	56
Moyenne	60	58	56	64
P75	84	79	76	90
Maximum (horaire)	466	460	409	281
Nb de données manquantes (en heures)	3	2	30	0



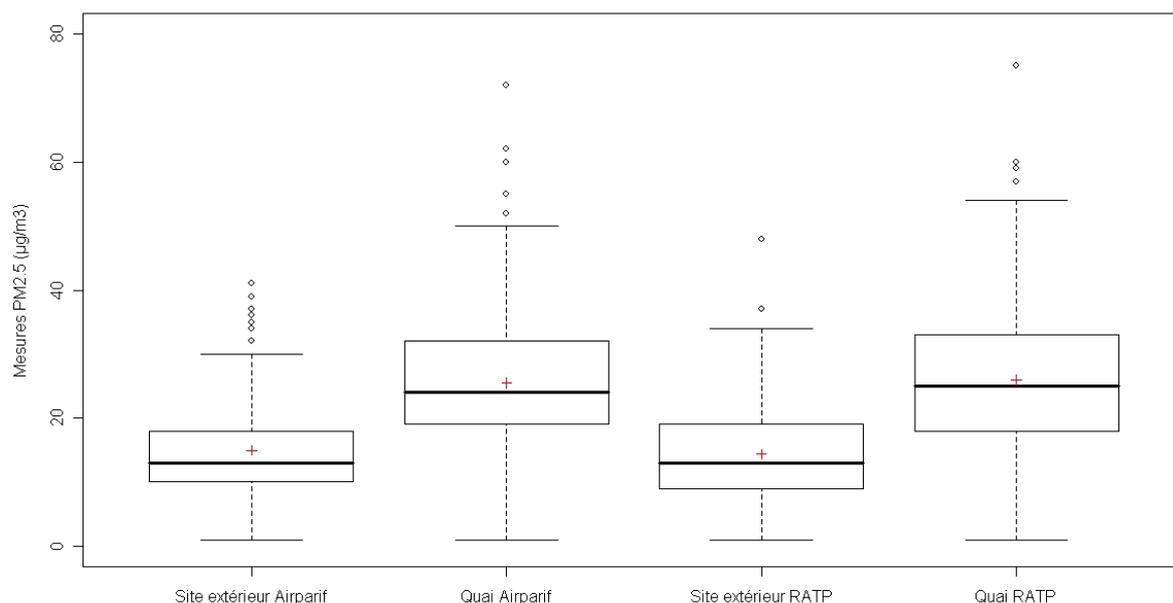
<b>Statistiques (µg/m3) - NO2</b>	Site Airparif intérieur	Site Airparif extérieur	Site RATP intérieur	Site RATP extérieur
Minimum (horaire)	17	16	32	22
P25 (percentile 25)	48	50	54	53
Médiane	57	62	62	68
Moyenne	59	62	64	71
P75	69	72.8	73	90
Maximum (horaire)	137	155	138	142
Nb de données manquantes (en heures)	3	2	30	0



<b>Statistiques (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>) - PM10</b>	Site Airparif intérieur	Site Airparif extérieur	Site RATP intérieur	Site RATP extérieur
Minimum (horaire)	1	1	2	1
P25 (percentile 25)	39	15	35	17
Médiane	61	21	57	28
Moyenne	61	22	58	29
P75	81	27	77	40
Maximum (horaire)	249	70	233	72
Nb de données manquantes (en heures)	3	3	28	1



<b>Statistiques (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>) - PM2.5</b>	Site Airparif intérieur	Site Airparif extérieur	Site RATP intérieur	Site RATP extérieur
Minimum (horaire)	1	1	1	1
P25 (percentile 25)	17	10	17	9
Médiane	25	13	25	13
Moyenne	25	15	26	14
P75	32	18	33	19
Maximum (horaire)	72	41	75	48
Nb de données manquantes (en heures)	1	47	28	21



**Tableau 3 : Statistiques (concentrations en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) et boîtes à moustaches des mesures de la campagne sur les deux sites temporaires d'Airparif et de la Ratp en air intérieur et en air extérieur.**

Les boîtes à moustaches relatives aux mesures en air intérieur et extérieur aux quatre sites temporaires sont proches en terme de dispersion des données horaires, avec des valeurs atypiques à chaque site. La longueur des boîtes est homogène aux quatre emplacements (entre 52 sur le quai côté site Ratp et 66  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en extérieur au site Ratp). Celles spécifiques au  $\text{NO}_2$  montrent une spécificité du site extérieur Ratp, site auxquels les niveaux sont plus élevés (médiane, moyenne, maxima) et plus dispersés.

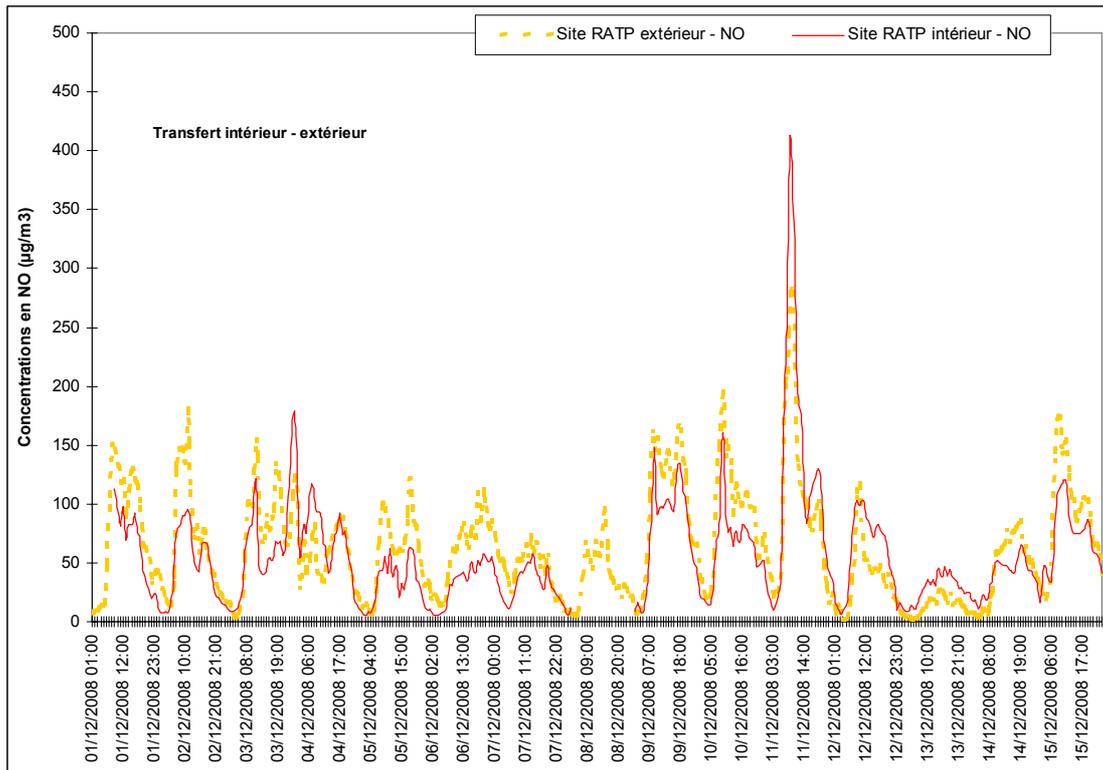
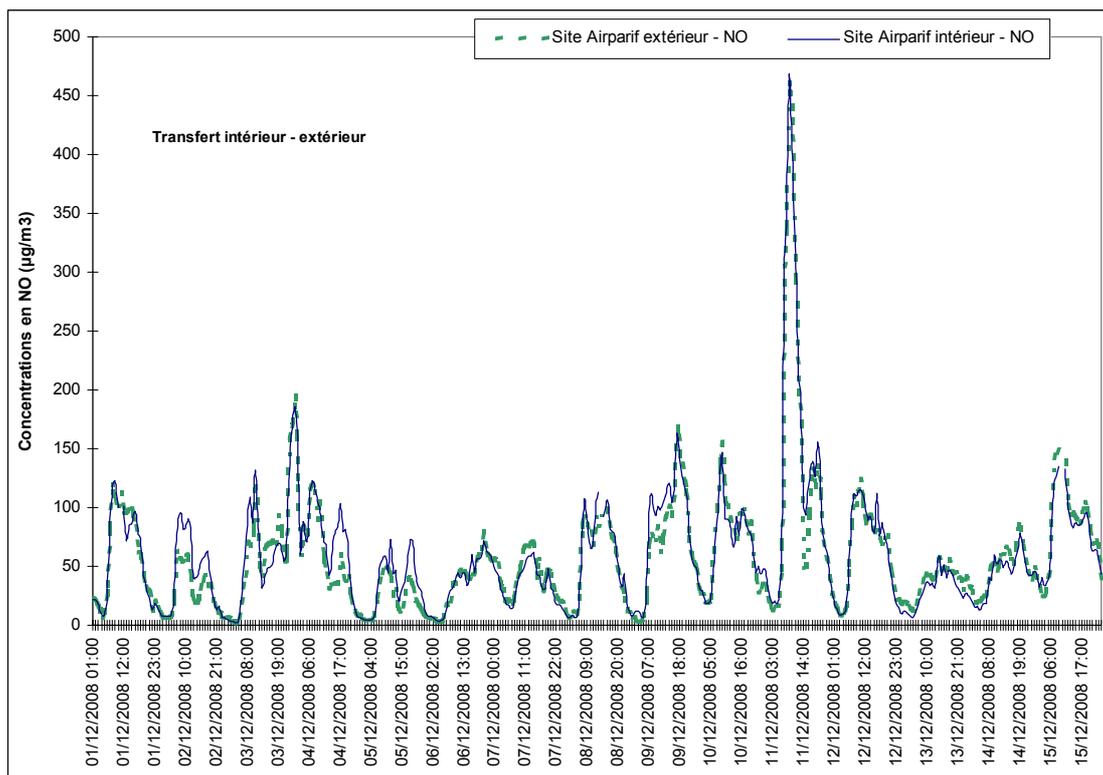
Les résultats pour les particules montrent clairement une différence entre les sites intérieurs (plus élevés, plus dispersés) et extérieurs.

Les résultats statistiques de comparabilité entre les sites temporaires intérieurs et extérieurs sont présentés dans le paragraphe V.2. pour chacun des polluants.

## V.2 Evolution temporelle des niveaux de pollution atmosphérique aux sites temporaires

### V.2.1 Cas du NO

L'évolution des niveaux en NO aux deux sites gérés par Airparif montre une variation temporelle similaire, avec des concentrations similaires. Sur les sites installés par la Ratp, une différence des niveaux est mise en évidence, avec des teneurs généralement plus fortes sur le site extérieur. Ce résultat s'explique par la proximité du site extérieur Ratp aux axes routiers mais également à deux feux tricolores. Le redémarrage des véhicules est donc à proximité immédiate des mesures, d'où une influence des niveaux de NO. De part leurs résultats similaires, les deux sites d'Airparif mettent en évidence une même source de NO en air intérieur qu'en extérieur. D'après les activités productrices de NO du secteur, il est fort probable que la circulation routière en extérieur soit responsable des niveaux de NO retrouvé au sein du réseau souterrain de la Ratp, les bouches d'extraction d'air se trouvant dans le cas de cette station de métro à proximité immédiate des axes de circulation comme la rue du Faubourg Saint-Antoine.



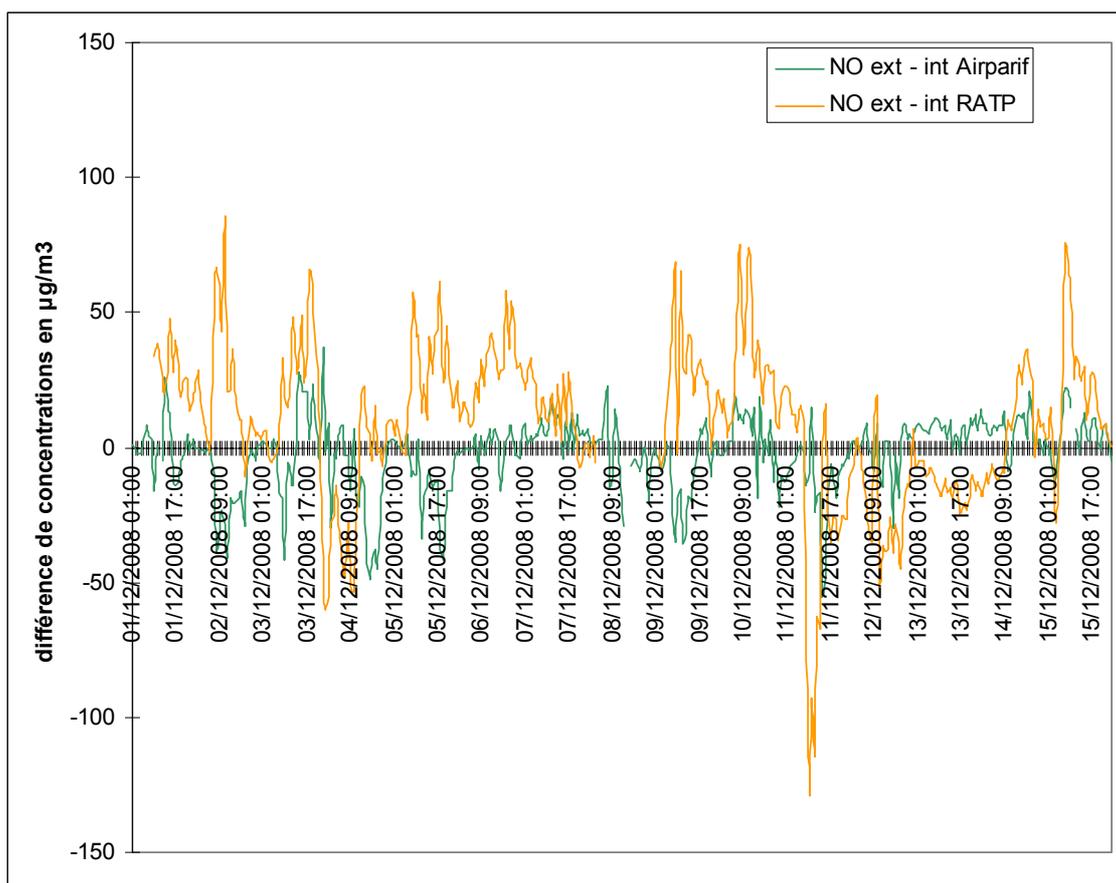


Figure 15 : Evolution des niveaux horaires intérieurs et extérieurs de NO pendant la campagne de mesure sur les deux sites temporaires gérés par Airparif et par la Ratp.

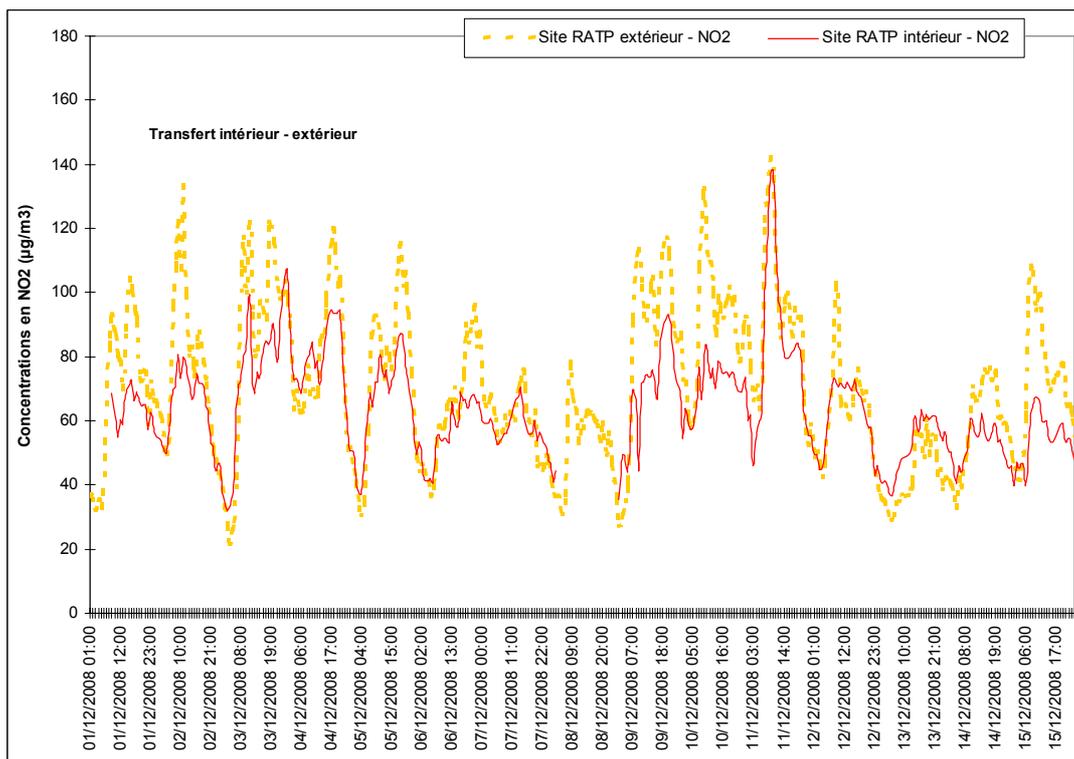
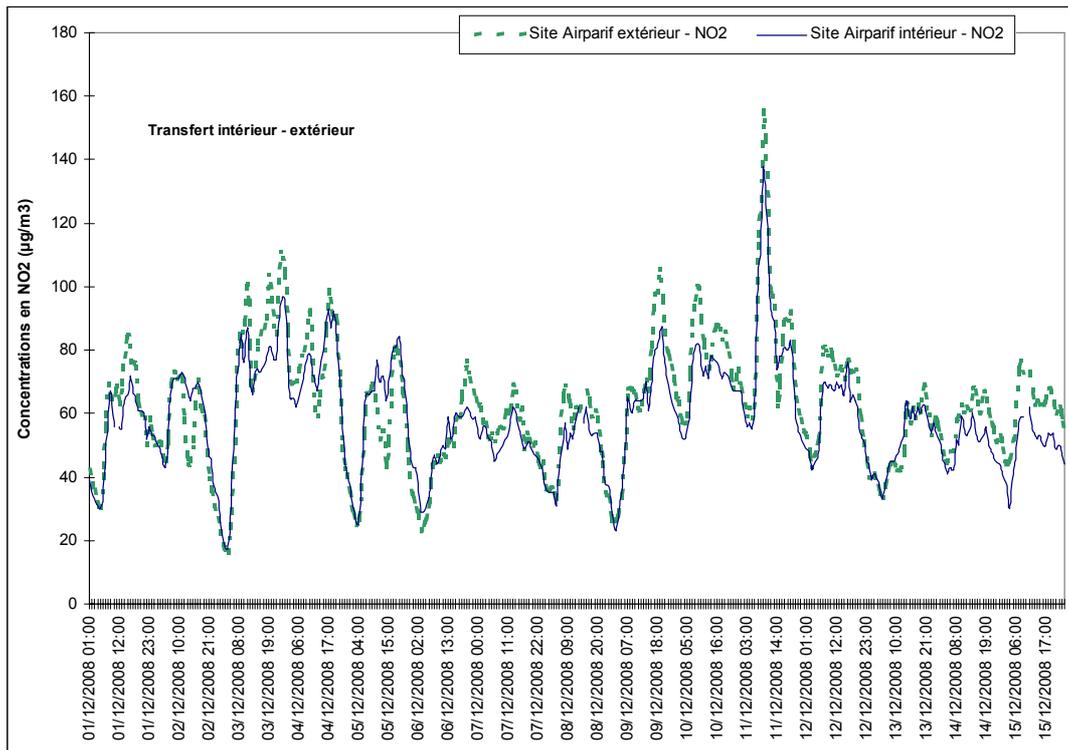
Les tests statistiques réalisés ont concerné d'une part les deux sites temporaires gérés par Airparif et d'autre part les deux points de mesure instrumentés par le Ratp.

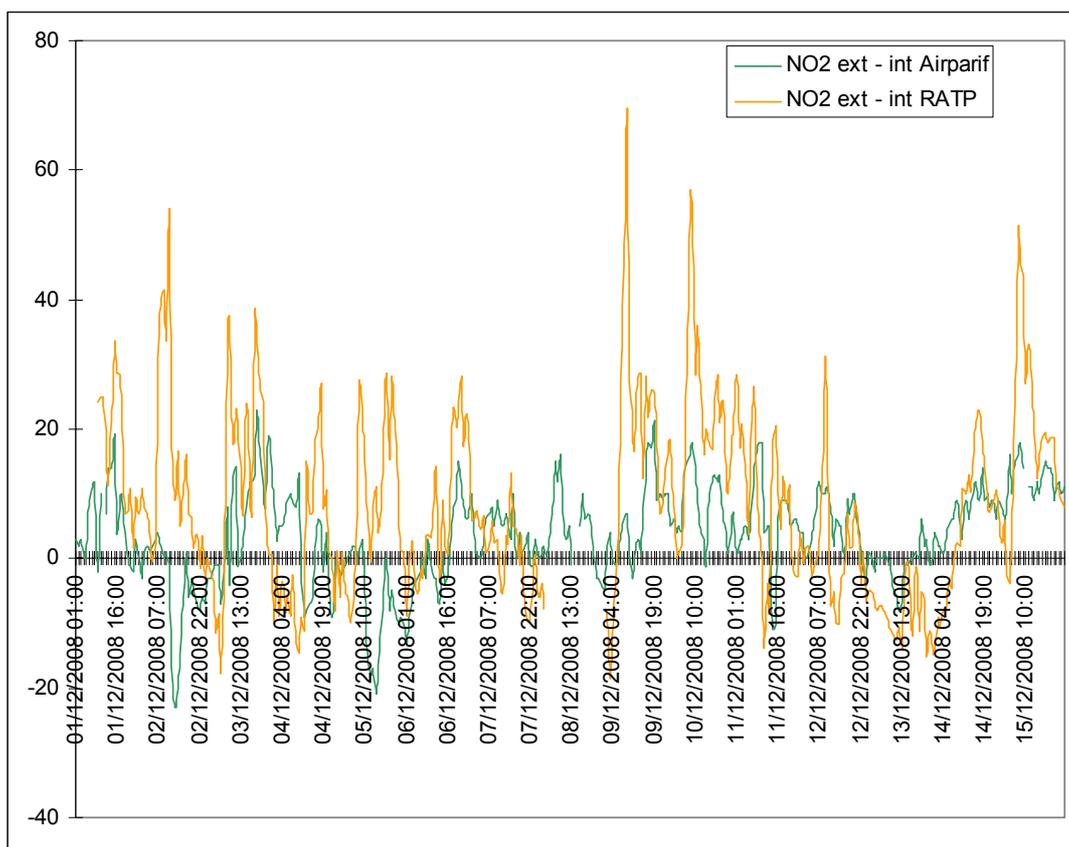
Ils mettent en évidence une **distribution des relevés horaires en NO et des moyennes identiques aux sites temporaire intérieur et extérieur d'Airparif**. Aux points de mesure de la Ratp, le test de Fischer confirme une variabilité des concentrations horaires proche, même si les niveaux moyens ne peuvent être considérés comme équivalents.

### V.2.2 Cas du NO<sub>2</sub>

Pour les deux configurations intérieure / extérieure, les évolutions temporelles des concentrations extérieures se retrouvent à l'intérieur, avec des niveaux clairement plus élevés à l'extérieur, de façon plus marquée au site Ratp, qui s'explique par la proximité plus importante des axes et des aménagements urbains comme les feux tricolores. Etant donné le processus de formation du NO<sub>2</sub> (composé secondaire, résultant majoritairement de transformations chimiques à savoir l'oxydation du NO), ces résultats sont cohérents avec ceux de NO et la source de pollution extérieure (pollution urbaine et trafic routier) explique les niveaux intérieurs.

En conclusion, la pollution due aux NOx est principalement d'origine extérieure et rentre dans le réseau souterrain de la Ratp via les accès des stations généralement situées à proximité des axes routiers. Ce point est conforté par l'absence de sources d'oxydes d'azote recensées dans la station de métro.





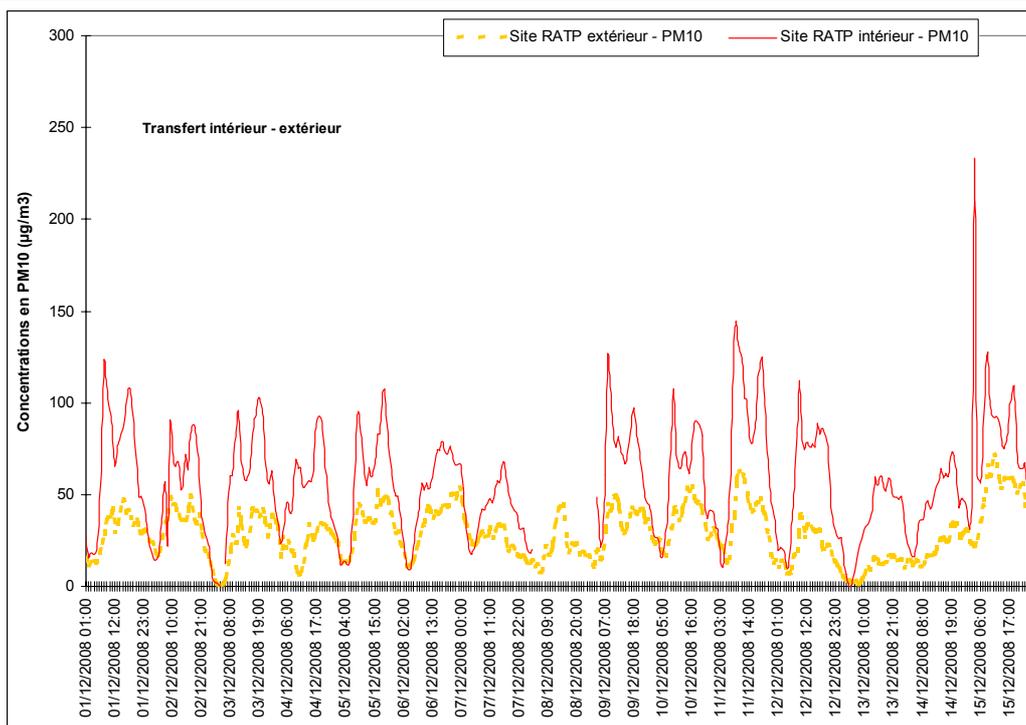
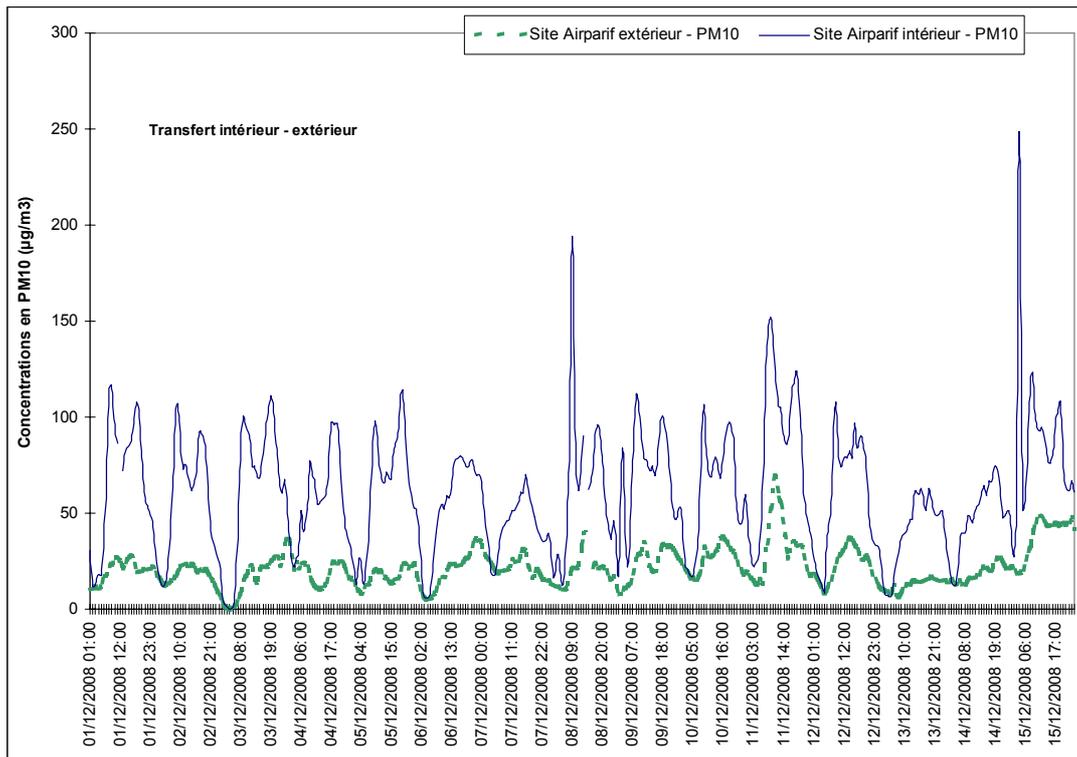
**Figure 16 : Evolution des niveaux horaires intérieurs et extérieurs de NO<sub>2</sub> pendant la campagne de mesure sur les deux sites temporaires gérés par Airparif, puis par la Ratp.**

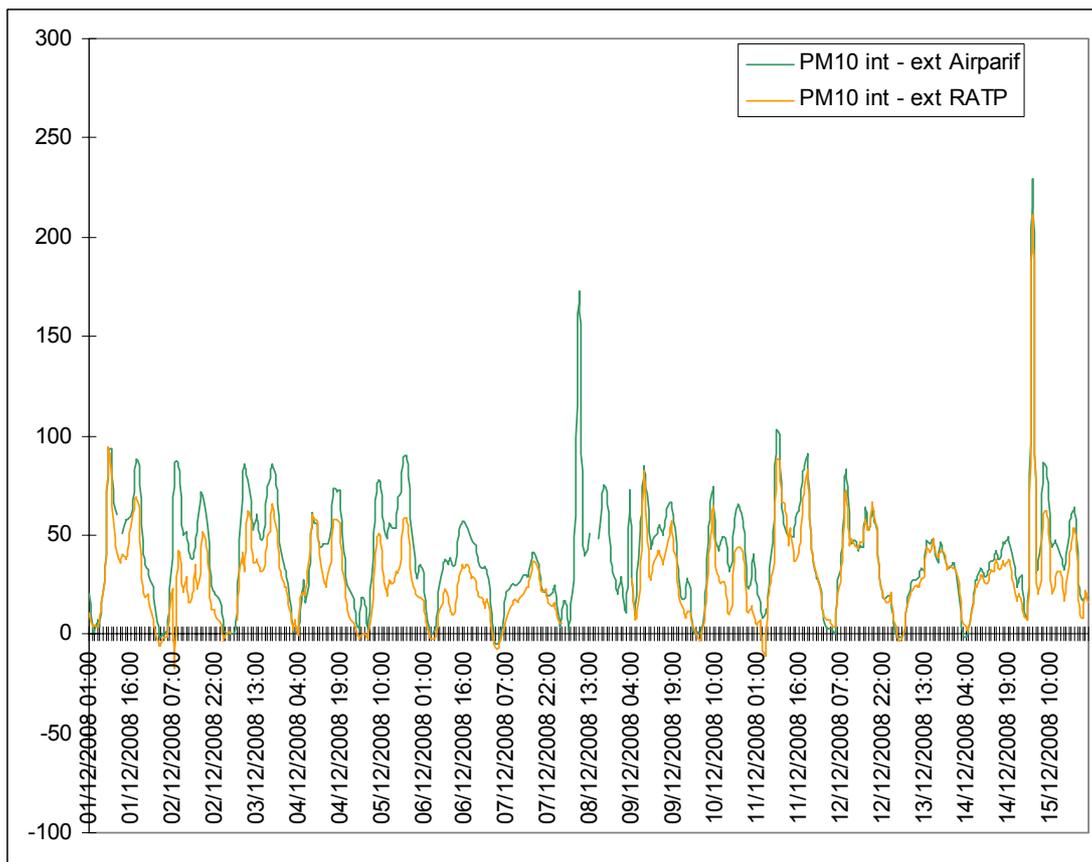
Les tests statistiques mettent en avant des résultats différents aussi bien en terme de dispersion que de niveaux moyens aux deux couples de mesures intérieures / extérieures. L'influence de la principale source de NO<sub>2</sub>, à savoir le trafic routier en air extérieur, explique en majeure partie ce résultat. Aux points de mesure instrumentés par la Ratp s'ajoute l'éventuel biais (non chiffrable ici) du au matériel de mesure différent (pas le même type d'analyseur) utilisé aux deux emplacements.

### V.2.3 Cas des particules PM10

Les mesures en air intérieur sont significativement supérieures à celles en air extérieur, ceci aux deux configurations étudiées (sites Airparif et Ratp) et surtout en journée. La nuit, les concentrations intérieures et extérieures sont proches. Ce résultat met clairement en évidence une source intérieure de particules PM10, à savoir le trafic des métros.

On observe toutefois une différence intérieure / extérieure entre les sites, plus importante aux sites d'Airparif. Cela peut s'expliquer par la ventilation à proximité du site de mesures extérieur géré par la Ratp, produisant un flux d'air de l'intérieur vers l'extérieur : les concentrations en particules provenant du réseau souterrain sont ainsi évacuées vers l'extérieur, d'où des niveaux potentiellement plus élevés au-dessus de la grille de ventilation.



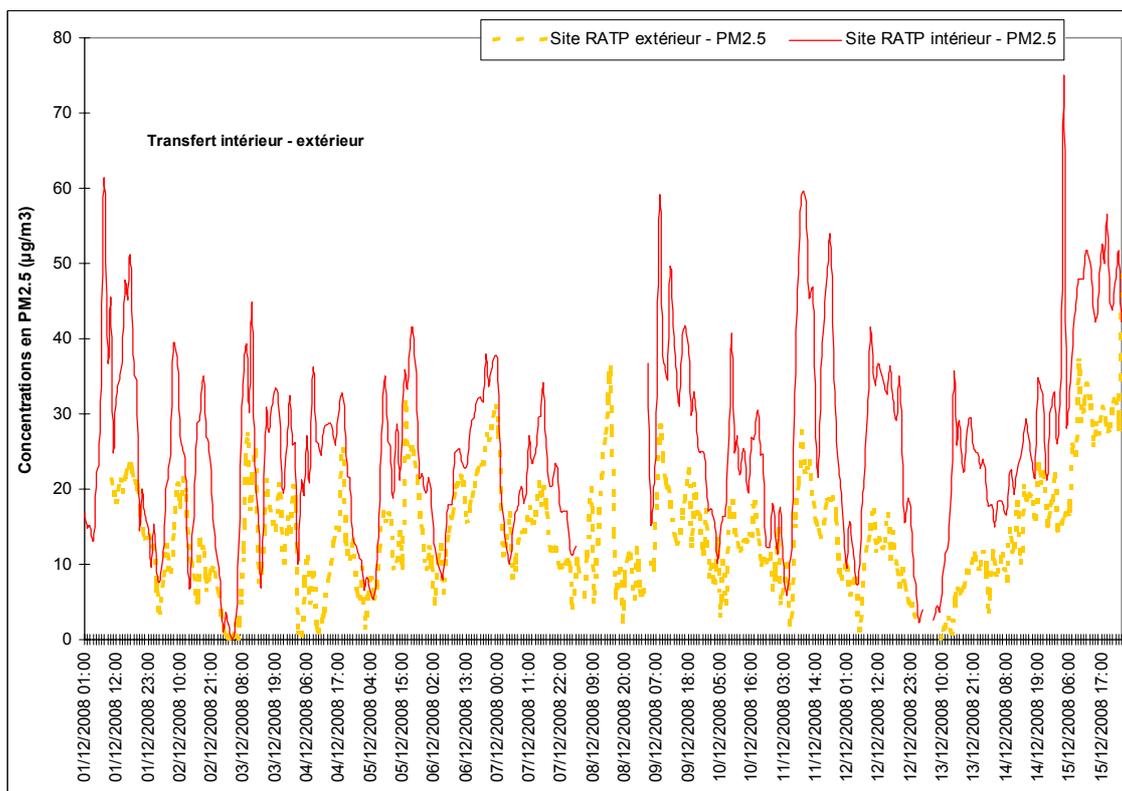
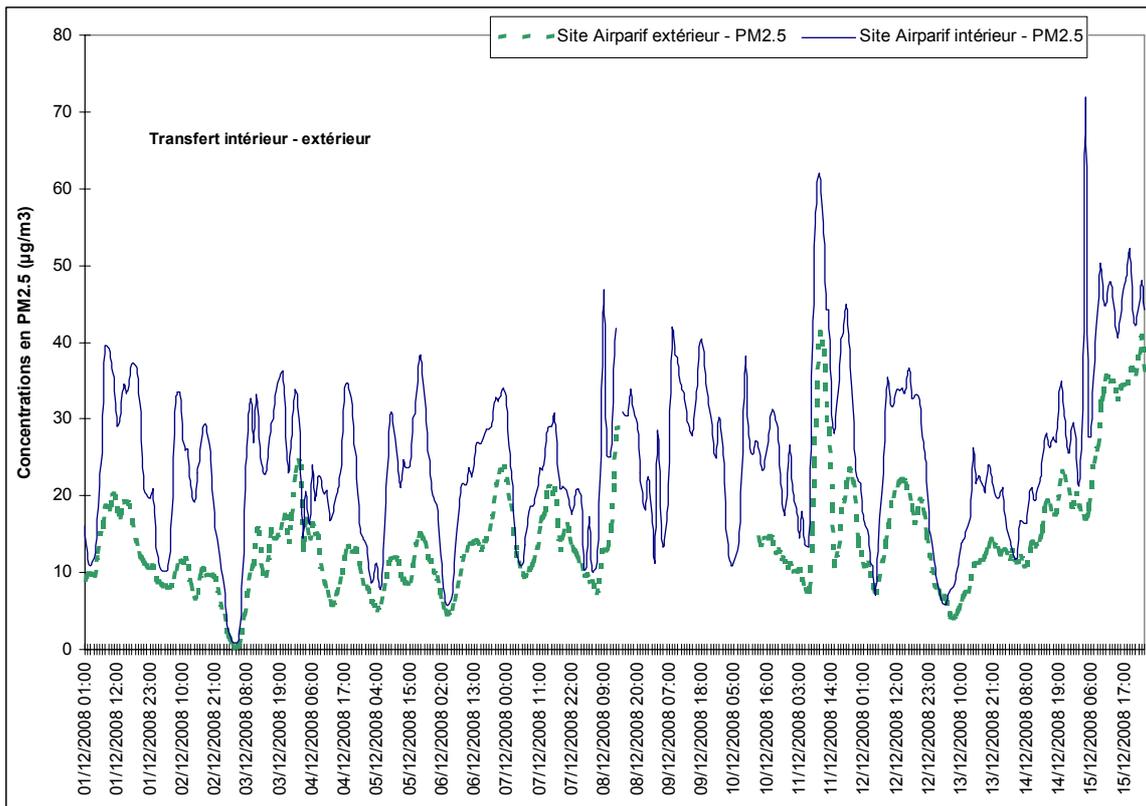


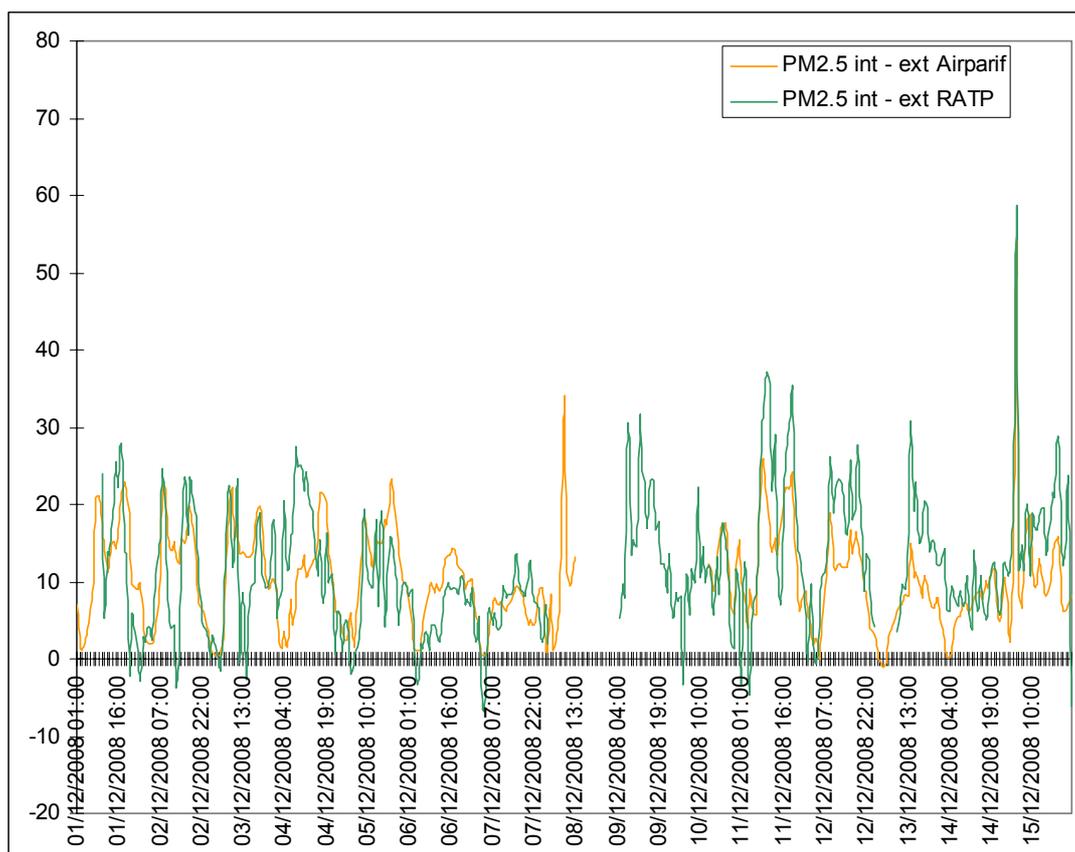
**Figure 17 : Evolution des niveaux horaires intérieurs et extérieurs de particules PM10 pendant la campagne de mesure sur les deux sites temporaires gérés par Airparif et par la Ratp.**

Ces différences intérieur / extérieur sont confirmées par les tests statistiques, mettant clairement en évidence des comportements différents des niveaux entre les deux milieux, aussi bien en terme de variabilité que de teneurs moyennes.

#### **V.2.4 Cas des particules fines PM2.5**

Le résultat concernant les particules fines PM2.5 est proche de celui des PM10, à savoir des niveaux plus élevés en intérieur qu'en extérieur. Encore une fois, la différence est plus marquée aux sites gérés par Airparif, ce qui s'explique, comme pour les PM10, par la présence de la grille de ventilation à proximité du site extérieur installé par la Ratp, les mesures ayant ainsi lieu sous le flux d'air venant du réseau souterrain, plus chargé en particules que l'air extérieur du fait de l'exploitation du métro.





**Figure 18 : Evolution des niveaux horaires intérieurs et extérieurs de particules fines PM2.5 pendant la campagne de mesure sur les deux sites temporaires gérés par Airparif et par la Ratp.**

Pour les particules PM2.5, ces résultats (différences intérieur / extérieur) sont confirmés par les tests statistique réalisés.

### V.2.5 Ratio entre PM10 et PM2.5

En air extérieur, Il existe une forte corrélation entre les concentrations mesurées en PM10 et PM2.5. Cette corrélation peut varier en fonction des conditions météorologiques et de l'origine des particules, et par conséquent en fonction de la typologie du site de mesure. Le ratio PM10/PM2.5 présente également une variation saisonnière : il augmente légèrement en hiver, en raison d'une augmentation de la fraction PM2.5, liée aux émissions des sources de combustion, chauffage notamment. La fraction grossière présente quant à elle de faibles variations saisonnières.

Le pourcentage des PM2.5 dans les PM10, compris entre 66 et 72 % (chiffres pour les années 2006 et 2007, prenant en compte la partie volatile des particules), sont assez proches sur l'ensemble des sites de mesure. Malgré des émissions plus importantes en PM2.5, le plus faible ratio est observé sur le site trafic de la Porte d'Auteuil, probablement en raison d'une remise en suspension plus importante. Le ratio est légèrement plus élevé en 2007, probablement en lien avec les épisodes de pollution ayant favorisé la formation de particules fines. Une comparaison avec l'année 2008 est difficile du fait du changement de méthode de mesure sur de nombreuses stations permanentes du réseau d'Airparif.

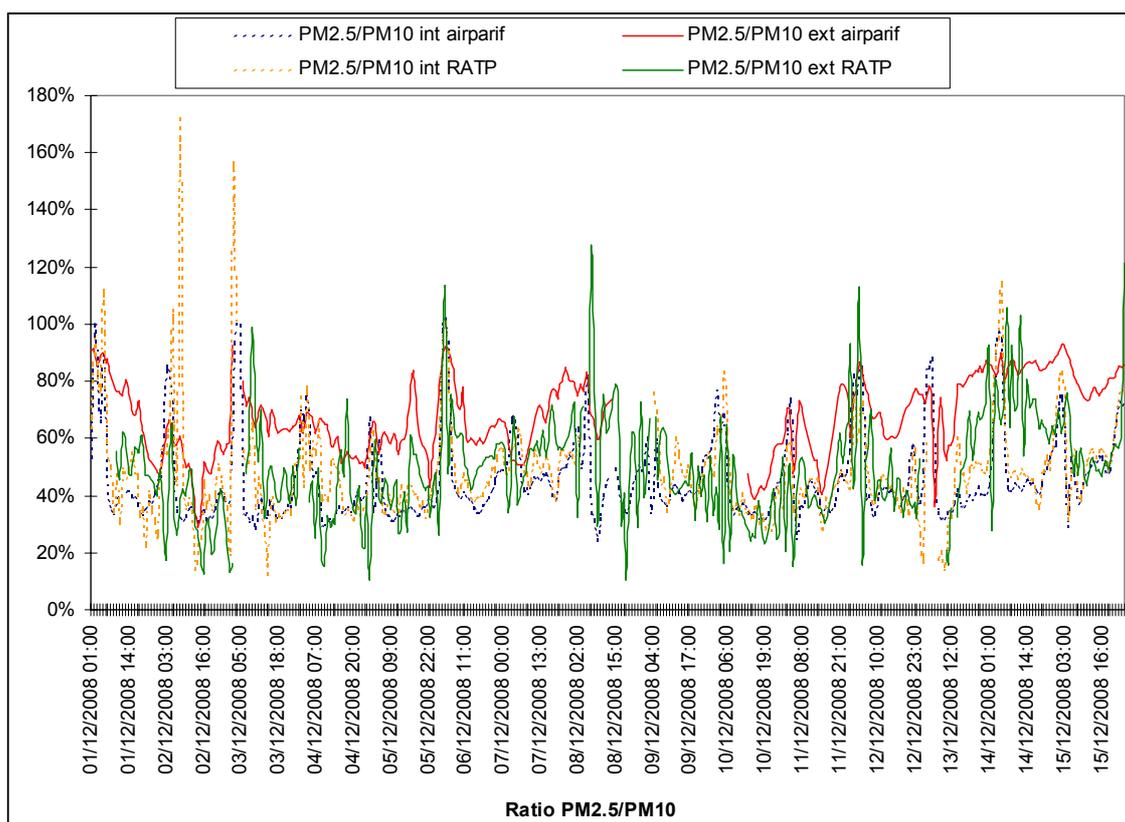
Les résultats relatifs à la campagne de mesure sont présentés à la Figure 19. En terme de moyenne sur la campagne de mesure, les résultats sont les suivants :

Site de mesure	Site int. Airparif	Site int. Ratp	Site ext. Airparif	Site ext. Ratp
Ratio PM2.5/PM10 moyen pendant la campagne	46 %	48 %	68 %	49 %

**Tableau 4 : Ration PM2.5/PM10 relevé pendant la campagne de mesure aux quatre emplacements temporaires.**

Les ratios moyens sont proches aux deux points de mesures intérieur (46 et 48 %) et cohérents avec les valeurs habituellement rencontrées dans les stations de même configuration (ventilée, peu profonde...) sur le réseau souterrain de la Ratp.

Sur les deux sites en air extérieur, les résultats sont clairement distincts : 68 % en moyenne au site instrumenté par Airparif, valeur cohérente avec les ratios habituellement rencontrés en hiver à proximité du trafic routier, contre 49 % sur le site extérieur géré par la Ratp. A titre de comparaison, les résultats sur la même période sont de 73 % à la station urbaine de Gennevilliers et 60 % au site trafic du boulevard périphérique Porte d'Auteuil (non prise en compte de la partie volatile, comme pour les sites temporaires). La différence entre les deux sites extérieurs s'explique facilement par la présence de la sortie de la ventilation à proximité immédiate du site de mesure Ratp : les niveaux extérieurs en PM10, en provenance en partie du réseau souterrain, sont plus forts qu'au site en extérieur d'Airparif, d'où un ratio PM2.5/PM10 plus faible. Il est en moyenne très proche du site intérieur de la Ratp (respectivement 49 % et 48 %).



**Figure 19 : Evolution du ratio PM2.5/PM10 horaire lors de la campagne de mesure aux quatre sites de mesure temporaires.**

## VI Situation vis-à-vis des normes en vigueur

Cette campagne de surveillance permet de positionner les niveaux en NO<sub>2</sub> et en particules relevés par rapport aux normes.

En terme d'air extérieur, selon la réglementation française et européenne en matière de pollution atmosphérique (présentées en annexe 4), les normes sont relatives à des niveaux annuels, journaliers ou horaires. Les mesures ayant eu lieu sur 14 jours consécutifs, aucun positionnement par rapport aux normes annuelles n'a été réalisé, les mesures ayant eu lieu sur une trop courte période. Par contre, une analyse des résultats horaires de la campagne de mesure au regard des normes sur un court pas de temps de la qualité de l'air est possible. Ainsi une évaluation des mesures aux deux sites automatiques extérieurs par rapport aux normes horaires ou journalières est possible et a été réalisée.

Concernant les mesures en air intérieur, une évaluation de la situation vis-à-vis des recommandations de 2001 du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France peut être réalisée.

### VI.1 Résultats des mesures en extérieur

#### VI.1.1 Cas du NO<sub>2</sub>

Les relevés effectués par les deux stations automatiques temporaires peuvent être comparés aux normes réglementaires horaires pour le NO<sub>2</sub>. Ces valeurs concernent deux types de situation, décrites ci-dessous.

##### Les épisodes de pollution (seuils d'information et d'alerte)

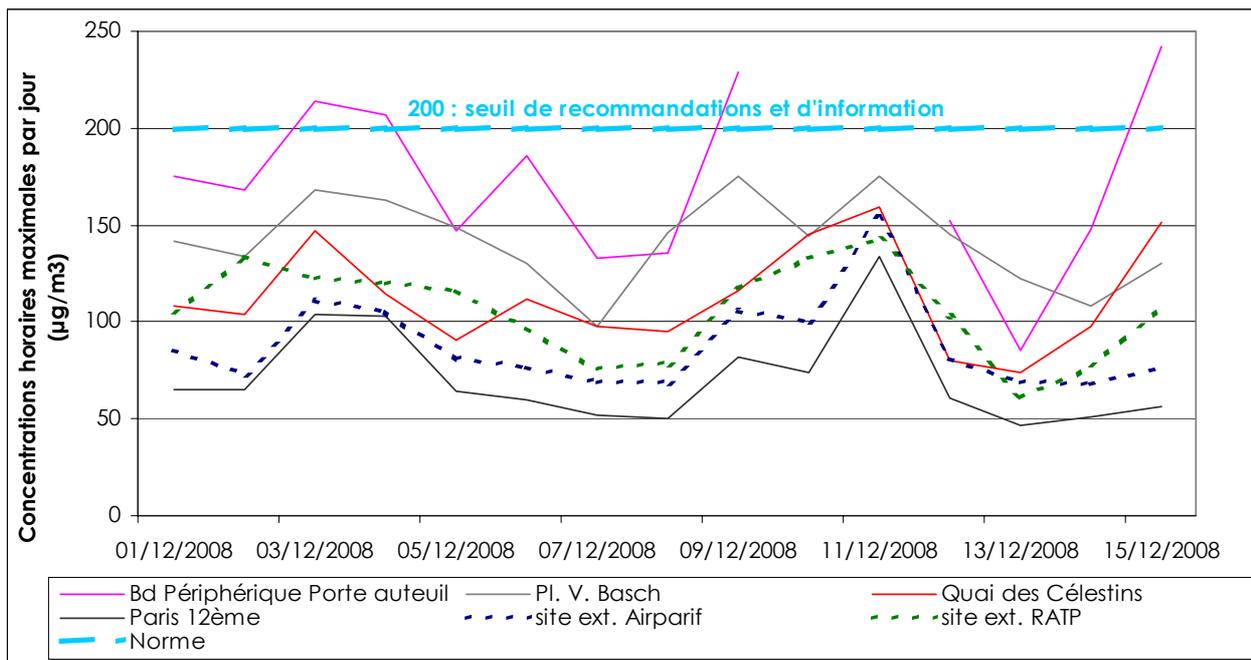
Ces « pics » sont induits notamment par des phénomènes d'accumulation de la pollution chronique liés à des conditions météorologiques spécifiques. La procédure d'information et d'alerte du public en cas d'épisode de pollution atmosphérique mis en place en Ile-de-France depuis le 25 avril 1994 a notamment été élaborée pour ce type de situation dégradée de courte durée.

Le nombre d'épisode est variable d'une année à l'autre mais tend à décroître ces dernières années. En effet, depuis 1995, le nombre de dépassements du niveau d'information et de recommandation du public (200 µg/m<sup>3</sup> en moyenne horaire) est passé de 14 en 1995 à 6 en 2003. Depuis, la situation est stable : aucun dépassement en 2005, 1 en 2006 et 2 en 2007 et **aucun en 2008**.

##### Les niveaux horaires de pollution chronique (valeur limite horaire)

Par ailleurs, indépendamment de ces valeurs associées au dispositif d'information et d'alerte du public, la réglementation européenne et française fixe une valeur limite horaire de référence. Elle s'établit à 220 µg/m<sup>3</sup> en 2008 et elle diminue d'année en année jusqu'à atteindre la valeur limite applicable en 2010 de 200 µg/m<sup>3</sup> en moyenne horaire (à ne pas dépasser plus de 18 heures/an).

La Figure 20 présente l'évolution de la concentration horaire maximale pour chacune des journées de la campagne pour les deux sites automatiques implantés en extérieur, en comparaison aux résultats de stations permanentes du réseau fixe d'Airparif (situation de fond dans le centre de Paris et à proximité du trafic routier).



**Figure 20 : Concentrations horaires maximales de dioxyde d'azote observées lors de la campagne de mesure aux deux sites spécifiques extérieurs, dans le centre de Paris (station de Paris XII<sup>ème</sup>) et à proximité du trafic routier (Pl. V. Basch, Quai des Célestins, Bd périphérique).**

Pendant la campagne de mesure, tout comme en 2008, le niveau d'information et de recommandation du public en NO<sub>2</sub> n'a pas été atteint sur l'agglomération parisienne.

**Pendant la campagne de mesure**, les maxima horaires enregistrés aux deux sites temporaires ont atteint respectivement 143 et 155 µg/m<sup>3</sup> (site Airparif), **respectant ainsi la valeur limite horaire sur la période de mesure**. Seules les stations trafics du Boulevard Périphérique de la l'autoroute A1 (à Saint-Denis) ont connu des maxima horaires supérieurs à 220 µg/m<sup>3</sup> (respectivement 242 et 223 µg/m<sup>3</sup> sur une heure).

### VI.1.2 Cas des particules PM10

Les situations critiques au regard des effets sur la santé pour les particules concernent d'une part la pollution atmosphérique chronique à l'échelle annuelle et d'autre part les épisodes de durée limitée, à l'échelle de la journée.

On rappellera qu'une nouvelle méthode de mesure des particules est effective en France depuis le 01/01/2007, permettant de prendre en compte les particules volatiles. Toutefois, les résultats présentés précédemment ne prennent pas en compte cette partie (non justifiée pour les mesures en air intérieur et par conséquent pour l'étudier les différences intérieur / extérieur). Par conséquent, dans le paragraphe qui suit, les résultats exploités prennent en compte la part volatile des particules.

#### Les épisodes de pollution (seuils d'information et d'alerte)

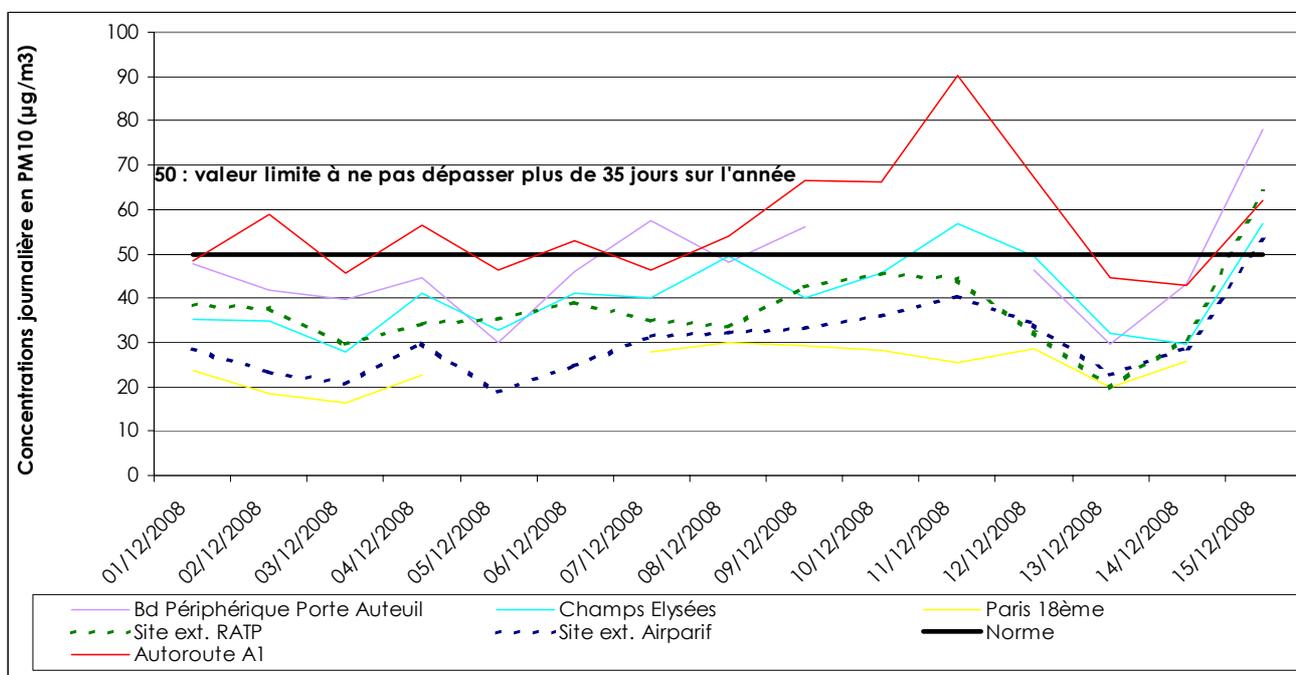
Des seuils journaliers en cas d'épisode de pollution sont définis dans l'arrêté inter-préfectoral du 3 décembre 2007 pour les particules, à savoir 80 µg/m<sup>3</sup> sur 24 heures pour le seuil de recommandation et d'information et 125 µg/m<sup>3</sup> sur 24 heures pour le seuil d'alerte. Ces seuils n'ont pas été atteints pendant la campagne de mesure.

#### Les niveaux journaliers de pollution chronique (seuil journalier)

Un seuil réglementaire français et européen porte sur la concentration moyenne journalière en particules. Aucune norme à l'échelle horaire n'est définie car c'est une exposition durable

(de lors d'une ou de plusieurs journées) qui présente des effets sur la santé. En effet, depuis 2005, le seuil journalier de 50 µg/m<sup>3</sup> (en moyenne journalière) ne doit pas être dépassé plus de 35 jours par an.

La Figure 21 présente les concentrations journalières de particules PM10 enregistrées pendant la campagne de mesure aux deux sites spécifiques extérieurs, dans le centre de Paris (station de Paris XVIII<sup>ème</sup>) et en situation fortement influencée par le trafic routier.



**Figure 21 : Concentrations journalières de particules fines (PM10) corrigées observées lors de la campagne de mesure aux deux sites spécifiques temporaires, dans le centre de Paris en situation de fond (Paris XVIII<sup>ème</sup>) ainsi qu'en proximité du trafic routier aux stations de mesure fixes d'Airparif (Boulevard Périphérique, Avenue des Champs Elysées et Autoroute A1).**

Pendant la campagne de mesure, la valeur limitée journalière de 50 µg/m<sup>3</sup> a été dépassé ponctuellement sur différents sites en proximité du trafic routier (de 2 journées à la station Champs Elysées à 5 jours sur le site de l'Autoroute A1 à Saint-Denis), en situation de fond (1 journée de dépassement à Issy-les-Moulineaux), ainsi qu'une journée (le 15 décembre) aux deux sites temporaires extérieurs.

Le tableau suivant illustre le nombre de dépassement journalier du seuil de 50 µg/m<sup>3</sup> en particules PM10 depuis l'année 2003 sur plusieurs stations fixes du réseau d'Airparif en situation de fond et à proximité du trafic routier.

	2003	2004	2005	2006	2007*	2008*	01/12 – 15/12/2008*
Boulevard Périphérique	107	81	91	93	149	125	3**
Autoroute A1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	220	191	5
Place V. Basch	84	54	62	54	110	77	3
Paris 18 <sup>ème</sup>	18	3	1	5	33	13	0
Paris 1 <sup>er</sup> Les Halles	16	4	1	3	33	13	0
<b>Site extérieur Airparif</b>							<b>1</b>
<b>Site extérieur Ratp</b>							<b>1</b>

\* : Nouvelle méthode de mesure permettant une meilleure prise en compte de la part volatile des particules.

\*\* : pas de résultats lors des journées les plus chargées en particules.

**Tableau 5 : Nombre de dépassements journaliers de 50 µg/m<sup>3</sup> enregistrés sur certaines stations fixes d'Airparif depuis 2007 et pendant la campagne de mesure, ainsi que sur les sites temporaires.**

La valeur limite établie en moyenne journalière est très largement dépassée aux stations fixes à proximité du trafic routier depuis 2003. En 2008, le nombre de dépassements journaliers de 50 µg/m<sup>3</sup> a été franchi 77 jours à 191 selon le site en situation de proximité au trafic routier, alors qu'en fond les dépassements ont concerné 13 journées au maximum.

### **VI.1.3 Cas des particules PM2.5**

Les particules PM2.5 soulèvent un intérêt important pour l'évaluation des risques sanitaires et environnementaux. De ce fait, une nouvelle directive européenne a été adoptée le 21 mai 2007, fixant la valeur cible à 25 µg/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle à partir de 2010. Ce seuil deviendra une valeur limite en 2015. Pour comparaison avec les Etats-Unis, l'E.P.A. (Agence de Protection de l'Environnement américaine) fixe depuis plusieurs années un seuil annuel relatif à ce polluant de 15 µg/m<sup>3</sup> et l'O.M.S. (Organisation Mondiale de la Santé) recommande de ne pas dépasser 10 µg/m<sup>3</sup>.

Toutefois, **les mesures effectuées sur une courte période durant la campagne ne permettent pas de situer les niveaux au regard de ces différents seuils.**

### **VI.2 Résultats des mesures en intérieur**

**Les recommandations concernent uniquement l'avis du conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France et les particules PM10.**

Suite à plusieurs études menées sur les réseaux Ratp et SNCF, le CSHPF a publié en 2001 deux avis relatifs à l'établissement de valeurs guides de la qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines<sup>11</sup>. Il estime que les valeurs fixées pour l'air extérieur ne sont pas directement applicables aux enceintes ferroviaires souterraines dans lesquels le temps passé par un citadin ne représente qu'une fraction de sa journée. Il propose une démarche basée sur la notion d'exposition cumulée des usagers qui pondère les teneurs atmosphériques particulières subies dans les différents environnements fréquentés, par le temps passé dans les environnements au cours d'une journée, pour établir des valeurs de référence.

A partir de plusieurs estimations (temps de déplacement moyen aux heures de pointe du matin et du soir sur le réseau ferré francilien, percentile 90 des stations urbaines et périurbaines franciliennes, estimée à 23 µg/m<sup>3</sup> en 2005), une valeur de référence résultante dans les enceintes préconisées par le CSHPF pour 2005 avait été estimée à 347 pour 2 heures de transport et 671 µg/m<sup>3</sup> dans le cas d'une heure de transport.

Même si depuis 2001, aucune nouvelle recommandation n'a été donnée par le CSHPF sur le sujet et en dépit des changements de mesure des particules intervenus en France depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2007, un calcul similaire pour l'année 2008 permettrait d'ajuster cette valeur en fonction du temps passé dans le métro (percentile 90 pour l'année 2008 sur les stations urbaines et périurbaines égal à 39 µg/m<sup>3</sup>). Pour information, les calculs de CSHPF ont été réalisés pour un temps de séjour dans le réseau souterrain de 2 heures. Les statistiques de la Ratp pour l'année 2007 estiment ce temps à 50 minutes.

---

<sup>11</sup> Avis du 5 avril 2001 et 3 mai 2001.

Temps dans le réseau souterrain (en heure)	1h	1h30	2h
Valeur guide associée année 2008 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	303	215	171
Nombre d'heure de dépassement pendant la campagne de mesure	0 heure	1 heure (15/12/08 à 4h) : 249 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ site Airparif et 233 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ site Ratp	1 heure (15/12/08 à 4h) : 249 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ site Airparif et 233 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ site Ratp 1 heure (08/12/08 à 9h) : 194 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ site Airparif

**Tableau 6 : Valeur guide estimée pour l'année 2008 en fonction du temps passé dans le réseau souterrain et dépassement constaté pour chaque valeur pendant la campagne de mesure.**

Les niveaux maxima enregistrés supérieurs à ces valeurs sont très limités : une mesure supérieure à 215  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  sur les deux sites a été enregistrée le 15 décembre, mais à 4h (T.U.) du matin, lorsque les accès au métro sont tout juste ouverts au public, ce qui ne correspond pas à une heure de pointe (certainement due à des travaux ou au passage d'un train d'entretien).

Une autre mesure, le 8 décembre à 9 h (T.U.), présente un niveau en PM10 à 194  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  sur un quai (mais avec 144  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  sur le quai d'en face), ce qui est supérieur à la valeur de référence pour 2 h mais inférieure à la valeur pour un temps de temps dans les enceintes souterraines d'1 h.

En conclusion, si on considère le temps moyen de déplacement d'un francilien sur le réseau Ratp (1h), **la valeur guide (estimée selon les méthodes de calculs du CSHPF) recalculée pour l'année 2008 n'a pas été dépassé à la station Faidherbe - Chaligny pendant la campagne de mesure.**

## Conclusion

Dans le cadre de la convention signée pour une durée de 3 ans entre le Ratp et Airparif, une première campagne de mesure conjointe a été réalisée à la station de métro Faidherbe – Chaligny. L'objectif de cette campagne était de documenter les transferts air extérieur / air intérieur. Des mesures automatiques en NOx, particules PM10 et particules fines PM2.5 ont été mises en place par chacun des organismes, sur les deux quais de métro de la station, mais également à l'extérieur (bouche d'entrée et de sortie de la station pour le site d'Airparif, à proximité immédiate de la bouche de ventilation pour le site de mesure extérieur de la Ratp). Les mesures ont eu lieu du 1<sup>er</sup> au 15 décembre 2008. Les conditions météorologiques enregistrées pendant cette quinzaine ont été plutôt favorables à une bonne dispersion de la qualité de l'air.

D'une manière générale, les relevés horaires intérieurs et extérieurs montrent une façon de mesurer entre les deux organismes comparables, avec des variations temporelles identiques entre les sites d'Airparif et de la Ratp. Les écarts entre les mesures restent inférieurs à 10 %. Les niveaux obtenus sont conformes à ceux attendus à la fois en air extérieur et en air intérieur.

**En intérieur**, les mesures en NOx à la station Faidherbe – Chaligny sont différentes selon le quai de métro considéré, ce qui peut s'expliquer soit par des analyseurs de mesure différents, soit par une aération différente selon le quai. Par contre, les relevés horaires en PM10 sont considérés comme équivalents, en moyenne comme en variabilité.

Les résultats de cette station de métro, en NOx et en PM10, sont inférieurs à ceux de la station permanentes de Châtelet, eux-mêmes inférieurs à ceux de la station d'Auber. Des pics nocturnes en NOx et PM10 sont enregistrés sur ces stations permanentes, dus à des travaux ou au passage de véhicules d'entretien. Enfin, les relevés en particules fines, non significativement homogènes à l'intérieur de la station de métro, sont toutefois comparables (site d'Airparif) aux mesures extérieures du boulevard Périphérique.

**A l'extérieur**, les mesures sur la Place du docteur Béchère sont intermédiaires entre les niveaux relevés en situation de fond dans Paris et les concentrations relevées aux stations de proximité au trafic routier, celui aussi bien pour les NOx que pour les particules.

La comparaison des deux sites temporaires montre la spécificité du site instrumenté par la Ratp. Les niveaux en NOx y sont plus élevés du fait de la proximité aux axes de circulation avoisinants et soumis directement à l'influence des feux tricolores à proximité. De plus, les concentrations en particules PM10 y sont plus fortes à cause de la présence de la grille de ventilation de l'air en provenant du réseau souterrain, chargé en particules. Une homogénéité des niveaux en particules fines PM2.5 est par contre observée, avec des niveaux moyens et une dispersion des relevés horaires statistiquement identique entre les deux emplacements temporaires.

L'évolution temporelle des niveaux en NO et NO<sub>2</sub> en intérieur et en extérieur montre que les oxydes d'azote à l'intérieur proviennent de l'air extérieur. Ce point est également confirmé par l'absence de source intérieure d'oxydes d'azote autre que les travaux de maintenance qui ont lieu la nuit. A l'inverse, les niveaux mesurés en particules aux deux sites en extérieur montrent un **transfert** de l'intérieur de la station de métro vers l'extérieur par les bouches d'extraction d'air. Si les particules de l'air extérieur pénètrent également dans l'enceinte de la station, au même titre que le dioxyde d'azote, cet aspect ne peut être mis en évidence, compte-tenu des sources intérieures générant des niveaux de particules plus élevés.

Les ratios PM2.5/PM10 confirment les précédents résultats, à savoir un rapport stable en intérieur sur les quais, un site extérieur (Airparif) caractéristique des mesures à proximité du trafic routier, et une spécificité du site extérieur Ratp due à la présence de la grille d'aération.

En terme de **positionnement des niveaux observés pendant cette campagne vis-à-vis des normes de la qualité de l'air**, la situation est plutôt positive pour ce site. Aucun dépassement des normes extérieures à l'échelle horaire pour le NO<sub>2</sub> (valeur limite et seuil d'information et de recommandations) et journaliers pour les PM10 (seuil d'information et à priori respect de la valeur limite annuelle en 2008) n'a pas été atteint. En intérieur, les normes concernent les particules PM10. La valeur guide recalculée pour l'année 2008 estimée selon les méthodes de calculs du CSHPF dans les enceintes du métro parisien n'a pas été dépassé à la station Faidherbe - Chaligny pendant la campagne de mesure en considérant un temps de trajet moyen sur le réseau souterrain de 1 heure dans la journée.

De mesures communes de pollution seront reconduites dans les enceintes souterraines en 2009 dans le cadre de la collaboration entre Airparif et la RATP.

# ANNEXES

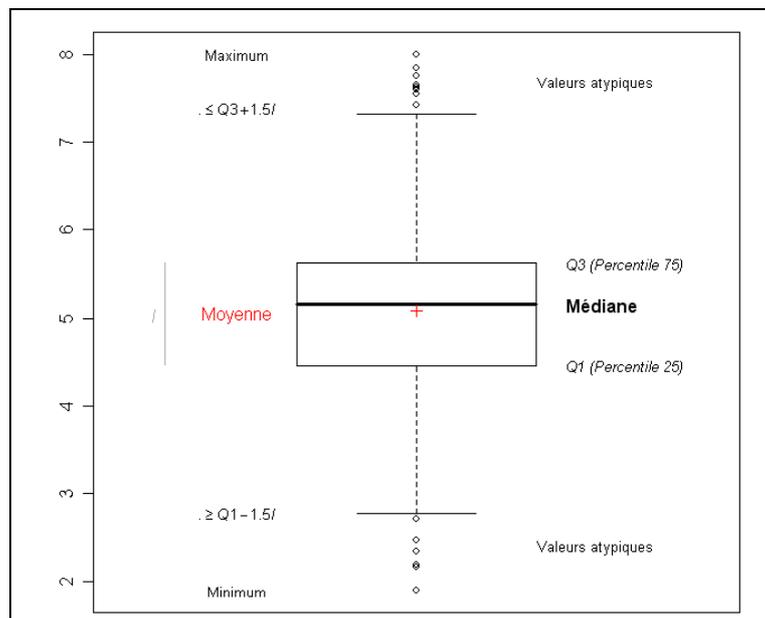
<b>Annexe 1 :</b>	<b>51</b>
<b>boîte à moustache</b>	<b>51</b>
<b>Annexe 2 :</b>	<b>52</b>
<b>Profils journaliers et hebdomadaires des concentrations mesurées pendant la campagne de mesure sur les deux sites temporaires airparif et Ratp, ainsi que sur des stations fixes des réseaux permanents des deux organismes, celui pour le NO, NO<sub>2</sub>, PM10 et PM2.5.</b>	<b>52</b>
<b>Annexe 3 :</b>	<b>60</b>
<b>Profils journaliers des concentrations mesurées sur certaines stations permanentes du réseau d'airparif en NO<sub>2</sub>, PM10 et PM2.5 pour l'année 2006 et/ou 2007.</b>	<b>60</b>
<b>Annexe 4 :</b>	<b>62</b>
<b>Objectifs de qualité, valeurs limites et seuils d'information et d'alerte nationaux</b>	<b>62</b>
<b>Annexe 5 :</b>	<b>65</b>
<b>TESTS STATISTIQUES</b>	<b>65</b>

## ANNEXE 1 :

### BOITE A MOUSTACHE

#### Définition statistique d'une « boîte à moustache » (box plot)

Une boîte à moustache (ou box plot) est un graphique représentant la répartition d'une série statistique. Pour ce faire, l'échantillon est séparé en 4 parties de même effectif, appelées quartiles. Un quartile est donc constitué de 25 % des données de l'ensemble de l'échantillon. Le deuxième quartile (percentile 50) est appelé plus couramment la médiane.



La partie centrale correspondant à une « boîte » représente 50 % des données. Ces données se situent entre les 1<sup>er</sup> et 3<sup>ème</sup> quartiles. La différence entre les deux est appelée l'écart inter quartiles.

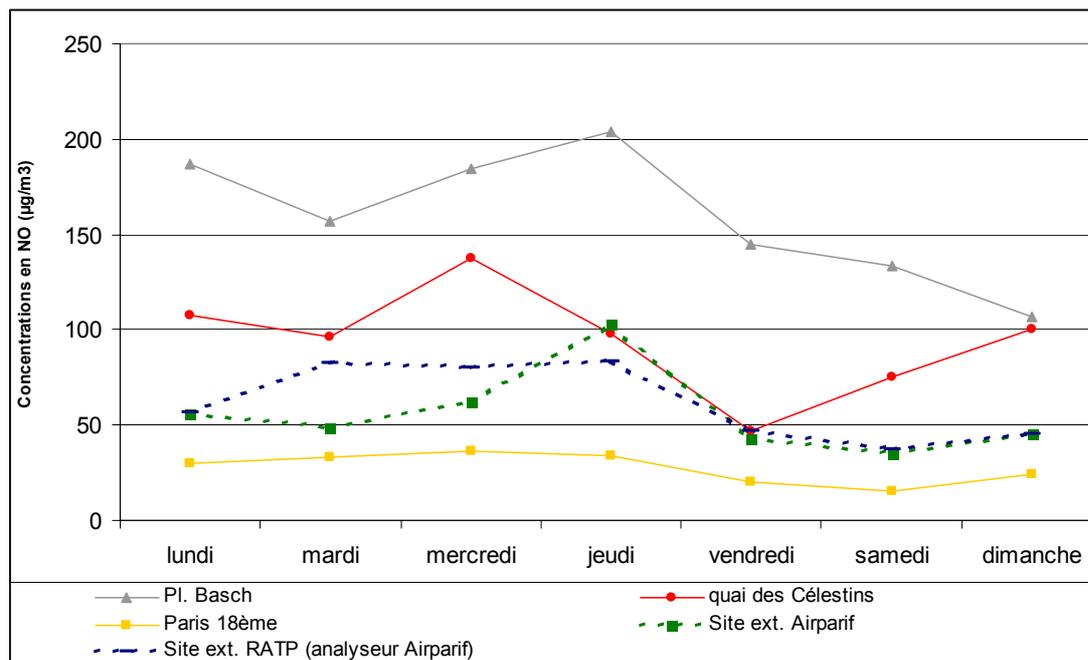
Les moustaches réparties de chaque côté de la boîte représentent généralement près de 25 % des données, mais n'excèdent pas en terme de longueur,  $1.5 \cdot I$  ( $I$  étant l'écart interquartile, c'est-à-dire la longueur de la boîte), ce qui peut amener la présence de points atypiques en dehors des moustaches. La fin de la moustache supérieure correspond donc soit à la valeur  $3Q+1.5I$  (3<sup>ème</sup> quartile + une fois et demi l'intervalle inter quartile), soit au maximum de l'échantillon s'il est plus faible que cette valeur.

La fin des moustaches est très proche des centiles 1 et 99, lorsque la distribution de l'échantillon est gaussienne (suit une loi Normale).

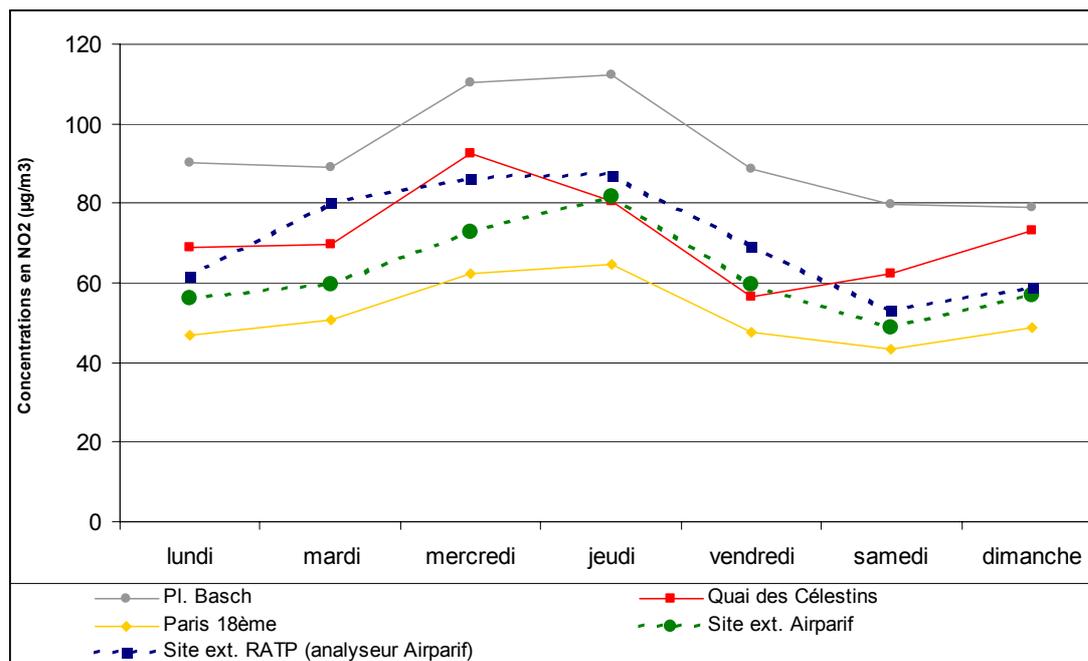
## ANNEXE 2 :

### PROFILS JOURNALIERS ET HEBDOMADAIRES DES CONCENTRATIONS MESUREES PENDANT LA CAMPAGNE DE MESURE SUR LES DEUX SITES TEMPORAIRES AIRPARIF ET RATP, AINSI QUE SUR DES STATIONS FIXES DES RESEAUX PERMANENTS DES DEUX ORGANISMES, CELUI POUR LE NO, NO<sub>2</sub>, PM10 ET PM2.5.

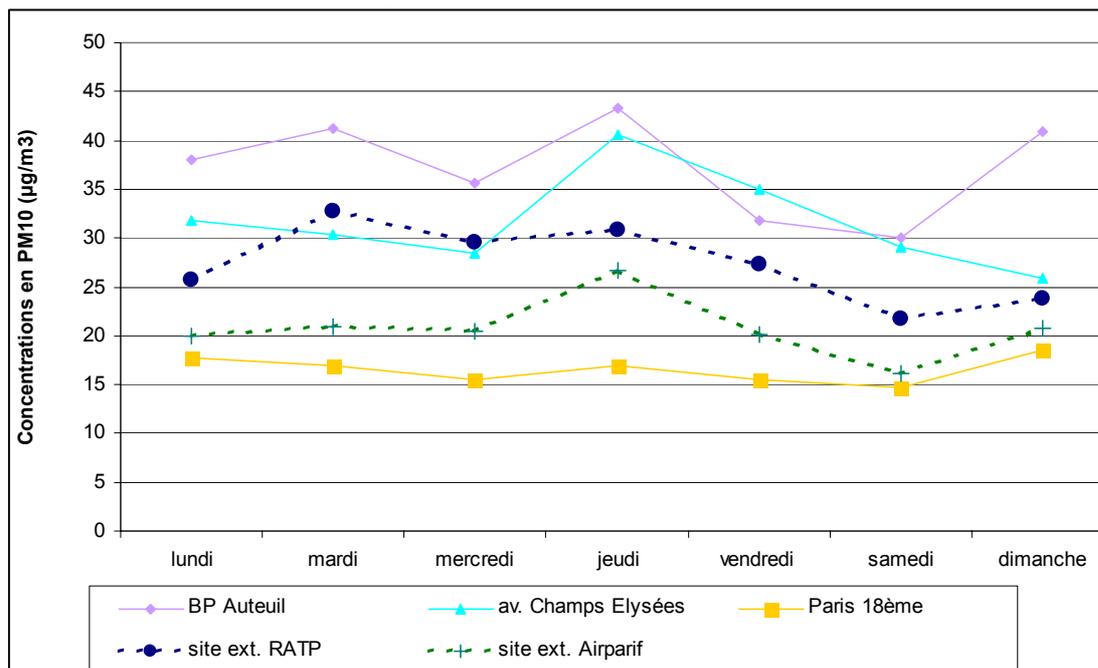
Profil hebdomadaire en NO, données en air extérieur



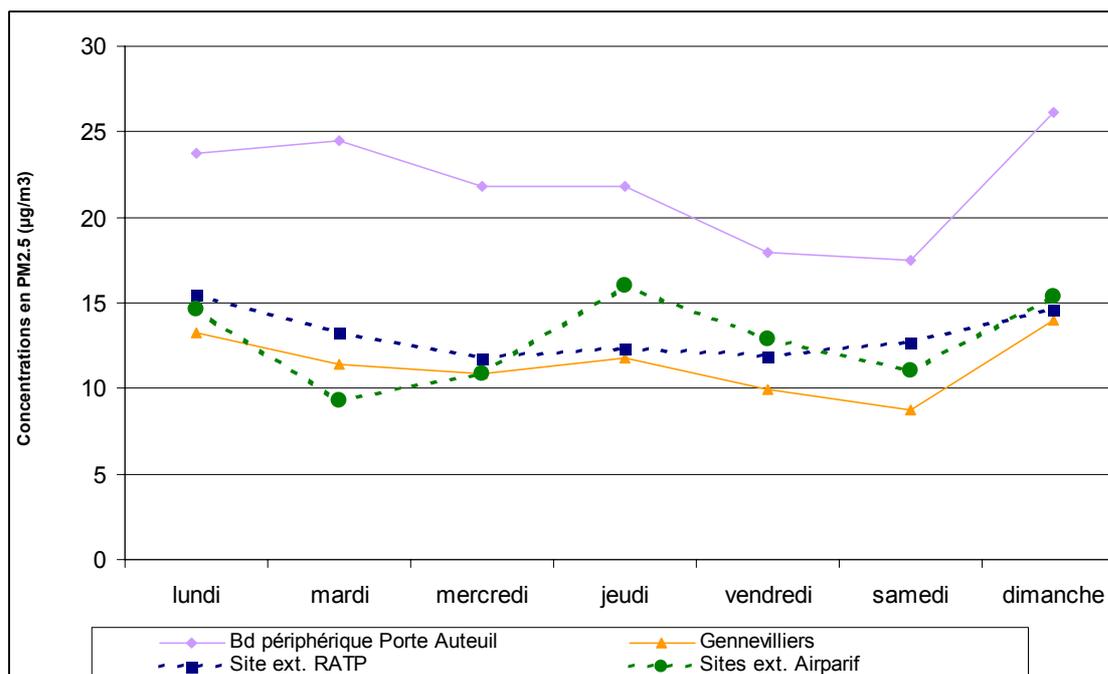
Profil hebdomadaire en NO<sub>2</sub>, données en air extérieur



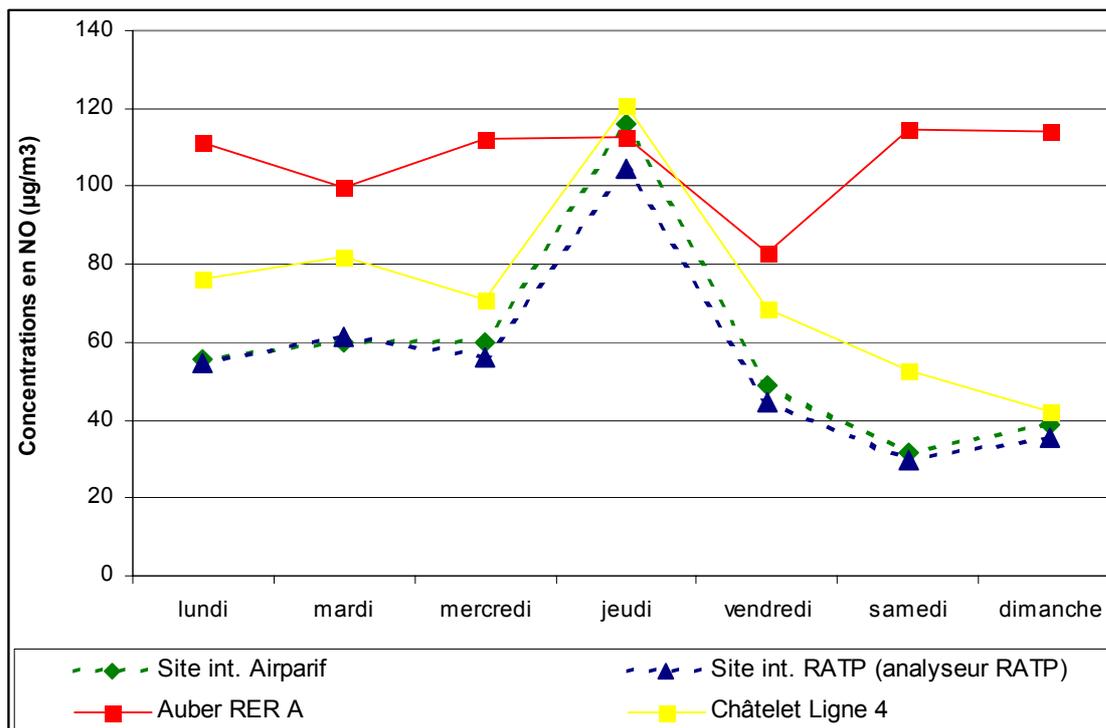
Profil hebdomadaire en PM10, données en air extérieur



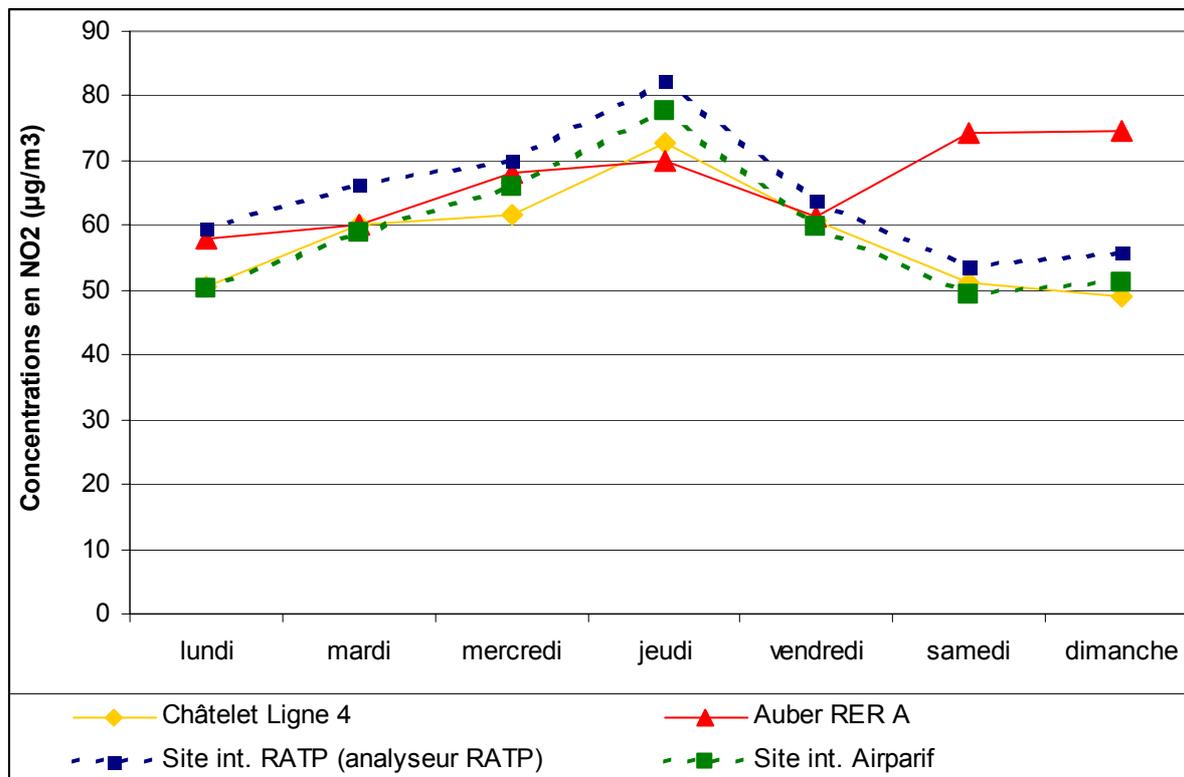
Profil hebdomadaire en PM2.5, données en air extérieur



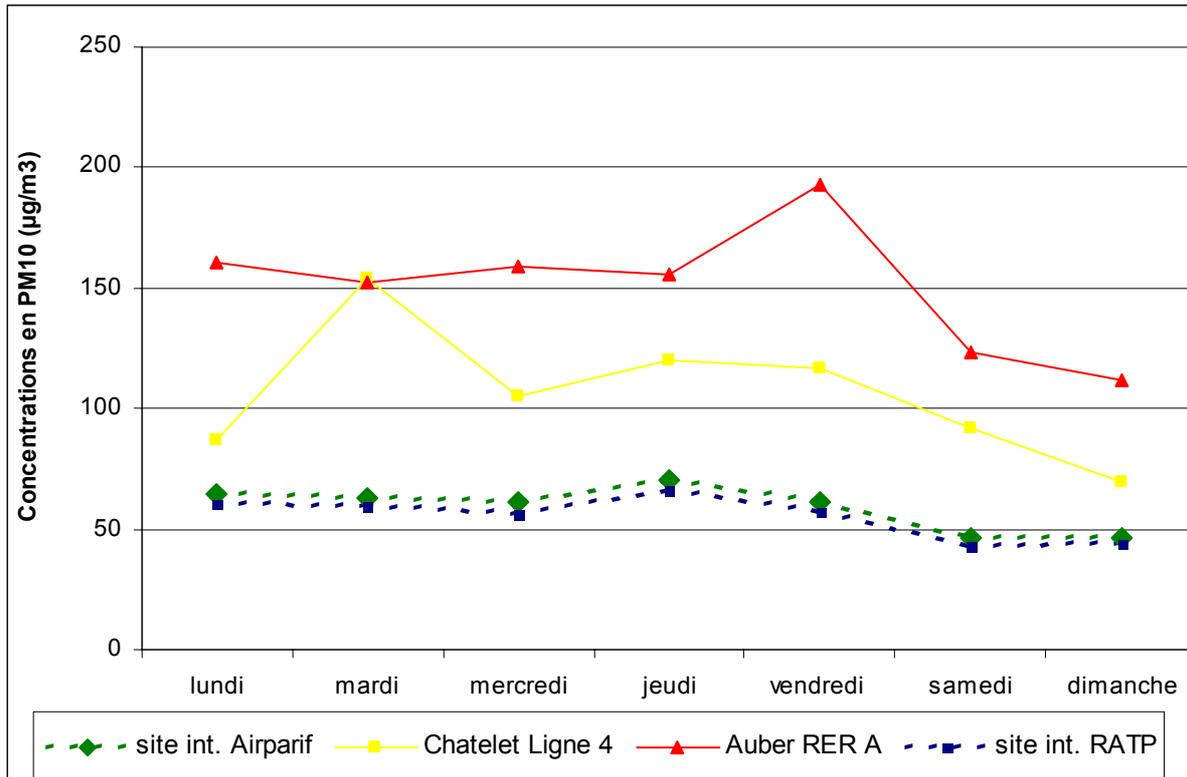
Profil hebdomadaire en NO, données en air intérieur



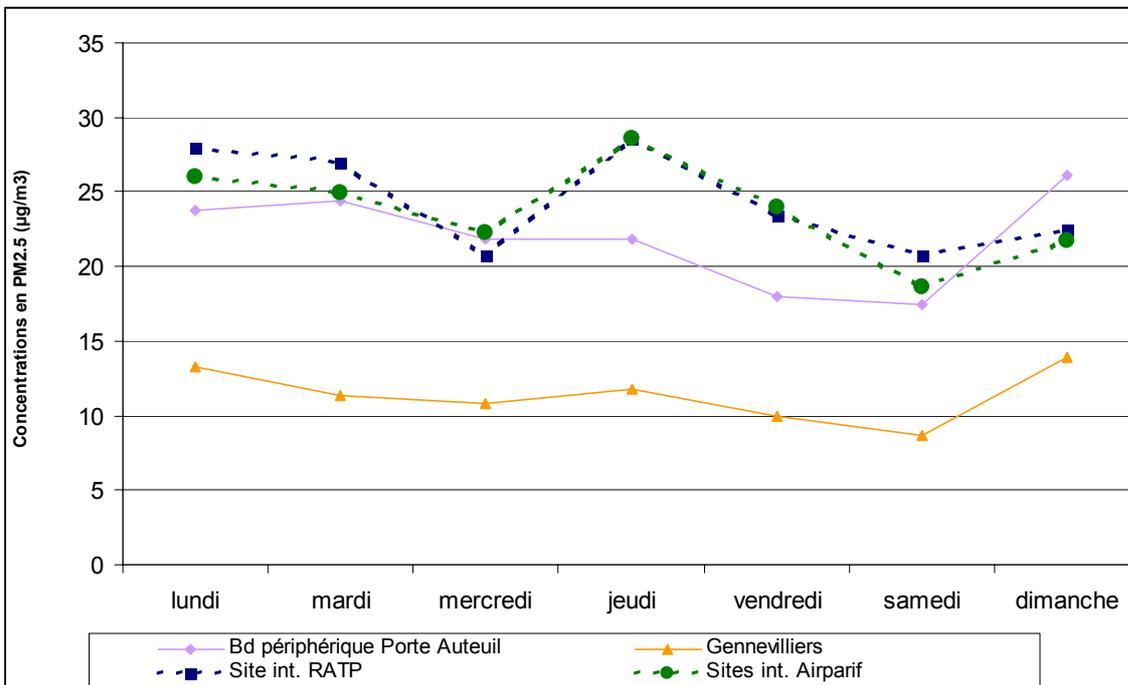
Profil hebdomadaire en NO<sub>2</sub>, données en air intérieur



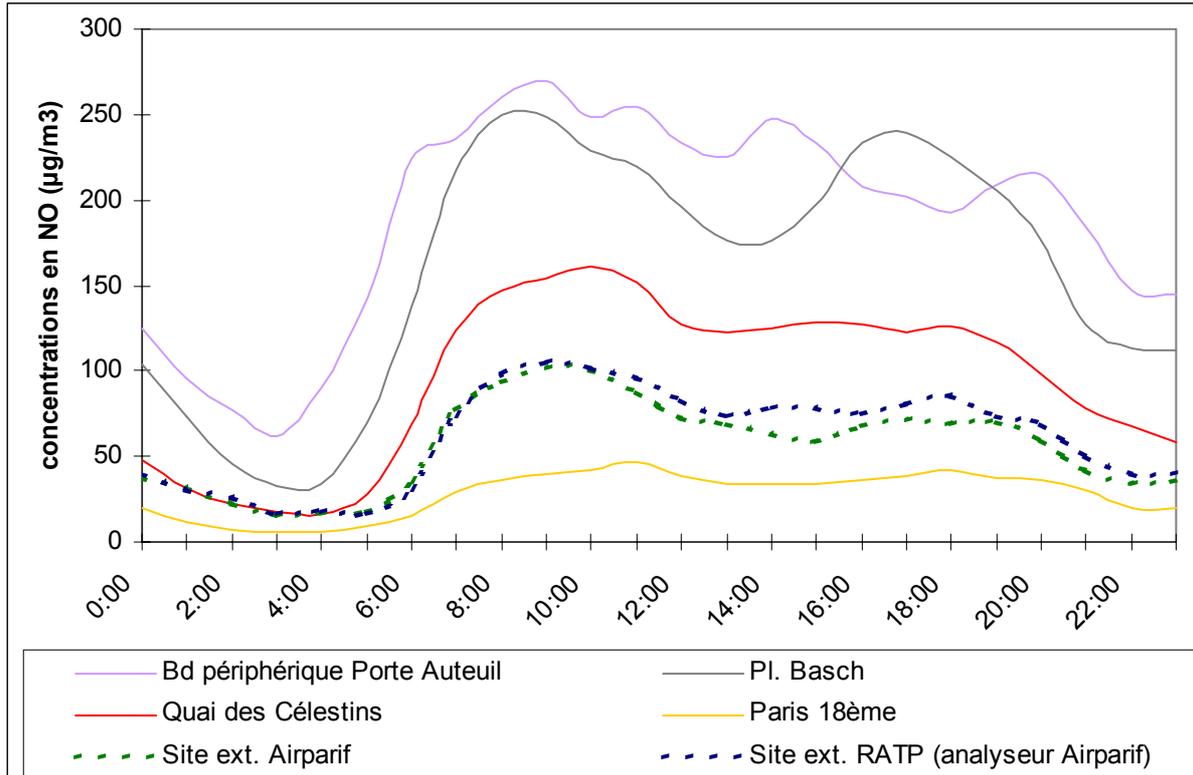
Profil hebdomadaire en PM10, données en air intérieur



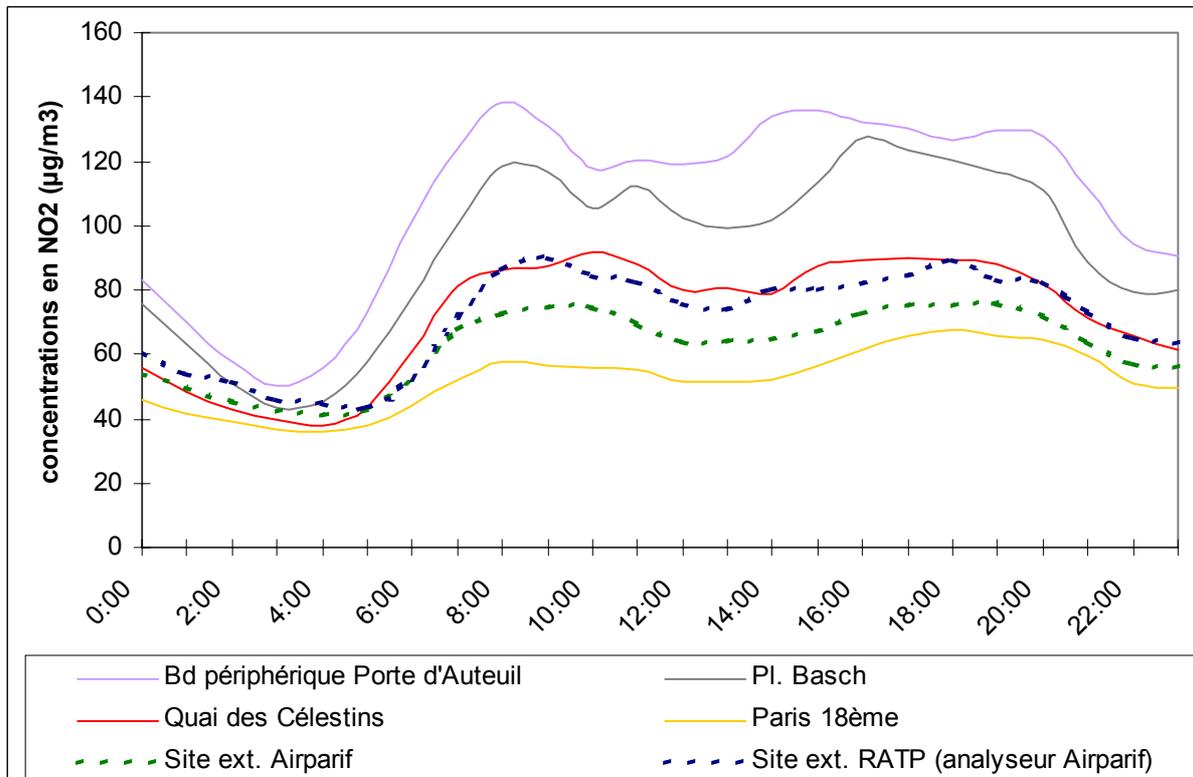
Profil hebdomadaire en PM2.5, données en air intérieur



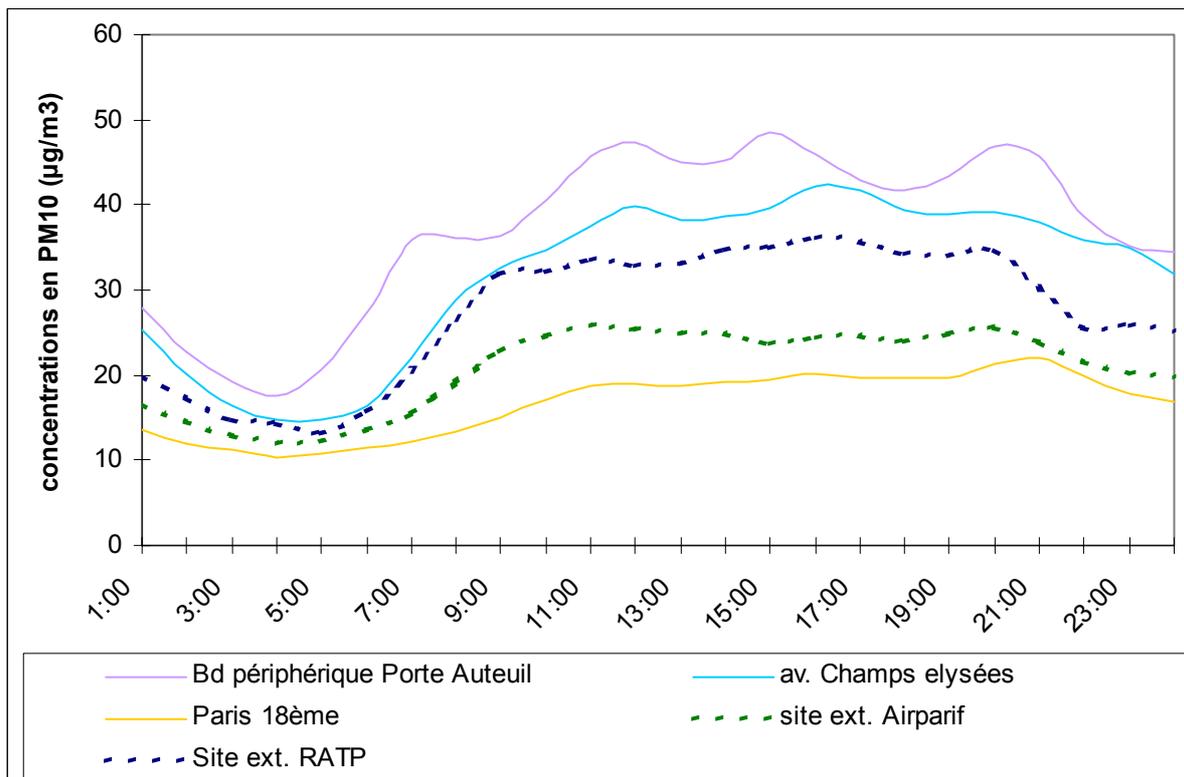
Profil journalier en NO, données en air extérieur



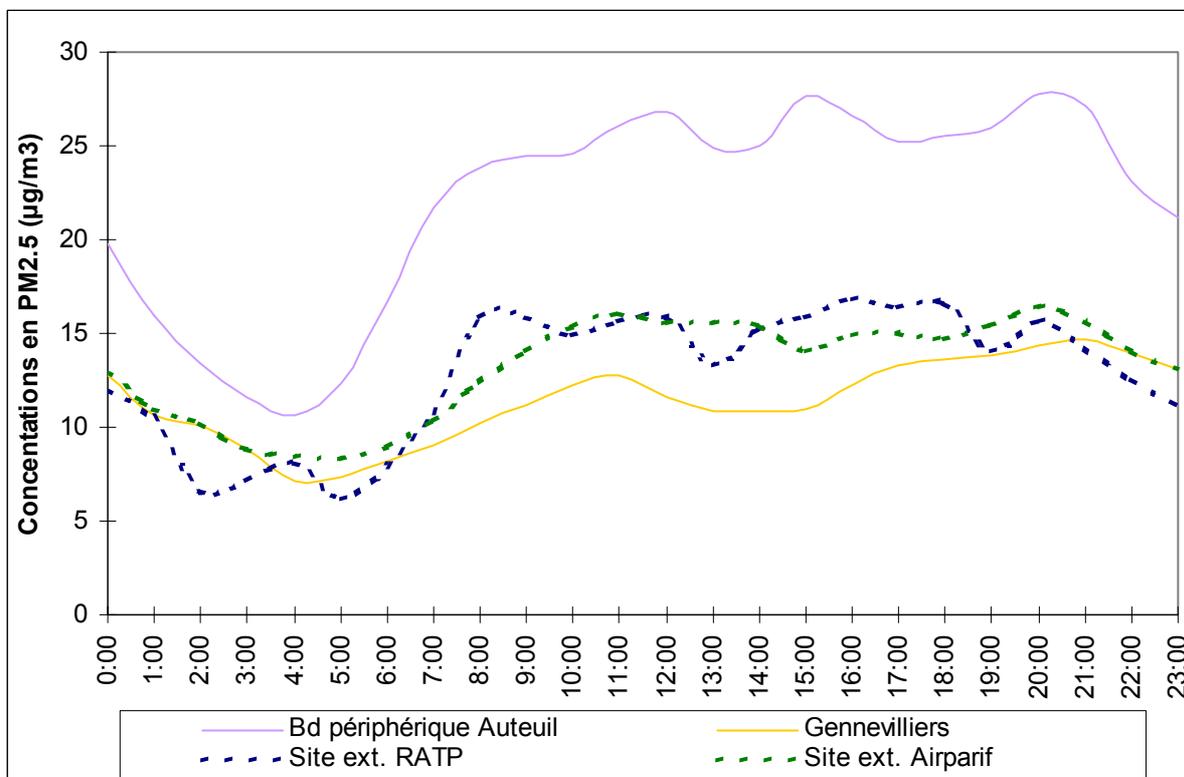
Profil journalier en NO<sub>2</sub>, données en air extérieur



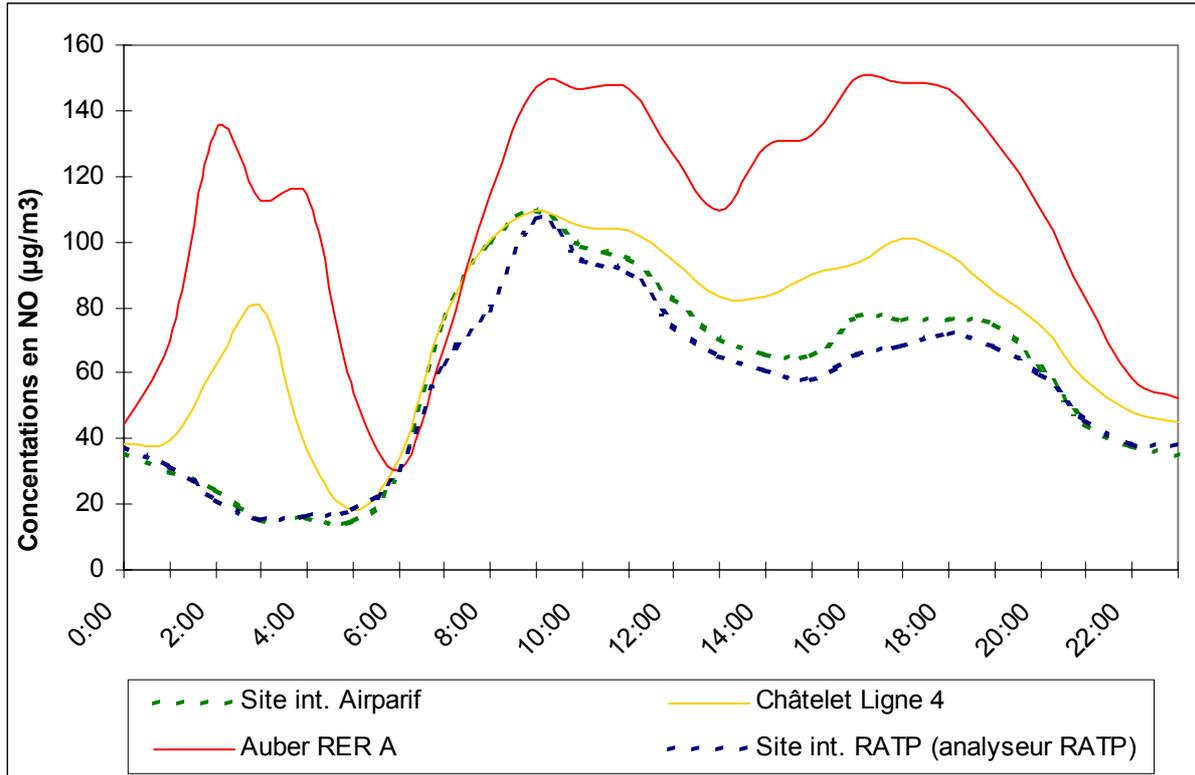
Profil journalier en PM10, données en air extérieur



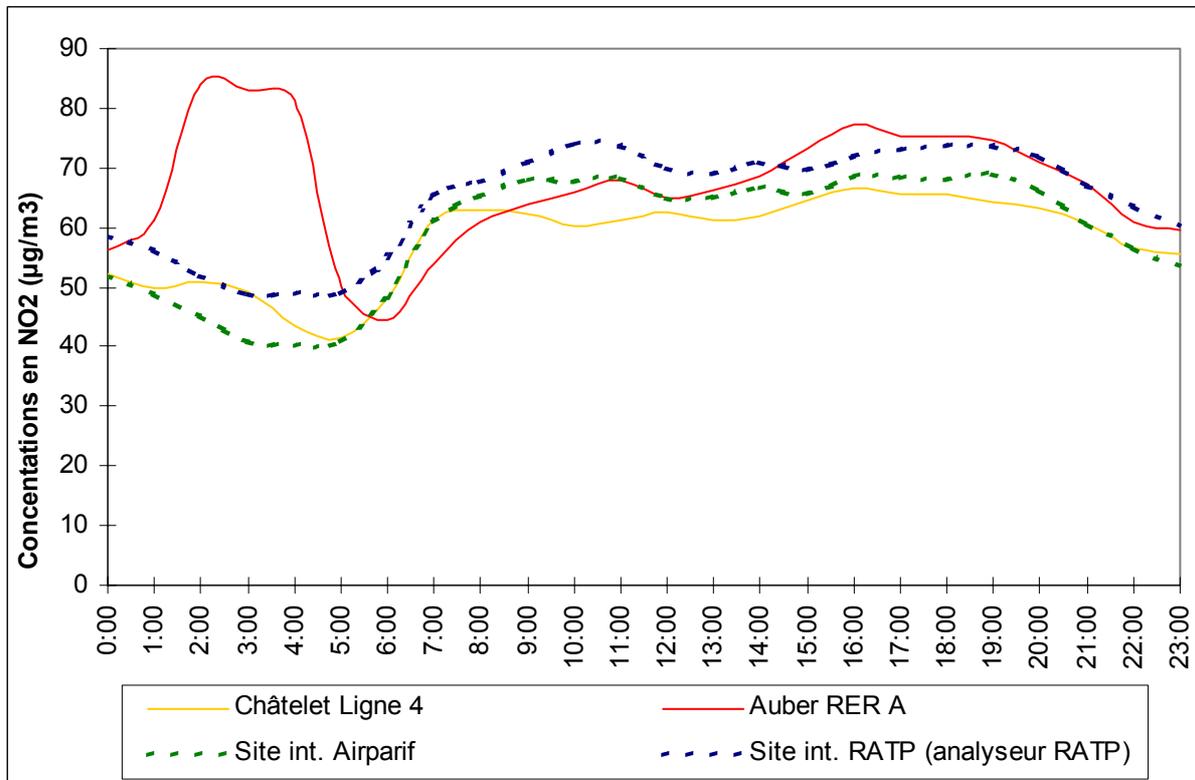
Profil journalier en PM2.5, données en air extérieur



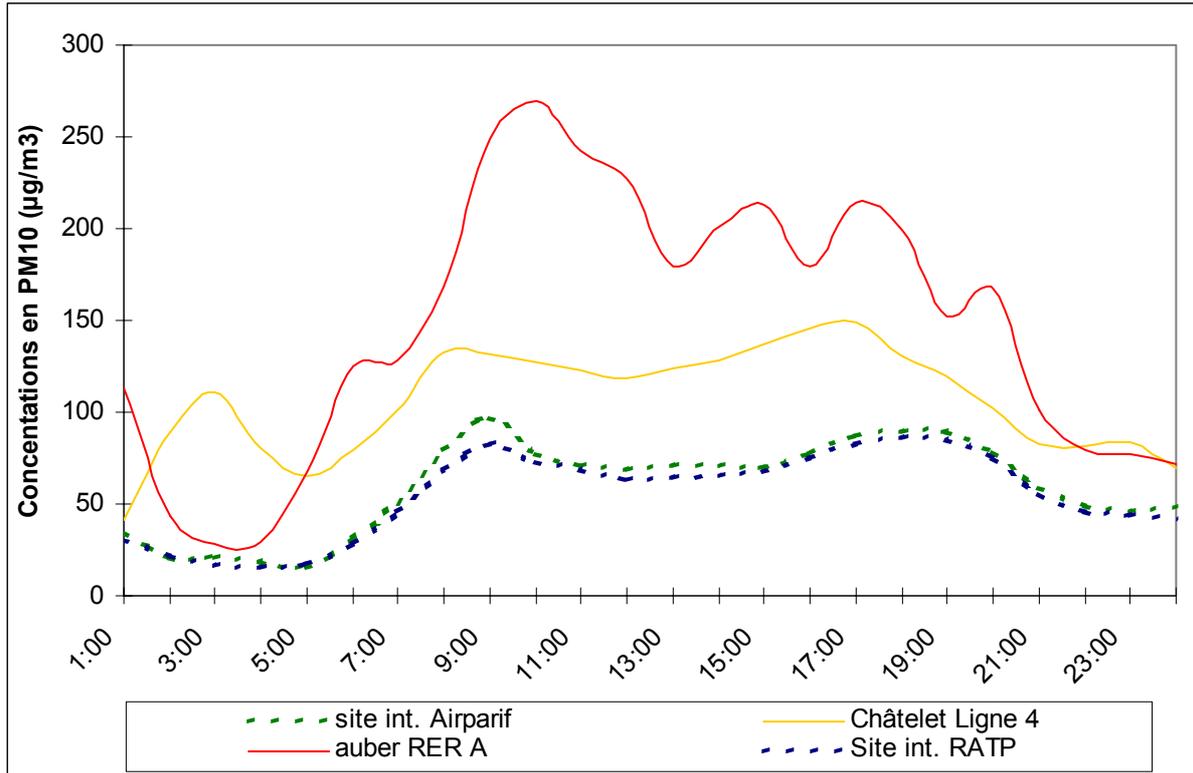
Profil journalier en NO, données en air intérieur



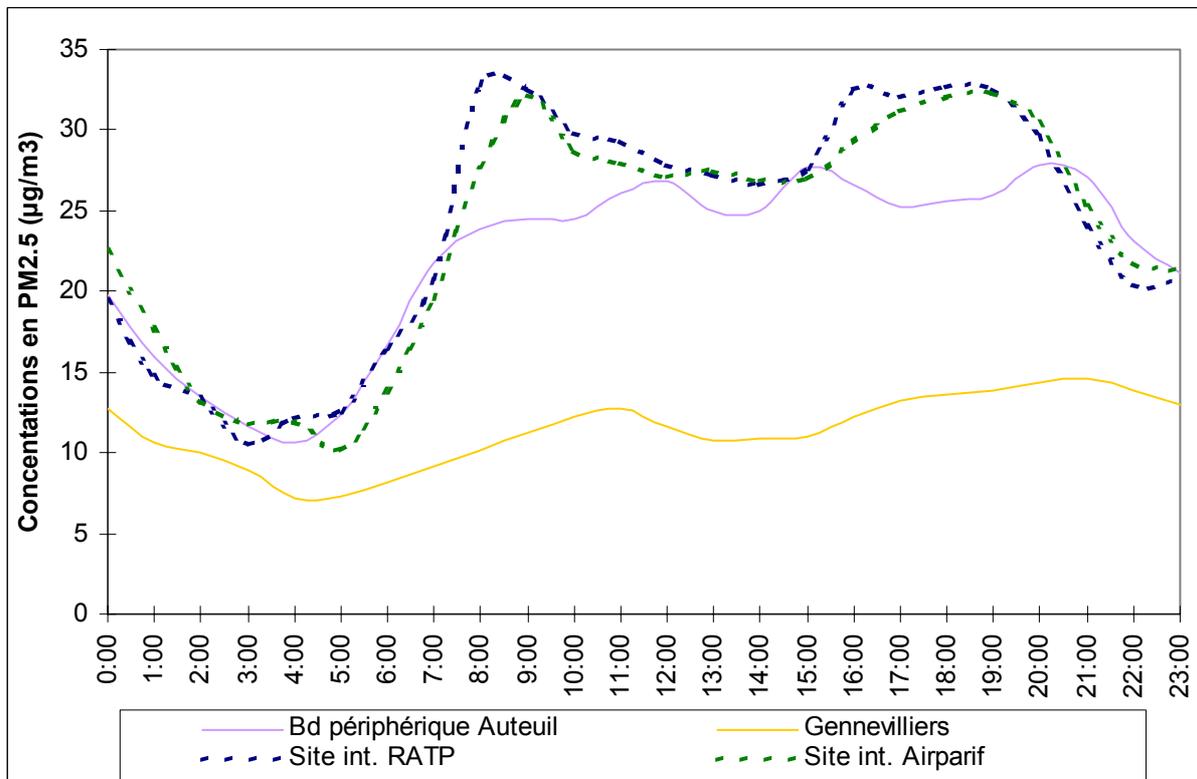
Profil journalier en NO<sub>2</sub>, données en air intérieur



Profil journalier en PM10, données en air intérieur



Profil journalier en PM2.5, données en air intérieur

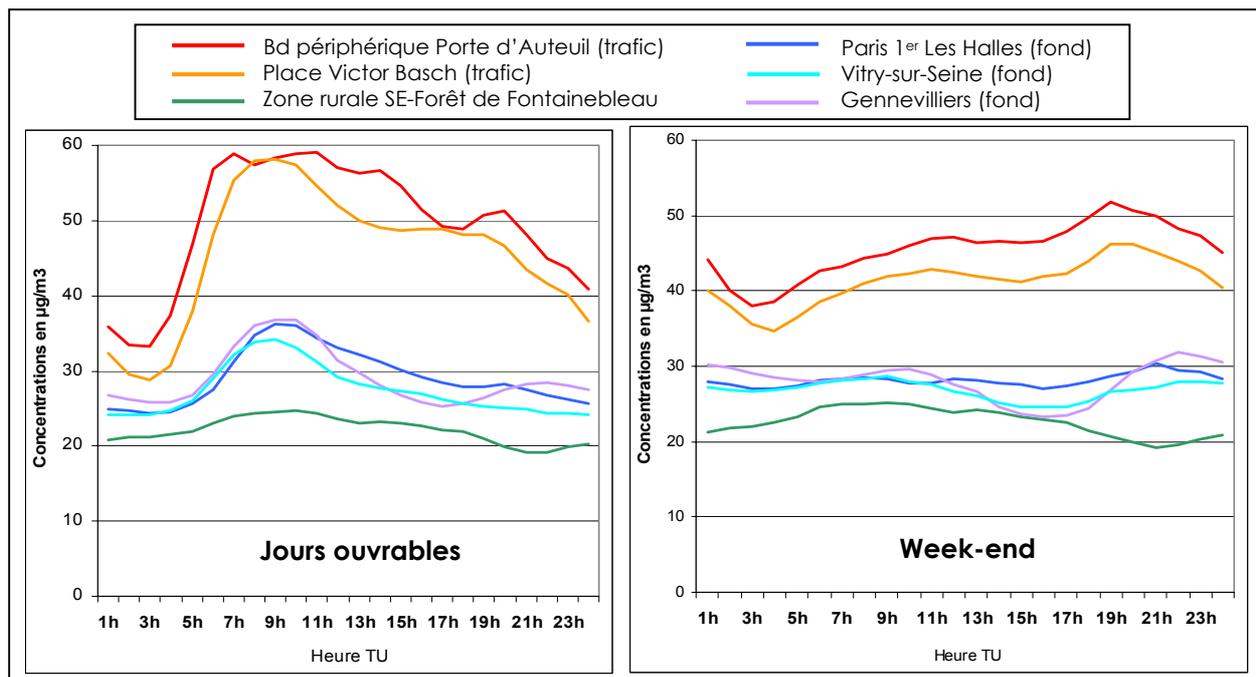


## ANNEXE 3 :

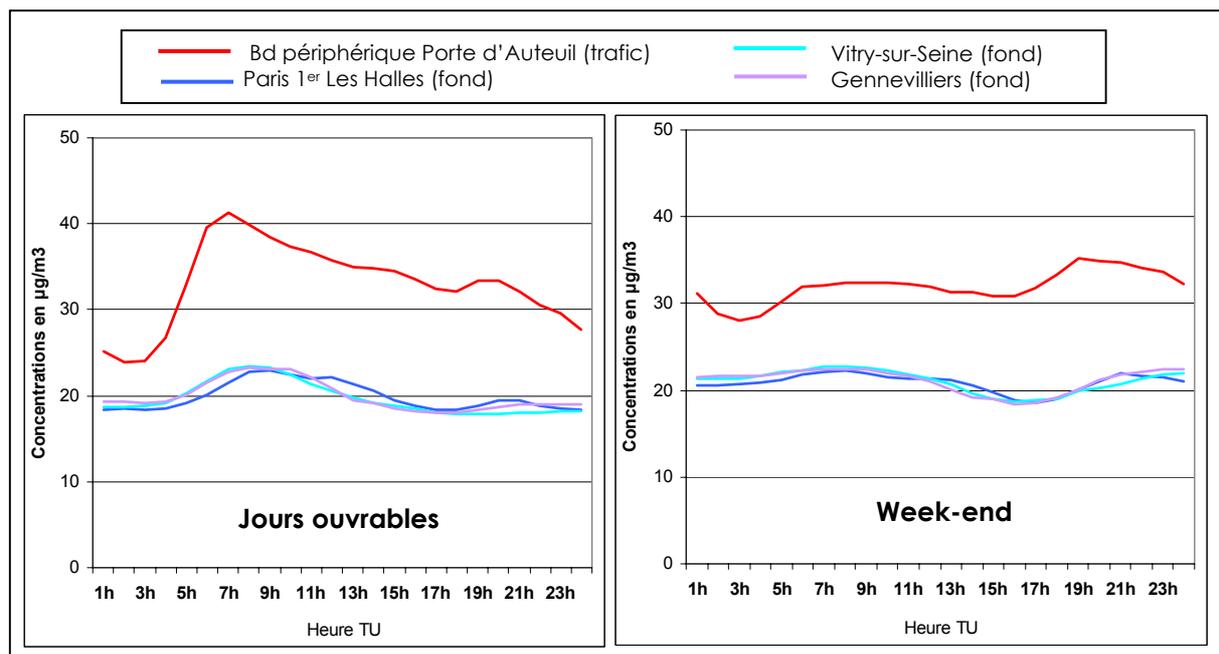
### PROFILS JOURNALIERS DES CONCENTRATIONS MESUREES SUR CERTAINES STATIONS PERMANENTES DU RESEAU D'AIRPARIF EN NO<sub>2</sub>, PM10 ET PM2.5 POUR L'ANNEE 2006 ET/OU 2007.

Profils journaliers des concentrations horaires de PM10 et PM2.5 en jours ouvrables et le week-end, calculés à partir des données ajustées (mesures TEOM corrigés par FDMS) en 2006 et 2007.

#### Particules PM10

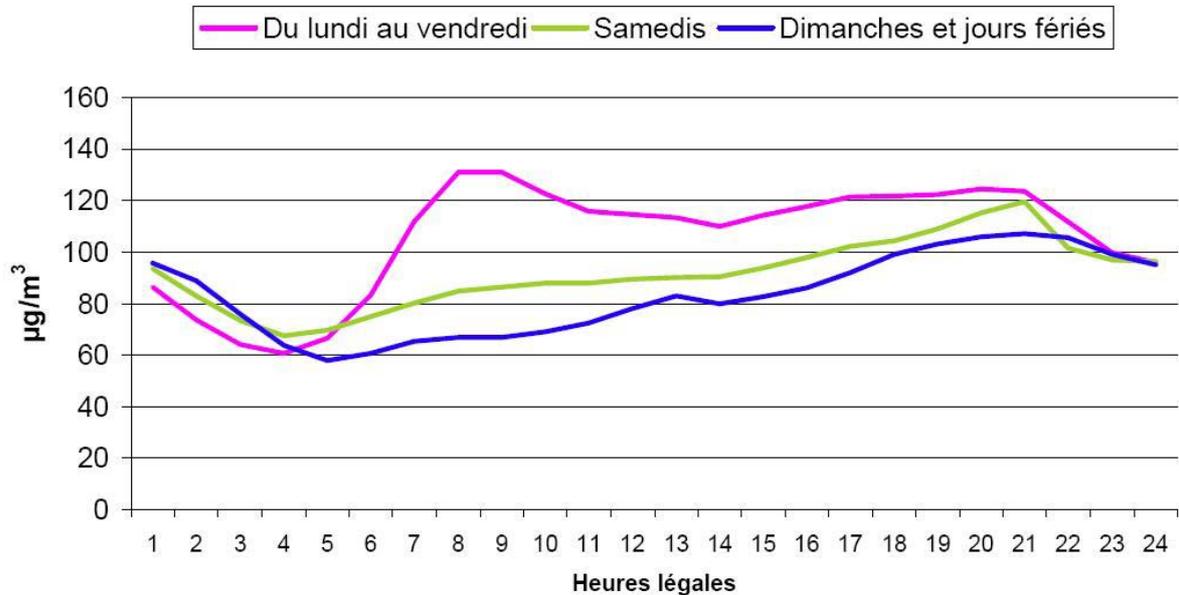


#### Particules PM2.5

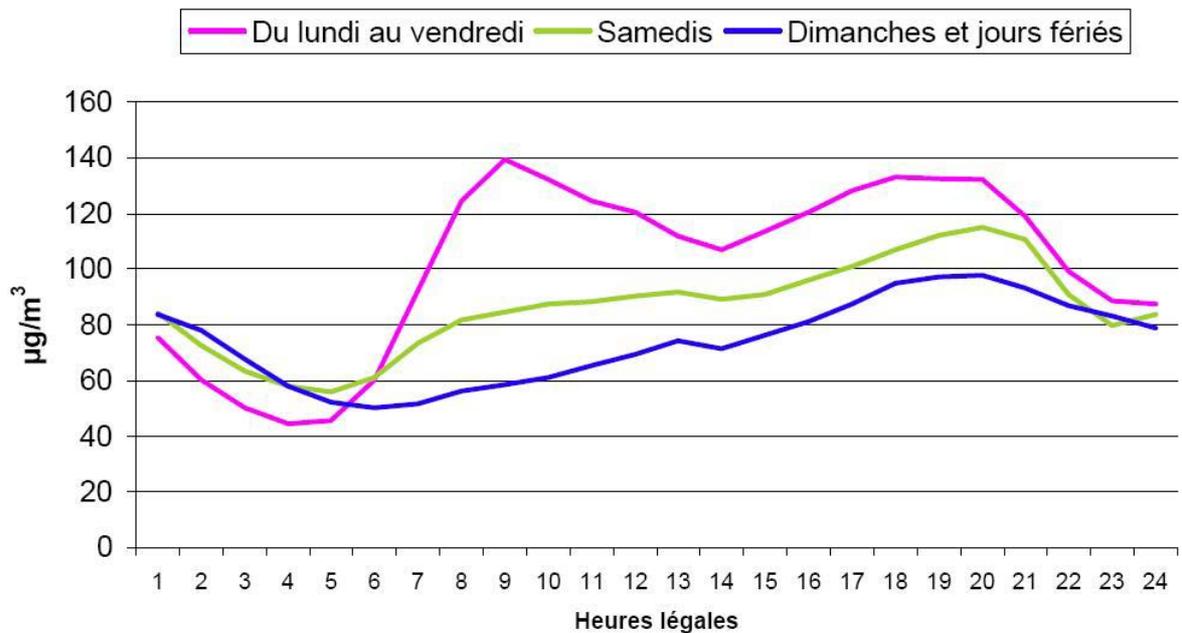


Profils journaliers des concentrations horaires de NO<sub>2</sub> en jours ouvrables et le week-end en 2006 sur deux stations permanentes de proximité automobile.

**PROFIL JOURNALIER MOYEN EN DIOXYDE D'AZOTE (NO<sub>2</sub>)  
SUR LA STATION TRAFIC DU BOULEVARD PERIPHERIQUE -  
AUTEUIL  
POUR L'ANNEE 2006**



**PROFIL JOURNALIER MOYEN EN DIOXYDE D'AZOTE (NO<sub>2</sub>)  
SUR LA STATION TRAFIC DE LA PLACE VICTOR BASCH  
POUR L'ANNEE 2006**



## ANNEXE 4 :

### OBJECTIFS DE QUALITE, VALEURS LIMITES ET SEUILS D'INFORMATION ET D'ALERTE NATIONAUX

**Décret n° 2002-213** du 15 février 2002 portant transposition des directives n° 1999/30/CE du Conseil du 22 avril 1999 et n° 2000/69/CE du Parlement européen et du Conseil du 16 novembre 2000 et modifiant le décret n°98-360 du 6 mai 1998 relatif à la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et sur l'environnement, aux objectifs de qualité de l'air, aux seuils d'alerte et aux valeurs limites.

**Décret n°2003-1085** du 12 novembre 2003 portant transposition de la directive 2002/3/CE du Parlement européen et du Conseil du 12 février 2002 et modifiant le décret n° 98-360 du 6 mai 1998 relatif à la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et sur l'environnement, aux objectifs de qualité de l'air, aux seuils d'alerte et aux valeurs limites.

**Circulaire du 12 octobre 2007** relatif à l'information du public sur les particules en suspension dans l'air ambiant.

#### Dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>)

	Période de référence	Valeur
<b><u>Objectif de qualité</u></b>		
<b>Moyenne annuelle</b>	Année civile	40 µg/m <sup>3</sup>
<b><u>Valeurs limites</u></b>		
<b>Protection de la santé humaine</b>		
<b>Percentile 98 des concentrations horaires</b>	Année civile	2001-2009 : 200 µg/m <sup>3</sup>
<b>Percentile 99,8 des concentrations horaires</b>	Année civile	2003 : 270 µg/m <sup>3</sup> 2004 : 260 µg/m <sup>3</sup> 2005 : 250 µg/m <sup>3</sup> 2006 : 240 µg/m <sup>3</sup> 2007 : 230 µg/m <sup>3</sup> 2008 : 220 µg/m <sup>3</sup> 2009 : 210 µg/m <sup>3</sup> 2010 : 200 µg/m <sup>3</sup>
<b>Moyenne annuelle</b>	Année civile	2003 : 54 µg/m <sup>3</sup> 2004 : 52 µg/m <sup>3</sup> 2005 : 50 µg/m <sup>3</sup> 2006 : 48 µg/m <sup>3</sup> 2007 : 46 µg/m <sup>3</sup> 2008 : 44 µg/m <sup>3</sup> 2009 : 42 µg/m <sup>3</sup> 2010 : 40 µg/m <sup>3</sup>
<b><u>Seuil de recommandation et d'information</u></b>	1 heure	200 µg/m <sup>3</sup>
<b><u>Seuil d'alerte</u></b>	1 heure	. 400 µg/m <sup>3</sup> . 200 µg/m <sup>3</sup> le jour J si le seuil d'information a été déclenché à J-1 et risque de l'être à J+1

## Particules (PM10)

	Période de référence	Valeur
<b>Objectif de qualité</b>		
<b>Moyenne annuelle</b>	Année civile	30 µg/m <sup>3</sup>
<b>Valeurs limites</b>		
<b>Protection de la santé humaine</b> <b>Percentile 90,4 des concentrations journalières</b>	Année civile	2003 : 60 µg/m <sup>3</sup> 2004 : 55 µg/m <sup>3</sup> 2005 : 50 µg/m <sup>3</sup>
<b>Moyenne annuelle</b>	Année civile	2003 : 43 µg/m <sup>3</sup> 2004 : 41 µg/m <sup>3</sup> 2005 : 40 µg/m <sup>3</sup>
<b>Seuil de recommandation et d'information</b>	24 heures	80 µg/m <sup>3</sup>
<b>Seuil d'alerte</b>	24 heures	125 µg/m <sup>3</sup>

## Directives européennes

Oxydes d'azote (NOx), particules, plomb du 22 avril 1999 : parue au Journal Officiel des Communautés européennes du 29 juin 1999, entrée en vigueur le 19 juillet 1999.

## Dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>)

### A - Valeurs limites

	Période	Valeur	Nombre de dépassements autorisés	Marge de dépassement	Date où la valeur limite doit être respectée
<b>1- Valeur limite horaire</b> <b>pour la protection de la santé humaine</b>	1 heure	200 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub>	18 fois par année civile	50 % lors de l'entrée en vigueur  diminuant le 01/01/2001 et ensuite tous les ans par tranches égales pour atteindre 0 % le 01/01/2010	1er janvier 2010
<b>2- Valeur limite annuelle</b> <b>pour la protection de la santé humaine</b>	année civile	40 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub>		50 % lors de l'entrée en vigueur  diminuant le 01/01/2001 et ensuite tous les ans par tranches égales pour atteindre 0 % le 01/01/2010	1er janvier 2010
<b>3- Valeur limite</b> <b>pour la protection de la végétation</b>	année civile	30 µg/m <sup>3</sup> NOx (équill. NO <sub>2</sub> )			19 juillet 2001

### B- Seuil d'alerte

400 µg/m<sup>3</sup> relevés sur 3 heures consécutives, dans des lieux représentatifs de la qualité de l'air sur au moins

## Particules (PM10)

### Valeurs limites

	Période	Valeur	Nombre de dépassements autorisés	Marge de dépassement	Date où la valeur limite doit être respectée
<b>Phase 1</b>					
1- Valeur limite journalière pour la protection de la santé humaine	24 heures	50 µg/m <sup>3</sup> PM10	35 fois par année civile	50 % lors de l'entrée en vigueur  diminuant le 01/01/2001 et ensuite tous les ans par tranches égales pour atteindre 0 % le 01/01/2005	1er janvier 2005
2- Valeur limite annuelle pour la protection de la santé humaine	année civile	40 µg/m <sup>3</sup> PM10		20 % lors de l'entrée en vigueur  diminuant le 01/01/2001 et ensuite tous les ans par tranches égales pour atteindre 0 % le 01/01/2005	1er janvier 2005
<b>Phase 2</b>					
1- Valeur limite journalière pour la protection de la santé humaine	24 heures	50 µg/m <sup>3</sup> PM10	7 fois par année civile	à calculer d'après les données. doit correspondre à la valeur limite de la phase 1 (?)	1er janvier 2010
2- Valeur limite annuelle pour la protection de la santé humaine	année civile	20 µg/m <sup>3</sup> PM10		50 % le 1er janvier 2005 diminuant ensuite tous les ans par tranches égales pour atteindre 0 % le 01/01/2010	1er janvier 2010

## Projet de norme Particules Fines (PM2.5)

	Période de référence	Valeur
<u>Valeur cible 2010</u>		
Moyenne annuelle	Année civile	25 µg/m <sup>3</sup>
<u>Valeur limite 2015</u>		
Moyenne annuelle	Année civile	25 µg/m <sup>3</sup>

## Recommandations de l'O.M.S.

µg/m <sup>3</sup>	Durée d'exposition 1 heure	Durée d'exposition 24 heures	Durée d'exposition 1 année
Particules PM10		50 à ne pas dépasser plus de 3 jours par an	20
Particules PM2.5		25 à ne pas dépasser plus de 3 jours par an	10
Dioxyde d'azote NO <sub>2</sub>	200		

## ANNEXE 5 :

### TESTS STATISTIQUES

#### Test de Normalité

La Normalité des données est une condition essentielle pour l'application de nombreux tests statistiques. C'est pour cela qu'il est intéressant dans un premier temps de vérifier le caractère gaussien des différentes distributions.

Le test de Kolmogorov-Smirnov est un test non paramétrique qui consiste à comparer la distribution de fréquences relatives cumulées d'une variable observée avec la distribution théorique que cette variable aurait si elle était distribuée normalement. On superpose les deux distributions, on cherche la classe où l'écart entre la distribution théorique et la distribution observée est le plus grand, et on vérifie (dans la table conçue à cet effet ou en calculant directement la valeur critique  $D_\alpha$ ) si cet écart est significativement grand, c'est-à-dire si l'hypothèse de normalité  $H_0$  : distribution normale peut être rejetée au seuil considéré. Une variable aléatoire suit une loi normale d'espérance  $\mu$  et d'écart type  $\sigma$  (donc de variance  $\sigma^2$ ) si elle admet une densité de probabilité  $f$  telle que :

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

Autres tests : Shapiro-Wilk,...

Fonctions R : `ks.test()`, `Shapiro.test()`

#### Test sur les variances (homoscédasticité)

Test de régularité de la variance sur la variable aléatoire.

Ce test est utilisé pour valider l'équivalence des variances des deux populations dont sont issus les échantillons, c'est à dire de la variabilité des données.

Test de Fischer : Ce test paramétrique s'applique uniquement lorsque les distributions sont Gaussiennes. Si la Normalité n'est pas vérifiée, il faut utiliser un test non paramétrique (voir ci après).

Soit un échantillon de  $n$  mesures :  $y_1, y_2, \dots, y_n$ .

La moyenne et l'écart type de cette série statistique se calcule à l'aide des formules :

$$\bar{y} = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_n}{n} \quad \text{et} \quad s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}$$

l'écart-type est donné avec  $nu = n - 1$  degré de liberté.

Le test de Fischer permet de comparer deux écarts-types.

Soit deux séries de mesures de taille  $n_1$  et  $n_2$ . Pour chacune d'elle, on calcule l'écart-type. Le plus grand sera noté  $s_1$  et le plus petit  $s_2$ , on aura donc  $s_1 > s_2$ . L'écart-type  $s_1$  est connu avec  $nu_1 = n_1 - 1$  degré de liberté et l'écart-type  $s_2$  avec  $nu_2 = n_2 - 1$  degré de liberté.

Les hypothèses du test sont les suivantes :

$H_0$	Les écart-types observés $s_1$ et $s_2$ sont du même ordre de grandeur.
$H_1$	L'écart-type $s_1$ est significativement plus grand que l'écart-type $s_2$ .

On calcule alors :

$$F_{obs} = \frac{s_1^2}{s_2^2}$$

On montre que sous l'hypothèse  $H_0$ , le rapport des deux écarts-types suit une loi de Fischer dont on a dressé la table pour le risque souhaité (dans notre cas 5%).

On lit dans la table, qui est donnée pour un risque de 5 %, le nombre  $F_{crit}(nu_1, nu_2)$

Si  $F_{obs} < F_{crit}(nu_1, nu_2)$  on accepte  $H_0$

Si  $F_{obs} > F_{crit}(nu_1, nu_2)$  on accepte  $H_1$  par défaut au risque inférieur ou égal à 5 %

Test non paramétrique : Lorsque que les hypothèses d'application du test de Fischer ne sont pas vérifiées, des tests non paramétriques de comparaison de variances peuvent être utilisés. Le test de Fligner-Killeen permet de comparer les variances de plusieurs échantillons d'une variable continue. C'est un des tests les plus robustes à la non-normalité des données.

Autres tests : Test de Mood, test d'Ansari-Bradley,...

Fonctions R : `var.test()`, `fligner.test()`, `ansari.test()`, `mood.test()`

## Test d'égalité des moyennes

Ce test est utilisé pour étudier comparer les moyennes de deux populations dont sont issus les échantillons. L'objectif étant de savoir si les moyennes peuvent être considérées comme différentes.

Test de Student : Test paramétrique pour comparer la moyenne observée d'un échantillon statistique à une valeur fixée. Il permet aussi de comparer les moyennes de deux échantillons statistiques (on parle alors de test de conformité).

Les conditions d'applications de ce test sont la Normalité surtout pour les échantillons de taille  $< 30$ , l'égalité des variances (pour toute taille d'échantillon).

*Test de comparaison d'une moyenne à une valeur donnée*

Soit deux échantillons  $X_1$  et  $X_2$  de  $n_1$  et  $n_2$  valeurs observées, de moyennes  $m_1$  et  $m_2$  et de même variance.

On souhaite tester l'Hypothèse  $H_0$  : " $m_1=m_2$ " avec un risque d'erreur  $\alpha$ .

Sachant que  $X_1 - X_2$  suit une loi Normale  $N\left(m_1 - m_2, \sqrt{\sigma^2\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}\right)$ , nous pouvons établir que la variable  $T$  suivante suit une loi de Student à  $(n_1 + n_2 - 2)$  degrés de liberté.

$$T = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{\sqrt{\sigma^2\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

Une estimation de la variance commune est :

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{n_1 s_1^2 + n_2 s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

On calcule donc  $t$  à partir des données de nos échantillons et on le compare à la valeur  $t_\alpha$  lue dans la table de Student pour un risque d'erreur  $\alpha$  fixé et  $(n_1 + n_2 - 2)$  degré de liberté.

Si  $t < t_\alpha$ , on accepte l'hypothèse  $H_0$  par défaut, c'est à dire que les deux échantillons sont extraits de deux populations ayant même espérance  $m$ .

Si  $t > t_\alpha$ ,  $H_0$  est rejetée avec un risque d'erreur  $\alpha$  et les deux échantillons sont extraits de deux populations ayant des espérances respectivement  $m_1$  et  $m_2$ .

Test de Wilcoxon : Ce test est utilisé pour comparer les caractéristiques de deux distributions. Ce test représente une alternative non paramétrique au test de Student, reposant uniquement sur l'ordre des observations relatives aux deux échantillons.

Soit deux échantillons A et B comprenant  $n_A$  et  $n_B$  observations. L'objectif est de tester l'hypothèse nulle selon laquelle la distribution de probabilité  $\psi$  d'une variable  $X$  est identique dans les deux échantillons :  $H_0 : \psi_A = \psi_B$ .

Si cette hypothèse est rejetée, une des hypothèses alternatives suivantes sera acceptée :

$H_1 : \psi_A > \psi_B$ , si la distribution de A est déplacée vers la droite par rapport à celle de B ;

$H_2 : \psi_A < \psi_B$ , dans le cas contraire ;

Le test de Wilcoxon consiste dans un premier temps à classer dans l'ordre croissant l'ensemble  $n_A + n_B = n$  observations relatives aux deux échantillons réunis. Ensuite, à chaque observation, on attribue un rang  $r_i$  correspondant à son numéro d'ordre, compris entre 1 et  $n$ . Ainsi le rang 1 est assigné à la plus petite observation. La statistique  $z$  de Wilcoxon est calculée comme la somme des rangs assignés aux observations provenant de l'un des deux échantillons :  $Z_A$  est la somme des rangs observés et  $Z_A$  la variable aléatoire correspondante.

Si cette distribution est déplacée dans un sens, ses rangs seront significativement élevés ou faibles.

Fonctions R : `t.test()`, `wilcox.test()`

## Exemple de résultat de tests

Comparaison PM10 Airparif Intérieur et PM10 RATP Intérieur :

Variable X : PM10 Airparif Intérieur

Variable Y : PM10 RATP Intérieur

Test de normalité	Test de Fischer	Test de Student	Test de Fligner	Test de Wilcoxon
<ul style="list-style-type: none"> <li>Variable X</li> </ul> One-sample Kolmogorov-Smirnov test p-value = 0.7808 On ne peut rejeter l'hypothèse de normalité des données. Acceptation de la Normalité des données.	F test to compare two variances p-value = 0.3479 On ne peut rejeter l'hypothèse d'égalité des variances. Acceptation.	t-test p-value = 0.1640 On ne peut rejeter l'hypothèse d'égalité des moyennes. Les moyennes ne peuvent être considérées comme différentes. ( 61 µg/m <sup>3</sup> pour X et Y = 58 µg/m <sup>3</sup> pour Y)		
<ul style="list-style-type: none"> <li>Variable Y</li> </ul> One-sample Kolmogorov-Smirnov test p-value = 0.5233 On ne peut rejeter l'hypothèse de normalité des données. Acceptation de la Normalité des données.				

Comparaison PM10 Airparif Intérieur et PM10 Airparif Extérieur :

Variable X : PM10 Airparif Intérieur

Variable Y : PM10 Airparif Extérieur

Test de normalité	Test de Fischer	Test de Student	Test de Fligner	Test de Wilcoxon
<ul style="list-style-type: none"> <li>Variable X</li> </ul> One-sample Kolmogorov-Smirnov test p-value = 0.7808 On ne peut rejeter l'hypothèse de normalité des données. Acceptation de la Normalité des données.			Fligner-Killeen test of homogeneity of variances p-value = 0.0134 Rejet de l'hypothèse d'égalité des variances.	Wilcoxon rank sum test with continuity correction p-value < 2.2e-16 Rejet de l'hypothèse d'égalité des moyennes. ( 61 µg/m <sup>3</sup> pour X et Y = 22 µg/m <sup>3</sup> pour Y)
<ul style="list-style-type: none"> <li>Variable Y</li> </ul> One-sample Kolmogorov-Smirnov test p-value = 8.847e-05 Rejet de l'hypothèse de normalité des données.				

Comparaison NO<sub>2</sub> Airparif Intérieur et NO<sub>2</sub> Airparif Extérieur :

Variable X : NO<sub>2</sub> Airparif Intérieur

Variable Y : NO<sub>2</sub> Airparif Extérieur

Test de normalité	Test de Fischer	Test de Student	Test de Flinger	Test de Wilcoxon
<ul style="list-style-type: none"> <li>Variable X</li> </ul> One-sample Kolmogorov-Smirnov test p-value = 0.4987 On ne peut rejeter l'hypothèse de normalité des données. Acceptation de la Normalité des données	F test to compare two variances p-value = 0.001573  Rejet de l'hypothèse d'égalité des variances			Wilcoxon rank sum test with continuity correction p-value = 0.00804  Rejet de l'hypothèse d'égalité des moyennes ( 58 µg/m <sup>3</sup> pour X et Y = 62 µg/m <sup>3</sup> pour Y)
<ul style="list-style-type: none"> <li>Variable Y</li> </ul> One-sample Kolmogorov-Smirnov test p-value = 0.09416 On ne peut rejeter l'hypothèse de normalité des données. Acceptation de la Normalité des données				