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

Laboratoire d'Hygiène de la
Ville de Paris

CARACTERISATION DE LA QUALITE DE L'AIR A PROXIMITE DES VOIES A GRANDE CIRCULATION :

- PREMIER VOLET -
CAMPAGNE DE MESURE PORTANT SUR LE BOULEVARD PERIPHERIQUE AU NIVEAU DE LA PORTE DE GENTILLY

FEVRIER 2008

AIRPARIF
Surveillance de la Qualité de l'Air
en Île-de-France

CARACTERISATION DE LA QUALITE DE L'AIR A PROXIMITE DES VOIES A GRANDE CIRCULATION :

- PREMIER VOLET-
CAMPAGNE DE MESURE PORTANT SUR LE BOULEVARD PERIPHERIQUE AU NIVEAU DE LA PORTE DE GENTILLY

FEVRIER 2008

Étude réalisée par :

AIRPARIF Surveillance de la Qualité de l'Air en Île-de-France
Pôle Études
7, rue Crillon 75004 PARIS – Tél. : 01.44.59.47.64 - Fax : 01.44.59.47.67 - www.airparif.asso.fr

SOMMAIRE

I. Introduction....4
II. Contexte de l'Étude....5
II.1 Description du secteur d'étude....5
II.2 Choix des polluants à mesurer....7
II.2.2 Benzène....8
II.2.3 Particules....9
III. Mise en œuvre de la campagne....11
III.1 Moyens de mesure....11
III.1.1 Tubes à diffusion....11
III.1.2 Moyens automatiques....13
III.1.3 Qualité de la mesure....14
III.2 Localisation des sites de mesure....15
III.2.1 Emplacements des sites de mesure tubes à diffusion....15
III.2.2 Emplacements des moyens de mesure automatique....17
III.3 Période de mesure....19
IV. Commentaires Météorologiques....20
V. Variabilité de la qualité de l'air dans le secteur de la Porte de Gentilly....24
IV.1 Qualification des niveaux moyens observés....24
IV.2 Évolution temporelle des niveaux de pollution atmosphérique....26
IV.3 Variabilité des niveaux de pollution le long du Boulevard Périphérique....30
IV.4 Influence spatiale du Boulevard Périphérique....33
IV.4.1 Évolution de la qualité de l'air de part et d'autre du Boulevard Périphérique, l'exemple du complexe sportif de Charléty....33
IV.4.2 Évolution de la qualité de l'air dans un environnement encaissé à proximité à la fois du Boulevard Périphérique et de l'Autoroute A6....36
IV.5 Analyse micro-locale de la pollution atmosphérique....38
IV.5 Impact selon les secteurs de vent....42
VI. Evolution de la qualité de l'air au niveau des bâtiments....46
VI.1 Dioxyde d'azote....46
VI.2 Benzène....48
VII. Transfert des polluants de l'air extérieur à l'intérieur des bâtiments....50
VII.1 Oxydes d'azote....50
VII.2 Benzène....55
VII.3 Particules PM2.5....57
VIII. Estimation du respect des Normes de la qualité de l'air....59
VIII.1.1 Estimation de la concentration moyenne annuelle : méthode de calcul et incertitude associée....59
VIII.1 Dioxyde d'azote....60
VIII.2 Benzène....63
VIII.3 Particules PM10....64
VIII.4 Particules PM2.5....67
IX. Conclusion....69

I. INTRODUCTION

Suite à la réflexion engagée depuis l'étude AIRPARIF à la Porte de Bagnolet[1], le Conseil d'Administration et l'Assemblée Générale d'AIRPARIF ont décidé la mise en route d'un vaste programme d'étude portant sur la caractérisation de la qualité de l'air aux abords des autoroutes urbaines et assimilées. Le pilotage du programme est assuré par le Conseil Régional d'Île-de-France. Cette problématique s'inscrit dans les préoccupations émises par les collectivités locales et portées par Île-de-France Environnement.

L'étude « Porte de Bagnolet » a depuis été complétée par les investigations menées par AIRPARIF aux abords de l'autoroute A4 à Charenton-le-Pont[2] et au voisinage des grands axes routiers essonniens[3]. Ces différentes études réalisées par AIRPARIF, ainsi que les observations sur les stations permanentes, montrent que les niveaux de pollution au droit des grandes voies de circulations sont largement supérieurs au niveau de fond et que l'influence directe de ces axes est perceptible au voisinage proche de ces derniers. Pour illustration, les concentrations au droit du Boulevard Périphérique à la Porte d'Auteuil sont de deux à trois fois celles rencontrées en situation de fond pour le dioxyde d'azote. Pour les particules (PM10), le rapport entre les niveaux de proximité à la Porte d'Auteuil et ceux de fond est légèrement inférieur à deux[4]. La zone d'influence directe des grandes voies de circulation varie en fonction du degré d'urbanisme au voisinage de l'axe. Les résultats des études existantes indiquent qu'elle reste limitée en moyenne à environ 200 mètres pour le dioxyde d'azote et serait plus restreinte pour des composés comme le benzène et les particules[5]. La topographie et la situation de l'ouvrage par rapport à son environnement immédiat jouent cependant un rôle essentiel encore insuffisamment documenté dans la répartition des niveaux de pollution notamment pour l'évolution des concentrations dans les premières dizaines de mètres au voisinage de l'axe.

Pour caractériser la pollution atmosphérique au voisinage des voies de grande circulation, les enseignements des études existantes sont à compléter pour bien déterminer les paramètres d'influence et ensuite généraliser les enseignements par modélisation. Cette modélisation s'appuiera sur le recensement des différentes situations possibles en fonction de la configuration des axes routiers et de l'urbanisation avoisinante ainsi que sur les enseignements tirés des études spécifiques dans chacune de ces configurations.

Le premier volet de ce programme d'étude, objet du présent rapport, s'attache à compléter les enseignements sur le comportement de la pollution atmosphérique à proximité des grands axes de circulation avec notamment l'évaluation des paramètres d'influence via une campagne de mesures. Elle vise à renseigner aussi bien la qualité de l'air extérieur que celle rencontrée à l'intérieur des bâtiments jouxtant ces voies de grande circulation. Le secteur d'étude se situe de part et d'autre du Boulevard Périphérique au niveau de la Porte de Gentilly. Cette étude a été menée en collaboration avec le Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris, qui a conduit les mesures en air intérieur.

---

[1] « Caractérisation de la qualité de l'air au voisinage d'un échangeur autoroutier urbain : cas de la Porte de Bagnolet » - Décembre 2004.

[2] « Caractérisation de la qualité de l'air à proximité de l'autoroute A4 sur la commune de Charenton-le-pont » - AIRPARIF - août 2005.

[3] « Étude de la qualité de l'air au voisinage des grands axes routiers essonniens » - AIRPARIF – Mai 2006.

[4] Données établies à partir des concentrations annuelles 2005 sur la station proximité de la Porte d'Auteuil et les stations de fond parisiennes.

[5] Voir les études Porte de Bagnolet, Charenton-le-Pont et grands axes essonniens.

II. CONTEXTE DE L'ÉTUDE

II.1 Description du secteur d'étude

Le secteur défini pour la réalisation de l'étude préliminaire est situé au Sud de Paris, de part et d'autre du Boulevard Périphérique entre la Porte d'Italie à l'Est et la Porte d'Arcueil à l'Ouest.
Cette section du Boulevard Périphérique présente l'avantage de rassembler l'ensemble des configurations topographiques visées, à savoir un axe routier en contre-bas dans le secteur de la Porte d'Italie, puis en hauteur au niveau du Cimetière de Gentilly, du complexe sportif de Charléty et enfin un Boulevard Périphérique plan par rapport au sol au droit de la Cité Internationale Universitaire de Paris (CIUP), comme illustré à la Figure 1.

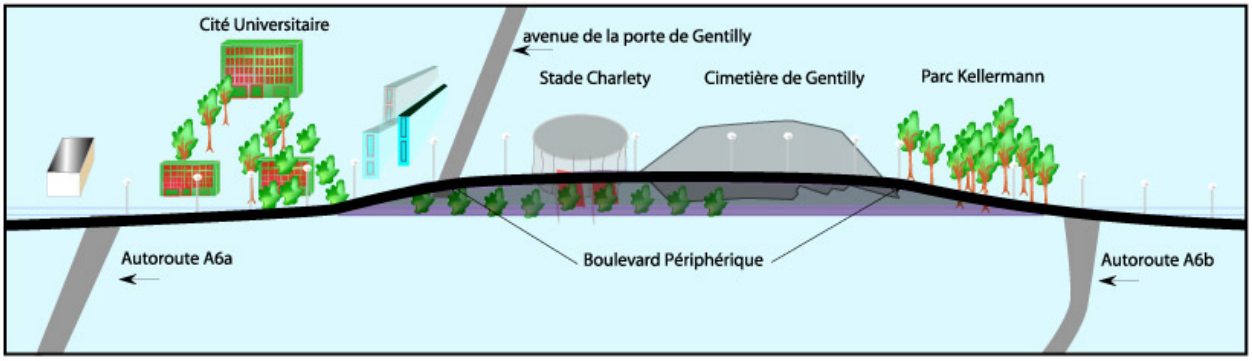


Figure 1 : Illustration de la topographie du Boulevard Périphérique sur le domaine d'étude.

Par ailleurs, le nombre de voies de circulation sur ce tronçon est très variable notamment du fait des divers embranchements autoroutiers permettant l'interconnexion entre le Boulevard Périphérique et les autoroutes A6.a et A6.b. Le nombre de voies est au maximum de 9 à l'Ouest du domaine d'étude à hauteur de la CIUP et un minimum de 4 à la Porte d'Italie. Ainsi le nombre de véhicules et la fluidité du trafic routier sur ce tronçon du Boulevard Périphérique sont très différents. Le Boulevard Périphérique présente une variabilité importante du nombre de véhicules en fonction des sorties ou entrées des autoroutes A6.a et A6.b, compris entre 91 800 et 172 500 véhicules par jour.
Par ailleurs, l'environnement urbain de part et d'autre du Boulevard Périphérique est très hétérogène. Le domaine d'étude situé au Nord du Boulevard Périphérique, partagé entre le 13ème et le 14ème arrondissement de Paris, est caractérisé par un urbanisme plutôt lâche. En effet, l'environnement urbain est constitué le long du Boulevard Périphérique d'Est en Ouest du Parc Kellermann, du Cimetière de Gentilly, du complexe sportif de Charléty et de la Cité Internationale Universitaire de Paris.
A contrario, au Sud du Boulevard Périphérique (commune de Gentilly) l'urbanisme est plus dense et composé d'habitats individuels, essentiellement à l'Ouest de la commune, et collectifs.

Outre le Boulevard Périphérique, Le trafic routier est particulièrement important avec des axes majeurs au sein du domaine d'étude tels que les autoroutes A6.a (132 000 véhicules par jour[6], dont 5 % de Poids Lourds) et A6.b (près de 111 000 véhicules, dont 10 % de Poids Lourds) et plus secondairement le Boulevard des Maréchaux (comptant quotidiennement 23 850 véhicules[7]), la Rue du Val-de-Marne et l'Avenue P.V. Couturier sur la commune de Gentilly.

[6] Source : DDE du Val-de-Marne – Trafic 2004.
[7] Source : Ville de Paris, Direction de la Voirie et des Déplacements, comptage année 2004.

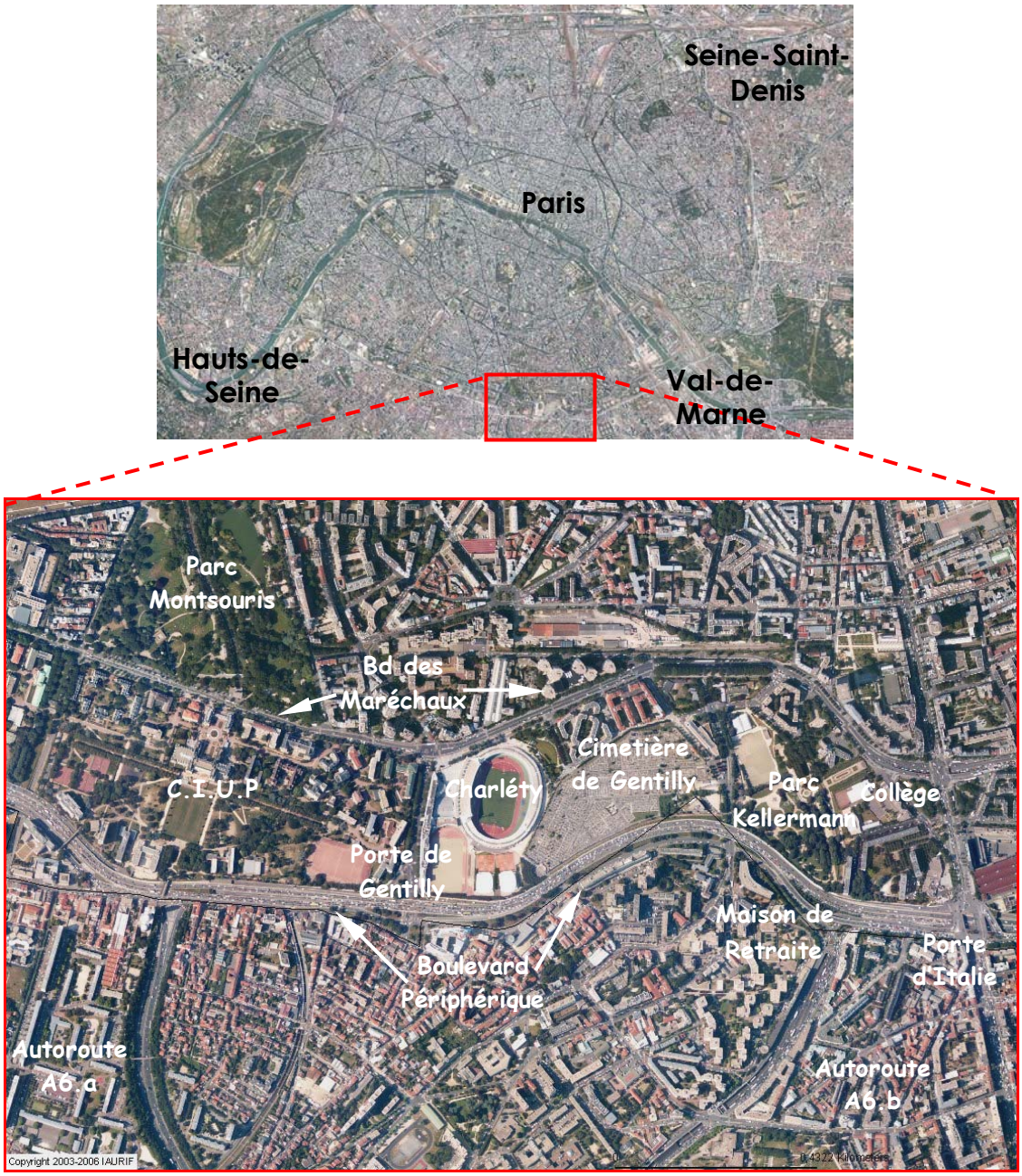


Figure 2 : Vues aériennes du domaine d'étude (Source IAURIF).

Enfin, de nombreux établissements recevant du public sont implantés au voisinage du Boulevard Périphérique, comme la Cité Internationale Universitaire de Paris, le Collège Évariste Galois ou encore le complexe sportif de Charléty et une Maison de Retraite.

II.2 Choix des polluants à mesurer

Les connaissances d'AIRPARIF et du LHVP en matière de pollution atmosphérique, notamment au travers de la cinquantaine de stations de mesure permanentes composant le réseau AIRPARIF et les études temporaires réalisées en Île-de-France par ces deux organismes, permettent de définir les polluants atmosphériques à mesurer dans le cadre de l'étude de l'état de la qualité de l'air au sein d'un environnement urbain et à proximité d'axes à circulation importante.

II.2.1 Les oxydes d'azote

Le trafic routier est la source émettant la part principale (52.2 %) en Île-de-France[8] des oxydes d'azote (NOx). Les oxydes d'azote sont des traceurs reconnus du trafic routier et leurs mesures permettent d'en identifier l'impact. Sur le réseau fixe d'AIRPARIF, les niveaux annuels de NOx à proximité d'un trafic routier important peuvent atteindre près de 3 fois ceux observés en situation de fond parisien.
Il est à noter que parmi les oxydes d'azote, seul le dioxyde d'azote est réglementé dans l'air ambiant du fait de ses effets reconnus sur la santé.

La Figure 3 illustre l'évolution des niveaux annuels de dioxyde d'azote depuis 1994 sur un échantillon constant de stations de fond de l'agglomération parisienne (orange foncé) et de proximité au trafic routier (orange clair).

L'évolution des concentrations de dioxyde d'azote depuis 1994 en situation de fond présente une baisse régulière hormis en 2003, année où les conditions météorologiques ont été exceptionnelles. L'année 2006 présente ainsi la moyenne annuelle de dioxyde d'azote en situation de fond la plus faible de l'historique.

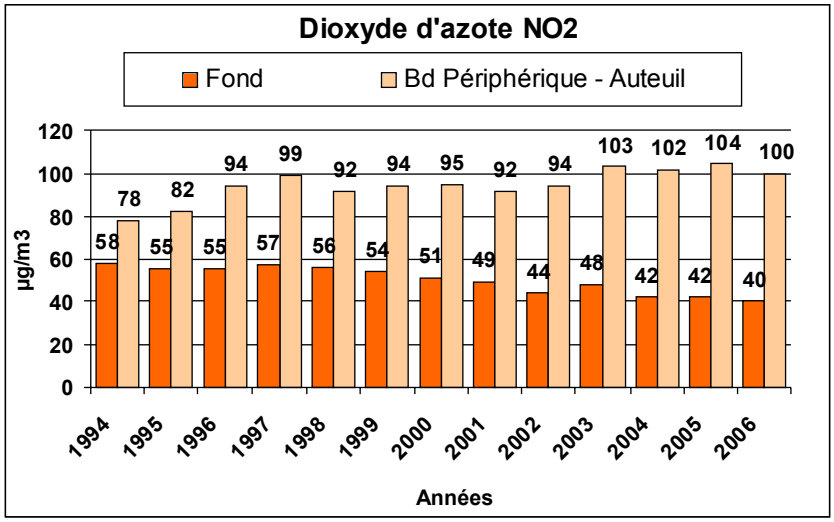


Figure 3 : Évolution des niveaux moyens annuels du dioxyde d'azote (NO_2) en situation de fond[9] et à proximité du trafic routier.

[8] Source : Cadastre d'émissions d'Île-de-France, AIRPARIF/DRIRE Île-de-France, année de référence 2000.
[9] Stations de Paris 12ème (puis Paris 18ème en 2004), Paris 13ème, Neuilly-sur-Seine (92), Aubervilliers (93) et Vitry-sur-Seine (94).

A contrario, à proximité du trafic routier les niveaux annuels de NO_2 sont constants, voire augmentent comme c'est le cas au droit du Boulevard Périphérique à hauteur de la Porte d'Auteuil. Sur ce dernier, les concentrations annuelles ont tendance à se stabiliser à un peu plus de 100 µg/m³ soit bien supérieures à l'objectif de qualité et la valeur limite fixée.

Ainsi, 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.

II.2.2 Benzène

Le benzène est l'un des traceurs reconnus de la pollution atmosphérique liée au trafic routier. De plus, le caractère primaire de ce polluant engendre des niveaux de benzène en proximité immédiate du trafic routier de 2 à 4 fois plus importants que ceux rencontrés en situation de fond.
Les niveaux de benzène enregistrés à proximité du trafic routier peuvent, dans le cas d'axes routier importants, dépasser l'objectif de qualité en vigueur. La concentration moyenne annuelle de 2 µg/m³ est dépassée sur les stations fixes du réseau AIRPARIF situé sur le Boulevard Périphérique à hauteur de la Porte d'Auteuil et Place Victor Basch (Paris 14ème). Au contraire, en situation de fond, l'ensemble du réseau de mesure de l'agglomération parisienne respecte les normes établies.

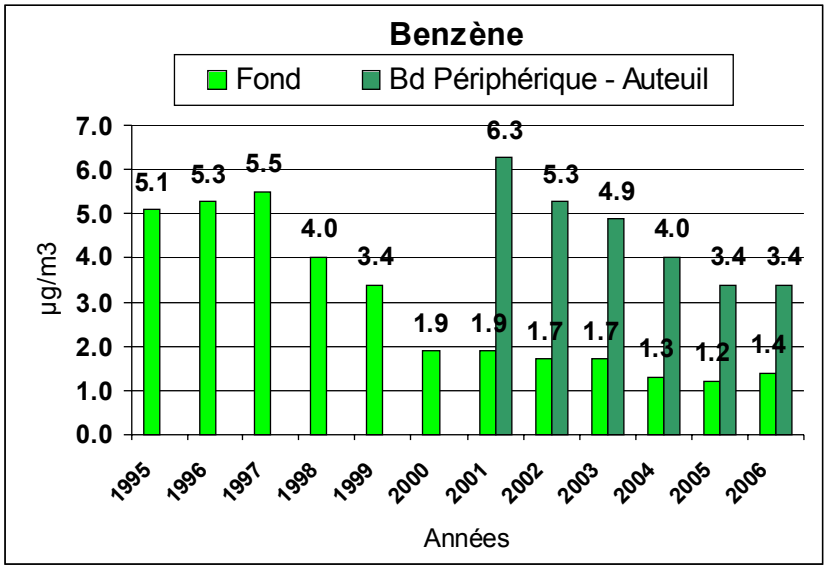


Figure 4 : Évolution de la moyenne annuelle de benzène en situation de fond et à proximité du trafic routier du Boulevard Périphérique à hauteur de la Porte d'Auteuil.

Comme cela est illustré par la Figure 4, les niveaux de benzène[10] présentent une diminution régulière et importante (de l'ordre de 70 %) des niveaux annuels depuis une dizaine d'années du fait de l'introduction progressive de véhicules à essence équipés de pots catalytiques qui émettent moins d'hydrocarbures qu'un véhicule essence non catalysé, l'augmentation de la part de véhicules diesel (faible émetteur de benzène) dans le parc automobile et l'amélioration des carburants. Néanmoins, malgré cela les niveaux de benzène restent problématiques à proximité du trafic routier, comme c'est le cas au droit du Boulevard Périphérique.

[10] Stations de fond = Paris 13ème (Paris 1er les Halles depuis 2003), Issy-les-Moulineaux, Neuilly-sur-Seine, Saint-Denis (depuis 1994).

II.2.3 Particules

La Figure 5 illustre l'évolution historique des niveaux annuels des particules PM10 (a) et de PM2.5 (b) en proximité immédiate du trafic routier du Boulevard Périphérique à la Porte d'Auteuil (en gris foncé) et en situation de fond (en gris clair).

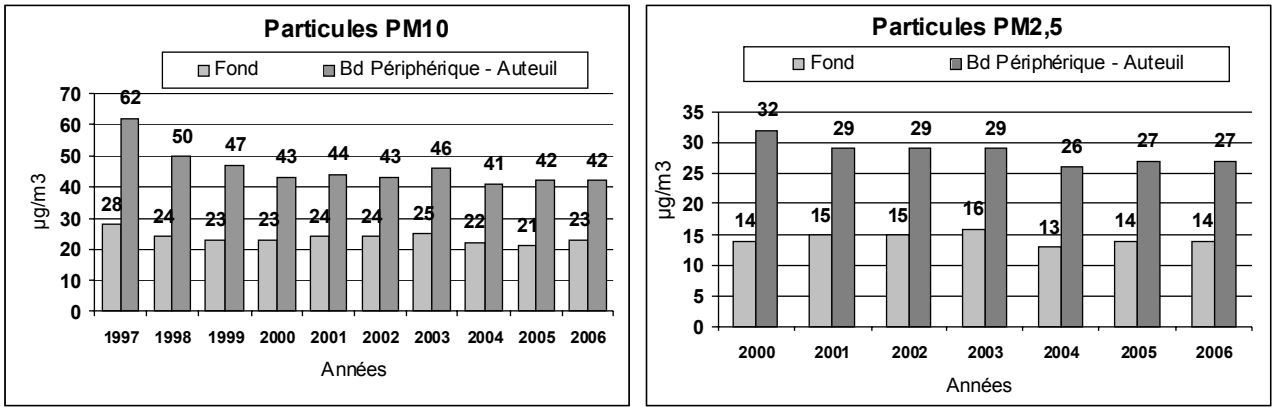


Figure 5 : Évolution de la moyenne annuelle de PM10 et de PM2.5 en situation de fond[11] et à proximité du trafic routier du Boulevard Périphérique à hauteur de la Porte d'Auteuil.

Les concentrations annuelles de particules en situation de fond sont, depuis le début de l'historique des mesures, relativement constantes avec des teneurs moyennes de PM10 et de PM2.5 ne présentant pas d'évolution marquée.

En situation de proximité au trafic routier et en particulier au droit du Boulevard Périphérique, la tendance est à la baisse jusqu'à l'année 2000 pour les PM10 avec depuis une stabilité des teneurs. Toujours sur le Boulevard Périphérique, les moyennes annuelles de particules PM2.5 ont légèrement baissé depuis le début de l'historique (32 µg/m^3 contre 27 µg/m^3 en 2006) avec cependant une stagnation à partir de 2004.

Si les niveaux annuels de PM10 en situation de fond sont en dessous des différentes normes en vigueur cela n'est pas le cas, au même titre que pour le benzène, au droit d'axes importants comme le Boulevard Périphérique.
Concernant les émissions en Île-de-France[8], le trafic routier contribue à hauteur de 36 % aux émissions de particules de diamètre inférieur à 10 µm (PM10) et présente donc les caractéristiques d'un traceur du trafic routier.

Concernant les particules fines dont le diamètre est inférieur à 2.5 µm (PM2.5), une directive européenne a été adoptée le 11 décembre 2007 par le parlement européen sur la base de la position commune[12] arrêtée par le Conseil le 25 juin 2007[13]. La position commune fixe 25 µg/m^3 en moyenne annuelle comme valeur cible à partir de 2010. Ce seuil devient une valeur limite (objectif contraignant) pour 2015. Une seconde phase de la directive donne pour 2020 une valeur limite indicative de 20 µg/m^3, qui sera examinée en 2013 à la vue des futures informations concernant les effets sur la santé et l'environnement, la faisabilité technique et le retour d'expérience de la première phase.

[11] Pour les PM10 : Stations de Paris 12ème (Paris 18ème à partir de 2005) et Bobigny (93) ; Pour les PM2.5 : Vitry-sur-Seine (94).
[12] Non publiée à la date du 06 février 2008.
[13] Position Commune arrêtée par le Conseil le 25 juin 2007 en vue de l'adoption de la directive du Parlement européen et du Conseil concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe.

Aux États-Unis, l'US EPA[14] (l'Agence de Protection de l'Environnement Américaine) fixe quant à elle depuis plusieurs années un seuil annuel relatif à ce polluant (15 µg/m^3).

Notons qu'une modification de la méthode de mesure des particules est officiellement entrée en vigueur le 1er janvier 2007. La modification de la méthode permet une meilleure prise en compte de la part volatile des particules.

[14] EPA : Environmental Protection Agency.

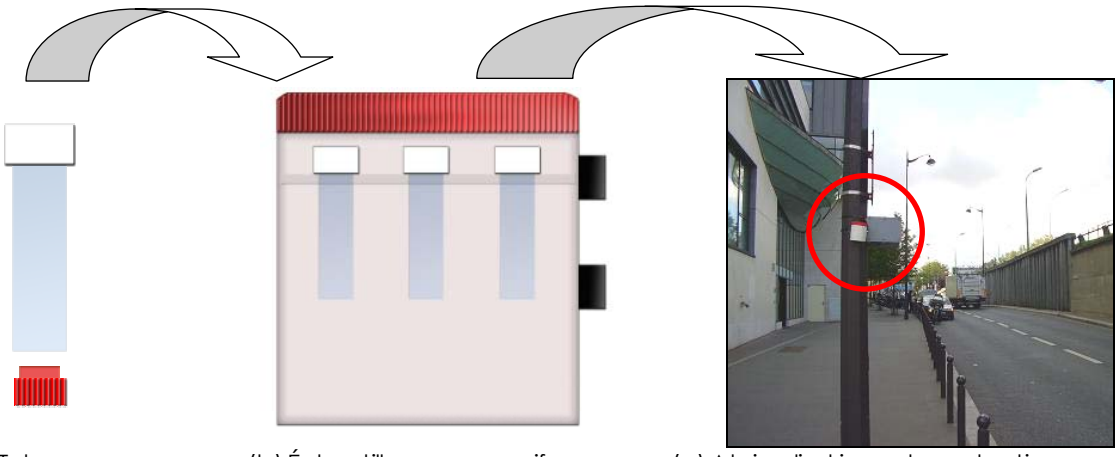
III. MISE EN ŒUVRE DE LA CAMPAGNE

III.1 Moyens de mesure

Dans le cadre de cette étude, deux méthodes de mesure ont été utilisées afin de répondre aux différents objectifs fixés. Ainsi, la campagne de mesure consiste d'une part à la mise en place de sites de mesure instrumentés d'échantillonneurs passifs, donnant des concentrations moyennes sur 7 jours, et d'autre part de sites automatiques renseignant les concentrations de pollution au pas de temps horaire.
La campagne de mesure en air intérieur, menée en parallèle et simultanément aux mesures en air ambiant, consiste également en la mise en œuvre, par le LHVP, de moyens automatiques et d'échantillonneurs passifs.

III.1.1 Tubes à diffusion

Pour le dioxyde d'azote, l'échantillonneur passif[15] se présente sous forme d'un tube en polypropylène muni d'une coiffe fixe et d'une grille métallique imprégnée d'un réactif chimique permettant le piégeage du NO_2 pendant la période d'exposition d'une semaine. Le tube est maintenu en position verticale au sein d'un abri cylindrique de protection (cf. Figure 6-b). L'abri de protection, fixé sur un support dans l'environnement (poteau, lampadaire…) à environ 3 m du sol (cf. Figure 6-c), permet de protéger l'échantillonneur de l'impact direct du vent, du soleil et de la pluie, optimisant ainsi les conditions de mesure afin de fiabiliser le processus de diffusion et de piégeage des polluants. Ce même dispositif a été placé à l'intérieur des bâtiments sélectionnés et dans leur environnement extérieur immédiat (balcon, façade…) en vue de déterminer les niveaux de NO_2.



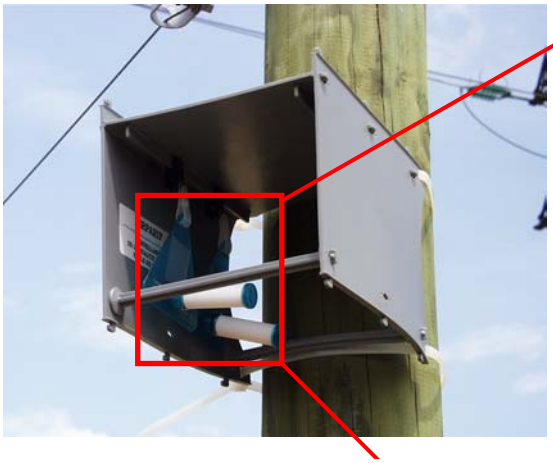
(a) Tube en polypropylène — (b) Échantillonneurs passifs installés à l'intérieur de l'abri — (c) Abri cylindrique de protection installé sur un candélabre à Gentilly

Figure 6 : Schéma d'implantation des tubes à diffusion passive de dioxyde d'azote au sein de l'abri de protection.

L'échantillonneur passif utilisé pour mesurer le benzène[16] se présente, quant à lui, sous forme d'une cartouche absorbante insérée dans un corps poreux qui est maintenu en position horizontale par le biais d'un support triangulaire, au sein d'un abri de protection (Cf. Figure 7).

[15] Les tubes à diffusion passive de dioxyde d'azote sont fournis par le laboratoire suisse PASSAM, accrédité ISO 17025, et analysés par les laboratoires de chimie LASAIR d'AIRPARIF et du LHVP.
[16] Les tubes à diffusion passive de benzène sont fournis par le laboratoire de recherche IRCSS de la fondation scientifique italienne Salvatore Maugeri et analysés par le laboratoire de chimie LASAIR d'AIRPARIF et le laboratoire d'analyse du LHVP.

Le principe de fonctionnement de l'échantillonneur de benzène est semblable à celui de l'échantillonneur de NO_2.



Échantillonneurs passifs installés à l'intérieur de l'abri de protection

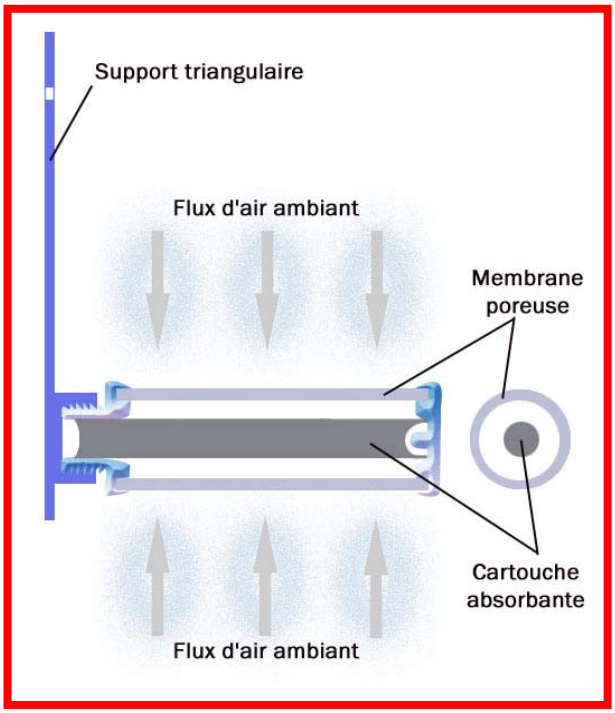


Schéma de fonctionnement d'un échantillonneur passif benzène (d'après *radiello*®)

Figure 7 : Schémas d'implantation des tubes à diffusion passive de benzène au sein de l'abri de protection.

Sur l'ensemble des sites de mesure, les échantillonneurs passifs de NO_2 et de benzène sont exposés durant une semaine puis rebouchés hermétiquement à la fin de chaque série. Ils sont ensuite analysés en laboratoire suivant des protocoles spécifiques au dioxyde d'azote[17] et au benzène[18]. A l'issue de ces analyses, une concentration moyenne de dioxyde d'azote et de benzène pour chaque site de mesure est établie pour la semaine d'exposition.
Les sites de mesure installés en façade et à l'intérieur des différents bâtiments ayant également fait l'objet de mesure ont été équipés du même appareillage et de la même méthode de mesure. La Figure 8 présente deux sites installés en façade et à l'intérieur d'un bâtiment.

Figure 8 : illustrations de sites de mesure installés en façade et à l'intérieur d'un bâtiment.

[17] Spectrophotométrie d'absorption dans le visible.
[18] Chromatographie en phase gazeuse.

III.1.2 Moyens automatiques

Simultanément aux mesures par tubes à diffusion, des moyens de mesure automatiques ont été implantés dans le secteur d'étude à l'extérieur comme à l'intérieur de bâtiments.

Ainsi trois moyens mobiles ont été mis en place par AIRPARIF. Un moyen mobile de mesure se présente sous forme d'analyseurs automatiques installés soit dans un camion laboratoire (cf. Figure 9), soit au sein d'une remorque comme cela fut le cas sur les deux autres sites de mesure. 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 électrique et téléphonique ainsi que la maintenance régulière des analyseurs.
Le LHVP a également mis en place des mesures automatiques sur deux sites plus ou moins proches du Boulevard Périphérique. Sur l'un des deux sites (Collège Évariste Galois), un seul analyseur couplé à un système de multiplexage a été placé dans une pièce pour mesurer séquentiellement les concentrations d'oxydes d'azote à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment. En chaque point, la phase de mesure a duré 2,5 minutes, après un temps de purge du circuit de 1 minute. Les rejets de l'analyseur ont été évacués de la pièce étudiée à distance des prélèvements extérieurs.

Contrairement aux mesures effectuées par tubes à diffusion passive, où l'on dispose d'une valeur moyenne de concentration par semaine pour le benzène et le NO_2, les analyseurs automatiques fournissent des mesures de polluants heure par heure. Cette finesse des mesures horaires permet d'étudier, d'une part l'évolution temporelle de la pollution tout au long de la journée, et d'autre part le comportement des niveaux des polluants suivis en fonction de la provenance des vents. Les analyseurs installés à l'intérieur des bâtiments permettent une analyse plus fine du transfert des polluants atmosphériques de l'air extérieur à l'intérieur des bâtiments.

Figure 9 : Moyen de mesure mise en œuvre à proximité du Boulevard Périphérique.

Dans le cadre de cette étude, les concentrations en oxydes d'azote[19] (le monoxyde d'azote et le dioxyde d'azote individuellement), en particules (PM10)[20] et particules fines (PM2.5) sont mesurées à l'aide des laboratoires mobiles. Concernant les PM2.5, seul le site de la Maison du Liban à fait l'objet de mesure en air ambiant.

[19] Mesure par chimiluminescence, conformément à la norme NF EN 14-211.
[20] 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.

Les mesures en air intérieur concernent également les mesure des oxydes d'azote et des PM2.5. Ce dernier polluant a été mesuré sur un seul site (Maison de Retraite).
Parallèlement, quelques prélèvements de particules PM2.5, intégrés sur 48 heures, ont été réalisés à l'aide de deux dispositifs programmables (pompe « Charlie » à l'intérieur du collège et appareil « Partisol » dans l'environnement extérieur immédiat). Suite aux mesures gravimétriques de particules, les filtres ont été traités pour la mesure des anions incluant les sulfates. Les anions ont été analysés par la technique de l'électrophorèse capillaire couplée à la détection par spectrométrie d'absorption UV inverse.
Les PM10 n'ont pas fait l'objet de mesure en air intérieur.

(a) Maison de Retraite

(b) Collège Évariste Galois

Figure 10 : Moyen de mesure mise en œuvre à l'intérieur et à l'extérieur immédiat du bâtiment.

III.1.3 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 acceptée pour chaque mesure horaire est de 15 % pour les oxydes d'azote[21,22]. Ce critère est intégré dans une démarche qualité pour laquelle AIRPARIF a obtenu depuis 2001 l'accréditation « essai » du COFRAC pour l'ensemble de ses mesures horaires, et notamment celles du réseau fixe francilien.

Dans le cas des échantillonneurs passifs, l'incertitude de mesure peut avoir différentes origines : la fabrication, l'applicabilité de la théorie de la diffusion passive selon les conditions météorologiques ou encore l'analyse en laboratoire. Selon les Directives européennes en vigueur, l'incertitude globale associée, égale à la combinaison des incertitudes provenant de chacune des sources individuelles d'erreur, est limitée à 25 % de la mesure pour le dioxyde d'azote[21] et à 30 % pour le benzène[22]. Ces critères de qualité ont été vérifiés pour le dioxyde

[21] Directive 1999/30/CE du 22 avril 1999 relative à la fixation de valeurs limites pour l'anhydride sulfureux, le dioxyde d'azote et les oxydes d'azote, les particules et le plomb dans l'air ambiant.
[22] Directive 2000/69/CE du 16 novembre 2000 concernant les valeurs limites pour le benzène et le monoxyde de carbone dans l'air ambiant.

d'azote à l'aide d'un protocole d'évaluation de l'incertitude[23], notamment dans le cadre de l'étude au voisinage de l'échangeur autoroutier de la Porte de Bagnolet[24]. L'échantillonneur passif utilisé pour la mesure de benzène a, quant à lui, déjà fait l'objet de tests de validation par le laboratoire de la Commission Européenne dans le cadre du projet européen LIFE « RESOLUTION »[25].

III.2 Localisation des sites de mesure

III.2.1 Emplacements des sites de mesure tubes à diffusion

La Figure 11 illustre le plan d'échantillonnage établi pour la mesure de la pollution atmosphérique dans l'air ambiant (sites bleus) et à l'intérieur des bâtiments (triangles verts).
Le LHVP a été chargé des mesures de qualité d'air à l'intérieur des 6 bâtiments sélectionnés (Cf. ANNEXE 2) et au niveau de leur environnement extérieur immédiat (balcon, façade…). Ces bâtiments ont été choisis selon leur situation géographique par rapport au Boulevard Périphérique et en tenant compte de leur fréquentation par des personnes sensibles (enfants, personnes âgées). Chaque bâtiment sélectionné a fait l'objet de plusieurs mesures à l'intérieur de différents logements, différents bureaux au sein de la Maison de Retraite ou encore de diverses salles de cours dans le Collège E. Galois (Cf. ANNEXE 3) afin d'étudier, d'une part, la qualité de l'air suivant que la pièce étudiée donne ou non sur le Boulevard Périphérique et, d'autre part, en fonction des étages (influence de la hauteur).

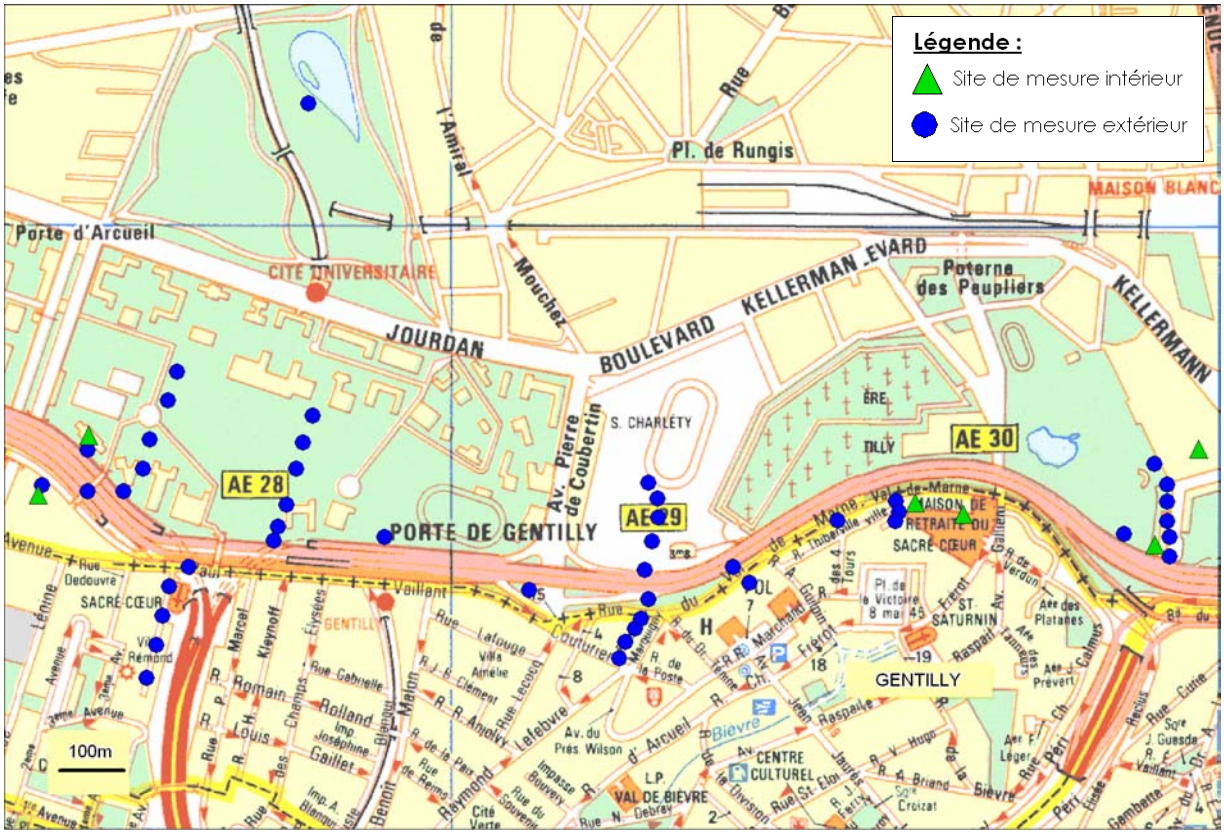
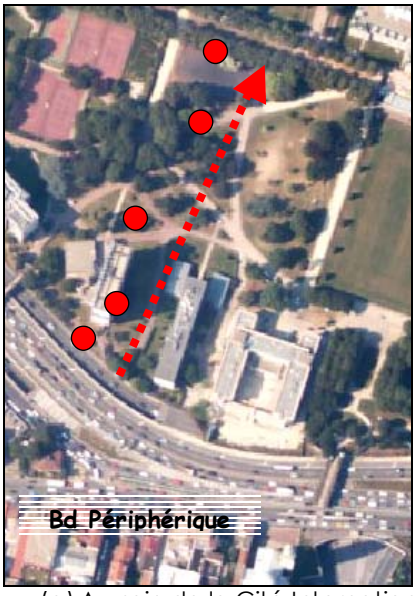


Figure 11 : Plan d'échantillonnage des sites de mesure instrumentés de tubes à diffusion pour la mesure du dioxyde d'azote et du benzène.

[23] NF ISO 13752 : « Évaluation de l'incertitude d'une méthode de mesurage sur site en utilisant une seconde méthode comme référence », 1998.
[24] « Caractérisation de la qualité de l'air au voisinage d'un échangeur autoroutier urbain. L'échangeur entre le Boulevard Périphérique et l'autoroute A3 au niveau de la Porte de Bagnolet », AIRPARIF, décembre 2004.
[25] Rapport européen de LIFE 99ENV/IT/081 : *Relazione finale, Resultati del progetto* (en italien).

Les sites instrumentés en air extérieur mise en œuvre lors de l'étude permettent de déterminer, pour le benzène et le dioxyde d'azote, l'impact et le rayon d'influence des émissions routières sur la qualité de l'air, notamment par l'équipement de plusieurs sites, installés perpendiculairement au Boulevard Périphérique, en s'éloignant progressivement de celui-ci (Cf. Figure 12).

A l'aide de ce dispositif de mesure mis en place par AIRPARIF et le LHVP, couplant l'air extérieur et l'air intérieur, l'influence du Boulevard Périphérique sur la qualité de l'air peut être étudiée du bord immédiat de l'axe jusqu'à l'intérieur des bâtiments.



(a) Au sein de la Cité Internationale dans un environnement plutôt dégagé

(b) Au sein de la commune de Gentilly dans un environnement plutôt dense

Figure 12 : Exemples de sites implanté dans le domaine d'étude lors de la campagne de mesure afin d'étudier l'influence spatiale du Boulevard Périphérique.

Outre le fait d'étudier l'évolution de la qualité de l'air au fur et à mesure que l'on s'éloigne du Boulevard Périphérique, les points de mesure illustrés sur la Figure 12 – b sont également implantés à environ 50 mètres du bord des premières voies de l'autoroute A6.a. Ces dernières sont en contre-bas du bâti pour rejoindre, via différents tunnels, le Boulevard Périphérique.

Les autres échantillonneurs passifs sont disposés soit au plus près du Boulevard Périphérique, en situation dite de proximité, soit au niveau des bâtiments voisins de cet axe et notamment ceux dont des mesures intérieures ont été réalisées. La mise en œuvre de plusieurs points de mesure le long du Boulevard Périphérique permet de caractériser la qualité de l'air sur différents tronçons de l'axe en fonction notamment de leurs spécificités.

Enfin, deux points de mesure spécifique ont été implantés, d'une part, sur une passerelle pour les piétons traversant le Boulevard Périphérique à hauteur de la CIUP et, d'autre part, en situation de fond (hors influence des sources de pollution locale) dans le Parc Montsouris afin de caractériser la qualité de l'air dans le secteur d'étude.

Au total, 74 sites de mesure instrumentés par des tubes à diffusion ont été installés dans la zone d'étude dont 18 à l'intérieur de six bâtiments plus ou moins proches du Boulevard Périphérique.

III.2.2 Emplacements des moyens de mesure automatique

Les mesure en air ambiant :

Simultanément aux mesures par tubes à diffusion, des mesures automatiques d'oxydes d'azote et de particules ont été réalisées sur cinq points de mesure dont deux à l'intérieur de bâtiments (Cf. Figure 13).

Tout d'abord, deux moyens mobiles de mesure ont été implantés au sein de la CUIP au plus près du Boulevard Périphérique : à savoir un premier site de mesure (Maison du Liban) implanté à environ 10 m de la première voie de circulation et un second (Maison Avicenne) installé à moins de 5 mètres de la sortie de l'autoroute A6.a située entre les Portes d'Orléans et de Gentilly. Ce site présente la spécificité d'être en sortie du tunnel d'accès au Boulevard Périphérique Intérieur et à une hauteur d'environ 6 mètres par rapport à cette voie. Par rapport aux voies principales du Boulevard Périphérique le laboratoire mobile est situé au même niveau.
Ces deux moyens de mesure automatiques permettent de suivre heure par heure l'évolution de la qualité de l'air à proximité du Boulevard Périphérique.

Un laboratoire mobile de mesure automatique a également été installé dans la CUIP à environ 120 m du Boulevard Périphérique. Il apparaît important de préciser que ce site temporaire n'est pas un site de mesure de la qualité de l'air de fond, c'est à dire un site non-influencé directement par des sources locales d'émissions, comme défini par les critères nationaux de surveillance édictés par l'ADEME et le Ministère de l'Écologie[26]. De par l'objectif même de l'étude, ce laboratoire mobile est sous l'influence du Boulevard Périphérique. Ce point de mesure correspond donc à une typologie dite « d'observation du trafic » car celui-ci ne respecte pas les critères nationaux de surveillance étant trop proche de l'axe pour être en situation de fond. Ainsi, les résultats enregistrés sur ce moyen mobile représentent la qualité de l'air dans une situation influencée par les émissions dues au trafic routier du Boulevard Périphérique. Il permet de caractériser l'influence de l'axe à une distance d'environ 120 m.

Les Mesures automatiques à l'intérieur de bâtiments :

Afin d'étudier finement l'impact du Boulevard Périphérique jusqu'à l'intérieur des locaux, deux bâtiments ont fait l'objet de mesure à l'aide d'analyseurs automatiques parallèlement à l'intérieur et à l'extérieur immédiat de ceux-ci.

Des mesures horaires ont été ainsi enregistrées dans une Maison de Retraite située à environ 40 mètres au Sud en contre bas du Boulevard Périphérique. Ce dernier est surélevé par rapport à la chaussée et « protégé » par un mur anti-bruit. Et un second bâtiment a été équipé de moyens automatiques au Collège E. Galois situé quant à lui à environ 200 mètres au Nord du Boulevard Périphérique.

Ces deux sites de mesure étaient installés au rez-de-chaussée des bâtiments étudiés ; dans un bureau au sein de la Maison de retraite et dans une salle EPS dans le Collège E. Galois.

[26] « Classification et critères d'implantation des stations de surveillance de la qualité de l'air », document ADEME, juin 2002.

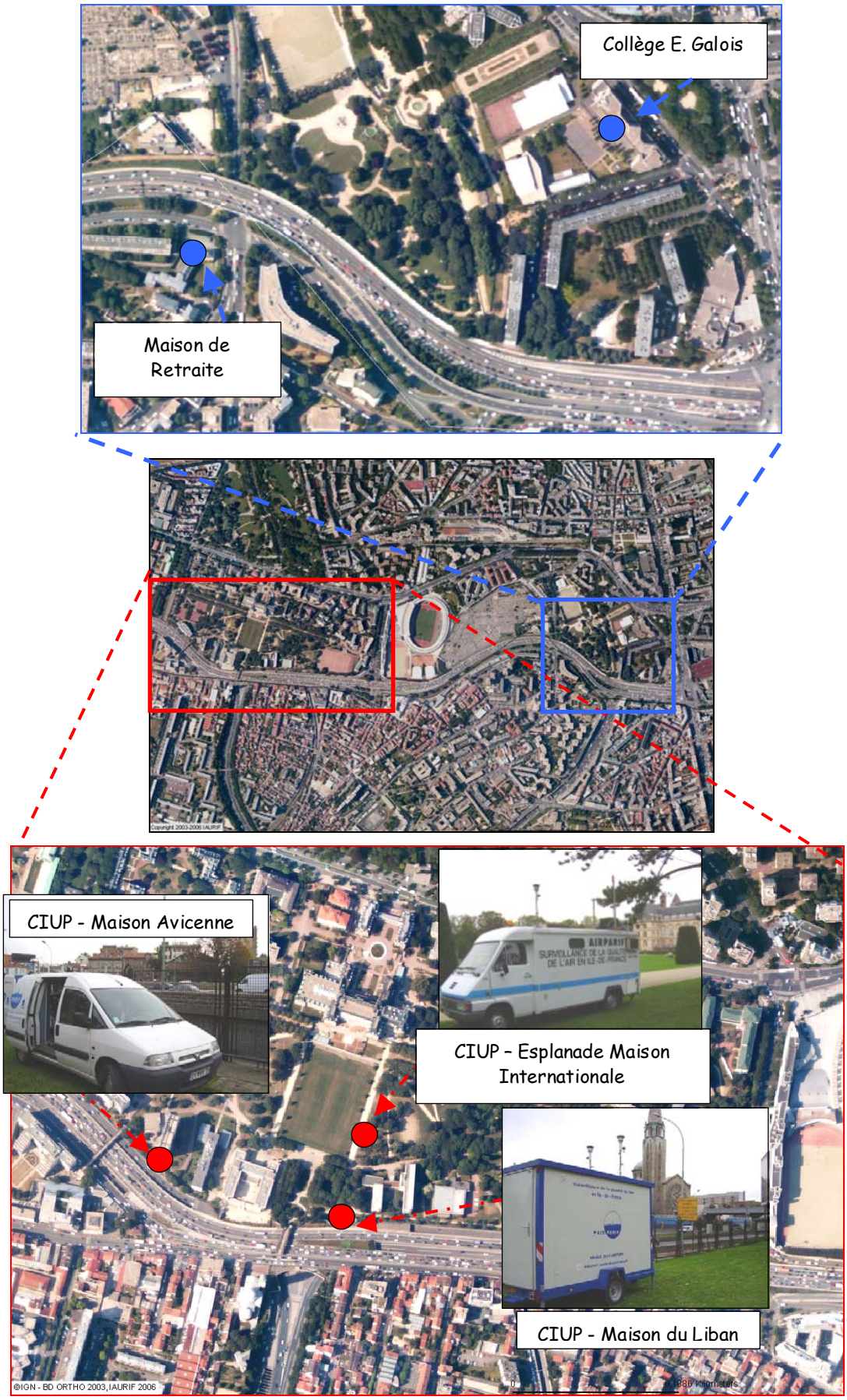


Figure 13 : Localisation des moyens de mesure automatique dans l'air ambiant au sein de la CIUP et à l'intérieur de deux bâtiments.

III.3 Période de mesure

Les mesures de pollution atmosphérique par analyseurs automatiques et par tubes à diffusion passive ont été réalisées simultanément du 24 octobre au 21 novembre 2006.

Cette campagne de quatre semaines a permis le suivi horaire des polluants 24h/24 à l'aide des moyens automatiques et la mesure de quatre séries consécutives par échantillonneurs passifs d'une période d'une semaine, comme indiqué dans le Tableau 1.

La période de mesure hivernale a été retenue sachant que les conditions météorologiques observées durant cette saison peuvent être plus souvent favorables à l'accumulation de la pollution atmosphérique qu'en période estivale. En effet, 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.

De plus, les émissions des polluants retenus pour cette étude sont, au cours des mois d'octobre et de novembre, représentatives d'un mois moyen[27].

N° de Série	Période de mesure par tubes à diffusion
1	Du 24 octobre au 31 octobre 2006
2	Du 31 octobre au 7 novembre 2006
3	Du 7 novembre au 14 novembre 2006
4	Du 14 novembre au 21 novembre 2006

Tableau 1 : Période de mesure des quatre séries de mesure par tubes à diffusion.

Chaque tube à diffusion a été installé sur site le premier jour et retiré le dernier jour de chaque série afin d'harmoniser la période d'exposition sur l'ensemble des sites, aussi bien à l'intérieur des bâtiments qu'en air ambiant extérieur. Ainsi après une analyse en laboratoire des tubes à diffusion, une concentration moyenne de dioxyde d'azote et de benzène est obtenue sur la période d'exposition d'une semaine.

[27] 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)

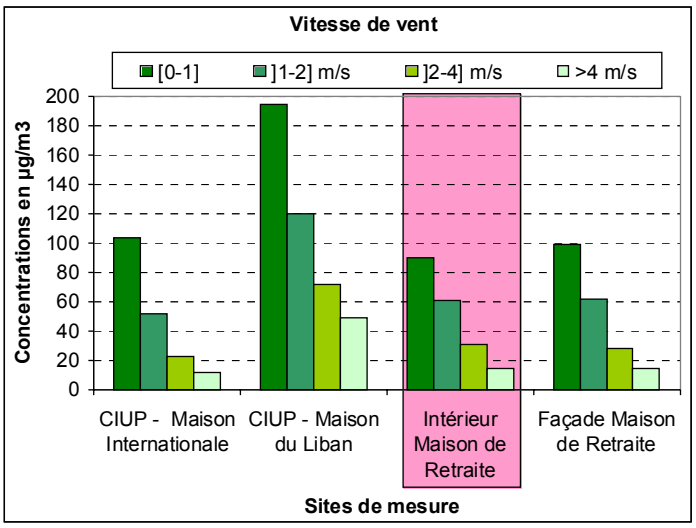
IV. COMMENTAIRES METEOROLOGIQUES

Les commentaires suivants s'appuient sur les observations (vitesse et direction de vent) de la station Météo-France située à Montsouris dans le 14ème arrondissement de Paris.

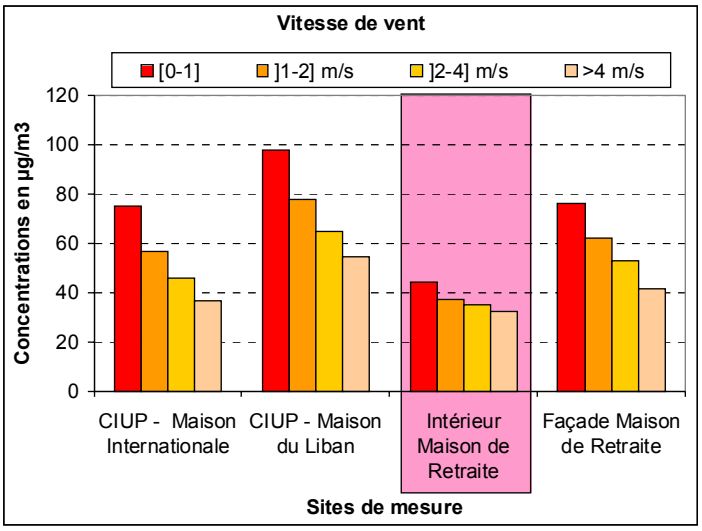
Une appréciation préliminaire des conditions météorologiques rencontrées lors de la campagne de mesure permet de mieux appréhender leur influence sur les niveaux de pollution atmosphérique observés du 24 octobre 2006 au 21 novembre 2006.
En effet, les conditions météorologiques jouent un rôle très important de dispersion ou d'accumulation des polluants atmosphériques émis, dans la mesure où 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 la hauteur de la couche de mélange, les inversions de température ou la vitesse du vent. Tandis que les deux premiers favorisent l'accumulation de la pollution et permettent d'appréhender la stabilité verticale de l'atmosphère, au contraire la vitesse de vent 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 1 m/s), alors que la vitesse moyenne observée en Île-de-France est voisine de 3 m/s.

En conséquence, comme le montre la Figure 14 pour les données horaires observées par les moyens de mesure automatiques[28], les niveaux de pollution diminuent lorsque les conditions de dispersion s'améliorent avec un brassage de l'air de plus en plus favorable. Au contraire, lors de période de vents faibles, les concentrations d'oxydes d'azote (monoxyde d'azote – a -et dioxydes d'azote -b -)et de particules (PM10 – c – et PM2.5 – d -) sont plus importantes du fait de la stabilité de l'atmosphère, ce qui se traduit par une accumulation de la pollution.

Ce constat est vrai sur le site de mesure le plus éloigné du Boulevard Périphérique (Esplanade Maison Internationale - CIUP), sur les sites implantés à proximité immédiate de cet axe comme à l'intérieur du bâtiment situé le long de celui-ci. Cela montre le lien entre l'air extérieur et celui retrouvé à l'intérieur des locaux comme cela a été mesuré dans les locaux de la Maison de Retraite.

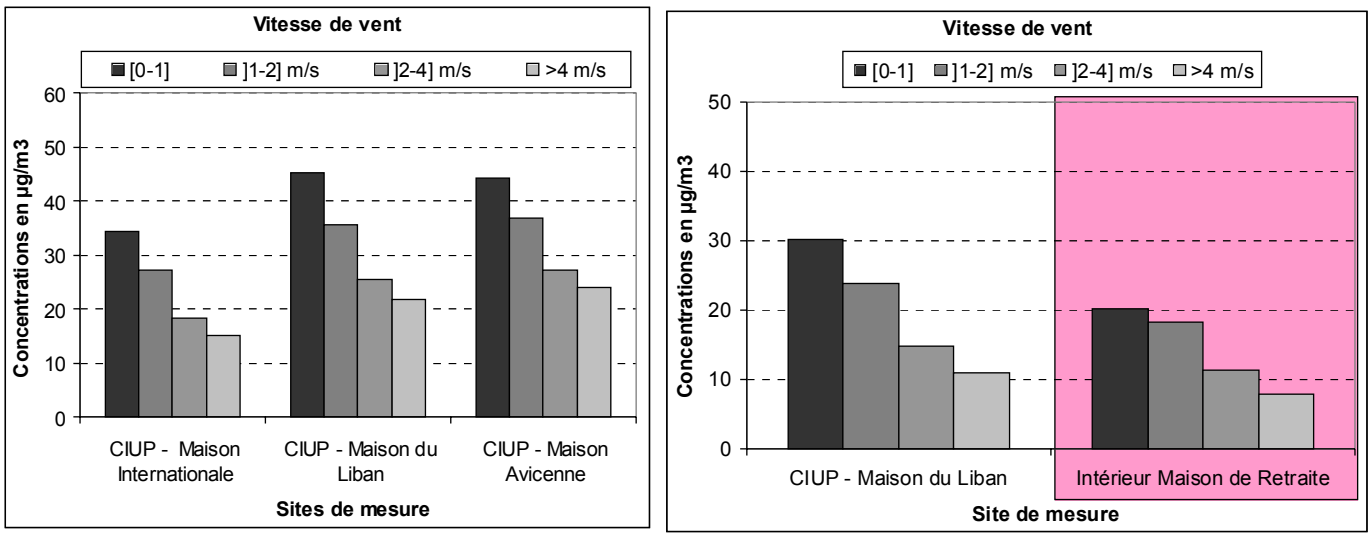


(a) NO



(b) NO_2

[28] Pour des raisons techniques, les mesures des oxydes d'azote sur le site automatique localisé à proximité du Boulevard Périphérique (Maison Avicenne) n'ont pu être réalisées. De plus, suite à une dérive de l'analyseur automatique du Collège E. Galois, ces mêmes polluants ne peuvent être étudiés.



(c) PM10 (d) PM2.5

Figure 14 : Niveaux de pollution en fonction de la vitesse de vent durant la campagne sur les sites de mesure instrumentés de moyens automatiques.

Le rôle de la vitesse de vent sur les concentrations de pollution atmosphérique est déjà bien connu et documenté au travers de nombreuses études et campagnes de mesure ayant fait l'objet de mesures automatiques. Toutefois, grâce au moyen de mesure mis en œuvre dans la Maison de Retraite, il est également montré que la qualité de l'air intérieur peut également être fonction des conditions météorologiques et montre ainsi le lien entre l'air ambiant et l'air relevé à l'intérieur d'un bâtiment.

***Conditions météorologiques lors de la campagne de mesure* :**

La Figure 15 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 rouge indiquent les vents les plus faibles (vitesses de vent comprises entre 0.1 et 2 m/s) et en jaune les régimes de vents les plus dispersifs (vitesses de vent supérieures à 4 m/s).

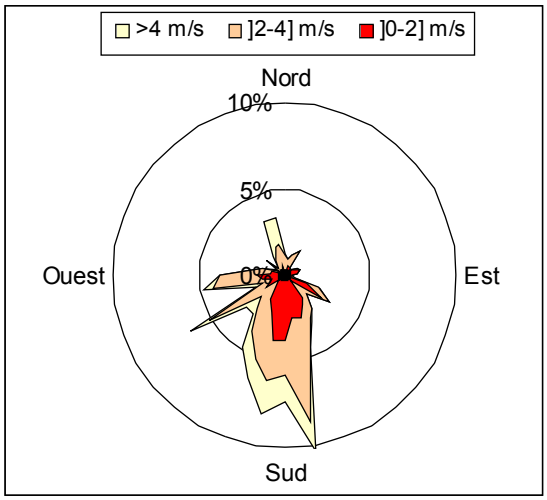


Figure 15 : Fréquence (en %) des vents observés à Montsouris – Paris XIVème - en fonction de leur secteur et leur vitesse lors de la campagne de mesure du 24 octobre au 21 novembre 2006 (Source : d'après Météo-France).

En terme de vent, la campagne de mesure se caractérise par une nette prédominance de vents de secteur « Sud » puisque celui-ci a été observé durant 50 % du temps. Ce régime a principalement été observé au cours de la première et de la quatrième série de mesure avec respectivement 50 % et 75 % du temps.
Avec des régimes de vent majoritairement de secteur « Sud », la partie Nord du Boulevard Périphérique est le plus souvent sous l'influence des émissions de l'axe. A *contrario*, par vent de secteur « Nord » le domaine d'étude situé dans la commune de Gentilly est soumis à l'impact du trafic du Boulevard Périphérique.

La seconde série de mesure a enregistré pour ça part des régimes de vents plus contrastés entre des directions « Nord » à hauteur de 40 % et de « Sud » pendant un tiers du temps.

Il est à noter qu'en Île-de-France, à l'échelle d'une année, le secteur de vent dominant est de Sud-Ouest et secondairement de Nord-Est avec respectivement 40 % et 25 % du temps[29], d'où une sur-représentation des régimes de « Sud » durant cette campagne au détriment des vents de « Nord ».

Concernant les vitesses de vent observées lors de la campagne, les conditions dispersives ont été plutôt favorables au brassage atmosphérique avec une moyenne de 2.7 m/s, soit par rapport à un historique de cinq ans sur la même période, des conditions de dispersion comparables (2.8 m/s entre 2001 et 2005).
Lors de la campagne, les vitesses de vent suivant les semaines de mesure ont été très différentes avec des conditions de dispersions défavorables à très favorables. Ainsi, la seconde série présente les conditions atmosphériques les plus stables (faible vitesse de vent) avec en moyenne une vitesse de vent de 2.2 m/s ; les plus faibles vitesses sont observées lorsque les vents proviennent du secteur Sud puisque la quasi totalité des vitesses de vent inférieures ou égales à 2 m/s a été enregistrée pour cette direction. Au contraire, la quatrième série, avec 3.5 m/s, a été marquée par des vents permettant un brassage plus important de l'atmosphère.
Ces conditions plus ou moins dispersives suivant les séries de mesure conduisent à observer en situation de fond (Parc Montsouris) des niveaux moyens de pollutions différents. Ainsi, la seconde série, qui présente les conditions atmosphériques les plus stables, se caractérise par des niveaux de dioxyde d'azote et de benzène les plus forts ; à la différence de la quatrième série où les concentrations moyennes de ces polluants sont les plus faibles (conditions atmosphériques les plus dispersives).

De plus, 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 vents, 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, notamment fourni à AIRPARIF dans le cadre de ses missions réglementaires de prévision quotidienne de la qualité de l'air, varie entre -5 et +5. Plus l'indicateur est fort et plus les phénomènes de stabilité et d'accumulation sont forts, et donc la dispersion des polluants est faible. Cet indicateur de Météo-France confirme aussi le rôle des conditions météorologiques sur les concentrations mesurées avec par exemple lors de la quatrième série de mesure des indicateurs journaliers négatifs (conditions météorologiques où le brassage de l'atmosphère est important) ce qui se caractérise par de faibles niveaux de pollution.

L'ensemble des roses de vents et des indices météorologiques pour les quatre séries de mesure est présenté à l'ANNEXE 4.

La dispersion des polluants grâce aux conditions météorologiques favorables au cours de la campagne de mesure est également reflétée par l'indice ATMO (Cf. ANNEXE 5) de la qualité de l'air.

[29] Source Météo-France – année 2006-2007.

La Figure 16 illustre l'indice ATMO relevé lors de la campagne de mesure.

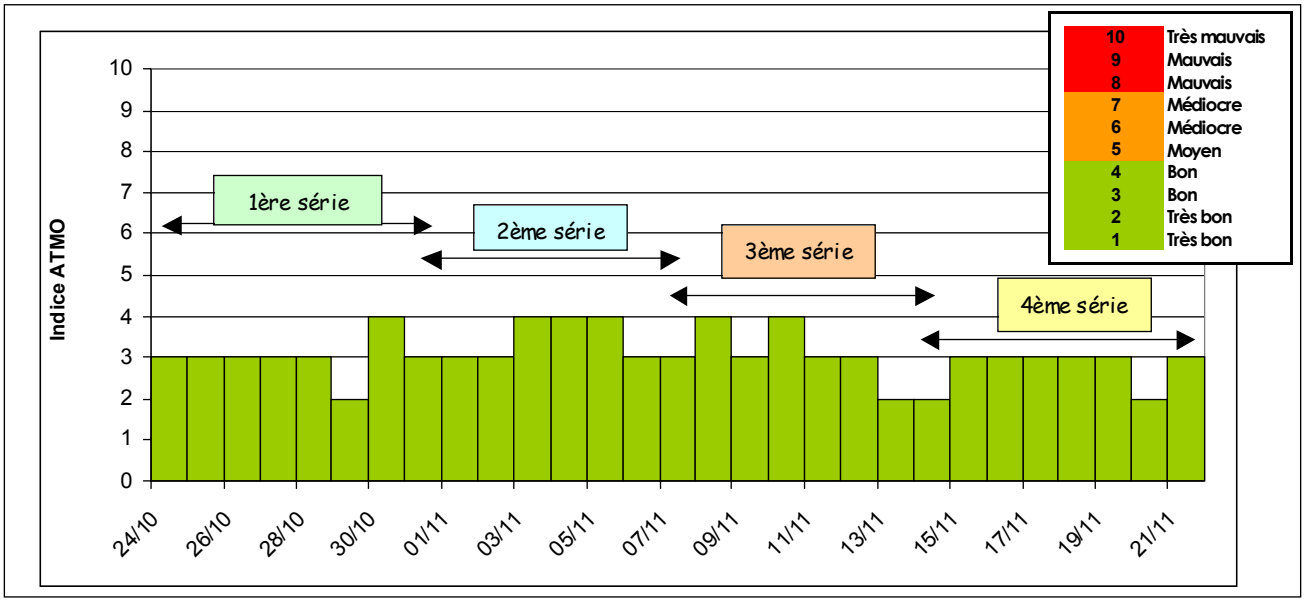


Figure 16 : Évolution de l'indice ATMO au cours de la campagne de mesure du 24 octobre au 21 novembre 2006.

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.

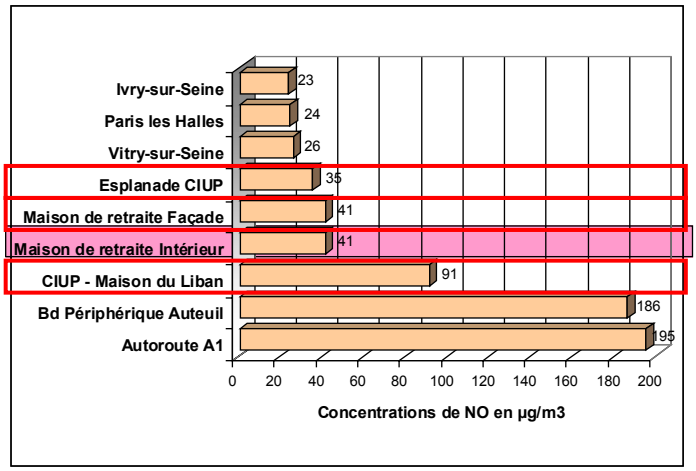
L'indice fait apparaître une « bonne » qualité de l'air dans l'agglomération parisienne (de 1 à 4) durant la totalité des quatre semaines. Plus précisément, celui-ci était qualifié de « très bon » (1 à 2) durant 14 % du temps, soit 4 jours, et de « bon » (sous-indice de 3 à 4) pendant le reste du temps.

V. VARIABILITE DE LA QUALITE DE L'AIR DANS LE SECTEUR DE LA PORTE DE GENTILLY

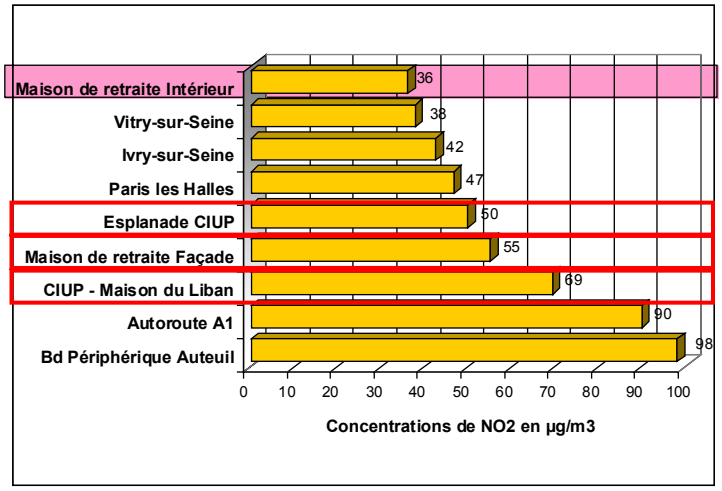
IV.1 Qualification des niveaux moyens observés

Afin de caractériser la qualité de l'air relevée sur les sites automatiques de mesure, il est intéressant dans un premier temps de positionner les niveaux de pollution enregistrés durant la campagne de mesure par rapport aux teneurs relevées sur des stations fixes du réseau AIRPARIF, situées d'une part non loin du domaine d'étude et d'autre part représentatives d'environnements caractéristiques (axe routier important, niveau de fond parisien).

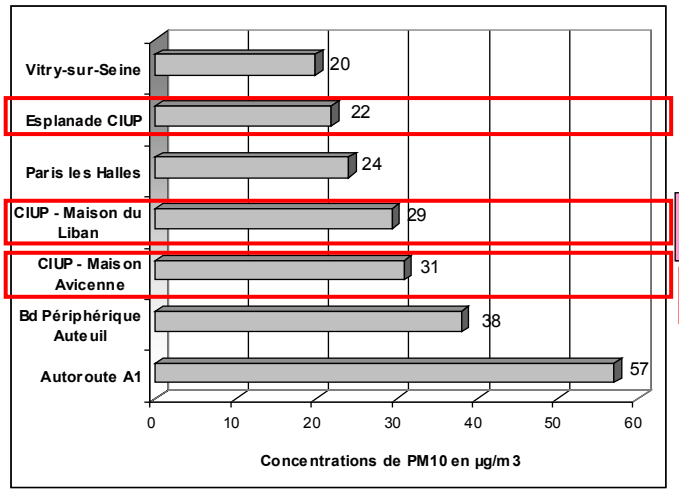
La Figure 17 présente, pour les différents polluants mesurés en air extérieur et à l'intérieur des locaux de la Maison de Retraite, les niveaux moyens enregistrés du 24 octobre au 21 novembre 2006 dans le domaine d'étude et sur plusieurs stations fixes AIRPARIF.



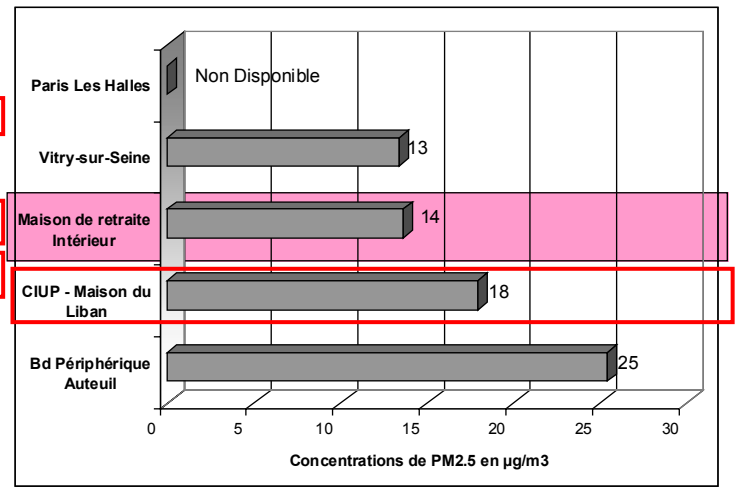
(a) Monoxyde d'azote - NO



(b) Dioxyde d'azote – NO_2



(c) Particules PM10



(d) Particules PM2.5

Figure 17 : Concentrations moyennes de polluants mesurés sur les sites automatiques temporaires comparées à celles enregistrées sur certaines stations permanentes du réseau fixe d'AIRPARIF lors de la campagne.

Il s'agit pour les stations de fond, des stations urbaines de Paris 1er Les Halles, renseignant les niveaux de pollution atmosphérique dans le cœur de Paris, d'Ivry-sur-Seine[30] et de Vitry-sur-Seine[31]. Les stations de proximité au trafic routier présentées afin de comparer les niveaux de pollution à ceux des moyens automatiques mis en oeuvre sur le domaine d'étude sont les stations fixes du Boulevard Périphérique à hauteur de la Porte d'Auteuil (246 000 véhicules par jour) et de l'autoroute A1 (228 800 véhicules par jour[32]), axes représentatifs des grandes voies de circulations de la région francilienne.

Le suivi des particules PM10 n'est pas réalisé sur la station de mesure d'Ivry-sur-Seine. Ainsi, les stations de Paris Les Halles et de Vitry-sur-Seine sont les stations de référence pour les PM10 et les PM2.5[33]. En situation de proximité au trafic routier, seule la station du Boulevard Périphérique à hauteur de la Porte d'Auteuil mesure les particules les plus fines (PM2.5).

Pour le **monoxyde d'azote** (NO), polluant primaire car directement rejeté dans l'atmosphère par les sources d'émissions telles que les véhicules, les laboratoires mobiles implantés à la CIUP présentent des niveaux compris entre les stations de références de fond et de proximité au trafic routier.
La hiérarchie des concentrations moyennes observées en monoxyde d'azote sur le domaine d'étude évolue en fonction de l'éloignement du Boulevard Périphérique. On retrouve ainsi le site de l'Esplanade de la CIUP (120 m du Boulevard Périphérique) avec un niveau moyen légèrement supérieur à celui de fond défini par les stations de référence de Paris Les Halles et de la Petite Couronne, du fait de l'influence du Boulevard Périphérique. En ce rapprochant de ce dernier, les niveaux moyens de NO augmentent pour atteindre 41 µg/m³ à la Maison de Retraite (40 mètres) et 91 µg/m³ au plus près (10 mètres) du Boulevard Périphérique à hauteur de la Maison du Liban. Ces concentrations sont largement inférieures à ce que l'on mesure sur la même période à proximité de l'Autoroute A1 et au droit du Boulevard Périphérique à la Porte d'Auteuil. La configuration du Boulevard Périphérique à hauteur de la Maison du Liban, l'éloignement du point de mesure temporaire à la première voie de circulation, ainsi que le nombre de véhicules, largement inférieur au tronçon du Boulevard Périphérique à hauteur de la Porte d'Auteuil, peuvent expliquer ces niveaux plus faibles (Cf. chapitre *IV.3* Variabilité des niveaux de pollution le long du Boulevard Périphérique et Figure 24).
Il est à noter que le niveau moyen de NO relevé à l'intérieur du bâtiment de la Maison de Retraite est similaire à celui enregistré au même endroit en air extérieur.

Comme pour le monoxyde d'azote, les niveaux moyens de **dioxyde d'azote** (NO_2) sur les sites automatiques sont bornés par les stations de référence de fond (borne basse) et de proximité au trafic routier (borne haute). Il apparaît ainsi des niveaux moyens qui augmentent en se rapprochant du Boulevard Périphérique avec au plus près du trafic routier (Maison du Liban) une concentration moyenne de NO_2 de 69 µg/m³, puis en façade de la Maison de Retraite 55 µg/m³ et enfin sur l'Esplanade de la CIUP, site le plus éloigné de l'axe, une teneur de 50 µg/m³. Ce dernier, localisé à 120 mètres du Boulevard Périphérique, a enregistré des niveaux de NO_2 plus élevés que ceux observé au cœur de Paris en situation de fond sachant que l'influence du trafic routier est encore manifeste à une telle distance.
Les mesures réalisées à l'intérieur de la Maison de Retraite affichent une teneur moyenne de NO_2 nettement plus faible que celle enregistrée à l'extérieur de ce même bâtiment, à savoir 36 µg/m³ contre 55 µg/m³. Contrairement au monoxyde d'azote, la concentration moyenne de NO_2 à l'intérieur de la Maison de retraite est 35 % inférieure à ce que l'on observe à l'extérieur.

Concernant les **particules PM10**, seuls les moyens automatiques extérieurs ont mesuré ce polluant. A 120 m du Boulevard Périphérique, le niveau moyen sur l'Esplanade de la CIUP est inférieur à celui de fond de Paris les Halles, contrairement aux oxydes d'azote (NO et NO_2). Le

[30] Ivry-sur-Seine (94) : 23, rue Jean Jacques Rousseau.
[31] Adresse : 103, rue P. Armagot – 94 400 Vitry-sur-Seine –
[32] Source : Direction Départementale de l'Équipement de la Seine-Saint-Denis (93).
[33] La station fixe de Paris Les Halles mesure en continu les particules PM2.5 mais durant la campagne de mesure le taux de fonctionnement a été trop faible (65 %) pour être représentatif.

laboratoire mobile de la Maison Avicenne a observé des teneurs de PM10 plus fortes (31 µg/m^3) que celles mesurées à la Maison du Liban (29 µg/m^3) du fait notamment d'un nombre de voies du Boulevard Périphérique plus faible au niveau de ce site. Au droit du Boulevard Périphérique à hauteur de la Porte d'Auteuil, la moyenne de la station fixe de mesure sur la campagne est de 38 µg/m^3, soit une teneur supérieure de 23 % à celle de la Maison Avicenne. La différence à la fois du nombre de véhicules journalier sur ces différents tronçons du Boulevard (246 000 contre 111 000 véhicules[7]) et de la configuration topographique de l'axe à hauteur de la Maison Avicenne peuvent expliquer les différences de concentrations de PM10 enregistrées lors de la campagne de mesure (Cf. Chapitre IV.3 et Figure 25).

Les **particules PM2.5**, ont été mesurées à l'intérieur de la Maison de Retraire et à proximité du Boulevard Périphérique à hauteur de la Maison du Liban. Le niveau moyen de PM2.5 mesuré à l'intérieur de la Maison de Retraite est comparable à ce que l'on observe en situation de fond à la station fixe de Vitry-sur-Seine. A proximité du Boulevard Périphérique, l'influence du trafic routier entraîne des niveaux plus élevés avec 18 µg/m^3 et 25 µg/m^3 respectivement à hauteur de la Maison du Liban et de la Porte d'Auteuil.

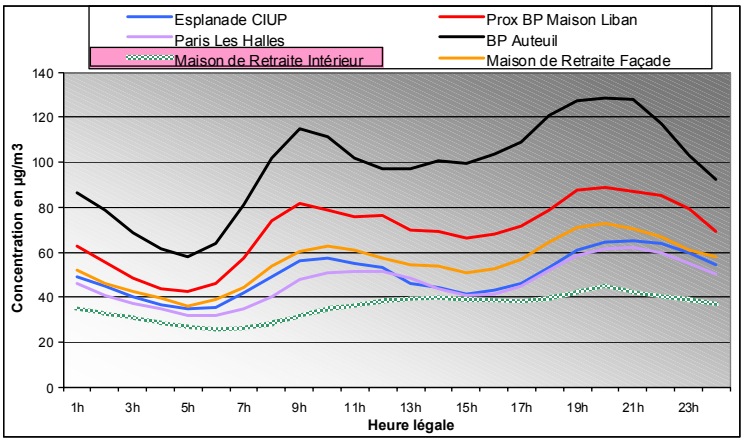
Une analyse plus approfondie des données relatives à l'air intérieur des bâtiments est réalisée au chapitre VII ce qui permet notamment d'étudier le transfert des polluants de l'extérieur vers l'intérieur des bâtiments.

IV.2 *Évolution temporelle des niveaux de pollution atmosphérique*

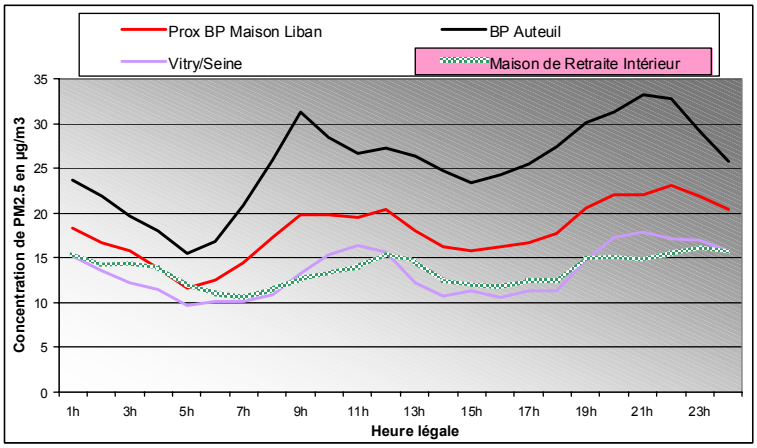
Les profils journaliers des concentrations enregistrées lors de la campagne de mesure à l'aide des moyens automatiques permettent d'illustrer les variations de la qualité de l'air au cours de la journée. La comparaison entre ces profils et ceux relevés sur certaines stations fixes du réseau permanent d'AIRPARIF de différentes typologies permet de mettre en évidence d'éventuelles singularités le long du tronçon du Boulevard Périphérique étudié ou à l'intérieur du bâtiment de la Maison de Retraite.

La Figure 18 illustre les profils journaliers moyens pour le dioxyde d'azote (a) et les particules PM2.5 (b) relevés durant la campagne de mesure sur les moyens automatiques (air intérieur et air extérieur), au cœur de Paris (Paris Les Halles), à proximité du trafic routier du Boulevard Périphérique (Porte d'Auteuil) et à la station de fond de référence pour les PM2.5 situées à Vitry-sur-Seine.

L'ensemble des sites de mesure présente un profil journalier comparable avec un comportement « bimodal » des niveaux de pollution. Autrement dit, les profils journaliers sont caractérisés par une évolution présentant deux maxima durant la journée avec des concentrations de pollution les plus importantes le matin et en fin d'après-midi. Ce comportement des concentrations de polluants au cours de la journée est essentiellement lié aux pointes de trafic routier du matin et du soir (déplacements pendulaires « domicile-travail ») qui engendrent des émissions plus importantes.



(a) Dioxyde d'azote



(b) Particules PM2.5

Figure 18 : Profils journaliers moyens des concentrations de polluants atmosphériques relevées lors de la campagne de mesure du 24 octobre au 21 novembre 2007 sur les sites de mesure temporaires et sur certaines stations fixes du réseau AIRPARIF.

Comme précisé précédemment, l'importance des niveaux de pollution est principalement fonction de la distance des points de mesure par rapport à la proximité de l'axe et de la densité du trafic routier. Les niveaux de pollution au plus près du Boulevard périphérique sont ainsi les plus élevés puis une décroissance est identifiée en s'éloignant de l'axe.

Les autres polluants mesurés lors de la campagne automatique sont illustrés à l'ANNEXE 6. Les profils journaliers moyens de monoxyde d'azote et de particules PM10 présentent le même comportement bimodal mais avec une dynamique des teneurs différentes au cours de la journée suivant les sites de mesure comme pour les polluants étudiés précédemment.

Zoom sur les profils journaliers relevés en air intérieur :

Les données d'oxydes d'azote (NO et NO_2) et de particules PM2.5, obtenues au moyen d'analyseurs automatiques installés dans les deux bâtiments étudiés, ont été exploitées pour tracer les profils temporels moyens journaliers sur les quatre semaines d'étude. Ainsi, la comparaison des profils moyens journaliers des concentrations mesurées, simultanément dans les locaux et dans l'air extérieur immédiat, permet d'étudier globalement le comportement des polluants transférés de l'air extérieur à l'intérieur des bâtiments au cours de la journée.
Lors de la campagne, aucune source intérieure d'oxydes d'azote n'a été identifiée dans les pièces instrumentées dans la Maison de Retraite et dans le Collège E. Galois.

Les niveaux des polluants mesurés à l'intérieur des pièces étudiées suivent les teneurs extérieures avec un léger déphasage temporel.
Une analyse plus approfondie des niveaux de pollution relevés à l'intérieur des locaux et à l'extérieur des ces mêmes bâtiments a été réalisée pour chaque polluant.

Il est à noter qu'un problème technique est survenu entraînant une dérive sur l'appareil réalisant les mesures au Collège E. Galois. Ainsi, s'il n'est pas possible d'étudier les concentrations absolues enregistrées sur ce site. Cependant une étude relative entre l'air mesuré à l'intérieur et à l'extérieur peut être réalisée.

On constate que le profil moyen journalier des teneurs en **monoxyde d'azote** (Cf. Figure 19) dans l'air extérieur est reproduit à l'intérieur des 2 sites étudiés, avec un déphasage des teneurs maximales de l'ordre de 1 heure et avec un amortissement très faible des concentrations.

Pour la Maison de Retraite, la teneur moyenne maximale extérieure de 66 µg/m³ apparaît le matin à 10h et à 11h au niveau du site intérieur avec une teneur de 61 µg/m³.

Pour le Collège E. Galois, le pic de concentration observé dans l'air extérieur en début de matinée, entre 9h et 11h, est plus étalé. La teneur la plus élevée est mise en évidence au niveau du site intérieur entre 10h et 12h.

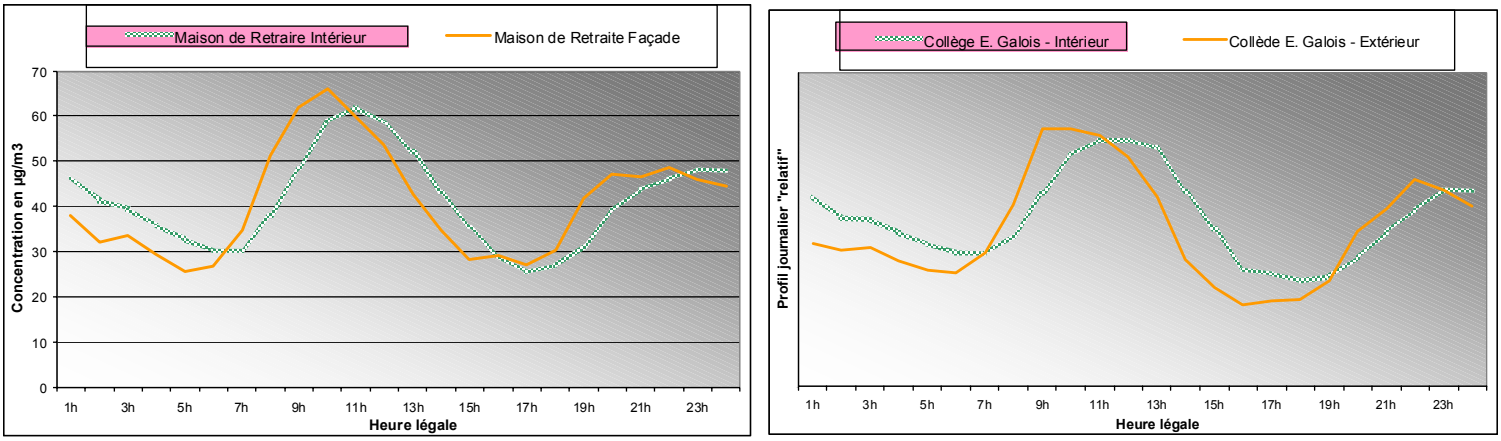


Figure 19 : Profils moyens journaliers en NO dans l'air intérieur et extérieur des sites étudiés dans la Maison de Retraite et dans le Collège E. Galois.

Concernant **le dioxyde d'azote** (Cf. Figure 20), contrairement à NO, un amortissement important des teneurs extérieures est observé à l'intérieur des deux sites étudiés. En effet, le NO_2 est un gaz réactif qui peut s'adsorber sur les surfaces rencontrées, qu'il s'agisse du mobilier et des matériaux divers utilisés pour la décoration des murs et des sols.

Les courbes indiquent 2 pics de concentration de NO_2, le matin vers 8h et le soir, vers 20h –21h, le pic du soir étant plus intense que celui du matin.

L'étendue des teneurs moyennes journalières en NO_2 est beaucoup plus faible dans l'air intérieur (Maison de Retraite : 26 à 45 µg/m³) par rapport à celle relative aux concentrations de l'air environnant (Maison de Retraite : 36 à 73 µg/m³).

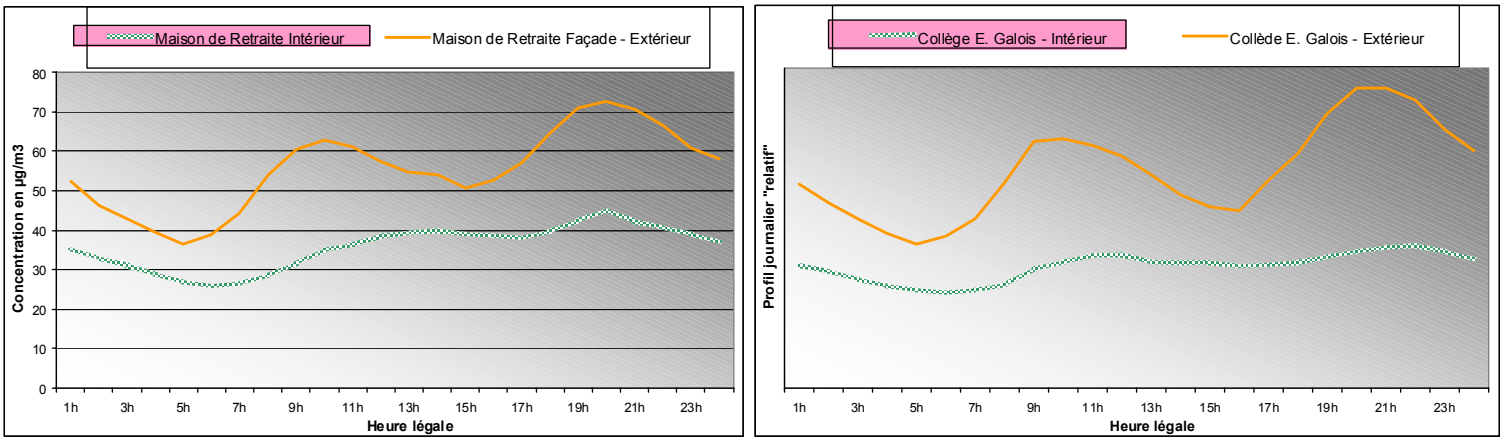


Figure 20 : Profils moyens journaliers en NO_2 dans l'air intérieur et extérieur des sites étudiés dans la Maison de Retraite et dans le Collège E. Galois.

Au moment des pics en NO_2 dans l'environnement extérieur, la différence avec l'air mesuré au même moment à l'intérieur est compris entre 38 et 44 % dans la Maison de Retraite et entre 50 % et 55 % au Collège E. Galois.

A titre uniquement d'information, les données extérieures **particules PM2.5** issues de l'analyseur du camion laboratoire situé, à une distance d'environ 1.1 km, ont été mises en correspondance avec celles de l'analyseur présent sur le site intérieur de la Maison de Retraite. Pour mémoire le point de mesure en air extérieur est situé à une dizaine de mètre du Boulevard Périphérique, à hauteur de la Maison du Liban. Il ne représente donc pas l'air extérieur immédiat que l'on observe au niveau de la Maison de Retraite.

La Figure 21 illustre les profils moyens journaliers obtenus sur ces deux sites de mesure.

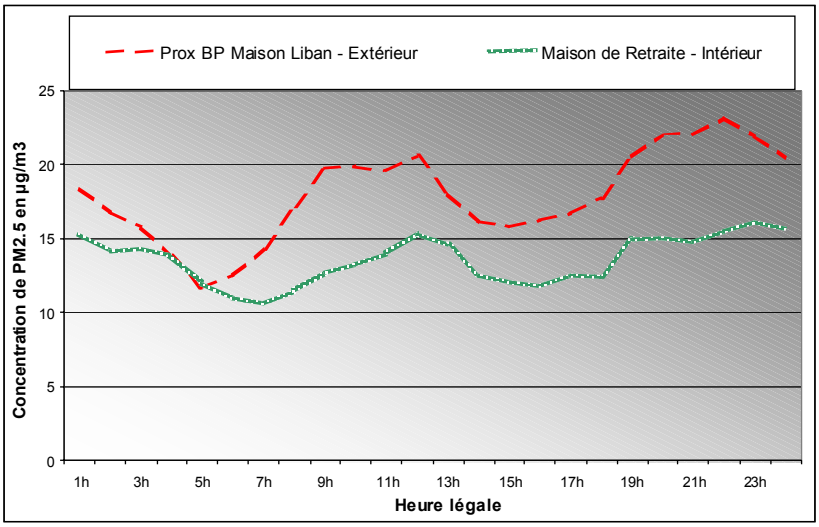


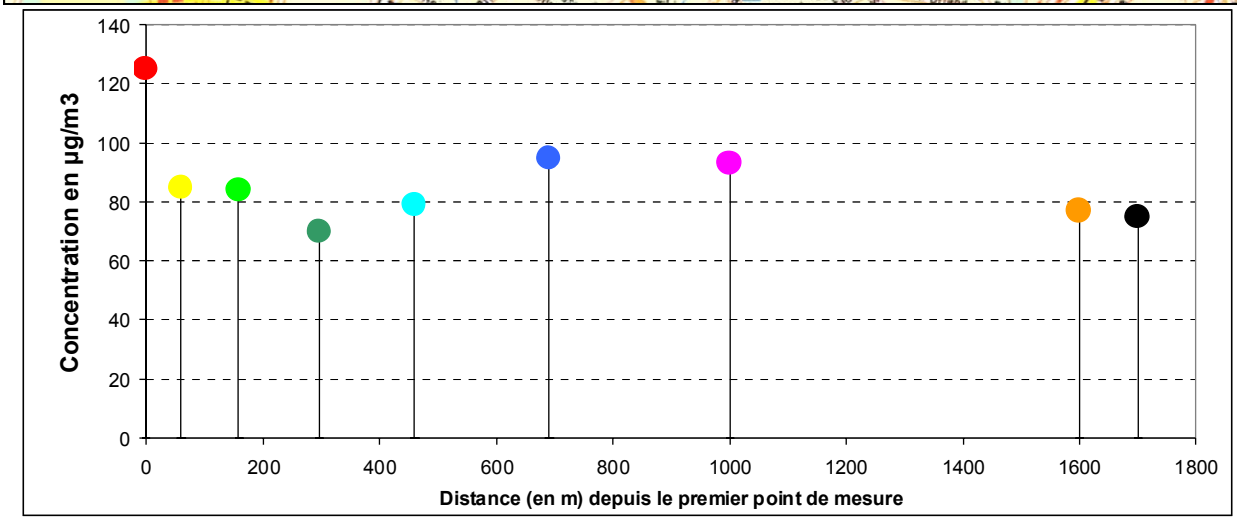
Figure 21 : Profils moyens journaliers des teneurs en particules PM2.5 dans l'air intérieur et extérieur des sites étudiés dans la Maison de Retraite.

Les pics de concentration de PM2.5 dans l'air extérieur sont étalés sur plusieurs heures, entre 9h et 12h le matin et entre 20h et 22h le soir. Pendant ces périodes les plus fortes, la différence de niveaux constatée à l'intérieur de la Maison de Retraite est de l'ordre de 30 %. Au même titre que pour les oxydes d'azote, on note que la relation entre les concentrations intérieures et celles prises en référence (Maison du Liban) est également forte avec un déphasage d'une heure.

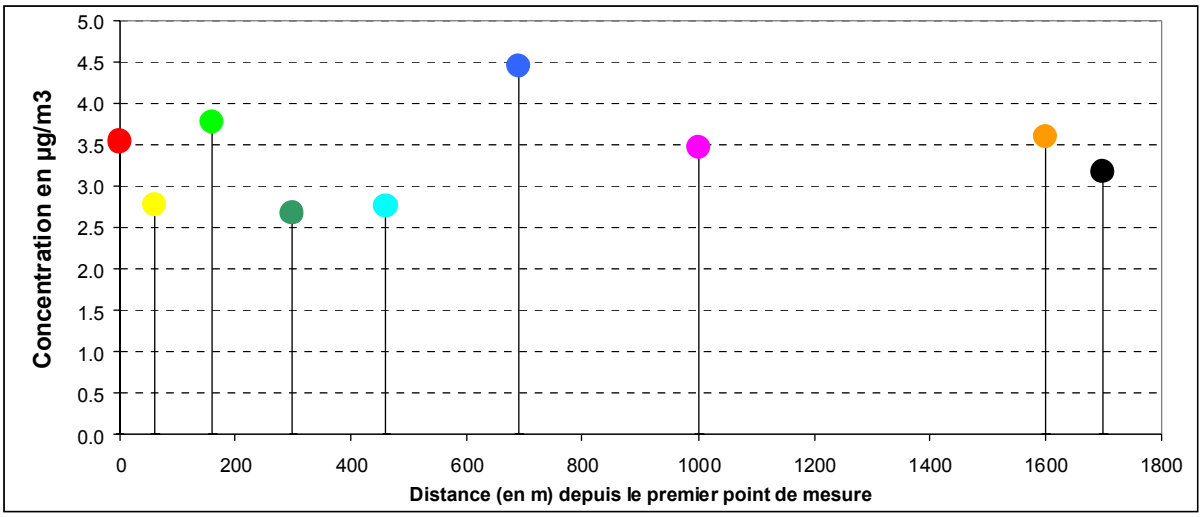
Le suivi simultané des concentrations extérieures et intérieures met en évidence un déphasage et un amortissement des pics de concentration. Les polluants de l'air extérieur pénètrent dans les locaux par les ouvrants (portes et fenêtres), les dispositifs de ventilation et, en partie, par les défauts d'étanchéité du bâti.
Dans les pièces étudiées, le délai de transfert de l'air extérieur à l'intérieur des locaux est de l'ordre d'une heure pour les différents polluants mesurés. Ce déphasage ne peut pas être généralisé aux bâtiments proches des grands axes de circulation sachant qu'il dépend des caractéristiques de chacun d'eux notamment du taux de renouvellement d'air.
Enfin, les niveaux de NO_2 mesurés à l'intérieur des locaux sont systématiquement inférieurs à ce que l'on observe au cours de la journée à l'extérieur.

IV.3 *Variabilité des niveaux de pollution le long du Boulevard Périphérique*

La zone d'étude au pourtour du Boulevard Périphérique concerne un tronçon du Boulevard Périphérique d'une longueur d'environ 1,7 kilomètres entre les Portes d'Arcueil et d'Italie. Le long de ce tronçon, neuf sites ont été implantés au plus près de l'axe afin de caractériser la qualité de l'air.



(a) Dioxyde d'azote – NO_2



(b) Benzène

Figure 22 : Concentrations de NO_2 et de benzène au bord du trafic routier le long des 1.7 kilomètres du Boulevard Périphérique.

La Figure 22 présente pour les points de mesure situés à proximité au trafic routier la concentration moyenne de dioxyde d'azote (a) et de benzène (b) enregistrée durant la campagne le long du tronçon du Boulevard Périphérique.

La fluctuation des niveaux de **dioxyde d'azote** le long du Boulevard Périphérique est importante allant de 70 µg/m³ à 125 µg/m³ en moyenne sur la campagne. Le site de mesure implanté le plus à l'Ouest du domaine d'étude (point rouge) présente les niveaux moyens de NO_2 les plus forts avec 125 µg/m³. Le Boulevard Périphérique présente à cet emplacement (Cf. Figure 23) un nombre de voies important fractionné en 2 x 2 voies pour la partie Périphérique proprement dite, 3 voies d'accès en sortie de l'A6.a et 2 en entrée de l'A6.a.

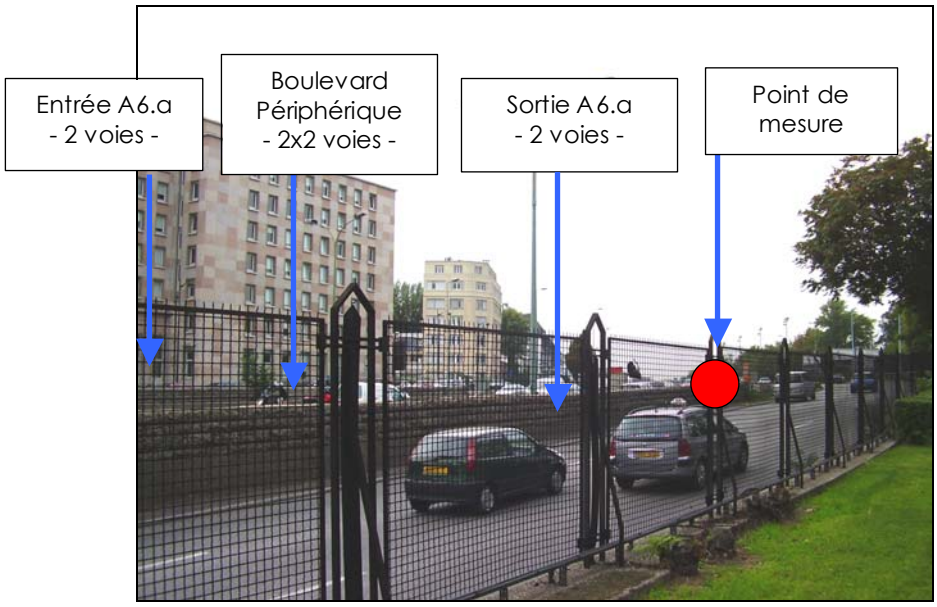


Figure 23 : Illustration d'un tronçon dont les mesures de NO_2 ont été les plus fortes du Boulevard Périphérique durant la campagne.

Les concentrations de NO_2 sont nettement plus faibles sur les points de mesure suivant au niveau de la CIUP. La configuration topographique du Boulevard Périphérique ainsi que le nombre de véhicules peut expliquer suivant les sites de mesure ces niveaux plus faibles.

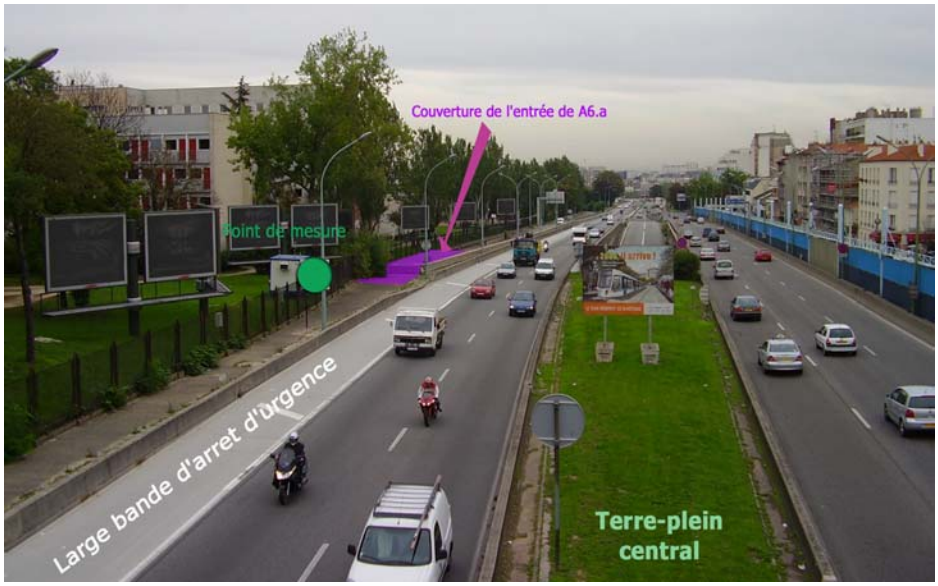


Figure 24 : Illustration d'un tronçon dont les mesures de NO_2 ont été les plus faibles du Boulevard Périphérique durant la campagne.

En effet, le point de mesure qui a observé des niveaux les plus faibles se situe à proximité d'un tronçon dont le nombre de véhicule est plus faible sachant que celui-ci est situé entre les entrées et sorties de l'A6.a (Cf. Figure 24). De plus, la configuration de l'axe, avec un large terre-plein central et une large bande d'arrêt d'urgence, contribue à la fois à une plus grande dispersion des émissions issues de trafic routier et un éloignement plus important de la première voie de circulation par rapport au point de mesure.

Un autre élément peut influencer les teneurs de NO_2, la hauteur du point de mesure par rapport à la voie de circulation comme cela est le cas à la sortie du tunnel de l'autoroute A6.a (point jaune). En effet, le point de prélèvement est à environ 6 m de hauteur par rapport aux premières voies du fait de la partie en tranchée de la sortie de tunnel (Cf. Figure 25).

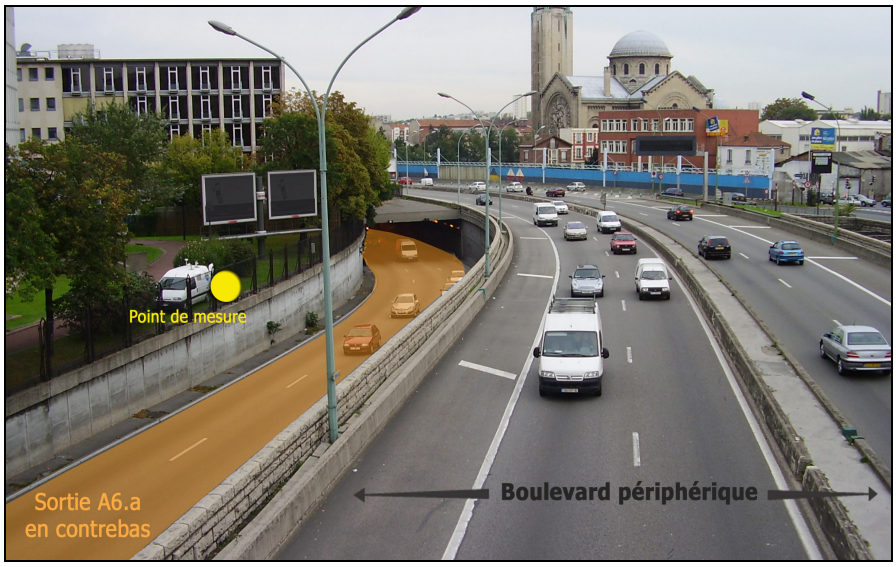


Figure 25 : Illustration du site de mesure, en hauteur (6 m) par rapport aux premières voies de circulation de la sortie de l'autoroute A6.a, implanté lors de la campagne de mesure.

Les teneurs de NO_2 sur cet emplacement sont inférieures de plus de 30 % par rapport au site observant les niveaux les plus importants, localisé à environ 80 m (Point rouge). Cela démontre d'une part que la pollution due au trafic routier est canalisée dans cette partie en tranchée et d'autre part qu'une certaine dilution de la pollution est déjà réalisée à cette hauteur, le point de mesure étant plus éloigné des véhicules.

Les concentrations de **benzène** le long de l'axe sont également très variables suivant les tronçons avec des moyennes sur la période de mesure allant de 2.7 µg/m³ à 4.5 µg/m³.
Cependant la hiérarchie des teneurs sur les sites de mesure est légèrement différente par rapport à ce que l'on peut observer pour le dioxyde d'azote. Ainsi, le tronçon de la Porte de Gentilly (site bleu) présente la teneur moyenne de benzène la plus élevée du Boulevard Périphérique avec 4.5 µg/m³. Cette partie de l'axe présente un rétrécissement de la chaussée, d'où une fluidité moindre propice aux émissions de benzène. En effet, lors de circulation congestionnée (phase de ralenti), les émissions de benzène des véhicules sont plus importantes.

Le site de mesure implanté sur l'Avenue Paul Vaillant Couturier (site vert clair) a enregistré des niveaux de benzène (3.8 µg/m³) plus élevés par rapport à ce qui est observé en moyenne (3.4 µg/m³) sur les autres tronçons étudiés. *A contrario*, il présentait une teneur de NO_2 inférieure à la moyenne des autres tronçons de l'axe. Le niveau de benzène plus élevé peut être la conséquence à la fois d'un trafic routier congestionné de l'Avenue P.V. Couturier et de la configuration urbaine (Cf. Figure 26) à hauteur du site de mesure puisqu'un mur anti-bruit est inséré entre le Boulevard Périphérique et l'Avenue P.V. Couturier. Le site de mesure (mis en place

côté Avenue P.V. Couturier) est ainsi au plus près de l'Avenue dans une configuration plutôt encaissée du fait de l'urbanisme dense et du mur anti-bruit.

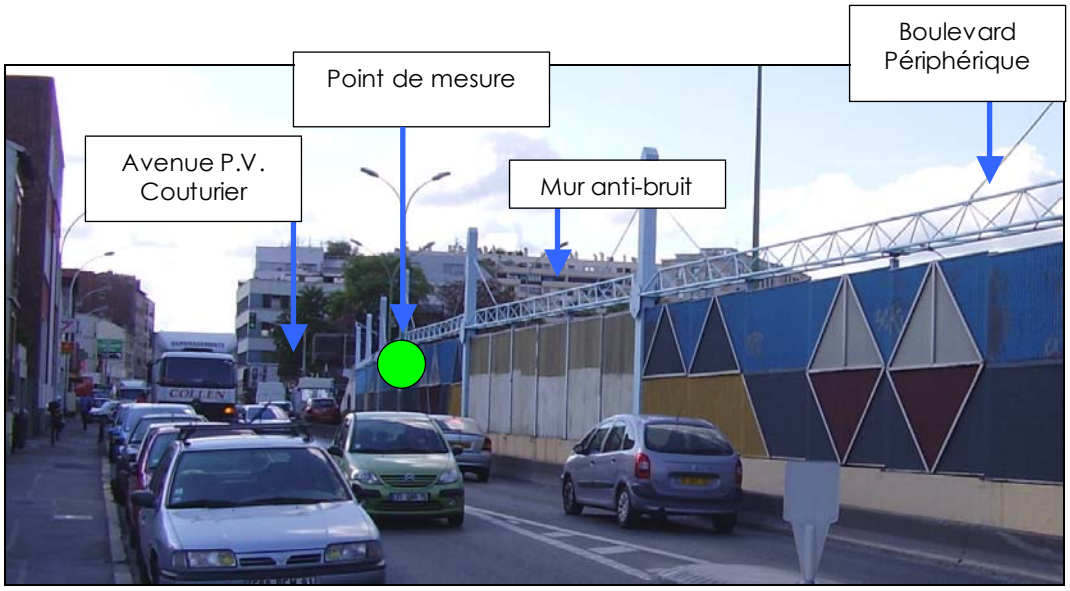


Figure 26 : Localisation du site de mesure implanté sur l'Avenue Paul Vaillant Couturier (Gentilly) séparé du Boulevard Périphérique par un mur anti-bruit lors de la campagne de mesure.

Dans une telle configuration, le trafic routier dense et congestionné (15 610 véhicules par jour[34] sur ce tronçon) engendre des teneurs de benzène liées principalement à l'Avenue, parmi les plus fortes du secteur d'étude.

On retrouve ainsi au bord du Boulevard Périphérique une variation importante des concentrations de NO_2 et de benzène sur seulement quelques centaines de mètres avec une hiérarchie des teneurs différentes suivant les polluants du fait de la topographie de l'axe (distance et hauteur de l'axe, encaissée ou ouverte) et du trafic routier rencontré (condition de circulation, nombre de voies, etc.). Cette fluctuation le long de l'axe est comprise pour le NO_2 entre 60 % et 190 % du niveau de fond. Pour le benzène, cela fluctue par rapport au niveau de fond dans les mêmes proportions que pour le NO_2, avec 70 % et 180 %.

IV.4 Influence spatiale du Boulevard Périphérique

IV.4.1 Évolution de la qualité de l'air de part et d'autre du Boulevard Périphérique, l'exemple du complexe sportif de Charléty

Le complexe sportif de Charléty est situé en périphérie immédiate du Boulevard Périphérique et présente la particularité d'être en contre-bas de cet axe. Des points de mesure ont ainsi été mis en œuvre afin d'étudier le comportement de la pollution au sein et au niveau de ce complexe sportif.

La Figure 27 illustre les sites de mesure mis en place de part et d'autre du Boulevard périphérique afin d'étudier l'influence spatiale des émissions du trafic routier de l'axe sur la qualité de l'air. Outre le Boulevard Périphérique, deux voies de circulation dont la desserte est plus locale sillonnent la zone de mesure implanté sur la commune de Gentilly (sites bleus). Il s'agit de l'Avenue Paul Vaillant Couturier dont le trafic moyen journalier annuel à cette hauteur est de

[34] DDE Val-de-Marne - année 2005.

10 190 véhicules[34] et la Rue du Val-de-Marne dont le trafic n'est pas renseigné mais représente un axe relativement emprunté au même titre que l'Avenue P.V. Couturier.

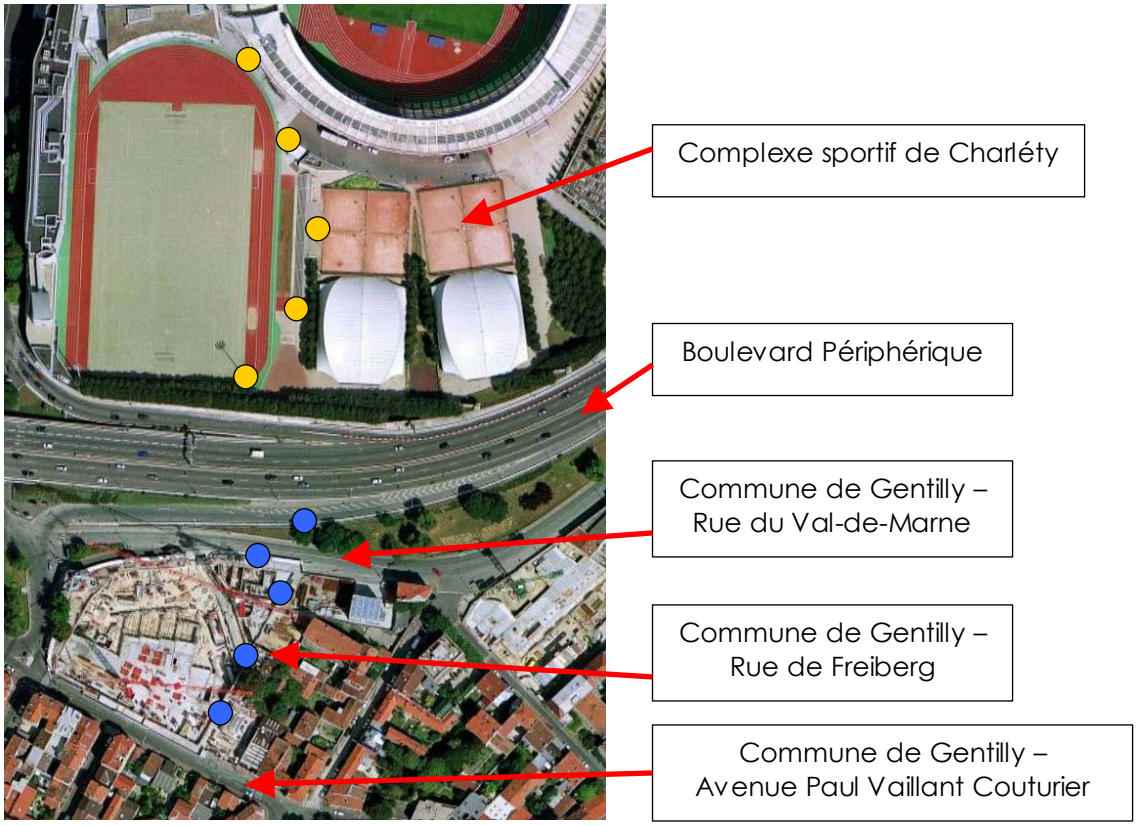
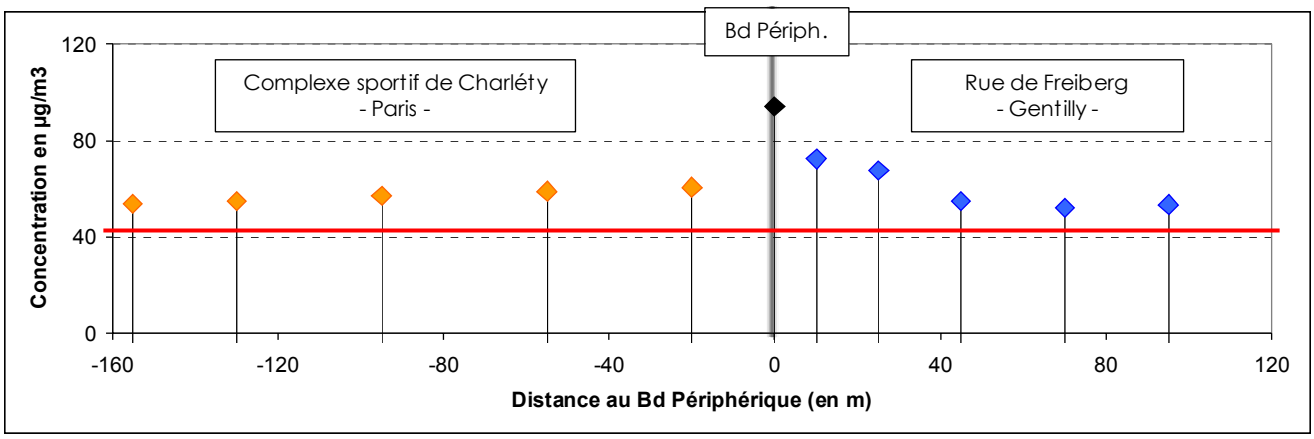


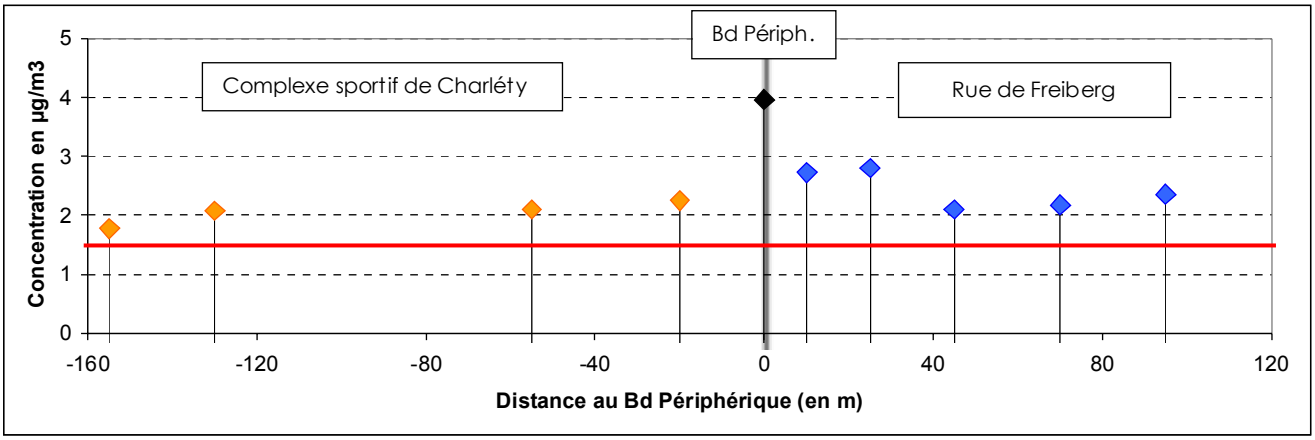
Figure 27 : Localisation des sites de mesure mise en œuvre pour les transects de part et d'autre du Boulevard Périphérique.

La Figure 28 illustre l'évolution des teneurs moyennes en NO_2 et en benzène relevées durant la campagne au fur et à mesure que l'on s'éloigne du Boulevard Périphérique. La concentration indiquée pour le Boulevard Périphérique (en noir sur le graphique) correspond à la moyenne de deux sites[35] situés au droit immédiat de l'axe. Le niveau de fond relevé durant la campagne, matérialisé par un trait rouge, correspond à ce qui a été mesuré au Parc Montsouris[36].



(a) dioxyde d'azote

[35] Moyenne des teneurs des sites n°30 et n°19.
[36] Site n°50 du plan d'échantillonnage.



(b) benzène

Figure 28 : Évolution moyenne des concentrations de dioxyde d'azote (a) et de benzène (b) de part et d'autre du Boulevard Périphérique à hauteur du complexe sportif de Charléty.

Pour **le dioxyde d'azote (a)**, la baisse des concentrations est rapide dès que l'on s'éloigne du Boulevard Périphérique avec une diminution moyenne de 35 % (61 µg/m³ contre 94 µg/m³) à 20 mètres en contre-bas de l'axe au sein du complexe sportif de Charléty (sites oranges). La configuration du Boulevard Périphérique, en hauteur par rapport au complexe sportif, peut entraîner une plus grande dispersion de la pollution.
Puis, toujours en s'éloignant de l'axe, les teneurs en NO_2 diminuent régulièrement pour atteindre un niveau moyen de 54 µg/m³ à près de 160 m. L'influence du Boulevard Périphérique est encore perceptible à une telle distance puisque le niveau de fond est de 43 µg/m³. La baisse la plus rapide et la plus importante est observée dès les premiers mètres.
Du côté de la commune de Gentilly (sites bleus), la baisse de teneurs de NO_2 est également marquée en s'éloignant du Boulevard Périphérique mais de manière moins rapide principalement du fait de l'influence des axes routiers locaux tels que la Rue du Val-de-Marne et l'Avenue P.V. Couturier. Ainsi, à 25 m du Boulevard Périphérique, le niveau moyen de NO_2 est de 68 µg/m³ contre seulement 61 µg/m³ à une distance équivalente du côté du complexe sportif de Charléty.

Concernant **le benzène (b),** la baisse des teneurs est plus rapide par rapport à ce que l'on observe pour le NO_2 du fait de son caractère primaire (directement émis par les véhicules). On observe ainsi une baisse de près de 45 % au point de mesure situé à 20 m de l'axe au sein du stade Charléty par rapport à ce qui est mesuré en proximité du trafic routier. De plus, la distance d'influence du Boulevard Périphérique est moins importante pour le benzène avec un niveau moyen à environ 150 m légèrement supérieur à celui de fond avec seulement 13 % de plus contre 26 % pour le NO_2.
Du côté de la commune de Gentilly, l'évolution des niveaux de benzène est également différente avec une baisse des niveaux moins continue du fait de l'influence, d'une part, de la Rue du Val-de-Marne et, d'autre part, de l'Avenue P.V. Couturier. Cela engendre une légère augmentation des concentrations de benzène entre 10 m et 25 m du Boulevard Périphérique, bien que l'on s'éloigne de celui-ci, du fait de l'impact de la Rue du Val-de-Marne. De plus, le trafic de l'Avenue P.V Couturier entraîne également une légère remontée des teneurs à près de 100 m du Boulevard Périphérique.

Il est mis en évidence que les niveaux de NO_2 baissent rapidement dès que l'on s'éloigne de quelques mètres de l'axe, puis diminuent de manière progressive au fur et à mesure que l'on s'éloigne des émissions dues au trafic routier. Le trafic routier local influence également l'évolution de la qualité de l'air de manière plus marquée pour le benzène du fait, d'une part, de son caractère primaire et, d'autre part, des conditions de circulation souvent congestionnées sur ces axes.

IV.4.2 Évolution de la qualité de l'air dans un environnement encaissé à proximité à la fois du Boulevard Périphérique et de l'Autoroute A6

La mise en place de points de mesure dans ce secteur permet d'une part d'étudier l'influence spatiale des émissions du trafic routier du Boulevard Périphérique dans un environnement urbain plutôt dense et d'autre part de mesurer l'influence de l'autoroute A6.a. Cette dernière présente la particularité d'être en tranchée, autrement dit en contre-bas par rapport au bâti (Cf. Figure 29).

Figure 29 : localisation des points de mesure situés à la fois à proximité du Boulevard Périphérique et à l'autoroute A6.a sur la commune de Gentilly.

Un premier site de mesure est implanté à proximité du Boulevard Périphérique et de l'Avenue P.V. Couturier. Les quatre sites de mesure suivants, implantés dans l'impasse Villa Rémond à Gentilly, sont éloignés du Boulevard Périphérique respectivement de 25, 50, 95 et 155 mètres. Ces sites de mesure sont à environ 50 mètres à l'Ouest de l'autoroute A6.a. Cet axe présente la particularité d'être en tranchée d'un dénivelé d'une vingtaine de mètres.

La Figure 30 illustre les concentrations de dioxyde d'azote et de benzène, relevées pour deux séries de mesure, en fonction à la fois de la direction du vent (flèche grise), de la distance par rapport à l'axe (abscisse) et du niveau de fond relevé au Parc Montsouris (ligne rouge).
Le résultat est illustré pour deux séries de mesure caractérisées par des régimes de vent différents : la première série a observé des vents dominants partagés entre les secteurs Nord et Sud alors que la seconde semaine de mesure a été marquée par un vent dominant de secteur Sud. La direction dominante des vents sur les périodes de mesure est présentée par la flèche sur chaque graphique.

La première série de mesure présente une décroissance des niveaux de **dioxyde d'azote** progressive pour atteindre à plus de 150 m une concentration moyenne encore supérieure au niveau de fond du secteur d'étude. Le régime de vent partagé durant cette semaine entre un vent de secteur Sud et Nord place respectivement les points de mesure « au vent » et sous l'influence du Boulevard Périphérique. Cela entraîne donc une dispersion de la pollution progressive au contraire de ce qui est mesuré lors de la seconde série de mesure où dès les vingt premiers mètres la teneur moyenne de NO_2 chute de 45 % contre seulement 12 % durant la première série. Les conditions de vent à la fois très dispersives et de secteur Sud, plaçant les sites de mesure hors influence de l'axe, entraînent des niveaux qui diminuent rapidement et des teneurs, à moins de 100 m du Boulevard Périphérique, comparables au niveau de fond observé au Parc Montsouris.

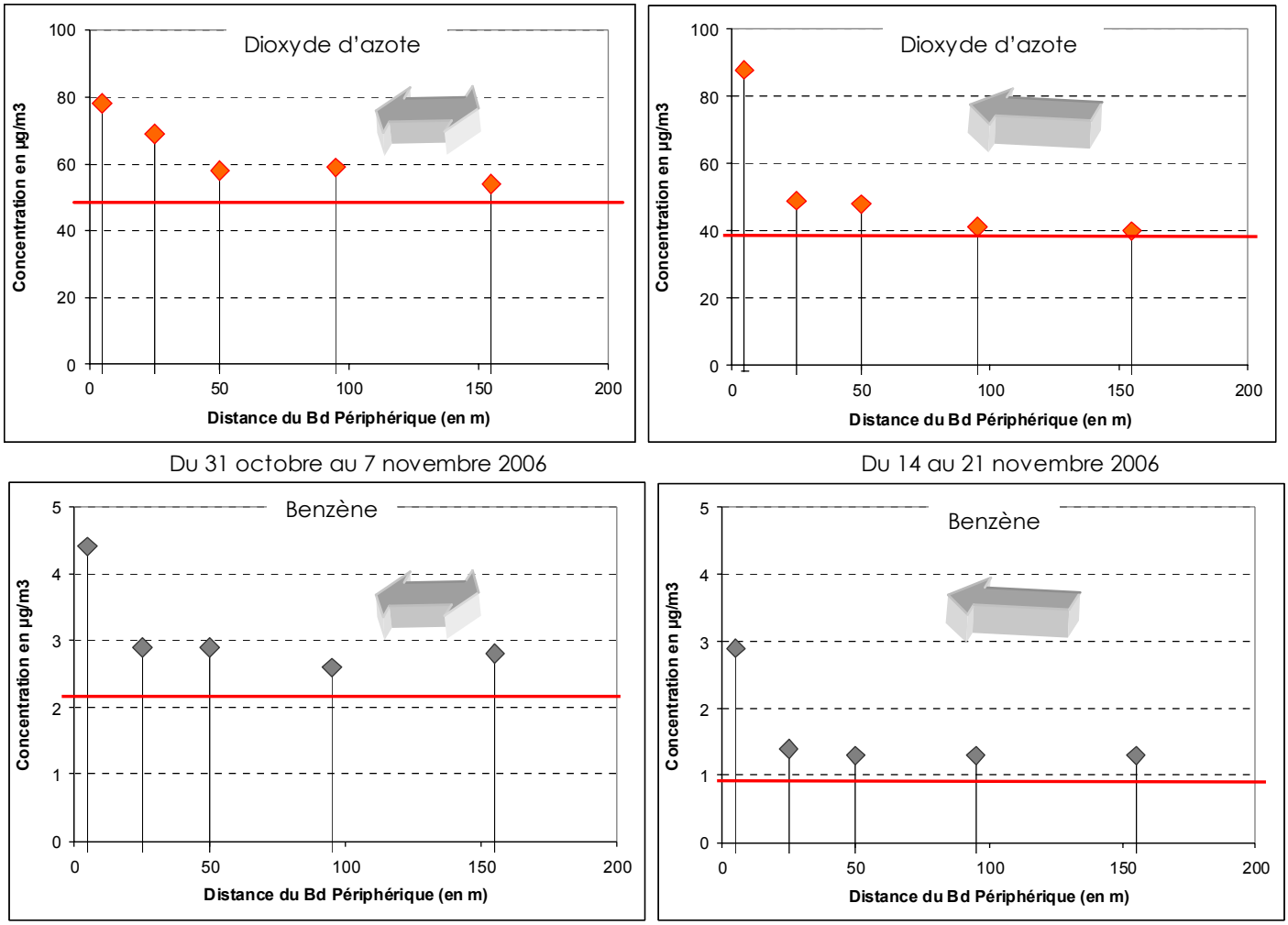


Figure 30 : Évolution des concentrations de dioxyde d'azote et de benzène en fonction des régimes de vent dominant (flèche grise) et par rapport au niveau de fond (ligne rouge) de la zone d'étude (Parc Montsouris).

L'influence de l'autoroute A6.a n'est pas mise en évidence puisque les niveaux de NO_2 diminuent au fur et à mesure que l'on s'éloigne du Boulevard Périphérique tout en rejoignant le niveau de fond mesuré dans le secteur d'étude. Ainsi, la configuration spécifique de l'autoroute A6.a, dont la topographie est très encaissée, engendre une certaine canalisation de la pollution ce qui « protège » les sites placés pourtant à seulement 50 mètres de l'autoroute.

Concernant le **benzène**, la décroissance des concentrations est plus rapide que pour le NO_2. Dés les vingt premiers mètres, la teneur moyenne de benzène semble atteindre un seuil relativement bas que l'on enregistre également à plus de 150 m du Boulevard Périphérique. Néanmoins, contrairement au NO_2, le niveau moyen de benzène est systématiquement supérieur à ce qui est mesuré en situation de fond au Parc Montsouris. Cela peut être la conséquence d'un niveau de fond en benzène sur ce secteur plus élevé que celui observé à Montsouris, compte tenu d'un trafic routier local et d'un urbanisme plus dense.

Cet exemple permet de mettre en relief le rôle des régimes de vent plaçant ou non les sites de mesure sous l'influence du Boulevard Périphérique, entraînant ainsi à la fois un surcroît de pollution plus (sous l'influence) ou moins (hors influence) importants et une diminution de ceux-ci également plus (hors influence) ou moins (sous l'influence) rapide.

De plus, la configuration spécifique en tranchée de l'autoroute A6.a crée une canalisation de la pollution et de ce fait n'influence que peu les niveaux de pollution même à une distance (50m) théoriquement dans la zone d'influence du trafic routier de l'axe.

IV.5 *Analyse micro-locale de la pollution atmosphérique*

Des niveaux plus faibles à proximité des bretelles d'axes :

Le Boulevard Périphérique est jalonné de nombreuses bretelles d'accès ou de sorties, comme cela est le cas au niveau de la Porte de Gentilly (Cf. Figure 31).
Un zoom sur deux points de mesure situés le long du Boulevard Périphérique, distants de 140 mètres l'un de l'autre, permet d'étudier l'influence la qualité de l'air en fonction notamment de la distance à l'axe.
Étant implanté le long de la bretelle d'accès au Boulevard Périphérique (site bleu), le site de mesure est à la fois plus éloigné des voies principales de l'axe et à proximité d'une voie où le trafic routier est beaucoup moins important.

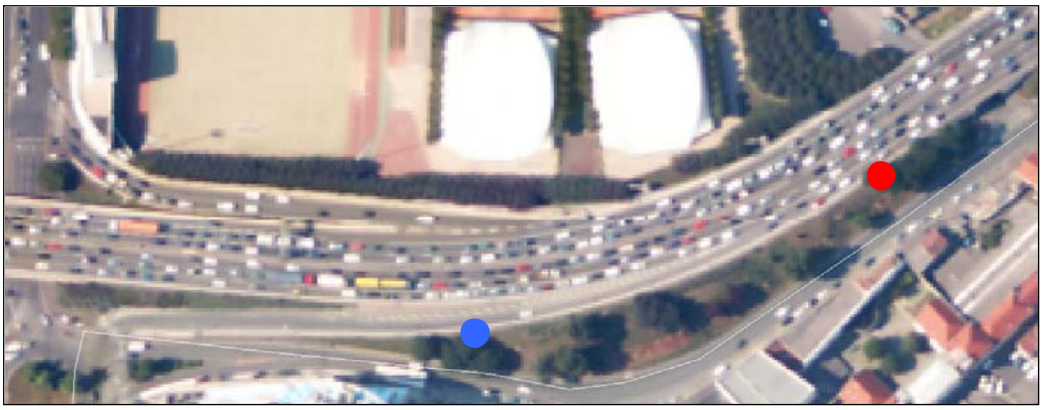
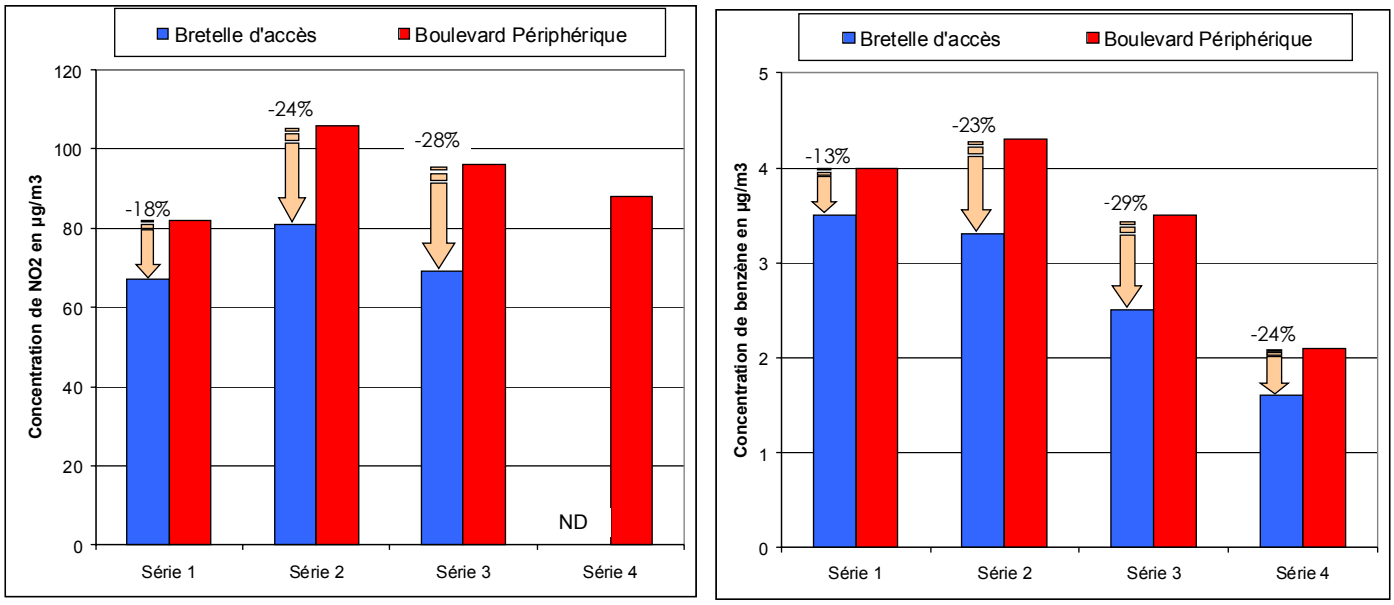


Figure 31 : localisation des sites de mesures le long de Boulevard Périphérique.

La Figure 32 illustre les concentrations de dioxyde d'azote (a) et de benzène (b) relevées sur les deux sites implantés le long du Boulevard Périphérique lors des quatre séries de mesure.



(a) Dioxyde d'azote – NO_2 (b) Benzène

Figure 32 : Concentrations relevées le long du Boulevard Périphérique à hauteur de la Porte de Gentilly lors des quatre séries de mesure

Les teneurs de **dioxyde d'azote** (a) enregistrées sur les deux sites de mesure suivent une même dynamique lors des différentes séries, avec toutefois des niveaux de NO_2 plus faibles sur le site implanté au droit de la bretelle d'accès au Boulevard Périphérique (site bleu). Ce dernier note en moyenne sur la campagne des teneurs de NO_2 près de 25 % plus faibles. Cependant, les écarts de concentrations entre ces deux sites sont relativement différents suivant les séries de mesure. Ils peuvent être fonction notamment de la vitesse de vent comme cela est le cas lors de la troisième série où les bonnes conditions de dispersion entraînent un écart de niveau de 28 %, à savoir 96 µg/m³ contre 69 µg/m³. Le brassage de l'air engendre une meilleure dispersion de la pollution et favorise plus encore la baisse des teneurs dès lors que l'on s'éloigne de quelques mètres du trafic routier. Le fait d'être plus éloigné des voies principales du Boulevard Périphérique, même d'une dizaine de mètre comme sur cet exemple, occasionne des niveaux de pollution plus faibles par rapport à ce qui est mesuré au droit immédiat de l'axe (site rouge).

Le même constat peut également être fait pour le **benzène** (b) avec des niveaux en moyenne sur les quatre séries de mesure 22 % plus faibles sur le site le plus éloigné du Boulevard Périphérique.

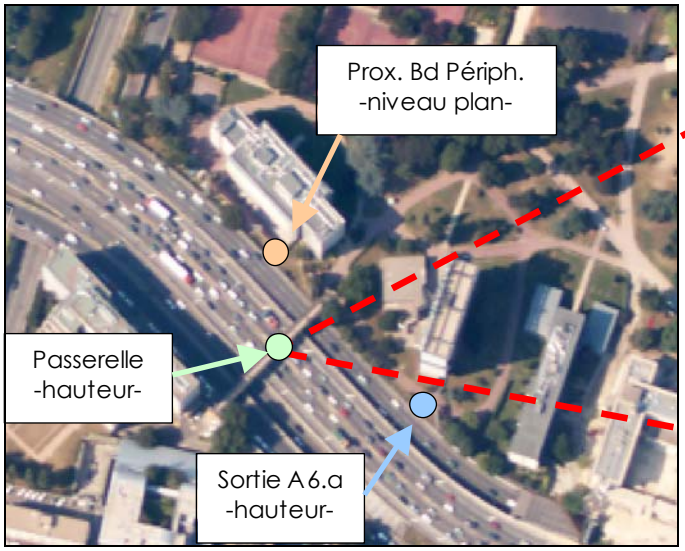
Lors de chaque série de mesure, les écarts de concentrations sur les deux sites instrumentés sont relativement similaires pour les deux polluants mesurés. On retrouve sensiblement les mêmes écarts durant les différentes semaines de mesure avec notamment les écarts les plus faibles observés durant la première série, avec -18 % et -13 % respectivement pour le NO_2 et le benzène, et les plus importants lors de la troisième série, -28 % et -29 %.

Cet exemple permet d'illustrer la variabilité des niveaux de pollution dès que l'on s'éloigne de quelques mètres d'un axe routier important comme le Boulevard Périphérique, avec une baisse des teneurs plus ou moins importante en fonction notamment des conditions de dispersion (vitesse de vent).

L'exposition des piétons au-dessus du Boulevard Périphérique :

Un site spécifique a été implanté sur la passerelle à une dizaine de mètres au-dessus du Boulevard Périphérique afin de mesurer la qualité de l'air au centre de l'axe et sur un lieu de passage de piétons venant ou se rendant à la CIUP.

La Figure 33 illustre l'emplacement du site de mesure instrumenté sur la passerelle piétonne (site vert) ainsi que deux points de mesure implantés le long du Boulevard Périphérique. Ces derniers ne sont pas positionnés de manière analogue le long du Boulevard Périphérique puisqu'un site de mesure (site bleu) est localisé en hauteur (6 m) par rapport à la sortie du tunnel de l'autoroute A6.a, et le second (site orange) est implanté au même niveau que les différentes voies de l'axe.



(a) Vue aérienne de l'implantation des sites de mesure

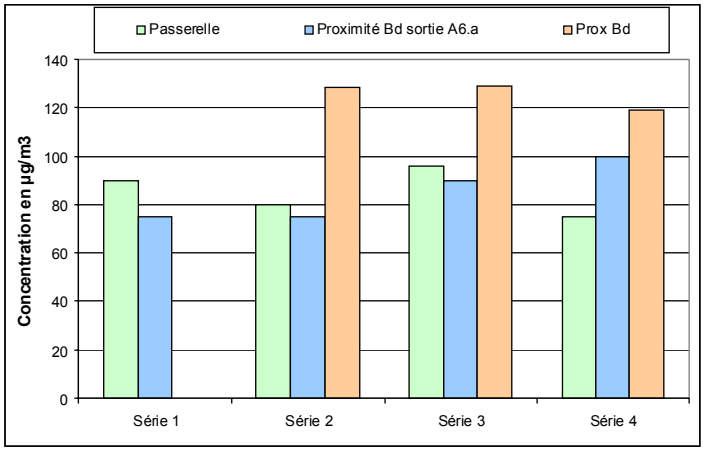
(b) Vue en direction de l'Ouest à partir de la passerelle piétonne

Figure 33 : Illustration de l'implantation des sites de mesure d'intérêt lors de la campagne de mesure.

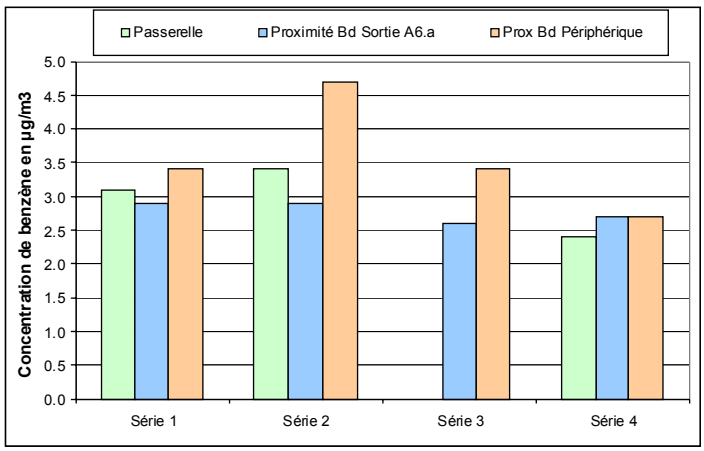
Cet exemple permet d'étudier la configuration particulière d'une passerelle piétonne traversant un axe routier important au travers notamment les paramètres d'influences tels que la hauteur par rapport à l'axe.

La Figure 34 présente pour le dioxyde d'azote (a) et le benzène (b) les concentrations relevées durant les quatre séries de mesure sur les sites implantés sur la passerelle et au droit du Boulevard Périphérique.

Le site de la passerelle (site vert) observe des teneurs en NO_2 et en benzène comprises entre celles relevées à proximité de Boulevard Périphérique (site orange - borne haute) et la sortie de l'A6.a (site bleu - borne basse) lors des trois premières séries de mesure. Cette hiérarchie des niveaux de pollution peut s'expliquer par deux facteurs ; d'une part, la hauteur du point de mesure par rapport à la chaussée puisque l'on retrouve (comme déjà étudié au chapitre IV.3) des niveaux plus faibles sur les sites implantés en hauteur (passerelle et sortie A6.a) et d'autre part, l'emplacement du point de mesure par rapport à l'axe. En effet, le site de la passerelle étant localisé au milieu de l'axe, c'est-à-dire au cœur des émissions du trafic routier des deux sens de circulation, celui-ci observe des concentrations plus élevées que le site en sortie de tunnel de l'A6.a qui est pour sa part au bord du Boulevard Périphérique.



(a) Dioxyde d'azote – NO_2



(b) Benzène

Figure 34 : Concentrations de polluant atmosphérique relevées lors de la campagne de mesure sur la passerelle enjambant le Boulevard Périphérique et deux sites de mesure au droit de ce même axe.

A contrario, durant la dernière série de mesure, le site de la passerelle enregistre les teneurs de pollution atmosphérique les plus faibles. Les conditions météorologiques très dispersives (vitesse de vent élevée) enregistrée durant cette semaine de mesure peuvent expliquer ce résultat sur ce site qui est le plus en hauteur.

Sur une passerelle, le fait d'être en hauteur (dispersion des polluants) par rapport à la chaussée peut induire des niveaux de pollution plus faibles qu'au droit de l'axe, avec néanmoins des teneurs plus importantes au centre de la voie où se concentrent les émissions des deux sens de circulation.
L'influence de la hauteur de prélèvement a été étudiée dans le cadre d'une étude PRIMEQUAL[37]. De la même manière, les mesures réalisées à proximité du trafic routier ont montré que les concentrations de pollution étaient inversement proportionnelles à la hauteur de prélèvement. Ainsi, plus le site de mesure est proche des sources d'émissions plus la hauteur de prélèvement influence les teneurs de pollution. Au contraire en situation de fond, les concentrations sont sensiblement similaires entre 2.5 m et 10 m.

[37] Étude PRIMEQUAL – Convention n°54/96 du 14 novembre 1996 « influence de la prise d'échantillons sur les teneurs mesurées ».

IV.5 Impact selon les secteurs de vent

Pour identifier l'impact du Boulevard Périphérique sur le tronçon de la zone d'étude, il convient d'analyser les niveaux horaires rencontrés selon la provenance du vent. La différence pour chaque heure entre les concentrations sur les sites automatiques et celles issues du niveau de fond moyen des stations fixes les plus proches[38] est calculée pour mettre en évidence l'impact du Boulevard Périphérique. Cette différence peut ensuite être représentée sous forme de rose d'impact de pollution, qui permet de visualiser le surcroît de pollution en fonction de la provenance des vents. La direction du vent est renseignée suivant 36 secteurs de 10° allant de 10° à 360°.
La partie foncée (écart positif) de la rose d'impact correspond au surcroît de pollution sur les sites automatiques ; la partie claire (écart négatif) traduit des niveaux plus faibles que ceux rencontrés en situation du fond du secteur.

La Figure 35 illustre le domaine d'étude sur lequel sont présentées les roses d'impact de pollution relatives au **dioxyde d'azote** sur deux sites de mesure temporaires de la CIUP.
Il est rappelé que les données de NO_2 recueillies sur le troisième site de mesure automatique (Maison Avicenne) ne peuvent être exploitées à cause d'un problème technique.

Figure 35 : Rose d'impact de pollution de dioxyde d'azote (NO_2) aux stations provisoires implantées à la CUIP durant la campagne de mesure.

[38] Stations de Paris Les Halles, Paris 12ème, Paris 13ème et d'Ivry-sur-Seine.

Le site de mesure automatique le plus proche du Boulevard Périphérique (Maison du Liban) présente un surcroît de dioxyde d'azote par vent de secteur « Sud » (d'Est en Ouest), régime de vent plaçant le laboratoire mobile sous l'influence du trafic routier du Boulevard Périphérique. Les niveaux de NO_2 durant ces directions de vent sont supérieurs en moyenne de 30 µg/m³ par rapport à ce que l'on enregistre au même moment en situation de fond. Cet impact atteint même plus de 40 µg/m³ pour certains secteurs, à savoir Sud-Ouest et Sud-Est. Durant ce dernier, le site de mesure temporaire est sous l'influence d'un trafic routier plus important avec principalement celui du Boulevard Extérieur en provenance de l'autoroute A6.a. Dans le cas du vent de Sud-Ouest, l'influence du trafic routier de l'autoroute A6.a (tronçons en direction du Boulevard Périphérique Extérieur et Intérieur) engendre un surcroît de dioxyde d'azote plus important.
En s'éloignant du Boulevard Périphérique (Esplanade Maison Internationale de la CIUP), situé à environ 120 m au Nord de l'axe, l'impact moyen en NO_2 n'est plus que de 8 µg/m³ pour les secteurs de vent plaçant le site sous l'influence du trafic routier. Par rapport à l'impact observé au droit de l'axe, l'impact de NO_2 est inférieur de 75 % à 120 m. La baisse est d'autant plus importante que l'environnement urbain de la CIUP est peu dense, ce qui favorise la dispersion de la pollution atmosphérique.

A l'inverse, lorsque le vent provient du « Nord », les points de mesure ne sont plus sous l'influence du Boulevard Périphérique ce qui se traduit par des niveaux de NO_2 relativement comparables à ce que l'on enregistre en situation de fond, voire même pour le site le plus éloigné, des concentrations moyennes légèrement inférieures au niveau de fond de ce secteur de l'agglomération. Cela est principalement dû à l'environnement très dégagé (espaces verts et urbanisme très lâche) de la CIUP et plus généralement de ce secteur comprenant notamment le Parc Montsouris où très peu d'oxydes d'azote sont émis.

Toujours pour le NO_2, le site de mesure extérieur (en façade) placé au Sud du Boulevard Périphérique à la Maison de Retraite présente également un impact lorsque les régimes de vent mettent le site sous l'influence des émissions du trafic routier du Boulevard Périphérique (Cf. Figure 36).

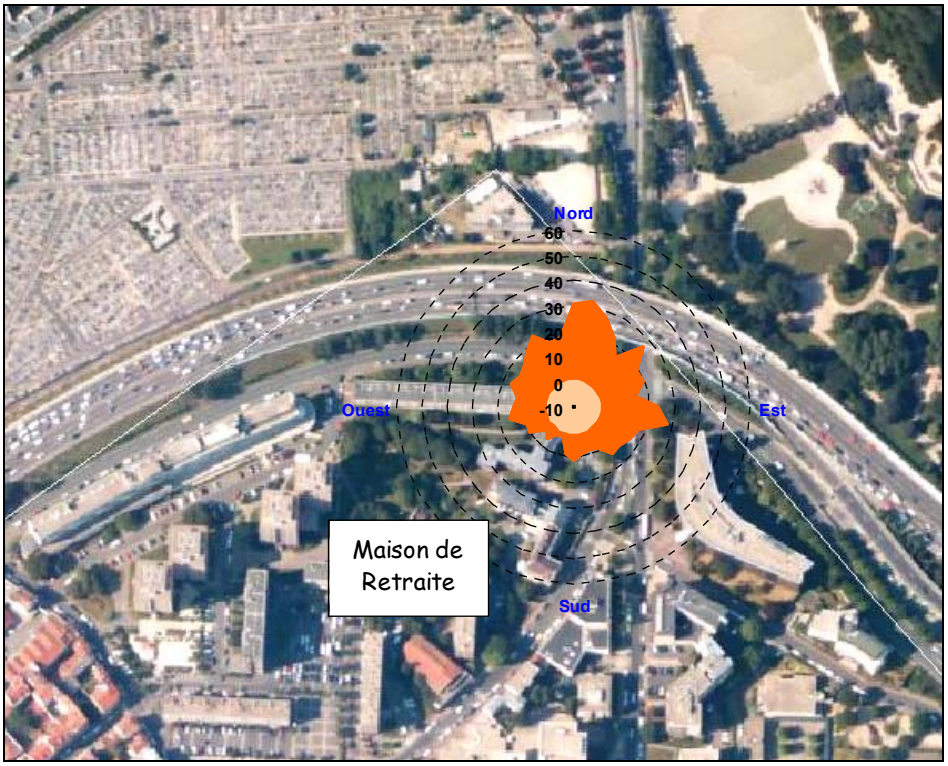


Figure 36 : Rose d'impact de pollution de dioxyde d'azote (NO_2) au point de mesure extérieur implanté à la Maison de Retraite durant la campagne de mesure.

Au contraire des points de mesure situés à la CIUP, au Nord du Boulevard Périphérique, la Maison de Retraire est quant à elle au Sud de ce dernier d'où une influence marquée sur les teneurs en NO_2 lors des vents de secteur « Nord » (de l'Ouest à l'Est).
L'impact maximal est observé pour des vents de secteur Nord avec un surcroît de NO_2 de 32 µg/m³ par rapport à ce que l'on enregistre en situation de fond.
D'une manière générale, l'influence du Boulevard Périphérique durant les vents de secteur « Nord » engendre un impact de 21 µg/m³ à la Maison de Retraite. Par vent d'Est, l'influence du Boulevard Périphérique conjugué à celle de l'Avenue Galliéni entraîne un surcroît en NO_2 de 27 µg/m³.
Hors influence du Boulevard Périphérique, vents de secteurs Sud, le site de la Maison de Retraite présente un impact beaucoup plus faible avec 9 µg/m³. Ce surcroît de NO_2 est principalement dû au trafic routier des axes secondaires tels que l'Avenue Galliéni, la Rue Charles Frérot etc.

Concernant les **particules PM10**, les trois sites de mesure situés à la CIUP (Cf. Figure 37) présentent de la même manière que pour le NO_2 un surcroît de pollution lorsque le régime de vent place les points de mesure sous l'influence du Boulevard Périphérique.

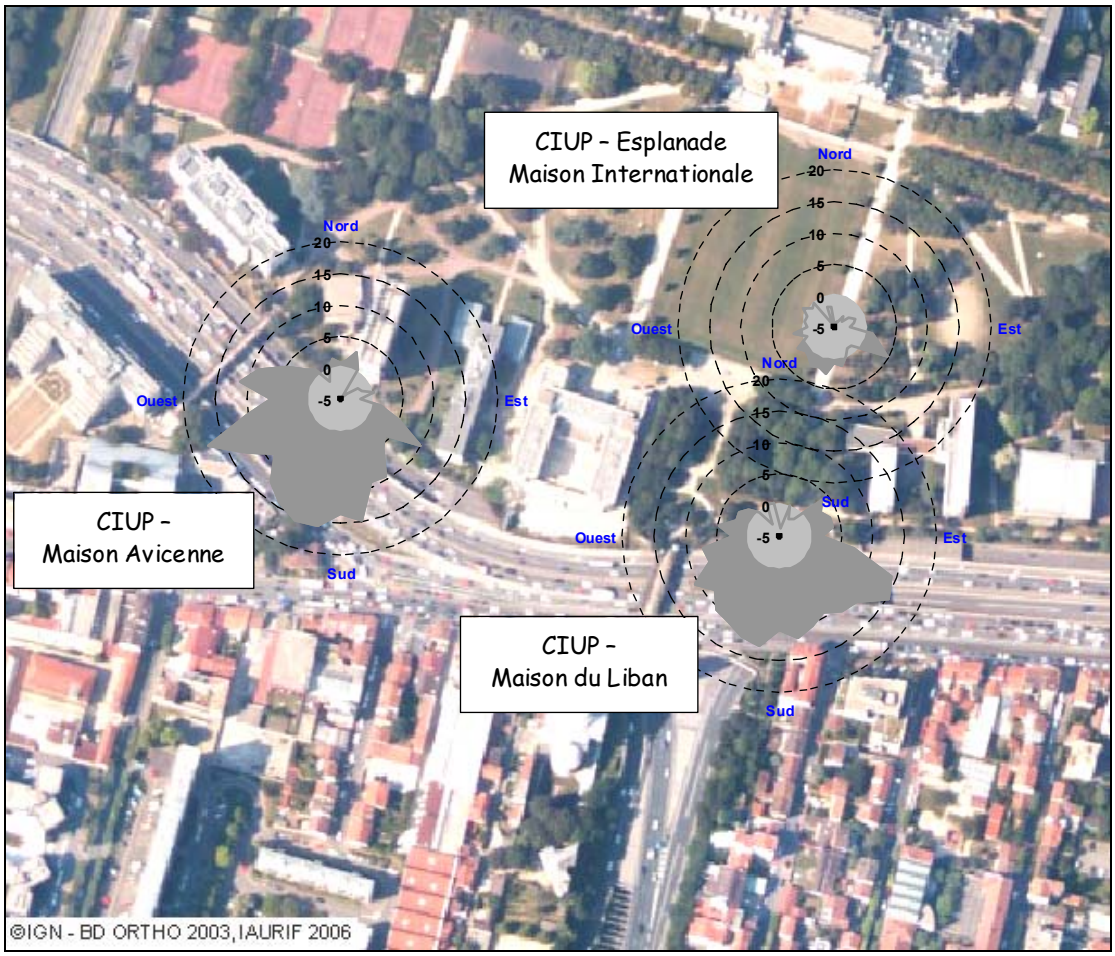


Figure 37 : Rose d'impact de pollution de Particules PM10 aux stations provisoires implantées à la CUIP durant la campagne de mesure.

Le site de mesure implanté au droit du Boulevard Périphérique en sortie de l'A6.a (Maison Avicenne) est sous l'influence du trafic routier lorsque les vents sont de secteurs Sud-Est à Nord-Ouest sachant que l'axe dessine un coude à hauteur de ce tronçon. Pour ces conditions météorologiques, l'impact moyen en PM10 sur ce site est de 10 µg/m³ avec un maximum de 15 µg/m³ par vent de Sud. De la même manière, le site en proximité du trafic de la Maison du Liban présente un impact moyen de 10 µg/m³ avec un maximum de 15 µg/m³ pour des secteurs

de Sud-Est, c'est-à-dire sous l'influence du tronçon du Boulevard Périphérique dont le trafic routier est plus important compte tenu des véhicules venant de l'A6.a sur le Périphérique Extérieur.
Si les niveaux au droit de l'axe sont nettement plus élevés que ce qui est observé en situation de fond lorsque la direction du vent place les sites sous l'influence du trafic routier, cela est différent pour les régimes de vent opposés avec des teneurs moyennes de PM10 équivalentes à celles de fond.

Plus loin du Boulevard Périphérique, l'impact en PM10 à 120 m (Esplanade Maison Internationale) est négligeable puisque l'on enregistre seulement un impact moyen de 1 µg/m^3 par vent de secteur « Sud ». Au vent du Boulevard Périphérique, le niveau moyen de PM10 à cette distance de l'axe est inférieur de 2 µg/m^3 au fond de ce secteur sachant encore une fois que l'environnement urbain est très dégagé à la CIUP, favorisant ainsi la dispersion de la pollution.

Par rapport au dioxyde d'azote, l'influence spatiale des particules PM10 est moins importante, autrement dit la baisse des teneurs de PM10 est plus rapide pour atteindre le niveau de fond approximativement à partir d'une centaine de mètre de l'axe.

Les concentrations de particules fines PM2.5 (Cf. ANNEXE 11), mesurées à hauteur de la Maison du Liban, présentent également un surcroît de pollution de 6 µg/m^3 lorsque le secteur de vent (« Sud ») place le laboratoire mobile sous le vent des émissions du trafic routier du Boulevard Périphérique.

Le rôle des conditions météorologiques, en particulier la direction du vent, a été mis en évidence entraînant un impact de pollution lorsque les sites de mesure sont sous l'influence du trafic routier. L'impact spatial selon le polluant est différent avec une distance d'impact plus importante pour le NO_2 que pour les particules. A 120 mètres du Boulevard Périphérique, le surcroît de NO_2 est de 8 µg/m^3 contre un niveau de PM10 comparable à ce qui est mesuré en situation de fond.

VI. EVOLUTION DE LA QUALITE DE L'AIR AU NIVEAU DES BATIMENTS

Après avoir étudié notamment l'évolution de la qualité de l'air extérieur au fur et à mesure que l'on s'éloigne du trafic routier, ce chapitre s'attache à décrire également la pollution atmosphérique mesurée en façade des bâtiments en fonction des étages et la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments. La mise en œuvre des sites instrumentés en façade et à l'intérieur des bâtiments a été réalisée par le Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris.

VI.1 Dioxyde d'azote

La Figure 38 illustre l'évolution de la qualité de l'air en dioxyde d'azote en fonction de l'éloignement (distance en abscisse) au Boulevard Périphérique avec un zoom sur deux bâtiments ayant fait l'objet de mesure en façade et à l'intérieur. Le trait rouge illustre le niveau de fond mesuré au Parc Montsouris.

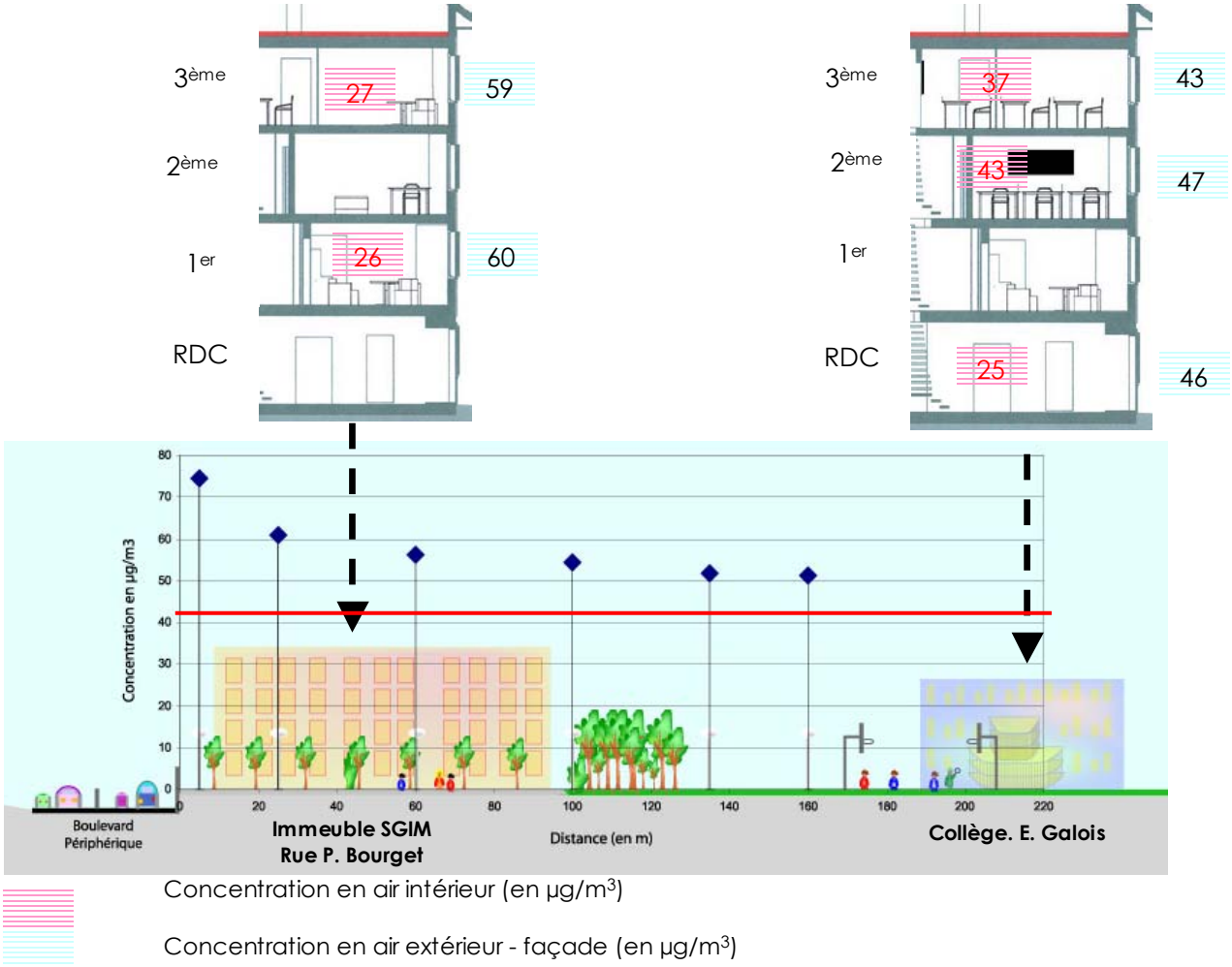


Figure 38 : Évolution de la qualité de l'air en dioxyde d'azote du bord du Boulevard Périphérique à l'intérieur des bâtiments.

A l'extérieur :

Comme cela a déjà été montré, les niveaux de NO_2 diminuent au fur et à mesure que l'on s'éloigne du Boulevard Périphérique avec une concentration de 75 µg/m³ à environ 5 m de l'axe contre 46 µg/m³ à 220 m. A hauteur du Collège E. Galois, l'influence conjuguée du

Boulevard Périphérique et du trafic local (Boulevard des Maréchaux et de l'Avenue d'Italie située respectivement à 50 et 100 m) engendre un niveau moyen légèrement supérieur au fond mesuré au Parc Montsouris.

Les concentrations, relevées en façade à différents étages, sont du même ordre quel que soit l'étage et sont fonction de l'emplacement par rapport au Boulevard Périphérique, avec les niveaux de NO_2 les plus importants en façade du bâtiment (Rue P. Bourget) le plus proche de l'axe. Cependant, au Collège E. Galois où trois étages ont fait l'objet de mesure, la teneur moyenne de NO_2 relevée au troisième étage est plus faible. Cela est principalement dû aux conditions météorologiques observées lors de la quatrième série de mesure où les régimes de vent ont été particulièrement dispersifs (vitesse de vent élevée) engendrant ainsi une différence marquée entre les étages. De la même manière, les teneurs observées en façade du bâtiment de la Rue P. Bourget lors de conditions météorologiques dispersives ont noté une décroissance en fonction de la hauteur avec 63 µg/m^3 et 56 µg/m^3 respectivement au 1er et 3ème étage.

A l'intérieur :

A l'intérieur des bâtiments, les concentrations varient de 25 à 43 µg/m^3 au Collège E. Galois et sont au contraire stables dans les deux appartements de la Rue P. Bourget avec 26 µg/m^3 et 27 µg/m^3 au cours de la campagne. Les niveaux de NO_2 relevés à l'intérieur des bâtiments ne sont pas nécessairement fonction de l'air extérieur. En effet, on retrouve au Collège des teneurs similaires à celles mesurées dans l'immeuble Rue P. Bourget avec pourtant des concentrations extérieures en moyenne près de 25 % inférieures. Si les niveaux extérieurs de NO_2 diminuent en s'éloignant du Boulevard Périphérique, les concentrations mesurées à l'intérieur ne sont quant à elles pas uniquement déterminées par l'éloignement des locaux par rapport à l'axe de circulation. Les teneurs intérieures sont également fonction des sources d'émissions intérieures, l'aération des locaux et le pouvoir de dégradation de ce polluant suivant les matériaux et le mobilier présent dans les pièces. L'abattement de dioxyde d'azote mesuré ici entre l'extérieur et l'intérieur est bien connu au travers différentes études[39].

Enfin, toutes les pièces instrumentées de moyens de mesure présentent des teneurs de NO_2 inférieures à celles mesurées à l'extérieur. Le transfert de l'air extérieur vers l'intérieur des bâtiments est étudié précisément à l'aide des points de mesure mis en œuvre au chapitre suivant - VII. Transfert des polluants de l'air extérieur à l'intérieur des bâtiments.

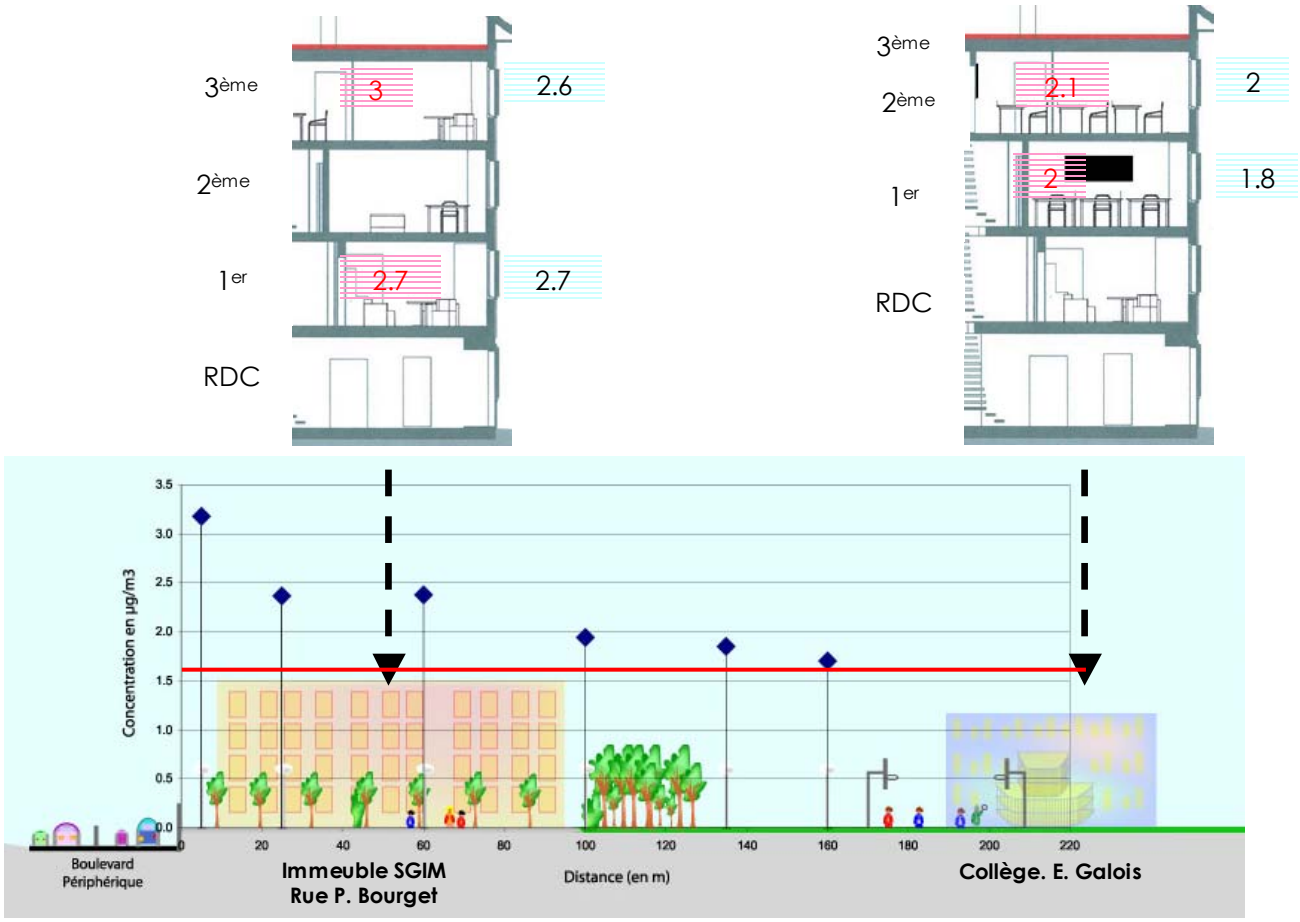
L'ensemble des résultats de dioxyde d'azote à l'intérieur et à proximité immédiate des bâtiments étudiés est présenté en ANNEXE 12.

Les niveaux de NO_2 diminuent en s'éloignant du Boulevard Périphérique avec des teneurs mesurées relativement similaires en façade de bâtiments, hormis lors de conditions météorologiques particulièrement dispersives engendrant des concentrations plus faibles aux étages les plus élevés.
La variabilité des niveaux enregistrés à l'intérieur d'un même bâtiment peut être importante et n'est pas nécessairement directement fonction de l'air extérieur mais peut être influencée par les conditions de ventilation, le taux de renouvellement d'air et l'abattement des teneurs entre l'extérieur et l'intérieur d'un bâtiment. De ce fait, il n'est pas possible de généraliser les teneurs mesurées dans une pièce à l'ensemble d'un bâtiment.

[39] Levy JI, Lee K, Spengler JD, Yangisawa Y : Impact of residential nitrogen dioxide exposure on personal exposure : an international study. J. Air Waste Manage Assoc 1998 ; 48 : 553-560.

VI.2 Benzène

La Figure 39 illustre l'évolution de la qualité de l'air en benzène en fonction de l'éloignement (distance en abscisse) au Boulevard Périphérique avec un zoom sur deux bâtiments ayant fait l'objet de mesure en façade et à l'intérieur. Le trait rouge illustre le niveau de fond mesuré au Parc Montsouris.



Concentration en air intérieur (en µg/m³)

Concentration en air extérieur - façade (en µg/m³)

Figure 39 : Évolution de la qualité de l'air en benzène du bord du Boulevard Périphérique à l'intérieur des bâtiments.

A l'extérieur :

Les teneurs en benzène diminuent au fur et à mesure que l'on s'éloigne du Boulevard Périphérique pour atteindre à 160 m de l'axe le niveau de fond mesuré au Parc Montsouris. A hauteur du Collège E. Galois, les teneurs de benzène tendent à légèrement augmenter (1.9 µg/m³ en moyenne) du fait de l'impact du trafic routier local (Boulevard des Maréchaux et de l'Avenue d'Italie).
A une telle distance du Boulevard Périphérique, la hauteur de prélèvement en façade de ces bâtiments n'est pas un facteur de décroissance des teneurs de benzène. La hauteur de prélèvement est particulièrement déterminante à proximité de sources d'émissions, telles que celles issues du trafic routier, mais l'est beaucoup moins lorsque l'on s'en éloigne comme cela est le cas pour les deux bâtiments étudiés.

A l'intérieur :

Les pièces instrumentées d'échantillonneurs passifs observent des concentrations de benzène comparables, voire supérieures, à ce qui est mesuré en façade.
Les concentrations dans l'immeuble de la Rue P. Bourget sont plus élevées que celles mesurées au Collège E. Galois. Cela peut être la conséquence des niveaux extérieurs plus forts en façade de l'immeuble Rue P. Bourget puisque celui-ci est plus proche du Boulevard Périphérique. Néanmoins aucune conclusion généralisable ne peut être tirée uniquement sur cet exemple.

L'ensemble des résultats de benzène à l'intérieur et à proximité immédiate des bâtiments étudiés est présenté en ANNEXE 13.

Sur cet exemple, les concentrations de benzène sont relativement homogènes entre l'air extérieur et l'intérieur des bâtiments avec les teneurs les plus fortes mesurées en façade et à l'intérieur du bâtiment le plus proche du Boulevard Périphérique.

VII. TRANSFERT DES POLLUANTS DE L'AIR EXTERIEUR A L'INTERIEUR DES BATIMENTS

L'air extérieur est transféré à l'intérieur des bâtiments dans des conditions qui dépendent essentiellement du renouvellement d'air des locaux et de la transformation éventuelle des polluants du fait des interactions avec les matériaux. Pour un polluant gazeux, l'étude du rapport de la concentration intérieure moyennée sur une période relativement longue et de la concentration moyenne extérieure peut renseigner plusieurs aspects :

- Dans le cas d'un polluant non réactif, le rapport « Concentration intérieure (Cint) / (Cext) Concentration extérieure » est proche de 1 en l'absence de sources intérieures. Une valeur de ce rapport supérieure à 1 révèle la présence au contraire de sources d'émissions intérieures.

- Dans le cas d'un polluant réactif, le rapport (Cint)/(Cext) est inférieur à 1. Ce rapport est d'autant plus faible que la réactivité du polluant est grande.

Ainsi, les rapports Cint/Cext ont été calculés à partir des résultats des mesures suite aux échantillonnages passifs dans les 19 sites et aux données des analyseurs automatiques sur 4 sites.

VII.1 Oxydes d'azote

Pour le **dioxyde d'azote**, les ratios Cint/Cext ont été calculés, en premier lieu, sur la base des résultats obtenus à partir des échantillonnages passifs.
Le Tableau 2 présente, pour chaque site, les valeurs des ratios NO_2int /NO_2ext, moyennés sur la période de l'étude. Sont aussi mentionnées les valeurs minimales et maximales des rapports, calculés pour chacune des 4 semaines de l'étude.

Les ratios NO_2int/NO_2ext, intégrés sur la période de l'étude, sont toujours inférieurs à 1. Ils s'échelonnent entre 0,21 et 0,91, ce qui correspond à un abattement des teneurs extérieures en NO_2 compris entre 79 % et 9 %.
On constate une variabilité importante des rapports moyens selon les bâtiments et aussi selon les sites d'un même bâtiment. En l'absence de source intérieure recensée dans les pièces étudiées, ces résultats s'expliquent par la réactivité chimique de NO_2 et par des conditions différentes de ventilation des pièces étudiées. Il est à noter que, pour un site donné, l'abattement des teneurs en NO_2 est relativement stable au cours des 4 semaines de l'étude car les écarts entre les valeurs maximales et minimales hebdomadaires sont modérés.

L'abattement le plus important de 79 % (NO_2int/NO_2ext = 0,21) correspond au site intérieur 112. Il s'agit d'une petite pièce, utilisée ponctuellement au cours de la journée. Ce résultat atypique laisse penser que le taux de renouvellement de l'air est très faible dans ce local.

Bâtiment	Code Site (int/ext)	Niveau	Côté périph .	$[NO_2]i/[NO_2]e$ min	$[NO_2]i/[NO_2]e$ max	$[NO_2]i/[NO_2]e$ moy
"ancienne" maison Arts et Métiers	101/1**	RDC	oui	0.37	0,48	0,43
	102/103	2è étage	oui	0,66	0,94	0,80
	104/103	2è étage	non	0,63	0,77	0,72
"nouvelle" maison Arts et Métiers	105/106	RDC	oui	0,70	0,89	0,77
	107/108	2è étage	oui	0,47	0,57	0,53
	109/108	2è étage	non	0,53	0,65	0,59
Collège Évariste Galois	115/116*	RDC	oui	0,51	0,57	0,53
	117/118	2è étage	oui	0,88	0,93	0,91
	119/118	2è étage	non	0,78	0,84	0,81
	120/121	3è étage	oui	0,83	0,95	0,86
Maison de Gérontologie du Sacré-Cœur	110/111*	RDC	oui	0,57	0,69	0,63
	112/113	1er étage	oui	0,18	0,24	0,21
	114/113	1er étage	non	0,59	0,66	0,62
Immeuble géré par SGIM	122/123	1er étage	oui	0,41	0,41	0,41
	126/123	1er étage	non	0,41	0,51	0,46
	124/125	3è étage	oui	0,32	0,55	0,45
Immeuble OPIHLM	127/128	1er étage	oui	0,59	0,62	0,61
	129/128	1er étage	non	0,60	0,65	0,62
	130/131	4è étage	oui	0,83	0,90	0,87

(* Sites où des analyseurs automatiques ont été placés)
** Point de mesure sur le trottoir à 4 m de la façade.

Tableau 2: Valeurs des ratios NO_2 int/NO_2 ext intégrés sur les 4 semaines d'étude et valeurs minimales et maximales des rapports calculés sur une base hebdomadaire.

Pour deux sites, 110 (Maison de Retraite) et 115 (Collège E. Galois), le taux de transfert a pu être étudié plus finement à partir des données acquises par les analyseurs automatiques. Ainsi, la Figure 40 et la Figure 41 illustrent l'évolution journalière des rapports NO_2 int/NO_2 ext. Dans les deux cas, l'étendue des valeurs est comparable : 0,43 à 0,81 pour le collège et 0,48 à 0,84 pour la Maison de Retraite.

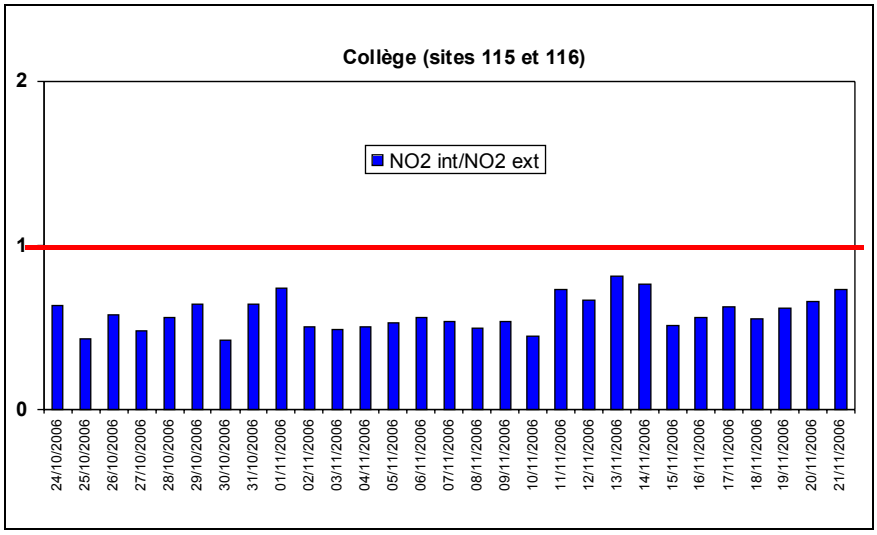


Figure 40 : Rapports moyens journaliers NO_2 int/NO_2 ext au rez-de-chaussée du Collège E. Galois.

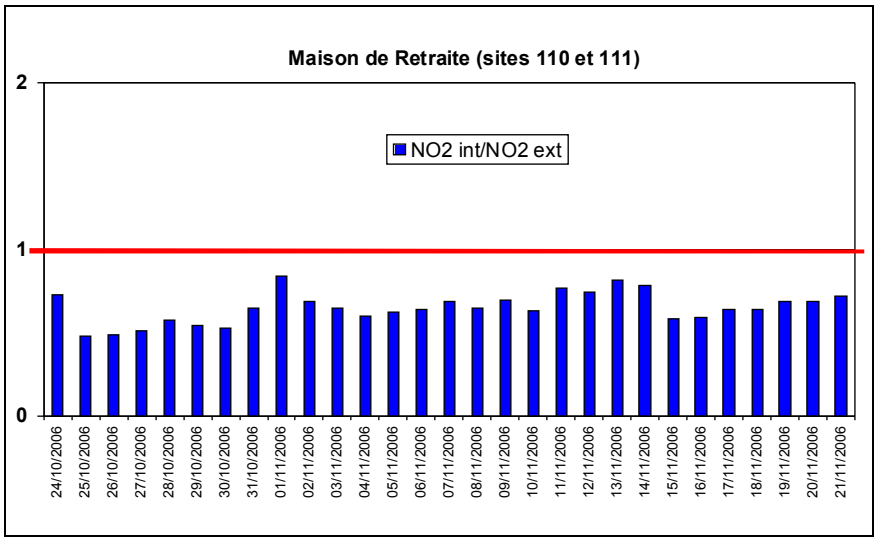


Figure 41 : Rapports moyens journaliers NO_2 int/NO_2 ext au rez-de-chaussée de la Maison de Retraite.

La fluctuation des rapports moyens journaliers ne peut être interprétée faute de renseignement précis concernant notamment le renouvellement d'air et l'humidité relative d'un jour à l'autre.

Il est intéressant de souligner que les résultats obtenus par des moyens et des principes de mesure différents conduisent à des résultats très comparables, comme l'indique le Tableau 3.

	Ratio NO_2 int/NO_2 ext
	Maison de Retraite Sites 110/111
Échantillonneurs passifs	0,63
Analyseurs automatiques	0,65

Tableau 3 : Comparaison des valeurs du ratio NO_2 int/NO_2 ext sur la période de l'étude à partir des deux méthodes utilisées.

Ces sites de mesure mis en place à l'extérieur des bâtiments, en façade ou sur le trottoir au pied de l'immeuble et à différents étages, permettent également l'étude de la variabilité de la qualité de l'air en fonction de leurs emplacements. Ainsi, la pollution atmosphérique suivant la hauteur (étage) et l'orientation du bâtiment par rapport au Boulevard Périphérique (côté donnant sur l'axe ou au contraire côté cour) peut être étudiée.

La Figure 42 permet de comparer en moyenne sur la campagne de mesure les teneurs de dioxyde d'azote pour les sites extérieurs et intérieurs à hauteur de l'ancienne Maison des Arts et Métiers. De plus, la mesure en air intérieur du NO_2 en fonction de l'emplacement par rapport au Boulevard Périphérique peut être étudiée.

La concentration la plus importante en dioxyde d'azote (90 µg/m^3) est observée sur le trottoir de l'Avenue P.V. Couturier, à quelques mètres seulement (4 m) des bureaux situés au rez-de-chaussée de l'ancienne Maison des Arts et Métiers. Ce site de mesure représente le point le plus proche du Boulevard Périphérique. On constate une baisse notable (35 %) de la teneur moyenne mesurée au 2ème étage, point de mesure plus éloigné en distance horizontale (mesure en façade) et verticale (2ème étage). Cette différence de concentration est particulièrement

manifeste sachant que l'immeuble est situé à proximité des émissions du trafic routier de l'Avenue P.V Couturier et du Boulevard Périphérique.

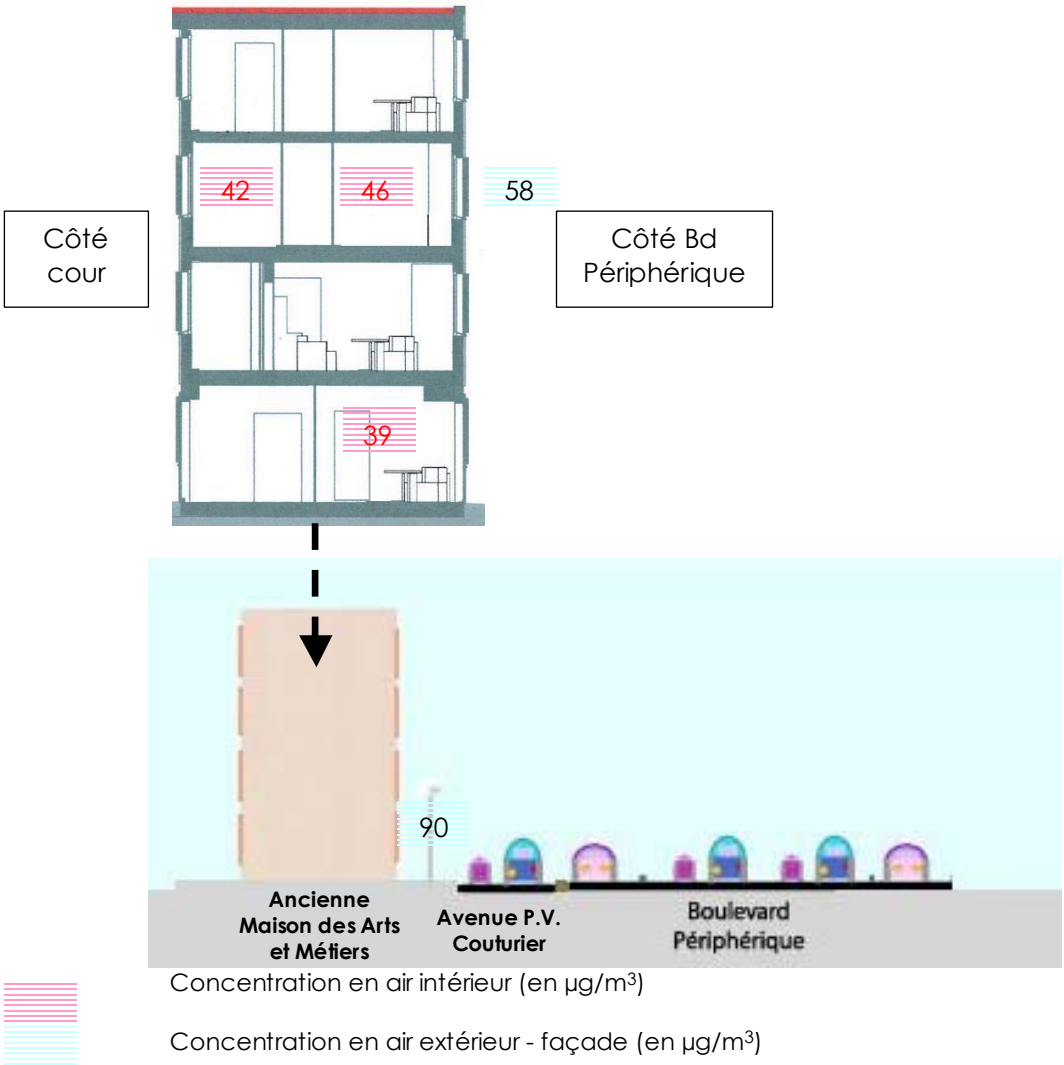


Figure 42 : Évolution de la qualité de l'air en dioxyde d'azote du bord du Boulevard Périphérique à l'intérieur des bâtiments.

A l'intérieur du bâtiment, la hiérarchie des teneurs en dioxyde d'azote est différente avec le niveau moyen le plus faible mesuré dans un bureau situé au rez-de-chaussée, côté Boulevard Périphérique. Au deuxième étage, les deux chambres vides, qui ont fait l'objet de mesures côté Boulevard Périphérique et côté cour, présentent des teneurs supérieures à celles du rez-de-chaussée alors que le niveau à l'extérieur est plus faible. Ce premier constat peut être la conséquence d'une adsorption moins importante du NO_2 dans les chambres. Celles-ci étant vides, il y a moins de surfaces susceptibles d'adsorber le polluant.
La chambre vide donnant côté cour observe un niveau moyen de NO_2 plus faible (42 µg/m³) que la chambre côté Boulevard Périphérique (46 µg/m³). Côté cour, les niveaux de NO_2 sont plus faibles (en l'absence de sources intérieures) que ceux mesurés côté Boulevard Périphérique sachant que l'on est plus éloigné de l'axe. De plus, cela est renforcé par l'effet « barrière » que peut jouer un bâtiment sur la qualité de l'air.
Le rôle « protecteur » d'immeubles par rapport aux émissions d'un axe routier important (autoroute A4) a également été mis en évidence lors de mesures au sein d'un square entouré

d'immeubles où la concentration moyenne de NO_2 était inférieure de 14 % à un site de mesure implanté à la même distance mais directement sous l'influence de l'axe autoroutier[40].

Les concentrations de **monoxyde d'azote** ont été mesurées, au moyen des analyseurs automatiques, uniquement au niveau des sites 110 et 111 de la maison de retraite et des sites 115 et 116 du collège. Les rapports des concentrations moyennes journalières sont représentés sur la Figure 43 et la Figure 44.

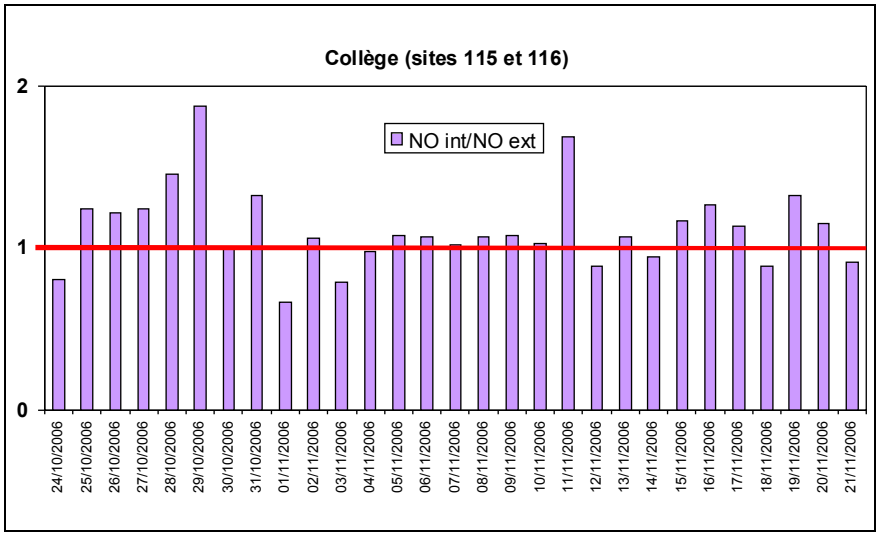


Figure 43 : Rapports moyens journaliers NO int/NO ext au rez-de-chaussée du collège E. Galois.

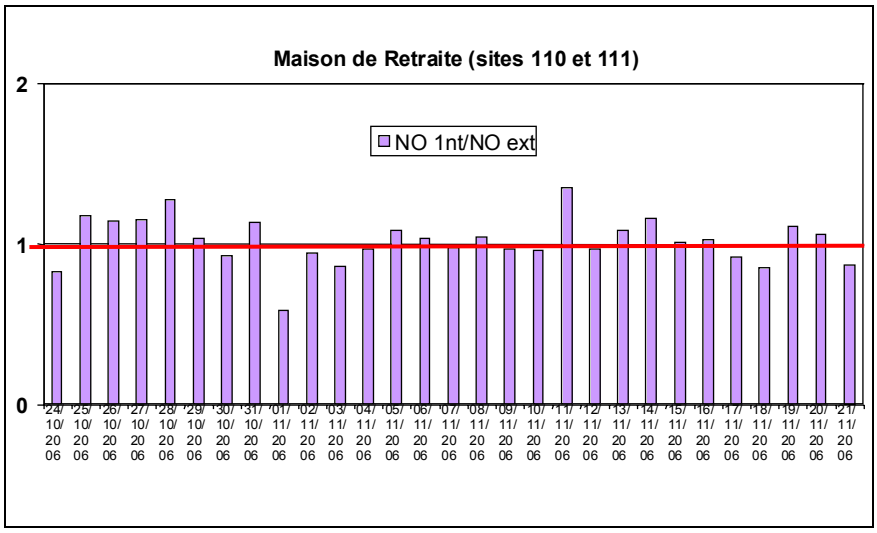


Figure 44 : Rapports moyens journaliers NO int/NO ext au rez-de-chaussée de la Maison de Retraite.

Le ratio NO int/NO ext est souvent voisin de 1, à l'exception de quelques journées où les valeurs sont nettement plus faibles (le 01/11/06 : 0,66 et 0,59) ou plus élevées (1,69 et 1,88 le 29/10/06 et le 11/11/06 au Collège et 1,35 dans la maison de retraite). Mais, ces valeurs qui s'écartent le plus de 1 correspondent à des niveaux moyens journaliers de NO faibles.

[40] « Caractérisation de la qualité de l'air à proximité de l'autoroute A4 sur la commune de Charenton-le-Pont (94). » - août 2005.

Sur la période de l'étude, le rapport NO int/NO ext est égal à 1,1 pour le collège et à 1,0 pour la Maison de Retraite, ce qui équivaut à un taux de transfert du NO de 100 %, en admettant l'absence de sources intérieures.
Les résultats relatifs aux oxydes d'azote (NO et NO_2) montrent la différence de réactivité de ces deux composés et traduisent aussi l'absence d'ozone dans l'air intérieur. En effet, à cette période de l'année, les teneurs en ozone étaient faibles sur l'agglomération parisienne et, *a fortiori*, en proximité du trafic automobile d'où l'absence de réaction atmosphérique entre le monoxyde d'azote (NO) et l'ozone (O_3) dans les locaux. De ce fait, une fois transféré le monoxyde d'azote est relativement stable.

En période estivale, selon toute probabilité, un ratio Cint/Cext plus faible pour NO et plus fort pour NO_2 aurait été observé.

Les appareils de combustion à gaz, utilisés pour le chauffage et la cuisson des aliments, sont les principales sources potentielles de NO_2 dans les habitats. Mais en l'absence de sources de combustion, comme cela est le cas à l'intérieur des locaux ayant lait l'objet de mesures, les concentrations de NO_2 mesurées dans un local dépendent des teneurs dans l'air extérieur environnant ainsi que du renouvellement d'air. Ce polluant est un gaz réactif qui peut s'adsorber sur les surfaces rencontrées, qu'il s'agisse du mobilier et des matériaux divers utilisés pour la décoration des murs et des sols.
De ce fait, les rapports $C_{intérieure}/C_{extérieure}$ sont le plus souvent inférieurs à 1. La campagne de mesure ainsi que de nombreux travaux confirme ces niveaux de NO_2 plus faibles à l'intérieur des locaux du fait d'un abattement important.
Au contraire, à l'intérieur les niveaux de monoxyde d'azote sont comparables a ceux relevés à l'extérieur des bâtiments.

VII.2 Benzène

Le Tableau 4 présente, pour chaque site, les valeurs des ratios Benzène int/Benzène ext, moyennés sur la période de l'étude. Sont aussi mentionnées les valeurs minimales et maximales des rapports, calculés pour chacune des 4 semaines de l'étude.

Les valeurs du rapport calculé à partir des concentrations hebdomadaires fluctuent notablement en certains sites. Les rapports moyens, pour la période de l'étude, sont compris entre 0,59 et 1,13. Les résultats les plus élevés (supérieurs à 1) peuvent être en faveur de sources intérieures de benzène sous forme de traces (produits nettoyants, colle…).

Bâtiment	Code Site (int/ext)	Niveau	Côté périph	[Benz]i/[Benz]e min	[Benz]i/ [Benz]e max	[Benz]i/[Benz]e moy
"ancienne" maison Arts et Métiers	101/1*	RDC	oui	0.50	0.68	0,59
	102/103	2è étage	oui	1,04	1,22	1,11
	104/103	2è étage	non	0,75	0,82	0,78
"nouvelle" maison Arts et Métiers	105/106	RDC	oui	0,78	0,96	0,88
	107/108	2è étage	oui	0,69	0,91	0,82
	109/108	2è étage	non	0,88	1,0	0,95
Collège Évariste Galois	117/118	2è étage	oui	0,96	1,19	1,09
	119/118	2è étage	non	0,61	1,28	1,05
	120/121	3è étage	oui	0,91	1,34	1,13
Maison de Gérontologie du Sacré-Cœur	110/111	RDC	oui	0,68	1,09	0,90
	112/113	1er étage	oui	0,79	1,11	0,94
	114/113	1er étage	non	0,85	0,94	0,90
Immeuble géré par SGIM	122/123	1er étage	oui	0,88	1,19	1,0
	126/123	1er étage	non	0,89	1,04	0,94
	124/125	3è étage	oui	0,94	1,08	1,0
Immeuble OPIHLM	127/128	1er étage	oui	0,62	1,04	0,85
	129/128	1er étage	non	0,64	0,93	0,76
	130/131	4è étage	oui	0,98	1,0	0,99

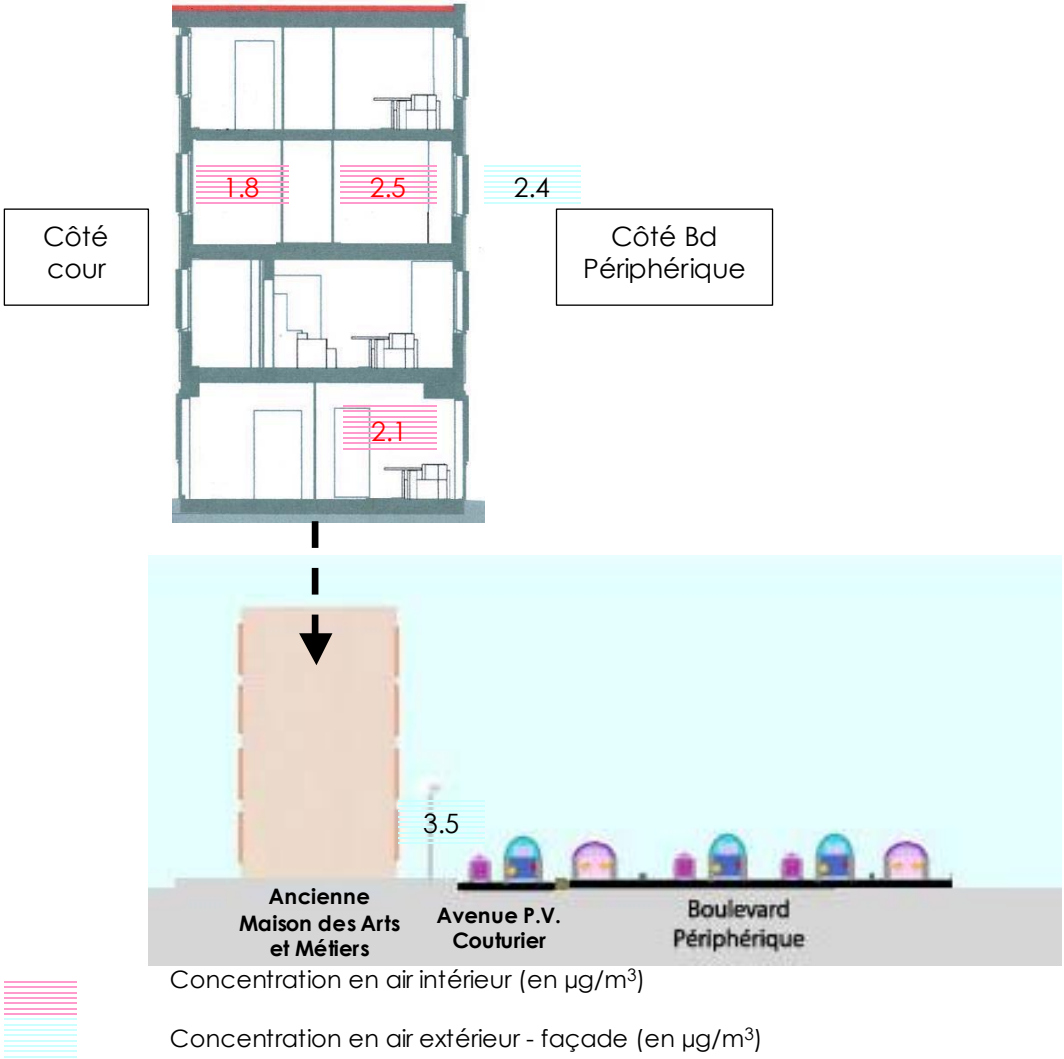
*Point de mesure sur le trottoir à 4 m de la façade.

Tableau 4 : Valeurs des ratios Benzène int/Benzène ext intégrés sur les 4 semaines d'étude et valeurs minimales et maximales des rapports calculés sur une base hebdomadaire.

La Figure 45 illustre les résultats de mesure de benzène aux sites instrumentés à l'intérieur et l'extérieur de l'ancienne Maison des Arts et Métiers.

La teneur en benzène mesurée au second étage est inférieur de plus de 30 % à ce que l'on mesure à proximité de l'Avenue P.V. Couturier à 4 m de la façade du rez-de-Chaussée. L'éloignement plus important du point de mesure par rapport au trafic routier conjugué de l'Avenue P.V. Couturier et du Boulevard Périphérique explique cette décroissance.

En air intérieur, la chambre vide du second étage côté cour présentent une teneur moyenne inférieure de 28 % à celle située côté Boulevard Périphérique. Le rôle protecteur de l'immeuble[40] ainsi que l'éloignement plus important du Boulevard Périphérique peut expliquer cette différence, au même titre que ce qui a été observé pour le dioxyde d'azote.
La variabilité des niveaux de benzène enregistrés à l'intérieur d'un même bâtiment est importante. De ce fait, il n'est pas possible de généraliser les teneurs mesurées dans une pièce à l'ensemble du bâtiment.



Concentration en air intérieur (en µg/m³)

Concentration en air extérieur - façade (en µg/m³)

Figure 45 : Évolution de la qualité de l'air intérieur et extérieur à proximité de l'ancienne Maison des Arts et Métiers.

VII.3 Particules PM2.5

Pour les raisons précédemment évoquées, l'étude du rapport PM2.5 int / PM2.5 ext au niveau de la Maison de Retraite n'a pas été possible.

Quatre prélèvements, intégrés sur 48 heures, ont été réalisés, entre le 31/10/06 et le18/11/06, simultanément au niveau du site intérieur 110 et du site extérieur 111.

Le Tableau 5 regroupe les concentrations de particules PM2.5 et de sulfates recueillis sur les filtres, sur des pas de temps de 48 heures.

Date prélèvement	Sites 115/116	PM2.5 (µg/m³)	Ratio PM2.5 int/ PM2.5 ext	sulfates (µg/m³)	Ratio Sulfates int/ Sulfates ext
31/10 et 01/11/06	Extérieur	12,6	0,75	1,23	0,91
	Intérieur	9,5		1,12	
10/11 et11/11006	Extérieur	22,2	0,60	1,89	0,97
	Intérieur	13,4		1,83	
14/11 et 15/11/06	Extérieur	10,7	0,80	1,08	0,87
	Intérieur	8,5		0,94	
17/11 et 18/11/06	Extérieur	9,9	0,74	0,73	0,78
	Intérieur	7,3		0,56	

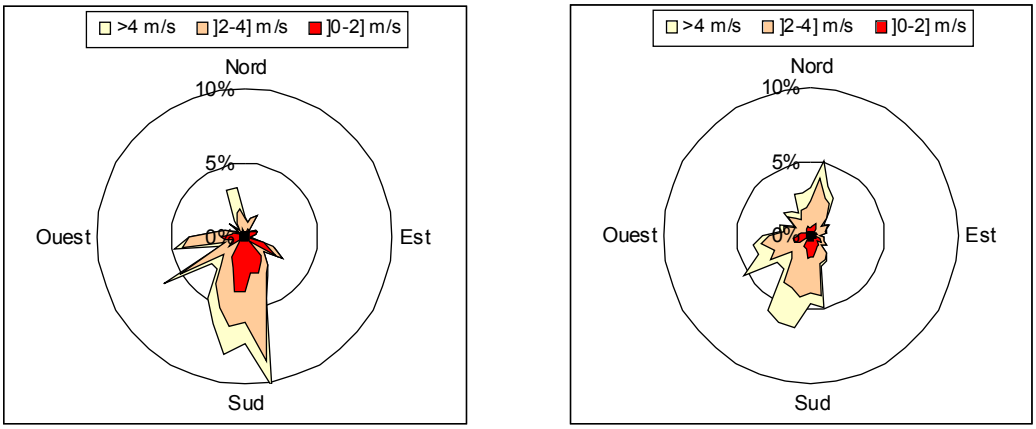
Tableau 5 : Mesures de particules PM2.5 et de sulfates sur les sites 115 et 116, au rez-de-chaussée de la Maison de Retraite.

La mesure des sulfates avait pour objectif d'estimer la part de particules fines PM2.5 transférée réellement de l'extérieur à l'intérieur des habitats, en l'absence de source connue de sulfates dans l'air intérieur. Les sulfates représentent de 7 % à 10 % de la fraction massique des particules PM2.5 dans l'air urbain avoisinant, et 8 % à 14 % dans l'air intérieur. Selon la valeur obtenue du ratio moyen, sulfates int/sulfates ext, **près de 90 % des particules PM2.5 mesurées dans la pièce étudiée seraient d'origine extérieure**. Mais en raison du faible nombre de mesures, ce résultat est à considérer uniquement comme un ordre de grandeur. De plus, ces résultats ne sont pas généralisables puisque la mesure des sulfates n'a été réalisée que dans une pièce spécifique (bureau au sein d'une Maison de Retraite).

VIII. ESTIMATION DU RESPECT DES NORMES DE LA QUALITE DE L'AIR

La campagne de mesure intensive de la qualité de l'air menée au moyen d'échantillonneurs passifs permet de comparer les niveaux relevés aux normes de qualité de l'air pour le dioxyde d'azote et le benzène sur l'ensemble des points instrumentés.
Les réglementations française et européenne définissent en matière de pollution atmosphérique essentiellement des normes relatives à des niveaux moyens annuels (voir en ANNEXE 7). Afin de pouvoir comparer les résultats de la campagne de mesure, d'une durée totale de quatre semaines, aux normes annuelles, il est nécessaire d'estimer le niveau moyen de chaque site sur une période d'un an. Cette estimation se fait notamment par comparaison avec les stations du réseau fixe d'AIRPARIF.

Avant toute chose, il est nécessaire de rappeler que les conditions météorologiques rencontrées lors de la campagne de mesure ont présenté des régimes de vent dominant de secteur Sud. De ce fait, la partie au Nord du Boulevard Périphérique, était sous l'influence des émissions de l'axe plus fréquemment par rapport à ce qui est observé au cours d'une année (Cf. Figure 46). En effet, en Île-de-France le secteur de vent dominant (b) est de Sud-Ouest (40 %) et secondairement de Nord-Est (25 %).



(a) Rose de vent campagne de mesure (b) Rose de vent annuelle

Figure 46 : Rose de vent obtenue lors de la campagne de mesure (a) en comparaison de la rose de vent annuelle (b) - d'après données Météo-France-.

Ainsi, les estimations de la moyenne annuelle maximalisent le risque de dépassement des objectifs de qualité au Nord du Boulevard Périphérique par rapport à ce qui peut être mesuré sur l'ensemble d'une année. A l'inverse, le Sud du Boulevard Périphérique (Gentilly) a été moins souvent sous l'influence de l'axe (14 %) durant les quatre semaines de la campagne de mesure par rapport à ce qui est généralement observé au cours d'une année (25 %).

VIII.1.1 Estimation de la concentration moyenne annuelle : méthode de calcul et incertitude associée

Les conditions de dispersion observées lors des séries de mesure n'étant que partiellement représentatives des situations dispersives à l'échelle de l'année, le calcul « simpliste » de la moyenne à partir des résultats de la campagne de mesure ne permet pas d'obtenir une évaluation fiable du niveau moyen annuel. Par conséquent, l'évaluation de la concentration annuelle ne peut se faire qu'avec un calcul qui prend en compte la différence des conditions météorologiques et des autres facteurs environnementaux qui influencent ponctuellement les niveaux observés lors des séries de mesure.

Une évaluation correcte du niveau moyen annuel en chaque site de mesure implique que l'on se réfère à des résultats annuels connus, déduits des mesures réalisées en continu. C'est ce qui a été fait à partir des résultats de l'ensemble des stations permanentes du réseau AIRPARIF. Une comparaison directe entre les niveaux relevés lors des quatre semaines de mesure aux stations permanentes et le niveau moyen annuel de ces stations permet de déterminer la fonction de transfert qui reflète au mieux les différences météorologiques entre les deux périodes de mesure. Une relation mathématique, déterminée sur la base de cette comparaison, est appliquée aux résultats obtenus pour chacun des sites de mesure instrumentés par échantillonneur passif afin d'évaluer d'une façon fiable la concentration annuelle de chaque point de mesure.

La concentration annuelle ainsi déterminée est nécessairement entachée d'une incertitude. Cette incertitude provient notamment de l'erreur des appareils de mesure ainsi que de l'erreur associée au calcul qui permet de déduire la moyenne annuelle à partir des résultats de la campagne de mesure. Ainsi, **le niveau annuel évalué représente l'estimation la plus probable de la concentration annuelle du site de mesure qui aurait été obtenue si l'on avait surveillé la qualité de l'air tout au long de l'année.** L'incertitude associée à l'estimation du niveau annuel est d'environ 7 % pour le dioxyde d'azote et de l'ordre de 20 % pour le benzène. Ceci implique par exemple que, pour le dioxyde d'azote, pour un niveau moyen annuel évalué à 40 µg/m^3, la concentration moyenne annuelle qui aurait été obtenue par une surveillance permanente serait comprise entre 37 µg/m^3 et 43 µg/m^3. Le niveau moyen annuel ainsi déterminé et l'intervalle d'incertitude pour chacun des sites de mesure sont détaillés en ANNEXE 9.

VIII.1 Dioxyde d'azote

Les directives européennes et la réglementation française définissent pour le dioxyde d'azote des niveaux réglementaires pour deux échelles de temps : moyenne annuelle et moyenne horaire. Cette distinction permet de prendre en considération deux types de situations vis-à-vis des effets sur la santé : d'une part la pollution atmosphérique chronique à l'échelle annuelle et d'autre part les épisodes de courte durée, à l'échelle d'une ou plusieurs heures (épisodes de pollution…). Les mesures par tubes à diffusion fournissant des résultats moyennés sur deux semaines, elles ne permettent que l'approche des niveaux annuels. L'évolution des niveaux horaires est étudiée avec les résultats des mesures par véhicules laboratoires. Au niveau national, l'objectif de qualité de l'air annuel pour le dioxyde d'azote est fixé à 40 µg/m^3. Cette valeur correspond également à la valeur limite applicable en 2010 définie par la directive européenne relative au NO_2 (voir ANNEXE 7).

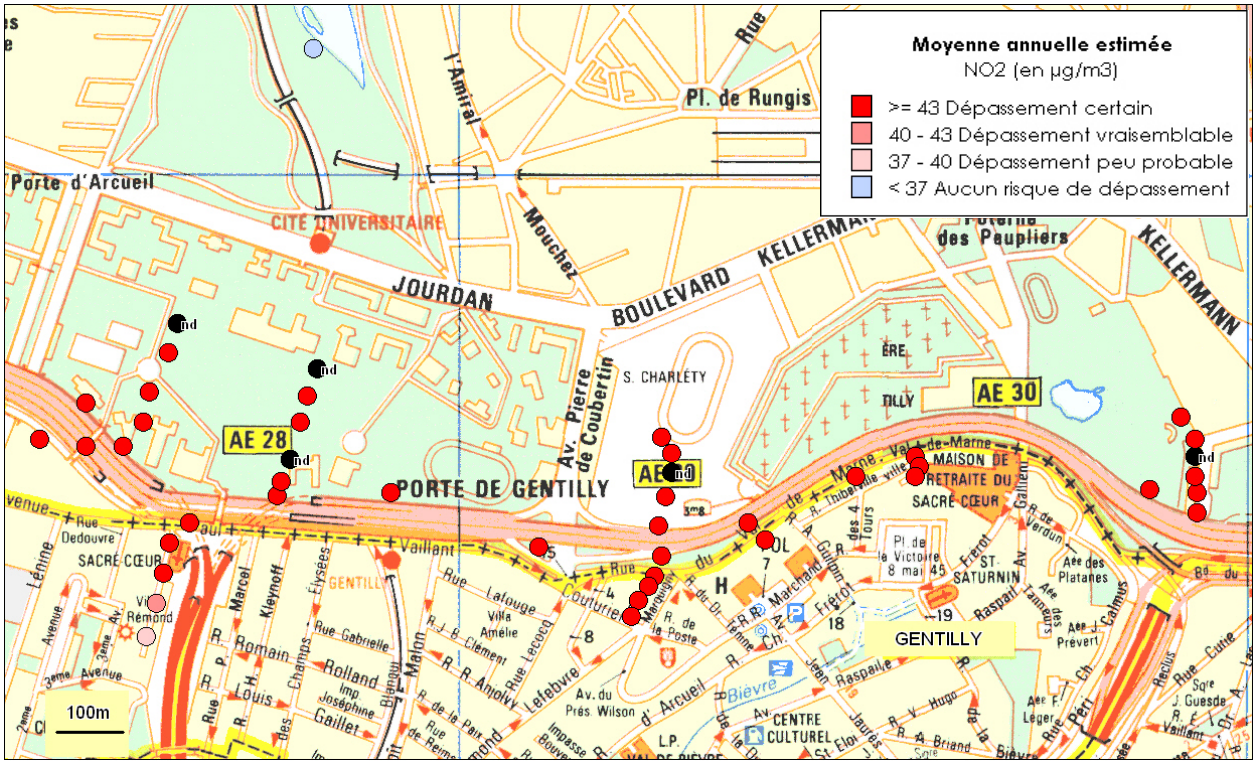
<u>Respect des normes à l'échelle annuelle :</u>

Le niveau moyen annuel de dioxyde d'azote a été évalué pour 52 sites instrumentés d'échantillonneurs passifs (site en air extérieur) à partir des quatre semaines de mesure de la campagne et de stations du réseau AIRPARIF mesurant le NO_2.

Pour évaluer précisément le risque de dépassement de l'objectif de qualité sur les différents sites de mesure, Il est nécessaire de prendre en compte l'incertitude de 7 % associée à l'évaluation de la moyenne annuelle. Ainsi, la moyenne annuelle que l'on aurait obtenue si on avait mesuré le NO_2 en continu tout au long de l'année est comprise dans l'intervalle [Moyenne NO_2 estimée ± 7 %].

L'identification des points de mesure dépassant l'objectif de qualité ne peut se faire qu'en terme de « risque de dépassement ». Ce risque est minimal, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de risque de dépassement, lorsque le niveau annuel évalué est d'au moins 7 % inférieur à l'objectif de qualité de 40 µg/m^3, c'est-à-dire inférieur à 37 µg/m^3. Le risque est maximal, c'est-à-dire que le dépassement de l'objectif de qualité est certain, lorsque le niveau annuel estimé est supérieur

de 7 % à l'objectif de qualité, à savoir supérieur à 43 µg/m³. Entre ces deux extrêmes, le risque de dépassement augmente statistiquement et de façon continue avec le niveau moyen annuel estimé. On peut néanmoins distinguer deux grandes classes de risque qui permettent de qualifier globalement la situation au regard de l'objectif de qualité. Un risque de dépassement dit « peu probable » existe lorsque le niveau moyen annuel estimé se situe entre 37 et 40 µg/m³ et un risque de dépassement dit « vraisemblable » est identifié pour un niveau annuel estimé compris entre 40 et 43 µg/m³.
La Figure 47 illustre, pour chaque site de mesure en air extérieur, l'estimation du risque de dépassement de l'objectif de qualité en dioxyde d'azote fixé à 40 µg/m³.



nd : non disponible.

Figure 47 : Risque de dépassement de l'objectif de qualité annuel pour le dioxyde d'azote (40 µg/m³) évalué pour la période du 1er octobre 2006 au 30 septembre 2007 pour chaque site de mesure.

Le seul site de mesure ne présentant pas de risque de dépassement de l'objectif de qualité est situé en fond au sein du Parc Montsouris, avec une moyenne annuelle estimée à 35 µg/m³. Le niveau de NO_2 annuel de fond au Sud de Paris, établi entre le 1er octobre 2006 et le 30 septembre 2007, est également inférieur à l'objectif de qualité avec notamment des concentrations à Paris 12ème, 13ème et à Ivry-sur-Seine respectivement de 38, 34 et 37 µg/m³.
Au contraire, en se rapprochant d'axes routiers importants comme le Boulevard Périphérique, l'influence de ce dernier entraîne des niveaux annuels supérieurs au 40 µg/m³ fixé comme objectif de qualité.
De ce fait, une large bande (supérieure à 150 m) de part et d'autre du Boulevard Périphérique, où ont été implantés les sites de mesure, présente un dépassement certain de ce seuil. Une spécificité est à noter dans l'impasse de la Villa Rémond (Gentilly) puisqu'une décroissance du risque de dépassement est estimée à environ 150 m avec un risque de dépassement peu probable.

Normes horaires :

Des seuils réglementaires relatifs aux situations aiguës de pollution atmosphérique de courte durée sont fixés. Ces « pics » sont induits notamment par des phénomènes d'accumulation associés à des conditions météorologiques spécifiques. La procédure d'information et d'alerte du public en cas d'épisode de pollution atmosphérique instaurée en Île-de-France depuis le 25 avril 1994 a notamment été élaborée pour ce type de situation dégradée de courte durée : le déclenchement de la procédure d'information et de recommandation du public est fixé pour le dioxyde d'azote à 200 µg/m³ en moyenne horaire et le seuil d'alerte[41] s'établit à 400 µg/m³.
De plus, la réglementation fixe comme valeur limite en 2010 pour le dioxyde d'azote, un nombre maximal de 18 dépassements de la concentration horaire de 200 µg/m³ dans l'année.

La Figure 48 illustre les concentrations horaires maximales de dioxyde d'azote observées relevées chaque jour de la campagne de mesure sur les sites temporaires du domaine d'étude, sur les stations de fond de Paris et d'Ivry-sur-Seine et au droit du Boulevard Périphérique à hauteur de la Porte d'Auteuil (ligne noire).

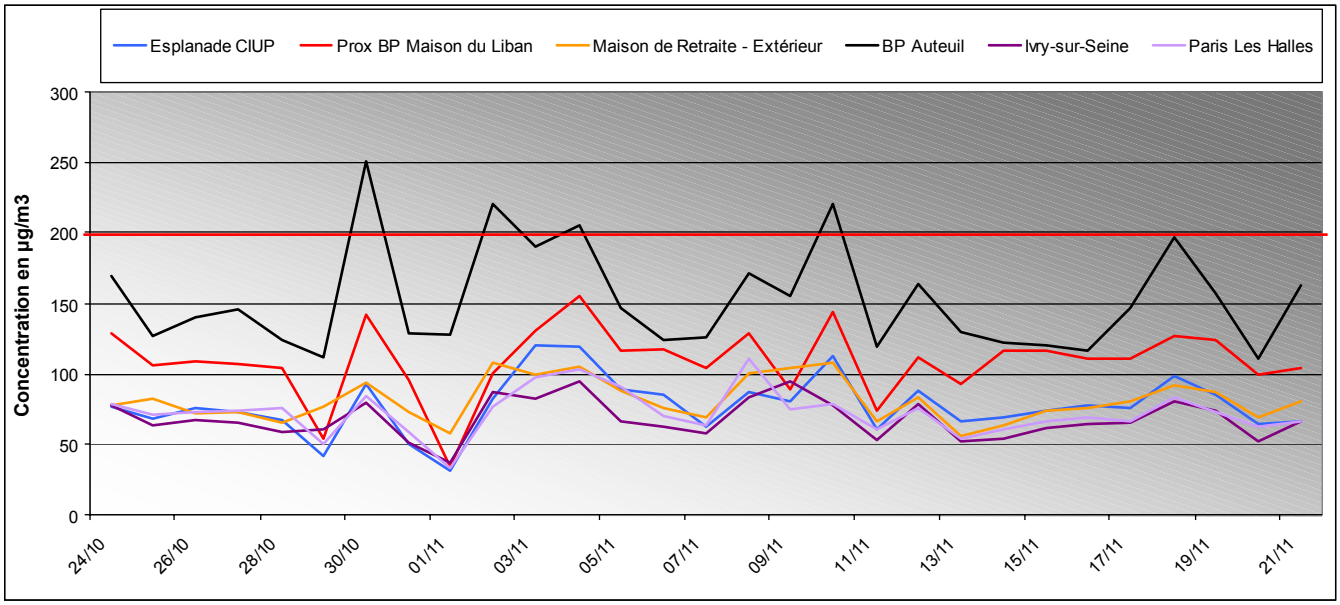


Figure 48 : Concentrations horaires maximales de dioxyde d'azote enregistrées lors de la campagne de mesure sur les trois sites temporaires et sur certaines stations du réseau AIRPARIF.

Au cours des quatre semaines de mesure, seule la station fixe située au droit du Boulevard Périphérique à hauteur de la Porte d'Auteuil a enregistré une concentration horaire supérieure à 200 µg/m³ et cela à 4 reprises. Concernant les sites de mesure temporaire, le site le plus proche du Boulevard Périphérique (Maison du Liban : 10 m) enregistre les niveaux horaires les plus importants sans toutefois atteindre les teneurs enregistrées à hauteur de la Porte d'Auteuil et le seuil fixé à 200 µg/m³. Les sites plus éloignés du Boulevard Périphérique (Maison de Retraite : 40 m et Esplanade CIUP : 120 m) présentent des concentrations horaires maximales légèrement supérieures au niveau de fond enregistré au cœur de la Capitale (Paris Les Halles) ou en périphérie de Paris (Ivry-sur-Seine) mais sans toutefois dépasser 120 µg/m³ durant les quatre semaines de mesure.

[41] Deuxième condition pour déclencher le seuil d'alerte : si la procédure d'information et de recommandation a été déclenchée la veille et le jour même et si les prévisions font craindre un nouveau risque de déclenchement pour le lendemain.

Le Tableau 6 présente le nombre de dépassement horaire de 200 µg/m³ depuis 2003 sur les stations fixes du réseau AIRPARIF de fond à Paris Les Halles et en situation de proximité au trafic routier au droit du Boulevard Périphérique à hauteur de la Porte d'Auteuil.

	2003	2004	2005	2006	2007
Boulevard Périphérique	110	56	116	140	166
Paris 1er les Halles	4	0	0	5	4

Tableau 6 : Nombre de dépassements horaires de 200 µg/m³ enregistrés sur des stations fixes AIRPARIF depuis 2003.

Au regard des résultats historique de NO_2 sur les stations fixes d'AIRPARIF et durant les quatre semaines de mesure la valeur limite serait respectée sur les sites temporaires les plus éloigné du Boulevard Périphérique (Maison de Retraite et Esplanade CIUP) avec cependant un risque de dépassement lors de situations atmosphériques défavorables (faible vitesse de vent, inversion de température…) qui engendreraient un dépassement dans le cœur dense de l'agglomération parisienne.
Néanmoins, en se rapprochant de l'axe, à hauteur de la Maison du Liban, le risque de dépassement est plus grand du fait de l'influence du trafic routier même si durant la campagne de mesure le seuil de 200 µg/m³ n'a pas été franchi.

A proximité immédiate des grands axes de circulation, les dépassements peuvent être récurrents comme cela est le cas sur le Boulevard Périphérique à hauteur de la Porte d'Auteuil (avec 166 dépassements en 2007) ou encore l'autoroute A1, traversant la commune de Saint-Denis, (avec 53 dépassements).

VIII.2 Benzène

Les directives européennes et la réglementation française définissent pour le benzène une valeur réglementaire en terme de concentration moyenne annuelle, qui traduit la pollution chronique à l'échelle annuelle. Au niveau national, l'objectif de qualité de l'air pour le benzène est fixé à 2 µg/m³.

Le niveau moyen annuel de benzène est évalué, pour 53 sites instrumentés d'échantillonneurs passifs, à partir des quatre semaines de mesure de la campagne et des résultats des stations du réseau AIRPARIF mesurant le benzène.

Comme pour le NO_2, il est possible de positionner le niveau annuel vis-à-vis de l'objectif de qualité national de 2 µg/m³ relatif au benzène, en terme de risque de dépassement. L'incertitude associée à la moyenne annuelle de benzène estimée est de 20 %, c'est-à-dire que la moyenne annuelle de benzène que l'on aurait obtenu si on avait mesuré ce polluant en continu tout au long de l'année est comprise dans l'intervalle [Moyenne estimée ± 20 %]. Ainsi, l'évaluation statistique du risque de dépassement permet de situer le niveau annuel vis-à-vis de l'objectif de qualité en prenant en compte l'incertitude de 20 % (Cf. Figure 49).

Contrairement au dioxyde d'azote où la quasi-totalité des sites de mesure implantés de part et d'autre du Boulevard Périphérique enregistrent un dépassement certain de l'objectif de qualité, les moyennes annuelles de benzène présentent quant à elles une décroissance rapide dès que l'on s'éloigne de l'axe. De ce fait, le dépassement de l'objectif de qualité est certain ou vraisemblable uniquement au droit des axes routiers du domaine d'étude, à savoir le Boulevard Périphérique, l'Avenue P.V. Couturier et la Rue du Val-de-Marne.

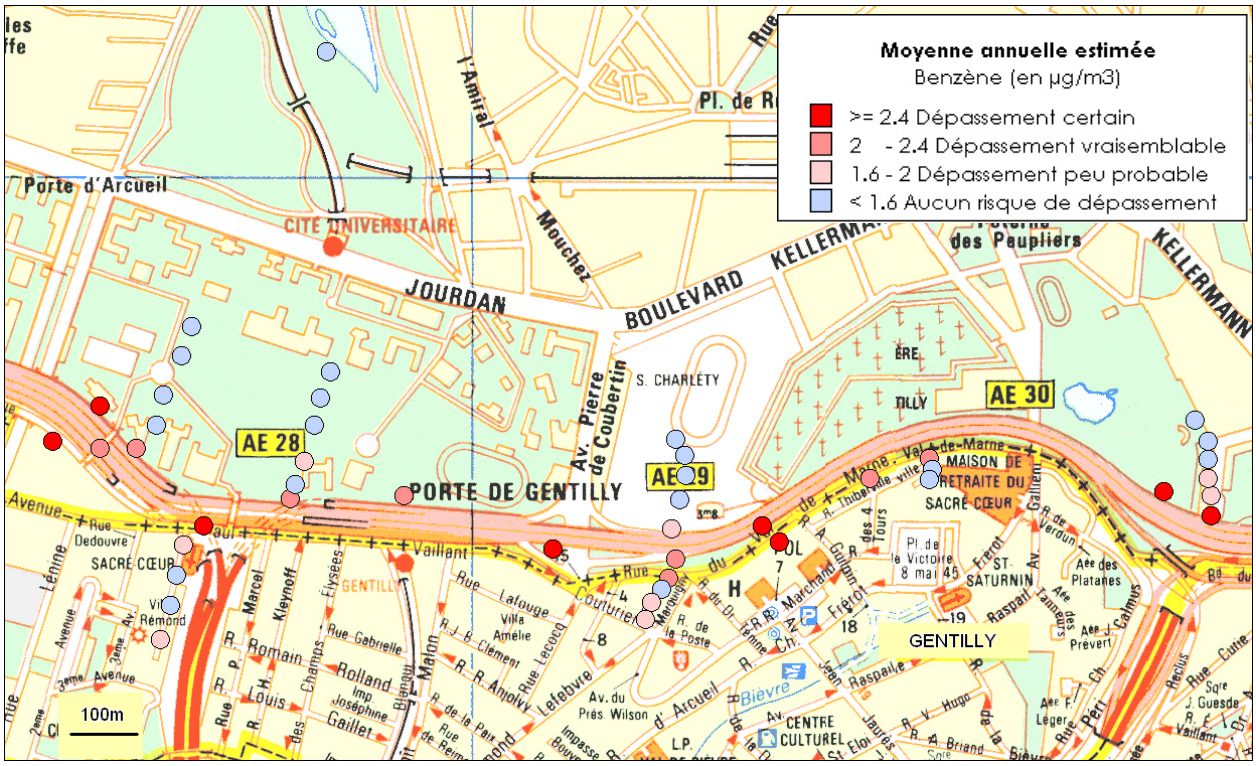


Figure 49 : Risque de dépassement de l'objectif de qualité annuel pour le benzène (2 µg/m³) évalué pour la période du 1er octobre 2006 au 30 septembre 2007 pour chaque site de mesure.

En s'éloignant de quelques dizaines de mètres de ces axes, la moyenne annuelle estimée de benzène présente un risque peu probable voire aucun risque de dépassement de l'objectif de qualité puisque la dispersion de ce polluant est très rapide.

L'influence des axes secondaires de la commune de Gentilly sur les niveaux de benzène est illustrée par les sites de mesure de la Rue de Freiberg. En effet, le site le plus éloigné de la Rue du Val-de-Marne et de l'Avenue P.V. Couturier ne présente pas de risque de dépassement. En se rapprochant de ces axes, les points de mesure présentent au contraire des teneurs plus élevées pouvant entraîner un risque de dépassement vraisemblable.
A l'inverse de la commune de Gentilly où l'environnement urbain est dense avec un trafic local important, au sein de la CIUP et du Complexe Sportif de Charléty aucun risque de dépassement de l'objectif de qualité n'est observé même à une vingtaine de mètres du Boulevard Périphérique.

Le niveau moyen annuel de benzène estimé et l'intervalle d'incertitude pour chacun des sites de mesure sont détaillés en ANNEXE 10.

VIII.3 Particules PM10

Comme pour le dioxyde d'azote, les directives européennes et la réglementation française définissent pour les particules PM10 des niveaux réglementaires afin de prendre en compte deux types de situations ayant des effets sur la santé. Ainsi, on retrouve d'une part la pollution atmosphérique chronique à l'échelle de l'année et d'autre part les épisodes de courte durée limités à quelques heures voire quelques jours.

Respect des normes à l'échelle annuelle :

L'objectif de qualité annuel est fixé pour les PM10 à 30 µg/m³. L'évaluation de la moyenne annuelle en particules à l'aide des données enregistrées sur les sites temporaires est basée sur la même méthodologie que pour le dioxyde d'azote et le benzène : une fonction de transfert permettant d'extrapoler les niveaux de la campagne de mesure vers le niveau annuel est déterminée selon les observations du réseau fixe francilien. Selon cette technique, l'incertitude associée à la moyenne annuelle estimée en particules est de 10 %. Autrement dit, la moyenne annuelle de PM10 que l'on aurait obtenue si on avait surveillé en continu la pollution atmosphérique tout au long de l'année de référence est comprise dans l'intervalle [moyenne estimée ± 10 %].

Notons que la modification de la méthode de mesure qui est officiellement entrée en vigueur le 1er janvier 2007 a été prise en compte. Les niveaux sur le réseau fixe relevés du 1er octobre au 31 décembre 2006 ont été évalués avec la nouvelle méthode de mesure. La modification de la méthode permet une meilleure prise en compte de la part volatile des particules.

Le Tableau 7 présente, pour les sites de mesure automatiques implantés à la CIUP, la moyenne annuelle estimée de PM10 calculée entre le 1er octobre 2006 et le 30 septembre 2007 en prenant en compte la nouvelle méthode de mesure.

	Moyenne annuelle estimée	**Intervalle Incertitude**	
	en µg/m³	Min	Max
Esplanade CIUP	28	25	31
Maison Avicenne	36	32	39
Maison du Liban	34	31	38

Tableau 7 : Moyenne annuelle estimée en particules PM10 sur les sites de mesure temporaires instrumentés de laboratoires mobiles.

A proximité du Boulevard Périphérique, Maisons Avicenne et du Liban, l'objectif de qualité fixé à 30 µg/m³ est dépassé avec respectivement une moyenne annuelle estimée de 36 µg/m³ et 34 µg/m³. Ce constat est également vrai au droit des grands axes de circulations franciliens tels que d'autres secteurs du Boulevard Périphérique (46 µg/m³ à hauteur de la Porte d'Auteuil) ou encore l'autoroute A1 (56 µg/m³).
Plus loin de l'axe, à environ 120 m sur l'esplanade de la CIUP, la norme de qualité de l'air relative aux PM10 est respectée avec une teneur moyenne de 28 µg/m³ soit une concentration inférieure de plus de 20 % par rapport à ce qui est mesuré au bord du trafic routier. En situation de fond dans le cœur de Paris (Paris Les Halles) la moyenne annuelle de PM10 enregistrée durant une année de mesure est également de 28 µg/m³. Ainsi, à 120 m de distance du Boulevard Périphérique, au sein de la CIUP où l'environnement urbain est très lâche, la moyenne annuelle de PM10 est similaire à ce qui est mesuré en situation de fond dans Paris.
Contrairement au dioxyde d'azote, l'influence du trafic routier sur les niveaux de PM10 est moins étendue et se limite à une centaine de mètres. Néanmoins, compte tenu de l'incertitude, un risque de dépassement de l'objectif de qualité d'environ 10 % est estimé à 120 mètres du Boulevard Périphérique.

Respect des normes à l'échelle de la journée :

En ce qui concerne les épisodes de courte durée, il existe des seuils réglementaires et des objectifs de qualité pour les PM10 qui portent sur la concentration moyenne journalière. En effet, la moyenne journalière de 50 µg/m³ ne doit pas être dépassée plus de 35 jours par an.

La Figure 50 illustre les concentrations journalières de particules PM10 enregistrées durant la campagne de mesure automatique sur les trois sites temporaires du domaine d'étude, sur les stations de fond de Paris Les Halles et de Vitry-sur-Seine et au droit du Boulevard Périphérique à hauteur de la Porte d'Auteuil.
Les sites de mesure temporaires implantés à la CIUP sont moins exposés que les stations fixes du réseau AIRPARIF située à proximité du trafic routier du Boulevard Périphérique à hauteur de la Porte d'Auteuil et de l'autoroute A1. Cette dernière a observé 21 dépassements des 50 µg/m³ en moyenne journalière au cours des quatre semaines de mesure, contre 7 au droit du Boulevard Périphérique à hauteur de la Porte d'Auteuil. Au bord du Boulevard Périphérique, les moyens automatiques temporaires ont mesuré à la Maison Avicenne 2 moyennes journalières supérieures à 50 µg/m³ et une seule journée à la Maison du Liban. A 120 m de l'axe, sur l'esplanade de la CIUP, aucun dépassement n'a été observé.

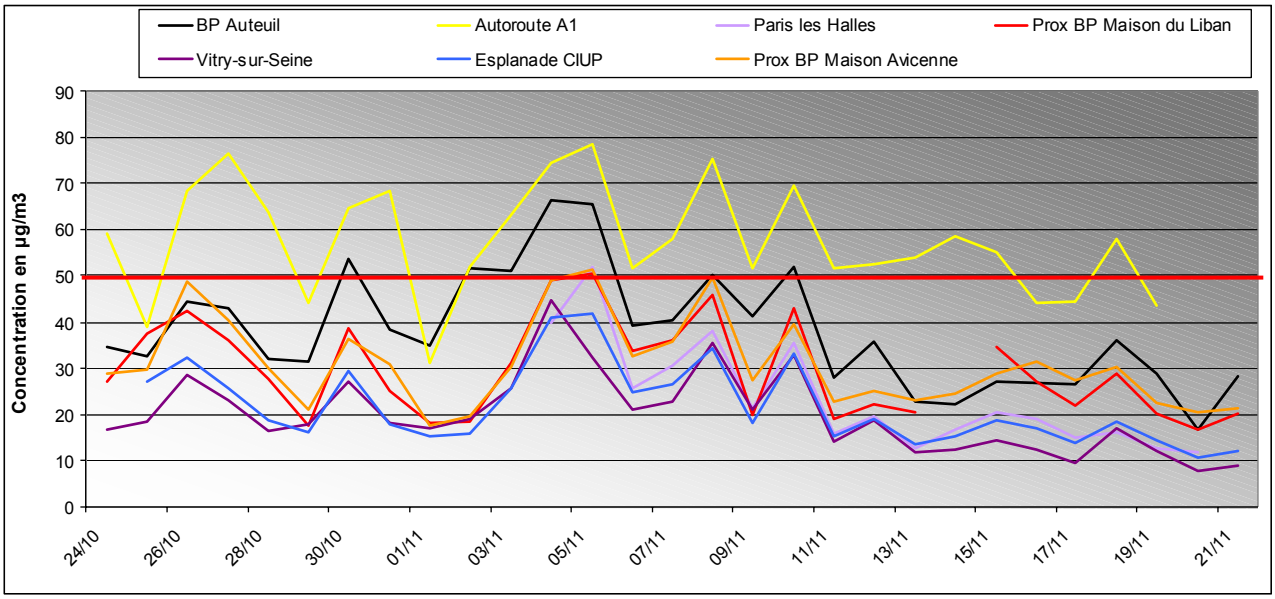


Figure 50 : Concentrations journalières de particules PM10 lors de la campagne de mesure sur les trois sites temporaires et sur certaines stations du réseau AIRPARIF.

Le Tableau 8 illustre le nombre de dépassement journalier du seuil de 50 µg/m³ en particules PM10 depuis l'année 2003 sur deux stations fixes du réseau AIRPARIF, à savoir Paris les Halles (fond) et Boulevard Périphérique à hauteur de la Porte d'Auteuil (trafic routier).

	2003	2004	2005	2006	2007*
Boulevard Périphérique	107	81	91	93	149
Paris 1er les Halles	16	4	1	3	33

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

Tableau 8 : Nombre de dépassements journaliers de 50 µg/m³ enregistrés sur des stations fixes d'AIRPARIF depuis 2003.

La valeur limite établie en moyenne journalière est très largement dépassée au droit de la station fixe du réseau AIRPARIF du Boulevard Périphérique (149 dépassements en 2007) depuis 2003.
En 2007, le nombre de dépassements journaliers de 50 µg/m³ est franchi en situation de proximité au trafic routier, mais également en fond, dans le cœur de la Capitale. La nouvelle méthode de mesure augmente le nombre de jours de dépassement du seuil européen compte tenu de la prise en compte à partir de 2007 de la part volatile des particules. On peut estimer qu'un peu plus de la moitié des dépassements supplémentaires constatés en 2007 sont dus à la différence

de méthode de mesure, l'autre moitié étant due à la météorologie exceptionnelle de 2007 (conditions favorables à l'accumulation de la pollution et particulièrement des particules).
Ainsi, il est probable que la valeur limite soit respectée en fond les années où la météorologie n'est pas particulièrement défavorable, comme en 2006. L'année 2007 montre que ce dépassement devient possible dès lors que la météorologie est durablement défavorable sur une année.
Ainsi au regard des résultats de la campagne de mesure, la valeur limite ne devrait pas être dépassée à une distance de 120 m du Boulevard Périphérique (Esplanade CIUP). En se rapprochant du Boulevard Périphérique, le risque de dépassement est accru, principalement à proximité immédiate de l'axe.

VIII.4 Particules PM2.5

La campagne de mesure menée durant quatre semaines a permis de renseigner les niveaux en particules fines (PM 2.5) rencontrés au bord du Boulevard Périphérique (Maison du Liban) et de positionner ces niveaux par rapport à la réglementation. Les particules PM2.5 soulèvent aujourd'hui un intérêt important pour l'évaluation des risques sanitaires et environnementaux. De ce fait, une directive européenne a été adoptée le 11 décembre 2007 par le parlement européen sur la base de la position commune[42] arrêtée par le Conseil le 25 juin 2007[43]. La position commune fixe 25 µg/m³ en moyenne annuelle comme valeur cible à partir de 2010. Ce seuil devient une valeur limite (objectif contraignant) pour 2015. Une seconde phase de la directive donne pour 2020 une valeur limite indicative de 20 µg/m³, qui sera examinée en 2013 à la vue des futures informations concernant les effets sur la santé et l'environnement, la faisabilité technique et le retour d'expérience de la première phase.

Pour comparaison avec les États-Unis, l'US EPA[44] (l'Agence de Protection de l'Environnement américaine) fixe quant à elle depuis plusieurs années un seuil[45] annuel relatif à ce polluant de 15 µg/m³. En comparaison avec les niveaux annuels relevés par les stations fixes du réseau AIRPARIF, et notamment la station trafic du Boulevard Périphérique - Porte d'Auteuil, il est alors possible d'estimer le respect ou non de cette norme américaine sur le site temporaire implanté à la CIUP à proximité du Boulevard Périphérique à hauteur de la Maison du Liban.

Le Tableau 9 illustre la moyenne annuelle estimée de PM2.5, entre le 1er octobre 2006 et le 30 septembre 2007, au site de la Maison du Liban implanté à environ 10 m du Boulevard Périphérique en tenant compte de la nouvelle méthode de mesure. Celle-ci permet la prise en compte de la part volatile des particules.

	Moyenne annuelle estimée	**Intervalle Incertitude**	
	en µg/m³	Min	Max
Maison du Liban - CIUP	23	21	25

Tableau 9 : Moyenne annuelle estimée en particules PM2.5 sur le site de mesure temporaire instrumenté à proximité du Boulevard Périphérique à hauteur de la Maison du Liban.

[42] Non publiée à la date du 6 février 2008.
[43] Position Commune arrêtée par le Conseil le 25 juin 2007 en vue de l'adoption de la directive du Parlement européen et du Conseil concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe.
[44] EPA : Environmental Protection Agency.
[45] Voir National Ambient Air Quality Standards NAAQS sur http://www.epa.gov .

Il apparaît une moyenne annuelle de PM2.5 au bord du Boulevard Périphérique légèrement inférieure à la valeur limite fixée à 25 µg/m^3 puisque les teneurs estimées sur ce site est de 23 µg/m^3. Cette moyenne annuelle légèrement supérieure à ce que l'on observe en situation de fond dans le centre de Paris (21 µg/m^3) du fait de l'influence directe des émissions du trafic routier du Boulevard Périphérique.
La station fixe du Boulevard Périphérique à hauteur de la Porte d'Auteuil présente une moyenne annuelle supérieure à la valeur limite 2015 avec une teneur de 33 µg/m^3.

Ainsi, à proximité immédiate de certains grands axes de circulation, la valeur limite établie pour les particules fines PM2.5 peuvent être dépassée au même titre que ce qui est observé pour les particules PM10.

IX. CONCLUSION

L'étude menée du 24 octobre au 21 novembre 2006 de part et d'autre du Boulevard Périphérique entre les Portes d'Arcueil et d'Italie (tronçon d'une longueur de 1.7 km) a fait l'objet de mesures en air ambiant mais également à l'intérieur de bâtiments recevant un public sensible plus ou moins proches de l'axe. Cette partie du Boulevard Périphérique présente différentes configurations topographiques et un trafic routier très variable, compte tenu notamment des accès aux autoroutes A6.a et A6.b. ce qui permet l'étude de la qualité de l'air selon des configurations bien distinctes.

Facteurs d'influence entraînant une variabilité des niveaux de pollution atmosphérique :

La configuration topographique très hétérogène du Boulevard Périphérique a permis de mettre en relief le long de l'axe des niveaux de pollution très contrastés suivant différents facteurs d'influence.

Les niveaux de pollution atmosphérique dépendent de la ***distance*** à l'axe. Ainsi, les teneurs les plus élevées sont mesurées au plus près des émissions routières avec une décroissance plus ou moins rapide suivant le polluant. En effet, si les concentrations de benzène diminuent rapidement dès que l'on s'éloigne de l'axe (quelques mètres), les teneurs de dioxyde d'azote baissent moins rapidement. La distance d'influence du NO_2 est beaucoup plus importante (environ 200 m). Concernant les particules, l'impact spatial de ce polluant est plus restreint avec un surcroît de pollution limité à une centaine de mètres.
D'autres facteurs d'influence entraînent des niveaux de pollutions différents, tels que la ***hauteur*** de prélèvement. Au plus près du trafic routier, l'influence de la hauteur est très importante engendrant des niveaux de pollution plus faibles. *A contrario*, en s'éloignant des sources d'émissions, l'importance de la hauteur devient plus minime. Les concentrations relevées à différents étages en façade des bâtiments les plus éloignés du Boulevard Périphérique ont ainsi des niveaux comparables.
Le ***trafic routier*** occasionne des niveaux de pollution plus ou moins important selon le nombre de voie et la fluidité de circulation. Les teneurs les plus fortes en NO_2 sont relevées au site de mesure où le Boulevard Périphérique compte le plus de voies de circulation et de trafic. A l'inverse, le niveau le plus faible est observé à un emplacement où le trafic est moindre compte tenu de sa position entre les entrées et sorties de l'autoroute A6.a. Les mauvaises conditions de circulation favorisent quant à elles les émissions de benzène. Ainsi, le niveau maximal de benzène est observé sur le tronçon du Boulevard Périphérique présentant un rétrécissement de la chaussée.
L'urbanisme joue également un rôle important sur la distance d'influence du Boulevard Périphérique. Dans un environnement où l'urbanisme est peu dense, comme cela est le cas au Nord de l'axe (Cité Internationale Universitaire de Paris, Complexe sportif de Charléty…) la décroissance des niveaux de pollution est rapide du fait d'une meilleure dispersion des polluants. Au contraire, dans un environnement urbain plus dense (Gentilly) la décroissance est moins rapide compte tenu d'une part de la rugosité urbaine limitant la dispersion de la pollution et des émissions issues notamment du trafic routier local.
La ***topographie*** spécifique d'un axe de circulation peut également jouer sur les niveaux de pollution observés le long de celui-ci. L'autoroute A6.a présente une configuration en tranchée ce qui entraîne une canalisation des émissions et donc une influence spatiale limitée. En effet, les sites de mesure instrumentés de tubes à diffusion, pourtant implantés à 50 mètres de l'autoroute et donc théoriquement dans la zone d'influence de l'axe, observent des teneurs comparables à ce qui est mesuré en situation de fond. La hauteur du Boulevard Périphérique par rapport à son environnement peut également être un élément topographique jouant sur la qualité de l'air. En effet, les teneurs sur les sites instrumentés en contre-bas de l'axe présentent une baisse importante dès les premiers mètres : -35 % et -45 % respectivement pour le NO_2 et le benzène à 20 m en contre-bas du Boulevard Périphérique. Lorsque l'axe est au même niveau

que son environnement, la baisse est moins importante, à savoir environ 20 % pour le NO_2 et 30 % pour le benzène.
Enfin, ***les conditions météorologiques*** sont des paramètres jouant un rôle essentiel pour la qualité de l'air à proximité d'un grand axe de circulation et la distance d'influence. La vitesse de vent joue un rôle dispersif de l'atmosphère entraînant des niveaux de pollution plus faibles au fur et à mesure que la vitesse de vent augmente. La direction du vent influence quant à elle les zones impactée par les émissions du Boulevard Périphérique. Par vent de secteur « Sud », un surcroît moyen de 30 µg/m³ de NO_2 est mesuré au droit de l'axe à hauteur de la CIUP. Au contraire, c'est par vent de « Nord » que le site placé au Sud de l'axe, à la Maison de Retraire, présente un impact pouvant atteindre 30 µg/m³.

Compte tenu de ces différents paramètres, on retrouve au bord du Boulevard Périphérique une large gamme de concentrations de NO_2 et de benzène sur seulement quelques centaines de mètres. Ces teneurs mesurées au droit de l'axe sont comprises entre 1.5 et 3 fois le niveau observé en situation de fond.

L'air intérieur :

Les mesures à l'intérieur des bâtiments et à proximité immédiate des pièces étudiées (balcon, façade…) ont été réalisées par le Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris (LHVP). Celles-ci ont permis de mettre en évidence un déphasage des pics des polluants mesurés. De plus le bâti joue un rôle tampon vis-à-vis de la pollution extérieure puisqu'un amortissement des teneurs de NO_2 et de particules est observé. Dans les pièces étudiées, le délai de transfert de l'air extérieur à l'intérieur des locaux apparaît de l'ordre d'une heure pour les différents polluants mesurés. Ce déphasage ne peut pas être généralisé aux bâtiments proches des grands axes de circulation sachant qu'il dépend des caractéristiques de chacun d'eux notamment du taux de renouvellement d'air.
Les concentrations mesurées à l'intérieur ne sont pas uniquement déterminées par l'éloignement des locaux par rapport à l'axe de circulation. Elles sont également fonction des sources d'émissions intérieures, de l'aération des locaux et du pouvoir de dégradation du polluant (réactivité chimique ou adsorption au contact des matériaux et du mobilier présent dans la pièce) dans l'air intérieur : c'est par exemple le cas du NO_2, pour lequel on observe effectivement à l'intérieur des bâtiments étudiés, des teneurs inférieures à celles mesurées à l'extérieur.
Au contraire, à l'intérieur les niveaux de monoxyde d'azote (NO) sont en moyenne comparables a ceux relevés à l'extérieur des bâtiments.
L'étude a également montré une variabilité importante des niveaux enregistrés à l'intérieur d'un même bâtiment. De ce fait, il n'est pas possible de généraliser les teneurs mesurées dans une pièce à l'ensemble d'un bâtiment.

Les normes de la qualité de l'air extérieur :

Une large bande (supérieure à 150 m) de part et d'autre du Boulevard Périphérique, où ont été implantés les sites de mesure, présente un dépassement certain de l'objectif de qualité établi pour le **dioxyde d'azote** à 40 µg/m³. De plus, à proximité immédiate du Boulevard Périphérique, les dépassements horaires peuvent être récurrents comme cela est le cas sur le Boulevard Périphérique à hauteur de la Porte d'Auteuil (avec 166 dépassements en 2007).

Au contraire, en s'éloignant de quelques dizaines de mètres de l'axe, la moyenne annuelle estimée de **benzène** présente un risque peu probable voire aucun risque de dépassement de l'objectif de qualité puisque la dispersion de ce polluant est très rapide.

A proximité immédiate du Boulevard Périphérique, la valeur limite établie pour les **particules fines PM2.5** peut être dépassée au même titre que ce qui est observé pour les **particules PM10**.

ANNEXES

CARACTERISATION DE LA QUALITE DE L'AIR A PROXIMITE DES VOIES A GRANDE CIRCULATION :

- PREMIER VOLET-
CAMPAGNE DE MESURE PORTANT SUR LE BOULEVARD PERIPHERIQUE AU NIVEAU DE LA PORTE DE GENTILLY

ANNEXE 1

Illustration des batiments ayant fait l'objet de mesure en air intérieur

Type de bâtiment	Adresse	Situation par rapport au bd périphérique ( )
Maison de gérontologie du sacré Cœur	*Maison de retraite* *2, rue Charles Frérot 94250 Gentilly*	*situé à 20 mètres du périphérique au sud en contre bas. Le périphérique est aérien et surélevé par rapport à la chaussée et protégé par un mur anti- bruit*
Immeuble d'habitation géré par OPIHLM	*Immeuble* *17, rue du Val de Marne 94250 Gentilly*	*situé à 20 mètres du périphérique au sud. Le périphérique est aérien et surélevé par rapport à la chaussée et protégé par un mur anti- bruit*
Immeuble d'habitation géré par SGIM	*Immeuble* *34, rue Paul Bourget 75013*	*situé à 30 mètres au Nord du périphérique et légèrement en sur-hauteur par rapport celui-ci*

ANNEXE 1 (suite)

Type de bâtiment	Adresse	Situation par rapport au bd périphérique (←)
Collège Évariste Galois	*Collège public* *2-4 rue Paul Bourget* *75013 Paris*	*situé à 200 mètres du périphérique au Nord*
Maison des Arts et métiers *Nouveau bâtiment*	*Résidence étudiante* *Cité Universitaire* *75014 Paris*	*situé à 30 mètres au nord du périphérique et au même niveau* *celui-ci étant aérien*
Maison des Arts et métiers *Ancien bâtiment*	*Résidence étudiante* *1, Avenue Pierre Massé* *75014 Paris*	*situé à 30 mètres au sud du périphérique et au même niveau* *celui-ci étant aérien* *Les deux bâtiments sont de part et d'autre du périphérique*

ANNEXE 2

Situation géographique des sites de prélèvement a l'intérieur et a l'extérieur immédiat des bâtiments ayant fait l'objet de mesures

Ancienne Maison — Nouvelle Maison — **Maison des Arts et Métiers**

Rue du Val de Marne — Rue Thiberville — **Immeuble OPIHLM**

Maison de Retraite

Immeuble SGIM

Collège E.Galois

* Sites de mesure AIRPARIF situées à proximité des bâtiments étudiés.

N° Sites intérieurs — N° Sites Extérieurs

ANNEXE 3

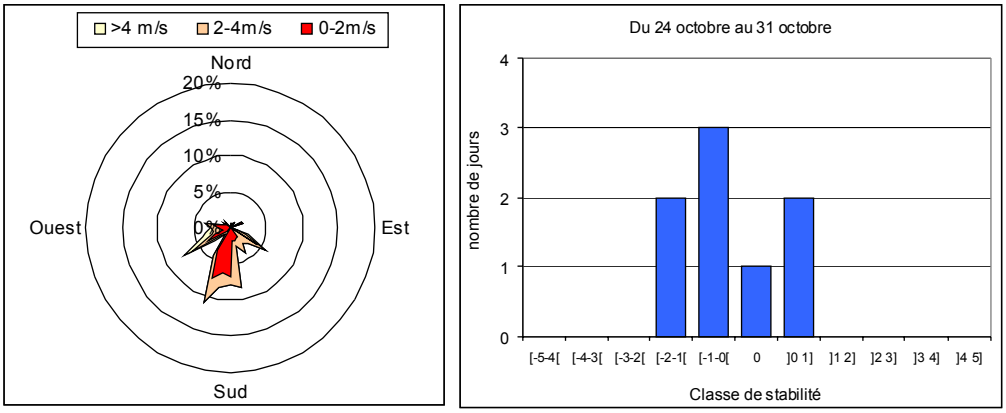
Emplacement des points de mesure par site

Bâtiment	Code Site	Lieu de prélèvement	Type	Niveau	Côté périph
Maison des Arts et Métiers "ancienne maison" côté Gentilly	1***	Avenue Pierre Massé	Ext.	RDC	oui
	101	Bureau	Int.	RDC	oui
	103	Chambre n°201 (vide)	Ext.	2è étage	oui
	102	Chambre n°201 (vide)	Int.	2è étage	oui
	104	Chambre n°264 (vide)	Int.	2è étage	non
Maison des Arts et Métiers "nouvelle maison" côté Paris	106	Salle des études	Ext.	RDC	oui
	105	Salle des études	Int.	RDC	oui
	108	Chambre n° 2052	Ext.	2è étage	oui
	107	Chambre n° 2052	Int.	2è étage	oui
	109	Chambre n° 2021	Int.	2è étage	non
Collège Évariste Galois	116*	Salle EPS	Ext.	RDC surélevé	oui
	115*	Salle EPS	Int.	RDC surélevé	oui
	118	Salle de dessin	Ext.	2è étage	oui
	117	Salle de dessin	Int.	2è étage	oui
	119	Salle n°5	Int.	2è étage	non
	121	Salle n°9	Ext.	3è étage	oui
	120	Salle n°9	Int.	3è étage	oui
Maison de Gérontologie du Sacré-Cœur	111	Bureau des animatrices	Ext.	RDC	oui
	110	Bureau des animatrices	Int.	RDC	oui
	113	Bureau des ergothérapeutes	Ext.	1er étage	oui
	112	Bureau des ergothérapeutes	Int.	1er étage	oui
	114	Local office	Int.	1er étage	non
Immeuble géré par SGIM	37***	Rue Paul Bourget	Ext.	2m	oui
	41***	Rue Paul Bourget	Ext.	2m	non
	123	Logement 1 **	Ext.	1er étage	oui
	122	Logement 1 ** (chambre)	Int.	1er étage	oui
	126	Logement 1 ** (salon)	Int.	1er étage	non
	125	Logement 2 **	Ext.	3è étage	oui
	124	Logement 2 ** (chambre)	Int.	3è étage	oui
Immeuble OPIHLM	33***	rue du Val de Marne	Ext.	2m	oui
	35***	rue de Thiberville	Ext.	2m	non
	128	Logement 3	Ext.	1er étage	oui
	127	Logement 3 (chambre)	Int.	1er étage	oui
	129	Logement 3 (SAM)	Int.	1er étage	non
	131	Escalier Partie commune **	Ext.	4è étage	oui
	130	Escalier Partie commune **	Int.	4è étage	oui

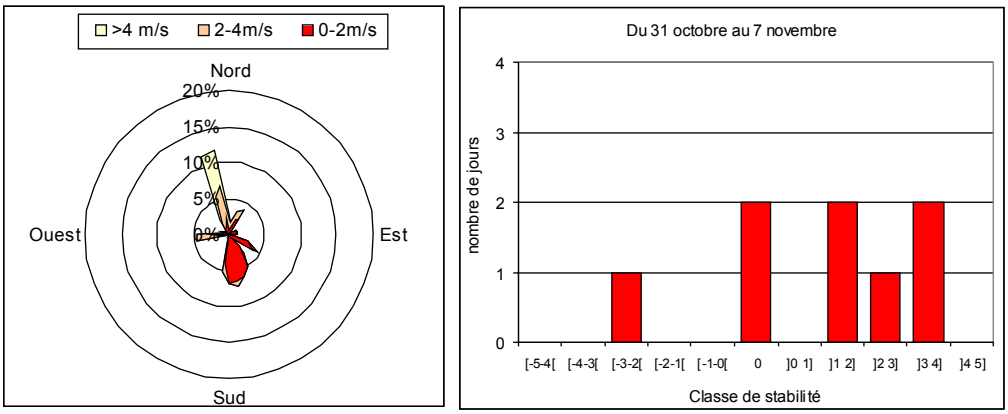
* Au niveau des sites 115 et 116 du collège, seuls des tubes passifs NO_2 ont été installés.
** Pas de prélèvements réalisés la première semaine dans ce site
*** Sites de mesure AIRPARIF situées à proximité des bâtiments étudiés.
Int. : air intérieur Ext. : air extérieur SAM : salle à manger

ANNEXE 4

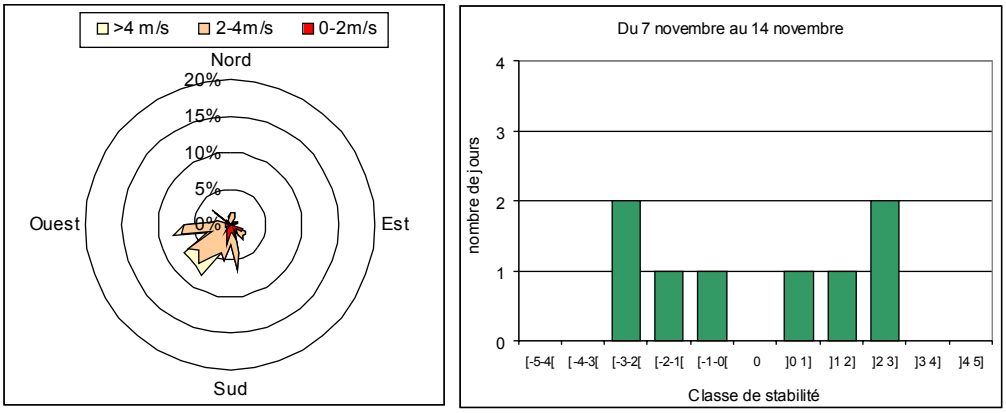
Rose de vent et classe de stabilité atmosphérique par série de mesure (d'après Météo-France)



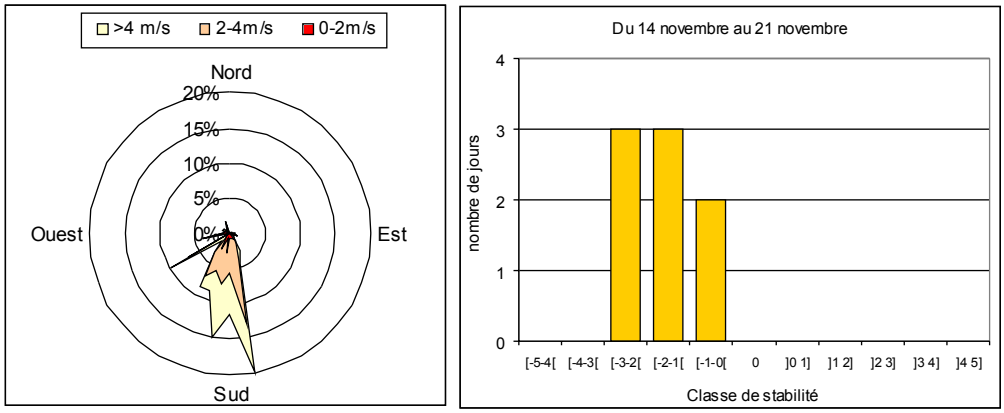
(a) Du 24 octobre au 31 octobre 2006



(b) Du 31 octobre au 7 novembre 2006



(c) Du 7 novembre au 14 novembre 2006

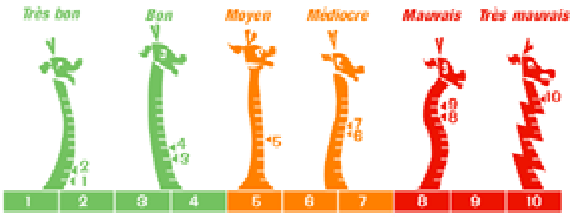


(d) Du 14 novembre au 21 novembre 2006

ANNEXE 5

L'indice « ATMO »

L'indice ATMO caractérise la qualité de l'air globale pour l'ensemble de la région parisienne.



Cet indice est déterminé à partir des niveaux de pollution mesurés au cours de la journée par les stations de fond urbaines et périurbaines de l'agglomération et prend en compte les différents polluants atmosphériques, traceurs des activités de transport, urbaines et industrielles. Le type de site de mesure pris en compte est précisément défini : il s'agit de sites de fond qui doivent être des sites de fond de zones fortement peuplées.

Ainsi pour le dioxyde de soufre, la densité de population doit être supérieure à 4000 habitants par kilomètre carré dans un cercle de rayon de 1 km autour du site. Pour le dioxyde d'azote, l'ozone et les poussières, la densité de population doit répondre aux mêmes critères, de plus le rapport NO/NO_2 du site doit être inférieur ou égal à 1.5 (ce qui est la caractéristique d'un site éloigné des axes routiers).

L'indice ATMO concerne toutes les grandes agglomérations de plus de 100 000 habitants. Cet indice et son mode de calcul sont précisément définis au niveau national par l'arrêté du Ministère de l'Écologie et du Développement Durable du 22 juillet 2004.

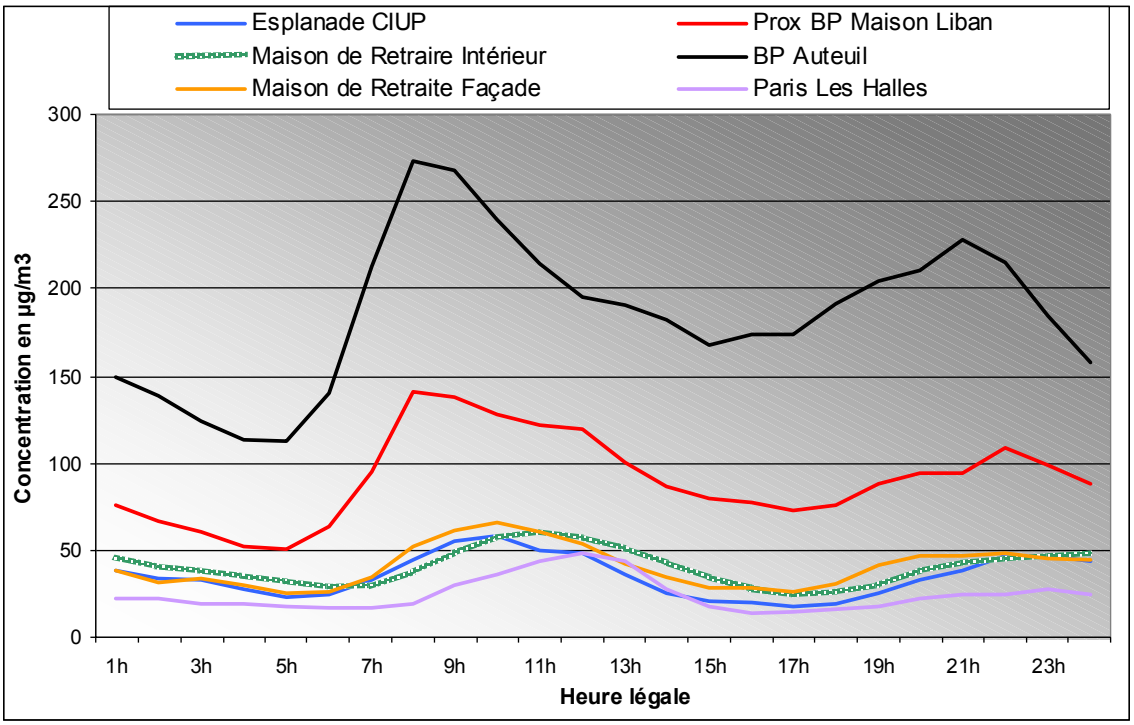
Dans son calcul interviennent :

- le dioxyde de soufre (d'origine industrielle),
- les particules PM10 (d'origine industrielle, liée au transport et au chauffage domestique),
- le dioxyde d'azote (d'origine liée au transport, aux activités de combustion et de chauffage domestique),
- l'ozone (polluant secondaire issu principalement des transports et de l'utilisation des solvants et des hydrocarbures).

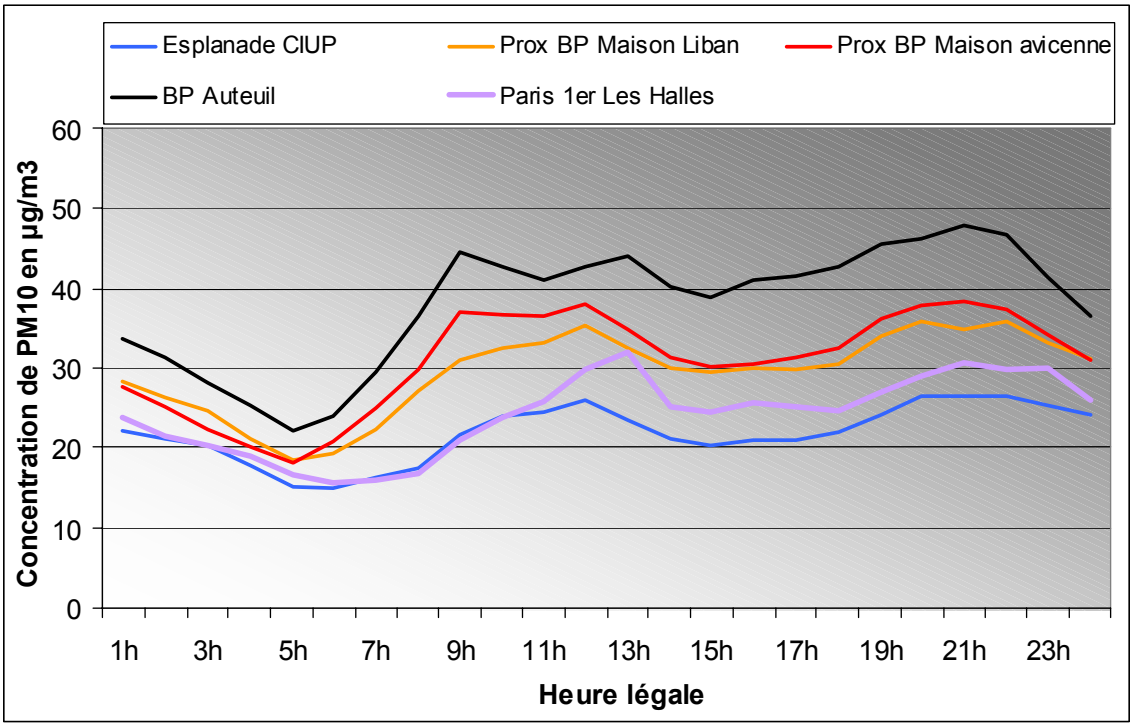
Pour chaque polluant un sous-indice est calculé. Chaque sous-indice est déterminé chaque jour à partir d'une moyenne des niveaux du polluant considéré sur l'ensemble des stations de l'agglomération.
Pour les particules, on prend la concentration moyenne journalière sur chaque site.
Pour le dioxyde de soufre, le dioxyde d'azote et l'ozone, on prend la concentration maximale horaire du jour sur chaque site.
C'est le sous-indice maximal qui est choisi comme indice ATMO final caractérisant la qualité de l'air globale de la journée considérée.
L'indice de qualité de l'air ATMO est un chiffre allant de 1 à 10 associé à un qualificatif (de très bon à très mauvais)

ANNEXE 6

Profil journalier moyen enregistré lors de la campagne de mesure



(a) Monoxyde d'azote



(b) Particules PM10

ANNEXE 7

Normes françaises et européennes de qualité de l'air relatives au dioxyde d'azote, au benzène, au dioxyde de soufre, aux particules PM10, à l'ozone et au monoxyde de carbone

1 - Objectifs de qualité et valeurs limites 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.
et 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.

Dioxyde d'azote (NO_2)

	Période de référence	**Valeur**
Objectif de qualité **Moyenne annuelle**	Année civile	**40 µg/m³**
Valeurs limites **Protection de la santé humaine** **Percentile 98 des concentrations horaires**	Année civile	2001 - 2009 : 200 µg/m³
Percentile 99,8 des concentrations horaires	Année civile	2001 : 290 µg/m³ 2002 : 280 µg/m³ 2003 : 270 µg/m³ 2004 : 260 µg/m³ 2005 : 250 µg/m³ 2006 : 240 µg/m³ **2007 : 230 µg/m³** 2008 : 220 µg/m³ 2009 : 210 µg/m³ 2010 : 200 µg/m³
Moyenne annuelle	Année civile	2001 : 58 µg/m³ 2002 : 56 µg/m³ 2003 : 54 µg/m³ 2004 : 52 µg/m³ 2005 : 50 µg/m³ 2006 : 48 µg/m³ **2007 : 46 µg/m³** 2008 : 44 µg/m³ 2009 : 42 µg/m³ 2010 : 40 µg/m³

Benzène

	Période de référence	Valeur
Objectif de qualité **Moyenne annuelle**	Année civile	**2 µg/m³**
Valeur limite **Protection de la santé humaine** **Moyenne annuelle**	Année civile	2001 - 2005 : 10 µg/m³ 2006 : 9 µg/m³ **2007 : 8 µg/m³** 2008 : 7 µg/m³ 2009 : 6 µg/m³ 2010 : 5 µg/m³

Particules PM10

	Période de référence	Valeur
Objectif de qualité **Moyenne annuelle**	Année civile	**30 µg/m³**
Valeurs limites **Protection de la santé humaine** **Percentile 90,4 des concentrations journalières**	Année civile	2001 : 70 µg/m³ 2002 : 65 µg/m³ 2003 : 60 µg/m³ 2004 : 55 µg/m³ **Depuis 2005 :** **50 µg/m³**
Moyenne annuelle	Année civile Depuis	2001 : 46 µg/m³ 2002 : 44 µg/m³ 2003 : 43 µg/m³ 2004 : 41 µg/m³ **Depuis 2005 :** **40 µg/m³**

2 - Directives européennes

SO_2, NOx, particules, plomb du 22 avril 1999
Benzène, monoxyde de carbone du 16 novembre 2000
Ozone du 12 février 2002

Dioxyde d'azote (NO_2)

	NO_2 Protection de la santé	
Période de référence	**1 heure**	**année civile**
Nombre de dépassements autorisés	**18**	**- -**
Date de mise en application	***Seuil***	***Seuil***
Du 19/07/1999 au 31/12/2000	300 µg/m³	60 µg/m³
1 janvier 2001	290 µg/m³	58 µg/m³
1 janvier 2002	280 µg/m³	56 µg/m³
1 janvier 2003	270 µg/m³	54 µg/m³
1 janvier 2004	260 µg/m³	52 µg/m³
1 janvier 2005	250 µg/m³	50 µg/m³
1 janvier 2006	240 µg/m³	48 µg/m³
1 janvier 2007	**230 µg/m³**	**46 µg/m³**
1 janvier 2008	220 µg/m³	44 µg/m³
1 janvier 2009	210 µg/m³	42 µg/m³
1 janvier 2010	200 µg/m³	40 µg/m³

Benzène

	Protection de la santé
Période de référence	**année civile**
Nombre de dépassements autorisés	**- -**
Date de mise en application	***Seuil***
Du 13/12/2000 au 31/12/2005	10 µg/m³
1 janvier 2006	9 µg/m³
1 janvier 2007	**8 µg/m³**
1 janvier 2008	7 µg/m³
1 janvier 2009	6 µg/m³
1 janvier 2010	5 µg/m³

Particules PM10

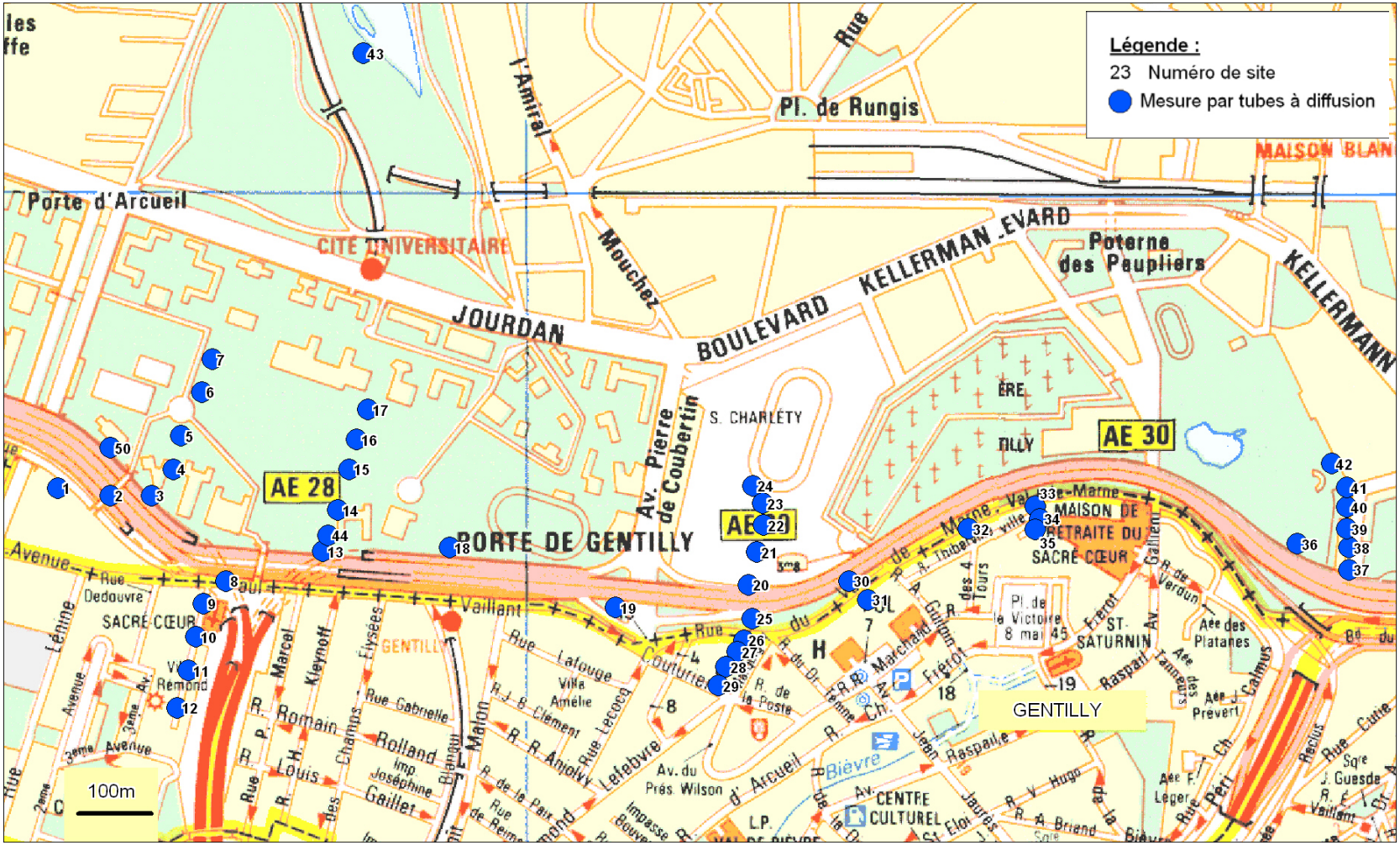
	PM10	
	Protection de la santé	
Période de référence	**24 heures**	**année civile**
Nombre de dépassements autorisés	**35**	**- -**
Date de mise en application	***Seuil***	***Seuil***
Du 19/07/1999 au 31/12/2000	75 µg/m³	48 µg/m³
1 janvier 2001	70 µg/m³	46,4 µg/m³
1 janvier 2002	65 µg/m³	44,8 µg/m³
1 janvier 2003	60 µg/m³	43,2 µg/m³
1 janvier 2004	55 µg/m³	41,6 µg/m³
Depuis le 1er janvier 2005	**50 µg/m³**	**40 µg/m³**

PROJET - Particules PM2.5

	Protection de la santé
Période de référence	**année civile**
	Seuil
Projet de valeur cible en 2010 et de valeur limite en 2015	**25 µg/m³**

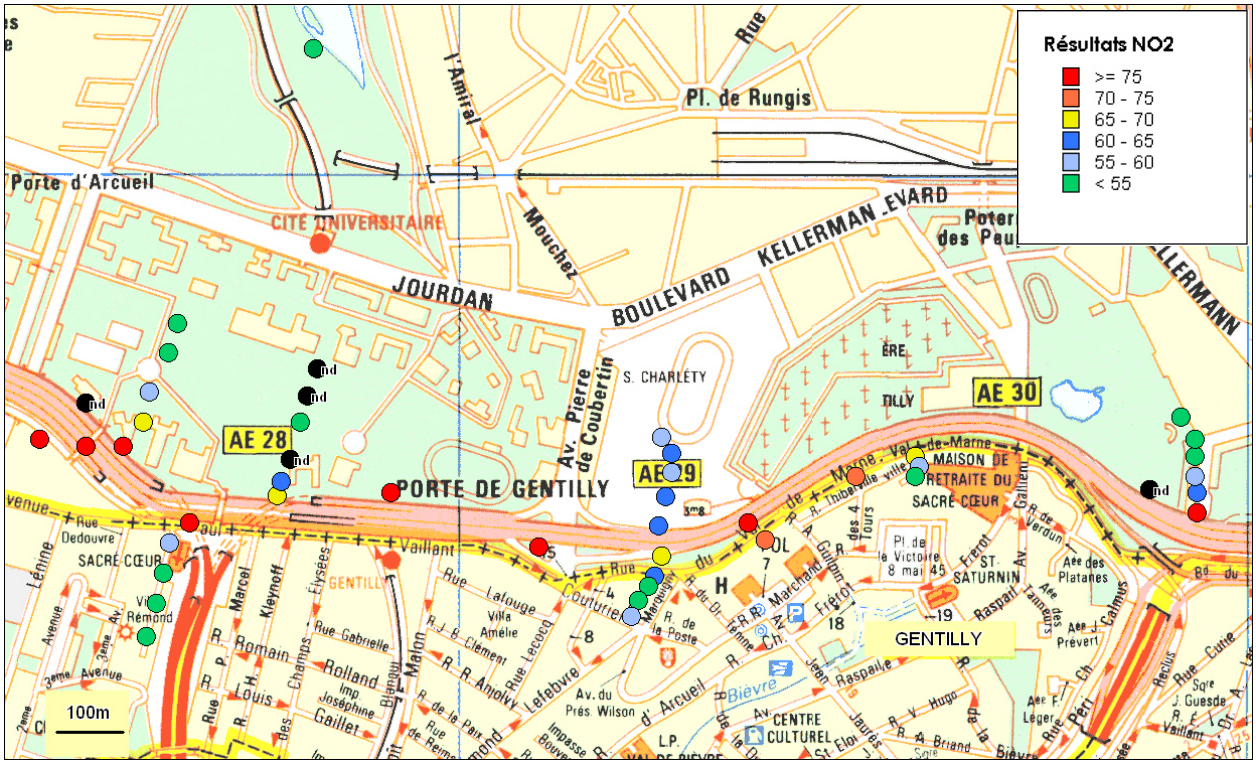
ANNEXE 8

Plan d'échantillonnage des mesures par tubes à diffusion en air extérieur

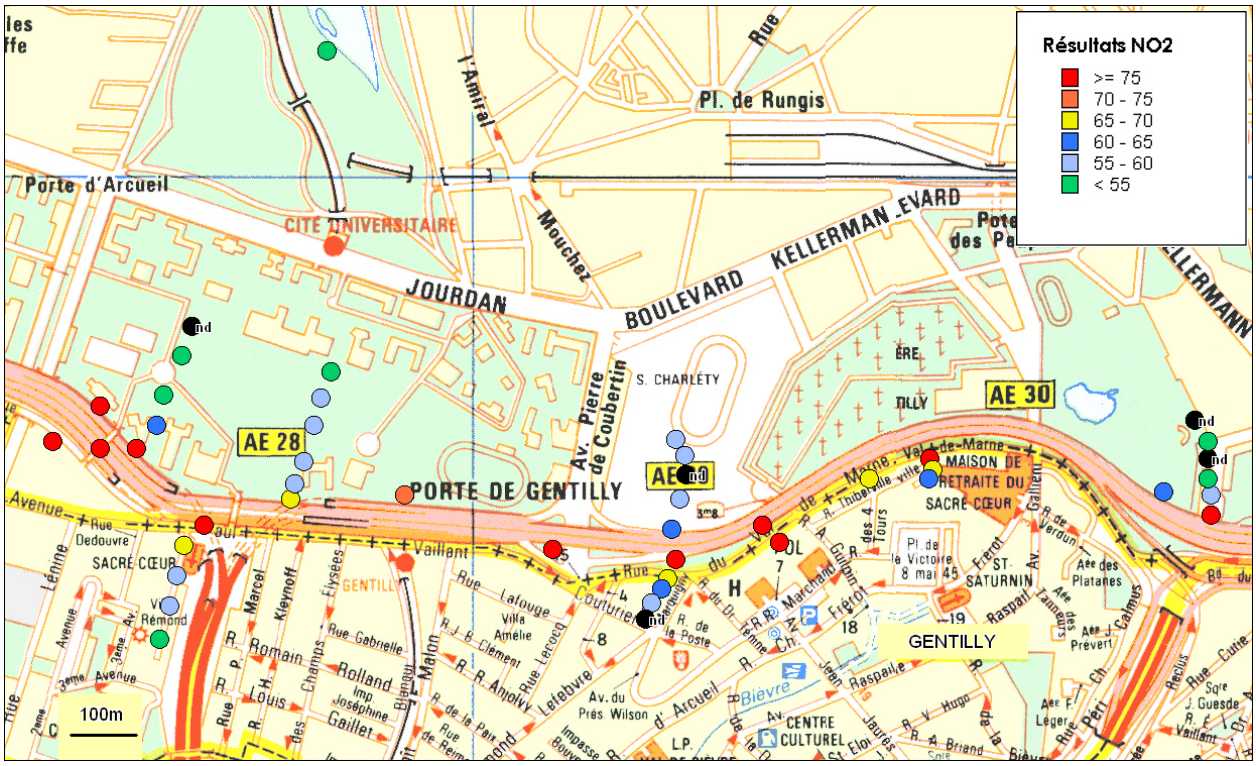


ANNEXE 9

Cartographie des résultats de NO_2 pour chaque série de mesure

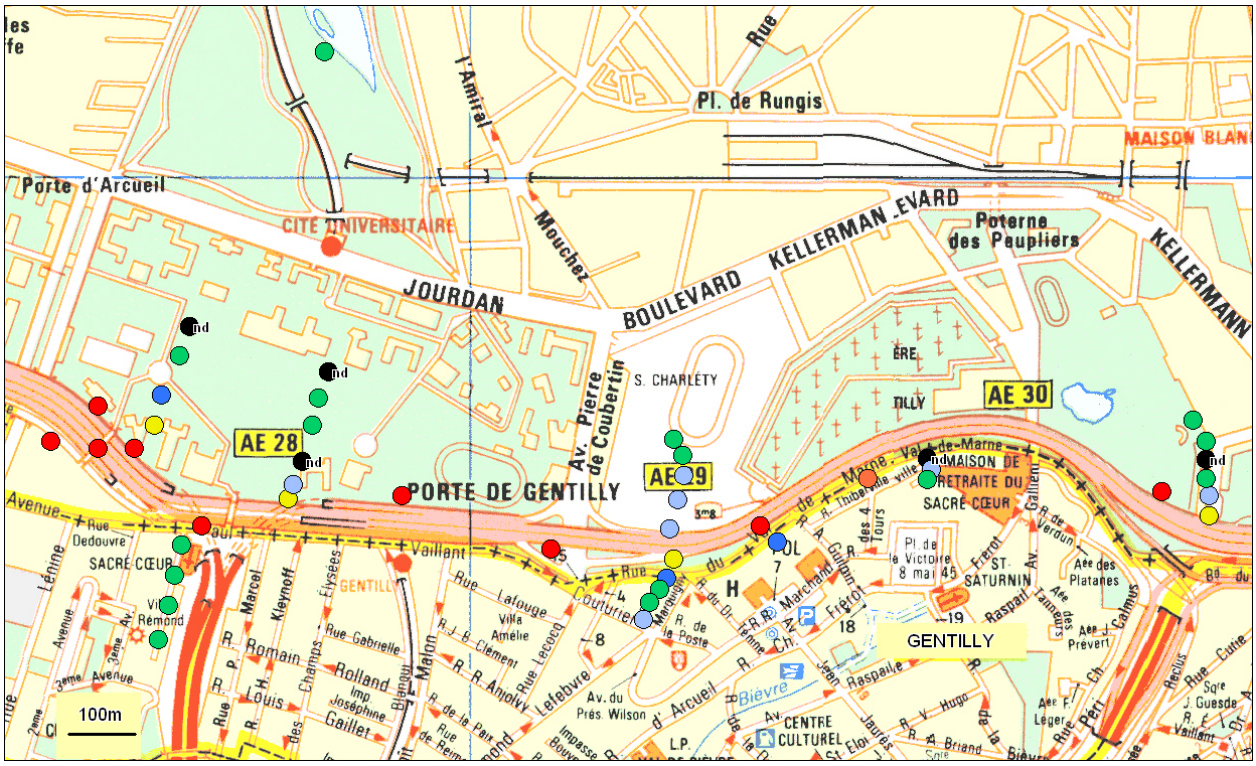


(a) Du 24 octobre au 31 octobre 2006

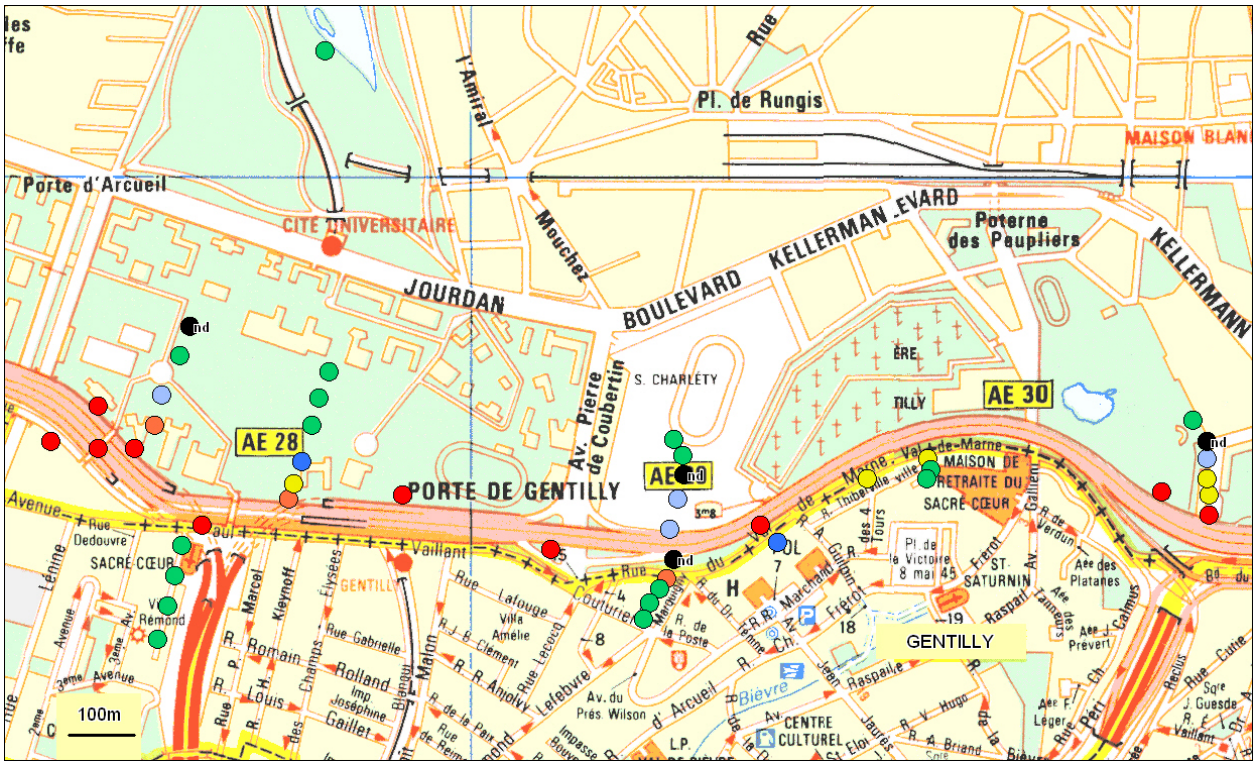


(b) Du 31 octobre au 7 novembre 2006

Cartographie des résultats de NO_2 pour chaque série de mesure



(c) Du 7 novembre au 14 novembre 2006



(d) Du 14 novembre au 21 novembre 2006

Résultats des mesures de NO_2 par tubes à diffusion et estimation de la moyenne annuelle (valeurs en µg/m³)

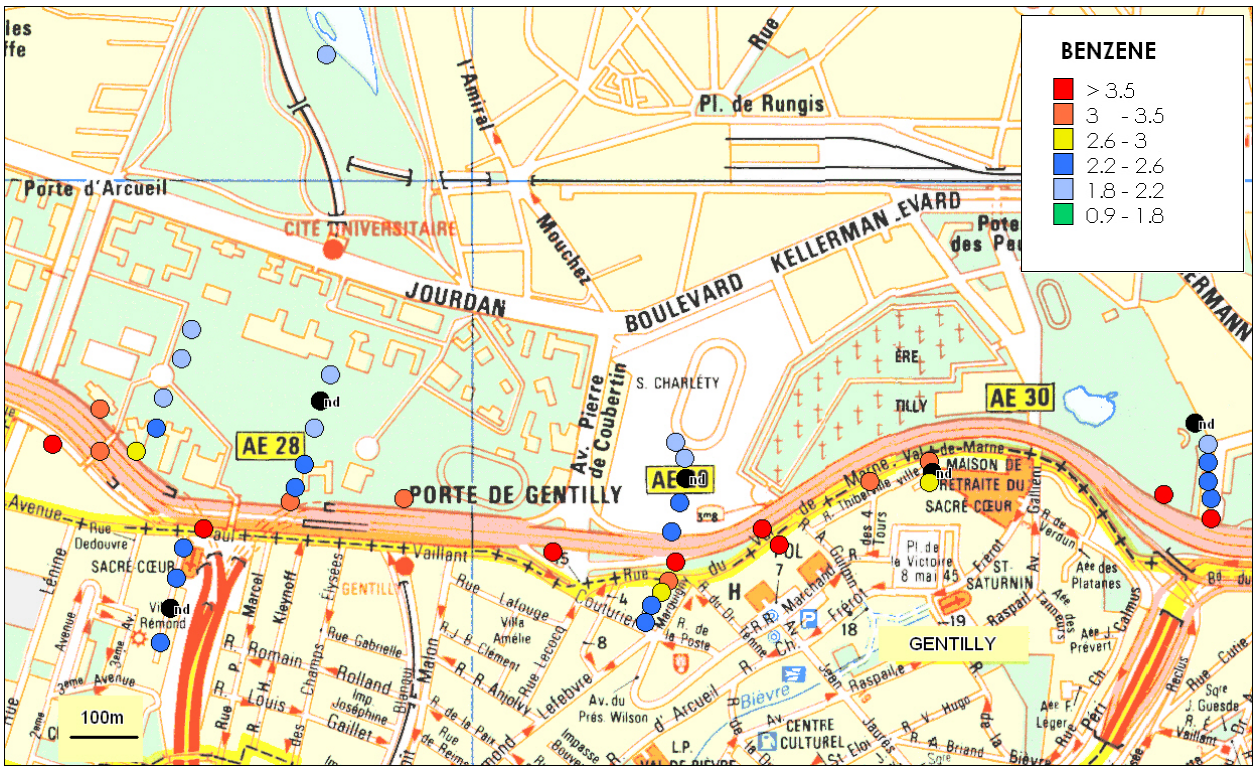
Numéro de site	Commune	Adresse	du 24/10 au 31/10/06	du 30/10 au 7/11/06	du 7/11 au 14/11/06	du 14/11 au 21/11/06	Moyenne campagne	Moyenne Annuelle estimée	Intervalle Incertitude	
									Min	Max
1	Paris 14	Avenue P. MASSE	86	85	89	98	90	86	80	92
2	Paris 14	CIUP	90	80	96	75	85	82	76	87
3	Paris 14	CIUP	75	75	90	100	85	81	76	87
4	Paris 14	CIUP	68	61	67	71	67	61	57	66
5	Paris 14	CIUP	59	53	61	59	58	52	48	56
6	Paris 14	CIUP	54	52	48	50	51	44	41	47
7	Paris 14	CIUP	50	nd	nd	nd	nr	nr	nd	nd
8	Gentilly	Avenue P.V. Couturier	83	78	86	88	84	80	74	86
9	Gentilly	Villa Rémond	55	69	53	49	57	50	47	54
10	Gentilly	Villa Rémond	49	58	48	48	51	44	41	47
11	Gentilly	Villa Rémond	50	59	41	41	48	41	38	44
12	Gentilly	Villa Rémond	47	54	39	40	45	38	35	40
13	Paris 14	CIUP	69	69	69	73	70	65	60	70
14	Paris 14	CIUP	nd	55	nd	61	nr	nr	nd	nd
15	Paris 14	CIUP	46	55	49	48	50	43	40	46
16	Paris 14	CIUP	nd	57	48	46	50	44	40	47
17	Paris 14	CIUP	nd	48	nd	49	nr	nr	nd	nd
18	Paris 14	CIUP	88	71	78	78	79	75	69	80
19	Paris 13	Boulevard Périphérique	94	104	101	82	95	93	86	99
20	Paris 13	Charlety	64	60	59	59	61	55	51	58
21	Paris 13	Charlety	62	57	59	58	59	53	49	57
22	Paris 13	Charlety	58	nd	56	nd	nr	nr	nd	nd
23	Paris 13	Charlety	60	55	53	51	55	48	45	52
24	Paris 13	Charlety	57	56	52	50	54	47	44	51
25	Paris 13	Boulevard Périphérique	67	81	69	nd	72	68	63	72
26	Gentilly	Rue du Val-de-Marne	64	68	64	74	68	62	58	67
27	Gentilly	Rue de Freiberg	54	63	52	50	55	48	45	52
28	Gentilly	Rue de Freiberg	50	56	51	51	52	45	42	49
29	Gentilly	Rue de Freiberg	55	nd	55	50	53	47	44	50
30	Paris 13	Boulevard Périphérique	82	106	96	88	93	90	84	97
31	Gentilly	Rue du Val-de-Marne	70	76	63	63	68	63	58	67
32	Gentilly	Rue du Val-de-Marne	70	68	70	66	69	63	59	68
33	Gentilly	Rue du Val-de-Marne	69	77	nd	66	71	66	61	70
34	Gentilly	Rue de Thiberville	55	66	56	52	57	51	48	55
35	Gentilly	Rue de Thiberville	54	62	51	48	54	47	44	51
36	Paris 13	Parc Kellermann	nd	64	77	90	77	73	68	78
37	Paris 13	Boulevard Périphérique	78	75	67	78	75	70	65	75
38	Paris 13	Rue Paul Bourget	63	59	55	67	61	55	51	59
39	Paris 13	Rue Paul Bourget	59	53	48	65	56	50	46	53
40	Paris 13	Rue Paul Bourget	53	nd	nd	56	nr	nr	nd	nd
41	Paris 13	Rue Paul Bourget	53	54	48	nd	52	45	42	48
42	Paris 13	Parc Kellermann	52	nd	48	54	51	45	41	48
43	Paris 14	Parc Montsouris	42	49	41	39	43	35	33	38
44	Paris 14	CIUP	63	58	57	67	61	55	52	59
50	Paris 14	CIUP	nd	128	129	119	125	126	117	134

nd = non disponible ; nr = non représentatif

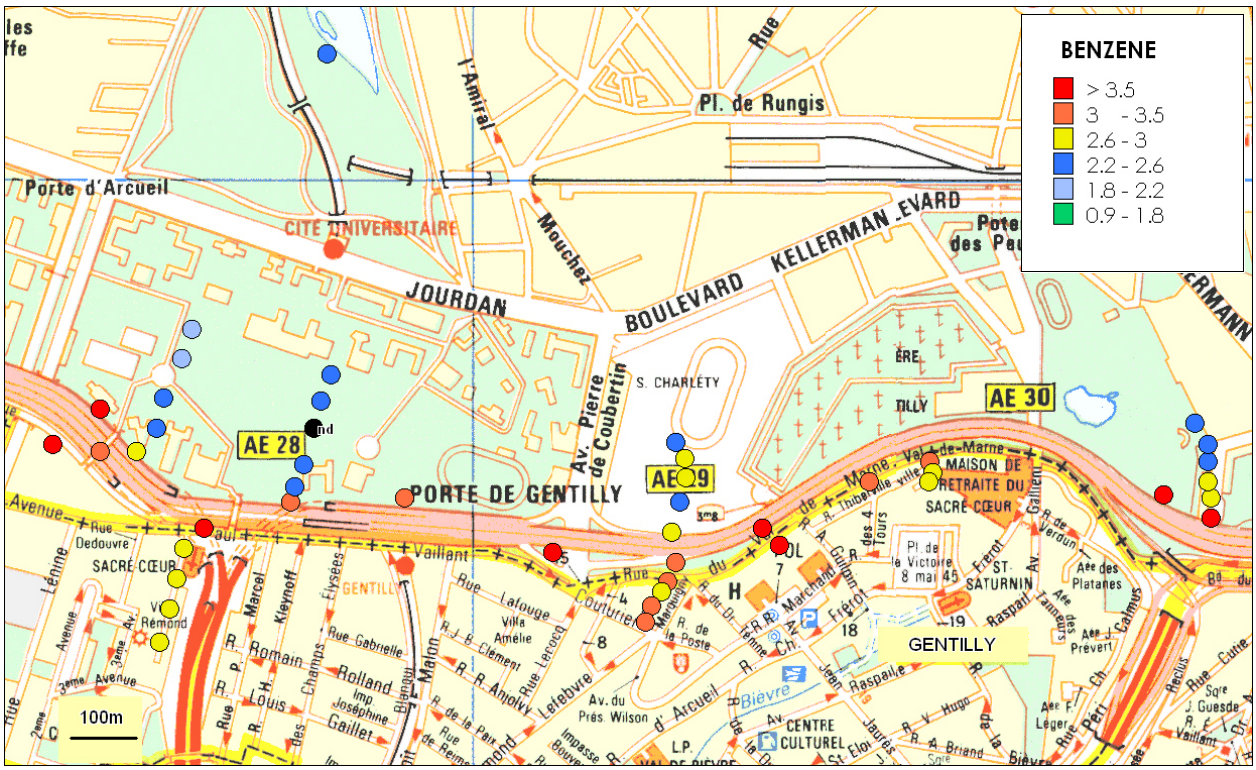
Numéro de site	Commune	Adresse	Étage	du 24/10 au 31/10/06	du 30/10 au 7/11/06	du 7/11 au 14/11/06	du 14/11 au 21/11/06	Moyenne campagne	Moyenne Annuelle estimée	Intervalle Incertitude	
										Min	Max
103	Gentilly	CIUP - Arts et Métiers	2ème	57	71	58	47	58	52	49	56
106	Paris 14	CIUP - Arts et Métiers	RDC	71	74	62	59	67	61	57	65
108	Paris 14	CUIP - Arts et Métiers	2ème	68	76	67	55	67	61	57	65
111	Gentilly	Maison de retraite	RDC	44	59	48	44	49	42	39	45
113	Gentilly	Maison de retraite	1er	50	59	50	44	51	44	41	47
116	Paris 13	Collège Évariste Galois	RDC	47	51	44	42	46	39	36	41
118	Paris 13	Collège Évariste Galois	2ème	49	51	44	44	47	40	37	43
121	Paris 13	Collège Évariste Galois	3ème	47	48	41	37	43	36	33	38
123	Paris 13	Rue Paul Bourget	1er	nd	61	56	63	60	54	50	58
125	Paris 13	Rue Paul Bourget	3ème	nd	62	59	56	59	53	49	57
128	Gentilly	Rue de Thiberville	1er	53	58	54	46	53	46	43	49
131	Gentilly	Rue de Thiberville	4ème	nd	58	51	44	51	44	41	47

ANNEXE 10

Cartographie des résultats de benzène pour chaque série de mesure

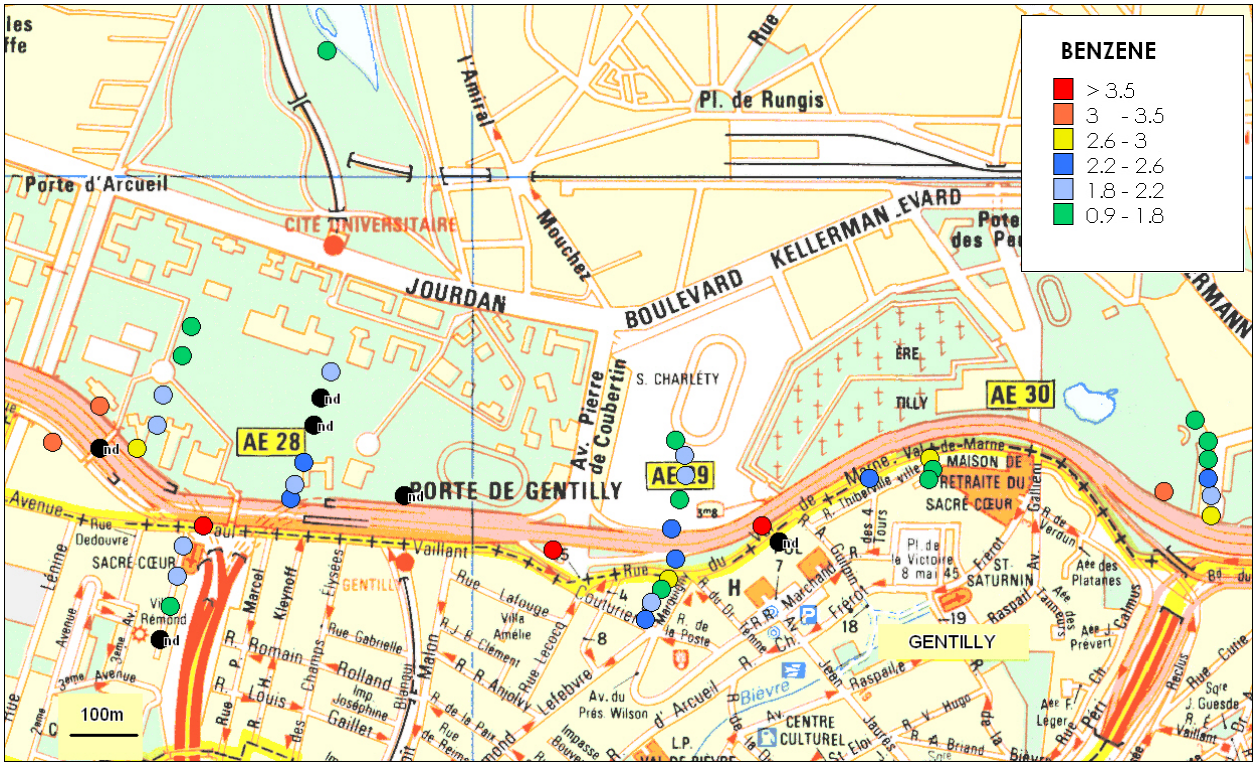


(a) Du 24 octobre au 31 octobre 2006

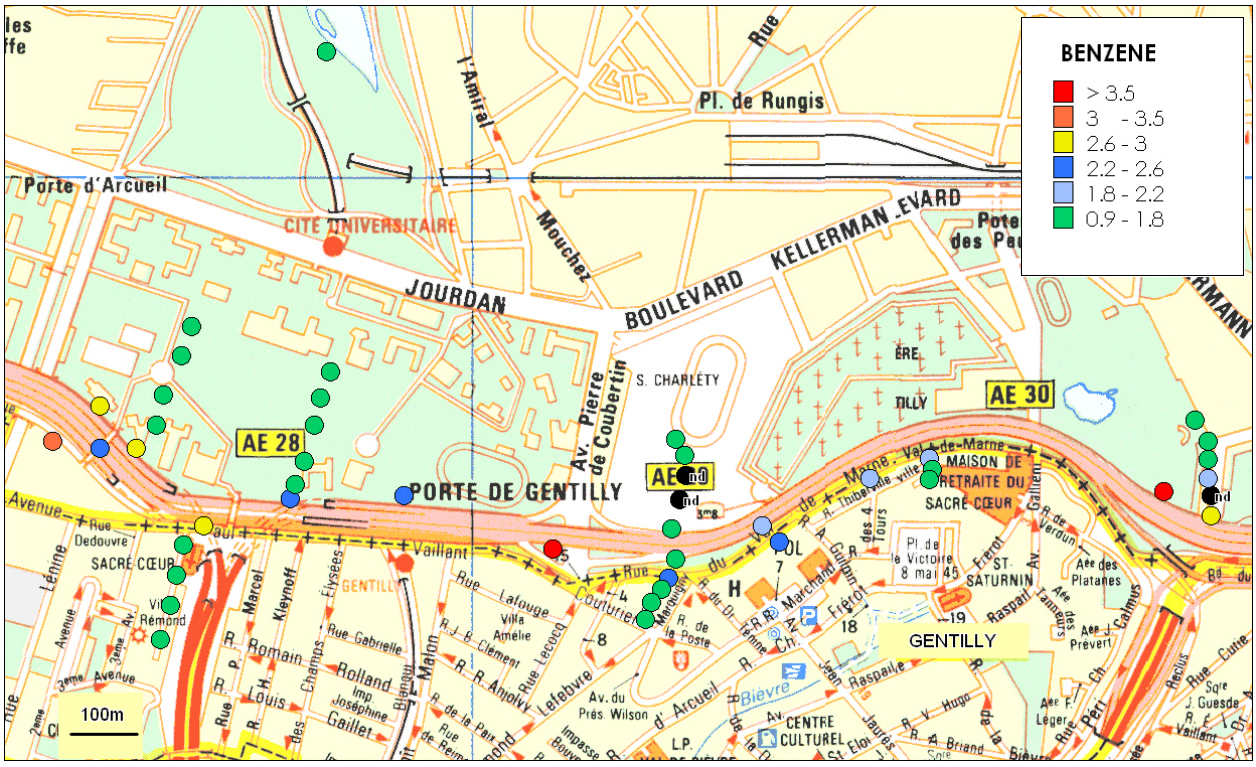


(b) Du 31 octobre au 7 novembre 2006

Cartographie des résultats de benzène pour chaque série de mesure



(c) Du 7 novembre au 14 novembre 2006



(d) Du 14 novembre au 21 novembre 2006

Résultats des mesures de benzène par tubes à diffusion (valeurs en µg/m³)

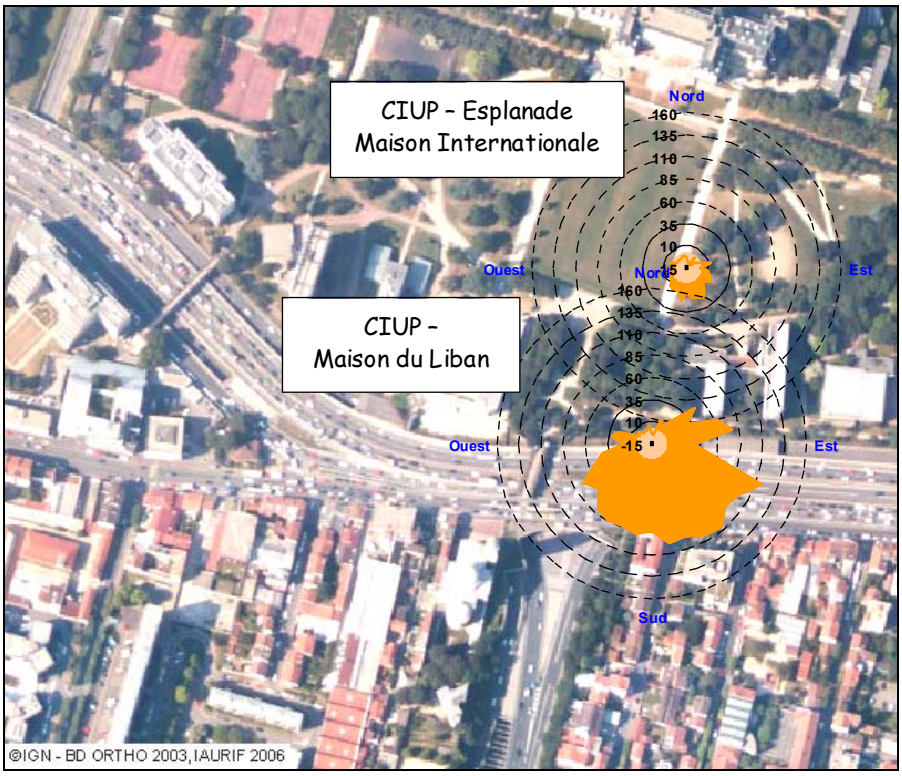
Numéro de site	Commune	Adresse	du 24/10 au 31/10/06	du 30/10 au 7/11/06	du 7/11 au 14/11/06	du 14/11 au 21/11/06	Moyenne campagne	Moyenne Annuelle estimée	Intervalle Incertitude	
									Min	Max
1	Paris 14	Avenue P. MASSE	3.6	3.8	3.3	3.1	3.5	2.6	2.1	3.1
2	Paris 14	CIUP	3.1	3.4	nd	2.4	3.0	2.2	1.8	2.7
3	Paris 14	CIUP	2.9	2.9	2.6	2.7	2.8	2.1	1.7	2.5
4	Paris 14	CIUP	2.5	2.3	2	1.6	2.1	1.5	1.2	1.8
5	Paris 14	CIUP	2.1	2.4	1.8	1.4	1.9	1.4	1.1	1.7
6	Paris 14	CIUP	1.9	2.1	1.4	1.1	1.6	1.1	0.9	1.4
7	Paris 14	CIUP	1.8	2.1	1.6	1.1	1.7	1.2	0.9	1.4
8	Gentilly	Avenue P.V. Couturier	4.2	4.4	3.6	2.9	3.8	2.9	2.3	3.5
9	Gentilly	Villa Rémond	2.4	2.9	2	1.4	2.2	1.6	1.3	1.9
10	Gentilly	Villa Rémond	2.3	2.9	1.8	1.3	2.1	1.5	1.2	1.8
11	Gentilly	Villa Rémond	nd	2.6	1.7	1.3	1.9	1.3	1.1	1.6
12	Gentilly	Villa Rémond	2.4	2.8	nd	1.3	2.2	1.6	1.3	1.9
13	Paris 14	CIUP	3.2	3.0	2.3	2.2	2.7	2.0	1.6	2.4
14	Paris 14	CIUP	2.4	2.5	2.4	1.5	2.2	1.6	1.3	1.9
15	Paris 14	CIUP	1.9	nd	nd	1.1	nr	nd	nd	nd
16	Paris 14	CIUP	nd	2.5	nd	1.3	nr	nd	nd	nd
17	Paris 14	CIUP	2.1	2.3	1.9	1.1	1.9	1.3	1.1	1.6
18	Paris 14	CIUP	3.1	3.0	nd	2.2	2.8	2.1	1.7	2.5
19	Paris 13	Boulevard Périphérique	5.0	5.2	4.1	3.5	4.5	3.4	2.7	4.1
20	Paris 13	Charlety	2.4	2.7	2.2	1.7	2.3	1.6	1.3	2.0
21	Paris 13	Charlety	2.2	2.4	1.7	nd	2.1	1.5	1.2	1.8
22	Paris 13	Charlety	nd	2.7	1.9	nd	nr	nd	nd	nd
23	Paris 13	Charlety	2.1	2.8	1.9	1.5	2.1	1.5	1.2	1.8
24	Paris 13	Charlety	1.8	2.4	1.7	1.2	1.8	1.3	1.0	1.5
25	Paris 13	Boulevard Périphérique	3.5	3.3	2.5	1.6	2.7	2.0	1.6	2.4
26	Gentilly	Rue du Val-de-Marne	3.1	3.1	2.6	2.4	2.8	2.1	1.7	2.5
27	Gentilly	Rue de Freiberg	2.6	2.9	1.7	1.2	2.1	1.5	1.2	1.8
28	Gentilly	Rue de Freiberg	2.4	3.0	1.9	1.4	2.2	1.6	1.3	1.9
29	Gentilly	Rue de Freiberg	2.4	3.3	2.2	1.5	2.4	1.7	1.4	2.1
30	Paris 13	Boulevard Périphérique	4.0	4.3	3.5	2.1	3.5	2.6	2.1	3.2
31	Gentilly	Rue du Val-de-Marne	3.5	3.6	nd	2.3	3.1	2.4	1.9	2.8
32	Gentilly	Rue du Val-de-Marne	3.2	3.3	2.5	1.9	2.7	2.0	1.6	2.4
33	Gentilly	Rue du Val-de-Marne	3.4	3.4	2.6	1.9	2.8	2.1	1.7	2.5
34	Gentilly	Rue de Thiberville	nd	2.6	1.7	1.1	1.8	1.3	1.0	1.5
35	Gentilly	Rue de Thiberville	2.7	2.7	1.7	1.3	2.1	1.5	1.2	1.8
36	Paris 13	Parc Kellermann	3.9	3.6	3.4	3.5	3.6	2.7	2.2	3.3
37	Paris 13	Boulevard Périphérique	3.6	3.7	2.8	2.6	3.2	2.4	1.9	2.9
38	Paris 13	Rue Paul Bourget	2.5	2.6	2	nd	2.4	1.7	1.4	2.1
39	Paris 13	Rue Paul Bourget	2.5	2.9	2.3	1.8	2.4	1.7	1.4	2.1
40	Paris 13	Rue Paul Bourget	2.4	2.3	1.7	1.4	2.0	1.4	1.1	1.7
41	Paris 13	Rue Paul Bourget	2.1	2.4	1.6	1.3	1.9	1.3	1.1	1.6
42	Paris 13	Parc Kellermann	nd	2.5	1.4	1.2	1.7	1.2	1.0	1.4
43	Paris 14	Parc Montsouris	1.8	2.3	1.5	0.9	1.6	1.1	0.9	1.4
44	Paris 14	CIUP	2.4	2.5	2	1.5	2.1	1.5	1.2	1.8
50	Paris 14	CIUP	3.4	4.7	3.4	2.7	3.6	2.7	2.2	3.2

nd = non disponible ; nr = non représentatif

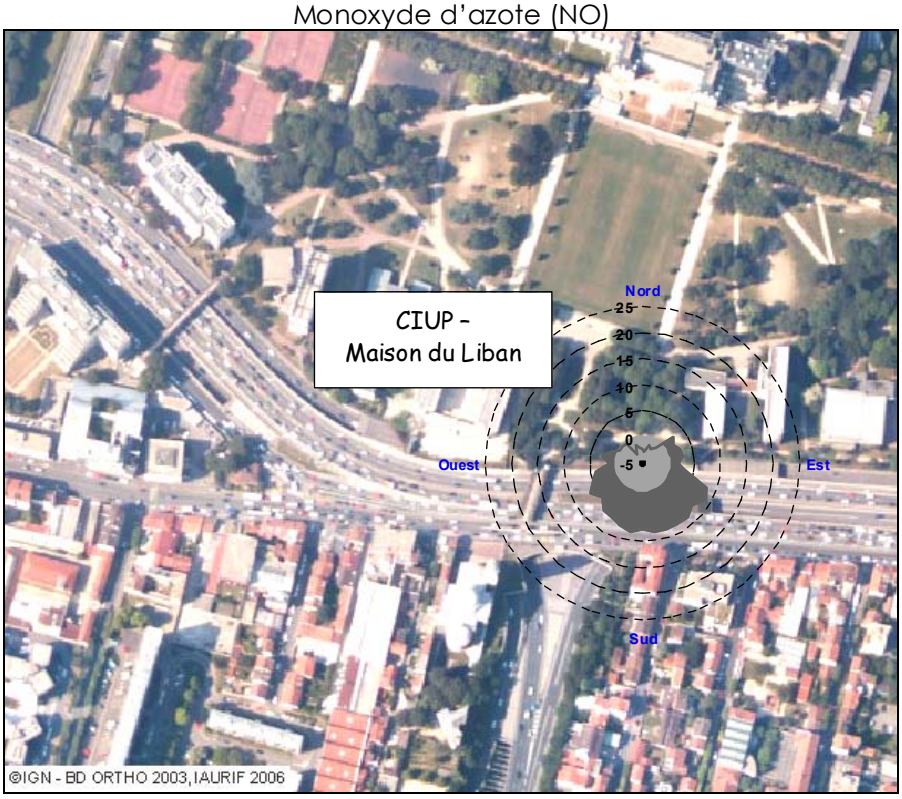
Numéro de site	Commune	Adresse	Étage	du 24/10 au 31/10/06	du 30/10 au 7/11/06	du 7/11 au 14/11/06	du 14/11 au 21/11/06	Moyenne campagne	Moyenne Annuelle estimée	Intervalle Incertitude	
										Min	Max
103	Gentilly	CIUP - Arts et Métiers	2ème	nd	3.1	2.3	1.8	2.4	1.8	1.4	2.1
106	Paris 14	CIUP - Arts et Métiers	RDC	2.0	2.9	2.1	1.7	2.2	1.6	1.3	1.9
108	Paris 14	CUIP - Arts et Métiers	2ème	1.8	3.2	2.2	1.6	2.2	1.6	1.3	1.9
111	Gentilly	Maison de retraite	RDC	2.4	3.6	2.4	2.0	2.6	1.9	1.5	2.3
113	Gentilly	Maison de retraite	1er	2.2	3.4	2.3	2.0	2.5	1.8	1.5	2.2
118	Paris 13	Collège Évariste Galois	2ème	1.6	2.6	1.6	1.4	1.8	1.3	1.0	1.5
121	Paris 13	Collège Évariste Galois	3ème	1.1	3.0	2.1	1.6	1.9	1.4	1.1	1.7
123	Paris 13	34 rue Paul Bourget	1er	nd	3.5	2.6	2.1	2.7	2.0	1.6	2.4
125	Paris 13	34 rue Paul Bourget	3ème	1.5	3.8	2.9	2.1	2.6	1.9	1.5	2.3
128	Gentilly	Rue de Thiberville	1er	2.2	3.2	2.4	1.7	2.4	1.8	1.4	2.1
131	Gentilly	Rue de Thiberville	4ème	nd	2.9	2.7	2.1	2.6	1.9	1.5	2.3

ANNEXE 11

Rose d'impact de pollution aux stations provisoires implantées à la CUIP durant la campagne de mesure.



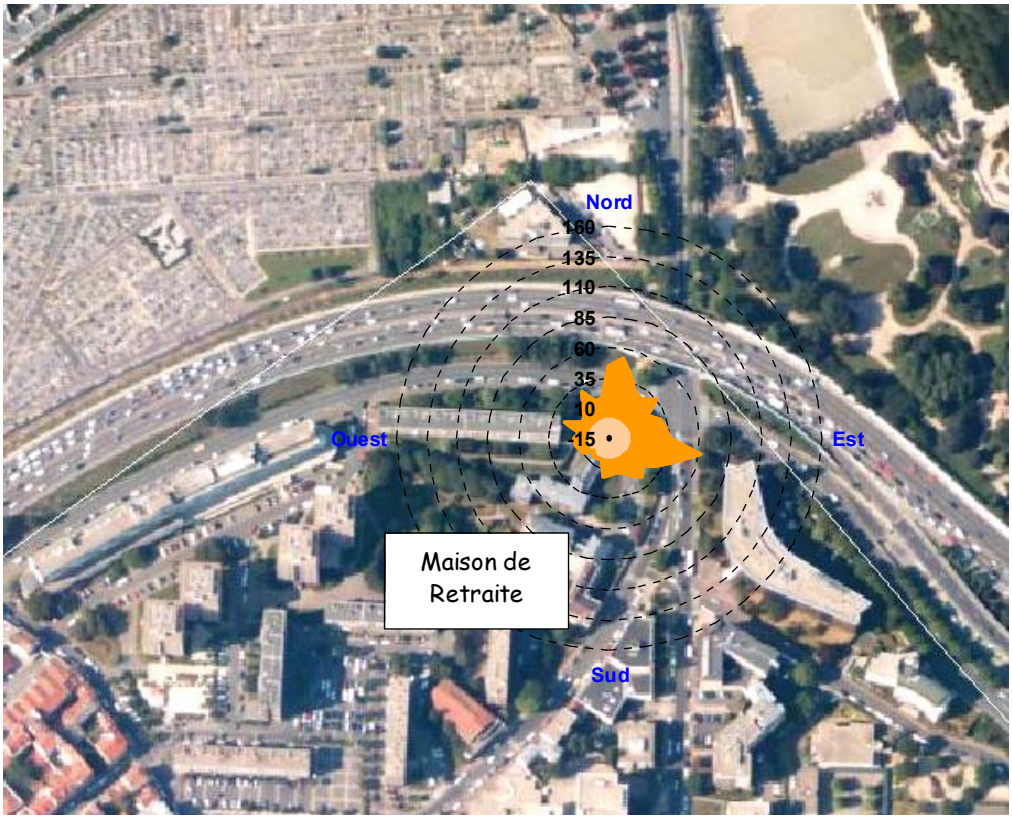
Monoxyde d'azote (NO)



Particules PM2.5

ANNEXE 11 (suite)

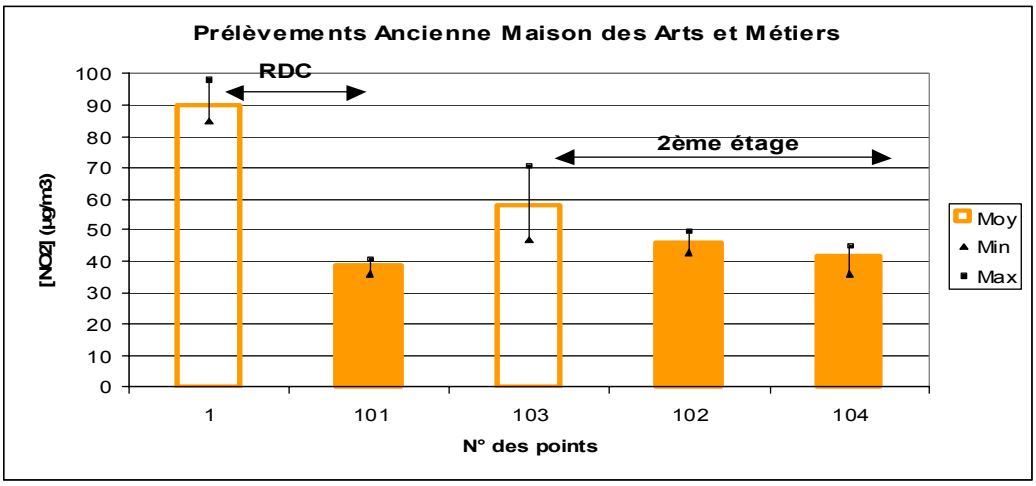
Rose d'impact de pollution au point de mesure extérieur implanté à la Maison de Retraite durant la campagne de mesure.



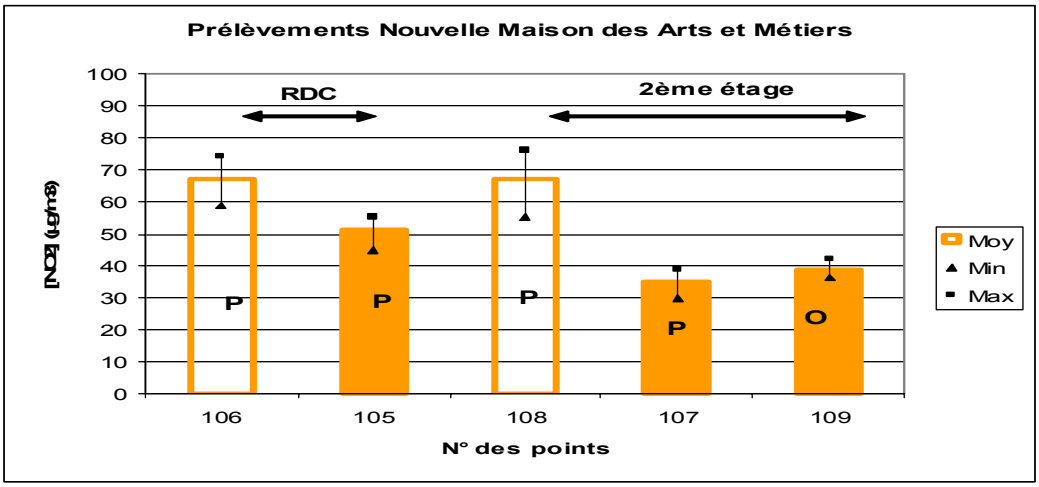
Monoxyde d'azote (NO)

ANNEXE 12

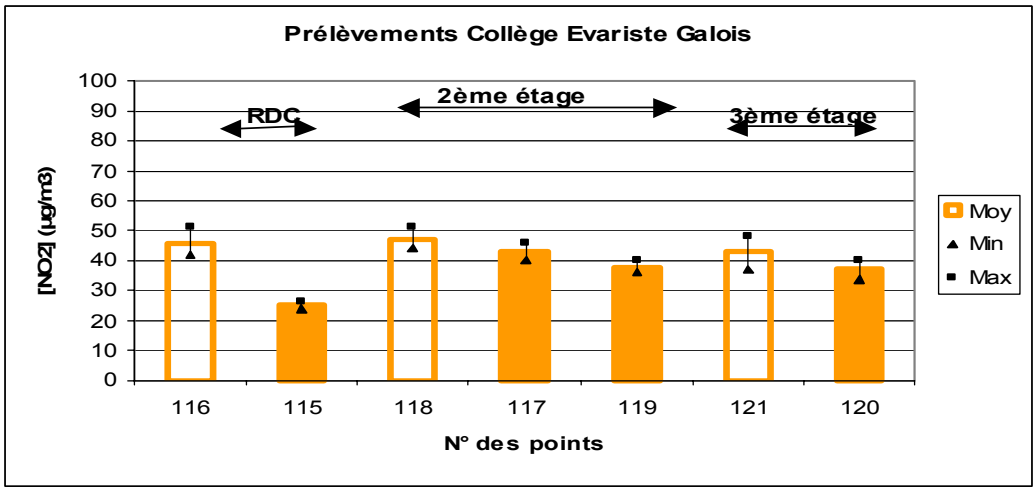
Résultats de NO_2 à l'intérieur et à l'extérieur immédiat des bâtiments étudiés



Teneurs moyennées en NO_2 sur 4 semaines et teneurs maximales et minimales hebdomadaires relevées sur le site de l'ancienne maison des Arts et Métiers



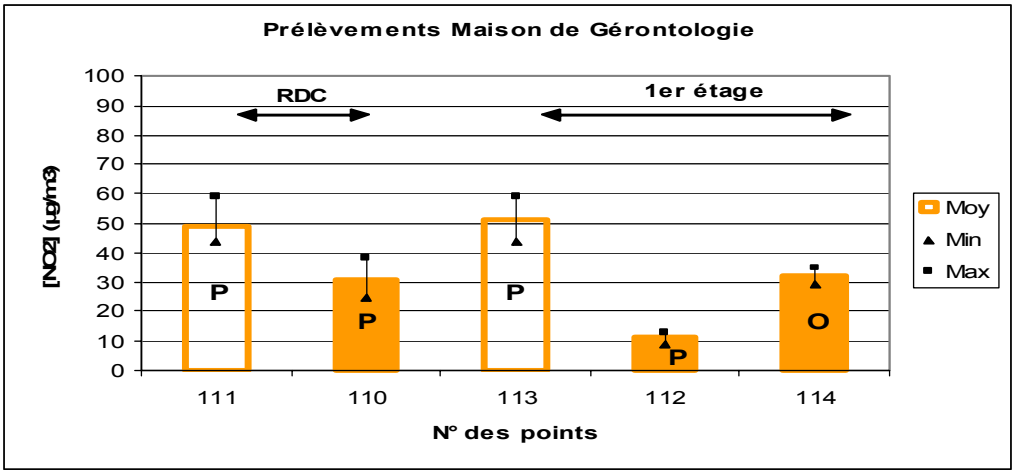
Teneurs moyennées en NO_2 sur 4 semaines et teneurs maximales et minimales hebdomadaires relevées sur le site de la nouvelle maison des Arts et Métiers



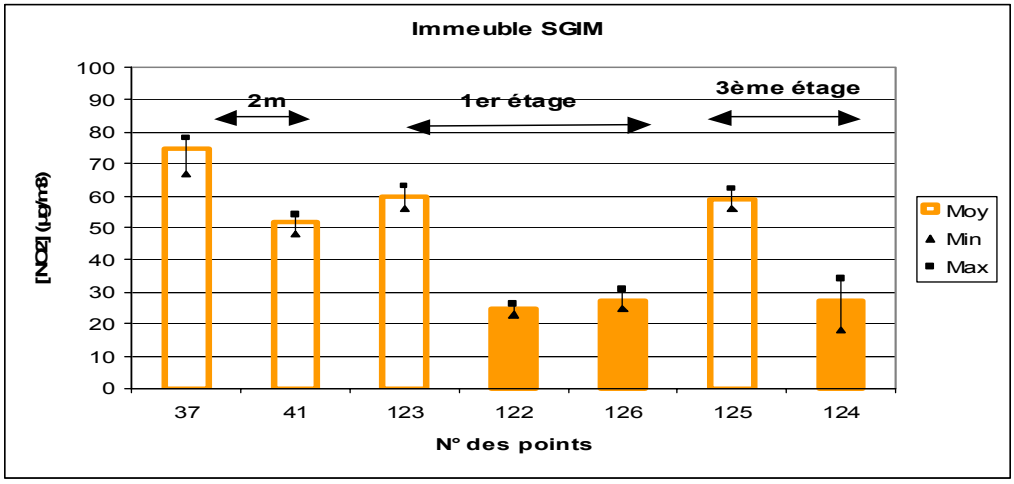
Teneurs moyennées en NO_2 sur 4 semaines et teneurs maximales et minimales hebdomadaires relevées sur le site du collège Évariste Galois

air extérieur *air intérieur* *P : Côté périphérique* *O : Côté opposé périphérique*

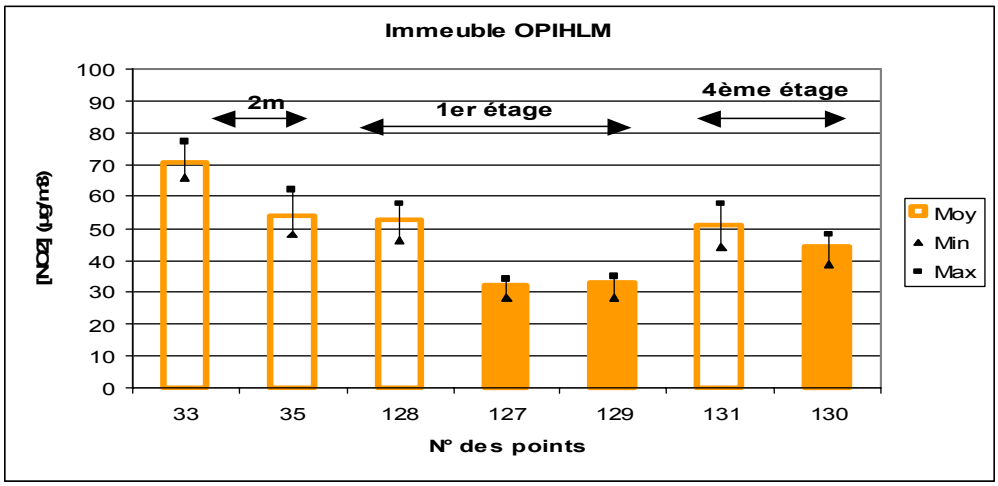
ANNEXE 12 (suite)



Teneurs moyennées en NO_2 sur 4 semaines et teneurs maximales et minimales hebdomadaires relevées sur le site de la maison de retraite



Teneurs moyennées en NO_2 sur 4 semaines et teneurs maximales et minimales hebdomadaires relevées sur le site de l'immeuble SGIM

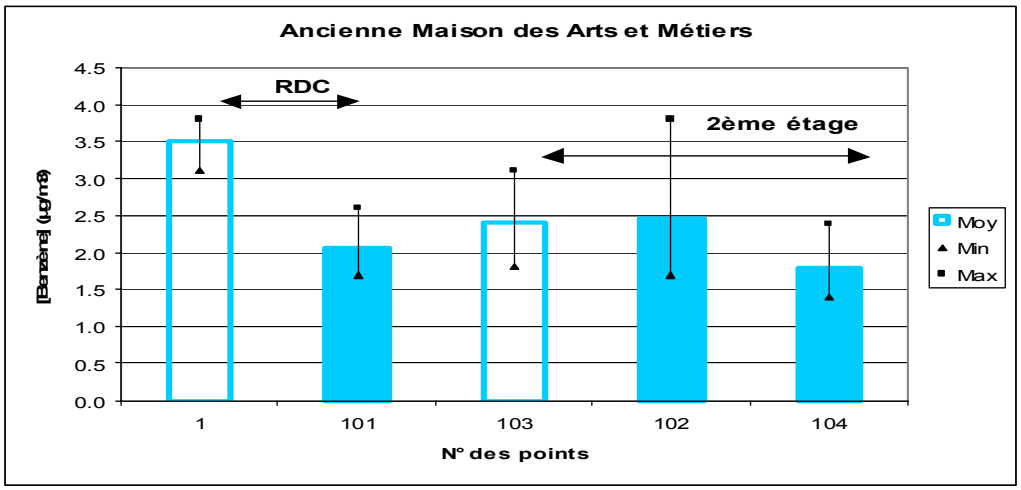


Teneurs moyennées en NO_2 sur 4 semaines et teneurs maximales et minimales hebdomadaires relevées sur le site de l'immeuble OPIHLM

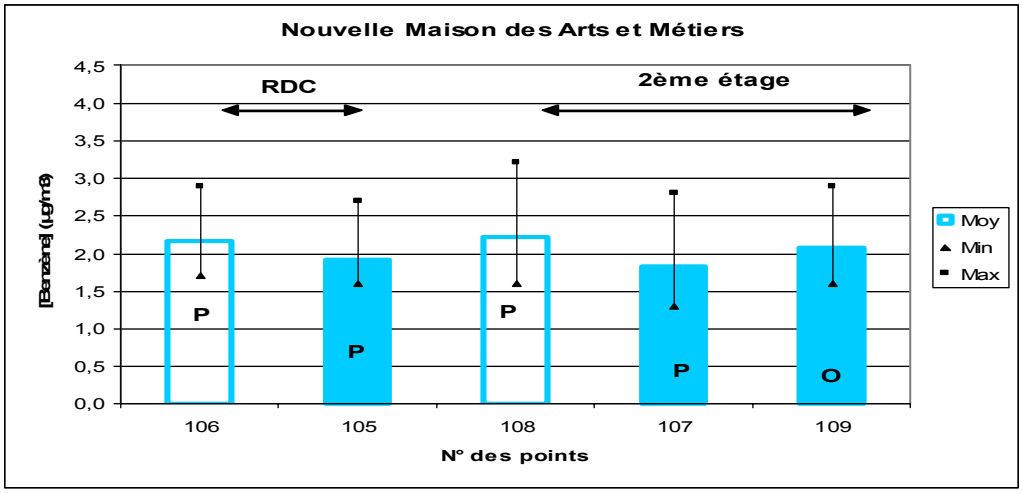
air extérieur *air intérieur* *P : Côté périphérique* *O : Côté opposé périphérique*

ANNEXE 13

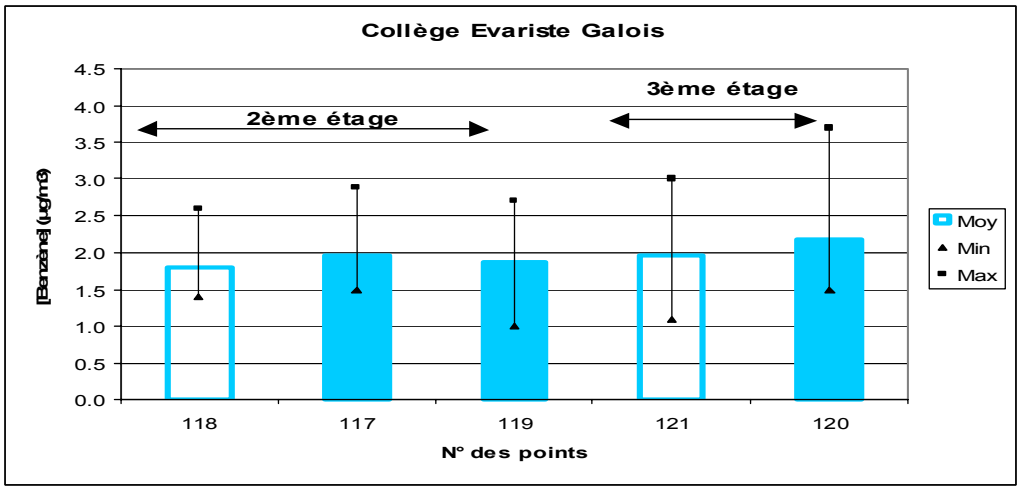
Résultats de benzène à l'intérieur et à l'extérieur immédiat des bâtiments étudiés



Teneurs moyennées en benzène sur 4 semaines et teneurs maximales et minimales hebdomadaires relevées sur le site de l'Ancienne Maison des Arts et Métiers



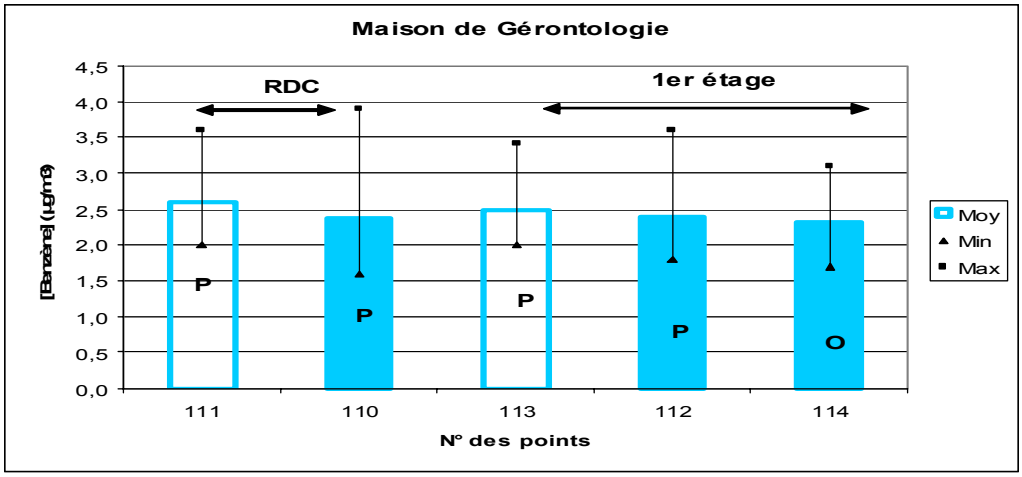
Teneurs moyennées en benzène sur 4 semaines et teneurs maximales et minimales hebdomadaires relevées sur le site de la Nouvelle Maison des Arts et Métiers



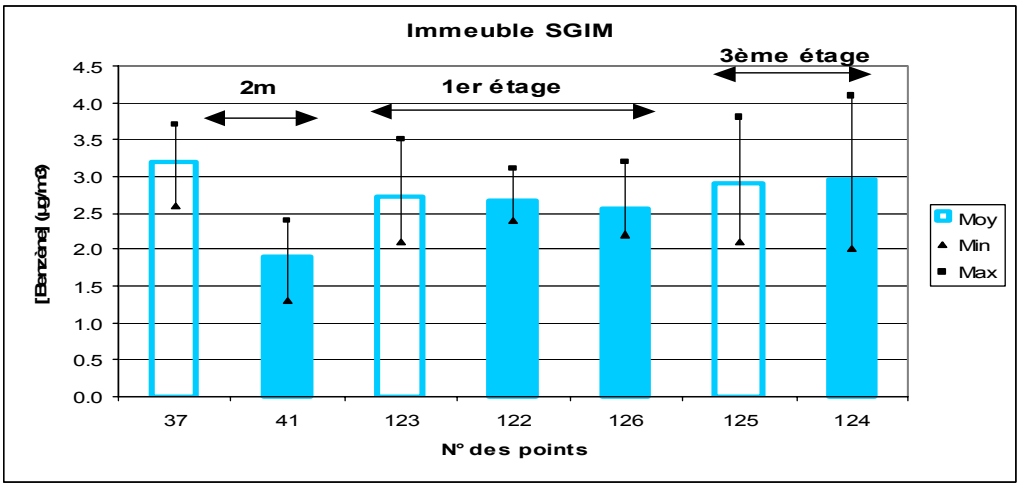
Teneurs moyennées en benzène sur 4 semaines et teneurs maximales et minimales hebdomadaires relevées sur le site du collège Évariste Galois

air extérieur *air intérieur* *P : Côté périphérique* *O : Côté opposé périphérique*

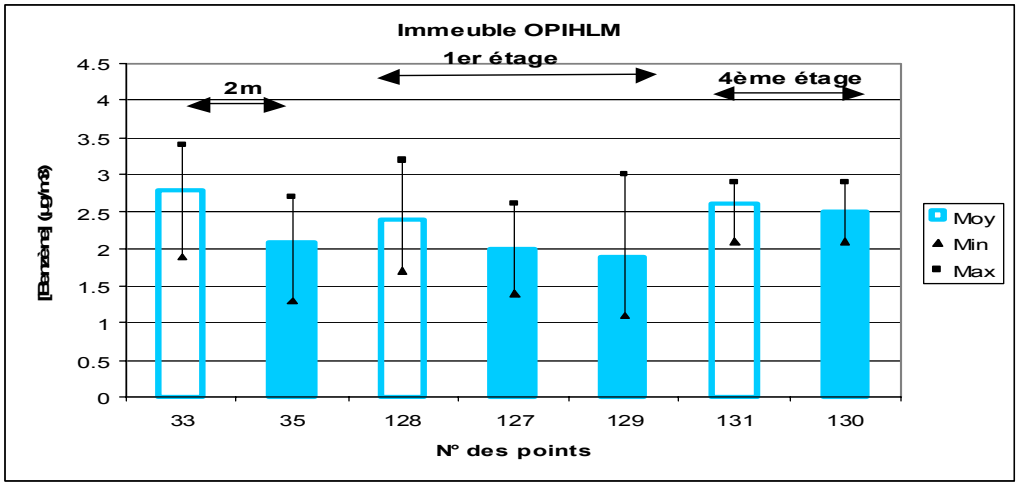
ANNEXE 13 (suite)



Teneurs moyennées en benzène sur 4 semaines et teneurs maximales et minimales hebdomadaires relevées sur le site de la maison de Gérontologie



Teneurs moyennées en benzène sur 4 semaines et teneurs maximales et minimales hebdomadaires relevées sur le site de l'immeuble SGIM



Teneurs moyennées en benzène sur 4 semaines et teneurs maximales et minimales hebdomadaires relevées sur le site de l'immeuble OPIHLM

air extérieur *air intérieur* *P : Côté périphérique* *O : Côté opposé périphérique*