

CAMPAGNE DE MESURE À LA GARE DE RER AUBER

Partenariat Airparif/RATP

Septembre 2010





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



Partenariat Airparif – Ratp

Campagne de mesure à la Gare de RER AUBER

SEPTEMBRE 2010

Étude réalisée par :

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

en collaboration avec

Ratp, Délégation Générale à l'Innovation et au Développement Durable
54 quai de la Râpée 75599 PARIS Cedex 12 – www.ratp.fr

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

Sommaire

Introduction.....	5
I. Description de la campagne de mesure	6
I.1 Choix de la gare étudiée	6
I.2 Polluants mesurés.....	7
I.3 Moyens de mesure mis en œuvre	8
I.3 a Tubes à diffusion passive	8
I.3 b Analyseurs automatiques	11
I.4 Conditions de circulation	13
II. Conditions météorologiques.....	14
III. Evaluation des concentrations extérieures au cours de la campagne de mesure.....	16
IV Etat de la qualité de l'air dans l'enceinte de la gare AUBER	21
IV.1 Des teneurs de dioxyde d'azote plus élevées à proximité du trafic routier.....	21
IV.2 Des niveaux importants de particules sur le quai du RER	26
IV.3 Des concentrations de formaldéhyde à peine plus élevées qu'en air extérieur	33
V. Comparaison des niveaux mesurés sur le réseau « SQUALES ».....	35
VI. Situation vis-à-vis des normes en vigueur ou des recommandations	38
VI.1 Résultats des mesures en extérieur.....	38
VI.1.a Cas du NO₂	38
VI.1.b Cas des particules PM10	41
VI.1.c Cas des particules PM2.5	43
VI.2 Résultats des mesures en intérieur	44
VI.2.a Les particules	44
VI.2.b Le formaldéhyde	45
VII. Conclusion.....	47

Glossaire

Généralités :

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

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

Normes :

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

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

OMS. : Organisation Mondiale de la Santé.

EPA. : Agence de Protection de l'Environnement américaine.

CSHPPF. : Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France.

VGAI : Valeur Guide de l'Air Intérieur.

AFFSET : Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail.

ANSES : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail.

Polluants :

NO_x Oxydes d'azote

NO Monoxyde d'azote

NO₂ Dioxyde d'azote

PM10 Particules de diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm

PM2.5 Particules de diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 µm

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

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

Introduction

Dans le cadre d'un programme de collaboration entre la Ratp et Airparif, signé en juillet 2008, une première campagne de mesure a été réalisée à la station de métro Faïdherbe - Chaligny¹ en décembre 2008. Afin de poursuivre cette collaboration, un second volet est consacré à la caractérisation de la qualité de l'air au sein de la gare RER d'Auber.

Comme pour la précédente étude, cette campagne de mesure a été menée conjointement par la Ratp et Airparif.

L'étude, menée entre le 10 novembre et le 08 décembre 2009 à la gare Auber, a consisté à mesurer les niveaux de polluants en 27 points répartis aux différents niveaux de la gare (salle d'échange, quai, rez-de-chaussée...). Cette campagne de mesure permet de caractériser la qualité de l'air intérieur au sein des différents niveaux de la gare de RER et ainsi d'étudier l'influence des concentrations relevées sur le quai du RER sur les teneurs mesurées dans la salle d'échange où se concentrent notamment de nombreux commerces.

Outre la mise en œuvre de sites intérieurs, un point de mesure extérieur a été implanté pour évaluer les variations de niveaux au droit de la rue Auber, autrement dit en face de l'accès de la gare RER. L'objectif est d'établir des corrélations entre les variations de la qualité de l'air extérieur impactée par le trafic routier et celles mesurées dans l'enceinte souterraine de la Ratp.

¹ Rapport « Campagne de mesure à la station de métro Faïdherbe-Chaligny – Juin 2009 » disponible sur http://www.airparif.asso.fr/airparif/pdf/Rratp_20090701.pdf.

I. Description de la campagne de mesure

I.1 Choix de la gare étudiée

La configuration de la gare Auber présente des caractéristiques plus complexes que celle précédemment étudiée (Ligne 8 : Faidherbe – Chaligny). Si la première étude avait permis de mettre en évidence les transferts de polluants atmosphériques entre l'extérieur et l'intérieur de la gare (influence de l'extérieur sur l'air intérieur pour le NO₂ et des particules de l'intérieur vers l'extérieur), cette nouvelle campagne permet en plus la caractérisation de la qualité de l'air en fonction de différents niveaux souterrains.

La gare RER d'Auber, ligne A du RER (Cf. Figure 1), a été choisie en commun avec la Ratp sachant que cette gare présente différents éléments d'intérêt :

- La gare RER d'Auber connaît une fréquentation de voyageurs très importante ;
- Il existe de nombreuses correspondances à partir de la gare d'Auber en direction de lignes de métro et du RER E ;
- De nombreux niveaux souterrains composent l'enceinte de la gare RER ;
- La gare dispose d'une salle d'échange souterraine avec de nombreux commerces permanents.

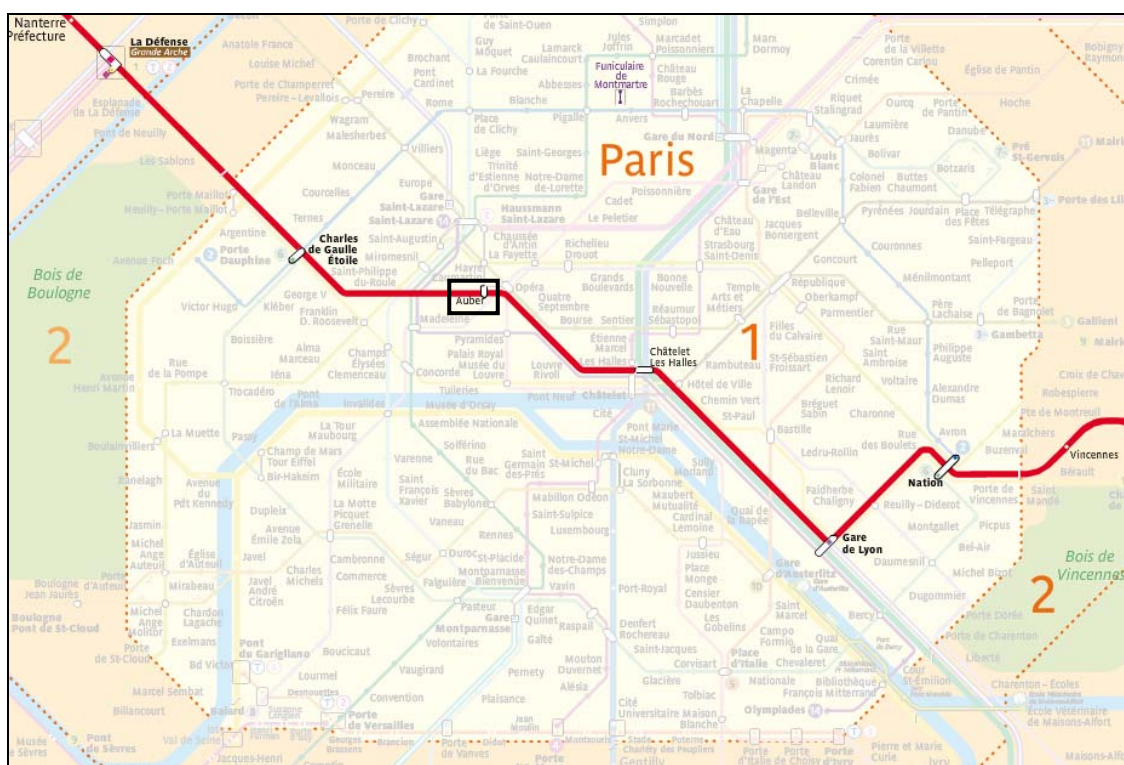


Figure 1 : Plan des lignes de métro/Rer composant le réseau RATP, avec notamment la ligne du Rer A (en rouge) dont la gare Auber fait parti.

La gare RER se trouve dans le quartier de l'opéra, dans le IX^{ème} arrondissement de Paris. Les deux entrées principales, situées rue Auber et rue des Mathurins, sont illustrées à la Figure 2. Il est à noter que l'accès à la gare RER est également possible boulevard Haussmann.

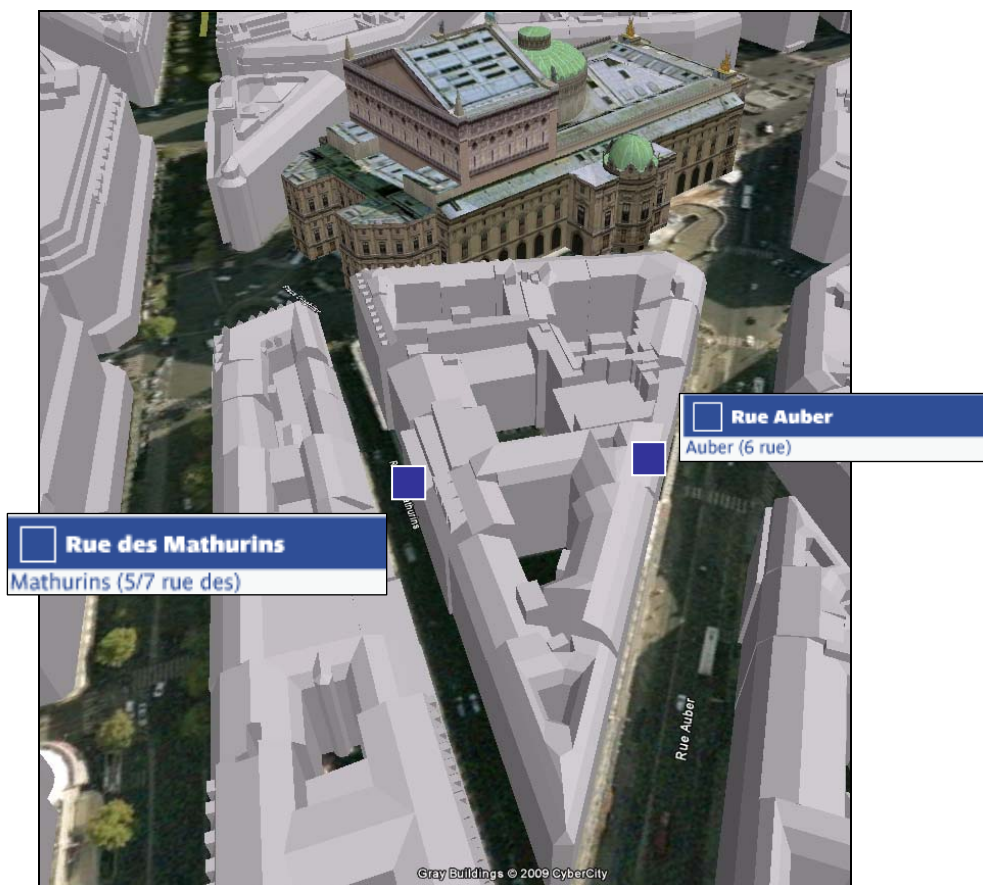


Figure 2 : Localisation des accès de la gare RER d'Auber (source : d'après Google-Earth).

1.2 Polluants mesurés

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

Ainsi, les **oxydes d'azote** (NO_x: NO et NO₂), traceurs du trafic routier et indicateur de la pollution urbaine, ont été mesurés pour caractériser la pollution extérieure et l'influence de celle-ci sur les teneurs mesurées dans l'enceinte souterraine. Le trafic routier est la source émettant la part principale (54 %) des oxydes d'azote en Ile-de-France². Sur le réseau fixe d'Airparif, les niveaux annuels de NO_x à proximité du trafic routier peuvent atteindre près de 4 fois ceux observés en situation de fond. Il est à noter que parmi les oxydes d'azote, seul le **dioxyde d'azote** (NO₂) est réglementé dans l'air ambiant du fait de ses effets reconnus sur la santé. Le dioxyde d'azote est d'une part, un bon indicateur du trafic routier et d'autre part, il reste problématique en situation de fond et plus encore à proximité du trafic routier.

L'air à l'intérieur du métro a été caractérisé par les **particules**, compte tenu des émissions engendrées par le trafic des RER. Ces particules mesurées dans une enceinte souterraine proviennent à la fois de l'air intérieur de la gare et dans une moindre mesure de l'air extérieur. Les émissions de ce polluant à l'intérieur d'une gare sont dues aux systèmes de freinage et à la remise en suspension des poussières par les rames de RER. A l'extérieur, le

² Source : « Inventaire des émissions en Ile-de-France, Airparif, année de référence 2005. http://www.airparif.asso.fr/airparif/pdf/Rinventaire2005_200912.pdf

trafic routier contribue à hauteur de 36 % aux émissions de particules de diamètre inférieur à 10 µm (**PM10**) en Ile-de-France², présentant ainsi les caractéristiques d'un traceur du trafic routier tout comme les particules plus fine de diamètre inférieur à 2,5 µm (**PM2.5**).

Le **formaldéhyde**, qui est un polluant d'origine majoritairement intérieure, dont les sources d'émissions incluent certains produits en bois agglomérés fabriqués avec des résines d'urée formaldéhyde (panneaux d'aggloméré, panneaux de contreplaqué en bois de feuillus, panneaux de fibre de densité moyenne) ou certains produits de construction et d'aménagement de l'habitat³ (revêtements de sol, de mur...). D'autres produits tels que des peintures à l'eau, les colles, des revêtements pour planchers, les moquettes et les tapis émettent aussi du formaldéhyde. Pour ces produits, les teneurs émises ont tendance à être plus élevées au moment de leur installation et à décroître avec le temps. Enfin, le formaldéhyde est aussi utilisé comme antiseptique et comme additif antibactérien pour la conservation des aliments ou encore les produits d'hygiène corporelle et les cosmétiques.

Les oxydes d'azote, et principalement le dioxyde d'azote - NO₂, les particules PM10 et PM2.5 et le formaldéhyde ont ainsi fait l'objet de mesures compte tenu à la fois des sources d'émissions et de leur effet reconnu sur la santé. Cela permet de caractériser l'air extérieur et intérieur de la gare RER d'Auber.

I.3 Moyens de mesure mis en œuvre

Deux méthodes complémentaires ont été mises en œuvre dans le cadre de la campagne de mesure 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 à l'implantation de sites automatiques renseignant les concentrations de pollution au pas de temps horaire.

I.3 a Tubes à diffusion passive

27 sites de mesure ont été instrumentés de tubes à diffusion permettant de mesurer le dioxyde d'azote et le formaldéhyde. La Figure 3 illustre le moyen de mesure (a) mis en place à l'intérieur de la gare RER d'Auber (b).

Pour le dioxyde d'azote, l'échantillonneur passif⁴ 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 NO₂ pendant la période d'exposition d'une semaine. L'échantillonneur passif utilisé pour mesurer le formaldéhyde se présente quant à lui sous forme d'une cartouche absorbante insérée dans un corps poreux.

Sur l'ensemble des sites de mesure, les échantillonneurs passifs de NO₂ et de formaldéhyde 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'azote⁵

³ Une étude de l'EPA (Characterization of emissions from conversion varnishes." The Emission Inventory: Key to Planning, Permits, Compliance, and Reporting, Air & Waste Management Association, September 1996, McCrillis, R.C., E.M. Howard, R. Fortmann, H.C. Lao, Z. Guo, and K.A. Krebs) a montré que l'on pouvait toujours détecter des émissions de formaldéhyde 138 jours après l'application d'un vernis et que l'émission cumulative de formaldéhyde (depuis l'application du vernis jusqu'au 138^{ème} jour) correspondait à 6 à 7 fois la quantité de formaldéhyde libre qui était présente dans un vernis lors de l'application. Ceci indiquerait qu'une certaine quantité de formaldéhyde a été formée pendant le séchage de ce vernis.

⁴ 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.

⁵ Spectrophotométrie d'absorption dans le visible.

et au formaldéhyde⁶. 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.



a) moyens de mesure passive

b) moyens de mesure sur site

Figure 3 : Illustration des moyens de mesure passive d'un site de mesure au sein de la salle d'échange de la gare RER d'Auber où le NO₂ et le formaldéhyde sont mesurés.

Pour les sites mesurant la qualité de l'air extérieur, les tubes sont maintenus au sein d'un abri de protection (Cf. Figure 4). Cet abri, fixé sur un support dans l'environnement (poteau, lampadaire...) à environ 3 mètres du sol, 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.



Figure 4 : Illustration du moyen de mesure passive dans son abri de protection sur un site de mesure extérieur rue des Mathurins.

Le plan d'échantillonnage établi pour la mesure de la qualité de l'air à l'extérieur et à l'intérieur de la gare de RER est illustré à la Figure 5.

Au rez-de-chaussée de la gare de RER, deux sites de mesure ont été instrumentés entre les rues des Mathurins et d'Auber afin d'étudier l'influence de ces axes routiers sur les teneurs de pollution.

Le plus grand nombre de points de mesure (13 sites) se trouve dans la salle d'échange où notamment de nombreux commerces sont présents. Six sites de mesure implantés au niveau

⁶ Chromatographie en phase liquide - détection en UV.

mezzanine complètent le dispositif de surveillance de la qualité de l'air au sein de la halle composant la salle d'échange de la gare.

Par ailleurs, des sites de mesure ont été instrumentés à proximité des accès aux ascenseurs afin d'identifier l'influence potentielle du renouvellement d'air pouvant être apporté par ceux-ci.

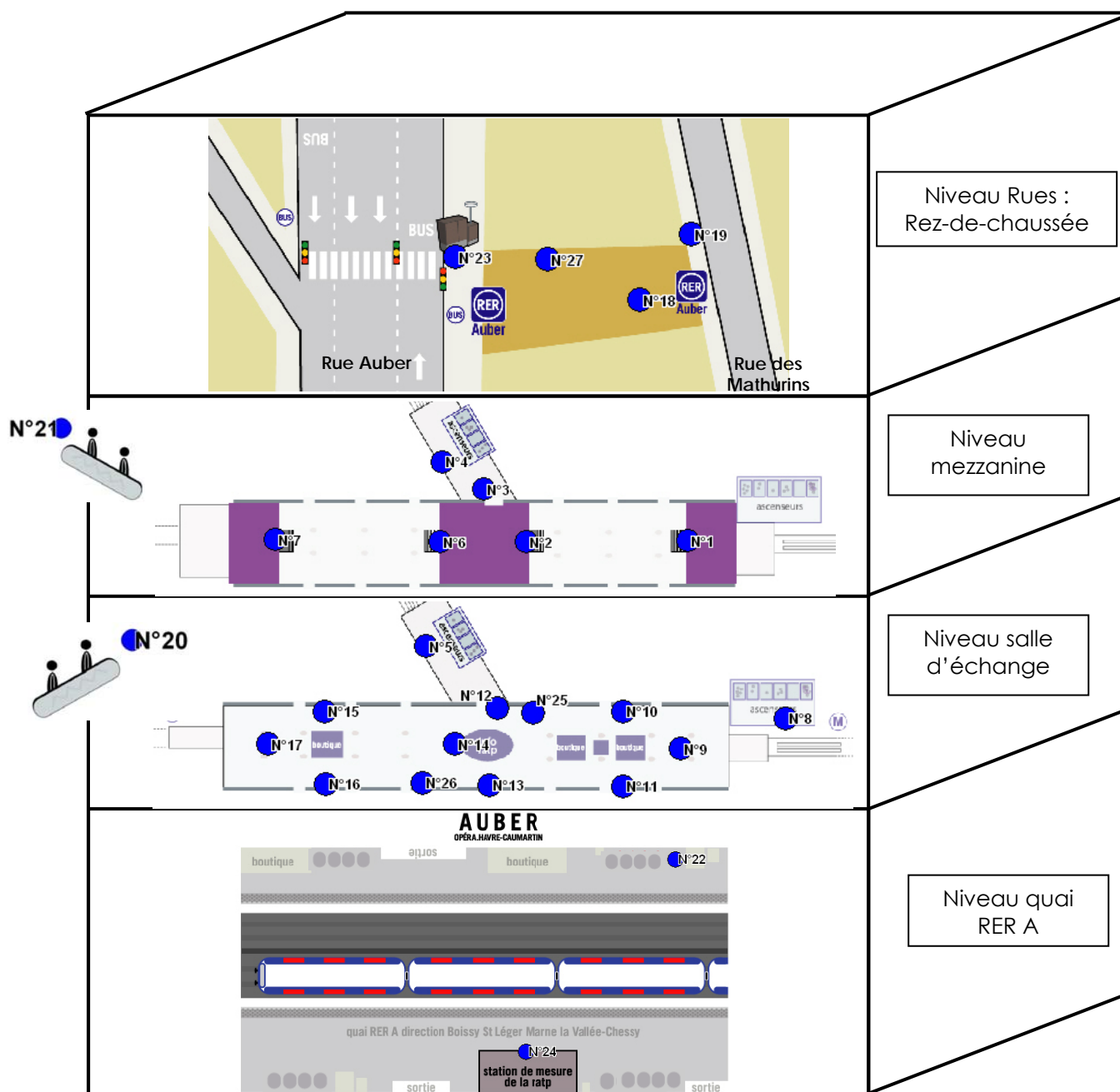


Figure 5 : Localisation des points de mesure instrumentés de tubes à diffusion permettant la mesure du dioxyde d'azote et du formaldéhyde les différents niveaux composant la gare.

De plus, chaque quai du RER a accueilli durant la campagne des mesures de NO₂ et de formaldéhyde.

C'est ainsi sur plusieurs étages que les sites de mesure par tubes à diffusion ont pu être installés, avec en complément deux sites instrumentés au 1^{er} et second étage des escaliers mécaniques empruntés pour passer de la salle d'échange au rez-de-chaussée.

Il est à noter que les sites n°23, n°24, n°25, n°26 et n°27 correspondent à des sites de mesure également instrumentés de moyens de mesure automatiques d'oxydes d'azote et de particules PM10 et PM2.5.

I.3 b Analyseurs automatiques

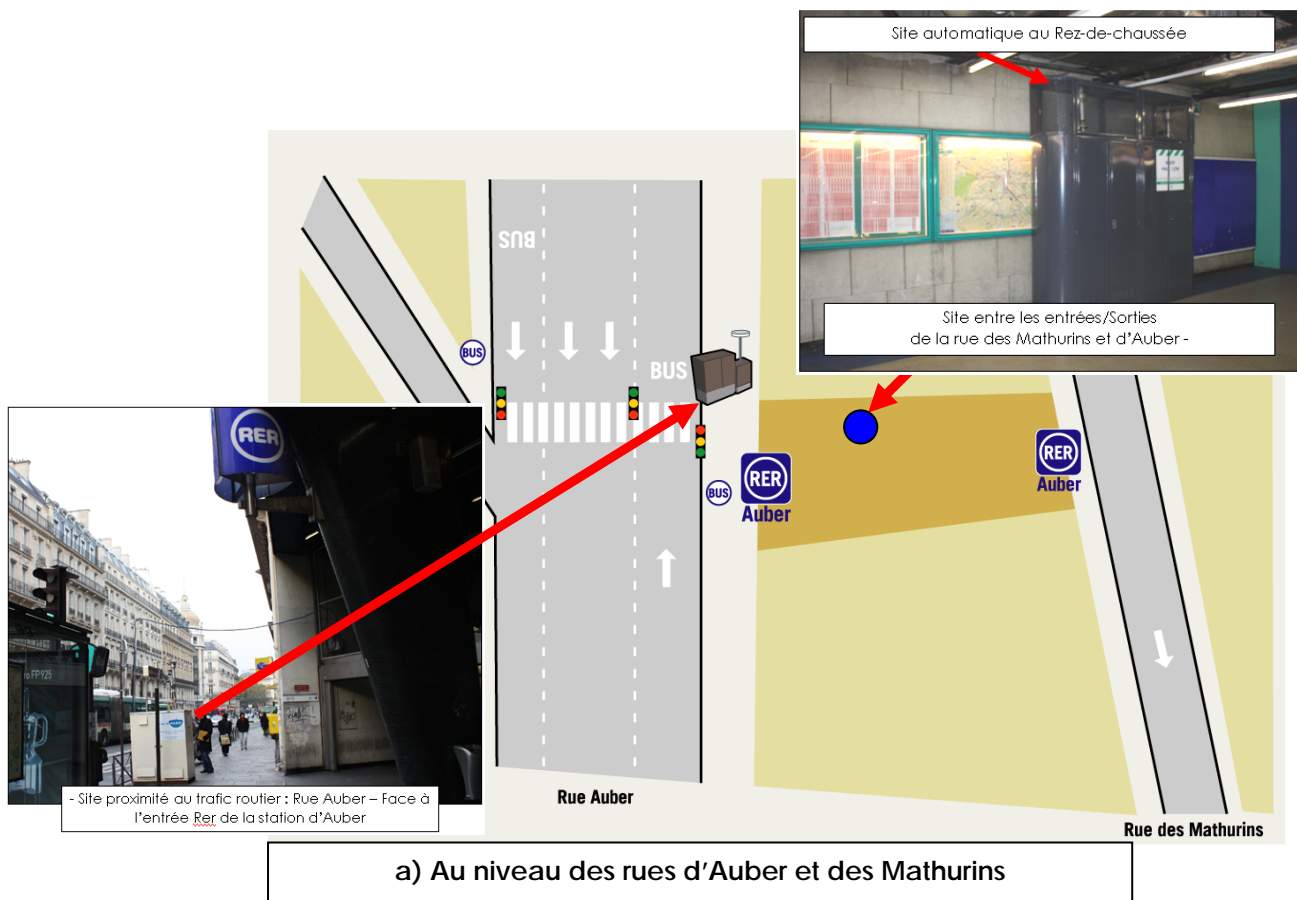
Simultanément aux mesures par tubes à diffusion, des moyens de mesure automatiques ont été implantés à l'extérieur comme à l'intérieur de la gare.

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

La Figure 6 présente les cinq sites de mesure automatique mis en place durant les quatre semaines de mesure.

Airparif et la Ratp avaient en charge la mise en œuvre de deux sites de mesure temporaires dans différentes configurations, à savoir :

- Un site de mesure extérieur en face l'accès de la gare RER de la Rue Auber (a). Ce site de mesure est situé à proximité du trafic routier et plus particulièrement d'un couloir de bus empruntés par neuf lignes de bus. Ce site de mesure extérieur était géré par Airparif ;
- Un site automatique a été mis en place par la Ratp à l'intérieur de la gare au rez-de-chaussée (a), autrement dit entre les accès des rues Auber et des Mathurins ;
- Deux sites de mesure mis en œuvre par Airparif et la Ratp ont été implantés de part et d'autre de la salle d'échange (b).



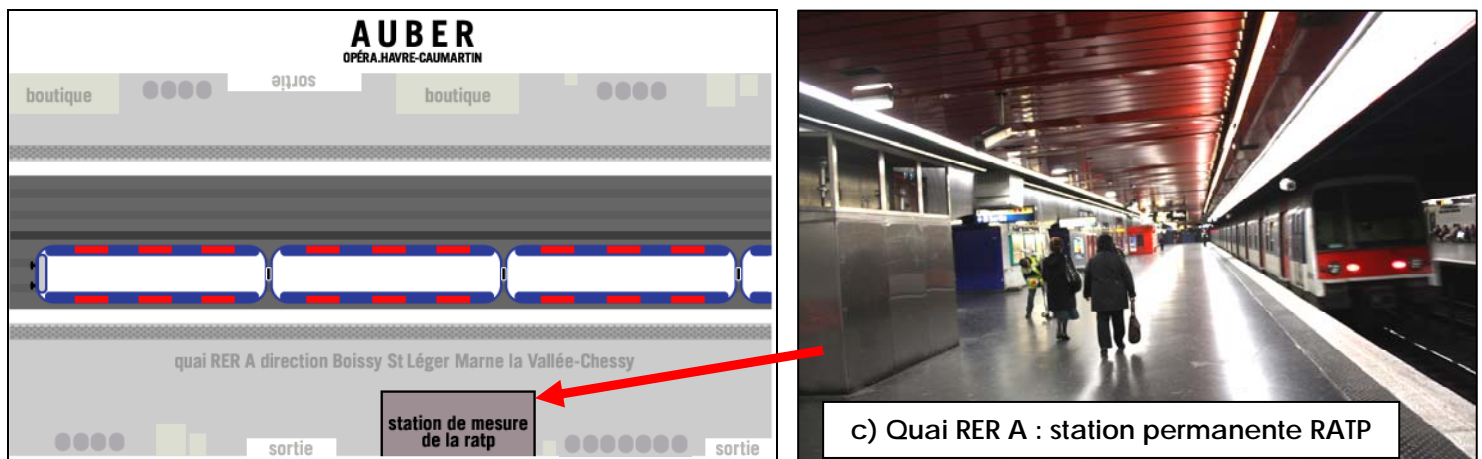
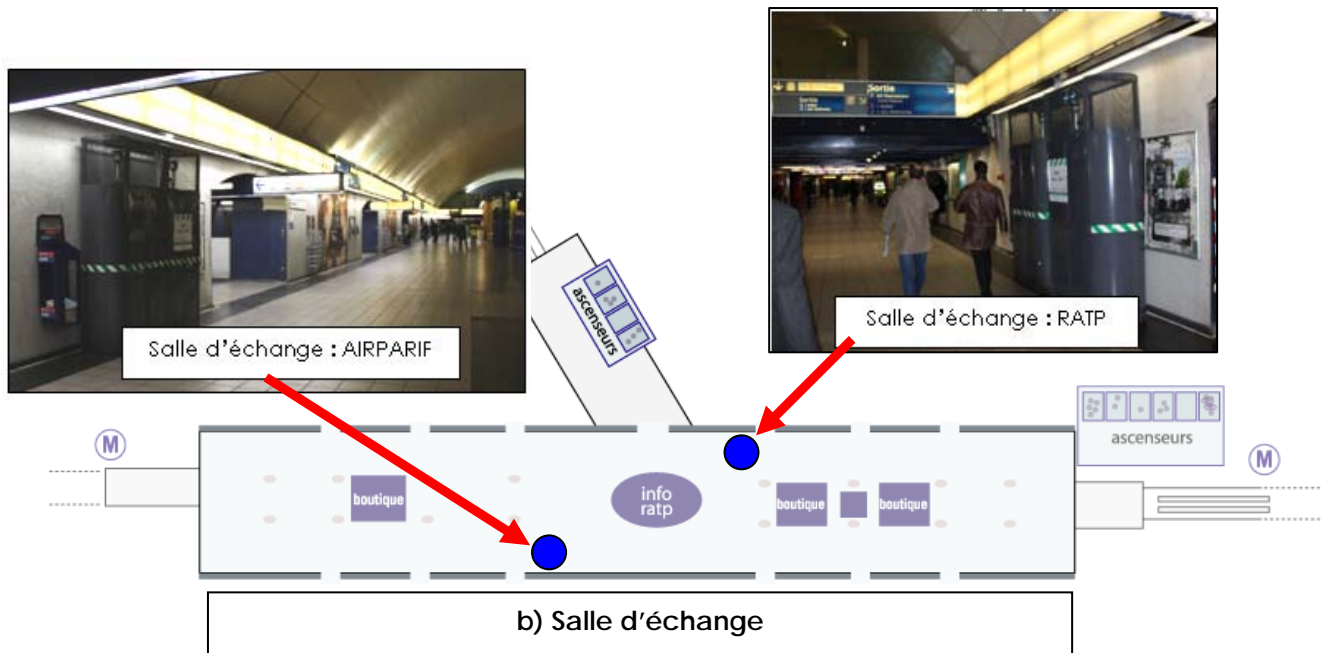


Figure 6 : Localisation des sites de mesure automatique instrumentés d'analyseurs de NO_x (NO et NO₂) et de particules (PM₁₀ et PM_{2.5}) : au niveau des rues Auber et des Mathurins (a), dans la salle d'échange (b) et sur le quai du RER (c).

Le cinquième site de mesure, implanté sur le quai du RER A (c) est une station permanente du réseau Ratp appelé SQUALES (Surveillance de la Qualité de l'Air dans L'Environnement Souterrain).

Les concentrations en monoxyde d'azote⁷ (NO), dioxyde d'azote⁷ (NO₂), en particules (PM₁₀)⁸ et particules fines⁸ (PM_{2.5}) ont été mesurées simultanément au pas de temps horaire sur ces cinq sites.

Il existe deux méthodes de mesure des particules : TEOM et FDMS, la différence entre les deux provenant de la prise en compte de la fraction volatile des particules. Cette fraction dépend de l'influence de l'air extérieur dans l'emprise souterraine. En souterrain, la fraction volatile des particules étant quasi inexistante, la RATP utilise la méthode TEOM pour les mesures faites sur le quai. Pour pouvoir comparer les sites de mesure répartis aux différents niveaux de la station Auber, les mesures de particules au cours de cette campagne de mesure ont donc été également réalisées par TEOM, autrement dit sans cette partie volatile.

⁷ Mesure par chimiluminescence, conformément à la norme NF EN 14-211.

⁸ 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.

Pour le site extérieur implanté rue Auber, la fraction volatile des particules a été prise en compte par l'application d'un facteur de correction provenant de mesures FDMS de stations similaires du réseau de mesure d'Airparif (Cf. Chapitre VI.1.b). Cette méthode permet de comparer les valeurs obtenues aux normes de qualité de l'air extérieur.

En revanche, le site installé au rez-de-chaussée était vraisemblablement influencé à la fois par la partie souterraine (particules non volatiles) et l'air extérieur (particules non volatiles et fraction volatile) du fait des deux accès à la gare RER (rues Auber et des Mathurins). Pour ce site, il n'a pas été possible d'estimer la fraction volatile à travers les mesures faites.

I.4 Conditions de circulation

Le nombre journalier de RER circulant dans les deux sens à la gare Auber durant la campagne de mesure est illustré à la Figure 7.

Les jours ouvrés, le nombre de rames de RER circulant à la gare Auber est compris suivant les jours entre 600 et 670 trains. Le trafic sur le RER est plus faible le week-end et les jours fériés⁹ avec un total sur la ligne compris entre 410 et 425 trains.

Le nombre de rames de RER circulant par voie à la gare Auber durant la campagne de mesure est quasi identique (plus ou moins 2 %) quelque soit le sens de circulation.

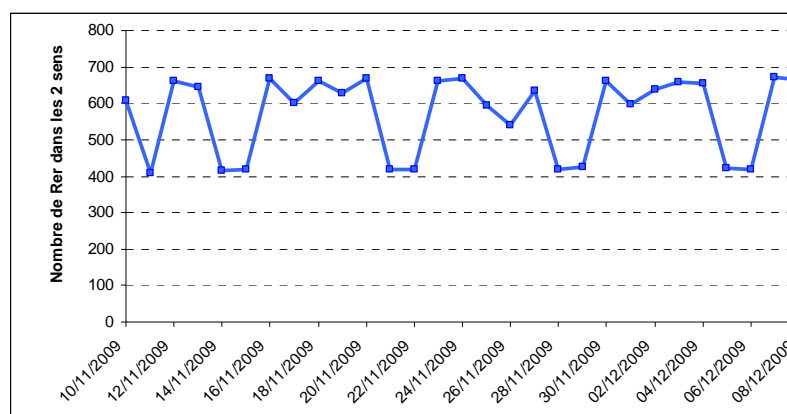


Figure 7 : Nombre journalier de RER dans les deux sens de circulation durant la campagne de mesure du 10 novembre au 08 décembre 2009 (Source : d'après Ratp).

A l'échelle horaire (Cf. Figure 8), la première rame de RER à la gare Auber passe à 5h16 et la dernière à 1h04 les jours ouvrés et le week-end et jours fériés. L'offre de RER est la plus importante aux heures de pointe du matin et du soir engendrées par les déplacements « Domicile-Travail ». La gare Auber accueille ainsi un nombre de rame par heure supérieur à 50 trains entre 8 et 9 heures et entre 17 et 19 heures. Les jours de week-end et jours fériés, le trafic est plus faible et plus constant tout au long de la journée avec 24 rames par heure entre 8h et 19h.

⁹ Durant la campagne de mesure, le mercredi 11 novembre 2009 était un jour férié : trafic de Rer identique à un week-end.

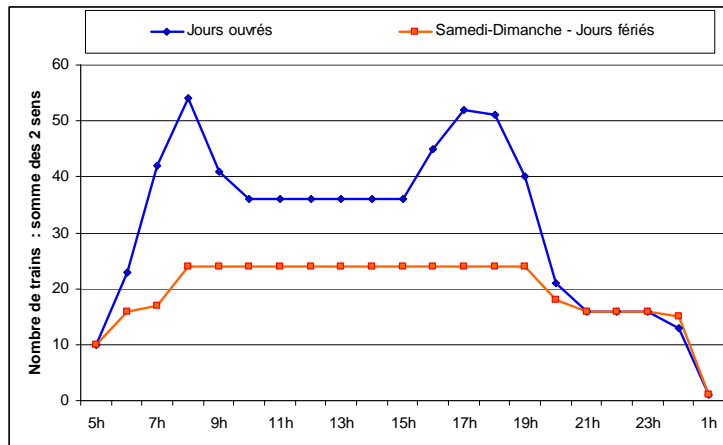


Figure 8 : Nombre de trains théorique circulant toutes les heures dans les deux sens à la gare RER Auber (Source : d'après Ratp).

II. Conditions météorologiques

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

Les différents commentaires météorologiques reposent sur les données Météo-France de la station synoptique de Paris Montsouris située dans le 14^{ème} arrondissement.

La Figure 9 illustre pour l'ensemble de la campagne de mesure la fréquence des régimes de vent (direction et vitesse) 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), en jaune les régimes de vents dispersifs (vitesses de vent supérieures à 4 m/s).

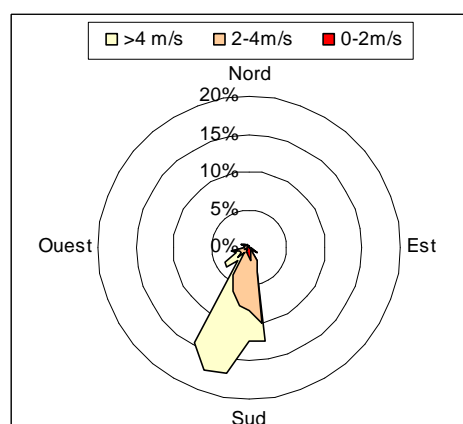


Figure 9 : Fréquence (en %) des vents observés à la station Météo-France de Paris Montsouris (14^{ème}) en fonction de leur secteur et leur vitesse lors de la campagne de mesure du 10 novembre au 08 décembre 2009 (Source : d'après Météo-France).

Les quatre semaines de mesure sont caractérisées par une nette prédominance (plus des trois-quarts du temps) de vents de secteur Sud-Sud-Ouest. 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 temps¹⁰, d'où une sur-représentation des régimes de « Sud » durant cette campagne au détriment des vents de « Nord ».

Concernant les vitesses de vent, avec une moyenne de 3.9 m/s, les conditions dispersives ont été plutôt favorables au brassage de l'atmosphère. Ces conditions de vent ont été plus favorables à la dispersion des polluants par rapport à un historique de cinq ans sur la même période (3.2 m/s entre 2004 et 2008). Les vitesses de vent les moins dispersives (< 4m/s) ont été observées pour les régimes de vent de Sud et les plus favorables au brassage de l'air enregistrées lors des vents de Sud-Ouest.

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 vent mais également d'autres paramètres comme des variations thermiques suivant l'altitude ainsi que la température minimale de la journée. Cet indicateur de la stabilité atmosphérique varie généralement de -5 à 5. Plus il est fort, plus les phénomènes de stabilité et d'accumulation sont forts et donc la dispersion des polluants est faible. Cet indicateur (Cf. Figure 10) reflète des conditions météorologiques très dispersives (indicateurs journaliers négatifs) rencontrées lors de la campagne de mesure. Par rapport au cinq dernières années les classes de stabilité négative, reflétant de bonnes conditions dispersives, sont surreprésentées sur la période de la campagne. En effet on observe 45 % du temps avec une classe de stabilité inférieure à -2 contre seulement 22 % sur l'historique des cinq dernières années.

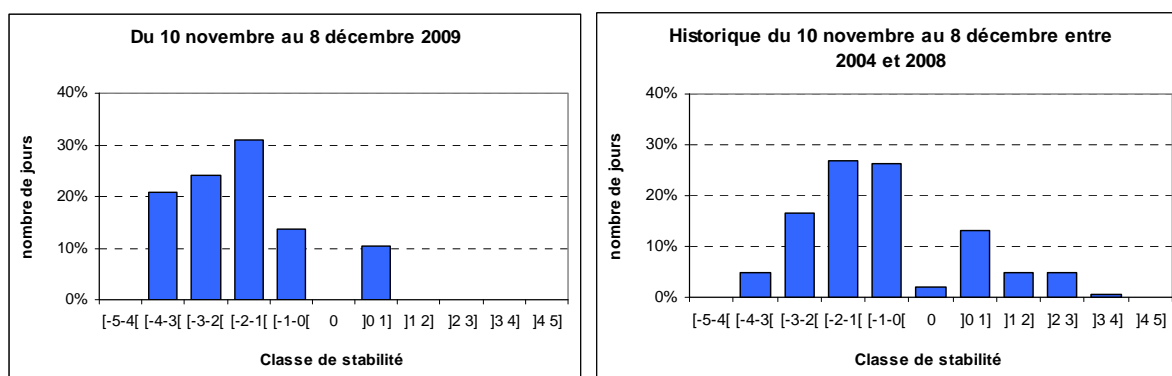


Figure 10 : Fréquence (en nombre de jours pour la campagne de mesure et en % pour l'historique) des indices de dispersion selon différentes classes.

De ce fait, l'indice ATMO relevé lors de la campagne de mesure (Cf. Figure 11) fait apparaître une « bonne » qualité de l'air dans l'agglomération parisienne (indice de 1 à 4) durant 90 % du temps. Plus précisément, celui-ci était qualifié de « très bon » (1 à 2) durant 14 % du temps, soit 4 jours, et de « bon » (indice de 3 à 4) pendant 75 % du temps.

Lors de 3 journées, (une durant la première série et 2 lors de la seconde), la qualité de l'air était qualifiée de « moyen » avec un indice de 5 dû aux teneurs de particules PM10 mesurées dans l'air.

¹⁰ Source Météo-France – année 2006-2007.

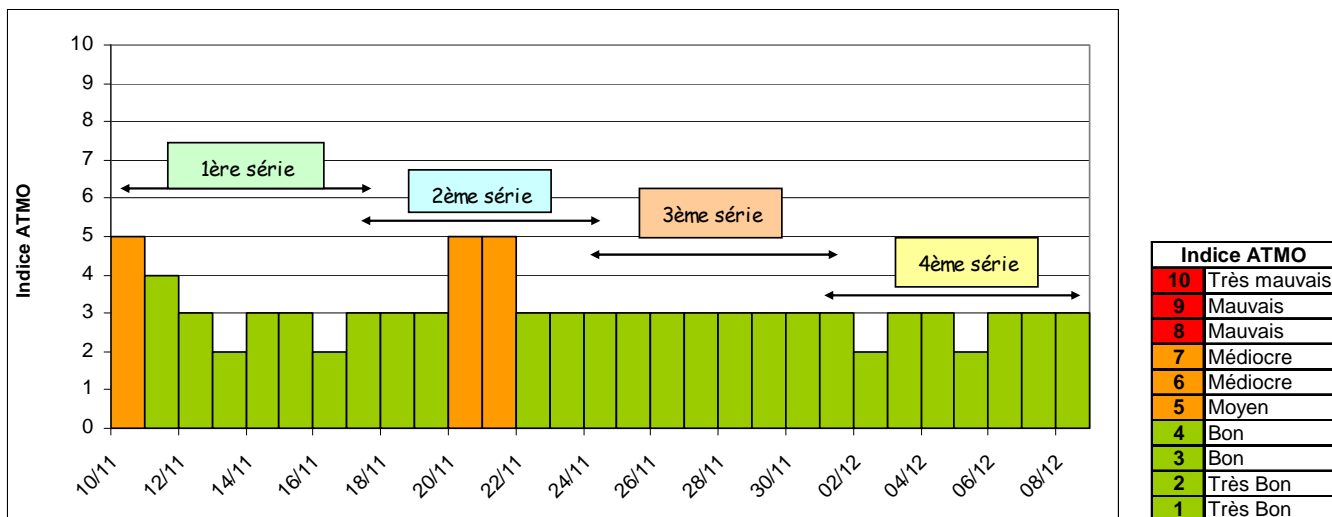


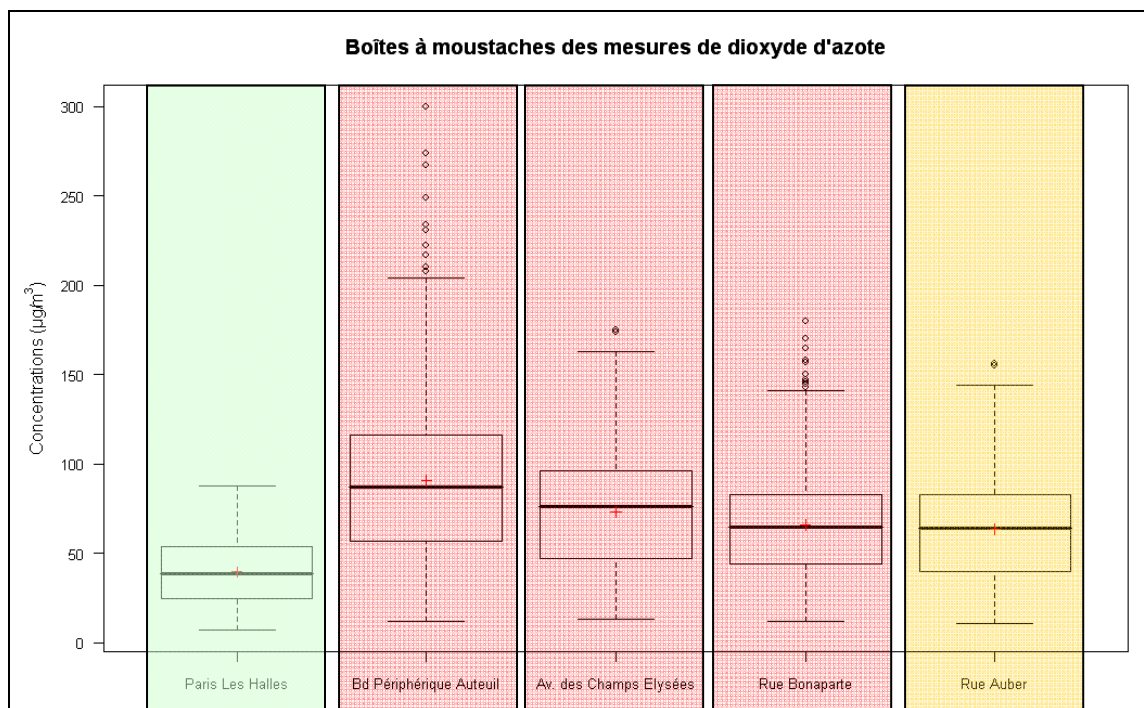
Figure 11 : Evolution de l'indice ATMO au cours de la campagne de mesure du 10 novembre au 08 décembre 2009.

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.

III. Evaluation des concentrations extérieures au cours de la campagne de mesure

La qualité de l'air extérieur rencontrée pendant la campagne de mesure peut être caractérisée par les stations permanentes du réseau fixe d'Airparif situées à proximité de la zone d'étude ou de typologie identique. Les deux sites extérieurs implantés lors de la campagne sont à proximité des rues Auber et des Mathurins.

Certains éléments statistiques (médiane, moyenne, min/max, percentile 75...) présentés sous la forme d'une « boîte à moustaches », également appelée « box plot » (Cf. présentation de cet outil en Annexe 1) permettent d'étudier les données mesurées sur chaque site pour les différents polluants.



Statistiques en dioxyde d'azote - NO ₂	Paris les Halles	Bd. Périph. Auteuil	Av. des Champs Elysées	Rue Bonaparte	Rue Auber
Minimum (horaire)	7	12	13	12	11
P25 (percentile 25)	25	57	47	44	40
Médiane	39	87	76	65	64
Moyenne	40	91	73	66	64
P75 (percentile 75)	54	116	96	83	83
Maximum (horaire)	88	300	175	180	156
Nb de données manquantes (en heures)	46	45	45	53	91

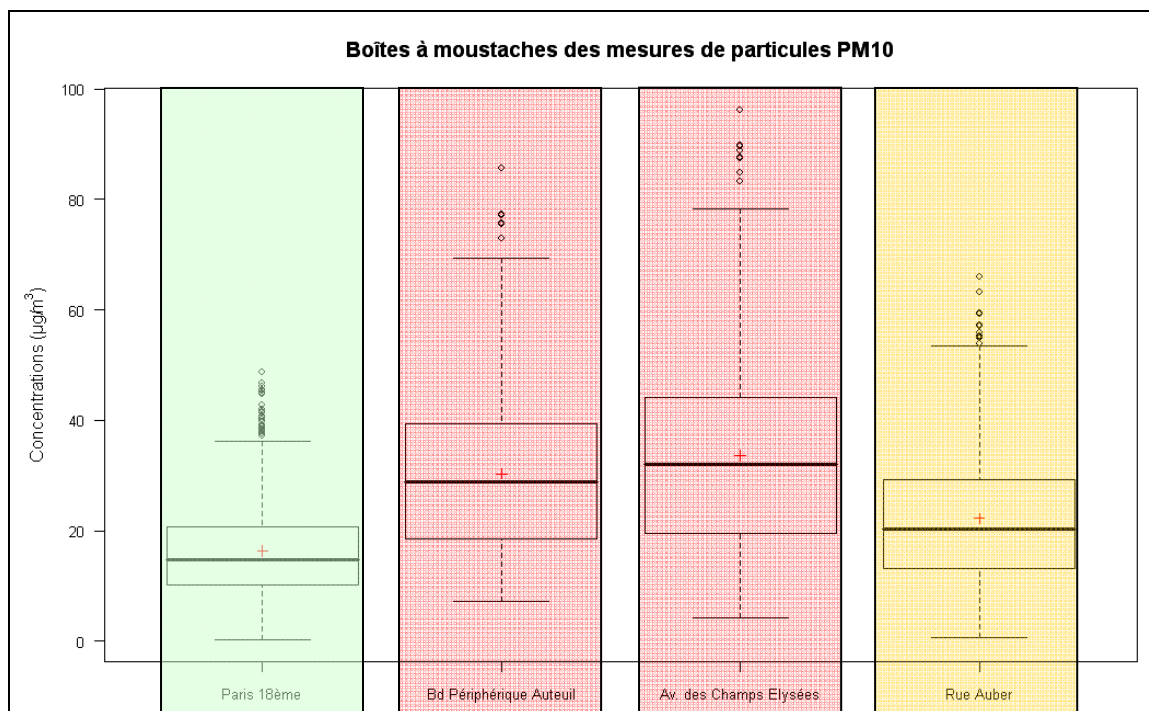
- Station temporaire de typologie « trafic » implantée Rue Auber à proximité de l'accès de la gare du même nom.
- Station du réseau fixe d'Airparif de typologie « trafic ».
- Station du réseau fixe d'Airparif implantée en situation dite de « fond ».

Figure 12 : Statistiques et boîtes à moustaches des mesures automatiques extérieures de NO₂ à la fois sur le site temporaire de la Rue Auber et sur un échantillon de stations fixes du réseau de mesure d'Airparif lors de la campagne de mesure du 10 novembre au 08 décembre 2009.

Comme illustré à la Figure 12, en situation dite de « fond¹¹ », les concentrations en **dioxyde d'azote** (NO₂) mesurées à la station de Paris Les-Halles sont de 40 µg/m³ en moyenne sur la période de mesure. A proximité du trafic routier, les niveaux moyens enregistrés sont compris entre 66 µg/m³ Rue Bonaparte et 91 µg/m³ sur le Boulevard Périphérique à hauteur de la porte d'Auteuil, en passant par 73 µg/m³ Avenue des Champs Elysées. Le site implanté durant quatre semaines à la fois à proximité de la Rue Auber et de l'accès principal de la gare de RER présente un niveau moyen comparable à la station fixe de la Rue Bonaparte avec une teneur moyenne de NO₂ de 64 µg/m³.

Un site de mesure instrumenté d'un tube à diffusion a également permis la mesure du dioxyde d'azote à proximité de l'accès de la gare de RER de la rue des Mathurins. Cet axe secondaire à sens unique présente un trafic beaucoup plus faible que celui de la Rue Auber. De ce fait, la teneur moyenne de NO₂ enregistrée durant la campagne est 30 % plus faible (concentration de 45 µg/m³), soit légèrement plus élevée que le niveau de fond enregistré dans le cœur dense de la Capitale. Bien que la rue des Mathurins soit une rue de type « canyon » du fait à la fois de l'étroitesse de la rue et de la hauteur des immeubles, ce qui entraîne une faible dispersion des polluants, la faible densité du trafic routier sur cet axe n'engendre qu'un impact limité.

¹¹ Mesures par les stations suffisamment éloignées de toute source directe de pollution.



Statistiques Particules PM10	Paris 18ème	Bd. Périph. Auteuil	Av. des Champs Elysées	Rue Auber
Minimum (horaire)	0	7	4	1
P25 (percentile 25)	10	19	20	13
Médiane	15	29	32	20
Moyenne	16	30	34	22
P75 (percentile 75)	21	39	44	29
Maximum (horaire)	49	86	96	66
Nb de données manquantes (en heures)	37	72	44	34

- Station temporaire de typologie « trafic » implantée Rue Auber à proximité de l'accès de la gare du même nom.
- Station du réseau fixe d'Airparif de typologie « trafic ».
- Station du réseau fixe d'Airparif implantée en situation dite de « fond ».

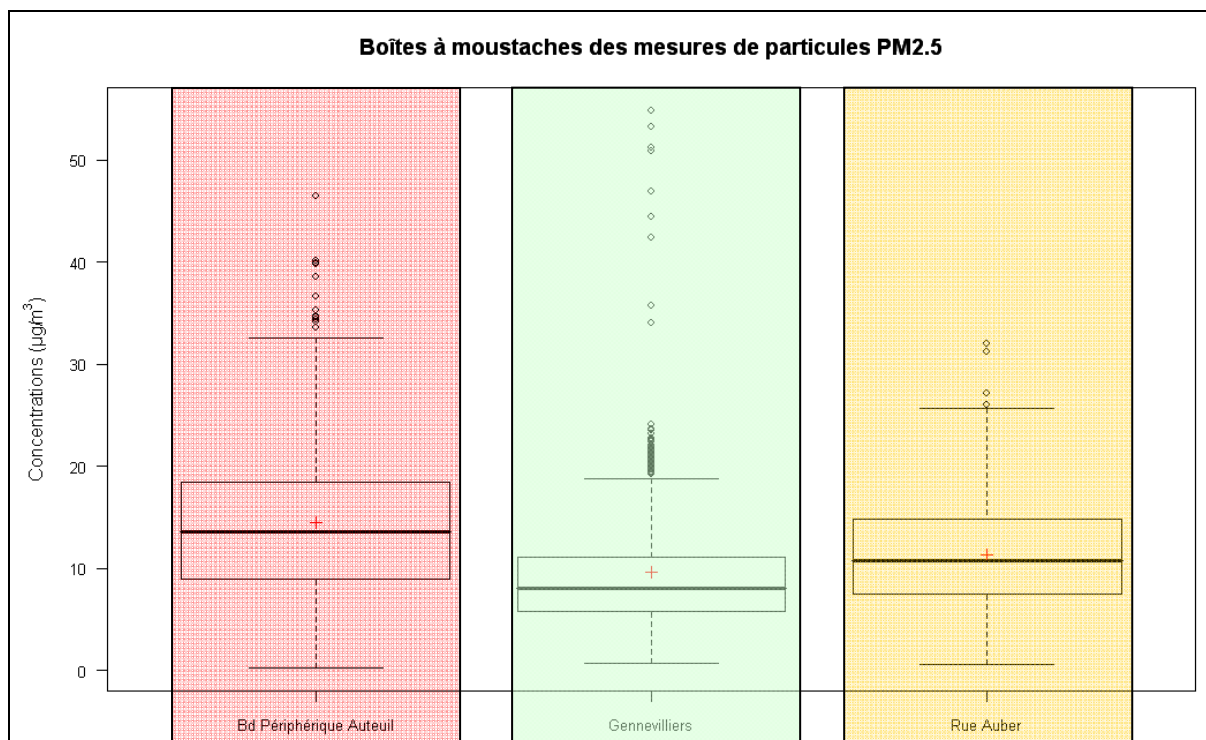
Figure 13 : Statistiques et boîtes à moustaches des mesures automatiques extérieures de PM10 à la fois sur le site temporaire de la Rue Auber et sur un échantillon de stations fixes du réseau de mesure d'Airparif lors de la campagne de mesure du 10 novembre au 08 décembre 2009.

Concernant les **particules PM10** (Cf. Figure 13), les mesures réalisées par TEOM (analyseur utilisé dans le cadre de cette étude) présentent des teneurs de 16 µg/m³ à la station de Paris 18^{ème} ¹² implantée en situation de fond, contre des niveaux de 29 à 32 µg/m³ à proximité du trafic routier (respectivement Bd Périphérique Porte d'Auteuil et Avenue des Champs Elysées). Ainsi, le niveau moyen de PM10 enregistré à proximité de la Rue Auber (22 µg/m³) est borné par les stations de proximité au trafic routier du réseau fixe d'Airparif (borne supérieure) et la station de fond (borne inférieure) qui caractérise l'ambiance générale de PM10 de Paris.

Pour les **particules fines PM2.5** (Cf. Figure 14), les concentrations en situation de fond mesurées par TEOM à la station de Gennevilliers¹³ pendant la campagne de mesure sont de 10 µg/m³, contre 14 µg/m³ à proximité du trafic routier à hauteur de la Porte d'Auteuil sur le Boulevard Périphérique. A proximité de la Rue Auber, la teneur moyenne de PM2.5 mesurée durant le mois de campagne est de 11 µg/m³, soit légèrement plus qu'en situation de fond.

¹² Paris 18^{ème} : 7 rue Ferdinand Flocon.

¹³ Station la plus proche mesurant les PM2.5 par méthode TEOM : 60, rue Richelieu 92230 Gennevilliers.



Statistiques en Particules PM2.5	Bd. Périph. Auteuil	Gennevilliers	Rue Auber
Minimum (horaire)	0	1	1
P25 (percentile 25)	9	6	8
Médiane	14	8	11
Moyenne	14	10	11
P75 (percentile 75)	18	11	15
Maximum (horaire)	47	55	32
Nb de données manquantes (en heures)	60	39	110

- Station temporaire de typologie « trafic » implantée Rue Auber à proximité de l'accès de la gare du même nom.
- Station du réseau fixe d'Airparif de typologie « trafic ».
- Station du réseau fixe d'Airparif implantée en situation dite de « fond ».

Figure 14 : Statistiques et boîtes à moustaches des mesures automatiques extérieures de PM2.5 à la fois sur le site temporaire de la Rue Auber et sur un échantillon de stations fixes du réseau de mesure d'Airparif lors de la campagne de mesure du 10 novembre au 08 décembre 2009.

Le **formaldéhyde** a également été mesuré à l'extérieur, même si ce polluant est plutôt caractéristique de l'air intérieur, afin de pouvoir le comparer aux teneurs relevées dans la gare de RER. Un site de mesure a été instrumenté pour la mesure de ce polluant à proximité de la Rue Auber. Le niveau moyen enregistré au cours de la campagne est de 2.5 µg/m³, soit un niveau très faible caractéristique de ce que l'on mesure en air ambiant extérieur.

Les niveaux de pollution mesurés au droit des axes routiers situés à proximité des accès de la gare RER Auber sont très différents. On retrouve ainsi les teneurs les plus élevées rue Auber, axe dont les niveaux de dioxyde d'azote sont comparables à ce que l'on peut mesurer à la station permanente du réseau située rue Bonaparte dont le trafic routier annuel est supérieur à 10 000 véhicules par jour¹⁴. L'accès situé rue des Mathurins présente un niveau moyen de NO₂ légèrement supérieur à ce que l'on peut mesurer en situation de fond compte tenu du faible trafic sur cet axe à sens unique.

Les niveaux moyens de particules rue Auber sont inférieurs à ceux enregistrés sur les stations trafic du réseau Airparif, avec -25 % et -20 % respectivement pour les PM10 et PM2.5, par

¹⁴ Source : Direction de la voirie et des déplacements – Mairie de Paris- Année 2006.

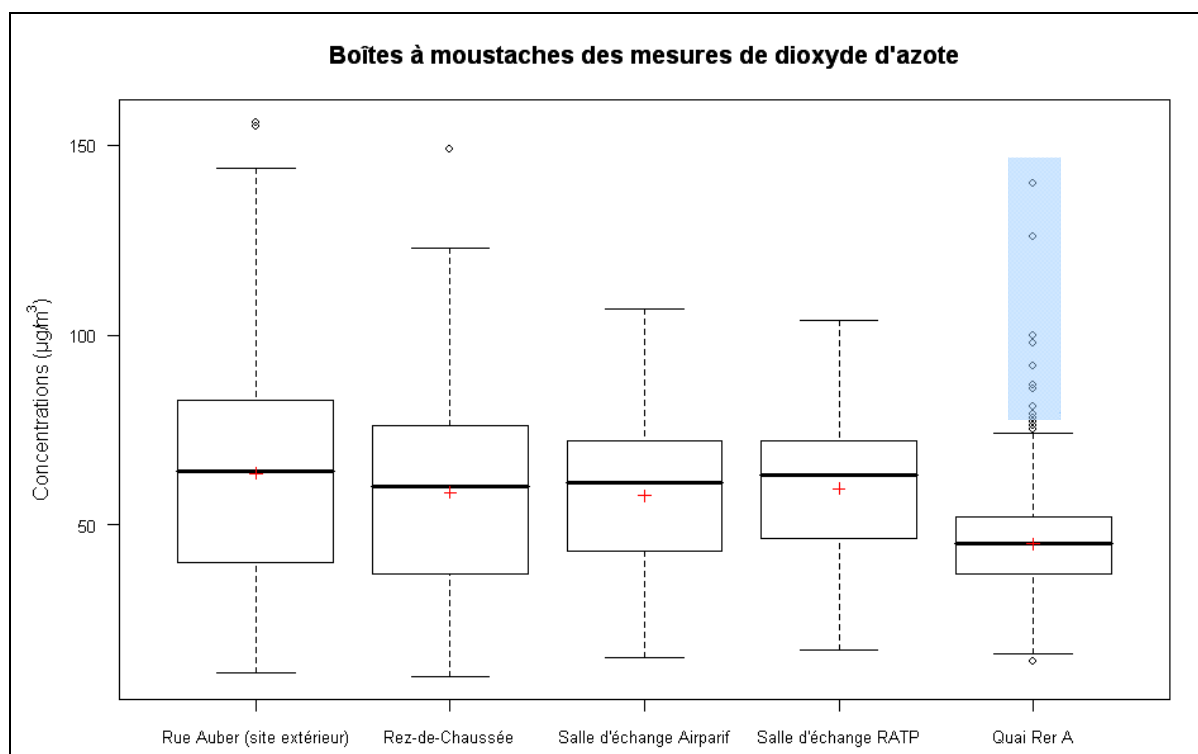
rapport à ceux mesurés sur le Boulevard Périphérique à hauteur de la Porte d'Auteuil compte tenu notamment d'un flux de véhicules journalier beaucoup plus faible.

IV Etat de la qualité de l'air dans l'enceinte de la gare AUBER

Les moyens de mesure automatiques et les tubes à diffusion passive mis en œuvre de manière simultanée au cours de la campagne de mesure permettent de caractériser les teneurs de pollution au sein de la gare d'Auber selon les différents environnements (quai, salle d'échange, rez-de-chaussée).

IV.1 Des teneurs de dioxyde d'azote plus élevées à proximité du trafic routier

La Figure 15 présente les éléments statistiques pour le **dioxyde d'azote** sous forme de « boîtes à moustaches » pour les différents sites de **mesure automatique** implantés au sein de la gare de RER d'AUBER. Les mesures en air extérieur à hauteur de la Rue Auber et de l'accès de la gare RER sont également illustrées afin de les comparer aux teneurs mesurées dans l'enceinte souterraine.



Statistiques en dioxyde d'azote - NO2	Rue Auber	Rez-de-Chaussée	Salle d'échange Airparif	Salle d'échange Ratp	Quai Rer A
Minimum (horaire)	11	10	15	17	14
P25 (percentile 25)	40	37	43	47	37
Médiane	64	60	61	63	45
Moyenne	64	59	58	60	45
P75 (percentile 75)	83	76	72	72	52
Maximum (horaire)	156	149	107	104	140
Nb de données manquantes (en heures)	91	35	16	1	3

Figure 15 : Statistiques et boîtes à moustaches des mesures de NO₂ au sein de la gare Rer et à proximité de la Rue Auber lors de la campagne du 10 novembre au 08 décembre 2009.

Le niveau moyen de dioxyde d'azote est le plus élevé à proximité du trafic routier (64 µg/m³) de la rue Auber pour ensuite diminuer à l'intérieur de l'enceinte de la gare de RER. On retrouve au rez-de-chaussée, une baisse de près de 10 % du niveau moyen de NO₂ avec 59 µg/m³. Le niveau moyen de NO₂ est comparable au sein de la salle d'échange avec respectivement 58 µg/m³ et 60 µg/m³ sur les deux sites automatiques instrumentés par Airparif

et la Ratp. Sachant qu'il n'y a pas d'émissions d'oxydes d'azote au sein de la gare de RER, les teneurs de NO₂ enregistrés résultent de l'influence des émissions dans l'air ambiant extérieur et notamment celle du trafic routier des axes proches des aérations de la gare.

La concentration moyenne de NO₂ la plus faible est mesurée sur le quai du RER avec un niveau de 45 µg/m³, soit une teneur moyenne inférieure de 30 % et de 22 à 25 % par rapport respectivement à celles enregistrées à proximité de la rue Auber et dans la salle d'échange. Il est à noter que les plus fortes concentrations horaires de dioxyde d'azote enregistrées lors de la campagne sur le quai du RER A (zone en bleue de la Figure 15), ont été mesurées durant le passage de locomotives diesel dans le cadre d'interventions de maintenance. Celles-ci se déroulent durant la nuit lors de la fermeture de la gare au public, soit entre 1h et 5h du matin.

La Figure 16 illustre, sous la forme d'un nuage de points, la corrélation des données horaires entre la station temporaire située à proximité de la Rue Auber et le site temporaire de la salle d'échange (site Airparif) de la gare RER (a) et entre les stations de la Rue Auber et le quai du RER A (b).

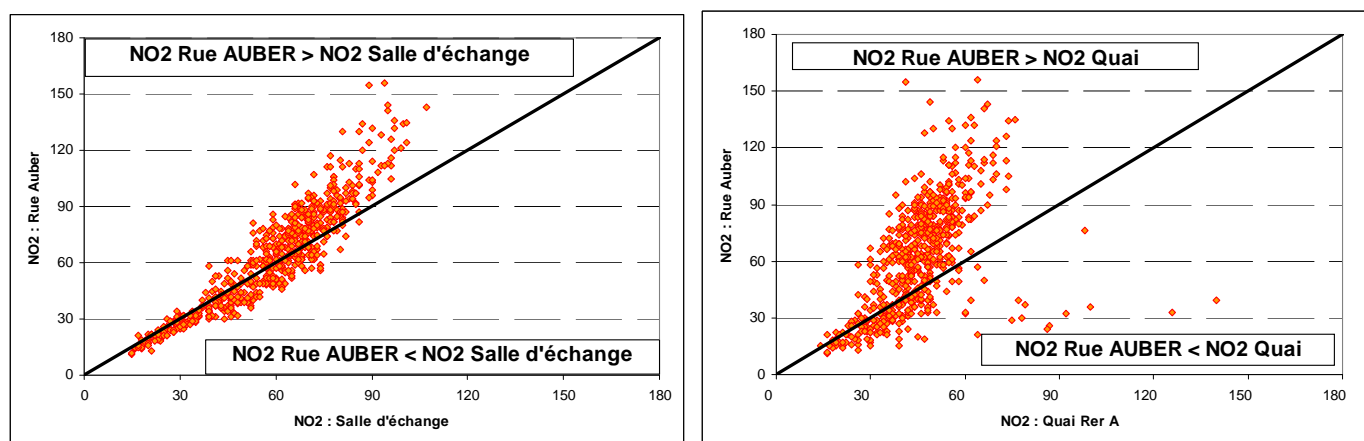


Figure 16 : Corrélation en NO₂ entre la station temporaire située à proximité de la Rue Auber et le site temporaire de la salle d'échange (site Airparif) de la gare RER.

Les concentrations de dioxyde d'azote les plus fortes dans la salle d'échange et dans une moindre mesure sur le quai du RER A (hormis passage des locomotives diesel lors des maintenances nocturnes¹⁵) sont observées lorsque les concentrations extérieures de dioxyde d'azote de la rue Auber sont les plus importantes. Cela démontre l'influence de la qualité de l'air extérieur sur celle enregistrée à l'intérieur de la gare de RER. Néanmoins, les teneurs horaires de NO₂ mesurées dans la salle d'échange et sur le quai sont atténuées par rapport à ce qui est enregistré à proximité du trafic routier de la rue Auber. Cette atténuation des niveaux de NO₂ par rapport à l'air extérieur est plus importante sur le quai qui est moins proche de la surface que la salle d'échange qu'au niveau de la salle d'échange.

En période nocturne, correspondant aux niveaux horaires les plus faibles, les teneurs de NO₂ relevées au sein de la gare RER sont supérieures à ce que l'on observe à proximité de la Rue Auber. Le confinement de l'air dans la gare, entraînant une baisse plus lente des teneurs de NO₂, lors de la fermeture peut expliquer cette différence avec ce que l'on observe à l'extérieur en air ambiant.

Les profils journaliers moyens mesurés durant la campagne (Cf. Figure 17) confirment ce constat avec des teneurs de NO₂ sur le quai et dans la salle d'échange supérieures entre 1h et 5h. Le reste de la journée, les profils journaliers présentent une dynamique « bimodale »,

¹⁵ Les maintenances sur le quai avec le passage de locomotive diesel lors de la fermeture de la station entraînent des teneurs de NO₂ supérieures à ce que l'on mesure à proximité de la rue Auber sur la même période.

avec une évolution selon deux maxima, avec des niveaux les plus importants le matin et en fin d'après-midi. Ce comportement des concentrations de NO₂ au cours de la journée est essentiellement lié aux pointes de trafic routier du matin et du soir correspondant principalement aux déplacements pendulaires « domicile-travail ».

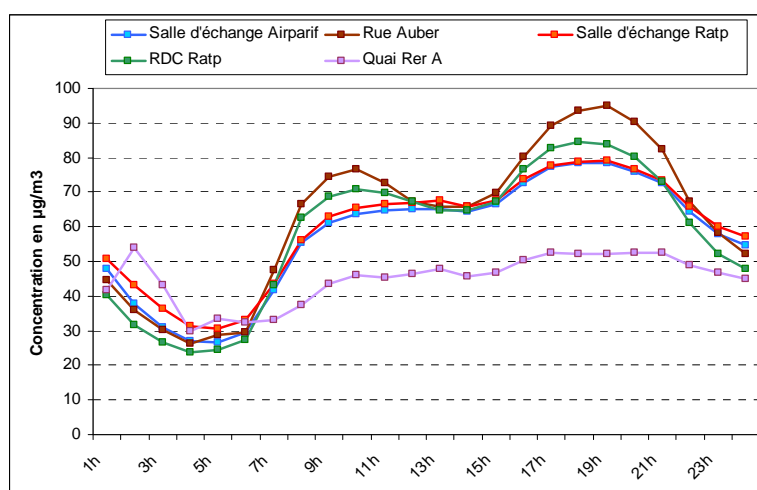


Figure 17 : Profils journaliers en NO₂ relevés sur les sites automatiques de la gare Rer d'Auber et à proximité du trafic routier de la rue Auber lors de la campagne de mesure du 10 novembre au 08 décembre 2009.

A l'intérieur de la gare de RER le profil journalier est le même que celui mesuré à proximité de la rue Auber avec une dynamique atténuée. Sur le quai de RER ce profil est encore moins marqué, ce qui dénote une influence moins importante tout au long de la journée de l'extérieur par rapport à ce qui est mesuré au sein de la salle d'échange et au rez-de-chaussée. On retrouve l'influence des maintenances réalisées la nuit entre 2h et 3h avec des teneurs de NO₂ supérieures à ce que l'on observe dans le reste de la gare et à l'extérieur à proximité du trafic routier de la rue Auber.

Des tests statistiques afin de comparer les données moyennes et la variabilité des données des polluants mesurés durant la campagne permettent de consolider les commentaires quant à leur différence.

Deux tests paramétriques sont utilisés, d'une part celui de Fischer, permettant de valider l'équivalence des variances, c'est-à-dire la variabilité des données, et d'autre part celui de Student qui permet de tester l'égalité des moyennes, lorsque l'égalité des variances n'est pas rejetée (i.e l'homoscédasticité est vérifiée). Un intervalle de confiance à 95 % de la différence entre les moyennes considérées peut alors être estimé.

Dans le cas où l'égalité des variances est rejetée, le test non paramétrique de Wilcoxon est utilisé pour l'égalité des moyennes.

Au préalable, l'hypothèse de Normalité (requis pour l'application des tests paramétriques) a été vérifiée pour l'ensemble des données.

Des informations complémentaires sur les méthodes de calcul de ces tests sont présentées à l'Annexe 3.

La Figure 18 présente les résultats des tests d'égalité des moyennes ce qui permet de comparer statistiquement les niveaux moyens de dioxyde d'azote de chaque site entre eux.

La teneur moyenne de dioxyde d'azote mesuré à proximité du trafic routier de la rue Auber est statistiquement plus importante que celles mesurées à l'intérieur de la gare Rer, quelque soit l'étage (quai, salle d'échange, rez-de-chaussée). L'influence directe du trafic routier de la rue Auber engendre à la fois des niveaux plus importants et une variabilité des teneurs plus dynamique.

A l'inverse, sur le quai la concentration moyenne de NO₂ est la plus faible. La variabilité des teneurs y est également différente avec des concentrations plus homogènes (50 % des données sont comprises entre 37 et 52 µg/m³).

		Y				
MOYENNES		Rue Auber	Salle d'échange Airparif	Salle d'échange RATP	RDC	Quai
X	Rue Auber		Supérieur	Supérieur	Supérieur	Supérieur
	Salle d'échange Airparif			=	=	Supérieur
	Salle d'échange RATP				=	Supérieur
	RDC					Supérieur
	Quai					

Supérieur	X > Y
Inférieur	X < Y
=	Aucune différence significative

Figure 18 : Tableau des résultats de tests d'égalité des moyennes concernant le dioxyde d'azote – NO₂ (test de Student si l'homoscédasticité est vérifiée ou test de Wilcoxon dans le cas contraire).

Si statistiquement les niveaux moyens de NO₂ sont similaires dans la salle d'échange et au rez-de-chaussée, cela est différent concernant la variabilité des données mesurées. En effet, seuls les sites de mesure de la salle d'échange présentent une dynamique des teneurs similaires. Au rez-de-chaussée, les concentrations de NO₂ sont plus dynamiques compte tenu de la situation plus proche du trafic routier de la rue Auber. A l'inverse, au sein de la salle d'échange, les teneurs sont plus homogènes et moins soumises à l'impact direct des émissions du trafic routier du fait du confinement.

Parallèlement aux mesures horaires réalisées à l'aide des moyens automatiques, 27 sites ont été instrumentés de **tubes à diffusion** permettant d'obtenir une concentration moyenne hebdomadaire de dioxyde d'azote.

Ce grand nombre de sites, implantés aux différents étages de la gare de RER, permet de caractériser spatialement les variations de concentrations.

La Figure 19 illustre, selon les différentes zones de la gare de RER d'Auber, les concentrations moyennes de dioxyde d'azote relevées sur l'ensemble des sites de mesure durant la campagne.

Deux sites ont été équipés afin de mesurer l'air ambiant extérieur à proximité du trafic routier de la Rue Auber et de la Rue des Mathurins. Compte tenu des différences de densité du trafic sur ces deux axes, les teneurs de NO₂ sont 30 % plus faibles sur la Rue des Mathurins (une voie à sens unique) qu'à proximité de la Rue Auber avec respectivement 45 µg/m³ et 64 µg/m³.

Une fois à l'intérieur de la gare RER, les teneurs de NO₂ relevées au rez-de-chaussée sont plus faibles qu'à proximité de la Rue Auber avec une baisse de 8 à 16 %. La teneur moyenne de NO₂ au plus près de l'accès de la Rue des Mathurins est plus faible (54 µg/m³) que celle relevée à proximité de l'accès de la Rue Auber (59 µg/m³). Cette baisse est due à la fois à l'éloignement plus important de ce site par rapport à la rue Auber et à la proximité de la rue des Mathurins, dont la teneur est plus faible.

La halle de la salle d'échange est composée de deux niveaux, appelés ici « niveau mezzanine » et « niveau salle d'échange ». Les niveaux de NO₂ sont compris entre 48 µg/m³ et 72 µg/m³ en moyenne sur la campagne. Néanmoins, malgré quelques sites dont les niveaux sont très hétérogènes, les teneurs de dioxyde d'azote sur l'ensemble de la salle d'échange sont relativement homogènes.

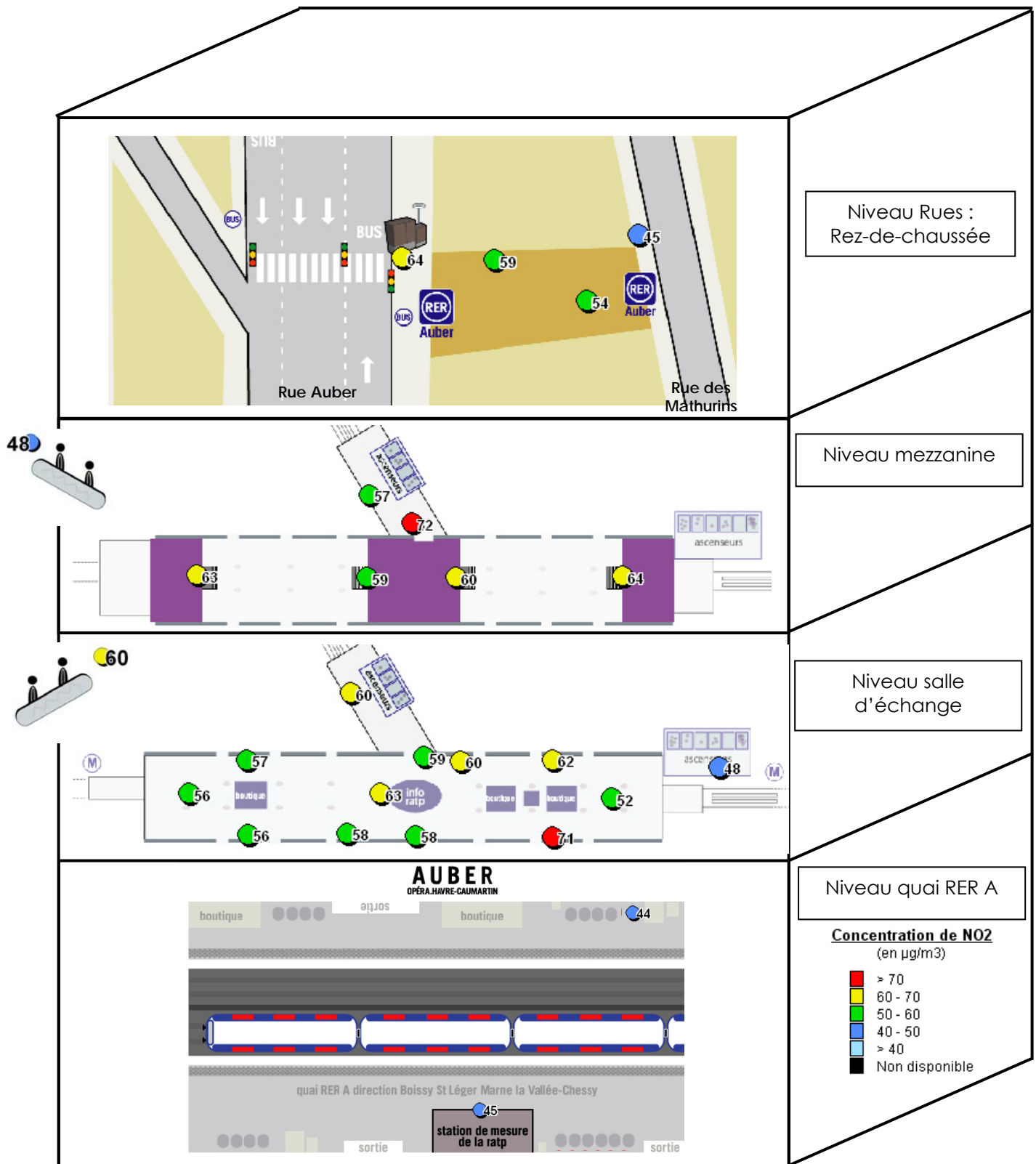


Figure 19 : Teneurs moyennes en dioxyde d'azote relevées lors de la campagne entre le 10 novembre et le 8 décembre 2009 sur l'ensemble des sites instrumentés de tubes à diffusion.

Les deux sites de mesure instrumentés aux extrémités de la mezzanine présentent des teneurs supérieures ($63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $64 \mu\text{g}/\text{m}^3$) à ceux de la salle d'échange placés à l'aplomb sous la mezzanine ($52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Ces mesures au niveau de la mezzanine sont comparables à ce qui est enregistré à proximité de la rue Auber. Ainsi, le renouvellement de l'air de la gare peut entraîner des teneurs de NO_2 dans la halle de la salle d'échange

similaires à ce que l'on retrouve en air extérieur à proximité du trafic routier (transfert air extérieur vers l'air intérieur de la gare).

Les différentes aérations de la gare peuvent entraîner des concentrations au sein de la gare ponctuellement plus élevées ou au contraire plus faibles que celles globalement mesurées. Ainsi, deux sites présentent des teneurs moyennes de dioxyde d'azote supérieures à $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$, avec au niveau mezzanine $72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ au niveau de la salle d'échange. Ces niveaux ne sont mesurés que très localement puisqu'en s'éloignant de quelques mètres, les concentrations relevées diminuent pour atteindre le niveau moyen de ce qui est mesuré au sein de la halle de la salle d'échange.

Les niveaux moyens de NO_2 enregistrés sur les quais du RER sont similaires avec $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur le quai en direction de « Boissy-Saint-Léger - Marne-la-Vallée » et $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en direction de « Saint-Germain-en-Laye - Poissy - Cergy ». Les concentrations de dioxyde d'azote mesurées sur les quais sont ainsi les plus faibles de la gare RER. Néanmoins, ces teneurs de NO_2 sont comparables à ce qui est mesuré à proximité de la rue des Mathurins, axe routier à sens unique à faible trafic.

L'ensemble des données de dioxyde d'azote par série de mesure est disponible en Annexe 4.

Globalement, au sein de la salle d'échange et au rez-de-chaussée la gare RER les teneurs de dioxyde d'azote sont légèrement plus faibles que celles mesurées à proximité immédiate du trafic routier de la rue Auber. Seuls les niveaux enregistrés sur les quais du RER sont largement inférieurs. Cependant, par rapport à ce qui est mesuré en situation de fond au cœur de Paris, le niveau moyen de NO_2 sur les quais est supérieur durant la campagne d'environ 15 %, sachant que l'air mesuré, qui est issu de l'extérieur, est impacté par les émissions du trafic routier des axes environnants de la gare RER.

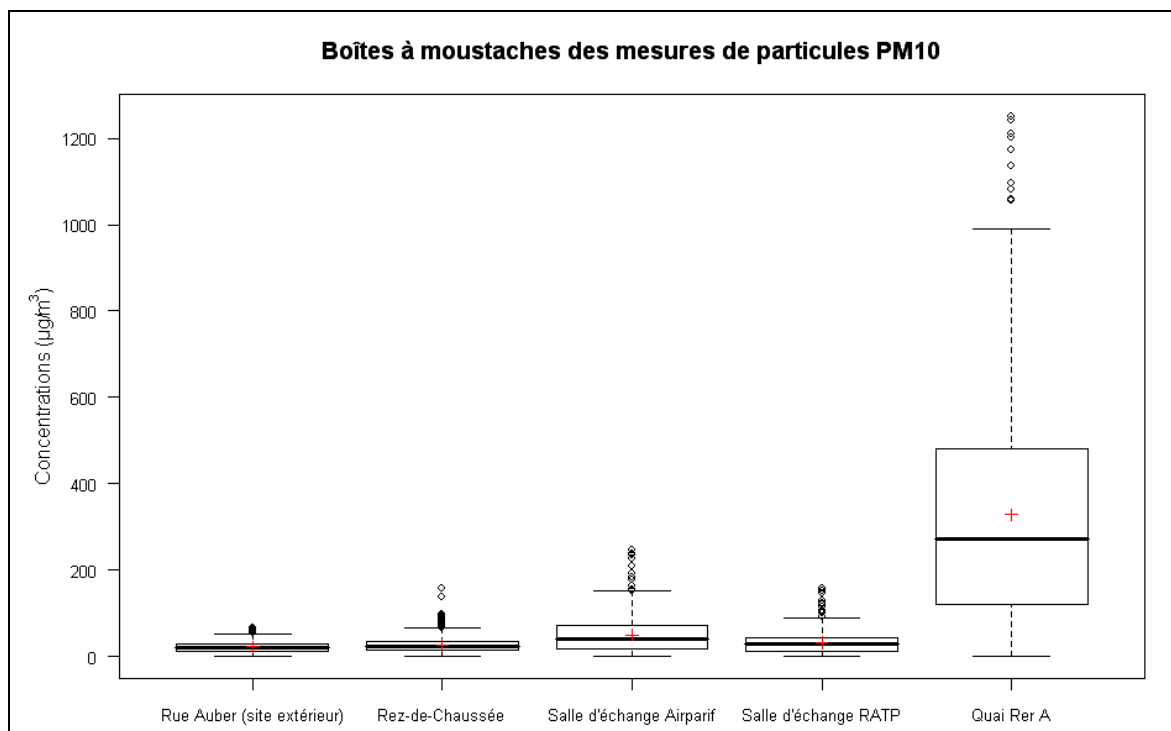
IV.2 Des niveaux importants de particules sur le quai du RER

Concernant les mesures de **particules PM10**, la Figure 20 présente les éléments statistiques sous la forme de « boîtes à moustaches » des mesures réalisées au sein de la gare RER d'Auber et à proximité de la rue Auber.

Contrairement aux teneurs de dioxyde d'azote, les concentrations de particules les plus élevées sont mesurées sur le quai du RER avec une moyenne de PM10 sur la campagne de $329 \mu\text{g}/\text{m}^3$. De plus, 75 % des données de PM10 présentent des teneurs supérieures à $122 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alors qu'aux différents étages de la gare ce niveau n'a pas été atteint plus de 5 % du temps.

En remontant dans les étages de la gare, les teneurs de PM10 diminuent pour atteindre dans la salle d'échange des concentrations comprises entre 32 et $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur la campagne et $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ au rez-de-chaussée.

A l'extérieur, à proximité du trafic routier de la rue Auber, la concentration moyenne est encore inférieure de 20 % par rapport au rez-de-chaussée avec $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mesuré en moyenne sur les 4 semaines.



Statistiques Particules PM10	Rue Auber	Rez-de-Chaussée	Salle d'échange Airparif	Salle d'échange Ratp	Quai Rer A
Minimum (horaire)	1	0	0	0	0
P25 (percentile 25)	13	14	19	13	122
Médiane	20	24	41	28	272
Moyenne	22	27	50	32	329
P75 (percentile 75)	29	35	73	44	481
Maximum (horaire)	66	158	256	157	1251
Nb de données manquantes (en heures)	34	45	17	2	18

Figure 20 : Statistiques et boîtes à moustaches des mesures de PM10 au sein de la gare RER et à proximité de la Rue Auber lors de la campagne du 10 novembre au 08 décembre 2009.

Les tests statistiques des égalités des moyennes effectués (Cf. Figure 21) permettent de comparer statistiquement les niveaux moyens de particules PM10 de chaque site entre eux. La hiérarchie des niveaux moyens de PM10 est statistiquement établie avec des teneurs de plus en plus importantes au fur et à mesure que l'on se rapproche du quai du RER. Au sein de la salle d'échange, les niveaux de PM10 ne sont pas homogènes sur les deux sites de mesure avec sur le site instrumenté par Airparif des teneurs plus élevées.

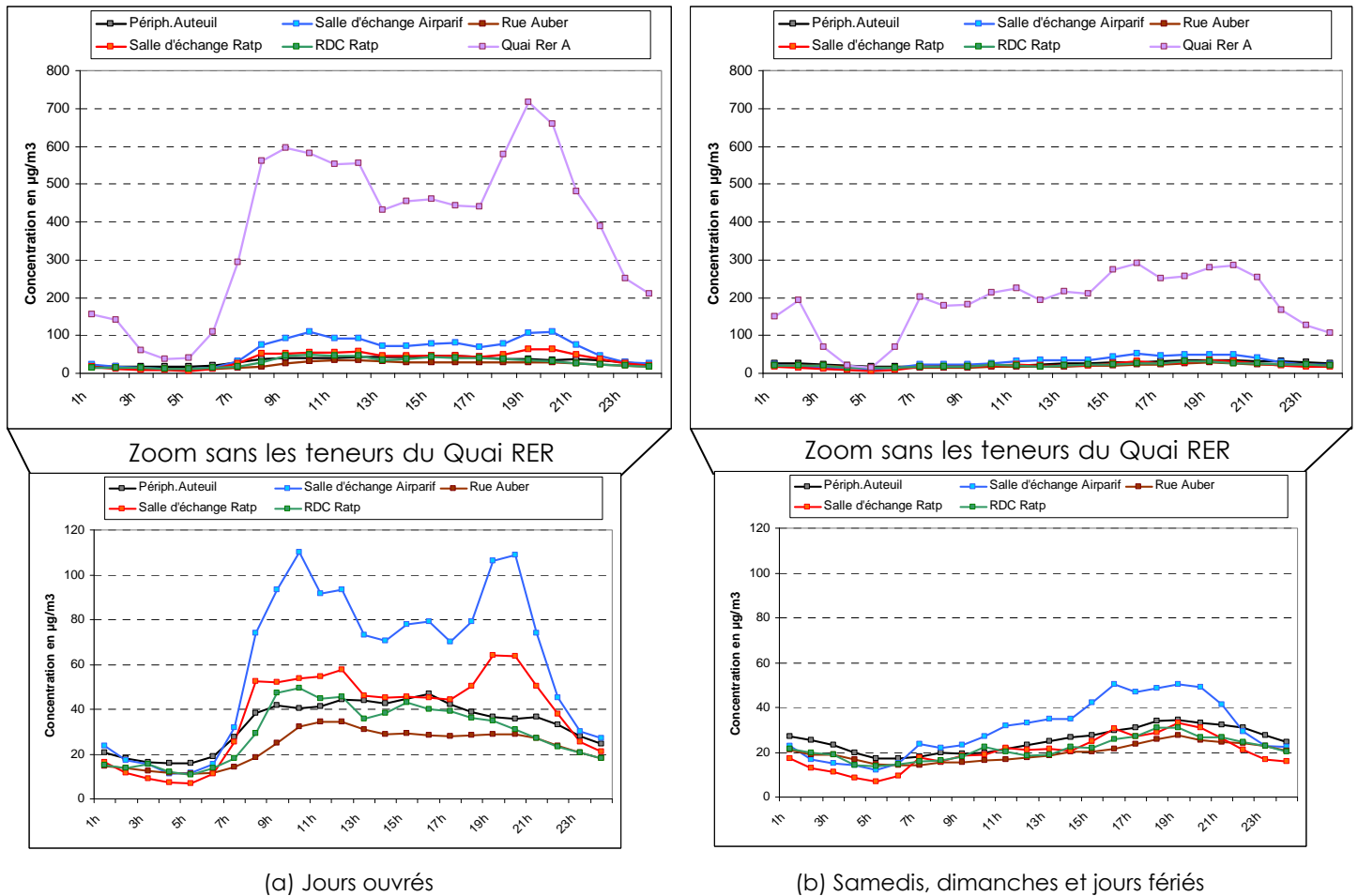
		Y				
MOYENNES		Rue Auber	Salle d'échange Airparif	Salle d'échange RATP	RDC	Quai
X	Rue Auber		Inférieur	Inférieur	Inférieur	Inférieur
	Salle d'échange Airparif			Supérieur	Supérieur	Inférieur
	Salle d'échange RATP				Supérieur	Inférieur
	RDC					Inférieur
	Quai					

Supérieur	X > Y
Inférieur	X < Y
=	Aucune différence significative

Figure 21 : Tableau des résultats de tests d'égalité des moyennes concernant les particules PM10 (test de Student si l'homoscédasticité est vérifiée sinon test de Wilcoxon).

Le maximum horaire atteint sur le quai, mesuré lors de la période de pointe de trafic de RER du soir, est de 1 251 µg/m³. Au même instant, les teneurs de PM10 au sein de la salle d'échange étaient comprises entre 100 et 194 µg/m³, alors qu'au rez-de-chaussée la concentration mesurée était de 29 µg/m³ et à proximité du trafic routier de la rue Auber de

25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Le nombre de rames de RER circulant au cours d'une journée ouvrée est le plus important aux heures de pointe du matin et du soir. Ce profil journalier du trafic de RER se répercute sur les niveaux de PM10 mesurés au cours de la journée comme cela est illustré à la Figure 22 (a). On observe ainsi le matin et le soir les teneurs de PM10 les plus fortes avec un maximum sur le quai du RER de plus de 700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à 19h. Le week-end et jours fériés, le profil journalier est différent (b) avec des concentrations de PM10 plus homogènes et plus faibles (compris entre 200 et 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) comparables au profil journalier du trafic de RER durant cette période.



(a) Jours ouvrés (b) Samedis, dimanches et jours fériés

Figure 22 : Profils journaliers en PM10 relevés lors de la campagne de mesure du 10 novembre au 08 décembre 2009 lors des jours ouvrés (a) et des samedis, dimanches et jours fériés (b).

Sur les autres sites temporaires de l'enceinte de la gare Auber, les profils journaliers présentent la même allure avec l'influence des périodes de pointe du trafic de RER les jours ouvrés. Dans la salle d'échange, les concentrations de PM10 les plus fortes sont également mesurées le matin (10h) et le soir (19h à 20h) avec des teneurs supérieures à 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur le site instrumenté par Airparif. Par rapport à ce qui est mesuré au même moment sur le quai, les concentrations sont inférieures de 80 % à 85 %. L'influence du trafic de RER sur les niveaux de PM10 relevés au sein de la salle d'échange est ainsi beaucoup plus faible que sur le quai mais entraîne tout de même des teneurs nettement supérieures à ce qui est mesuré à l'extérieur au droit de la rue Auber. A proximité du trafic routier de cet axe, les niveaux horaires les plus forts sont mesurés le matin avec environ 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10.

L'impact du trafic RER engendre des niveaux de PM10 importants sur le quai mais influence également les concentrations de ce polluant dans la salle d'échange. Comme cela est illustré à la Figure 23, la corrélation entre les teneurs de PM10 mesurées sur le quai et celles

enregistrées dans la salle d'échange est forte. Ainsi, plus les teneurs de PM10 sur le quai du RER sont élevées et plus celles mesurées dans la salle d'échange le sont également.

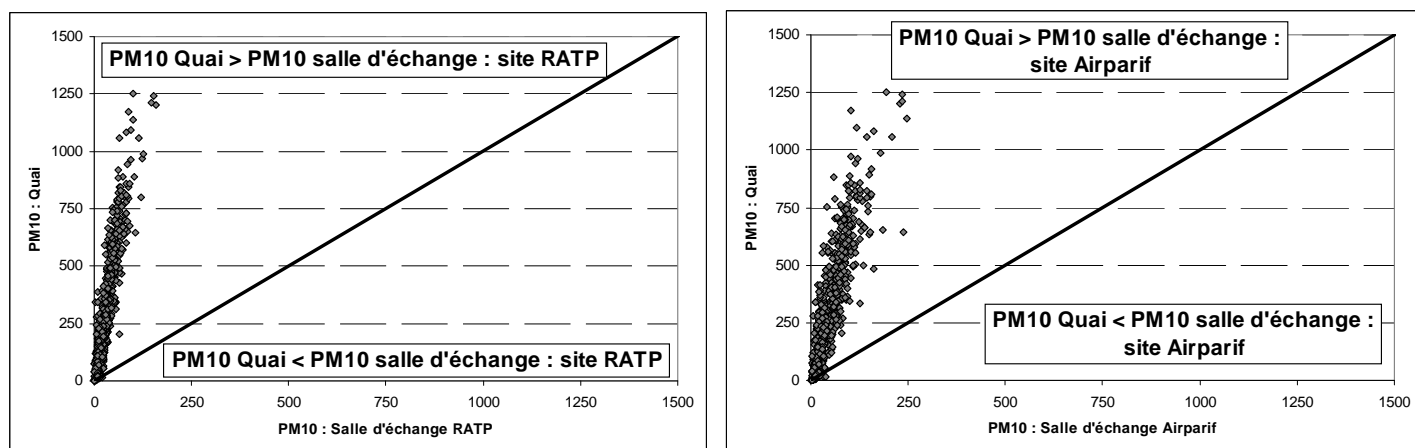


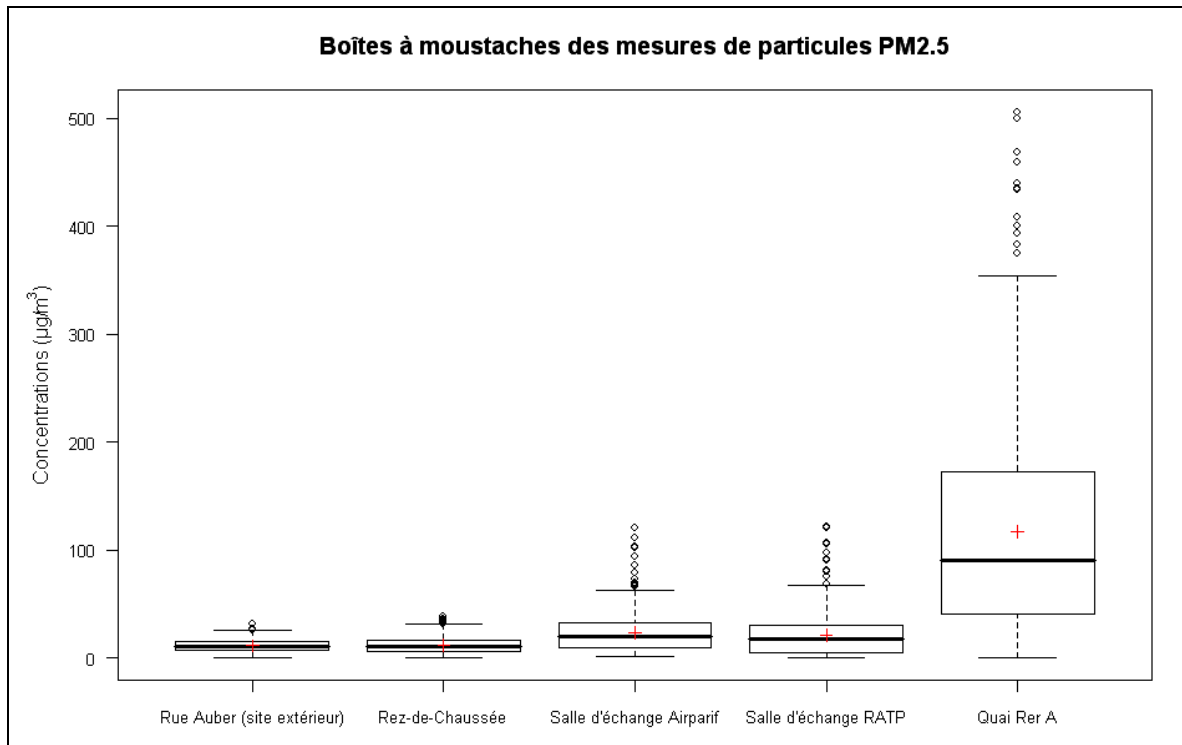
Figure 23 : Corrélation entre les stations temporaires situées au sein de la salle d'échange et la station installée sur le quai du Rer.

Les tests paramétriques utilisés afin de valider l'équivalence des variances montrent également que la variabilité des données est différente sur les deux sites implantés dans la salle d'échange. Les flux aérauliques entre le quai et la salle d'échange peuvent être différents entre ces deux sites ce qui peut expliquer cette différence à la fois des niveaux et de la dynamique des teneurs de PM10 dans la salle d'échange. Le site instrumenté par Airparif peut être influencé par une autre source que celle du trafic du RER, contrairement au site de la Ratp où la corrélation avec les teneurs mesurées sur le quai est plus importante.

Les niveaux moyens de **particules PM2.5** mesurés à différents étages de la gare de RER d'Auber et à proximité du trafic routier de la rue du même nom présentent la même hiérarchie que celle établie pour les PM10 (Cf. Figure 24).

Les teneurs les plus élevées sont mesurées sur le quai du RER avec une moyenne sur la campagne de 117 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Une baisse d'environ 80 % est ensuite constatée dans la salle d'échange avec des teneurs moyennes de PM2.5 compris entre 21 et 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Cette diminution continue en se rapprochant de l'extérieur de la gare avec une baisse supplémentaire de 50 % du niveau moyen de PM2.5 mesuré au rez-de-chaussée. A proximité du trafic routier de la rue Auber, le niveau moyen de PM2.5 est comparable à celui mesuré au rez-de-chaussée de la gare RER avec respectivement 11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ relevés lors de la campagne.

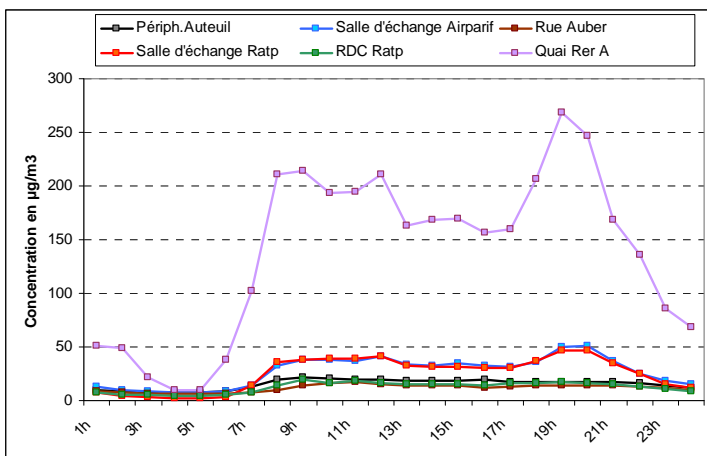
Les teneurs horaires de PM2.5 enregistrées sur le quai sont supérieures à 41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durant les trois-quarts du temps alors que ce niveau n'est dépassé que durant 15 % du temps au sein de la salle d'échange. Au rez-de-chaussée et à proximité du trafic routier, le maximum horaire atteint durant la campagne est respectivement de 38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



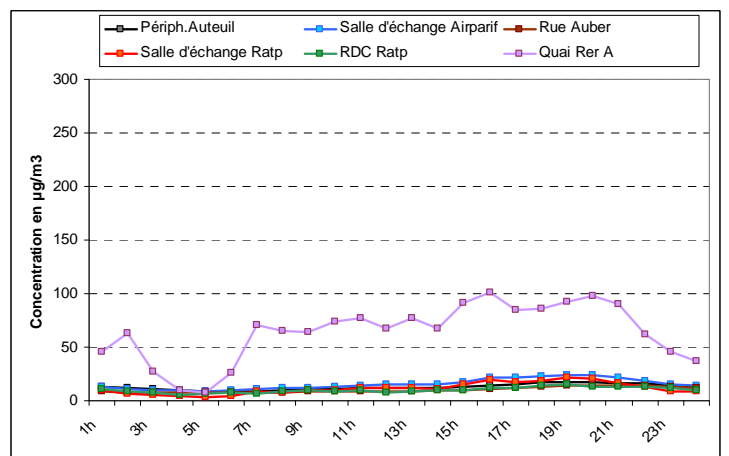
Statistiques Particules PM2.5	Rue Auber	Rez-de-Chaussée	Salle d'échange Airparif	Salle d'échange Ratp	Quai Rer A
Minimum (horaire)	1	0	1	0	0
P25 (percentile 25)	8	6	10	5	41
Médiane	11	11	20	18	91
Moyenne	11	12	24	21	117
P75 (percentile 75)	15	16	32	30	173
Maximum (horaire)	32	38	121	122	506
Nb de données manquantes (en heures)	110	108	22	3	18

Figure 24 : Statistiques et boîtes à moustaches des mesures de PM2.5 au sein de la gare RER et à proximité de la Rue Auber lors de la campagne du 10 novembre au 08 décembre 2009.

Tout comme pour les PM10, lors des heures de pointe de trafic de RER du matin et du soir des jours ouvrés (Cf. Figure 25 - a), les teneurs de particules PM2.5 sont les plus importantes sur le quai. C'est durant la pointe du soir que les teneurs de PM2.5 sont les plus fortes avec près de 270 µg/m³ à 19h. Le week-end et les jours fériés, les niveaux de PM2.5 sont plus stables et plus faibles (maximum à 100 µg/m³ à 16h), en relation avec le trafic des RER présentant le même profil.



(a) Jours ouvrés



(b) Samedis, dimanches et jours fériés

Figure 25 : Profils journaliers en PM2.5 relevés lors de la campagne de mesure du 10 novembre au 08 décembre 2009 lors des jours ouvrés (a) et des samedis, dimanches et jours fériés (b).

Les tests d'égalité des moyennes des teneurs de particules PM2.5 sont identiques à ceux réalisés pour les PM10 (même hiérarchie) hormis pour les sites de la rue Auber et du rez-de-chaussée de la gare où contrairement aux PM10, les niveaux moyens sont statistiquement similaires (Cf. Figure 26). Néanmoins, la variabilité des teneurs de PM2.5 entre ces deux sites est différente. Les teneurs au rez-de-chaussée sont plus dynamiques avec des concentrations plus faibles la nuit et durant la journée des niveaux plus élevés qu'à proximité de la rue Auber.

		Y				
MOYENNES		Rue Auber	Salle d'échange Airparif	Salle d'échange RATP	RDC	Quai
X	Rue Auber		Inférieur	Inférieur	=	Inférieur
	Salle d'échange Airparif			Supérieur	Supérieur	Inférieur
	Salle d'échange RATP				Supérieur	Inférieur
	RDC					Inférieur
	Quai					

Supérieur	X > Y
Inférieur	X < Y
=	Aucune différence significative

Figure 26 : Tableau des résultats de tests d'égalité des moyennes concernant les particules PM2.5 (test de Student si l'homoscédasticité est vérifiée sinon test de Wilcoxon).

Les teneurs de particules PM10 et PM2.5 sont les plus importantes sur le quai du RER du fait du système de freinage des rames de RER et de la remise en suspension des poussières du ballast par le passage des rames. Les voyageurs, à travers leurs déplacements, peuvent également entraîner une remise en suspension dans l'air des particules déposées sur les quais. En remontant dans les étages de la gare, les concentrations de particules diminuent pour atteindre une baisse d'un minimum de 80 % pour les PM2.5 et 85 % pour les PM10 au sein de la salle d'échange.

En compléments des niveaux de particules mesurés sur les différents sites, les ratios entre les PM10 et les PM2.5 apportent une information sur la taille prépondérante dans la fraction des PM10.

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

Le pourcentage des PM2.5 dans les PM10 est compris en situation de fond entre 63 % et 70 % en moyenne sur l'année 2009 (prenant en compte la partie volatile des particules). Malgré des émissions plus importantes en PM2.5, le ratio observé sur le site trafic de la Porte d'Auteuil est plus faible (60 %) en raison d'une remise en suspension plus importante des particules les plus grosses. Ces particules remises en suspension sont notamment issues de l'usure des freins et des pneus et de l'abrasion de la route.

La Figure 27 illustre les ratios PM2.5/PM10 relevés durant la campagne de mesure sur les stations de mesure instrumentées au sein de la gare de RER d'Auber et en air extérieur à proximité du trafic routier (Bd Périphérique, rue Auber) et en situation de fond (Gennevilliers).

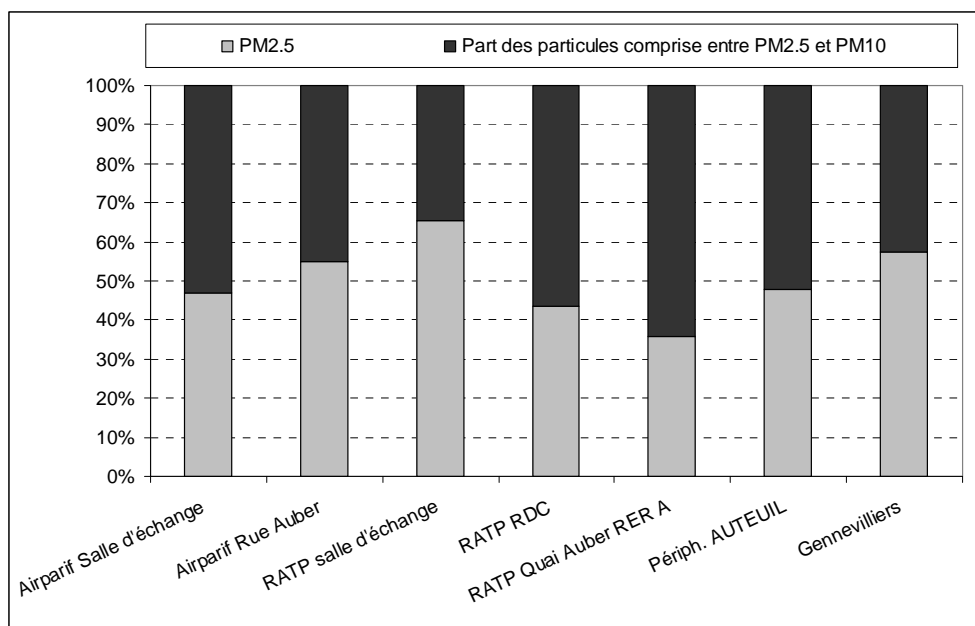


Figure 27 : Ratio PM2.5/PM10 relevé pendant la campagne de mesure sur les sites en air extérieur et en air intérieur.

Les teneurs de particules PM10 mesurées sur le quai du RER sont principalement composées de la fraction grossière (ou « coarse particles »¹⁶), supérieure à 2.5 µm. On retrouve ainsi seulement un peu plus d'un tiers de PM2.5 (36 %) dans la fraction des PM10 ce qui présente une particularité par rapport aux autres sites de mesure. Les émissions de particules liées au trafic des rames de RER sont principalement issues du système de freinage et à la remise en suspension des poussières du ballast. Ces particules émises sont en majorité de « grosses » particules.

En remontant dans les étages de la gare Auber, le ratio PM2.5/PM10 devient plus important mais est différent selon le site instrumenté. En effet, dans la salle d'échange le ratio est de 47 % et 65 % suivant le site de mesure, ce qui indique des sources différentes. Le site présentant le ratio le plus faible peut être influencé de manière plus importante par les teneurs de particules issues du quai du RER. Les systèmes d'aération au sein de la salle d'échange peuvent engendrer des différences de ratio entre les particules les plus fines et les plus « grosses » provenant du quai du RER.

Au niveau du rez-de-chaussée, la fraction « coarse » est, après celle enregistrée sur le quai du RER, la plus importante puisque 56 % des PM10 sont de taille comprise entre 2.5 µm et 10 µm.

Enfin, le ratio PM2.5/10 mesuré à proximité du trafic routier de la rue Auber (55 %) est borné avec ceux observés pendant la campagne en situation de fond de Gennevilliers (borne haute : 58 %) et à proximité du trafic routier du Boulevard Périphérique (borne basse : 48 %). La configuration particulière du site temporaire, placé à proximité du couloir de bus de la rue Auber, peut entraîner un ratio PM2.5/PM10 différent de ce qui est observé à proximité du trafic du boulevard Périphérique du fait des émissions spécifiques des bus empruntant ce couloir. En effet, plus de 80 % des bus de la Ratp sont équipés de filtres à particules ce qui peut engendrer une modification du ratio PM2.5/PM10 par rapport à ce qui peut être mesuré à proximité d'un axe routier dépourvu d'un couloir de bus.

Le ratio PM10/PM2.5 le plus faible (36 %) est mesuré sur le quai du RER A, autrement dit la fraction grossière comprise entre 2.5 µm et 10 µm représente les deux-tiers des teneurs des concentrations de PM10. Les émissions de particules dues à la fois à la remise en suspension

¹⁶ Les particules de taille comprise entre 2.5 µm et 10 µm sont également appelées « coarse particles ».

par le passage des rames et à l'usure des systèmes de freinage engendre une proportion plus importante de la fraction « coarse », comme ce qui est observé à proximité du trafic routier. Néanmoins, à la différence du trafic routier où les émissions sont également « directes » à l'échappement car issues de la combustion, les rames de RER n'engendrent pas de rejets directs autres que l'usure. L'usure des matériaux de friction et la remise en suspension par les rames, et, à moindre mesure par les voyageurs, des poussières émises est ici une cause importante de la fraction élevée de particules de taille supérieure à 2.5 µm.

IV.3 Des concentrations de formaldéhyde à peine plus élevées qu'en air extérieur

En plus des mesures de polluants indicateurs de la pollution urbaine et des émissions liées au trafic des rames de RER, le **formaldéhyde** a été mesuré. Ce polluant, indicateur de la qualité de l'air intérieur, a été mesuré à la fois à l'intérieur de la gare Auber et à proximité du trafic routier de la rue Auber. Ce dernier permet de relativiser les teneurs de formaldéhyde enregistrées au sein de la gare par rapport à celles de l'extérieur en situation de proximité au trafic routier.

La Figure 28 illustre les teneurs moyennes de formaldéhyde mesurées durant les quatre semaines de campagne sur les différents sites instrumentés de tubes à diffusion.

Le site de mesure implanté à proximité de la rue Auber présente les teneurs de formaldéhyde les plus faibles avec une moyenne sur la campagne de 2.5 µg/m³. Ce polluant ayant pour origine des sources intérieures, les concentrations mesurées à l'extérieur y sont très faibles.

En pénétrant au rez-de-chaussée, les teneurs sont à peine plus élevées avec des teneurs comprises entre 2.6 et 3 µg/m³. Ces mêmes concentrations sont enregistrées aux différents étages des escaliers mécaniques.

Au sein même de la halle de la salle d'échange, les concentrations de formaldéhyde sont légèrement plus élevées mais restent faibles avec des teneurs comprises entre 4 et 4.6 µg/m³ au niveau « mezzanine » et entre 3.3 et 4.6 µg/m³ au niveau des différents commerces. Seul le site instrumenté à proximité des ascenseurs présente un niveau moyen encore plus faible de 2.9 µg/m³. Au centre de la salle d'échange, des teneurs autour du centre d'information de la RATP sont plus faibles avec une moyenne de 3.5 µg/m³ contre 4.3 µg/m³ autour des différents commerces de la salle d'échange.

Sur les quais du RER, les teneurs moyennes sont similaires à ce qui est mesuré dans la salle d'échange avec selon le quai des concentrations de 4.3 et 4.8 µg/m³.

L'ensemble des données de formaldéhyde est présenté par série de mesure à l'Annexe 5.

D'une manière générale, les teneurs de formaldéhyde mesurées au sein de la gare RER sont faibles et légèrement supérieures à celles mesurées à proximité du trafic routier de la rue Auber. Sur les quais, les concentrations sont équivalentes à ce qui est mesuré dans la salle d'échange avec 4.3 et 4.8 µg/m³ suivant le quai. Au rez-de-chaussée, compte tenu des flux d'air importants engendrés par les accès de la rue Auber et de la rue des Mathurins, les concentrations sont également faibles et proches de celles mesurées à l'extérieur.

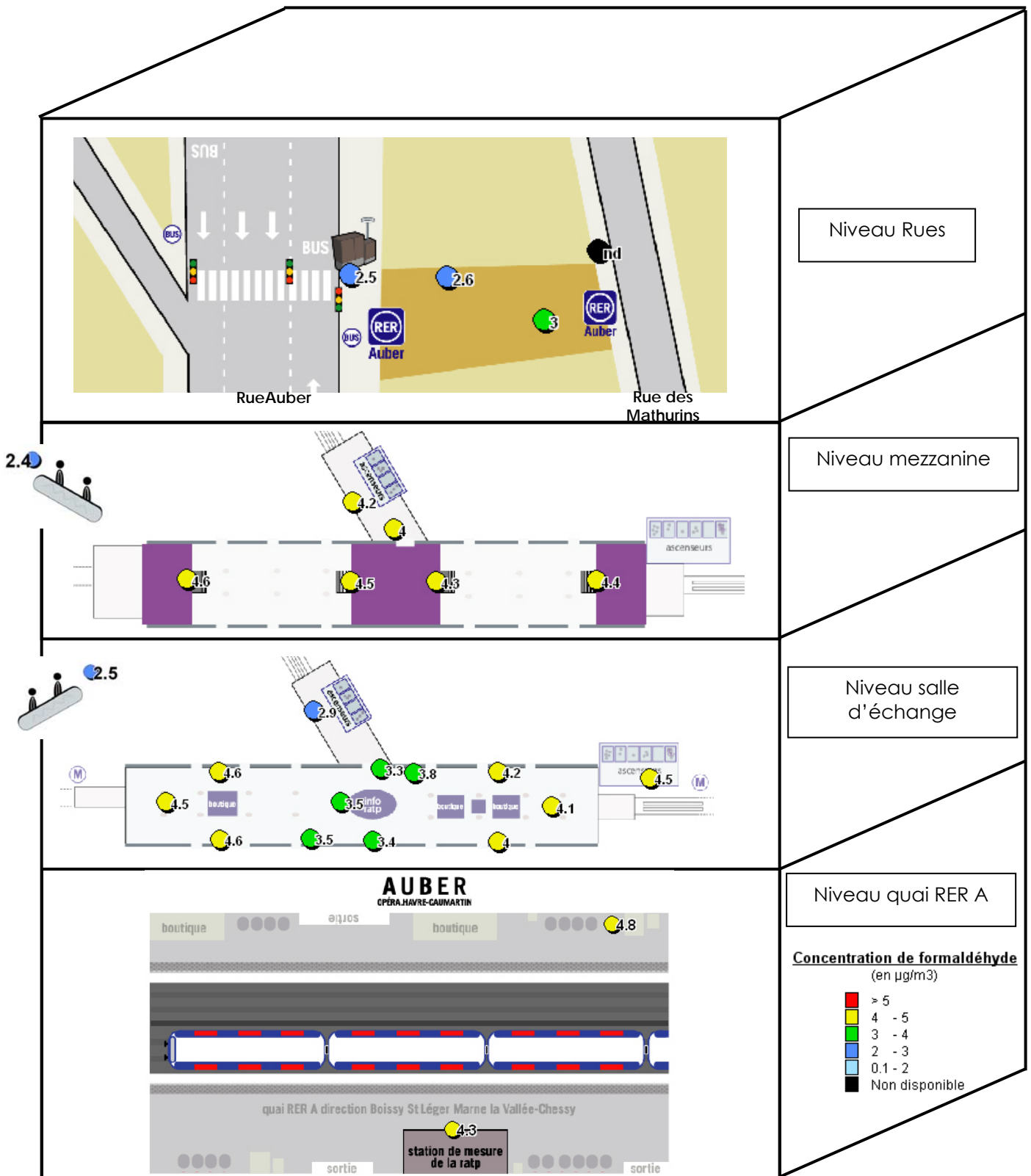
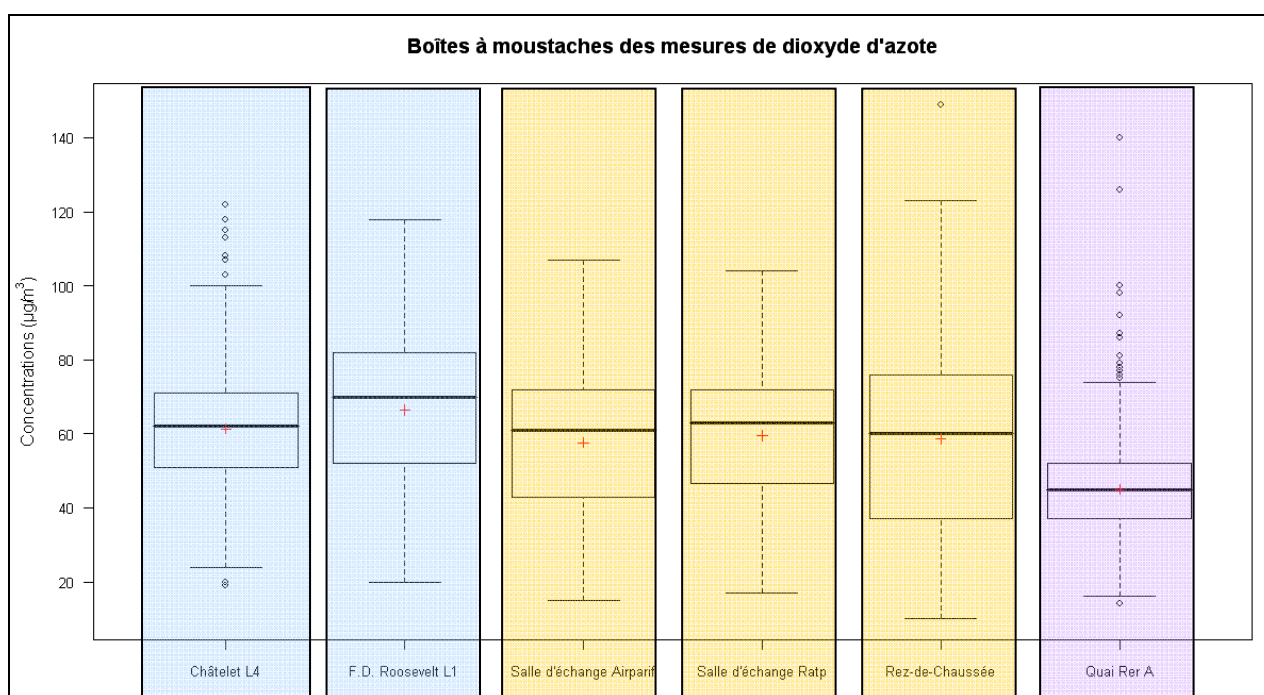


Figure 28 : Teneurs moyennes en formaldéhyde relevées lors de la campagne entre le 10 novembre et le 8 décembre 2009 sur l'ensemble des sites instrumentés de tubes à diffusion.

V. Comparaison des niveaux mesurés sur le réseau « SQUALES »

Le réseau « SQUALES » de la RATP dispose de trois stations de mesure implantées aux stations de métros de la ligne 1 à F.D Roosevelt et de la ligne 4 à Châtelet et à la gare Auber du RER A. Chacune d'elles mesurent le dioxyde d'azote et les particules PM10. Seule la station de la gare RER d'Auber mesure à ce jour les particules plus fines PM2.5.

La Figure 29 illustre les niveaux de dioxyde d'azote sous la forme de « boîtes à moustaches » relevés lors de la campagne aux stations du réseau fixes de la RATP implantées sur les quais des lignes 1 et 4 de métro (station de métro F.D Roosevelt - station de métro de Châtelet) et au sein de l'enceinte de la gare RER d'Auber (quai, rez-de-chaussée, salle d'échange).



- Station du réseau fixe « Squales » de la Ratp installée sur le quai
- Station temporaire mise en œuvre à la gare RER Auber durant la campagne
- Station du réseau fixe « Squales » de la Ratp installée sur le quai et faisant partie des moyens de mesure de la campagne au sein de la gare RER Auber

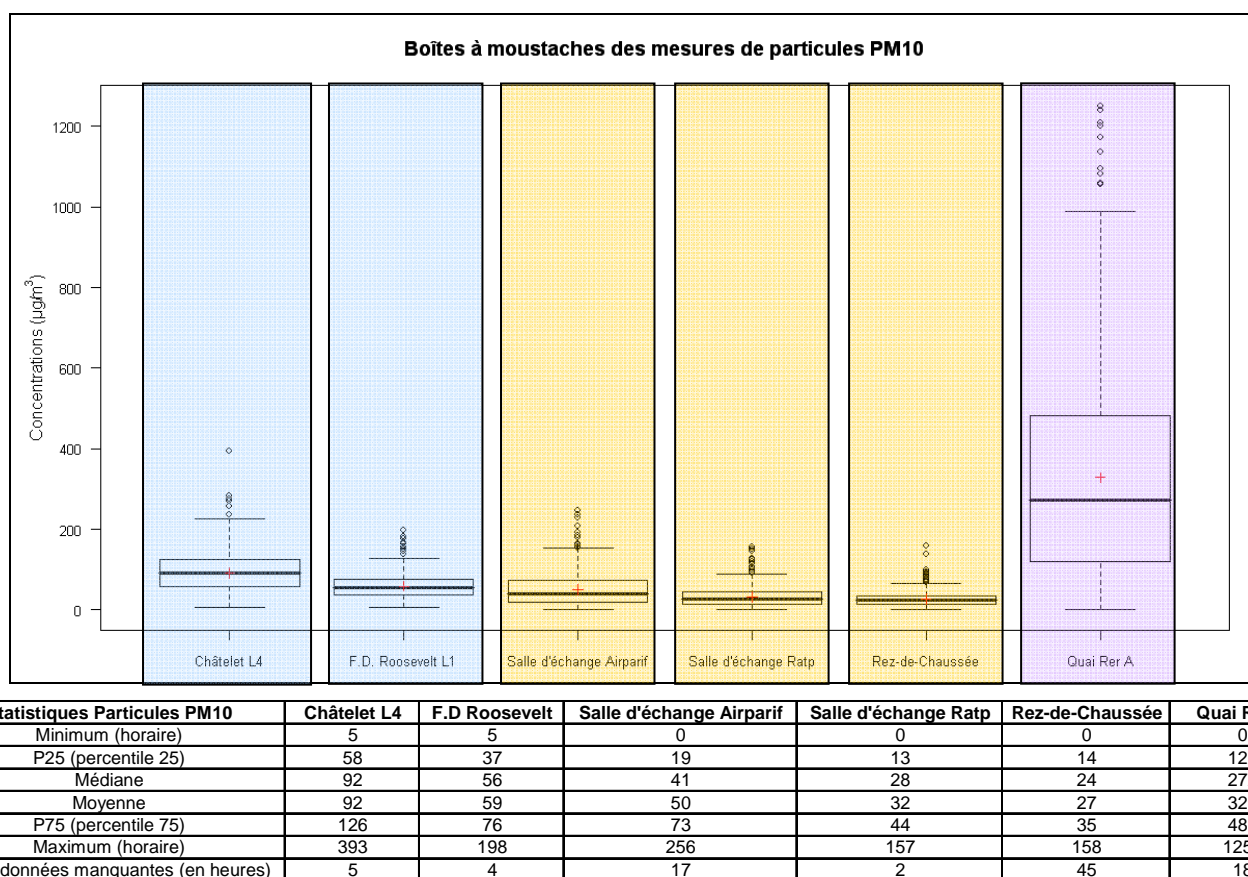
Figure 29 : Boîtes à moustaches des mesures de dioxyde d'azote d'après les mesures sur les quais des stations fixes du réseau « SQUALES » et au sein de la gare RER d'Auber lors de la campagne du 10 novembre au 08 décembre 2009.

La teneur moyenne de dioxyde d'azote enregistrée durant la campagne de mesure sur le quai du RER A à la gare Auber (45 µg/m³) est inférieure à celle mesurée sur les quais de

châtelet (61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) et de F.D Roosevelt (66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Cette hiérarchie entre les stations est similaire à ce que l'on retrouve tout au long de l'année¹⁷.

Les sites automatiques installés temporairement dans la salle d'échange de la gare Auber (entre 58 et 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) présentent des niveaux moyens de NO_2 sur la campagne comparables à ce qui est mesuré sur le quai de la ligne 4 à la station Châtelet. Il en est de même pour les teneurs moyennes de NO_2 enregistrées au rez-de-chaussée de la gare Auber avec 59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Concernant les teneurs de PM_{10} relevées sur les différentes stations du réseau RATP (Cf. Figure 30), les niveaux les plus élevés ont été enregistrés sur le quai du RER A à la gare Auber avec en moyenne sur la campagne de mesure 329 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Sur cette période, les stations de métro présentent des teneurs moyennes plus faibles de 72 % (avec 92 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) et 82 % (avec 59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) respectivement pour les quais de Châtelet et F.D. Roosevelt.



- Station du réseau fixe « Squales » de la Ratp installée sur le quai
- Station temporaire mise en œuvre à la gare RER Auber durant la campagne
- Station du réseau fixe Squales de la Ratp installée sur le quai et faisant parti des moyens de mesure de la campagne au sein de la gare RER Auber

Figure 30 : Boîtes à moustaches des mesures de PM_{10} d'après les mesures sur les quais des stations fixes du réseau « SQUALES » et au sein de la gare RER d'Auber lors de la campagne du 10 novembre au 08 décembre 2009.

¹⁷ Bilan annuel 2009, RATP : http://www.ratp.fr/corpo/air/pdf/bilan_2009.pdf

Au sein de la salle d'échange d'Auber, malgré des teneurs élevés sur le quai de cette même gare, les niveaux moyens sont compris entre 50 et 32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ suivant l'emplacement, soit des concentrations plus faibles à celles mesurées sur les quais des autres stations du réseau RATP.

Si la teneur moyenne de dioxyde d'azote mesurée sur le quai du RER A est plus faible que celle enregistrée sur la même période sur les quais du métro (ligne 1 - F.D Roosevelt - et ligne 4 - Châtelet), cette hiérarchie est inversée pour les particules PM10. En effet, durant la campagne, la concentration moyenne de PM10 sur le quai du RER A a été 3.5 et 5.5 fois supérieure respectivement par rapport aux quais du métro de la ligne 4 et 1. Le matériel roulant plus lourd ainsi que la vitesse plus importante du RER entraînent des émissions (frein...) et une remise en suspension plus importantes.

VI. Situation vis-à-vis des normes en vigueur ou des recommandations

Cette campagne de surveillance permet de positionner les niveaux en NO₂ et en particules relevés par rapport aux normes.

Pour la qualité de l'air extérieur, selon la réglementation française et européenne en matière de pollution atmosphérique (présentées en Annexe 6), les normes sont relatives à des niveaux annuels, journaliers ou horaires. Les mesures ayant eu lieu sur quatre semaines consécutives, une estimation par rapport aux normes annuelles a été réalisée sur les sites extérieurs en situation de proximité au trafic routier des rues Auber et des Mathurins. De plus, une analyse des résultats horaires de la campagne de mesure au regard des normes de la qualité de l'air sur un pas de temps court est possible sur le site de mesure automatique de la rue Auber où des données horaires ont été mesurées.

Concernant les mesures en air intérieur, une évaluation de la situation vis-à-vis des recommandations de 2001 du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France peut être réalisée pour les particules PM10. Concernant les mesures de formaldéhyde, les valeurs guides de qualité de l'air intérieur (VGAI) établies par l'AFSSET¹⁸ ont été prises en compte.

VI.1 Résultats des mesures en extérieur

VI.1.a Cas du NO₂

Les données mesurées par la station automatique temporaire de la rue Auber peuvent être comparées aux normes réglementaires horaires pour le NO₂. Ces valeurs concernent deux types de situation, décrits ci-dessous.

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

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

Le nombre d'épisode est variable d'une année à l'autre mais tend à décroître ces dernières années. En effet, depuis 1995, le nombre de dépassements du niveau d'information et de recommandation du public (200 µg/m³ en moyenne horaire) est passé de 14 en 1995 à 6 en 2003. Depuis, la situation est stable comme cela est illustré à la Figure 31.

Année	Nombre de dépassement du seuil d'information et de recommandation du public : 200 µg/m ³ sur 1 heure en NO ₂
2005	0
2006	1
2007	2
2008	0
2009	2

Figure 31 : Tableau présentant le nombre de dépassement du niveau d'information et de recommandation du public de 2005 à 2009.

¹⁸ Devenue depuis le 1^{er} juillet 2010 l'ANSES.

- Les niveaux horaires de pollution chronique (valeur limite horaire) :

Par ailleurs, indépendamment de ces valeurs associées au dispositif d'information et d'alerte du public, la réglementation européenne et française fixe une valeur limite horaire de référence. Elle s'établit à 210 µg/m³ en 2009 et elle diminue d'année en année jusqu'à atteindre la valeur limite applicable en 2010 de 200 µg/m³ en moyenne horaire (à ne pas dépasser plus de 18 heures/an).

La Figure 32 illustre les concentrations maximales horaires pour chaque journée de la campagne de mesure à la fois sur le site temporaire de la rue Auber implanté à proximité du trafic routier, sur certains sites « trafic » du réseau permanent d'Airparif et à la station de fond du cœur de Paris (Jardin des Halles).

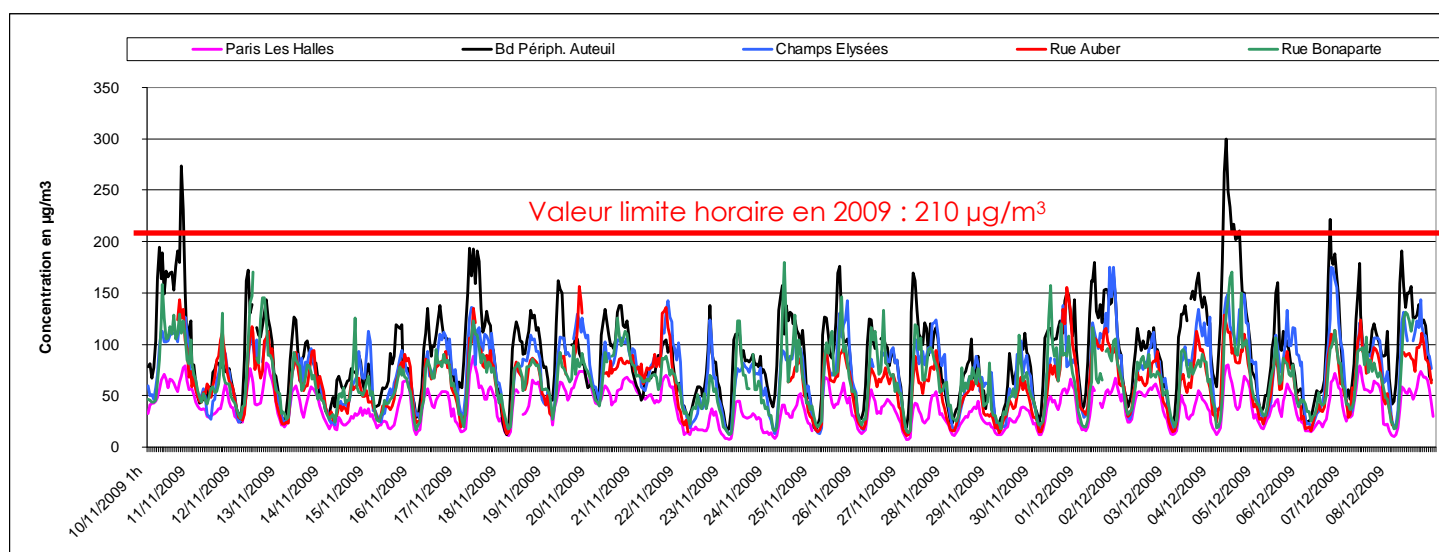


Figure 32 : Concentrations horaires relevées lors de la campagne de mesure sur le site temporaire à proximité du trafic routier de la rue Auber et sur des stations du réseau Airparif de fond (Paris Les-Halles) et de proximité au trafic (Bd Périphérique Auteuil, Rue Bonaparte et Champs Elysées).

Durant la campagne de mesure, le maximum horaire de NO₂ observé sur le site temporaire implanté rue Auber est de 155 µg/m³, soit une teneur inférieure au seuil de 210 µg/m³ fixé en 2009. Ce constat est également valable sur le site trafic de la rue Bonaparte et de l'Avenue des Champs Elysées et *a fortiori* en situation de fond sur le site de Paris Les-Halles. A l'inverse, ce seuil de 210 µg/m³ a été dépassé à la station permanente située à proximité du trafic du Boulevard Périphérique à hauteur de la porte d'Auteuil (avec un maximum horaire de 300 µg/m³ le 4 décembre 2009).

La Figure 33 illustre le nombre de dépassements horaires de 210 µg/m³ en 2009 et lors de la campagne sur les stations fixes du réseau Airparif de fond du cœur de Paris (jardin des Halles) et de proximité au trafic routier (Bd Périphérique Auteuil, rue Bonaparte et Avenue des Champs Elysées).

	Nombre d'heure de dépassement de 210 µg/m ³	
	Campagne : du 10/11 au 8/11/09	En 2009
Bd Périphérique - Auteuil	9	221
Rue Bonaparte	0	0 *
Avenue des Champs Elysées	0	8
Paris Les Halles	0	0
Rue Auber	0	----

* TR < 90% (directives européennes)

Figure 33 : Tableau du nombre d'heures de dépassement des 210 µg/m³ sur des stations fixes du réseau Airparif lors de la campagne et en 2009.

A la vue des résultats sur différentes stations permanentes du réseau de mesure d'Airparif, et notamment celles de proximité au trafic routier des Champs Elysées et de la rue Bonaparte, la valeur limite de 18 heures de dépassement à l'année ne devrait pas être dépassée au droit de la rue Auber. En effet, compte tenu de la similitude des teneurs de dioxyde d'azote mesurées à ces différents sites lors des quatre semaines, il est probable que cette valeur limite soit respectée au droit de la rue Auber comme cela est le cas pour l'Avenue des Champs Elysées et la rue Bonaparte.

Néanmoins, ce constat n'est valable que si l'amplitude et la variabilité des niveaux de NO₂ mesurés durant la campagne sur ces stations sont au cours d'une année entière également similaires.

- Respect des normes à l'échelle annuelle :

L'objectif de qualité défini au niveau national pour le dioxyde d'azote est fixé à 40 µg/m³ en moyenne annuelle. A l'aide des concentrations de NO₂ relevées durant la campagne de mesure, un intervalle de la moyenne annuelle peut être estimé pour les sites de mesure en air ambiant de la rue Auber et de la rue des Mathurins afin de déterminer si l'objectif de qualité serait respecté.

Les conditions météorologiques observées lors des séries de mesure n'étant que partiellement représentatives des situations météorologiques 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 que par l'application d'une fonction de transfert qui prend en compte la différence des conditions météorologiques et des autres facteurs environnementaux qui influent ponctuellement sur les niveaux observés lors des mesures.

Une évaluation correcte du niveau moyen annuel de mesure implique que l'on se réfère à des résultats annuels connus, déduits des mesures continues réalisées. C'est ce qui a été fait à partir des résultats des stations permanentes du réseau AIRPARIF.

Une comparaison directe entre les niveaux relevés durant la campagne 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 environnementales entre les deux périodes de mesure. Une relation mathématique, déterminée sur la base de cette comparaison, est appliquée à la concentration moyenne de la campagne afin d'évaluer d'une façon la plus fiable possible la concentration moyenne annuelle sur chaque site de mesure.

La concentration moyenne annuelle ainsi déterminée est nécessairement entachée d'une incertitude. Cette incertitude provient notamment de l'erreur de mesure associée aux aspects métrologiques ainsi que l'erreur associée à la fonction de transfert qui permet de déduire la moyenne annuelle à partir 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 pu surveiller tout au long de l'année 2009 au lieu de la campagne réalisée sur quatre semaines entre le 10 novembre et le 8 décembre 2009. L'incertitude associée au niveau annuel évalué pour le dioxyde d'azote est de 12 % pour le site de la rue des Mathurins (mesures tubes lors de la campagne : mesure hebdomadaire) et de 3 % pour le site de la rue Auber (mesures par analyseur automatique : mesure horaire).

La Figure 34 illustre la moyenne annuelle estimée pour l'année 2009 pour les sites de la rue Auber et de la rue des Mathurins ainsi que l'intervalle de confiance. Cet intervalle représente la plage de valeurs dans laquelle la concentration moyenne annuelle se trouverait si les mesures se seraient déroulées sur l'ensemble de l'année.

	Moyenne annuelle estimée	Intervalle prenant en compte l'incertitude
Rue Auber	67	[65 - 69]
Rue des Mathurins	46	[41 - 52]

Figure 34 : Moyenne annuelle de dioxyde d'azote estimée sur les sites temporaires implanté durant la campagne rue Auber et rue des Mathurins.

Comme la grande majorité des axes routiers de la capitale, l'objectif de qualité concernant le dioxyde d'azote serait dépassé à proximité de la rue Auber et de la rue des Mathurins avec respectivement $67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2009. En prenant l'incertitude en compte pour l'établissement de cette moyenne annuelle, l'objectif de qualité fixé à $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ est franchi sur les deux sites de mesure même avec la borne inférieure de l'estimation. Compte tenu du trafic routier de ces axes, la rue Auber présente à l'échelle de l'année une moyenne plus importante que la rue des Mathurins qui est à sens unique.

VI.1.b Cas des particules PM10

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

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

Pour mémoire, seul le site de mesure de la rue Auber a été instrumenté en air ambiant de mesure de particules PM10 durant la campagne.

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

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

- Les niveaux journaliers de pollution chronique (seuil journalier)

Un seuil réglementaire français et européen porte sur la concentration moyenne journalière en particules. Depuis 2005, le seuil journalier de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (en moyenne journalière) ne doit pas être dépassé plus de 35 jours par an.

La Figure 35 illustre les concentrations journalières de PM10 relevées durant la campagne, à la fois sur le site temporaire de la rue Auber et sur certaines stations fixes du réseau permanent d'Airparif en situation de fond (Paris 18^{ème}) et à proximité du trafic routier (Boulevard Périphérique, Place V. Basch et Avenue des Champs Elysées).

Lors de la campagne de mesure, la valeur limite journalière de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a été dépassée sur les différents sites de mesure situés à proximité du trafic routier. On dénombre ainsi quatre dépassements sur l'Avenue des Champs Elysées et trois à proximité du Boulevard Périphérique et de la Place V. Basch. En situation de fond, ce seuil de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ n'a pas été atteint.

A la station temporaire de la rue Auber, la concentration journalière de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a été dépassée une fois (le 21 novembre 2009) au même titre que les autres stations de proximité au trafic routier du réseau fixe d'Airparif. La teneur journalière du 20 novembre 2009 a également été, sur ces mêmes sites, supérieure au seuil de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ compte tenu des conditions de dispersion favorable à l'accumulation de la pollution atmosphérique. Sur le site temporaire de la rue Auber, à cause d'un problème technique ce 20 novembre, l'information quant au dépassement de ce seuil n'est pas disponible.

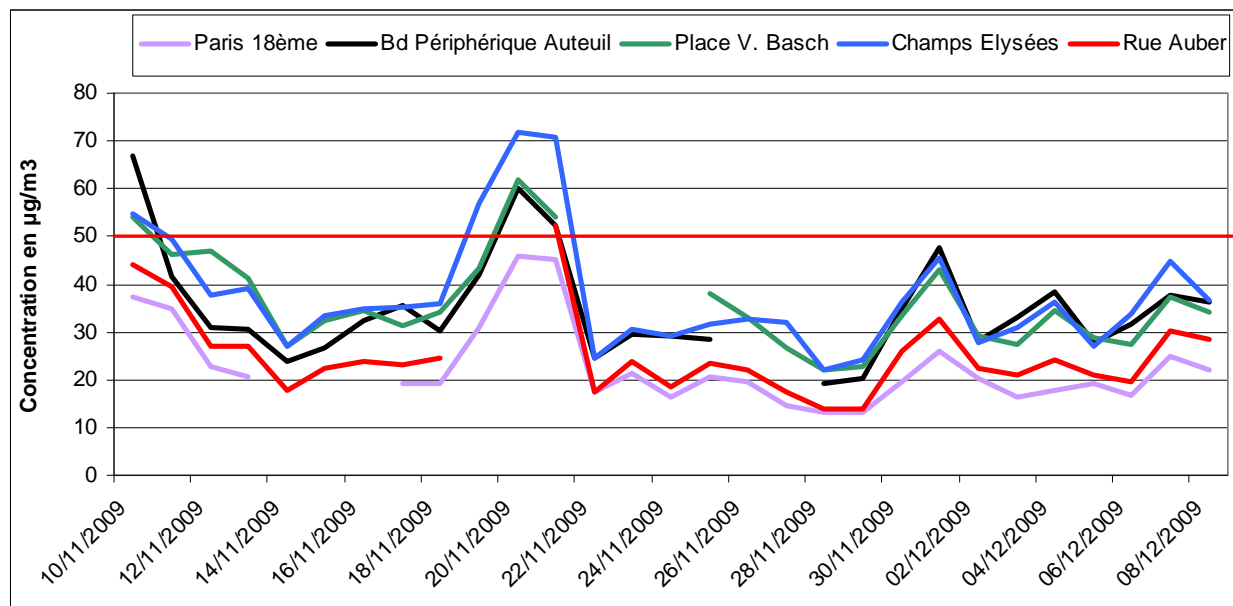


Figure 35 : Concentrations journalières de particules PM10 mesurées durant la campagne sur le site temporaire de la Rue Auber, à Paris en situation de fond (Paris 18^{ème}) et à proximité du trafic routier des stations fixes du réseau Airparif du Boulevard Périphérique, de la Place V. Basch et de l'Avenue des Champs Elysées.

Le nombre de dépassement journalier du seuil de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en particules PM10 depuis 2007 (Cf. Figure 36) à proximité du trafic routier (Bd Périphérique Auteuil, Place V. Basch, Avenue des Champs Elysées) dépasse largement les 35 jours avec plus de 90 jours pour l'ensemble de ces stations (maximum de 132 dépassements en 2009 à proximité du Boulevard Périphérique). En situation de fond (Paris 18^{ème}), le nombre de dépassement peut être proche des 35 jours selon les conditions météorologiques rencontrées les différentes années.

	2007	2008	2009	Du 10/11 au 8/12/2009
Bd Périphérique Auteuil	149	125	132	3
Place V. Basch	110	77	97	3
Av. des Champs Elysées	80 *	75 *	94 *	4
Paris 18 ^{ème}	33	13	28	0
Rue Auber	----	----	----	1

Figure 36 : Nombre de dépassements journaliers de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ enregistrés sur certaines stations fixes du réseau d'Airparif depuis 2007 et à proximité du trafic de la rue Auber lors de la campagne de mesure.

La valeur limite établie en moyenne journalière est ainsi probablement dépassée à proximité de la rue Auber à la vue de ces résultats, comme cela est le cas en situation de proximité au trafic routier, voire en situation de fond les années où les conditions météorologiques sont les plus favorables à l'accumulation de la pollution atmosphérique.

- Respect des normes à l'échelle annuelle :

Compte tenu de l'échelle annuelle des normes relatives aux particules, une estimation statistique doit être réalisée sachant que les mesures faites durant les quatre semaines sur le site temporaire de la rue Auber ne permettent pas de positionner directement les niveaux de pollution par rapport à ces normes.

L'objectif de qualité annuel est fixé pour les PM10 à 30 µg/m³. L'évaluation de la moyenne annuelle des PM10 à l'aide des données enregistrées rue Auber est basée sur la même méthodologie que pour le dioxyde d'azote : 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 de PM10 est de 5 % : 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 ± 5 %).

La moyenne annuelle estimée à proximité du trafic routier de la rue Auber pour l'année 2009 (Cf. Figure 37) est de 32 µg/m³, soit une teneur supérieure à l'objectif de qualité fixé à 30 µg/m³.

Sites de mesure	Moyenne Campagne	Moyenne annuelle estimée	Intervalle Incertitude	
			Min	Max
Rue AUBER	26	32	30	34

Figure 37 : Moyenne annuelle estimée en particules PM10 pour 2009 sur le site de proximité au trafic routier de la rue Auber.

Il est à noter que le niveau annuel en situation de fond au sein de Paris est en 2009 proche de l'objectif de qualité avec 29 µg/m³ (Paris Les-Halles). Ainsi, l'influence des émissions du trafic routier de la rue Auber engendre logiquement un surcroît de pollution et de ce fait un dépassement de l'objectif de qualité pour les PM10.

VI.1.c Cas des particules PM2.5

L'estimation statistique de la moyenne annuelle est établie de la même manière que pour les particules PM10. Cette technique est entachée d'une incertitude associée à la moyenne annuelle estimée de PM2.5 est de 30 % : la moyenne annuelle de PM2.5 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 ± 30 %).

Sites de mesure	Moyenne Campagne	Moyenne annuelle estimée	Intervalle Incertitude	
			Min	Max
Rue AUBER	15	21	15	27

Figure 38 : Moyenne annuelle estimée en particules PM2.5 pour 2009 sur le site de proximité au trafic routier de la rue Auber.

La moyenne annuelle estimée de PM2.5 pour l'année 2009 à la proximité du trafic routier de la rue Auber est de 21 µg/m³. La valeur limite (Directive européenne) applicable en 2009 est fixée à 29 µg/m³, cette valeur diminuera progressivement jusqu'à 25 µg/m³ en 2015.

Les Etats-Unis appliquent quant à eux une norme annuelle inférieure (15 µg/m³ : valeur fixée par l'EPA), plus proche de la recommandation de l'Organisation Mondiale de la Santé

(OMS : 10 µg/m³). Dans ce cas, la moyenne annuelle estimée est supérieure à ces valeurs fixées.

VI.2 Résultats des mesures en intérieur

VI.2.a Les particules

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

Suite à plusieurs études menées sur les réseaux Ratp et SNCF, le CSHPF a publié en 2001 deux avis relatifs à l'établissement de valeurs guides de la qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines¹⁹. Il estime que les valeurs fixées pour l'air extérieur ne sont pas directement applicables aux enceintes ferroviaires souterraines dans lesquels le temps passé par un citadin ne représente qu'une fraction de sa journée. Il propose une démarche basée sur la notion d'exposition cumulée des usagers qui pondère les teneurs atmosphériques particulières subies dans les différents environnements fréquentés, par le temps passé dans les environnements au cours d'une journée, pour établir des valeurs de référence.

A partir de plusieurs estimations (temps de déplacement moyen aux heures de pointe du matin et du soir sur le réseau ferré francilien, percentile 90 des stations urbaines et périurbaines franciliennes, estimée à 23 µg/m³ en 2005), une valeur de référence résultante dans les enceintes préconisées par le CSHPF pour 2005 avait été estimée à 347 µg/m³ pour deux heures de transport et 671 µg/m³ dans le cas d'une heure de transport.

Même si depuis 2001, aucune nouvelle recommandation n'a été donnée par le CSHPF sur le sujet et en dépit des changements de mesure des particules intervenus en France depuis le 1^{er} janvier 2007, un calcul similaire pour l'année 2009 permettrait d'ajuster cette valeur en fonction du temps passé dans le métro (percentile 90 pour l'année 2009 sur les stations urbaines égal à 46 µg/m³). Pour information, les calculs de CSHPF ont été réalisés pour un temps de séjour dans le réseau souterrain de deux heures. Les statistiques de la Ratp pour l'année 2007 estiment ce temps à 50 minutes.

Compte tenu de la méthodologie, la valeur guide est fluctuante toutes les années en fonction des teneurs de PM10 extérieures mesurées. Ainsi, si celle-ci était fixée à 671 µg/m³ en 2005, elle est pour l'année 2008 de 303 µg/m³ et de 142 µg/m³ pour 2009. L'augmentation des teneurs de PM10 dans l'air ambiant depuis 2005, principalement du fait du changement de méthode de mesure et ponctuellement par des conditions météorologiques différentes suivant les années, entraîne une baisse importante de la valeur guide dans les enceintes ferroviaires souterraines.

Temps dans le réseau souterrain (en heure)	1 heure
Valeur guide associée année 2009 (en µg/m³)	142 µg/m ³
Nombre d'heure de dépassement pendant la campagne de mesure	492 h sur le Quai du RER A Entre 3 h et 22 h dans la salle d'échange 1 h au rez-de-chaussée

Tableau 1 : Valeur guide estimée pour l'année 2009 pour une heure de temps passé dans le réseau souterrain et dépassement constaté selon les sites de mesure pendant la campagne de mesure.

¹⁹ Avis du 5 avril 2001 et 3 mai 2001.

La valeur guide de 142 µg/m³ sur 1 heure calculée pour l'année 2009 a été dépassée près des trois-quarts du temps sur le quai du RER A. Comme cela est illustré à la Figure 39, lors des périodes de pointe du trafic de RER cette valeur est dépassée la quasi-totalité du temps. Entre 17h et 20h, les niveaux horaires ont toujours été supérieurs à la valeur guide avec des teneurs comprises entre 500 et 700 µg/m³.

Lors de la fermeture de la station au public (entre 1h et 5h) la baisse des teneurs est importante pour ne quasiment plus dépasser ce niveau de 142 µg/m³, principalement entre 3h et 5h où les concentrations de PM10 sont en moyenne comprises entre 30 et 60 µg/m³.

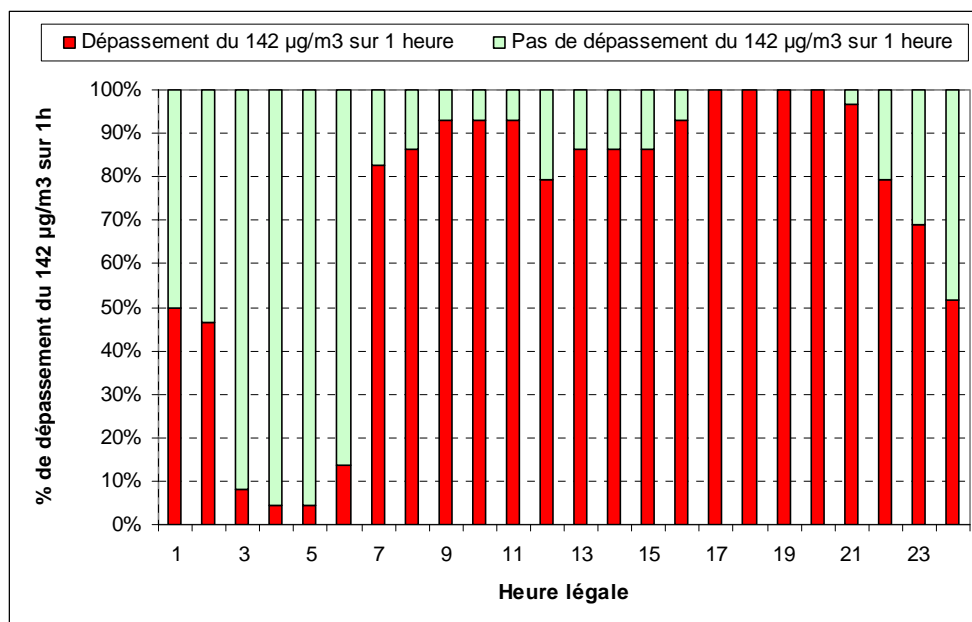


Figure 39 : Pourcentage de dépassement de la valeur guide de 142 µg/m³ sur 1 heure selon les heures de la journée lors de la campagne de mesure.

Dans la salle d'échange, où les teneurs de PM10 sont plus faibles, la valeur guide sur 1 heure est dépassée suivant le site de mesure entre 3 et 22 fois soit au maximum durant 3 % du temps. Au rez-de-chaussée seule une heure a vu une concentration supérieure à 142 µg/m³ durant la campagne. Toutes ces données supérieures à la valeur guide ont été mesurées en période de pointe du trafic de RER du matin ou du soir.

Il est à noter que la valeur guide traduit l'exposition théorique d'un usager à partir d'une mesure réalisée sur le quai d'une station de métro ou d'une gare RER sans prendre en compte les teneurs mesurées sur l'ensemble de son trajet au sein de la rame, sur différentes stations etc.

VI.2.b Le formaldéhyde

Une liste de substances pour lesquelles l'élaboration de valeurs guides de qualité d'air intérieur (VGAI) a été jugée prioritaire a été établie par l'AFSSET. On retrouve notamment dans cette liste le formaldéhyde, pour lequel des VGAI ont été proposées (Cf. Figure 40).

Substance	Valeur Guide de qualité d'Air Intérieur proposées
Formaldéhyde	- VGAI court terme : 50 µg/m ³ pour une exposition de 2 heures - VGAI long terme : 10 µg/m ³ pour une exposition supérieure à un an

Figure 40 : Valeur guide de qualité d'air intérieur (VGAI) concernant le formaldéhyde établie par l'AFSSET.

Les valeurs guides de qualité d'air ont pour principal objectif de fournir une base pour protéger la population des effets sanitaires liés à une exposition à la pollution de l'air par inhalation et d'éliminer ou de réduire les contaminants ayant un effet néfaste sur la santé humaine. Les valeurs guides de qualité d'air intérieur proposées dans le cadre de cette autosaisine de l'AFSSET respectent ces objectifs et sont par ailleurs spécifiques de l'air intérieur et construites exclusivement sur des critères sanitaires (sans prise en compte des moyens de mesures analytiques, des actions de contrôle disponibles ni des conditions économiques, sociales ou culturelles). Elles sont exprimées sous forme de concentration dans l'air d'une substance chimique, associée à un temps d'exposition. En dessous de cette concentration, aucun effet sanitaire, aucune nuisance ni aucun effet indirect important sur la santé n'est en principe attendu pour la population générale.

Compte tenu des faibles niveaux de formaldéhyde relevés durant les quatre semaines de la campagne de mesure (4.8 µg/m³ au maximum mesuré sur le quai), la valeur guide sur le long terme, fixée à 10 µg/m³, ne devrait pas être dépassée au sein de la gare RER Auber. Ce constat est valable si tout au long de l'année les émissions de ce polluant au sein de l'enceinte sont similaires et qu'aucune source supplémentaire de ce polluant n'est ajoutée.

Concernant la VGAI court terme, fixée à 50 µg/m³ sur 2 heures, il n'est pas possible, compte tenu du pas de temps des résultats de mesure de formaldéhyde obtenus sur une semaine d'exposition, de comparer les concentrations mesurées à cette valeur guide. En effet, seule des données fines au pas de temps horaire peuvent conclure sur cette valeur guide court terme.

VII. Conclusion

Le second volet de la collaboration entre la Ratp et Airparif est consacré à la caractérisation de la qualité de l'air au sein de la gare RER d'Auber.

Cette étude, menée conjointement par la Ratp et Airparif entre le 10 novembre et le 08 décembre 2009, a consisté à mesurer les niveaux de polluants aux différents niveaux de la gare (rez-de-chaussée, salle d'échange, quai, ...) et à proximité des accès en air extérieur. La mise en œuvre de 27 sites de mesure permet de préciser à la fois la qualité de l'air intérieur afin d'identifier l'impact du trafic des rames de RER et les corrélations entre la qualité de l'air extérieur impactée par le trafic routier et celles mesurées dans l'enceinte souterraine de la Ratp. Les oxydes d'azote (NO_x: NO₂ – NO), particules PM10 et PM2.5 et le formaldéhyde ont fait l'objet de mesures lors des quatre semaines de la campagne.

Air extérieur :

Les niveaux de pollution mesurés au droit des axes routiers situés à proximité des accès de la gare RER sont les plus élevées rue Auber avec une teneur moyenne comparable à ce que l'on peut mesurer à la station permanente du réseau Airparif située rue Bonaparte. L'accès situé rue des Mathurins présente un niveau moyen de NO₂ légèrement supérieur à ce que l'on peut mesurer en situation de fond compte tenu du faible trafic sur cet axe à sens unique. Les niveaux moyens de particules rue Auber sont inférieurs à ceux enregistrés sur les stations trafic du réseau Airparif, avec -25 % et -20 % respectivement pour les PM10 et PM2.5, par rapport à ceux mesurés sur le Boulevard Périphérique à hauteur de la Porte d'Auteuil compte tenu notamment d'un flux de véhicules journalier beaucoup plus faible.

Air intérieur :

Globalement, au sein de la salle d'échange et au rez-de-chaussée la gare RER les teneurs de **dioxyde d'azote** sont légèrement plus faibles (59 µg/m³) que celles mesurées à proximité immédiate du trafic routier de la rue Auber (64 µg/m³). Seuls les niveaux enregistrés sur les quais du RER sont largement inférieurs (45 µg/m³) avec en moyenne des teneurs inférieures de 30 %. Cependant, par rapport à ce qui est mesuré en situation de fond au cœur de Paris, les niveaux de NO₂ sur les quais sont supérieurs en moyenne d'environ 15 %.

Les teneurs de **particules PM10 et PM2.5** mesurées durant la campagne sont les plus importantes sur le quai du RER avec des niveaux moyens respectivement de 329 µg/m³ et 117 µg/m³. Ces concentrations élevées sont dues au système de freinage des rames de RER et à la remise en suspension des poussières par le passage des rames. Les voyageurs, à travers leurs déplacements, peuvent également entraîner une remise en suspension dans l'air des particules déposées sur les quais. Ces émissions « indirectes » de particules engendrent une proportion plus importante de la fraction grossière comprise entre 2.5 µm et 10 µm, avec les deux-tiers des teneurs de particules PM10.

Concernant les teneurs de **formaldéhyde** mesurées au sein de la gare RER, elles sont faibles et légèrement supérieures à celles mesurées à l'extérieur à proximité du trafic routier de la rue Auber. Sur les quais, les concentrations sont équivalentes à celles mesurées dans la salle d'échange (concentrations moyennes inférieures à 5 µg/m³). Au rez-de-chaussée, compte tenu des flux d'air importants engendrés par les accès de la rue Auber et de la rue des Mathurins, les concentrations sont également faibles et proches de celles mesurées à l'extérieur (teneurs inférieures à 3 µg/m³).

Normes de qualité de l'air :

Par rapport aux **normes en vigueur**, la qualité de l'air à **proximité de la rue Auber** est caractéristique de ce que l'on peut mesurer en situation de proximité au trafic routier dans Paris avec un dépassement estimé de l'objectif de qualité pour le dioxyde d'azote et les particules PM10. **A l'intérieur de la gare RER d'Auber**, la valeur guide établie pour les particules PM10 par le CSHPF, et recalculée pour l'année 2009, est dépassée la quasi-totalité du temps lors de la campagne durant les périodes de pointe du matin (7h à 11h) et du soir

(16h à 21h) sur le quai du RER A avec des teneurs horaires supérieures à 142 µg/m³. Cette valeur guide, varie suivant les années en fonction du niveau de pollution de l'air extérieur. Elle traduit l'exposition théorique d'un usager à partir d'une mesure réalisée sur le quai d'une station de métro ou d'une gare RER et ne prend pas en compte son exposition sur l'ensemble de son trajet dans la rame, dans différentes stations etc.

Concernant le formaldéhyde, compte tenu des faibles concentrations enregistrées durant la campagne de mesure, la valeur guide de qualité d'air intérieur (VGAi) fixée par l'AFSSET sur le long terme (10 µg/m³ en moyenne annuelle), ne devrait pas être dépassée au sein de la gare RER d'Auber.

ANNEXES

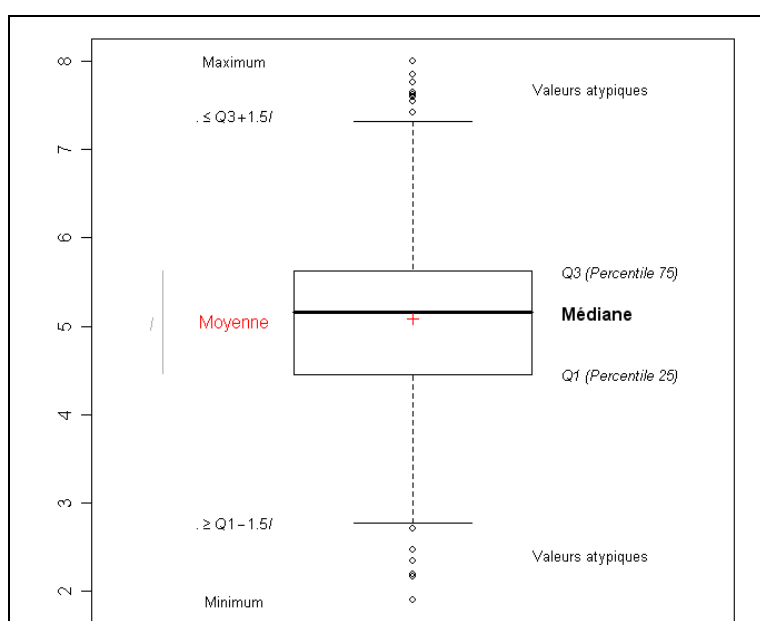
MESURES A LA GARE DE RER AUBER

Annexe 1

BOITE A MOUSTACHES

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

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



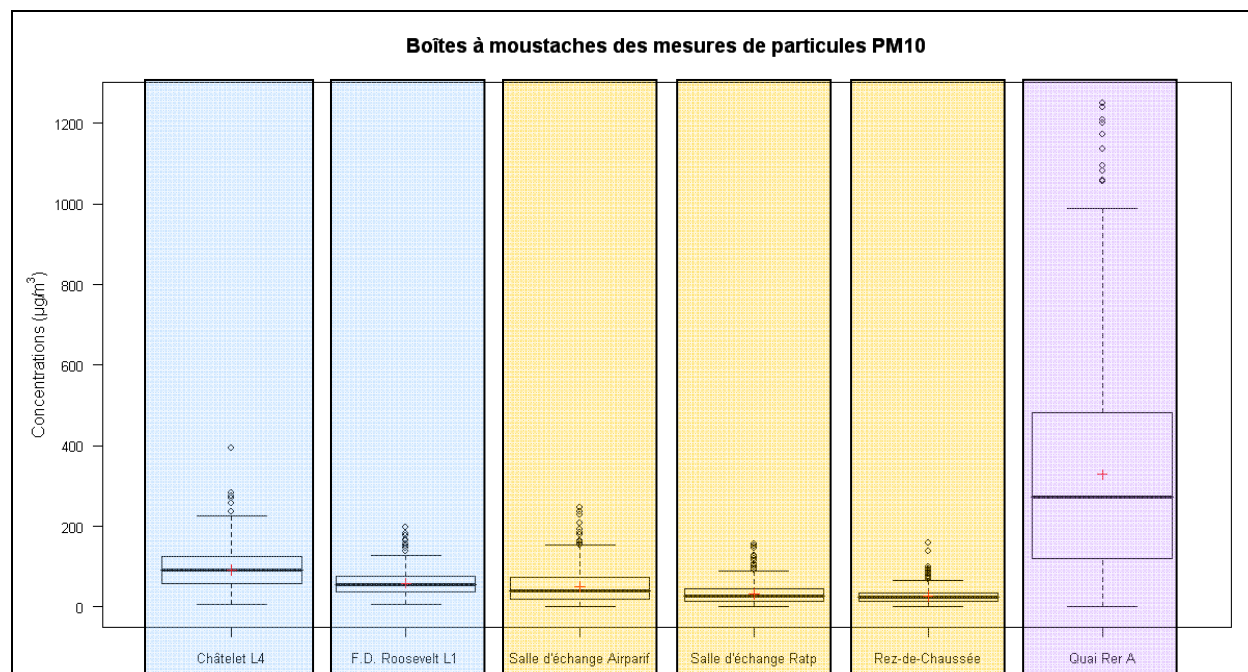
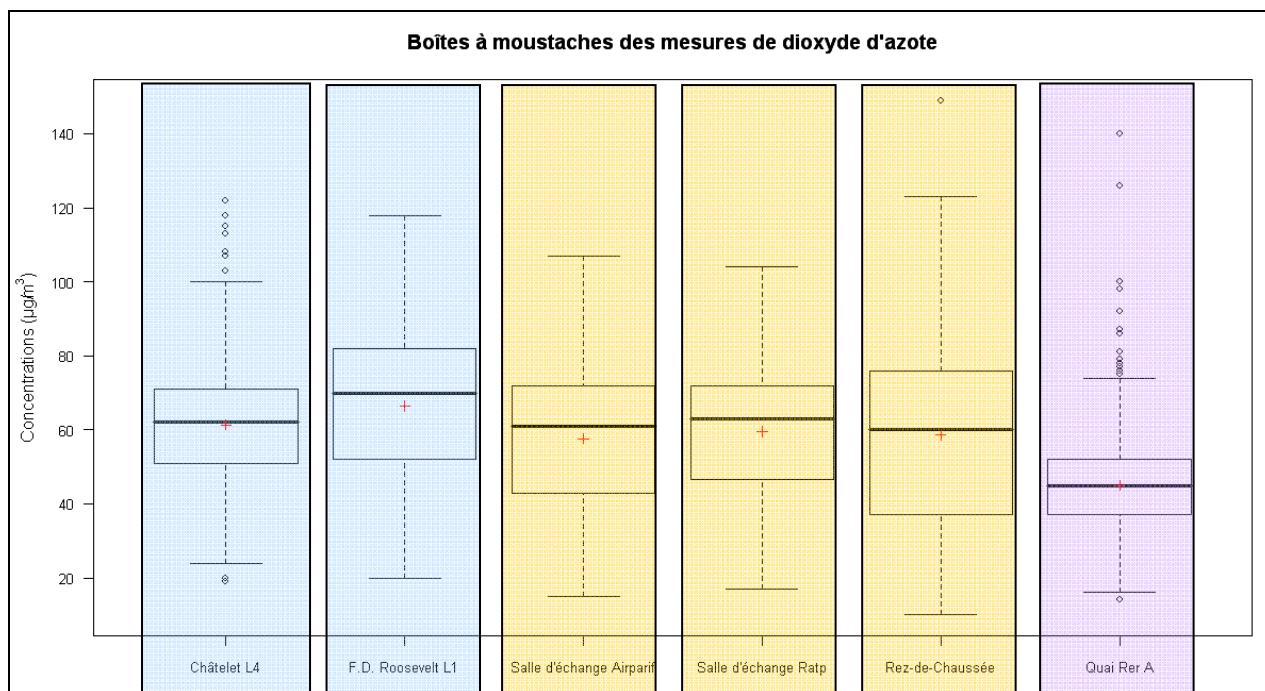
La partie centrale correspondant à une « boîte » représente 50 % des données. Ces données se situent entre les 1^{er} et 3^{ème} quartiles. La différence entre les deux est appelée l'écart inter quartiles.

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

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

Annexe 2

Boîtes à moustaches des mesures de dioxyde d'azote d'après les mesures sur les quais des stations fixes du réseau « SQUALES » et au sein de la gare RER d'Auber lors de la campagne du 10 novembre au 08 décembre 2009.



- Station du réseau fixe Squales de la Ratp installée sur le quai
- Station temporaire mise en œuvre à la gare RER Auber durant la campagne
- Station du réseau fixe Squales de la Ratp installée sur le quai et faisant parti des moyens de mesure de la campagne au sein de la gare RER Auber

Annexe 3

TESTS STATISTIQUES

Test de Normalité

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

Le test de Kolmogorov-Smirnov est un test non paramétrique qui consiste à comparer la distribution de fréquences relatives cumulées d'une variable observée avec la distribution théorique que cette variable aurait si elle était distribuée normalement. On superpose les deux distributions, on cherche la classe où l'écart entre la distribution théorique et la distribution observée est le plus grand, et on vérifie (dans la table conçue à cet effet ou en calculant directement la valeur critique D_α) si cet écart est significativement grand, c'est-à-dire si l'hypothèse de normalité H_0 : distribution normale peut être rejetée au seuil considéré.

Une variable aléatoire suit une loi normale d'espérance μ et d'écart type σ (donc de variance σ^2) si elle admet une densité de probabilité f telle que :

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

Autres tests : Shapiro-Wilk,...

Test sur les variances (homoscédasticité)

Test de régularité de la variance sur la variable aléatoire.

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

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

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

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

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

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

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

Soit deux séries de mesures de taille n_1 et n_2 . Pour chacune d'elle, on calcule l'écart-type.

Le plus grand sera noté s_1 et le plus petit s_2 , on aura donc $s_1 > s_2$. L'écart-type s_1 est connu avec $nu_1 = n_1 - 1$ degré de liberté et l'écart-type s_2 avec $nu_2 = n_2 - 1$ degré de liberté.

Les hypothèses du test sont les suivantes :

H ₀	Les écart-types observés s_1 et s_2 sont du même ordre de grandeur.
H ₁	L'écart-type s_1 est significativement plus grand que l'écart-type s_2 .

On calcule alors : $F_{obs} = \frac{s_1^2}{s_2^2}$

On montre que sous l'hypothèse H₀, le rapport des deux écarts-types suit une loi de Fischer dont on a dressé la table pour le risque souhaité (dans notre cas 5%).

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

Si $F_{obs} < F_{crit}(nu_1, nu_2)$ on accepte H₀

Si $F_{obs} > F_{crit}(nu_1, nu_2)$ on accepte H₁ par défaut au risque inférieur ou égal à 5 %

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

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

Test d'égalité des moyennes

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

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

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

Test de comparaison d'une moyenne à une valeur donnée

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

On souhaite tester l'Hypothèse H₀ : " $m_1=m_2$ " avec un risque d'erreur α .

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

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

Une estimation de la variance commune est :

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

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

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

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

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

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

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

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

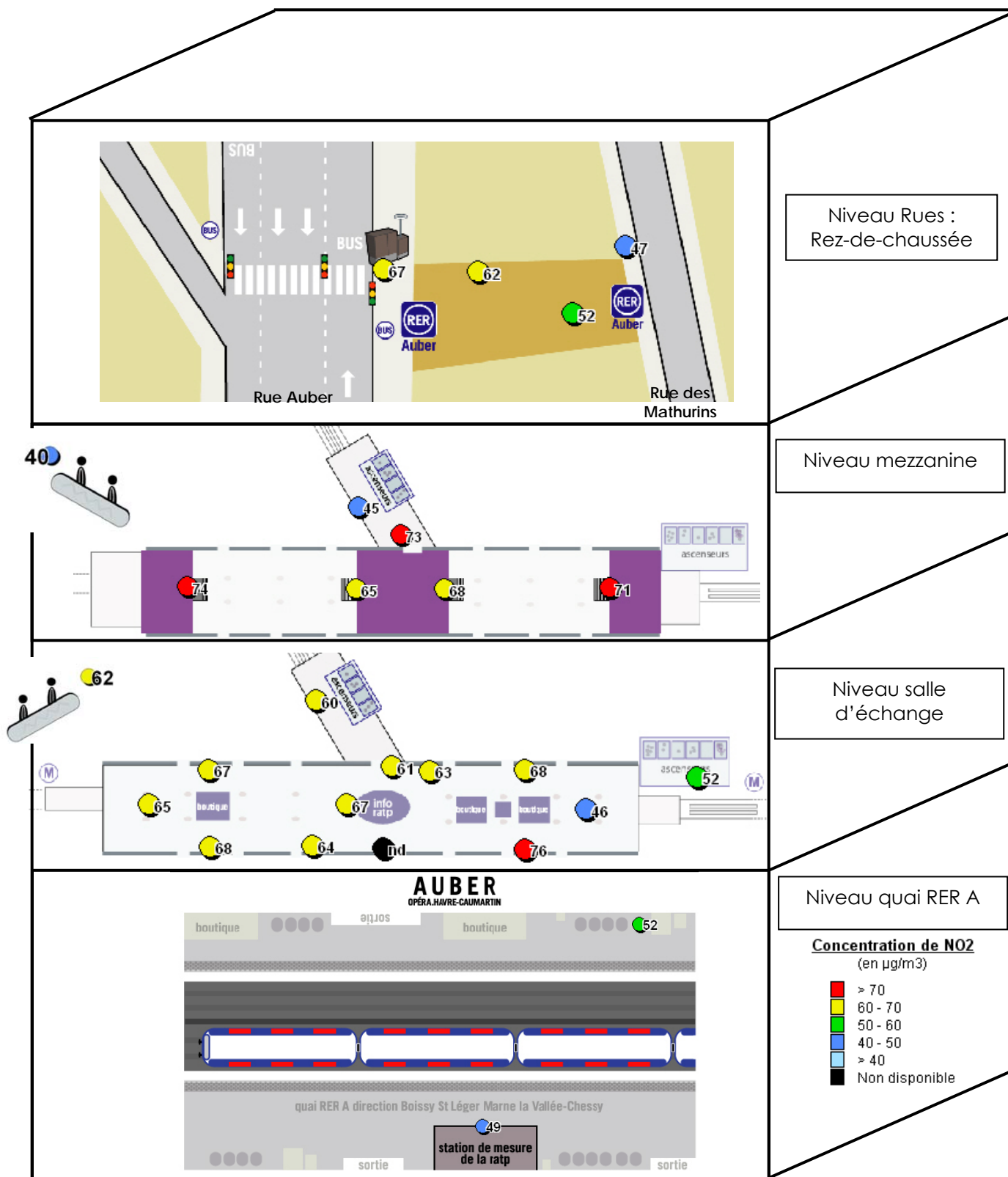
$H_2 : \psi_A < \psi_B$, dans le cas contraire ;

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

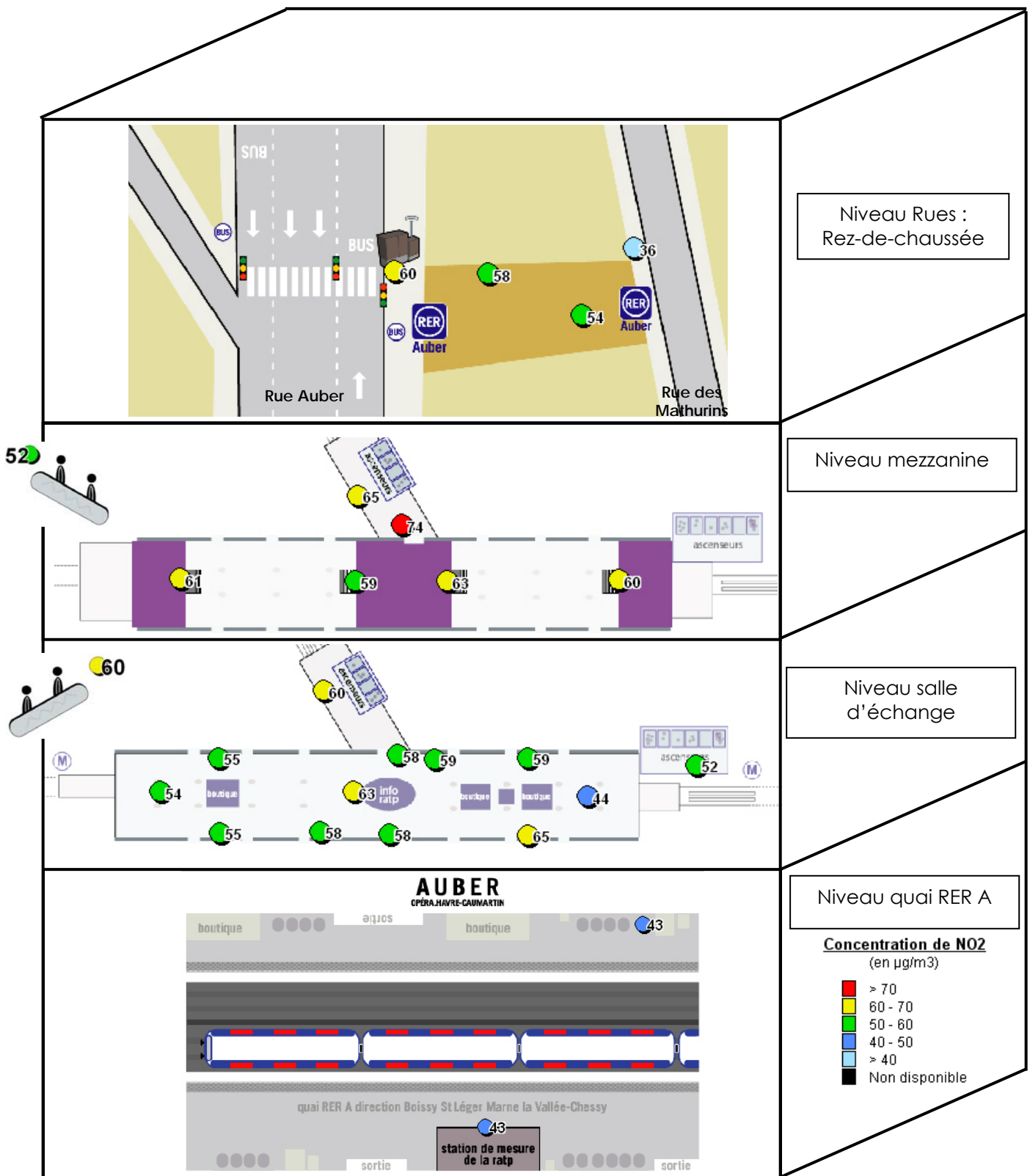
Si cette distribution est déplacée dans un sens, ses rangs seront significativement élevés ou faibles.

Annexe 4

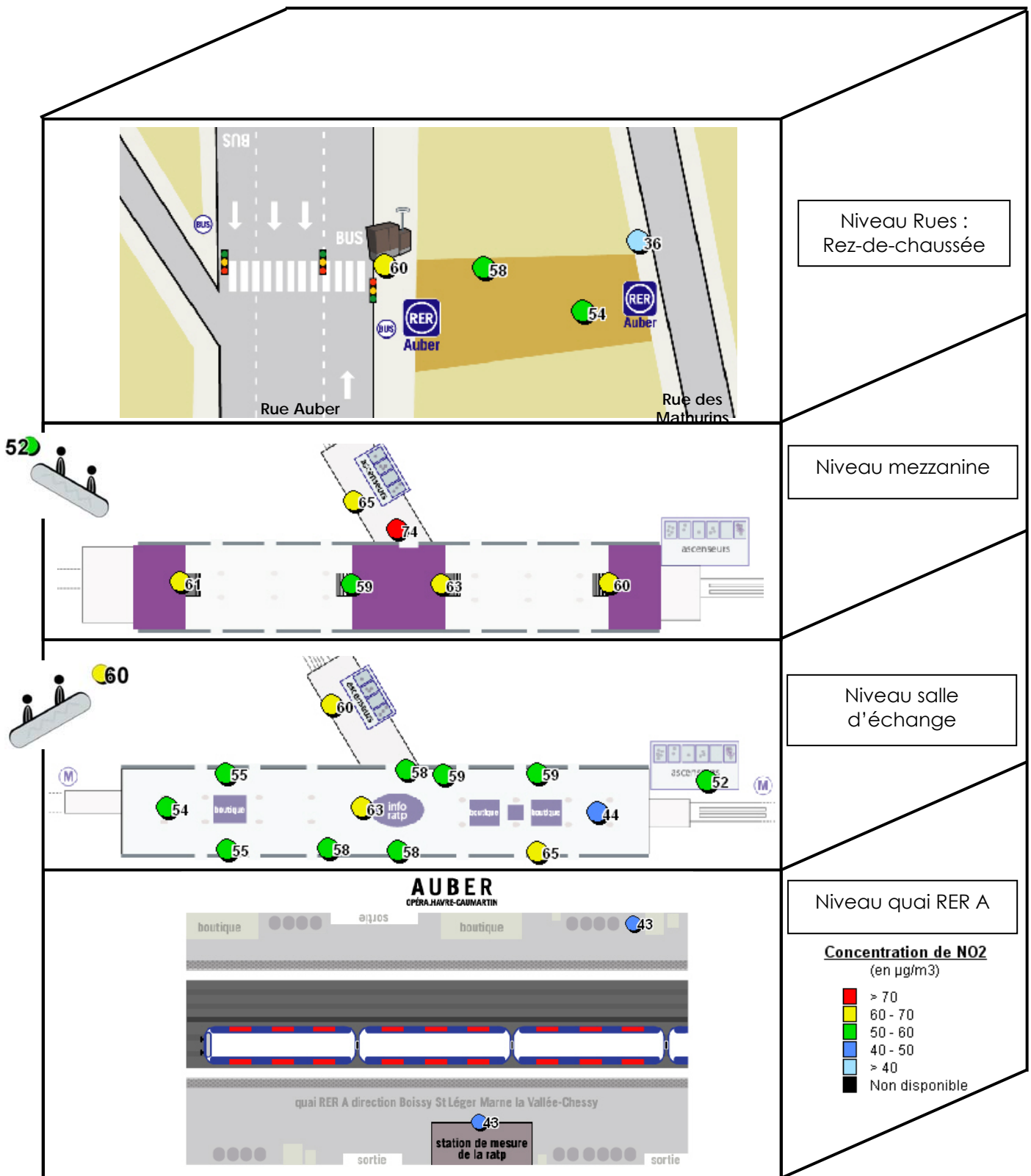
Teneurs en dioxyde d'azote relevées lors de la 1^{ère} série entre le 10 novembre et le 17 novembre 2009 sur l'ensemble des sites instrumentés de tubes à diffusion.



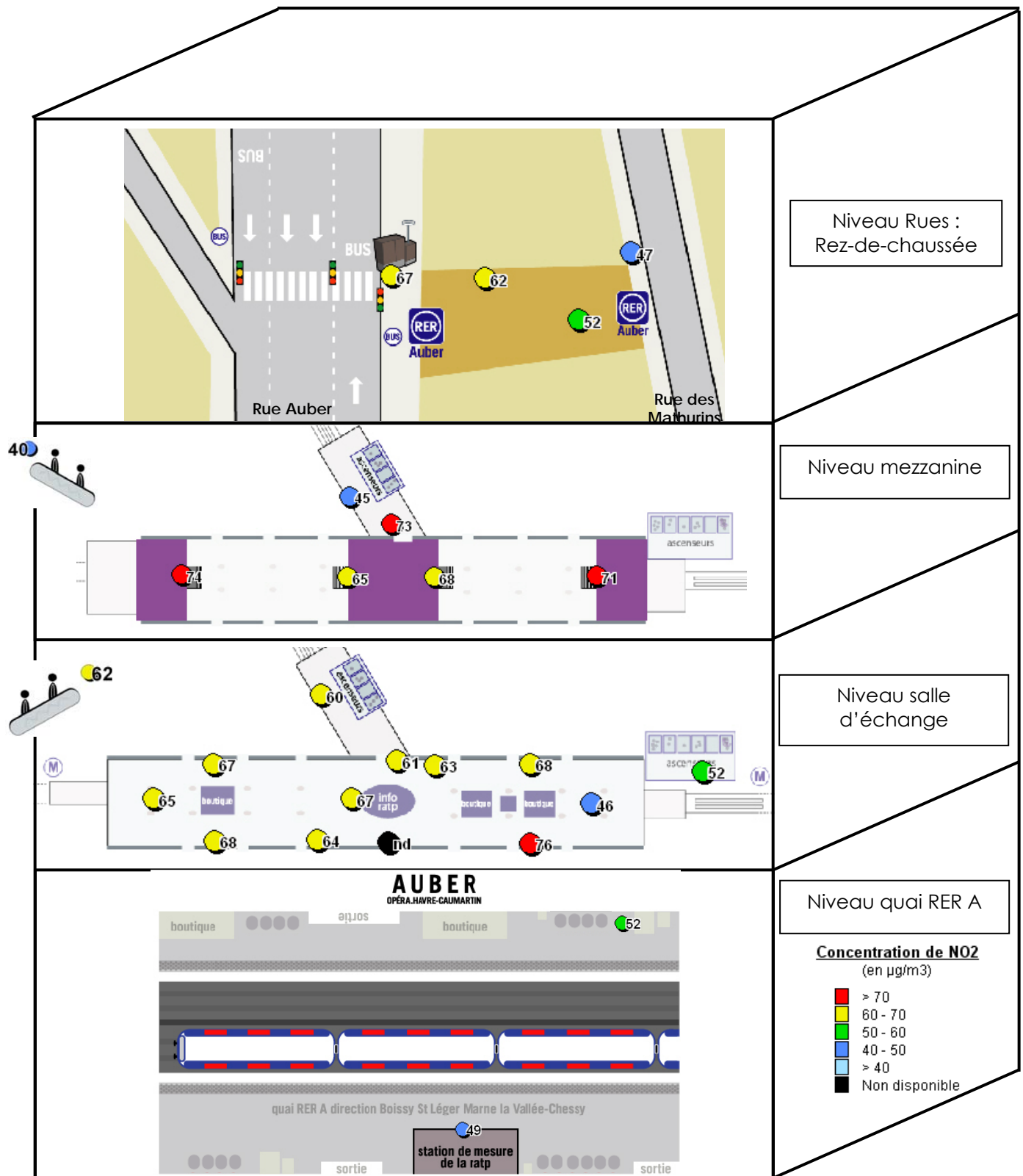
Teneurs en dioxyde d'azote relevées lors de la 2^{de} série entre le 17 novembre et le 24 novembre 2009 sur l'ensemble des sites instrumentés de tubes à diffusion.



Teneurs en dioxyde d'azote relevées lors de la 3^{ème} série entre le 24 novembre et le 1^{er} décembre 2009 sur l'ensemble des sites instrumentés de tubes à diffusion.

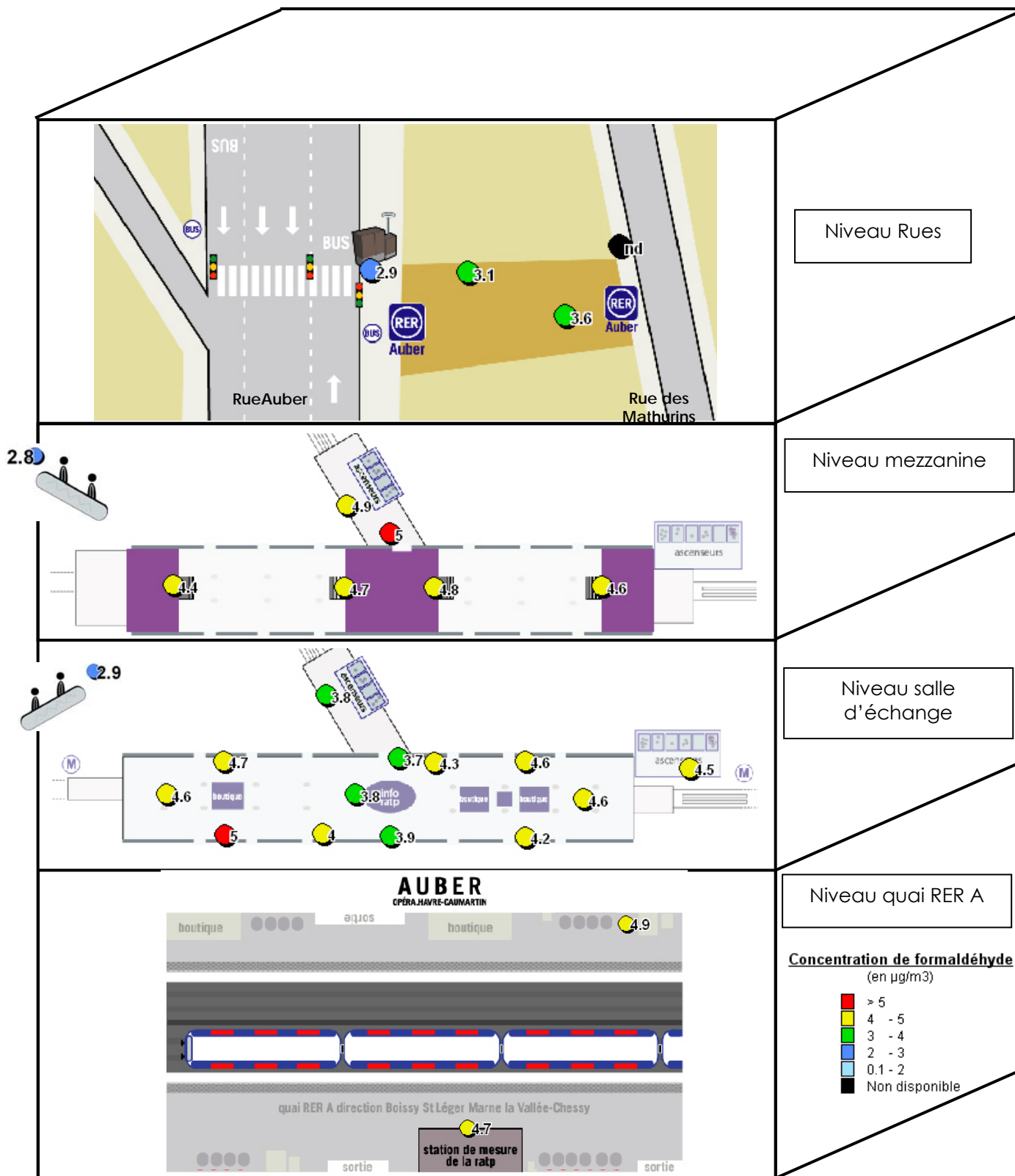


Teneurs en dioxyde d'azote relevées lors de la 4^{ème} série entre le 1^{er} décembre et le 8 décembre 2009 sur l'ensemble des sites instrumentés de tubes à diffusion.

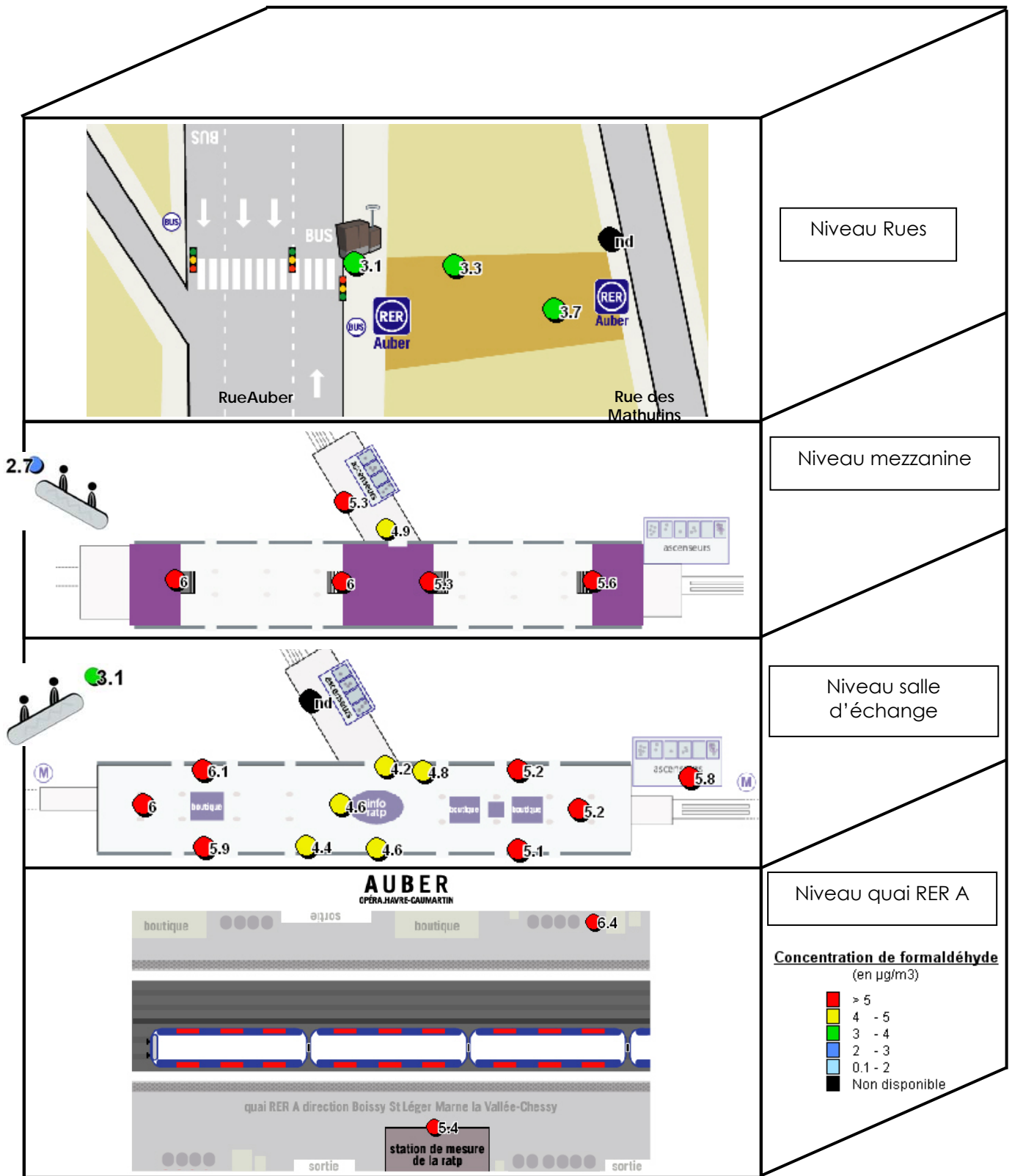


Annexe 5

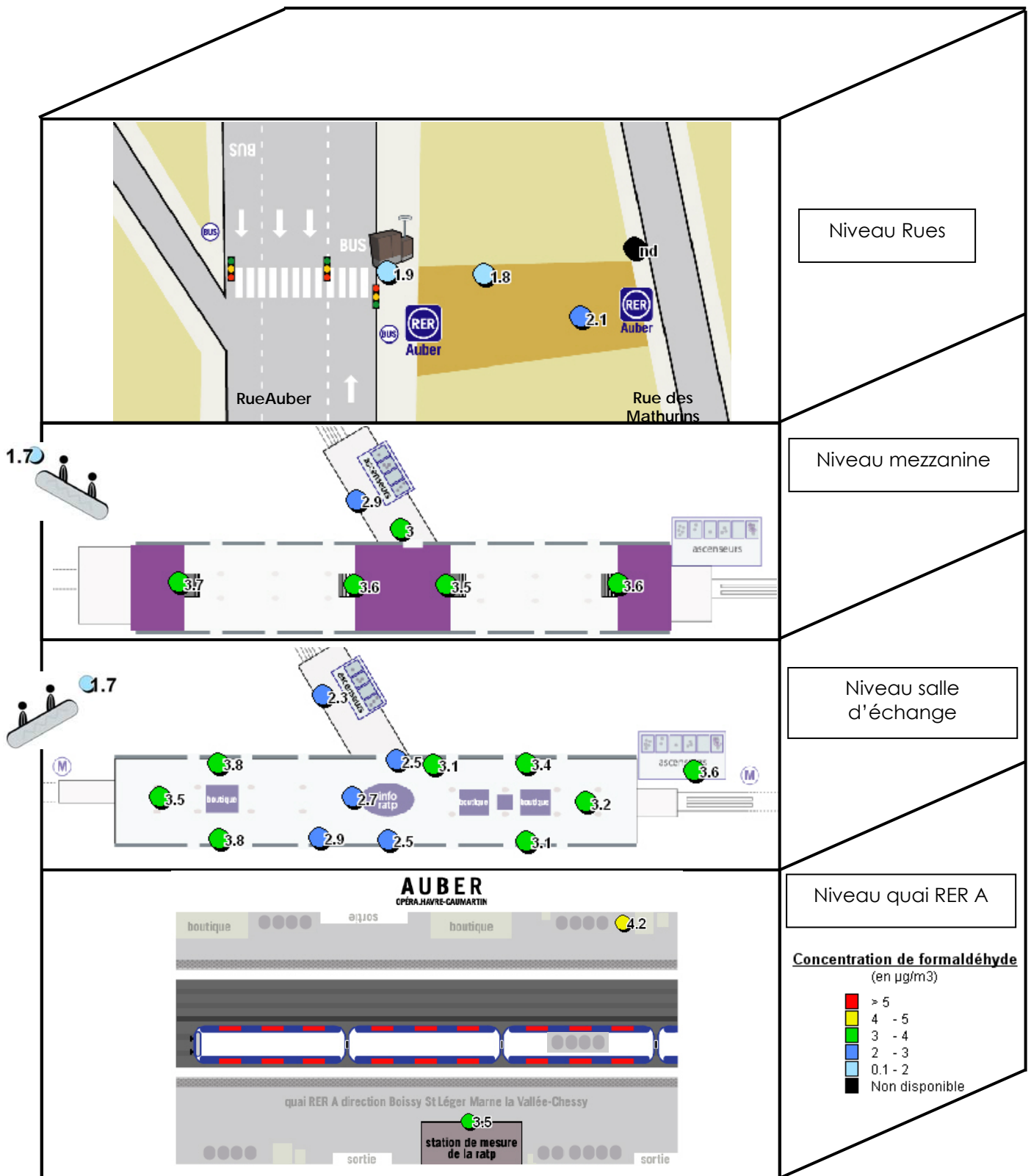
Teneurs en formaldéhyde relevées lors de la 1^{ère} série entre le 10 novembre et le 17 novembre 2009 sur l'ensemble des sites instrumentés de tubes à diffusion.



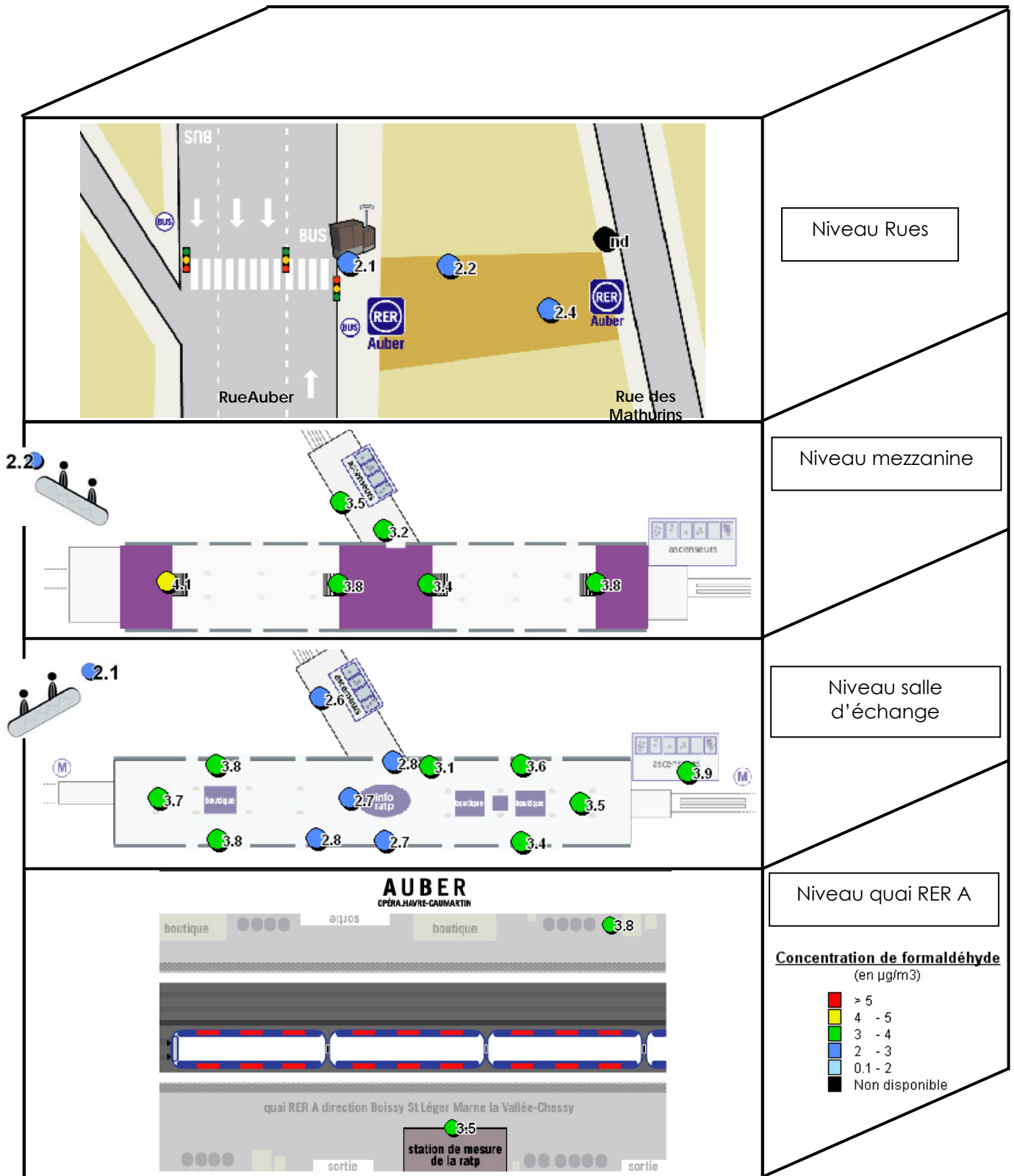
Teneurs en formaldéhyde relevées lors de la 2nde série entre le 17 novembre et le 24 novembre 2009 sur l'ensemble des sites instrumentés de tubes à diffusion.



Teneurs en formaldéhyde relevées lors de la 3^{ème} série entre le 24 novembre et le 1^{er} décembre 2009 sur l'ensemble des sites instrumentés de tubes à diffusion.



Teneurs en formaldéhyde relevées lors de la 4^{ème} série entre le 1^{er} décembre et le 8 décembre 2009 sur l'ensemble des sites instrumentés de tubes à diffusion.



Annexe 6

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

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

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

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

Dioxyde d'azote (NO₂)

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

Annexe 6 (suite)

Particules (PM10)

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

Directives européennes

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

Dioxyde d'azote (NO₂)

A - Valeurs limites

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

B- Seuil d'alerte

400 µg/m³ relevés sur 3 heures consécutives, dans des lieux représentatifs de la qualité de l'air sur au moins

Annexe 6 (suite)

Particules (PM10)

Valeurs limites

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

Directive européenne pour les particules fines (PM2.5)

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

Recommandations de l'O.M.S.

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